

# RISK-NET



## Manuale D'uso

Versione 3.1.1 Pro

Settembre 2019

RECONnet

Rete Nazionale sulla gestione e la  
Bonifica dei Siti Contaminati



## RISK-NET Versione 3.1.1 Pro

---

### SOFTWARE PER L'APPLICAZIONE DELL'ANALISI DI RISCHIO AI SITI CONTAMINATI

*Il software **Risk-net v. 3.1.1 Pro** permette di calcolare il rischio e gli obiettivi di bonifica legato alla presenza di contaminanti all'interno di un sito, applicando la procedura ISPRA di analisi di rischio sanitaria ("Criteri metodologici l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"; ISPRA 2008) in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana (D.Lgs. 152/06, D.Lgs. 04/08, D.M. 31/2015 e D.M. 46/2019).*

*Si sottolinea che il software realizzato non vuole e non può essere sostitutivo della professionalità dei tecnici. In tal senso i risultati che vengono forniti sono sotto la piena responsabilità di chi effettua lo studio di analisi di rischio.*

#### **Autore del documento**

Iason Verginelli, Università degli studi di Roma "Tor Vergata"

#### **Autori del software**

Iason Verginelli, Università degli studi di Roma "Tor Vergata"  
Alessandro Girelli, I.A. Industria Ambiente S.r.l.

#### **Programmazione del software**

Iason Verginelli, Università degli studi di Roma "Tor Vergata"  
Alessandro Girelli, I.A. Industria Ambiente S.r.l.  
Carlo Cassinari, Techmakers srl

#### **Membri del gruppo di lavoro Reconnet che hanno contribuito all'ottimizzazione e valutazione del software (in ordine alfabetico)**

Renato Baciocchi, Università degli studi di Roma "Tor Vergata"  
Simona Berardi, INAIL  
Andrea Forni, Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bologna  
Igor Villani, ARPAE Emilia Romagna

*Si ringraziano per gli utili suggerimenti e riscontri (in ordine alfabetico):*

Federico Caldera, Mares S.r.l.  
Angiolo Cali, Libero Professionista  
Andrea Gasparini, Jacobs  
Cesare Gatto, CESI S.p.A.  
Francesco Ioppolo, Arcadis Italia Srl  
Andrea Melilli, Ambiente s.p.a  
Federico Mentessi, ARPAT Toscana  
Francesca Motta e team AdR, Aecom  
Serena Noli, Petroltecnica S.p.A  
Marcello Panarese, ARPAT Toscana  
Antonio Traversa, ARPA Lazio  
Stefania Verdelocco, Libero Professionista  
Mattia Cappelletti Zaffaroni, ERM Italia

Si ringraziano inoltre quanti, pur non facendo parte della rete, hanno inviato i loro commenti e suggerimenti per il miglioramento del prodotto.

**DISCLAIMER**

*Nessuna parte del manuale o del software può essere riprodotta senza la previa autorizzazione scritta degli autori. Gli autori, la Rete RECONnet e i suoi membri non rilasciano alcuna garanzia e declinano ogni responsabilità in merito alla completezza e all'utilità delle informazioni, dei prodotti o dei processi divulgati, nonché agli eventuali danni derivanti dall'utilizzo degli stessi da parte degli utenti. Il riferimento e i richiami presenti nei documenti RECONNET relativi a tecnologie e prodotti offerti da terze parti non costituiscono un riconoscimento di garanzia e di qualità degli stessi. Le opinioni espresse dagli autori non rappresentano necessariamente quelle degli Enti di Controllo. Si sottolinea infine che il software realizzato non vuole e non può essere sostitutivo della professionalità dei tecnici. In tal senso i risultati che vengono forniti sono sotto la piena responsabilità di chi effettua lo studio di analisi di rischio.*

## INDICE

---

Risk-net Versione 3.1.1 Pro.....	2
Elenco Figure.....	7
Elenco Tabelle.....	8
Acronimi.....	10
Cos'è Risk-net.....	11
Interfaccia e utilizzo del software.....	12
Principali novità del software.....	14
Principali novità della versione 3.0 rispetto alla 2.1.....	14
Principali novità della versione 3.1 rispetto alla 3.0.....	15
Principali novità della versione 3.1.1 rispetto alla 3.1.....	18
Architettura del software.....	19
Schermata di avvio e gestione dei file.....	20
Schermata di simulazione.....	23
Impostazione della simulazione (Setup).....	26
Descrizione del sito.....	26
Modello Concettuale del sito.....	27
Recettori.....	31
Input.....	34
Contaminanti Indicatori.....	34
Concentrazione in Sorgente.....	39
Fattori di Esposizione.....	41
Parametri del Sito.....	45
Gestione degli errori.....	48
Opzioni di Calcolo.....	50
Volatilizzazione.....	51
Lisciviazione.....	52
Dispersione in falda.....	53
Csat.....	54
Esposizione.....	55

Limiti .....	56
Caratterizzazione avanzata del sito .....	56
Output .....	58
Calcolo Rischio .....	58
CSR .....	60
CSR cumulative .....	62
Calcolo CSR Idrocarburi .....	64
Risultati Dettagliati .....	66
Fattori di Trasporto .....	66
Concentrazione al punto di esposizione .....	67
Tassi di esposizione .....	67
Dettaglio Rischi .....	68
Dettaglio CSR .....	69
Trasporto Off-site .....	70
Dettaglio concentrazioni .....	72
Documenti di Riferimento .....	73
Nomenclatura .....	74
Appendici – Equazioni e Criteri di calcolo .....	80
Appendice 1a. Calcolo del Rischio (Car. Standard) .....	81
Rischio Individuale .....	81
Rischio per più vie di esposizione .....	82
Rischio Cumulativo .....	84
Rischio Risorsa Idrica .....	84
Appendice 1b. Calcolo del Rischio (Car. Avanzata) .....	91
Appendice 1c. Calcolo del Rischio (Aree Agricole) .....	95
Appendice 2a. Obiettivi di Bonifica (CSR) .....	96
CSR Individuali .....	96
CSR per più vie di esposizione .....	97
CSR Cumulative (Obiettivi di bonifica) .....	99
Appendice 2b. Concentrazioni di Riferimento .....	109
Appendice 3a. Fattori di Trasporto (Car. Standard) .....	112
Appendice 3b. Fattori di trasporto (Car. Avanzata) .....	130

Appendice 4. Calcolo Fattori di Esposizione.....	136
Appendice 5. Saturazione Chimico-Fisica e Residua .....	139
Concentrazione di Saturazione. ....	139
Concentrazione Residua (Screening Mobilità NAPL) .....	140
Applicazione dell'Analisi di Rischio in condizioni di saturazione .....	140
Appendice 6. Utilizzo dei dati di car. Avanzata .....	142
Misure in aria outdoor.....	142
Misure in aria indoor.....	143
Misure soil-gas.....	144
Misure con camere di flusso.....	145
Test di cessione .....	147
Appendice 7. Dettaglio concentrazioni .....	149
Appendice 8. Fattore di aggiustamento (ADAF) .....	154
Appendice 9. Koc e Kd in funzione del pH.....	155

## ELENCO FIGURE

Figura 1. Schermata di avvio del software Risk-net 3.1 Pro.....	20
Figura 2. Schermata con le impostazioni sulla Lingua e sullo Zoom.....	22
Figura 3. Schermata iniziale di simulazione con menù laterale attivo. ....	23
Figura 4. Schermata iniziale di simulazione con menù laterale disattivato.....	24
Figura 5. Schermata iniziale di simulazione con più file aperti. ....	25
Figura 6. Setup della simulazione.....	26
Figura 7. Definizione del modello concettuale. ....	27
Figura 8. Caratterizzazione integrativa. ....	30
Figura 9. Caratterizzazione prodotti alimentari. ....	31
Figura 10. Selezione dello scenario di esposizione. ....	32
Figura 11. Inserimento dei contaminanti.....	34
Figura 12. Proprietà contaminanti.....	36
Figura 13. Banca dati. ....	38
Figura 14. Esempio di inserimento di un contaminante nella banca dati.....	39
Figura 15. Definizione della Concentrazione Rappresentativa alla Sorgente.....	40
Figura 16. Parametri di Esposizione.....	41
Figura 16. Consumo prodotti agricoli (i valori di tasso di consumo mostrati in figura sono a scopo puramente illustrativo).....	44
Figura 17. Caratteristiche del sito. ....	45
Figura 18. Controllo sugli errori di tipo concettuale.....	49
Figura 19. Opzioni di calcolo. ....	50
Figura 20. Opzioni di calcolo per la caratterizzazione avanzata del sito. ....	56
Figura 21. Calcolo del Rischio.....	58
Figura 22. Calcolo degli Obiettivi di bonifica (CSR).....	60
Figura 23. Verifica CSR cumulative.....	62
Figura 24. Calcolo CSR Idrocarburi.....	64
Figura 25. Fattori di trasporto. ....	66
Figura 26. Concentrazioni al punto di esposizione. ....	67
Figura 27. Tassi di esposizione. ....	68
Figura 28. Dettaglio Rischi. ....	69
Figura 29. Dettaglio CSR.....	70
Figura 30. Trasporto Off-site (Falda). ....	71
Figura 31. Trasporto Off-site (Atmosfera).....	71
Figura 32. Dettaglio concentrazioni. ....	72
Figura 33. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo superficiale.....	83
Figura 34. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo profondo.....	83
Figura 35. Criteri di cumulo dei rischi per la falda. ....	84
Figura 36. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo superficiale.....	98
Figura 37. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo profondo.....	98
Figura 38. Criteri di cumulo delle CSR per la falda. ....	99

## ELENCO TABELLE

Tabella 1. Significato pulsanti presenti nella schermata di avvio. ....	21
Tabella 2. Vie di esposizione/migrazione attivabili .....	28
Tabella 3. Fattori di trasporto utilizzati per ciascuna via di esposizione. ....	29
Tabella 4. Valori di default implementati nel software per Adulti, Bambini e Lavoratori (ISPRA, 2008). ....	42
Tabella 5. Valori di default implementati nel software per Adolescenti e Anziani. ....	43
Tabella 6: Proprietà del terreno in funzione della tessitura selezionata. ....	46
Tabella 7. Fattori di trasporto considerando o meno l'esaurimento della sorgente.....	51
Tabella 8. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo del rischio....	59
Tabella 9. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo delle CSR individuali. ....	61
Tabella 10. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo delle CSR cumulative.....	63
Tabella 11. Suolo Superficiale: Rischio e Indice di Pericolo.....	86
Tabella 12. Suolo Profondo: Rischio e Indice di Pericolo.....	88
Tabella 13. Falda: Rischio e Indice di Pericolo .....	89
Tabella 14. Rischio Risorsa Idrica .....	90
Tabella 15. Misure Soil-gas: Rischio e Indice di Pericolo.....	91
Tabella 16. Camere di flusso: Rischio e Indice di Pericolo.....	92
Tabella 17. Misure in Aria: Rischio e Indice di Pericolo .....	93
Tabella 18. Eluato suolo superficiale: Rischio e Indice di Pericolo.....	94
Tabella 19. Eluato suolo profondo: Rischio e Indice di Pericolo.....	94
Tabella 20. Calcolo del rischio per consumo prodotti agroalimentari .....	95
Tabella 21. Suolo Superficiale: CSR .....	101
Tabella 22. Suolo Profondo: CSR.....	104
Tabella 23. Falda: CSR .....	105
Tabella 24. CSR Risorsa Idrica .....	106
Tabella 25. Calcolo CSR Idrocarburi .....	107
Tabella 26. Screening Prodotto Libero .....	108
Tabella 27. Concentrazioni di riferimento (CR): aria .....	109
Tabella 28. Concentrazioni di riferimento (CR): camere di flusso .....	110
Tabella 29. Concentrazioni di riferimento (CR): soil-gas.....	110
Tabella 30. Concentrazioni di riferimento (CR): eluato da suolo superficiale .....	110
Tabella 31. Concentrazioni di riferimento (CR): eluato da suolo profondo .....	111
Tabella 32. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori outdoor .....	113
Tabella 33. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori indoor .....	114
Tabella 34. Suolo Superficiale: Lisciviazione in falda.....	115
Tabella 35. Suolo Superficiale: Emissione di Particolato .....	116
Tabella 36. Dispersione In Atmosfera.....	116
Tabella 37. Coefficienti di dispersione In Atmosfera .....	117
Tabella 38. Stima velocità del vento in corrispondenza dell'altezza di miscelazione....	117
Tabella 39. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori outdoor .....	118
Tabella 40. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori indoor .....	119
Tabella 41. Suolo Profondo: Lisciviazione in Falda .....	120
Tabella 42. Fattore di Diluizione in Falda.....	121



Tabella 43. Falda: Equazione di Domenico .....	122
Tabella 44. Falda: Volatilizzazione vapori outdoor.....	123
Tabella 45. Falda: Volatilizzazione vapori indoor.....	124
Tabella 46. Coefficiente di diffusione.....	125
Tabella 47. Concentrazione di Saturazione, $C_{sat}$ .....	126
Tabella 48. Fattore di biodegradazione (BDF) per volatilizzazione .....	127
Tabella 49. Fattore di biodegradazione (BDF) per lisciviazione .....	128
Tabella 50. Infiltrazione efficace .....	129
Tabella 51. Soil-gas: Volatilizzazione vapori outdoor.....	131
Tabella 52. Camera di flusso dinamica: Volatilizzazione vapori outdoor .....	133
Tabella 53. Soil-gas: Volatilizzazione vapori indoor .....	132
Tabella 54. Eluato da Suolo Superficiale: Lisciviazione in falda.....	134
Tabella 55. Eluato da Suolo Profondo: Lisciviazione in falda.....	135
Tabella 56. Fattori di Esposizione (EM) .....	137
Tabella 57. Concentrazioni attese in aria.....	149
Tabella 58. Concentrazioni attese nel soil-gas (outdoor) .....	150
Tabella 59. Concentrazioni attese nel soil-gas (indoor) .....	151
Tabella 60. Concentrazioni attese nella camera di flusso .....	152
Tabella 61. Concentrazioni attese nell'eluato .....	152
Tabella 62. Concentrazioni attesa in falda .....	153
Tabella 63. Valori Koc in funzione del pH per i contaminanti organici (1/2).....	155
Tabella 64. Valori Koc in funzione del pH per i contaminanti organici (2/2).....	156
Tabella 65. Valori Kd in funzione del pH per i contaminanti inorganici (1/2).....	157
Tabella 66. Valori Kd in funzione del pH per i contaminanti inorganici (2/2).....	158

## ACRONIMI

SIMBOLO	SIGNIFICATO
ADF	Fattore di dispersione in atmosfera
AdR	Analisi di Rischio
Cpoe	Concentrazione al punto di esposizione
CSR	Concentrazione Soglia di Rischio
CSRind	Concentrazione Soglia di Rischio Individuali (singola sostanza)
CSRcum	Concentrazione Soglia di Rischio cumulative (più sostanze)
CSR (HH)	Concentrazione Soglia di Rischio per la salute umana
CSR (GW)	Concentrazione Soglia di Rischio per la risorsa idrica
CSC	Concentrazione Soglia di Contaminazione
CRS	Concentrazione rappresentativa alla Sorgente
DAF	Fattore di attenuazione in falda
DB	Database o Banca Dati
f	Fattore di correzione per rischio cumulato
NV	Non Volatile
R	Rischio Cancerogeno
HI	Indice di Pericolo (Non Cancerogeno)
Cres	Concentrazione residua
Csat	Concentrazione di saturazione chimico-fisica
On-site	All'interno della sorgente di contaminazione
Off-site	All'esterno della sorgente di contaminazione
POC	Punto di conformità
Sol	Solubilità

## COS'È RISK-NET

---

Risk-net è un software che permette di applicare la procedura di Analisi di Rischio sanitario-ambientale ai siti contaminati, in accordo con quanto previsto dalle linee guida ISPRA (2008) e dalla normativa italiana (D.Lgs. 152/06, D.Lgs. 04/08, D.M. 31/2015 e D.M. 46/2019).

Il software permette di calcolare sia il rischio in modalità diretta ("Forward"), associato alla concentrazione rilevata in sorgente, che gli obiettivi di bonifica (CSR, concentrazioni soglia di rischio) in maniera indiretta ("Backward"), definendo i limiti di accettabilità del rischio e dell'indice di pericolo.

Per ogni percorso di esposizione attivato dall'utente vengono calcolate, attraverso i modelli analitici di trasporto descritti nelle linee guida 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).

## INTERFACCIA E UTILIZZO DEL SOFTWARE

---

**Requisiti di Sistema.** La versione 3 è stata sviluppata in Javascript e HTML. Pertanto, rispetto alle versioni precedenti può essere utilizzato sia su piattaforme Windows (Windows 7 o superiore, per sistemi 32 bit o 64 bit) che su piattaforme MacOS (OS X 10.9 o superiore). Inoltre, a differenza delle versioni precedenti non necessita di Microsoft Excel.

**Installazione del software.** L'installazione del software può essere effettuata avviando il file di setup presente sul cd o scaricato dal web. Il software deve essere installato in una cartella in cui l'utente ha diritti di amministratore.

Per chi non è amministratore della macchina generalmente la cartella "Documenti" del proprio profilo risulta modificabile. Dopo l'installazione, al riavvio del computer, viene creato un collegamento sul desktop e nella barra di avvio dei programmi.

**Avvio del Programma.** Per avviare il programma è sufficiente aprire il file 'Risk-net' (o il collegamento presente sul desktop o nella barra dei programmi).

**Attivazione del Software.** Per scopi statistici e gestionali il software viene distribuito in singola licenza. Al primo avvio del software viene richiesto di inserire nome, cognome e la società /ente di riferimento. Una volta inseriti i dati premendo il pulsante "crea licenza" viene fornito un numero identificativo dell'installazione ("ID di Installazione").

Per ottenere il codice di attivazione da inserire nel software, è necessario compilare il form disponibile nella pagina "Attivazione Risk-net" disponibile sul sito [www.reconnet.net](http://www.reconnet.net) inserendo Nome e Cognome, Società/Ente, Indirizzo e-mail e l'ID di installazione fornito dal software durante la creazione della licenza. Una volta inseriti tutti i dati, premere il pulsante "Invia Richiesta" e vi verrà inviato all'e-mail inserita nel form online il codice di attivazione da inserire nel software. Il codice di attivazione viene inviato in automatico (i tempi di invio possono variare da pochi minuti a qualche ora). Alcuni gestori di posti potrebbero identificare la mail con il codice di attivazione generata in maniera automatica come Spam o Posta indesiderata. Se non si riceve nelle tempistiche descritte il codice di

attivazione controllare nelle cartelle di Spam o Posta Indesiderata se avete ricevuto una mail da risknet@reconnet.net.

Inserito il codice, premere il pulsante “Attiva software” ed il software è pronto per l’uso. Qualora fossero necessarie più licenze è sufficiente ripetere questa operazione su tutti i computer sui i quali si desidera installare Risk-net.

**Risoluzione minima dello schermo.** La risoluzione minima per lavorare con Risk-net è “1024 x 768 px”.

## PRINCIPALI NOVITÀ DEL SOFTWARE

---

### PRINCIPALI NOVITÀ DELLA VERSIONE 3.0 RISPETTO ALLA 2.1

Le principali novità della versione 3.0 rispetto alla versione 2.1 sono di seguito elencate.

**Multiplatforma.** La versione 3.0 è stata sviluppata in Javascript e HTML. Pertanto, rispetto alle versioni precedenti può essere utilizzato sia su piattaforme Windows che su piattaforme MacOS. Inoltre, a differenza delle versioni precedenti non necessita di Excel.

**Banca dati.** La versione 3.0 implementa l'ultima versione della banca dati ISS-INAIL (2018) tenendo conto delle indicazioni riportate nel documento di supporto.

**Utilizzo di dati soil-gas, camere di flusso e misure in aria.** In questa versione è possibile utilizzare i dati di soil-gas, camere di flusso e misure in aria outdoor e indoor. Tali valori possono essere utilizzati sia per il calcolo del rischio che, se attivato, per rimodulare le concentrazioni soglia di rischio in funzione dei fattori di attenuazione empirici calcolati a partire dai dati inseriti nelle diverse matrici.

**Utilizzo dei risultati di test di cessione.** In questa versione è possibile utilizzare i dati ottenuti da test di cessione per valutare il percorso di lisciviazione da suolo superficiale e profondo.

**Concentrazioni e Dosi di Riferimento.** Rispetto alle versioni precedenti con questa versione, l'utente può decidere se calcolare, per i percorsi di inalazione, i rischi e gli obiettivi di bonifica utilizzando le dosi di riferimento (RfD per gli effetti tossici e SF per gli effetti cancerogeni) o le concentrazioni di riferimento (RfC per gli effetti tossici e IUR per gli effetti cancerogeni).

**Bioaccessibilità.** In questa versione del software per il percorso di ingestione di suolo, il software permette di tener conto nel calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica della frazione di contaminante effettivamente bioaccessibile all'organismo.

**Modello di biodegradazione per la lisciviazione in falda.** In questa versione del software è stato implementato un modello che permette di valutare l'attenuazione subita dal contaminante legata a fenomeni di biodegradazione durante il percorso di lisciviazione.

**Modello di biodegradazione per la volatilizzazione da suolo e falda.** In questa versione del software è stato implementato un modello che permette di valutare l'attenuazione subita dal contaminante legata a fenomeni di biodegradazione durante il percorso di volatilizzazione outdoor e indoor.

**Dimensione delle sorgenti.** In questa versione del software nella stessa simulazione è possibile definire dimensioni diverse per ciascuna matrice selezionata nel modello concettuale.

**Telo in HDPE.** Per il percorso di lisciviazione è stato implementato un modello che permette di simulare la presenza di uno strato a bassa permeabilità o di un telo in HDPE.

**Report in PDF.** In questa versione del software è possibile creare in maniera rapida e semplice un report in PDF che riassume i principali input ed output della simulazione.

**Versione in Inglese.** Rispetto alla versione precedente il software è disponibile sia in lingua italiana che inglese.

### PRINCIPALI NOVITÀ DELLA VERSIONE 3.1 RISPETTO ALLA 3.0

Le principali novità della versione 3.1 rispetto alla versione 3.0 sono di seguito elencate.

**Fattori di attenuazione empirici nel soil-gas.** In questa nuova versione del software è possibile inserire dei fattori empirici per il soil-gas per il calcolo del rischio in modalità diretta e per il calcolo dei valori soglia nel soil-gas in accordo con quanto previsto nelle nuove linee guida SNPA (2018) sul soil-gas.

**Recettori adolescenti e anziani.** Rispetto alla versione precedente, il software permette

di considerare per l'ambito residenziale oltre ad adulti e bambini anche adolescenti ed anziani in accordo con quanto previsto nelle nuove linee guida SNPA (2018) sul soil-gas.

**Selezione del recettore per gli effetti tossici nel caso di esposizione mediata (“Adjusted”).** Nella versione precedente, nel caso di una esposizione mediata (“adjusted”) per gli effetti tossici i calcoli venivano effettuati considerando un recettore “Bambino”. Nella nuova versione, è possibile selezionare o un recettore “Bambino” o, come previsto nelle nuove linee guida SNPA (2018) sul soil-gas, selezionare il recettore più critico in funzione dei parametri di esposizione selezionati.

**Check sui contaminanti volatili secondo ISS-INAIL.** Rispetto alla versione precedente, il software applica il criterio di selezione dei contaminanti volatili definito nella banca dati ISS-INAIL anche alle camere di flusso e alle misure in aria (indoor e outdoor).

**Opzione Csat solo per il calcolo delle CSR.** Rispetto alla versione 3.0, è stata reinserita l'opzione prevista nella versione 2.1 di tener conto del raggiungimento delle concentrazioni di saturazione (Csat) solo per il calcolo delle CSR.

**Analisi Diretta e Inversa.** Rispetto alla versione 3.0, in questa nuova versione nella schermata “Descrizione del sito” è possibile selezionare il tipo di analisi che si vuole effettuare (modalità diretta e/o inversa). Nel caso in cui venga disattivata una delle opzioni, le relative schermate non vengono mostrate.

**Flusso convettivo indoor sito-specifico.** In questa nuova versione del software è possibile inserire dei valori sito-specifici del flusso convettivo entrante nell'edificio nel caso di edifici in depressione.

**CSR senza notazione scientifica.** In questa nuova versione del software è prevista una opzione che permette di visualizzare le CSR senza notazione scientifica.

**Migliorata funzione report.** In questa nuova versione del software è stata migliorata la funzione di creazione del report. In particolare nel report è stata inserita la schermata



relativa alle concentrazioni rappresentative alla sorgente (CRS) e le schermate relative alle CSR calcolate per gli idrocarburi. Inoltre in questa nuova versione vengono mostrate solo le schermate effettivamente attive per il caso in esame (ad es. se non viene attivato l'indoor viene oscurata la schermata relativa alle caratteristiche dell'edificio) e solo i contaminanti selezionati per ciascuna matrice. In questa nuova versione nel report viene inoltre esplicitato il database utilizzato e i parametri modificati rispetto alla banca dati di default. Con la nuova versione, nella creazione del report vengono solo le schermate relative al tipo di analisi selezionata (modalità diretta e/o inversa).

**Esportazione del database.** In questa nuova versione del software è stato aggiunto un modulo che permette l'esportazione in CSV della banca dati, in modo da rendere più agevole l'utilizzo di banche dati esterne personalizzate dall'utente.

**Correzione di bug minori.** In questa nuova versione del software sono stati corretti alcuni malfunzionamenti di seguito elencati:

- Corretto un malfunzionamento di visualizzazione nella schermata "Dettaglio CSR cumulative" (Suolo Profondo), che non mostrava la colonna delle CSR individuali e provocava lo slittamento verso sinistra di tutte le restanti colonne.
- Corretto un malfunzionamento di visualizzazione nella schermata dei rischi e delle CSR per il suolo superficiale che non mostrava i rischi off-site se venivano attivate nel modello concettuale solo le Polveri Outdoor off-site ma non i Vapori Outdoor off-site.
- Corretto il check sul Cumulato Indoor e Cumulato Outdoor off-site nella colonna delle CSR per il suolo superficiale in cui per la verifica del cumulato non veniva effettuato il controllo del raggiungimento delle Csat per il percorso di inalazione di vapori nel caso in cui veniva attivato anche il percorso di inalazione di polveri.
- Nella versione precedente, per il calcolo della frazione critica per gli Idrocarburi Totali venivano utilizzate le CSR individuali invece che le CSR cumulative.

## PRINCIPALI NOVITÀ DELLA VERSIONE 3.1.1 RISPETTO ALLA 3.1

Le principali novità della versione 3.1.1 rispetto alla versione 3.1 sono di seguito elencate.

**Valutazione del rischio per le aree agricole.** In questa nuova versione del software è possibile effettuare la valutazione dei rischi per il consumo di prodotti agroalimentari in accordo con quanto previsto dal D.M. 46/2019 sulle aree agricole (Fase 3 – Approccio USEPA previsto nel decreto).

**Utilizzo Camere di Flusso per percorso indoor.** In accordo con quanto previsto nelle nuove linee guida SNPA (2018) sul soil-gas in questa nuova versione del software è possibile utilizzare i dati delle camere di flusso anche per valutare il percorso di volatilizzazione indoor.

**Modifiche minori su formattazione e output.** In questa nuova versione del software sono state apportate alcune modifiche a livello grafico e di funzionalità di alcune schermate.

## ARCHITETTURA DEL SOFTWARE

---

L'architettura del software può essere schematizzata nei seguenti punti:

- ✓ **Tipo di analisi:** selezione del tipo di analisi da effettuare (calcolo del rischio, calcolo degli obiettivi di bonifica o entrambi).
- ✓ **Accettabilità del rischio:** definizione dei limiti accettabili di rischio e indice di pericolo (individuali e cumulativi) che verranno utilizzati per calcolare gli obiettivi di bonifica del sito.
- ✓ **Modello concettuale:** definizione delle vie di migrazione e di esposizione attive nel sito, per ciascuna matrice ambientale (suolo superficiale, suolo profondo e falda).
- ✓ **Contaminanti indicatori:** selezione dei contaminanti per ciascuna matrice contaminata.
- ✓ **Concentrazione rappresentativa alla sorgente** (richiesta solo per la modalità "Forward"): definizione della concentrazione rappresentativa dei diversi contaminanti di interesse per le diverse matrici ambientali.
- ✓ **Recettori:** definizione dei recettori presenti all'interno (on-site) e in prossimità del sito (off-site).
- ✓ **Fattori di esposizione:** definizione dei fattori di esposizione che descrivono il modello di comportamento atteso per i recettori del sito in esame.
- ✓ **Caratteristiche sito:** inserimento delle proprietà specifiche e geometriche del sito e della sorgente che verranno utilizzate per il calcolo dei fattori di trasporto per le diverse vie di migrazione attivate.
- ✓ **Rischio e CSR:** Calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica (Concentrazioni Soglia di Rischio, CSR) noti esposizione e proprietà chimico-fisico e tossicologiche.

## SCHERMATA DI AVVIO E GESTIONE DEI FILE

All'avvio del programma viene caricata la schermata riportata in Figura 1. Da questa schermata è possibile creare un nuovo file di simulazione e gestire i file delle simulazioni precedentemente effettuate. Per creare un nuovo file (sito) premere il pulsante (+) in alto a sinistra a cui verrà assegnato il nome 'New Site'. Il file creato verrà aggiunto nella lista dei file recenti riportati in basso. Per aprire rapidamente un file, fare doppio click su un nome nella lista dei file recenti. In alternativa, selezionando con un click un file nella lista, è possibile aprirlo usando il simbolo della matita. Con gli altri pulsanti riportati a destra del nome dei file presenti nella lista è possibile duplicare il file, salvare il file, stampare un report in PDF della simulazione o rimuovere il file dalla lista. In Tabella 1 viene brevemente descritto il significato dei diversi simboli presenti in questa schermata.

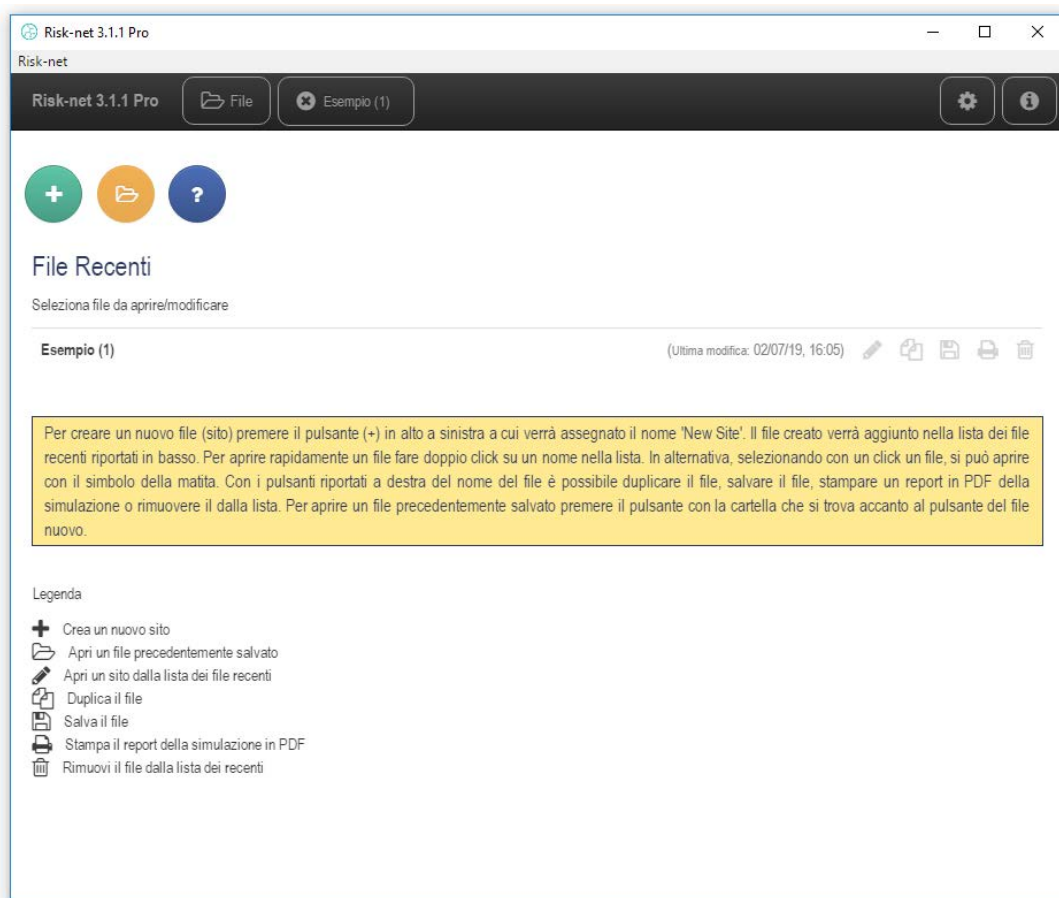











Figura 1. Schermata di avvio del software Risk-net 3.1 Pro.

Si sottolinea che il software salva automaticamente internamente al software fino a 5 file. Tale opzione evita la perdita di dati nel caso di chiusura accidentale del programma. Tale salvataggio automatico viene applicato ai 5 file più recenti e pertanto si suggerisce di salvare con il pulsante dedicato i file al termine di ciascuna simulazione.

Tabella 1. Significato pulsanti presenti nella schermata di avvio.

<b>Pulsante</b>	<b>Funzionalità</b>
	<b>Crea un nuovo file di simulazione</b>
	<b>Apri un file di simulazione precedentemente salvato</b>
	<b>Mostra Guida Rapida interna al software</b>
	<b>Apri il file selezionato nella lista di file recenti</b>
	<b>Duplica il file di simulazione</b>
	<b>Salva la simulazione effettuata</b>
	<b>Stampa un report in PDF con i principali input/output della simulazione</b>
	<b>Rimuove il file dalla lista dei file recenti</b>
	<b>Impostazioni</b>

Nel caso in cui si voglia cambiare la lingua o lo zoom delle finestre, dalla schermata principale cliccando sul pulsante Impostazioni si accede alla schermata mostrata in Figura 2. Per tornare alla schermata principale è sufficiente cliccare sul pulsante “File” in alto a sinistra.

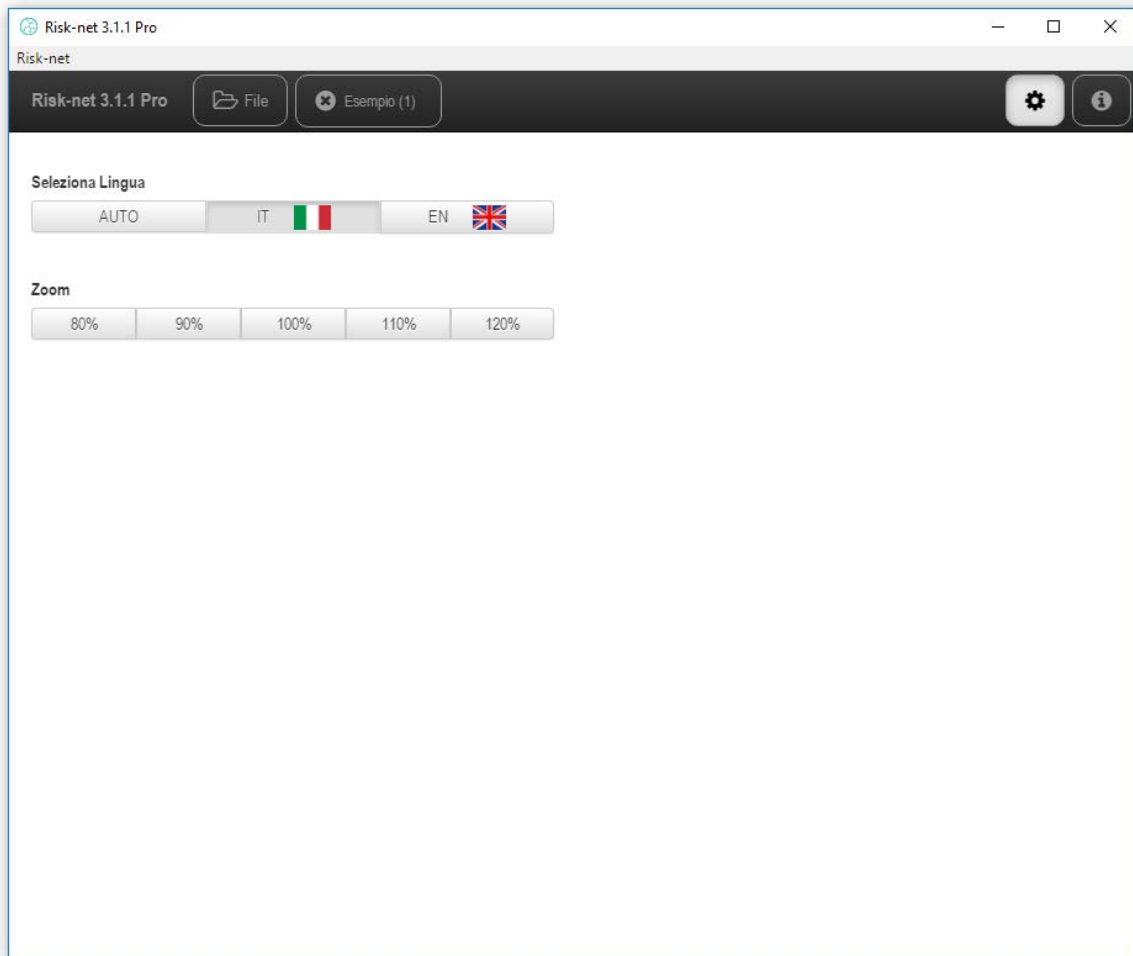



Figura 2. Schermata con le impostazioni sulla Lingua e sullo Zoom.

## SCHERMATA DI SIMULAZIONE

All'apertura di un nuovo file, si accede alla schermata mostrata in Figura 3. In tale schermata mediante il menu laterale è possibile accedere rapidamente alle diverse schermate di input e output. Nel caso di utilizzo del software su computer con piccoli schermi è possibile disattivare il menù laterale mediante il pulsante  presente nella parte in alto a destra del menù. In questo caso il menù per l'accesso alle diverse schermate di input e output viene posizionato orizzontalmente come mostrato in Figura 4.

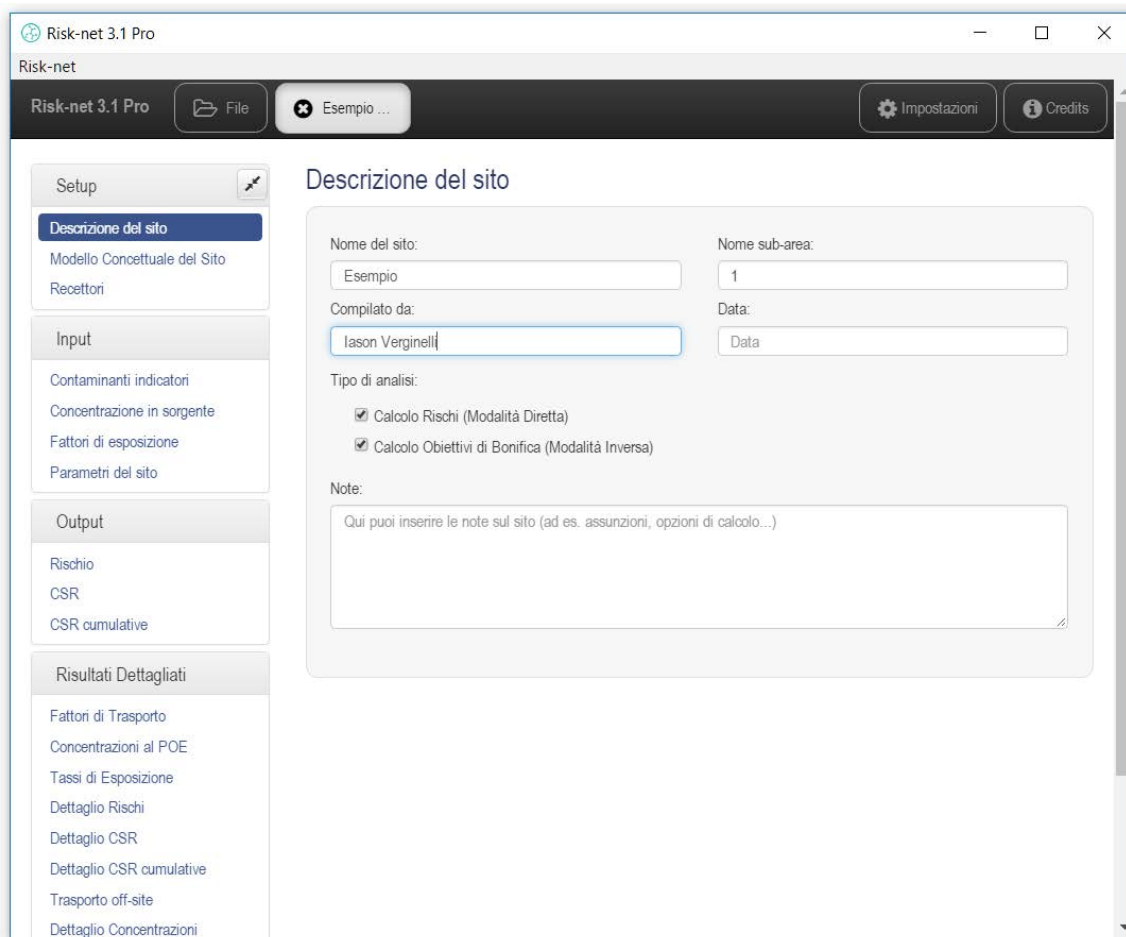



Figura 3. Schermata iniziale di simulazione con menù laterale attivo.

Per ripristinare il menù laterale è sufficiente premere il pulsante .

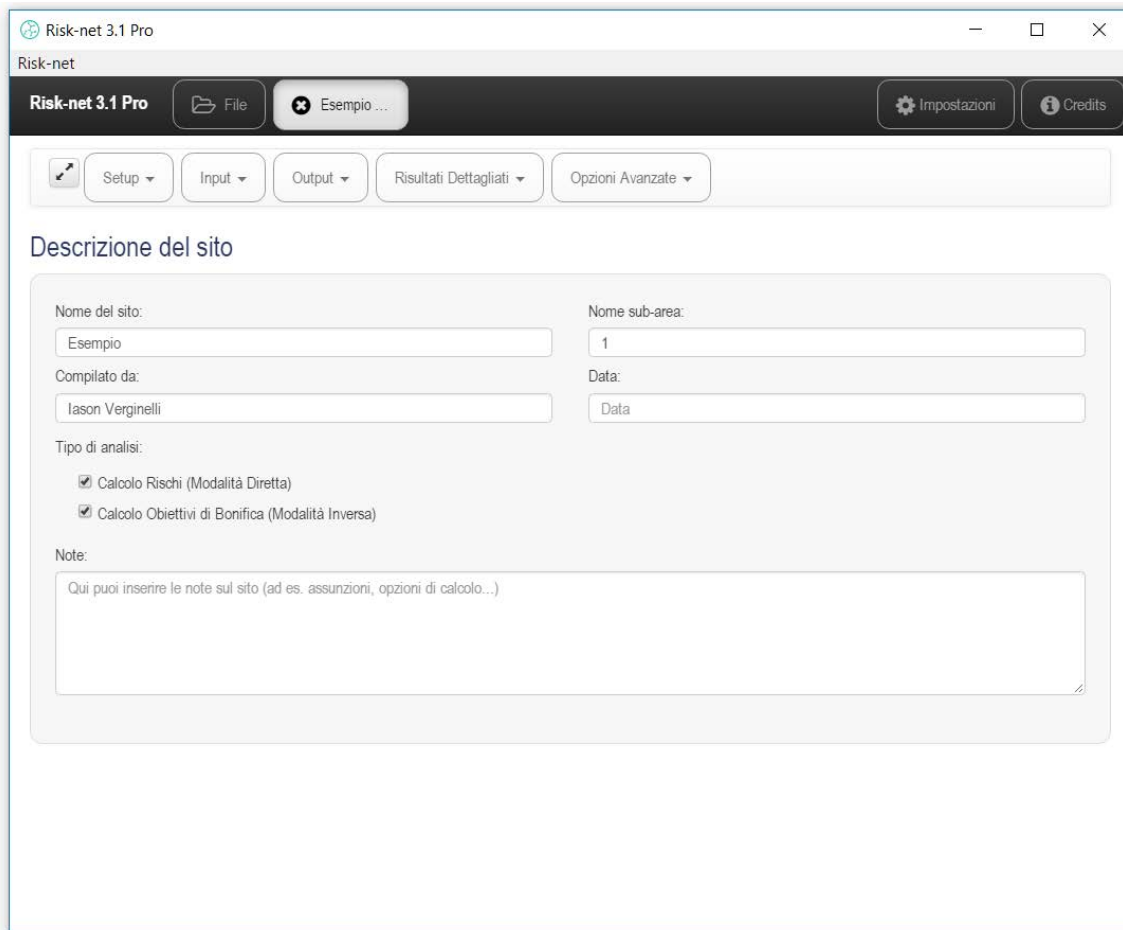



Figura 4. Schermata iniziale di simulazione con menù laterale disattivato.

Il software permette di aprire più file di simulazione contemporaneamente come mostrato in Figura 5. In questo caso è possibile muoversi da un file di simulazione all'altro cliccando sul nome della scheda in alto. Per chiudere un file di simulazione è sufficiente premere il pulsante  che compare alla destra del nome del file. Si ricorda che il file di simulazione viene automaticamente salvato nei file recenti e pertanto la chiusura del file di simulazione non comporta la perdita di dati. Per salvare sul proprio computer il file è necessario tornare alla schermata iniziale del software attraverso il pulsante "File" presente nella schermata del software in alto a sinistra seguendo le istruzioni descritte nel paragrafo precedente.



## Schermata di simulazione

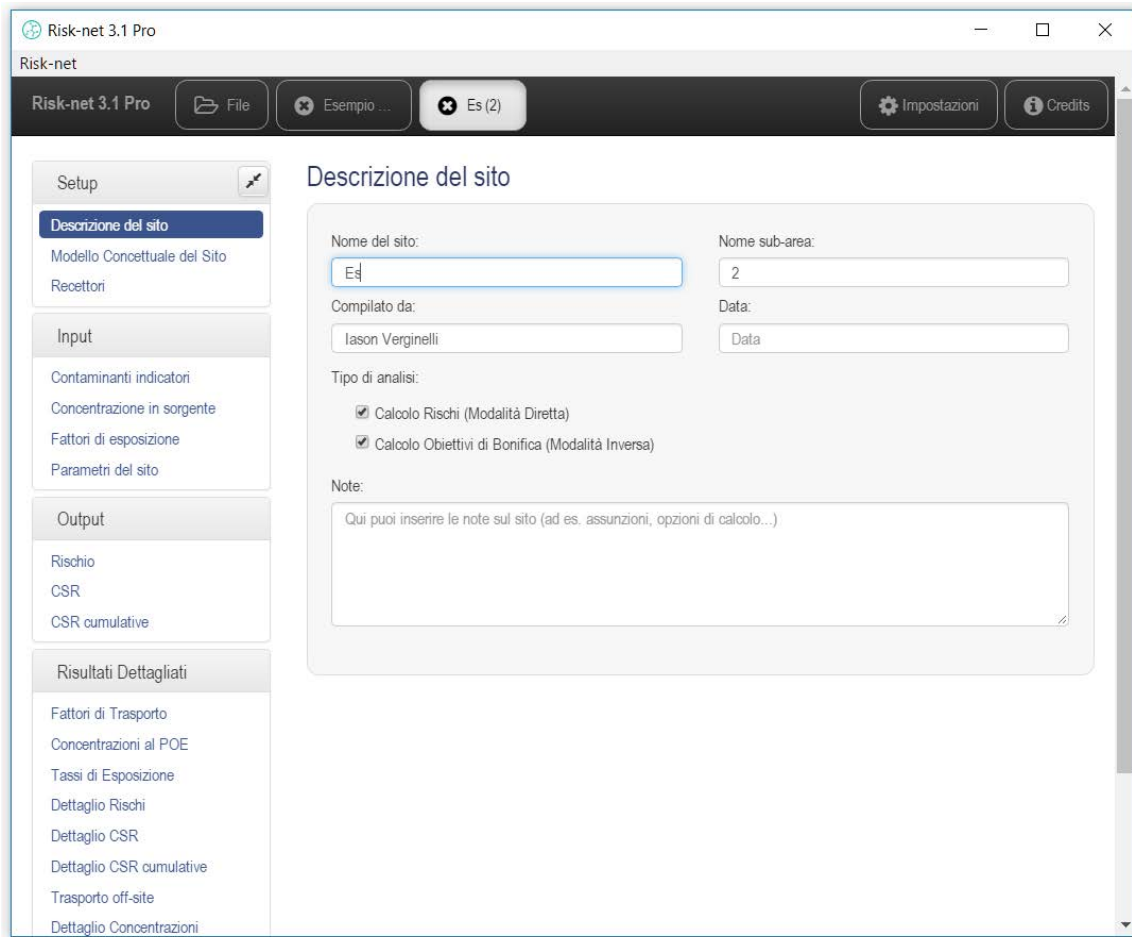


Figura 5. Schermata iniziale di simulazione con più file aperti.

## IMPOSTAZIONE DELLA SIMULAZIONE (SETUP)

Il primo step per la compilazione del file di simulazione consiste nella descrizione del sito, nella definizione del modello concettuale e nell'individuazione dei recettori. Di seguito vengono descritte le diverse schermate relative al setup della simulazione.

### DESCRIZIONE DEL SITO

Cliccando sulla voce “Descrizione del sito” del menù “Setup” si accede alla schermata mostrata in Figura 6.

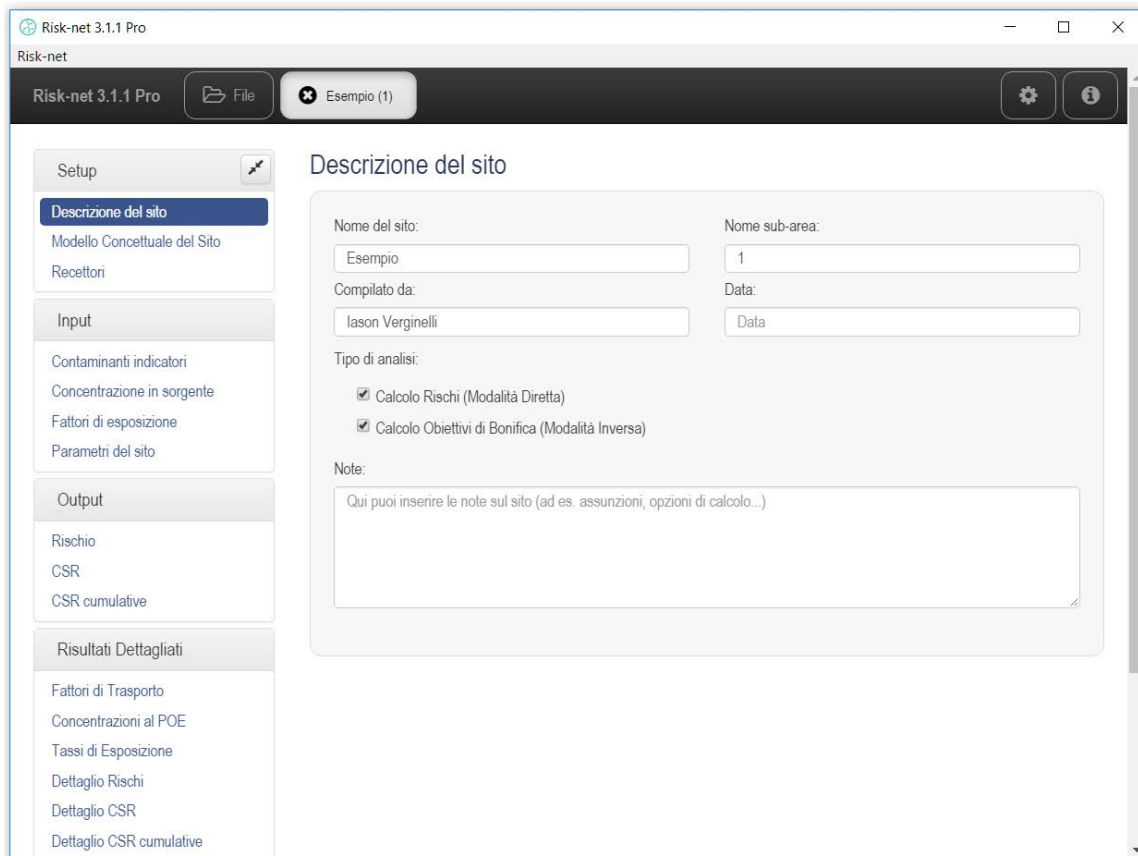


Figura 6. Setup della simulazione.

In questa schermata è possibile definire le informazioni generali del progetto (Nome del sito, nome dell'eventuale sub-area, Data, e Compilato Da). Si evidenzia che nella lista dei

## Impostazione della simulazione (Setup)

file temporanei il nome della simulazione verrà automaticamente impostato sulla base del “Nome del sito” e del nome della sub-area (tra parentesi) assegnato in questa schermata. La casella “Note” permette di inserire alcune note sulla compilazione del progetto. In questa schermata è inoltre possibile selezionare il tipo di analisi che si vuole effettuare. In particolare, l’utente può decidere se effettuare solo un’analisi in modalità diretta per il calcolo dei rischi, solo la modalità inversa per il calcolo degli obiettivi di bonifica o entrambi. Nel caso in cui venga disattivata una dei due tipi di analisi (modalità diretta o inversa) le relative schermate dei Rischi e delle CSR non vengono mostrate.

## MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

Cliccando sulla voce “Modello concettuale del sito” del menù “Setup” si accede alla schermata mostrata in Figura 7.

Sorgente		Percorso di esposizione		On-Site		Off-Site	
Suolo Superficiale	Contatto diretto	<input checked="" type="checkbox"/> Ingestione di suolo e contatto dermico		<input checked="" type="checkbox"/> On-Site		<input type="checkbox"/> No Off-site	
		<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Vapori Outdoor		<input checked="" type="checkbox"/> On-Site		<input type="checkbox"/> Off-Site	
	Volatilizzazione	<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Vapori Indoor		<input checked="" type="checkbox"/> On-Site		<input type="checkbox"/> No Off-site	
		<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Polveri Outdoor		<input checked="" type="checkbox"/> On-Site		<input type="checkbox"/> Off-Site	
		<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Polveri Indoor		<input checked="" type="checkbox"/> On-Site		<input type="checkbox"/> No Off-site	
Dilavamento	<input checked="" type="checkbox"/> Lisciviazione in Falda		<input checked="" type="checkbox"/> POC = 0 m		<input type="checkbox"/> POC > 0 m		
Suolo Profondo	Volatilizzazione	<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Vapori Outdoor		<input checked="" type="checkbox"/> On-Site		<input type="checkbox"/> Off-Site	
		<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Vapori Indoor		<input checked="" type="checkbox"/> On-Site		<input type="checkbox"/> No Off-site	
	Dilavamento	<input checked="" type="checkbox"/> Lisciviazione in Falda		<input checked="" type="checkbox"/> POC = 0 m		<input type="checkbox"/> POC > 0 m	
Falda	Volatilizzazione	<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Vapori Outdoor		<input checked="" type="checkbox"/> On-Site		<input type="checkbox"/> Off-Site	
		<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Vapori Indoor		<input checked="" type="checkbox"/> On-Site		<input type="checkbox"/> Off-Site	
	Diretto	<input checked="" type="checkbox"/> Protezione risorsa idrica		<input checked="" type="checkbox"/> POC = 0 m		<input type="checkbox"/> POC > 0 m	

Figura 7. Definizione del modello concettuale.

Nella definizione del modello concettuale l’utente deve selezionare, per ciascuna matrice,

le vie di migrazione e di esposizione attive nel sito.

In accordo con quanto previsto dalle linee guida ISPRA (2008), vengono considerate in maniera distinta le seguenti sorgenti secondarie <sup>1</sup>: suolo superficiale (0-1 m dal piano campagna), suolo profondo e falda. Per ciascuna matrice l'utente deve attivare la via di esposizione e successivamente attivare il tipo di bersaglio (on-site, off-site o entrambi). Le diverse caselle di check delle vie di esposizione e i bersagli associati vengono evidenziati in blu se attivati. Nel caso in cui non venga attivato nessun bersaglio per una via di esposizione attiva questa diventa di color rosso indicativa di una ricostruzione incompleta del modello concettuale.

L'elenco completo dei diversi percorsi di migrazione e di esposizione attivabili nel software per ciascuna matrice sono riportati in Tabella 2.

Tabella 2. Vie di esposizione/migrazione attivabili

Via di esposizione/migrazione		On-Site	Off-Site
Suolo Superficiale	Contatto dermico (contatto diretto)	V	---
	Ingestione di Suolo (contatto diretto)	V	---
	Inalazione di Vapori Outdoor	V	V
	Inalazione di Vapori Indoor	V	---
	Inalazione di Polveri Outdoor	V	V
	Inalazione di Polveri Indoor	V	---
	Lisciviazione in falda	V	V
Suolo Profondo	Inalazione di Vapori Outdoor	V	V
	Inalazione di Vapori Indoor	V	---
	Lisciviazione in falda	V	V
Falda	Inalazione di Vapori Outdoor	V	V
	Inalazione di Vapori Indoor	V	V
	Protezione Risorsa Idrica	V	V

Per alcune vie di esposizione è possibile definire dei percorsi off-site (ovvero al di fuori della zona sorgente). Per quanto riguarda il percorso di lisciviazione e di protezione della risorsa idrica, con POC viene indicato il punto di conformità. Pertanto se viene attivata la casella "POC = 0 m", il rischio per la risorsa idrica (se attivata nella schermata Recettori) nel caso della lisciviazione da suolo superficiale e profondo viene calcolato confrontando le concentrazioni attese in falda sulla verticale rispetto alla sorgente presente nel suolo

<sup>(1)</sup> La sorgente primaria è rappresentata dall'elemento che è causa di inquinamento (es. accumulo di rifiuti); quella secondaria è identificata con il comparto ambientale oggetto di contaminazione (suolo, acqua, aria).

(non si tiene conto di un eventuale attenuazione della contaminazione dovuta al trasporto in falda) e i valori limite definiti dalla normativa per le acque sotterranee (CSC, Concentrazioni Soglia di Contaminazione). Nel caso di contaminazione in falda attivando la casella POC = 0 m, il software calcola il rischio per la risorsa idrica semplicemente confrontando le concentrazioni in falda definite dall'utente con le CSC per le acque sotterranee. Si sottolinea che sebbene il software permetta di attivare entrambe le opzioni (POC=0 m e POC>0 m) è evidente che se vengono attivate entrambe, le CSR finali calcolate per la protezione della risorsa idrica saranno quelle stimate considerando POC=0 m. Pertanto, in funzione del caso in esame, l'utente dovrà prestare particolare attenzione a quale delle due opzioni mantenere attiva.

La Tabella 3 riporta i fattori di trasporto utilizzati per le diverse vie di esposizione attivate. Per un maggior dettaglio riguardo i simboli e le equazioni utilizzate si rimanda a quanto descritto in appendice.

Tabella 3. Fattori di trasporto utilizzati per ciascuna via di esposizione.

Via di esposizione/migrazione		On-Site	Off-Site
Suolo Superficiale	Contatto dermico (contatto diretto)	Diretto	---
	Ingestione di Suolo (contatto diretto)	Diretto	---
	Inalazione di Vapori Outdoor	$VF_{ss}$	$VF_{ss} \times ADF$
	Inalazione di Vapori Indoor	$VF_{ssesp}$	---
	Inalazione di Polveri Outdoor	PEF	$PEF \times ADF$
	Inalazione di Polveri Indoor	$PEF_{in}$	---
	Lisciviazione in falda	$LF_{ss}$	$LF_{ss} \times DAF$
Suolo Profondo	Inalazione di Vapori Outdoor	$VF_{samb}$	$VF_{samb} \times ADF$
	Inalazione di Vapori Indoor	$VF_{sesp}$	---
	Lisciviazione in falda	$LF_{sp}$	$LF_{sp} \times DAF$
Falda	Inalazione di Vapori Outdoor	$VF_{wamb}$	$VF_{wamb} \times ADF^*$
	Inalazione di Vapori Indoor	$VF_{wesp}$	$VF_{wesp} \times DAF$
	Protezione Risorsa Idrica	Diretto	DAF

(\*) L'utente per la volatilizzazione off-site da falda può selezionare anche l'opzione di trasporto off-site in falda (DAF) e successiva volatilizzazione.

Cliccando sulla scheda "Caratterizzazione integrativa" si accede alla schermata mostrata in Figura 8. In questa schermata è possibile definire eventuali monitoraggi effettuati nel sito tramite campagne di monitoraggio in aria, nel soil-gas, tramite camere di flusso o sulla base di test di cessione effettuati su campioni prelevati nel suolo superficiale o profondo.

## Impostazione della simulazione (Setup)

In questa schermata è inoltre possibile definire se tali dati dovranno essere considerati per effettuare delle valutazioni sull'esposizione on-site e/o off-site. Nel caso in cui vengano attivate una o più caselle, l'utente deve definire nelle diverse schermate di input i contaminanti ricercati, le concentrazioni misurate e le caratteristiche del campionamento in tale campagne. In più in questo caso nelle diverse schermate di output verranno mostrati i risultati relativi a tali monitoraggi.

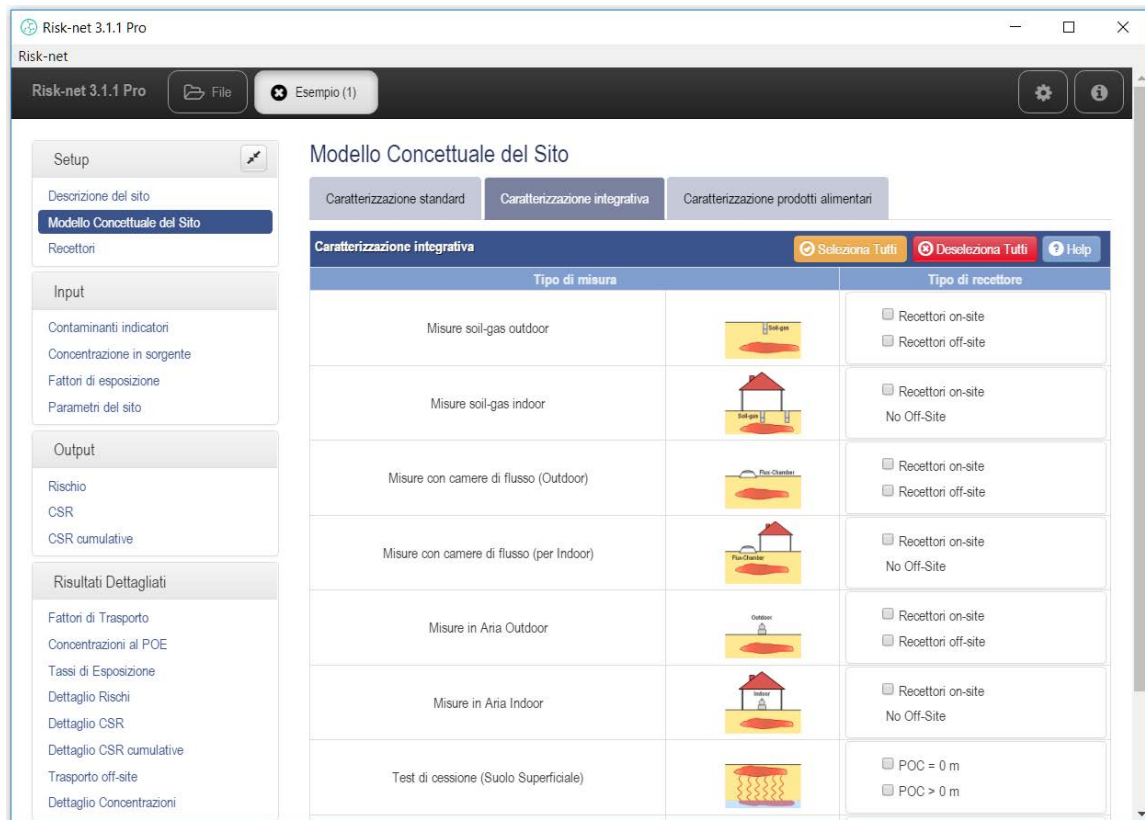


Figura 8. Caratterizzazione integrativa.

Cliccando sulla scheda "Caratterizzazione prodotti alimentari" si accede alla schermata mostrata in Figura 9. In questa schermata, l'utente può attivare la procedura di valutazione dei rischi per i prodotti agroalimentari in accordo con quanto previsto dal D.M. 46 del 1 marzo 2019 per le aree agricole. Una volta attivata la checkbox l'utente può inserire fino a 10 prodotti agroalimentari su cui sono stati effettuati i controlli per i parametri che superano i valori delle CSC nei terreni. Per inserire il prodotto è sufficiente definirne il nome.

## Impostazione della simulazione (Setup)

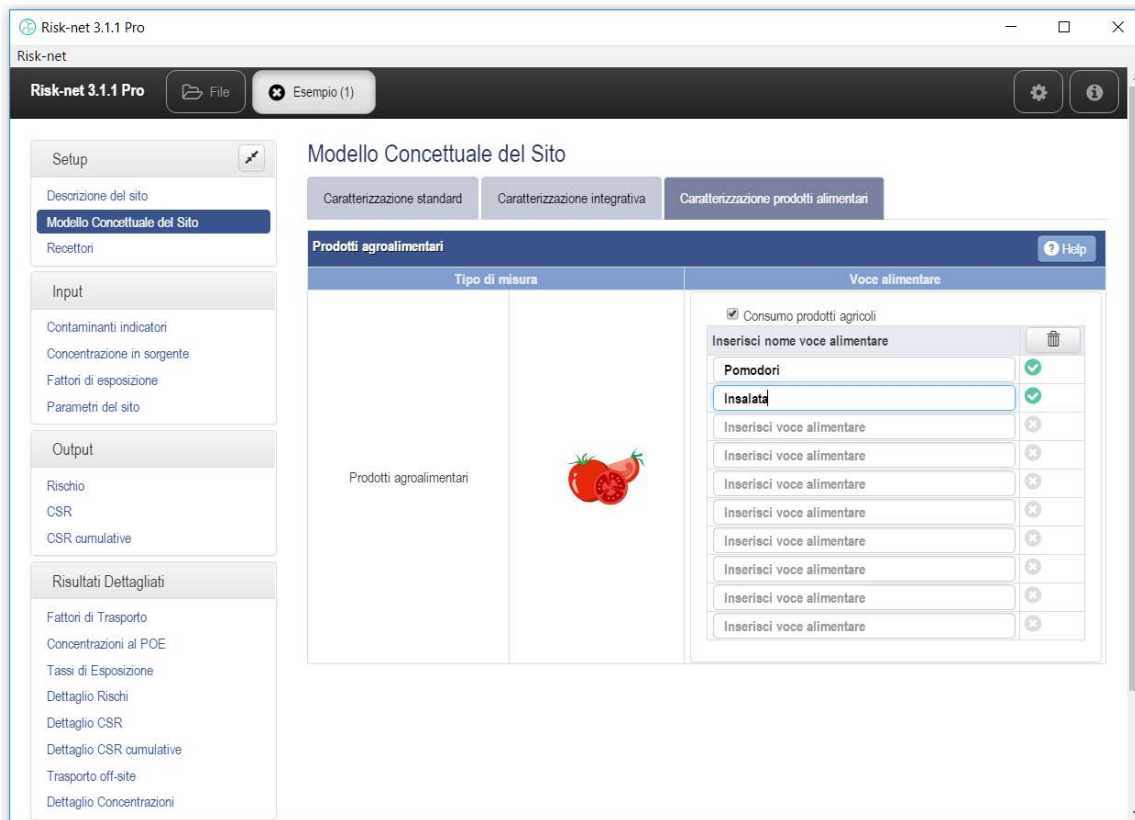


Figura 9. Caratterizzazione prodotti alimentari.

## RECETTORI

Cliccando sulla voce “Recettori” del menù “Setup”, si accede alla schermata mostrata in Figura 10.

In questa schermata l'utente deve selezionare i bersagli della contaminazione.

L'utente deve scegliere tra le seguenti opzioni:

- ✓ **Adulti e Bambini - Adjusted (Ambito Residenziale o Ricreativo<sup>2</sup>):** attivando questa opzione si considera per i composti cancerogeni una esposizione mediata tra il bambino e l'adulto mentre per i composti non cancerogeni si può scegliere, tramite il checkbox presente nella schermata, se assumere l'esposizione del bambino (Opzione di default) o scegliere il recettore più critico in funzione dei parametri

<sup>(2)</sup> La differenza tra Residenziale e Ricreativo può essere definita attraverso i parametri di esposizione. Ad esempio il documento ISPRA (2008) indica una frequenza giornaliera outdoor di 3 ore per uno scenario ricreativo contro 24 ore per un ambito residenziale.

- impostati<sup>3</sup>;
- ✓ **Adulti, Bambini, Adolescenti e Anziani (Ambito Residenziale o Ricreativo):** simile all'opzione precedente ma vengono considerati anche gli adolescenti e gli anziani. Anche in questo caso per i composti non cancerogeni si può scegliere, tramite il checkbox presente nella schermata, se assumere l'esposizione del bambino (Opzione di default) o scegliere il recettore più critico in funzione dei parametri di esposizione impostati;
  - ✓ **Lavoratore Adulto (Industriale o Commerciale).**

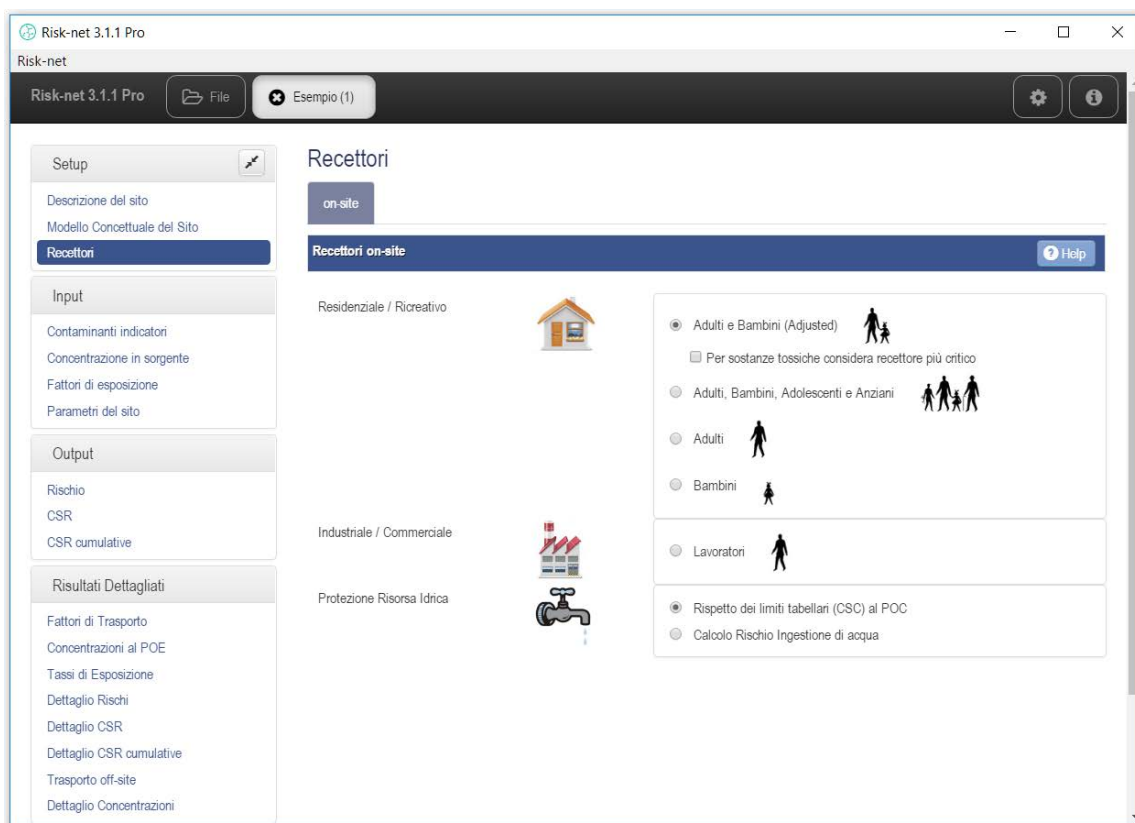


Figura 10. Selezione dello scenario di esposizione.

Nel caso in cui sia attiva la lisciviazione o il trasporto in falda, l'utente deve selezionare se calcolare il rischio per la risorsa idrica<sup>4</sup> (in conformità con quanto previsto dal D.Lgs.

<sup>3</sup> Nel caso di utilizzo dei valori di esposizione di default delle linee guida ISPRA (2008) il bambino rappresenta il recettore più critico e pertanto tale opzione risulta superflua.

<sup>(4)</sup> Con l'introduzione del D.Lgs. 04/08 viene imposto il rispetto al punto di conformità (POC) dei limiti prefissati dalla legge per le acque sotterranee.



04/08) o il rischio sanitario associato all'ingestione di acqua (opzione aggiuntiva non conforme alla normativa attuale).

Quanto detto deve essere effettuato in maniera distinta per i bersagli on-site e per quelli off-site a cui si accede dai pulsanti di comando posizionati nella scheda in alto a sinistra. Nel caso in cui non siano attive vie di esposizione per i bersagli on-site o off-site le relative schede vengono oscurate.

## INPUT

Dal menu “Input” si accede alle diverse sezioni per la definizione dei contaminanti indicatori e dei parametri di input richiesti.

## CONTAMINANTI INDICATORI

**Inserimento dei contaminanti.** Cliccando sulla voce “Contaminanti indicatori” del menù “Input” si accede alla schermata mostrata in Figura 11. In questa schermata l’utente deve selezionare i contaminanti indice per il sito in esame (ad es. i contaminanti che hanno evidenziato almeno un superamento delle CSC). Nella finestra di sinistra sono riportati tutti i contaminanti definiti nella banca dati selezionata.

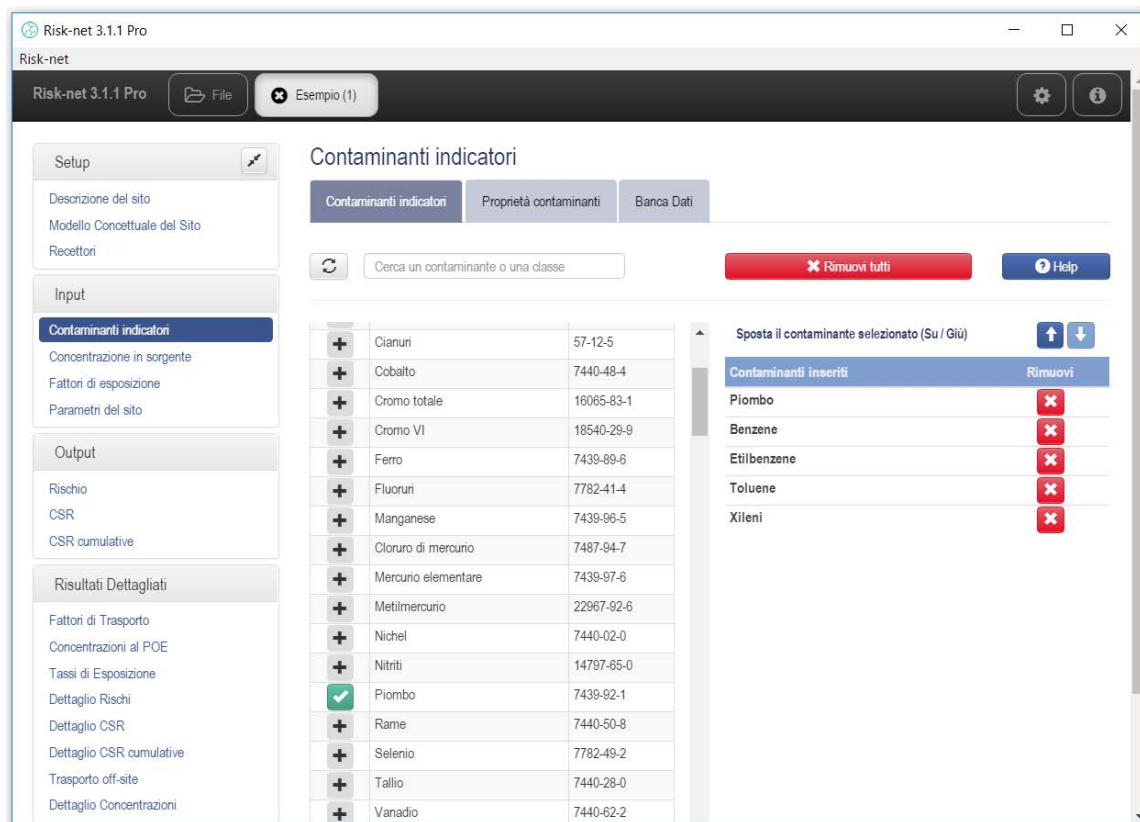








Figura 11. Inserimento dei contaminanti.

Per aggiungere un contaminante è sufficiente premere il pulsante  a sinistra del nome del contaminante (i contaminanti selezionati vengono evidenziati con il simbolo ). Per velocizzare la selezione dei contaminanti è possibile utilizzare il filtro “Cerca un contaminante” utilizzando il riquadro in alto a sinistra (si può effettuare una ricerca non solo in funzione del nome del contaminante ma anche del C.A.S., della classe di riferimento, della volatilità...). Il pulsante  permette di annullare il filtro utilizzato per la ricerca di un contaminante. I contaminanti selezionati vengono aggiunti nella finestra posizionata a destra della schermata. Qui l'utente può modificare l'ordine dei contaminanti indice (selezionando il contaminante di interesse e utilizzando le frecce su e giù  ) o rimuovere uno dei contaminanti selezionati con il pulsante . Il pulsante “Rimuovi tutti” permette di rimuovere rapidamente tutti i contaminanti precedentemente inseriti.

**Proprietà contaminanti.** Cliccando sulla scheda “Proprietà contaminanti” si accede alla schermata mostrata in Figura 12. In questa schermata l'utente può verificare ed eventualmente modificare le proprietà chimico-fisiche, tossicologiche e le concentrazioni soglia di contaminazione (o in assenza i valori suggeriti da ISS o da altri istituti) dei contaminanti selezionati. I parametri modificati rispetto al database originale vengono evidenziati in giallo e i nomi dei contaminanti vengono sottolineati e mostrati in corsivo. Si evidenzia che le modifiche apportate in questa schermata vengono considerate esclusivamente per la specifica simulazione. Pertanto, alla creazione di un nuovo file verranno utilizzati i parametri definiti nel database originale implementato nel software. Si sottolinea che nel caso in cui nelle opzioni di calcolo venga considerata attiva la biodegradazione, in questa schermata è necessario definire per i diversi percorsi di migrazione considerati (volatilizzazione, lisciviazione e trasporto in falda), le costanti di biodegradazione del primo ordine da considerare per la simulazione corrente. Analogamente, qualora nelle opzioni di calcolo si decida di considerare la bioaccessibilità per il calcolo dei rischi per l'ingestione di suolo, in questa schermata è necessario definire la frazione bioaccessibile di ciascun contaminante. La frazione bioaccessibile può variare da un valore nullo (contaminante non bioaccessibile) ad un valore 1 (corrispondente ad un contaminante bioaccessibile al 100%).

The screenshot shows the 'Contaminanti indicatori' section of the Risk-net 3.1.1 Pro software. The 'Banca Dati' tab is active, displaying a table of selected contaminants. The table has the following columns: Contaminante, Vol, Sol, H, Kd, Kd(pH), Koc, Koc(pH), Dair, Dwat, and p. The 'Piombo' row is highlighted, showing a value of 3.00e+1 in the Kd column. Other contaminants listed include Benzene, Etilbenzene, Toluene, and Xileni.

Contaminante	Vol	Sol	H	Kd	Kd(pH)	Koc	Koc(pH)	Dair	Dwat	p
		mg/L	-	L/kg	L/kg	L/kg	L/kg	cm <sup>2</sup> /s	cm <sup>2</sup> /s	kg/L
Piombo	PM			3.00e+1	-	-	-			
Benzene	VOC*	1.79e+3	2.27e-1		-	1.46e+2	-	8.95e-2	1.03e-5	0.877
Etilbenzene	VOC*	1.69e+2	3.22e-1		-	4.46e+2	-	6.85e-2	8.46e-6	0.863
Toluene	VOC*	5.26e+2	2.71e-1		-	2.34e+2	-	7.78e-2	9.20e-6	0.862
Xileni	VOC*	1.06e+2	2.12e-1		-	3.83e+2	-	8.47e-2	9.90e-6	

Figura 12. Proprietà contaminanti.

**Banca Dati.** Cliccando sulla scheda “Banca Dati” si accede alla schermata mostrata in Figura 13. Da qui è possibile visualizzare le proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti presenti nel database selezionato. Il software automaticamente utilizza il “Database di Default” in cui è implementata l’ultima versione della banca dati ISS-INAIL (2018) e i limiti fissati dal D.Lgs 152/06 e s.m.i. (per MtBE, EtBE e Piombo Tetraetile i limiti per i suoli e per le acque sotterranee sono riferiti al D.M. 12 febbraio 2015, n. 31). In questa schermata l’utente può eventualmente aggiungere nuovi contaminanti con il pulsante ‘Aggiungi contaminante’. In questo caso accanto al nome del database comparirà la scritta ‘modified’ e accanto al nome dei contaminanti inseriti la scritta ‘(User)’ (vedi Figura 14). In questa schermata l’utente può anche caricare un database esterno (‘Carica DB esterno’) utilizzando il format del file CSV presente nella cartella “database” che si trova all’interno della cartella di installazione del software. Una volta modificato il file CSV con i dati che si intende utilizzare, si può salvare il file (il percorso su cui salvare il file non deve essere necessariamente quello all’interno del file di installazione) e caricarlo all’interno del

software (utilizzando il pulsante 'Carica DB esterno'). Si sottolinea che il database esterno caricato nel software non viene aggiornato automaticamente nel caso di modifiche del file CSV e pertanto nel caso in cui per una simulazione si decida di modificare alcuni parametri del database esterno è necessario ripetere la procedura di upload del database (utilizzando il pulsante 'Carica DB esterno').

In questa nuova versione del software, è inoltre possibile esportare in formato CSV il database (tramite il pulsante "Esporta Database (CSV)") che può essere successivamente caricato (utilizzando il pulsante 'Carica DB esterno') in altre simulazioni.

Usando il pulsante 'Carica DB Default' viene ripristinato il database originale. Si sottolinea che caricando un database esterno viene disattivata la funzione di calcolo automatico dei coefficienti di ripartizione Koc e Kd che dipendono dal valore di pH definito nel sito.

In questa schermata è inoltre possibile selezionare i parametri tossicologici da utilizzare per il percorso di inalazione vapori. Il software infatti permette di calcolare i rischi e gli obiettivi di bonifica per il percorso di inalazione utilizzando una dose di riferimento (RfD per i non cancerogeni e SF per i cancerogeni) o una concentrazione di riferimento (RfC per i non cancerogeni e IUR per i cancerogeni). La differenza sostanziale tra i due approcci è che il metodo basato sull'utilizzo della dose di riferimento (RfD) prevede una rimodulazione dei rischi in funzione del peso corporeo e del tasso di inalazione mentre il metodo basato sull'utilizzo delle concentrazioni di riferimento (RfC) non prevede rimodulazioni in funzione del peso e del tasso di inalazione. Nella nuova versione della banca dati ISS-INAIL (2018) è previsto per la valutazione dei percorsi di inalazione, l'utilizzo delle concentrazioni di riferimento (RfC per i non cancerogeni e IUR per i cancerogeni). Pertanto, nel caso di utilizzo del Database di default è necessario selezionare tale opzione o nel caso inserire nella banca dati i valori di RfD e SF da utilizzare.

Nell nuova versione della banca dati ISS-INAIL (2018) sono stati individuati i contaminanti per i quali è necessario effettuare le valutazioni sul percorso di inalazione vapori in quanto considerati sufficientemente volatili. Tali contaminanti sono indicati nel database del software con un asterisco (VVOC\*, VOC\*, SVOC\*, VC\* e SCV\*). Pertanto, di default nel software il percorso di volatilizzazione nelle simulazioni (calcolo Rischio e CSR) viene considerato solo per tali contaminanti. Tale opzione può essere disattivata dalla checkbox presente in questa schermata. Si sottolinea che qualora venga utilizzata una banca dati

## Input

esterna, per utilizzare correttamente questa opzione è necessario indicare nella colonna “Vol” i contaminanti considerati sufficientemente volatili (utilizzando gli acronimi VVOC\*, VOC\*, SVOC\*, VC\* e SCV\*).

The screenshot shows the 'Banca Dati' (Database) section of the Risk-net 3.1.1 Pro software. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Setup', 'Input', 'Output', and 'Risultati Dettagliati'. The main area is titled 'Contaminanti indicatori' and contains buttons for 'Carica DB default' and 'Carica DB esterno'. Below these are radio buttons for selecting toxicological parameters and a checkbox for activating the volatilization pathway. At the bottom, there is a table of chemical-physical parameters for various contaminants.

ID	Contaminante	Classe	Org/morg	Vol	Sol	H	f(pH)	Kd	Koc	Dair	Dwat	p
					mg/L	-	-	L/kg	L/kg	cm <sup>2</sup> /s	cm <sup>2</sup> /s	kg/L
1	Alluminio	Inorganici	I	PM	-	-	-	1.50e+3	-	-	-	2.7
2	Antimonio	Inorganici	I	PM	-	-	-	4.50e+1	-	-	-	-
3	Argento	Inorganici	I	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-	10.5
4	Arsenico	Inorganici	I	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-	-
5	Berillio	Inorganici	I	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-	-
6	Boro	Inorganici	I	PM	-	-	-	3.00e+0	-	-	-	2.34

Figura 13. Banca dati.

Si sottolinea inoltre che cambiando per una simulazione già effettuata la banca dati di riferimento, i contaminanti indicatori precedentemente inseriti, vengono sostituiti con quelli aventi lo stesso numero di ID nella nuova banca dati. Nel caso in cui nella nuova banca dati un contaminante precedentemente inserito non fosse presente (ovvero nella nuova banca dati non fosse presente un contaminante con lo stesso ID), il software per quel specifico contaminante, mantiene i parametri chimico-fisici e tossicologici presenti nella banca dati utilizzata nella vecchia simulazione.

## Input

Setup

Descrizione del sito  
Modello Concettuale del Sito  
Reattori

Input

Contaminanti indicatori  
Concentrazioni in sorgente  
Fattori di esposizione  
Parametri del sito

Output

Rischio  
CSR  
CSR cumulative

Risultati Dettagliati

Fattori di Trasporto  
Concentrazioni al POE  
Tassi di Esposizione  
Dettaglio Rischi  
Dettaglio CSR  
Dettaglio CSR cumulative  
Trasporto off-site  
Dettaglio Concentrazioni

### Contaminanti indicatori

Contaminanti indicatori Proprietà contaminanti Banca Dati

★ Carica DB default Carica DB esterno

File DB caricato : Default Database (ISS-INAIL, 2018) - Modified

#### Parametri tossicologici da utilizzare per i percorsi di inalazione

Utilizza le RfD e gli SF per il calcolo del percorso di inalazione (vecchio database)  
Utilizza le RfC e gli IUR per il calcolo del percorso di inalazione (nuovo database)

#### Attivazione del percorso di volatilizzazione

Attiva il percorso di volatilizzazione solo per i composti volatili (classi VC\*, VOC\* e SVOC\*)

Cerca un contaminante o una classe

Parametri chimico-fisici Parametri Tossicologici CSC

ID	Contaminante	Classe	Org/Inorg	Vol	Sol	H	f(pH)	Kd	Koc	Dair	Dvrat
					mg/L	-	-	L/kg	L/kg	cm <sup>2</sup> /s	cm <sup>2</sup> /s
149	Contaminant A	✖ Elimina	O	VOC*	100	0.5	-	-	100	0.01	1e-6
1	Alluminio	Inorganici	I	PM	-	-	-	1.50e+3	-	-	-
2	Antimonio	Inorganici	I	PM	-	-	-	4.50e+1	-	-	-
3	Argento	Inorganici	I	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-

Figura 14. Esempio di inserimento di un contaminante nella banca dati.

## CONCENTRAZIONE IN SORGENTE

Cliccando sulla voce “Contaminanti indicatori” del menù “Input” si accede alla schermata mostrata in Figura 15. In questa schermata l’utente deve inserire le concentrazioni misurate per ciascuna matrice attivata nel modello concettuale. In accordo con quanto previsto dalle linee guida ISPRA (2008), vengono distinte le sorgenti in suolo superficiale, suolo profondo e falda. Nel caso in cui siano disponibili dei dati di caratterizzazione integrativa (eluato, soil-gas, flux-chamber o aria) che sono stati attivati nella ‘Caratterizzazione Integrativa’ nella scheda ‘Modello Concettuale del Sito’, in questa schermata è inoltre necessario inserire tali concentrazioni. Nel caso in cui un contaminante sia stato riscontrato solo in una matrice, per deseleggerlo dalla matrice in cui il contaminante risulta conforme, è sufficiente definire una concentrazione nulla (zero) e il contaminante per quella matrice viene deseleggerlo (il check verde a sinistra del nome diventa una 'x' grigia come mostrato a titolo esemplificativo in Figura 15 per

## Input

l'Etilbenzene e il Toluene nel suolo profondo). Nel caso in cui non si inserisca alcun valore, il contaminante viene considerato attivo ma per tale contaminante non sarà possibile procedere con il calcolo del rischio.

Contaminante	Suolo Superficiale		Suolo Profondo		Falda
	Concentrazione nel terreno		Concentrazione nel terreno		Concentrazione in acqua
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/L)	(µg/L)
Piombo	120	105		0	
Benzene	55	55		12	
Etilbenzene	140	0		15	
Toluene	210	0		5	
Xileni	390	62		18	

Figura 15. Definizione della Concentrazione Rappresentativa alla Sorgente.

Per i dati di concentrazioni nelle acque sotterranee e nell'eluato l'utente può scegliere se inserire i dati espressi come µg/L o mg/L (il software convertirà automaticamente le concentrazioni nell'unità di misura richiesta nei calcoli). In maniera analoga l'utente può inserire i dati di concentrazione relativi al soil-gas, alle camere di flusso e in aria come µg/m<sup>3</sup> o mg/m<sup>3</sup>. Nel caso delle camere di flusso inoltre è possibile inserire i dati in termini di concentrazione (camere di flusso dinamiche) o in termini di flusso (camere di flusso dinamiche e statiche). Nel caso in cui si vogliano incollare dei dati da excel, per velocizzare il processo è possibile attivare la casella 'Attiva la funzione copia/incolla da Excel' presente in questa schermata. In questo caso è possibile copiare e incollare l'intera colonna copiata da excel selezionando la prima riga della colonna sulla quale incollare i



## Input

dati. Nel caso in cui siano attive più sorgenti (ad es. suolo superficiale e suolo profondo) tale operazione deve essere effettuata separatamente per ciascuna sorgente. I contaminanti per i quali sono state modificate le proprietà chimico-fisiche e/o tossicologiche, sono sottolineati e in corsivo.

## FATTORI DI ESPOSIZIONE

Cliccando sulla voce “Fattori di esposizione” del menù “Input” si accede alla schermata mostrata in Figura 16.

The screenshot shows the 'Fattori di esposizione' window in Risk-net 3.1.1 Pro. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Setup', 'Input', and 'Output'. The main area contains a table of exposure parameters for different scenarios: on-site, off-site, and food products. The table is organized into several categories:

- Fattori Comuni:** Parameters like body weight (BW), cancer mediation time (AT), exposure duration (ED), and frequency (EF).
- Ingestione di suolo:** Parameters for soil ingestion, such as fraction of soil ingested (FI) and ingestion rate (IR).
- Contatto Dermico:** Parameters for dermal contact, including exposed skin surface (SA) and adherence factor (AF).
- Inalazione di vapori e polveri outdoor:** Parameters for outdoor inhalation, such as frequency (EFgo) and rate (Bo).
- Inalazione di vapori e polveri indoor:** Parameters for indoor inhalation, such as frequency (EFgi).

Parametri di esposizione	Simbolo	UM	On Site					
			Bambini	Adolescenti	Adulti	Anziani	Lavoratore	
<b>Fattori Comuni</b>								
Peso Corporeo	BW	kg	15	15	70	70	70	
Tempo di mediazione cancerogeni	AT	y						70
Durata di esposizione	ED	y	6	10	24	5	25	
Frequenza di esposizione	EF	d/y	350	350	350	350	250	
<b>Ingestione di suolo</b>								
Frazione di suolo ingerita	FI	-	1	1	1	1	1	
Tasso di ingestione suolo	IR	mg/d	200	200	100	100	50	
<b>Contatto Dermico</b>								
Superficie di pelle esposta	SA	cm <sup>2</sup>	2800	2800	5700	5700	3300	
Fattore di aderenza dermica	AF	mg/cm <sup>2</sup> /d	0,2	0,2	0,07	0,07	0,2	
<b>Inalazione di vapori e polveri outdoor</b>								
Frequenza giornaliera outdoor (c)	EFgo	h/d	24	0,5	24	1,9	8	
Tasso di inalazione di vapori e polveri outdoor (a); (b)	Bo	m <sup>3</sup> /h	0,7	0,7	0,9	0,9	2,5	
Frazione di suolo nella polvere outdoor	Fsd	-	1	1	1	1	1	
<b>Inalazione di vapori e polveri indoor</b>								
Frequenza Giornaliera Indoor	EFgi	h/d	24	19,6	24	22,4	8	

Figura 16. Parametri di Esposizione.

La definizione dei parametri di esposizione descrive il modello di comportamento atteso per i diversi bersagli on-site e off-site selezionati. A tal fine è necessario definire la frequenza e la durata di esposizione, il tasso di contatto giornaliero (inalazione, ingestione o contatto dermico), il peso corporeo e il tempo su cui mediare l'esposizione. Tali fattori si

## Input

differenziano a seconda che il recettore sia Adulto, Bambino, Adolescente, Anziano o un Lavoratore.

Tabella 4. Valori di default implementati nel software per Adulti, Bambini e Lavoratori (ISPRA, 2008).

PARAMETRI DI ESPOSIZIONE	SIMBOLO	UNITÀ DI MISURA	RESIDENZIALE		INDUSTRIALE
			ADULTO	BAMBINO	ADULTO
<b>Fattori comuni</b>					
Peso corporeo	BW	kg	<b>70</b>	<b>15</b>	<b>70</b>
Durata di esposizione sost. canc.	AT <sub>c</sub>	anni		<b>70</b>	
Durata di esposizione	ED	anni	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>25</b>
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	<b>350</b>	<b>350</b>	<b>250</b>
<b>Ingestione di suolo</b>					
Frazione di suolo ingerita	FI	adim	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>50</b>
<b>Contatto dermico con suolo</b>					
Superficie di pelle esposta	SA	cm <sup>2</sup>	<b>5700</b>	<b>2800</b>	<b>3300</b>
Fattore di aderenza dermica	AF	mg/cm <sup>2</sup> /giorno	<b>0.07</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>
<b>Inalazione di aria outdoor</b>					
Frequenza giornaliera	EF <sub>go</sub>	ore/giorno	<b>24 (c)</b>	<b>24 (c)</b>	<b>8</b>
Inalazione outdoor (a);(b)	B <sub>o</sub>	m <sup>3</sup> /ora	<b>0.9 (c)</b>	<b>0.7 (c)</b>	<b>2.5</b>
Frazione di particelle nella polvere	F <sub>sd</sub>	adim		<b>1</b>	
<b>Inalazione di aria Indoor</b>					
Frequenza giornaliera	EF <sub>gi</sub>	ore/giorno	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>8</b>
Inalazione indoor (b)	B <sub>i</sub>	m <sup>3</sup> /ora	<b>0.9</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>
Frazione indoor di polvere	F <sub>i</sub>	adim		<b>1</b>	
<b>Ingestione di acqua potabile</b>					
Tasso di ingestione di acqua	IR <sub>w</sub>	L/giorno	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

a) In caso di intensa attività fisica, in ambienti residenziali outdoor il documento ISPRA (2008) suggerisce l'utilizzo di un valore maggiormente conservativo, pari a 1,5 m<sup>3</sup>/ora per gli adulti, e di 1,0 m<sup>3</sup>/ora per i bambini.

b) Per l'ambito commerciale/industriale il documento ISPRA (2008) suggerisce di utilizzare nel caso di dura attività fisica un valore pari a 2,5 m<sup>3</sup>/ora è da utilizzare mentre, nel caso di attività moderata e sedentaria è più opportuno utilizzare un valore rispettivamente pari a 1,5 e 0,9 m<sup>3</sup>/ora.

c) Per l'ambito ricreativo il documento ISPRA (2008) suggerisce di utilizzare una frequenza giornaliera EF<sub>go</sub> = 3 ore/giorno e un tasso di inalazione pari a B<sub>o</sub> = 3.2 m<sup>3</sup>/ora per l'adulto e B<sub>o</sub> = 1.9 m<sup>3</sup>/ora per il bambino.

Per velocizzare il processo di compilazione, vengono richiesti solo i parametri effettivamente utilizzati per il caso specifico in funzione delle vie di esposizione attive e dei bersagli selezionati. In particolare, le caselle in grigio sono i dati non richiesti, mentre i dati da inserire sono riportati nelle celle in bianco. Vengono inoltre evidenziati in giallo i valori che vengono modificati rispetto alle impostazioni di default. Con il pulsante 'Default' è possibile ripristinare i valori suggeriti dalle linee guida ISPRA (Tabella 4). Per quanto

riguarda gli adolescenti e gli anziani, in assenza di indicazioni specifiche sono implementati i parametri suggeriti da ISPRA (2008) per bambini e adulti, rispettivamente. Per i parametri disponibili (ad es. frequenza di esposizione), sono invece utilizzati i valori suggeriti nelle linee guida SNPA (2018) sul soil-gas (Tabella 5).

Tabella 5. Valori di default implementati nel software per Adolescenti e Anziani.

Parametri di esposizione	Simbolo	Unità di Misura	RESIDENZIALE	
			ADOLESCENTI	ANZIANI
<b>Fattori comuni</b>				
Peso corporeo	BW	kg	<b>15 (a)</b>	<b>70 (b)</b>
Durata di esposizione sost. canc.	AT <sub>c</sub>	anni	<b>70 (a,b)</b>	
Durata di esposizione	ED	anni	<b>10 (c)</b>	<b>5 (c)</b>
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	<b>350 (c)</b>	<b>350 (c)</b>
<b>Ingestione di suolo</b>				
Frazione di suolo ingerita	FI	adim	<b>1 (a)</b>	<b>1 (b)</b>
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno	<b>200 (a)</b>	<b>100 (b)</b>
<b>Contatto dermico con suolo</b>				
Superficie di pelle esposta	SA	cm <sup>2</sup>	<b>2800 (a)</b>	<b>5700 (b)</b>
Fattore di aderenza dermica	AF	mg/cm <sup>2</sup> /giorno	<b>0.2 (a)</b>	<b>0.07 (b)</b>
<b>Inalazione di aria outdoor</b>				
Frequenza giornaliera	EF <sub>go</sub>	ore/giorno	<b>0.5 (c)</b>	<b>1.9 (c)</b>
Inalazione outdoor	B <sub>o</sub>	m <sup>3</sup> /ora	<b>0.7 (a)</b>	<b>0.9 (b)</b>
Frazione di particelle nella polvere	F <sub>sd</sub>	adim	<b>1 (a,b)</b>	
<b>Inalazione di aria Indoor</b>				
Frequenza giornaliera	EF <sub>gi</sub>	ore/giorno	<b>19.6 (c)</b>	<b>22.4 (c)</b>
Inalazione indoor (b)	B <sub>i</sub>	m <sup>3</sup> /ora	<b>0.7 (a)</b>	<b>0.9 (b)</b>
Frazione indoor di polvere	F <sub>i</sub>	adim	<b>1 (a,b)</b>	
<b>Ingestione di acqua potabile</b>				
Tasso di ingestione di acqua	IR <sub>w</sub>	L/giorno	<b>1 (a)</b>	<b>2 (b)</b>

a) Per gli adolescenti in assenza di indicazioni specifiche sono implementati i parametri suggeriti da ISPRA (2008) per i bambini.

b) Per gli anziani in assenza di indicazioni specifiche sono implementati i parametri suggeriti da ISPRA (2008) per gli adulti.

c) Valori suggeriti nelle linee guida SNPA (2018) sul soil-gas.

Si evidenzia che nel caso in cui si voglia simulare un ambito ricreativo, in accordo con quanto suggerito nelle linee guida ISPRA (2008), è possibile assumere i valori riportati nelle note della Tabella 4. Per una descrizione dettagliata dei diversi valori si rimanda al documento ISPRA (2008).

Nel caso in cui nel modello concettuale sia stata attivata la voce relativa al consumo di prodotti agroalimentari in questa schermata è possibile definire per ciascuno dei prodotti

inseriti, il tasso di consumo pro capite (vedi Figura 17) per le 4 tipologie di recettore (Bambini, Adolescenti, Adulti e Anziani). Nel caso un determinato prodotto è consumato esclusivamente da una categoria (Ad es. Adulti) è sufficiente non inserire valori per le altre classi.

**Fattori di esposizione**

on-site off-site **Prodotti agroalimentari**

★ Default Risk-net 📄 Copia tabella ? Help

Parametri di esposizione	Simbolo	UM	Prodotti agroalimentari			
			Bambini	Adolescenti	Adulti	Anziani
<b>Fattori Comuni</b>						
Peso Corporeo	BW	kg	15	15	70	70
Tempo di mediazione cancerogeni	AT	y				70
Durata di esposizione	ED	y	6	10	24	5
Frequenza di esposizione	EF	d/y	350	350	350	350
<b>Tasso di consumo alimentare pro capite</b>						
Pomodori	IRagr	g/d	1	5	5	3
Insalata	IRagr	g/d	1	4	4	2

Figura 17. Consumo prodotti agricoli (i valori di tasso di consumo mostrati in figura sono a scopo puramente illustrativo).

## PARAMETRI DEL SITO

Cliccando sulla voce “Parametri del sito” del menù “Input” si accede alla schermata mostrata in Figura 18 in cui è necessario definire diversi parametri inerenti la geometria e le caratteristiche del sito.

The screenshot shows the 'Parametri del sito' window in Risk-net 3.1.1 Pro. The window title is 'Risk-net 3.1.1 Pro' and the file name is 'Esempio (1)'. The sidebar on the left has 'Parametri del sito' selected under the 'Input' category. The main area displays a table of parameters for site characteristics.

Descrizione		Valore			
Parametro	Simbolo	Default	Sito-Specifico	UM	check
<b>Geometria Sorgenti</b>					
<input checked="" type="checkbox"/> Stessa dimensione per tutte le sorgenti					
Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	W	45	50	m	✓
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	Sw	45	45	m	✓
Altezza della zona di miscelazione in aria	δair	2	2	m	✓
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W	45	45	m	✓
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	Sw	45	45	m	✓
<b>Suolo Superficiale</b>					
Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	Ls,SS	0	0	m	✓
Spessore della sorgente nel suolo superficiale insaturo	d	1	1	m	✓
<b>Suolo Profondo</b>					
Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	Ls,SP	1	1	m	✓
Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo	ds	2	2	m	✓
<b>Falda</b>					
Soggiacenza della falda da p.c.	Lgw	3	3	m	✓

Figura 18. Caratteristiche del sito.

Per ciascun parametro, può essere definito il dato sito-specifico o impostare i valori di default, pre-caricati nel software, forniti nel documento ISPRA (2008). Le caselle in giallo evidenziano i parametri modificati rispetto al default. I diversi parametri richiesti sono raggruppati in diversi sottogruppi 'Geometria Sorgenti', 'Zona Insatura', 'Zona Saturata', 'Outdoor', 'Indoor', 'Indoor (Off-site)' e 'Monitoraggio soil-gas'.

Per velocizzare il processo di inserimento vengono richiesti solo i dati utilizzati per il calcolo (caselle in bianco), in funzione delle matrici e delle vie di esposizione attive. Le

caselle in grigio sono i dati non richiesti o i dati calcolati/derivati da stime indirette.

Di seguito vengono brevemente descritte le opzioni attivabili in queste schermate.

**Stessa dimensione per tutte le sorgenti.** Di default nel software viene assunta la stessa geometria della sorgente per le diverse matrici selezionate nel modello concettuale (ad es. suolo superficiale, suolo profondo e falda). Qualora la dimensione delle sorgenti nelle diverse matrici risultasse diversa, è possibile togliere la spunta al checkbox “Stessa dimensione per tutte le sorgenti”. In questo caso è possibile definire in maniera distinta i parametri geometrici relativi a ciascun comparto ambientale.

**Inserisci lente.** Attivando questa opzione, l'utente può tener conto per il calcolo dei rischi e delle CSR per volatilizzazione outdoor e indoor da suolo profondo e falda della presenza di una lente di terreno ad alto contenuto d'acqua posta tra la sorgente di contaminazione e il piano campagna. In particolare, attivando questa opzione viene richiesto di definire lo spessore, la porosità e il contenuto d'acqua della lente. Tali parametri vengono utilizzati per stimare la diffusione molecolare attraverso tale strato (per maggiori dettagli si rimanda alle equazioni riportate negli allegati).

**Selezione Tessitura.** Per le caratteristiche specifiche della tipologia di terreno riscontrata nel sito, l'utente può scegliere, dal menu a tendina, se utilizzare i dati indicati nel documento ISPRA (2008) o definire dei dati sito-specifici selezionando dal menu a tendina la voce “Sito-Specifico”. In Tabella 6 sono riportati i dati implementati nel software relativi alle diverse tipologie di terreno.

Tabella 6: Proprietà del terreno in funzione della tessitura selezionata.

TESSITURA	$K_{sat}$ cm/s	$\theta_r$ adim.	$\theta_e$ adim.	$\theta_a$ adim.	$\theta_w$ adim.	$\theta_{acap}$ adim.	$\theta_{wcap}$ adim.	$h_{cap}$ cm
SAND	8.25E-03	0.045	0.385	0.317	0.068	0.055	0.33	10
LOAMY SAND	4.05E-03	0.057	0.353	0.25	0.103	0.035	0.318	18.8
SANDY LOAM	1.23E-03	0.065	0.345	0.151	0.194	0.057	0.288	25
SANDY CLAY LOAM	3.64E-04	0.1	0.29	0.112	0.178	0.042	0.248	25.9
LOAM	2.89E-04	0.078	0.352	0.139	0.213	0.035	0.317	37.5
SILT LOAM	1.25E-04	0.067	0.383	0.128	0.255	0.086	0.297	68.2

## Input

TESSITURA	$K_{sat}$ cm/s	$\theta_r$ adim.	$\theta_e$ adim.	$\theta_a$ adim.	$\theta_w$ adim.	$\theta_{acap}$ adim.	$\theta_{wcap}$ adim.	$h_{cap}$ cm
CLAY LOAM	7.22E-05	0.095	0.315	0.115	0.2	0.027	0.288	46.9
SILTY CLAY LOAM	1.94E-05	0.089	0.341	0.095	0.246	0.024	0.317	133.9
SILTY CLAY	5.56E-06	0.07	0.29	0.016	0.274	0.008	0.282	192
SILT	6.94E-05	0.034	0.426	0.148	0.278	0.043	0.383	163
SANDY CLAY	3.33E-05	0.1	0.28	0.052	0.228	0.028	0.252	30
CLAY	5.56E-05	0.068	0.312	0.008	0.304	0.004	0.308	81.5
Sito-Specifico	Definiti dall'Utente							

**Infiltrazione Efficace.** L'utente può scegliere se calcolare tale parametro in funzione della piovosità e della tipologia di terreno selezionata (utilizzando le equazioni empiriche descritte nel documento ISPRA (2008) e riportate negli allegati del manuale) o inserirlo manualmente.

**Telo in HDPE o strato a bassa permeabilità tra la sorgente e la falda.** Attivando questa opzione l'utente può definire le caratteristiche di un telo in HDPE presente al di sopra della sorgente di contaminazione o di uno strato a bassa permeabilità tra la sorgente e la falda. Tali dati vengono utilizzati nel software per calcolare l'infiltrazione efficace nel sottosuolo che entra in gioco nel percorso di lisciviazione. Le equazioni utilizzate per tali stime sono riportate negli allegati e si riferiscono ai modelli descritti nelle linee guida sull'analisi di rischio per le discariche redatte da ISPRA (2005). Si sottolinea che il telo in HDPE e lo strato a bassa permeabilità inseriti in questa schermata vengono utilizzati esclusivamente per il percorso di lisciviazione (non entrano in gioco per la volatilizzazione).

**Dispersione in falda.** L'utente può scegliere se inserirle manualmente o calcolarle in funzione della distanza dal punto di conformità (per maggiori dettagli si rimanda alle equazioni riportate negli allegati).

**Calcola velocità del vento.** La velocità del vento da inserire nel software deve essere riferita all'altezza della zona di miscelazione in aria (che di default è posta pari a 2 m di altezza da p.c.). Se i dati disponibili per la velocità del vento sono riferiti ad altezze superiori (tipicamente i dati delle centraline sono riferiti ai valori a 10 m di altezza) è

possibile calcolare il valore atteso all'altezza di interesse utilizzando le equazioni empiriche riportate nel documento ISPRA (2008). Tali equazioni sono state implementate nel software ed è possibile utilizzarle attivando la checkbox "Calcolato" posizionata in corrispondenza della cella di riferimento.

**Fattori di dispersione in atmosfera.** L'utente può scegliere se inserirle manualmente o calcolarle in funzione della classe di stabilità e della distanza dei recettori off-site utilizzando le equazioni empiriche riportate nel documento ISPRA (2008).

**Differenza di pressione tra outdoor e indoor.** Nel caso in cui nel sito in esame siano rilevanti i processi di trasporto convettivi di vapori all'interno dell'ambiente indoor, l'utente deve inserire un valore di " $\Delta p$ " superiore a zero ed inserire i parametri aggiuntivi richiesti.

**Flusso convettivo indoor sito-specifico.** Se disponibili è possibile inserire dei valori sito-specifici del flusso convettivo entrante nell'edificio nel caso di edifici in depressione.

**Fattore di attenuazione empirici del soil-gas.** Nel caso del monitoraggio soil-gas, l'utente può inserire dei fattori di attenuazione empirici che vengono utilizzati per il calcolo del rischio di inalazione al posto dei modelli analitici implementati nel software. In particolare, attivando questa opzione è possibile utilizzare i fattori di attenuazione riportati nelle nuove linee guida SNPA (2018) sul soil-gas.

## GESTIONE DEGLI ERRORI

Nel software sono implementati alcuni controlli che avvisano l'utente in caso di errato inserimento, concettuale o numerico, dei diversi parametri di input inerenti le caratteristiche del sito e i fattori di esposizione. In particolare, durante la compilazione dei parametri caratteristici del sito viene effettuato un controllo sui valori inseriti (Figura 19). In caso di inserimento di un parametro fuori dal range tipico o nel caso di definizione di parametri incoerenti, viene riportato un avviso nella colonna a destra di quella di input (colonna "check"). I parametri per i quali non viene effettuata tale verifica sono indicati nella colonna di controllo con "no check".



# Input

Risk-net 3.1.1 Pro

Risk-net

Risk-net 3.1.1 Pro File Esempio (1)

Setup

- Descrizione del sito
- Modello Concettuale del Sito
- Receptor

Input

- Contaminanti indicatori
- Concentrazione in sorgente
- Fattori di esposizione
- Parametri del sito**

Output

- Rischio
- CSR
- CSR cumulative

Risultati Dettagliati

- Fattori di Trasporto
- Concentrazioni al POE
- Tassi di Esposizione
- Dettaglio Rischi
- Dettaglio CSR
- Dettaglio CSR cumulative
- Trasporto off-site
- Dettaglio Concentrazioni

### Parametri del sito

Attenzione: Alcuni parametri non sono stati definiti correttamente. Correggerli prima di procedere.

Geometria Sorgenti    Zona Insatura    Zona Saturata    Outdoor    Indoor    Monitoraggio soil-gas

**Geometria Sorgenti**    ★ Default    📄 Copia tabella    ? Help

Descrizione	Parametro	Simbolo	Valore			UM	check
			Default	Sito-Specifico			
<b>Geometria Sorgenti</b>							
<input checked="" type="checkbox"/> Stessa dimensione per tutte le sorgenti							
Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	W	45		50	m	✓	
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	Sw	45		45	m	✓	
Altezza della zona di miscelazione in aria	δair	2		2	m	✓	
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'	45		0	m	W' < 0	
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	Sw'	45		45	m	✓	
<b>Suolo Superficiale</b>							
Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	Ls,SS	0		0	m	✓	
Spessore della sorgente nel suolo superficiale insaturo	d	1		1	m	✓	
<b>Suolo Profondo</b>							
Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	Ls,SP	1		1	m	✓	
Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo	ds	2		2	m	✓	
<b>Falda</b>							
Sogliaenza della falda da p.c.	Lgw	3		3	m	✓	

Figura 19. Controllo sugli errori di tipo concettuale.

## OPZIONI DI CALCOLO

Nel software sono implementate, come impostazioni di base (default), le equazioni e i criteri di calcolo definiti nelle linee guida ISPRA (2008). Tuttavia, per rendere più versatile lo strumento è possibile attivare e definire alcune opzioni di calcolo integrative. Per visualizzare o modificare le opzioni attive, l'utente deve accedere alle "Opzioni di calcolo" dal menù "Opzioni Avanzate" (Figura 20). Tali opzioni sono suddivise nelle seguenti schede: "Volatilizzazione", "Lisciviazione", "Dispersione in falda", "Csat", "Esposizione" e "Limiti".

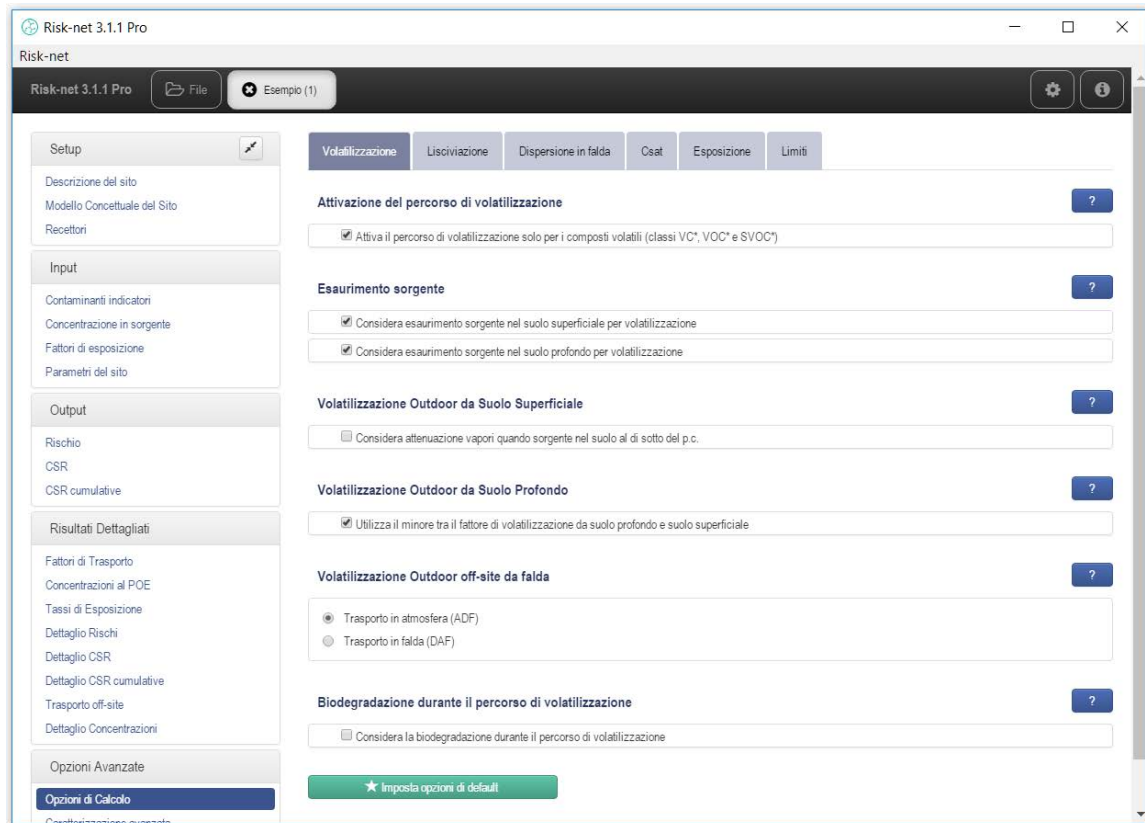


Figura 20. Opzioni di calcolo.

Di seguito vengono brevemente descritte le diverse opzioni.

## VOLATILIZZAZIONE

Dalla scheda “Volatilizzazione” è possibile attivare le seguenti opzioni:

**Esaurimento Sorgente.** Per la volatilizzazione da suolo (superficiale e profondo) è possibile stabilire se considerare, tramite i bilanci di materia definiti nel documento ISPRA (2008), l'esaurimento della sorgente. Nel caso in cui sia attiva questa opzione, il fattore di trasporto per volatilizzazione (outdoor ed indoor) viene calcolato selezionando, per ciascun contaminante, il valore minore tra il fattore di trasporto e l'equazione di bilancio di materia (Tabella 7). Per un maggior dettaglio riguardo i simboli e le equazioni utilizzate, si rimanda a quanto descritto in appendice.

Tabella 7. Fattori di trasporto considerando o meno l'esaurimento della sorgente.

Via di migrazione		Opzione attiva	Opzione non attiva
Suolo Superficiale	Volatilizzazione Outdoor	$VF_{ss} = \min [VF_{ss} (1); VF_{ss} (2)]$	$VF_{ss} = VF_{ss}(1)$
	Volatilizzazione Indoor	$VF_{ssesp} = \min [VF_{ssesp} (1); VF_{ssesp} (2)]$	$VF_{ssesp} = VF_{ssesp} (1)$
	Lisciviazione in falda	$LF_{ss} = \min [LF_{ss} (1); LF_{ss} (2)]$	$LF_{ss} = LF_{ss} (1)$
Suolo Profondo	Volatilizzazione Outdoor	$VF_{samb} = \min [VF_{samb} (1); VF_{samb} (2)]$	$VF_{samb} = VF_{samb} (1)$
	Volatilizzazione Indoor	$VF_{sesp} = \min [VF_{sesp} (1); VF_{sesp} (2)]$	$VF_{sesp} = VF_{sesp} (1)$
	Lisciviazione in falda	$LF_{sp} = \min [LF_{sp} (1); LF_{sp} (2)]$	$LF_{sp} = LF_{sp} (1)$

**Volatilizzazione Outdoor da Suolo Superficiale.** Attivando questa opzione, nel caso in cui la sorgente nel suolo superficiale non si estenda fino al piano campagna, il fattore di trasporto viene calcolato utilizzando l'equazione definita per il suolo profondo.

**Volatilizzazione Outdoor da Suolo Profondo.** Attivando questa opzione, nel caso di contaminazione nel suolo profondo, il software verifica che la volatilizzazione da suolo profondo non risulti superiore a quella che si avrebbe per contaminazione nel suolo superficiale (scegliendo il valore minore tra i due fattori di trasporto ovvero  $VF_{samb}$  e

VFss).

**Volatilizzazione Outdoor off-site da falda.** Nel caso di contaminazione in falda, è possibile valutare il trasporto off-site dei vapori considerando la volatilizzazione on-site dalla sorgente e successiva dispersione dei contaminanti in atmosfera (ADF) o trasporto off-site in falda (DAF) e successiva volatilizzazione.

**Biodegradazione durante il percorso di volatilizzazione.** Attivando questa opzione<sup>5</sup> è possibile tener conto della biodegradazione aerobica dei vapori durante il trasporto nel sottosuolo. In questo caso per l'applicazione del modello è necessario definire nella schermata con le proprietà dei contaminanti le costanti di biodegradazione del primo ordine e nella schermata con le caratteristiche del sito la profondità della zona aerobica.

## LISCIVIAZIONE

Dalla scheda "Lisciviazione" è possibile attivare le seguenti opzioni:

**Esaurimento Sorgente.** Per la lisciviazione da suolo (superficiale e profondo) in falda è possibile stabilire se considerare, tramite i bilanci di materia definiti nel documento ISPRA (2008), l'esaurimento della sorgente<sup>6</sup>. Nel caso in cui sia attiva questa opzione, il fattore di trasporto per la lisciviazione viene calcolato selezionando, per ciascun contaminante, il valore minore tra il fattore di trasporto e l'equazione di bilancio di materia (Tabella 7). Per un maggior dettaglio riguardo i simboli e le equazioni utilizzate, si rimanda a quanto descritto in appendice.

**Soil Attenuation Model (SAM).** Attivando questa opzione nel calcolo del fattore di trasporto per lisciviazione in falda si tiene conto dell'attenuazione dovuta alla ridistribuzione in massa dell'inquinante durante il percorso di lisciviazione da suolo in

---

<sup>5</sup> Si sottolinea che tale opzione non è prevista nelle linee guida ISPRA (2008). L'equazione utilizzata in questo caso risulta una versione semplificata del modello: Verginelli, I., Baciocchi, R. (2014). Vapor intrusion screening model for the evaluation of risk-based vertical exclusion distances at petroleum contaminated sites. *Environmental science & technology*, 48(22), 13263-13272.

<sup>6</sup> Per il calcolo dell'esaurimento della sorgente per lisciviazione è stata implementata l'equazione LF (4) descritta nell'Appendice B del documento ISPRA (2008), ma non prevista nella procedura delineata nel documento principale.

falda. Per maggiori dettagli si rimanda alle equazioni per il calcolo dei fattori di trasporto riportati in appendice.

**Biodegradazione durante il percorso di lisciviazione.** Attivando questa opzione<sup>7</sup> è possibile tener conto della biodegradazione dei contaminanti durante il percorso di lisciviazione. In questo caso per l'applicazione del modello è necessario definire nella schermata con le proprietà dei contaminanti le costanti di biodegradazione del primo ordine.

### DISPERSIONE IN FALDA

Dalla scheda "Dispersione in falda" è possibile attivare le seguenti opzioni:

**Dispersione in falda.** Per il trasporto in falda è possibile selezionare il tipo di equazione da utilizzare in funzione della dispersione attesa (dispersione in tutte le direzioni, verticale e laterale o solo laterale). In particolare, è possibile scegliere tra:

- DAF(1) = fenomeno dispersivo in tutte le direzioni (x,y,z).
- DAF(2) = in questo caso si assume che ci sia dispersione trasversale e longitudinale in tutte le direzioni mentre per la dispersione verticale si assume che avvenga solo verso il basso.
- DAF(3) = in questo caso si assume che non ci sia dispersione verticale ma solo longitudinale e trasversale.

Le equazioni utilizzate nei diversi casi sono riportate in appendice.

**Verifiche sullo spessore di miscelazione in falda.** Attivando questa opzione il software utilizza automaticamente il DAF3 nel caso in cui lo spessore di miscelazione calcolato coincida con lo spessore della falda.

**Biodegradazione durante il percorso di lisciviazione.** Attivando questa opzione è possibile tener conto della biodegradazione dei contaminanti durante il trasporto in falda. In questo caso per l'applicazione del modello è necessario definire nella schermata con le

---

<sup>7</sup> Si sottolinea che tale opzione non è prevista nella procedura delineata nel documento principale delle linee guida ISPRA (2008). L'equazione utilizzata in questo caso risulta il Biodegradation Factor (BDF) descritto nell'Appendice B delle linee guida ISPRA.

proprietà dei contaminanti le costanti di biodegradazione del primo ordine.

## CSAT

Dalla scheda “Csat” è possibile attivare le seguenti opzioni:

**Concentrazione di saturazione (Csat).** In questa scheda è possibile attivare l’opzione “Considera Csat per calcolo del Rischio e delle CSR”. Se viene attivata questa opzione, nel caso di condizioni di saturazione ( $CRS > Csat$ ) per i contatti non diretti (volatilizzazione e lisciviazione) le CRS (Concentrazioni Rappresentative alla sorgente) definite nel caso di applicazione dell’Analisi di Rischio in modalità diretta (Calcolo del Rischio), vengono sostituite con la Concentrazione di Saturazione (Csat). Per i contatti diretti (ad es. ingestione e contatto dermico) tali concentrazioni, seppur superiori alla saturazione sono implementate tal quali nel software, in quanto il recettore può venire a contatto con il contaminante anche in fase separata. In maniera analoga, nei casi<sup>8</sup> in cui le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) calcolate risultano superiori alla Concentrazione di Saturazione (Csat) non vengono restituiti i valori limite per le vie che saturano (volatilizzazione e lisciviazione), ma viene indicato che si è in condizioni di saturazione (viene indicato “>Csat”). Se la CSR (ipotetica) calcolata risulta essere superiore alla concentrazione di saturazione (Csat) infatti non è possibile definire una concentrazione di riferimento per i contatti indiretti (volatilizzazione e lisciviazione) in quanto anche alla massima concentrazione a cui il contaminante può lisciviare (come soluto) o volatilizzare il rischio risulta essere comunque inferiore al limite accettabile (ad es.  $R=10^{-6}$  o  $HI=1$ ). Nel caso in cui venga disattivata l’opzione di verifica della Csat è possibile attivare una sotto-opzione in cui viene verificato il raggiungimento della Csat solo nel calcolo delle CSR ma non nel calcolo diretto del Rischio, in cui la CRS non viene limitata alla Csat. Questa sotto-opzione, sebbene se attivata possa condurre a risultati incoerenti nelle due modalità di calcolo (Calcolo del Rischio e Calcolo delle CSR), è stata prevista per allinearsi con quanto fatto da alcuni software disponibili (ad es. RBCA ToolKit) che effettuano solo la verifica della Csat nel calcolo delle CSR ma non nel calcolo del Rischio.

<sup>8</sup> Tale condizione si verifica spesso per i contaminanti poco solubili come gli Idrocarburi Policiclici Aromatici.

**Esaurimento sorgente.** Attivando l'opzione "Considera l'eventuale presenza di fase separata nel bilancio di materia", nel caso in cui si attivi l'opzione di limitare la concentrazione totale alla  $C_{sat}$ , nel bilancio di materia utilizzato per stimare l'esaurimento della sorgente si tiene conto anche della presenza della fase separata.

## ESPOSIZIONE

Dalla scheda "Esposizione" è possibile attivare le seguenti opzioni:

### **Fattore di aggiustamento dei parametri tossicologici per il bambino (ADAF).**

Attivando l'opzione "In presenza di bambini tieni conto di fattore di aggiustamento (ADAF)" per i contaminanti in cui nella banca dati è definito un ADAF, per i bambini vengono calcolati i rischi e le CSR moltiplicando il fattore di aggiustamento ai parametri tossicologici cancerogeni. Nel documento di supporto alla banca dati ISS-INAIL (2018) viene infatti raccomandato per le sostanze cancerogene che agiscono attraverso un'azione genotossica, di differenziare il valore dei parametri tossicologici cancerogeni (SF Ing., SF Inal.) in funzione che il recettore esposto sia un bambino o un adulto.

**RfD vs RfC.** Il software permette di calcolare i rischi e gli obiettivi di bonifica per il percorso di inalazione utilizzando una dose di riferimento (RfD per i non cancerogeni e SF per i cancerogeni) o una concentrazione di riferimento (RfC per i non cancerogeni e IUR per i cancerogeni) come suggerito nell'ultima versione della banca dati ISS-INAIL. La differenza sostanziale tra i due approcci è che il metodo basato sull'utilizzo della dose di riferimento (RfD) prevede una rimodulazione dei rischi in funzione del peso corporeo e del tasso di inalazione mentre il metodo basato sull'utilizzo delle concentrazioni di riferimento (RfC) non prevede rimodulazioni in funzione del peso e del tasso di inalazione.

**Bioaccessibilità.** Per il percorso di ingestione di suolo, attivando questa opzione il software tiene conto nel calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica della frazione di contaminante effettivamente bioaccessibile all'organismo. Tale frazione può essere definita per ciascun contaminante nella schermata con le proprietà chimico-fisiche degli analiti selezionati.

### LIMITI

Dalla scheda “Limiti” è possibile attivare le seguenti opzioni:

**Limiti accettabili.** Per il calcolo degli obiettivi di bonifica sito-specifici è necessario definire il livello accettabile di rischio, R, per le sostanze cancerogene e l'indice di pericolo, HI, per le sostanze non cancerogene. Nel software sono impostati come default i valori limite definiti dalla normativa vigente (D.Lgs 152/06 e D.Lgs 04/08) pari a  $R=10^{-6}$  e  $HI=1$  per la singola sostanza e  $R=10^{-5}$  e  $HI=1$  per gli effetti cumulati legati alla presenza di più sostanze. Tali limiti possono essere modificati in questa schermata.

### CARATTERIZZAZIONE AVANZATA DEL SITO

Cliccando sulla voce “Caratterizzazione avanzata” del menù “Opzioni Avanzate” si accede alla schermata mostrata in Figura 21.

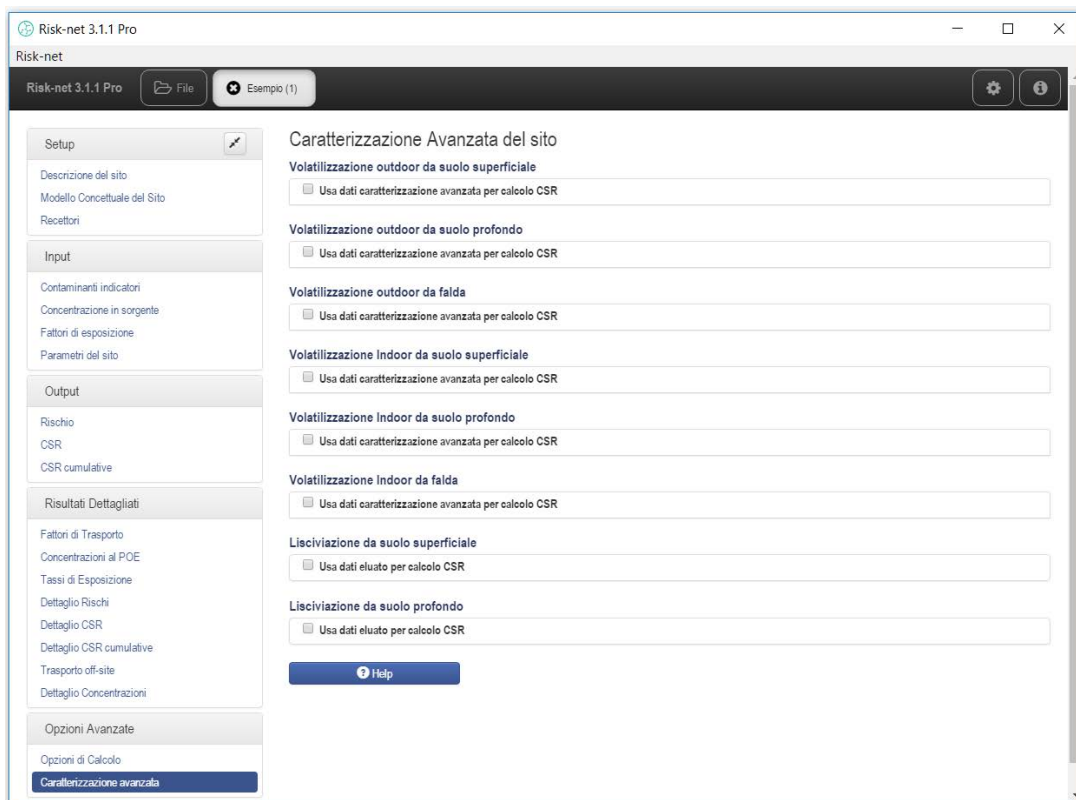


Figura 21. Opzioni di calcolo per la caratterizzazione avanzata del sito.



Di default i dati ottenuti nella caratterizzazione avanzata del sito (ad es. soil-gas, flux-chamber, test di cessione) vengono esclusivamente utilizzati per calcolare in modalità diretta i rischi per i recettori considerati.

In questa schermata è possibile definire se tali dati vogliono essere utilizzati anche per rimodulare le CSR calcolate per le matrici suolo superficiale, suolo profondo e falda. In questo caso i dati ottenuti da tali monitoraggi vengono utilizzati per calcolare dei fattori di trasporto semi-empirici per le sorgenti selezionate che vengono utilizzati per il calcolo delle nuove CSR. Si sottolinea che tale opzione non è prevista nelle linee guida ISPRA (2008) e pertanto si suggerisce di concordare preventivamente con gli enti di controllo la possibilità di effettuare tale rimodulazione. Per un'analisi di maggior dettaglio sull'utilizzo di questi dati per la rimodulazione delle CSR si rimanda a quanto descritto nelle appendici.

## OUTPUT

Una volta inseriti tutti i parametri richiesti dal software è possibile procedere alla visualizzazione degli output. Di seguito vengono descritti gli output principali restituiti dal software.

### CALCOLO RISCHIO

Cliccando sulla voce "Rischio" del menù "Output" si accede alla schermata mostrata in Figura 22. Da qui è possibile visualizzare il rischio e l'indice di pericolo calcolati per la matrice selezionata (che può essere selezionata dalla relativa scheda).

The screenshot shows the 'Rischio' (Risk) calculation screen in the Risk-net 3.1.1 Pro software. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Setup', 'Input', 'Output', and 'Risultati Dettagliati'. The main area displays a table titled 'Rischio da Suolo Superficiale' with columns for Contaminante, CRS, f, CRS/f, Csat, Cres, R (HI), HI (HI), and Rgw (GW). The table lists contaminants like Piombo, Benzene, Etilbenzene, Toluene, and Xileni, along with their calculated risk values. Summary rows for 'Cumulato Outdoor (On-site)' and 'Cumulato Indoor (On-site)' are also present.

Contaminante	CRS mg/kg	f	CRS/f mg/kg	Csat mg/kg	Cres mg/kg	R (HI)	HI (HI)	Rgw (GW)
Piombo	1.20e+2		1.20e+2	-	-	1.65e-5	4.51e-1	3.08e+1
Benzene	5.50e+1		5.50e+1	2.78e+3	1.01e+4	1.13e-3	1.13e+1	2.73e+3
Etilbenzene	1.40e+2		1.40e+2	7.72e+2	7.94e+3	9.23e-4	8.62e-1	4.72e+1
Toluene	2.10e+2		2.10e+2	1.28e+3	8.44e+3	-	2.58e-1	4.42e+2
Xileni	3.90e+2		3.90e+2	4.16e+2	4.16e+2	-	2.40e+1	-
<b>Cumulato Outdoor (On-site)</b>						1.11e-5	7.67e-1	
<b>Cumulato Indoor (On-site)</b>						2.05e-3	3.64e+1	

Figura 22. Calcolo del Rischio.

In questa schermata vengono riportati tutti i contaminanti selezionati per la matrice di

interesse. Nella seconda colonna della tabella vengono riportate le Concentrazioni Rappresentative alla sorgente (CRS) definite dall'utente. I rischi (R) e gli indici di pericolo (HI) riportati in questa tabella sono individuati calcolando il rischio e l'indice di pericolo per ciascuna via di esposizione e scegliendo il valore più conservativo (ovvero il valore maggiore) tra i rischi derivanti da esposizione in ambienti confinati (indoor), da esposizione in ambienti aperti (outdoor) e da ingestione di acqua (se viene attivata questa opzione). Nel caso sia stato imposto il rispetto delle CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione) delle acque sotterranee al punto di conformità (POC)<sup>9</sup> viene inoltre riportato il rischio della risorsa idrica (Rgw) calcolato come rapporto tra la concentrazione al punto di esposizione e la CSC di riferimento per le acque sotterranee. Per maggiori dettagli riguardo le equazioni e i criteri di cumulo si rimanda all'Appendice 1.

In Tabella 8 vengono descritte le diverse parole chiave e simboli inerenti il calcolo del Rischio.


Tabella 8. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo del rischio

SIMBOLO	SIGNIFICATO
CRS	Concentrazione rappresentativa alla Sorgente
f	Fattore di correzione
R	Rischio Cancerogeno
HI	Indice di Pericolo (Non Cancerogeno)
Rgw	Rischio per la risorsa idrica
Csat	Concentrazione di saturazione chimico-fisica
Cres	Concentrazione residua (mobilità prodotto libero)

Per tener conto della presenza di più sostanze vengono riportati in fondo alla tabella i rischi cumulativi (ovvero la somma dei rischi di ciascun composto). Tale somma deve essere inferiore al rischio ed all'indice di pericolo cumulativo accettabile (ad es.  $R=10^{-5}$  e  $HI=1$ ). In rosso vengono evidenziati i rischi superiori ai limiti accettabili. In viola sono evidenziate le concentrazioni superiori alla concentrazione di saturazione (o alla solubilità per la contaminazione in falda). In questa schermata è possibile calcolare iterativamente la concentrazione in sorgente che restituisce rischi individuali e cumulati accettabili inserendo dei fattori di correzione nella colonna 'f'. I contaminanti per i quali sono state

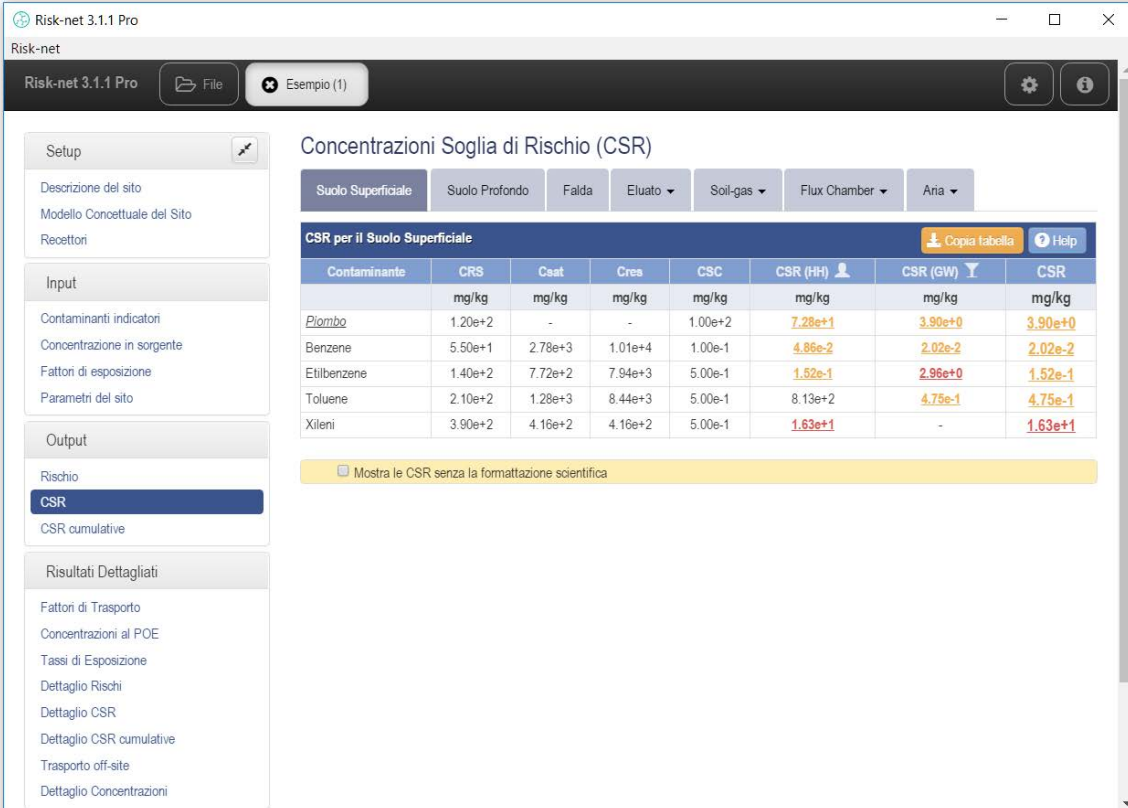
<sup>9</sup> Per maggiori dettagli si rimanda a quanto descritto nel paragrafo "Recettori".

## Output

modificate le proprietà chimico-fisiche e/o tossicologiche, sono sottolineati e in corsivo (con il pulsante  è possibile cancellare rapidamente i fattori di correzione precedentemente inseriti). Il comando “Copia tabella” permette di copiare e incollare in Word o Excel (mantenendo la formattazione) la tabella di output.

## CSR

Cliccando sulla voce " CSR" del menù “Output” si accede alla schermata mostrata in Figura 23 da cui è possibile visualizzare le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) calcolate per la matrice selezionata. In particolare, nella seconda colonna della tabella vengono riportate le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR individuali) che sono calcolate indipendentemente per ciascun contaminante applicando l'analisi di rischio in modalità indiretta, ovvero stimando le concentrazioni massime che si possono avere nel sito compatibili con i limiti accettabili (ad es.  $R=10^{-6}$  e  $HI=1$ ).



The screenshot shows the Risk-net 3.1.1 Pro software interface. The main window displays the 'Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR)' for the 'Suolo Superficiale' matrix. The table below shows the results for various contaminants.

Contaminante	CRS	Csat	Cres	CSC	CSR (HH)	CSR (GW)	CSR
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Piombo	1.20e+2	-	-	1.00e+2	<u>7.28e+1</u>	<u>3.90e+0</u>	<u>3.90e+0</u>
Benzene	5.50e+1	2.78e+3	1.01e+4	1.00e-1	<u>4.86e-2</u>	<u>2.02e-2</u>	<u>2.02e-2</u>
Etilbenzene	1.40e+2	7.72e+2	7.94e+3	5.00e-1	<u>1.52e-1</u>	<u>2.96e+0</u>	<u>1.52e-1</u>
Toluene	2.10e+2	1.28e+3	8.44e+3	5.00e-1	8.13e+2	<u>4.75e-1</u>	<u>4.75e-1</u>
Xileni	3.90e+2	4.16e+2	4.16e+2	5.00e-1	<u>1.63e+1</u>	-	<u>1.63e+1</u>

Below the table, there is a checkbox labeled 'Mostra le CSR senza la formattazione scientifica' which is currently unchecked.

Figura 23. Calcolo degli Obiettivi di bonifica (CSR).

## Output

Come descritto nell' Appendice 2, la CSR individuale viene calcolata selezionando il valore più conservativo (ovvero il valore minore) tra le CSR calcolate per le diverse modalità di esposizione e migrazione. Per maggiori dettagli riguardo le equazioni e i criteri di cumulo si rimanda all'Appendice. In rosso sono evidenziati i contaminanti per i quali la concentrazione in sorgente è superiore alla CSR calcolata. In giallo sono evidenziate le CSR che risultano inferiori alle CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione) fissate dal D.Lgs 152/06. In viola sono evidenziate le concentrazioni in sorgente superiori alla concentrazione di saturazione (o alla solubilità nel caso di contaminazione in falda). Il comando "Copia tabella" permette di copiare e incollare in Word o Excel (mantenendo la formattazione) la tabella di output. In Tabella 9 vengono descritte le diverse parole chiave e simboli inerenti il calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) individuali.

Tabella 9. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo delle CSR individuali.

SIMBOLO	SIGNIFICATO
CSR	Concentrazione Soglia di Rischio
CSR (HH)	Concentrazione Soglia di Rischio per la salute umana
CSR (GW)	Concentrazione Soglia di Rischio per la risorsa idrica
R	Rischio Cancerogeno
HI	Indice di Pericolo (Non Cancerogeno)
Rgw	Rischio per la risorsa idrica
> Csat	CSR (teorica) maggiore della saturazione. 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 (CSR). Il rischio riportato si riferisce alla saturazione (se attivata l'opzione)
> 1E+6	Concentrazione teorica > Massima concentrazione possibile. Tale condizione comporta che il contaminante anche se fosse presente puro non comporterebbe comunque rischi per quale percorso di migrazione/esposizione.
>Sol	CSR (teorica) maggiore della solubilità. In questo caso la concentrazione massima (alla saturazione) che può volatilizzare garantisce rischi accettabili e pertanto non esiste un valore soglia di rischio (CSR). Il rischio riportato si riferisce alla saturazione.
CSC	Viene imposto il rispetto delle CSC della falda al confine (POC).
Cres	Concentrazione residua (mobilità prodotto libero)

Si sottolinea che è necessario verificare nella schermata 'CSR cumulative' se le CSR calcolate in questa schermata garantiscono il rispetto dei rischi cumulati legati alla

presenza contemporanea di più sostanze. I contaminanti per i quali sono state modificate le proprietà chimico-fisiche e/o tossicologiche, sono sottolineati e in corsivo.

## CSR CUMULATIVE

Cliccando sulla voce "CSR cumulative" del menù "Output" si accede alla schermata mostrata in Figura 24.

The screenshot shows the 'CSR cumulative' output screen in the Risk-net 3.1.1 Pro software. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Setup', 'Input', 'Output', and 'Risultati Dettagliati'. The main area displays a table of cumulative risk indicators for various contaminants. The table has columns for Contaminante, CRS, CSRind, f, CSRcum, CSC, Csat, R (HH), HI (HH), and Rgw (GW). The CSRind values for lead, benzene, ethylbenzene, toluene, and xylene are highlighted in red, indicating they are not acceptable. The cumulative outdoor and indoor risk indicators are also shown at the bottom of the table.

Contaminante	CRS	CSRind	f	CSRcum	CSC	Csat	R (HH)	HI (HH)	Rgw (GW)
	mg/kg	mg/kg		mg/kg	mg/kg	mg/kg	-	-	-
Piombo	1.20e+2	<b>3.90e+0</b>		<b>3.90e+0</b>	1.00e+2	-	5.36e-8	1.47e-2	1.00e+0
Benzene	5.50e+1	<b>2.02e-2</b>		<b>2.02e-2</b>	1.00e-1	2.78e+3	4.15e-7	4.14e-3	1.00e+0
Etilbenzene	1.40e+2	<b>1.52e-1</b>		<b>1.52e-1</b>	5.00e-1	7.72e+2	1.00e-6	9.33e-4	5.12e-2
Toluene	2.10e+2	<b>4.75e-1</b>		<b>4.75e-1</b>	5.00e-1	1.28e+3	-	5.85e-4	1.00e+0
Xileni	3.90e+2	<b>1.63e+1</b>		<b>1.63e+1</b>	5.00e-1	4.16e+2	-	1.00e+0	-
Cumulato Outdoor (On-site)							5.93e-8	1.59e-2	
Cumulato Indoor (On-site)							1.41e-6	<b>1.01e+0</b>	

Options at the bottom of the table:

- Mostra le CSR senza la formattazione scientifica
- Per le CSR<CSC imponi le CSRcum pari alle CSC ed escludi dalla verifica del rischio cumulato

Figura 24. Verifica CSR cumulative.

In questa schermata è possibile verificare se le CSR individuali (CSRind) calcolate per il singolo contaminante garantiscono il rispetto dei rischi cumulati (legati alla presenza contemporanea di più sostanze). Qualora i rischi cumulati associati alle CSR individuali risultassero non accettabili (celle in rosso) è necessario ridurre le CSRind fino ad ottenere una CSR che garantisca il rispetto sia dei rischi individuali che di quelli cumulati. Per far questo si deve procedere iterativamente applicando un fattore correttivo nella colonna "f"



fino ad ottenere dei rischi cumulati accettabili (con il pulsante  è possibile cancellare rapidamente i fattori di correzione precedentemente inseriti). Con il pulsante  è possibile impostare automaticamente i fattori di correzione pari al numero di contaminanti inseriti (questa opzione nella maggior parte dei casi conduce a stime eccessivamente cautelative in quanto si basa sull'ipotesi che tutti i contaminanti contribuiscano in uguale maniera alla cumulazione degli effetti tossici). Le CSR ridotte (CSR/f) che garantiscono il rispetto sia dei rischi individuali che di quelli cumulati rappresentano le CSR cumulative (CSRcum) che possono essere adottate quali obiettivi di bonifica del sito. I contaminanti per i quali sono state modificate le proprietà chimico-fisiche e/o tossicologiche, sono sottolineati e in corsivo. In Tabella 10 vengono descritte le diverse parole chiave e simboli inerenti il calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) cumulative.

Tabella 10. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo delle CSR cumulative.

SIMBOLO	SIGNIFICATO
CRS	Concentrazione rappresentativa alla sorgente
CSRind	Concentrazione Soglia di Rischio individuali
CSRcum	Concentrazione Soglia di Rischio cumulative
f	Fattore di correzione delle CSR individuali (deve essere superiore a 1)
R	Rischio Cancerogeno
HI	Indice di Pericolo (Non Cancerogeno)
Rgw	Rischio per la risorsa idrica
> Csat	CSR (teorica) maggiore della saturazione. 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 (CSR). Il rischio riportato si riferisce alla saturazione (se attivata l'opzione)
> 1E+6	Concentrazione teorica > Massima concentrazione possibile. Tale condizione comporta che il contaminante anche se fosse presente puro non comporterebbe comunque rischi per quale percorso di migrazione/esposizione.
>Sol	CSR (teorica) maggiore della solubilità. In questo caso la concentrazione massima (alla saturazione) che può volatilizzare garantisce rischi accettabili e pertanto non esiste un valore soglia di rischio (CSR). Il rischio riportato si riferisce alla saturazione.
CSC	Viene imposto il rispetto delle CSC della falda al confine (POC).

**Calcolo CSR Idrocarburi.** Se nel sito in esame sono stati inseriti degli Idrocarburi utilizzando la classificazione MADEP o TPH WG entrando nella schermata delle CSR viene mostrata una ulteriore tabella con le CSR calcolate per la classe “Idrocarburi C>12” e “Idrocarburi C<12” nei suoli, e per la classe “Idrocarburi totali” nelle acque sotterranee (Figura 25).

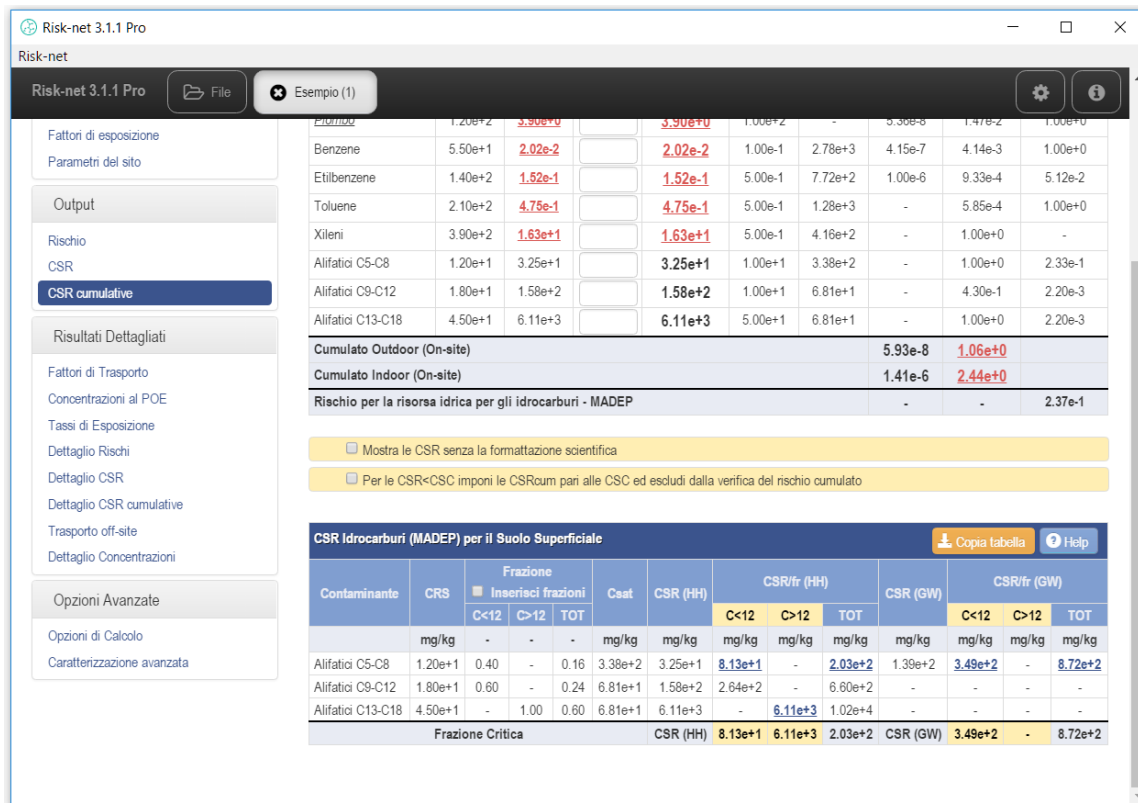


Figura 25. Calcolo CSR Idrocarburi.

In particolare, il calcolo delle CSR relative ai parametri normativi viene effettuato utilizzando il metodo della “frazione critica” riportato nell’Appendice V delle linee guida ISPRA (2008), ovvero selezionando la classe MADEP o TPH WG che genera il rischio maggiore con riferimento alla reale presenza di tale classe nella miscela riscontrata in sito. A tal fine, l’utente può decidere se far calcolare automaticamente al software le frazioni di ciascuna sottoclasse sulla base delle concentrazioni definite dall’utente, o in alternativa, attivando l’opzione “Inserisci frazioni”, impostando manualmente le frazioni di ciascuna classe. Tali frazioni vengono quindi applicate alle CSR calcolate per ciascuna



sottoclasse e viene quindi individuata la frazione che restituisce la CSR più bassa (che quindi genera il rischio maggiore con riferimento alla reale presenza di tale classe nella miscela). Per quanto riguarda la classificazione MADEP, si sottolinea che nel caso in cui si utilizzi la vecchia versione della banca dati ISS-INAIL (2015) le classi miste (Alifatici C9-C18 e Aromatici C11-C22) vengono conteggiate sia nei C<12 che nei C>12. Per maggiori dettagli riguardo le equazioni utilizzate si rimanda a quanto contenuto negli allegati del manuale.

## RISULTATI DETTAGLIATI

Oltre agli output principali descritti nei paragrafi precedenti, l'utente può verificare nel dettaglio i risultati ottenuti nei diversi step di calcolo come brevemente descritto di seguito.

### FATTORI DI TRASPORTO

In questa schermata vengono mostrati i fattori di trasporto calcolati per le vie di migrazione attivate nel modello concettuale. In giallo sono evidenziati i fattori di trasporto per i quali viene adottato il bilancio di materia (se attivata nella schermata 'opzioni di calcolo'). In viola vengono evidenziati i fattori di trasporto per i quali vengono utilizzati i dati di caratterizzazione avanzata per stimare dei fattori semi-empirici (solo nel caso in cui venga attivata tale opzione nella schermata 'caratterizzazione avanzata'). I contaminanti per i quali sono state modificate le proprietà chimico-fisiche e/o tossicologiche, sono sottolineati e in corsivo.

Contaminante	Dcrack	Dcrack	LF	VFas	VFasasp	PEF	DAF ss	ADF ss
	cm <sup>2</sup> /a	cm <sup>2</sup> /a	(mg/L)/(mg/kg)	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/kg)	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/kg)	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/kg)	(mg/L)/(mg/L)	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/m <sup>3</sup> )
<i>Piombo</i>	-	-	2.59e-3	-	-	6.90e-12	1.62e+0	-
Benzene	7.10e-3	6.98e-3	4.96e-2	1.80e-5	6.42e-3	6.90e-12	1.62e+0	-
Etilbenzene	5.44e-3	5.35e-3	1.69e-2	1.80e-5	6.42e-3	6.90e-12	1.62e+0	-
Toluene	6.17e-3	6.07e-3	3.19e-2	1.80e-5	6.42e-3	6.90e-12	1.62e+0	-
Xileni	6.72e-3	6.61e-3	1.96e-2	1.80e-5	6.42e-3	6.90e-12	1.62e+0	-

Figura 26. Fattori di trasporto.

### CONCENTRAZIONE AL PUNTO DI ESPOSIZIONE

In questa schermata vengono mostrate le concentrazioni al punto di esposizione calcolate con i fattori di trasporto a partire dalle concentrazioni misurate in sorgente per le diverse vie di migrazione attivate nel modello concettuale del sito. I contaminanti per i quali sono state modificate le proprietà chimico-fisiche e/o tossicologiche, sono sottolineati e in corsivo.

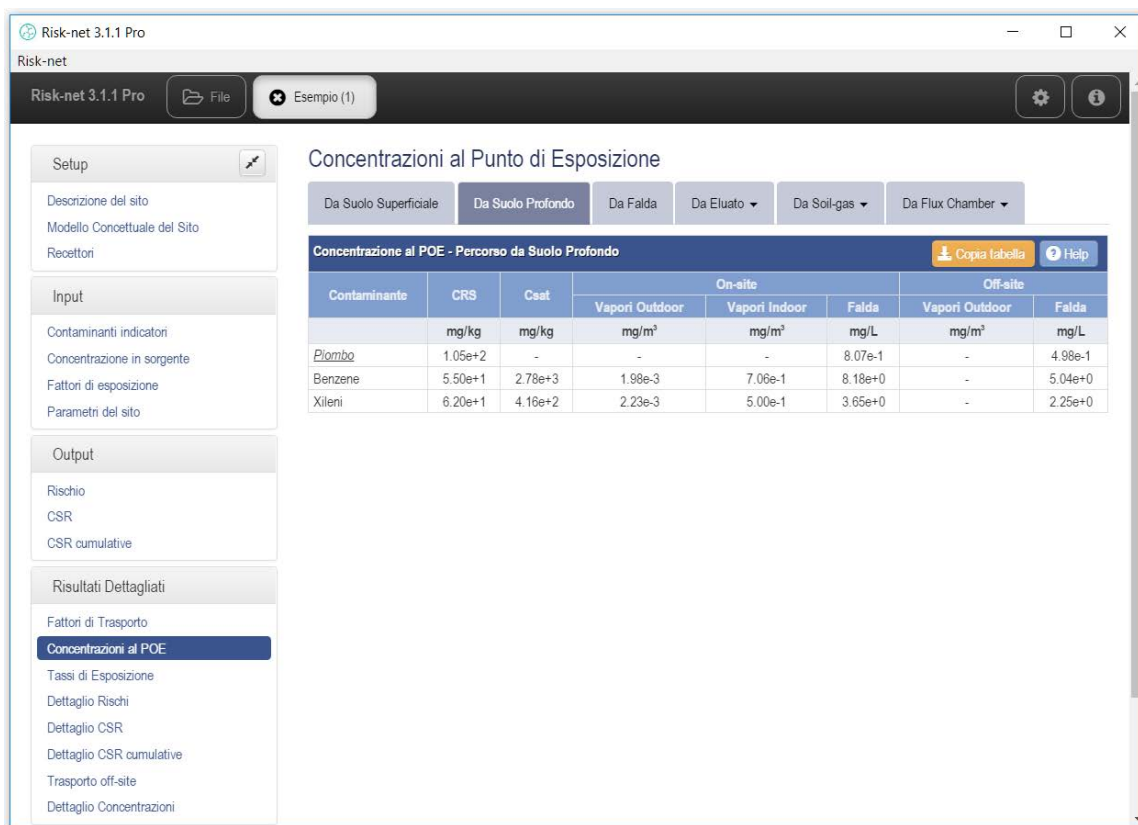


Figura 27. Concentrazioni al punto di esposizione.

### TASSI DI ESPOSIZIONE

Questa schermata riporta i tassi di esposizione calcolati per le diverse vie e recettori attivati dall'utente. I contaminanti per i quali sono state modificate le proprietà chimico-fisiche e/o tossicologiche, sono sottolineati e in corsivo.

## Risultati Dettagliati

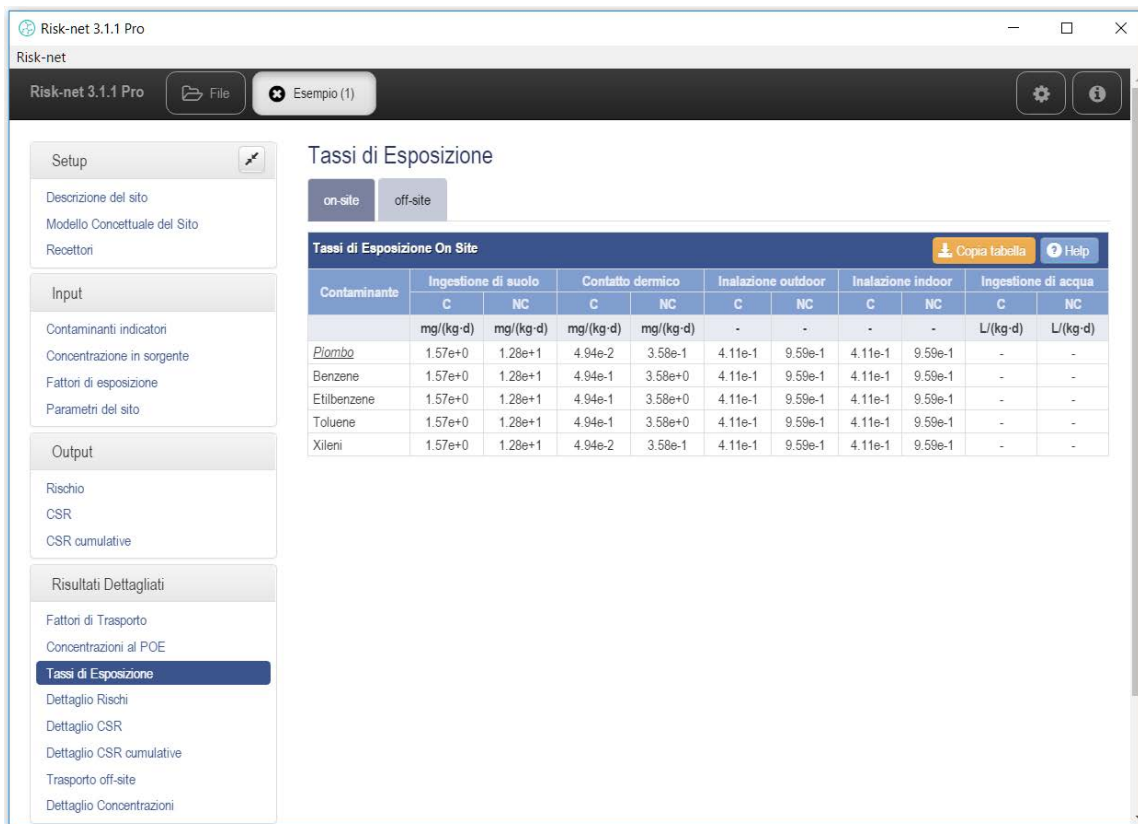


Figura 28. Tassi di esposizione.

## DETTAGLIO RISCHI

In questa schermata vengono mostrati i rischi per la salute umana (R e HI) individuali (per il singolo contaminante) e cumulati (totali, calcolati come sommatoria dei rischi di ogni contaminante inserito) e i rischi per la risorsa idrica (Rgw) calcolati per ciascuna sorgente selezionata nel modello concettuale. In rosso vengono evidenziati i rischi superiori ai limiti accettabili. In viola sono evidenziate le concentrazioni superiori alla concentrazione di saturazione (o alla solubilità per la contaminazione in falda). In questa schermata è possibile calcolare iterativamente la concentrazione in sorgente che restituisce rischi individuali e cumulati accettabili inserendo dei fattori di correzione nella colonna 'f'. I contaminanti per i quali sono state modificate le proprietà chimico-fisiche e/o tossicologiche, sono sottolineati e in corsivo.

## Risultati Dettagliati

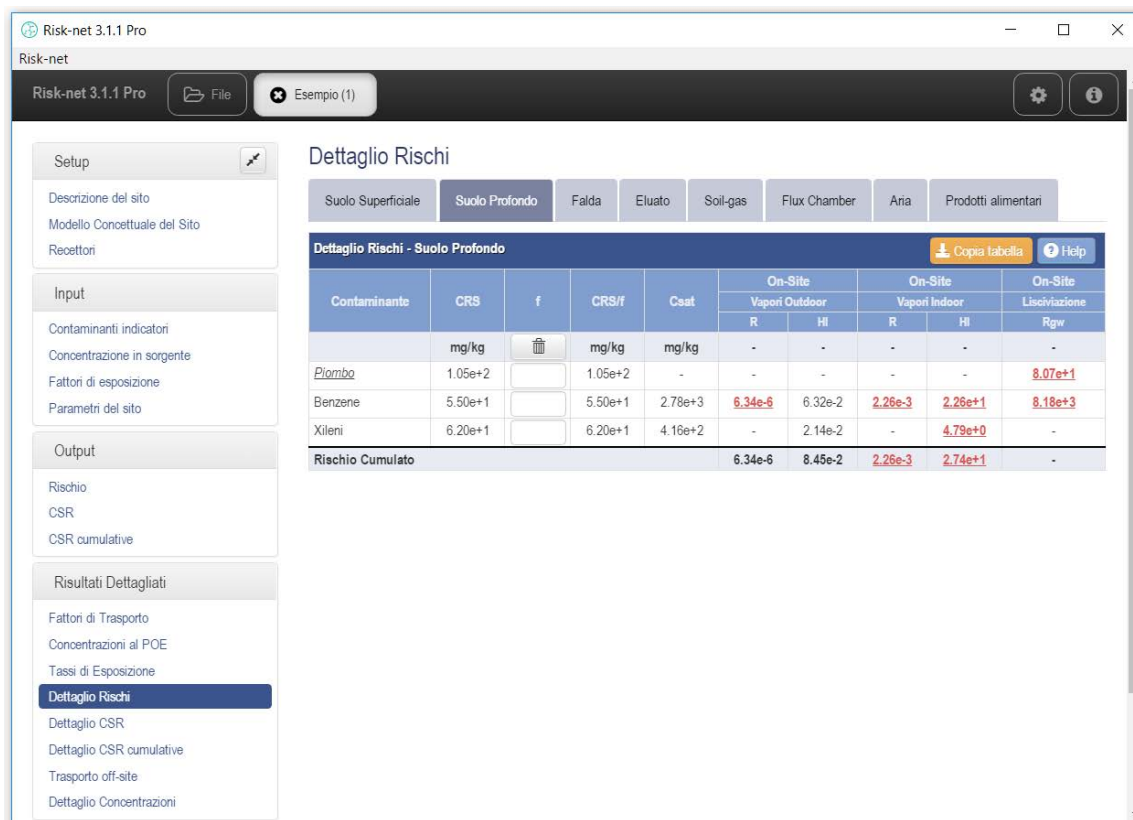


Figura 29. Dettaglio Rischi.

## DETTAGLIO CSR

Questa schermata mostra le concentrazioni massime accettabili in sorgente (ovvero le concentrazioni soglia di rischio, CSR) per ogni contaminante selezionato che garantiscono dei rischi individuali accettabili (singola sostanza) per la salute umana (R e HI) e per la risorsa idrica (Rgw). In rosso sono evidenziati i contaminanti per i quali la concentrazione in sorgente è superiore alla CSR calcolata. In giallo sono evidenziati le CSR che risultano inferiori alle CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione) fissate dal D.Lgs 152/06. In viola sono evidenziate le concentrazioni in sorgente superiori alla concentrazione di saturazione (o alla solubilità nel caso di contaminazione in falda). Per i percorsi di volatilizzazione con il simbolo “NV” vengono indicati i contaminanti definiti nella banca dati come non volatili. Per il percorso di lisciviazione con il simbolo “no CSCgw” vengono indicati i contaminanti per i quali non risulta possibile calcolare il rischio per la risorsa idrica in quanto nel database non sono definite le CSC per le acque sotterranee. Si sottolinea

che è necessario verificare nella schermata 'CSR cumulative' se le CSR calcolate in questa schermata garantiscono il rispetto dei rischi cumulati legati alla presenza contemporanea di più sostanze. I contaminanti per i quali sono state modificate le proprietà chimico-fisiche e/o tossicologiche, sono sottolineati e in corsivo.

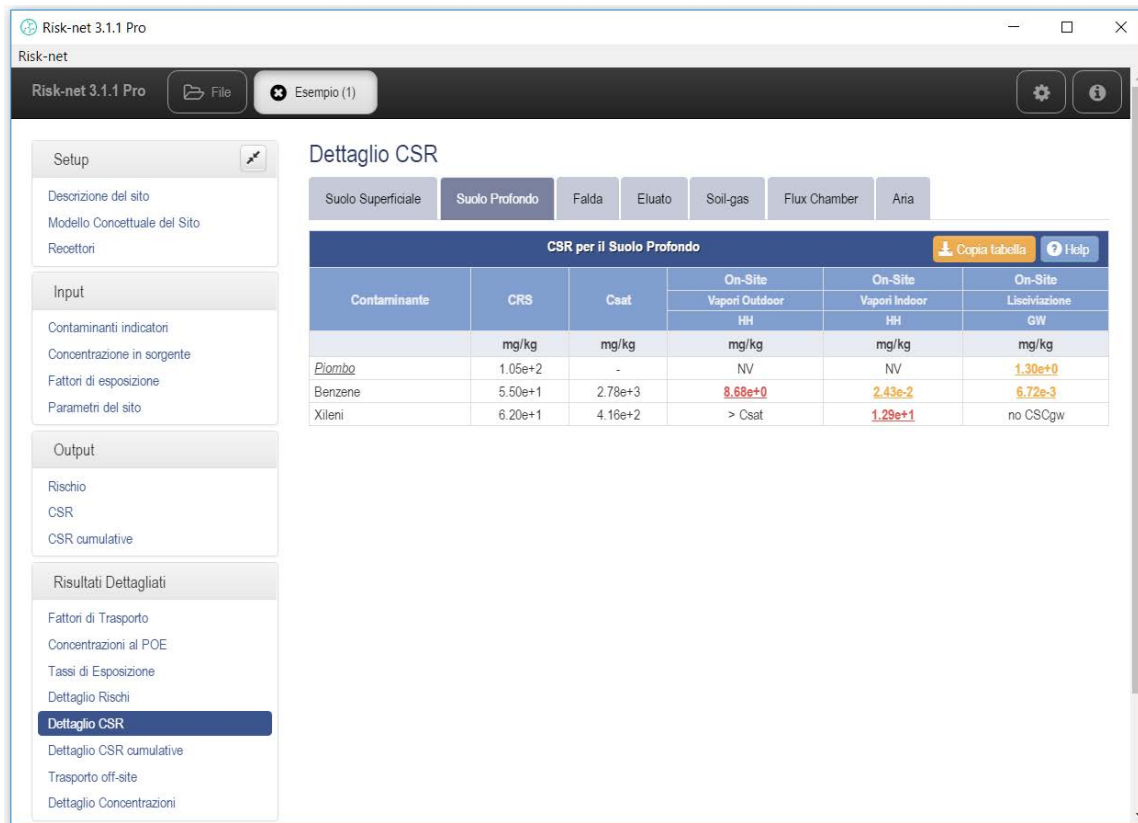


Figura 30. Dettaglio CSR.

## TRASPORTO OFF-SITE

In questa schermata è possibile valutare il trasporto off-site dei contaminanti in falda e in atmosfera. In particolare, è necessario definire dal menu a tendina il contaminante e la matrice di interesse. I grafici mostrano nel caso del trasporto in falda la concentrazione del contaminante selezionato in funzione del tempo e dello spazio mentre nel caso del trasporto in atmosfera solo in funzione della distanza dal sito. L'utente può definire le distanze e i tempi a cui calcolare le concentrazioni modificando le caselle riportate nella tabella di interesse.

## Risultati Dettagliati

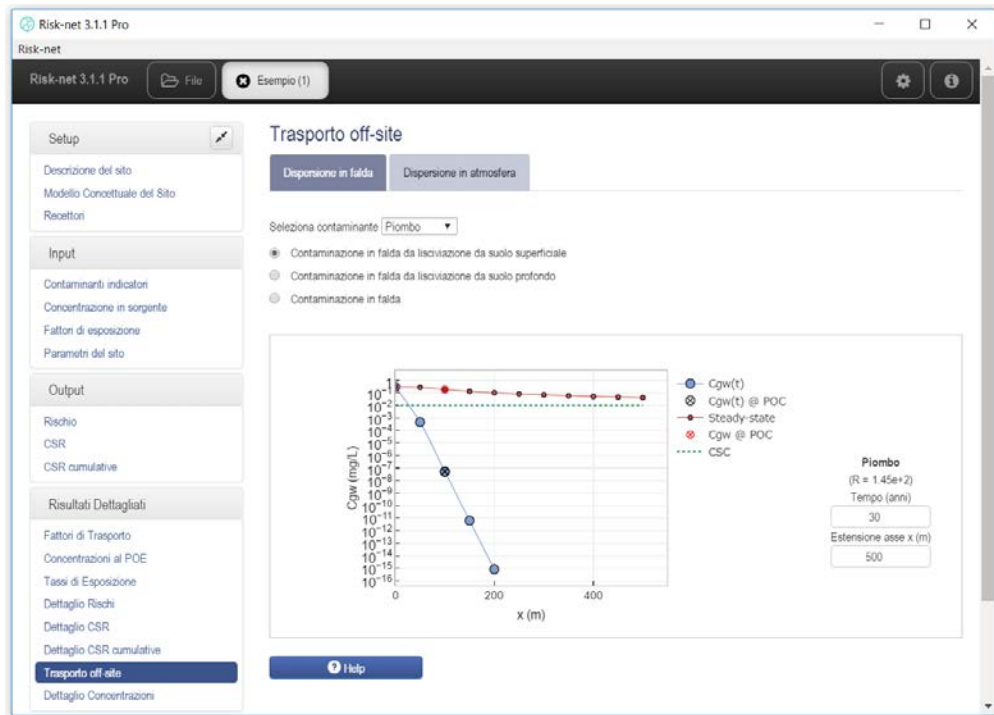


Figura 31. Trasporto Off-site (Falda).

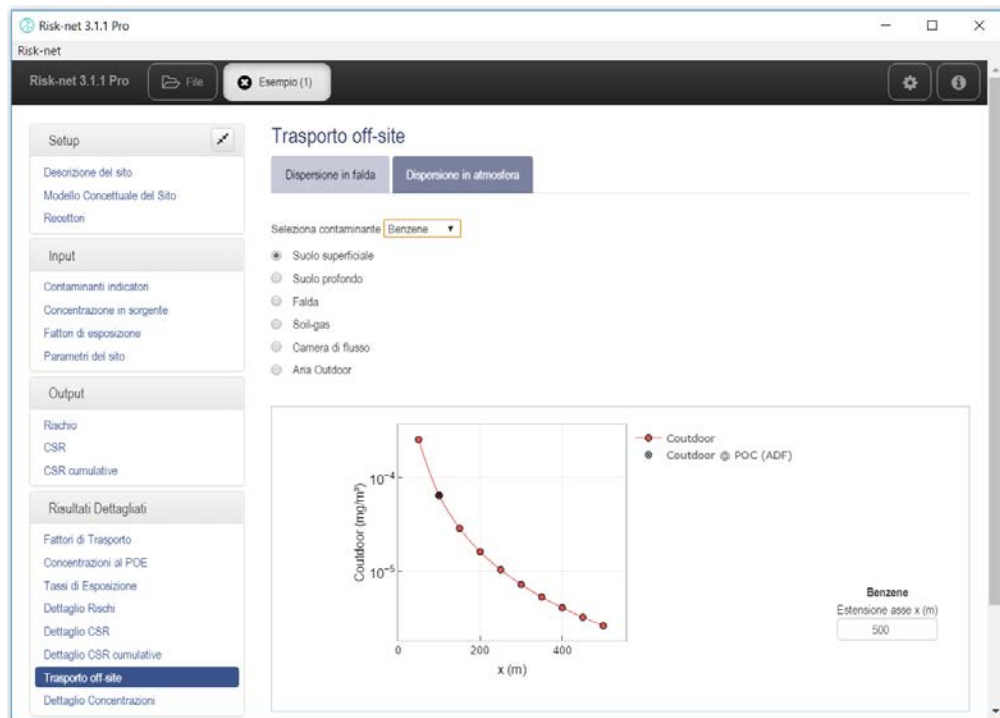


Figura 32. Trasporto Off-site (Atmosfera).

DETTAGLIO CONCENTRAZIONI

In questa schermata l'utente deve selezionare, dai due menu a tendina, la matrice (Suolo Superficiale, Suolo Profondo o Falda) e il contaminante di interesse (tra quelli inseriti nelle fasi precedenti per il calcolo del rischio e/o delle CSR). Sulla base della selezione effettuata, vengono riportati, in funzione delle concentrazioni totali definite dall'utente, le concentrazioni attese nelle diverse matrici (soil-gas, eluato, aria outdoor, aria indoor...) e il corrispettivo valore misurato (nel caso in cui venga inserito dall'utente). Tale schermata permette quindi di valutare innanzitutto la ripartizione e il trasporto dei contaminanti nel sottosuolo. Inoltre, tale schermata può essere utilizzata per confrontare i risultati attesi dai modelli di trasporto rispetto ai valori misurati in campo. Per maggiori dettagli sulle equazioni utilizzate si rimanda alla Appendice 7.

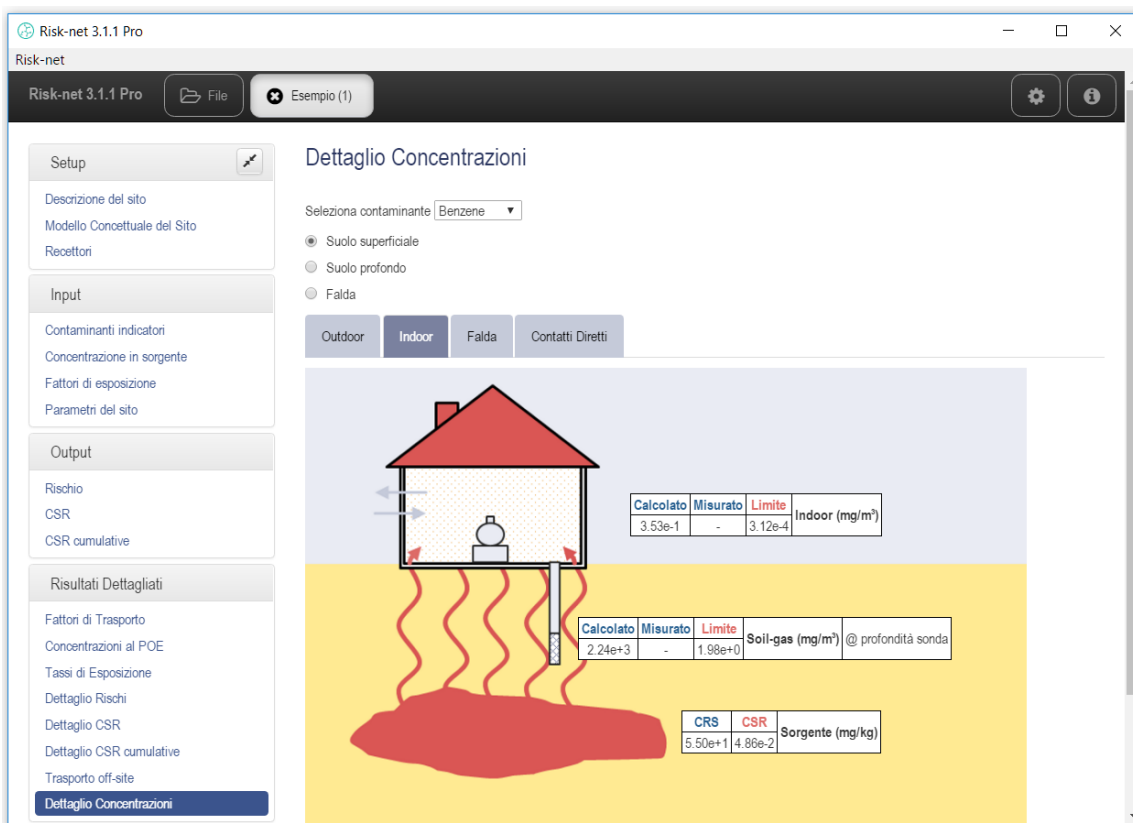


Figura 33. Dettaglio concentrazioni.



## DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

---

I principali documenti di riferimento per lo sviluppo di questo software sono stati:

### Equazioni, Modello Concettuale, Criteri di Calcolo, Valori di Default

- ✓ SNPA (2018), “Progettazione del monitoraggio di vapori nei siti contaminati” e relative Appendici.
- ✓ MATTM (2014, con errata corrige 2015), Linee guida per l’applicazione dell’analisi di rischio sito-specifica.
- ✓ ISPRA (2008), Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati (Rev.2).
- ✓ ASTM (2000), Standard Guide for Risk-Based Corrective Action, Designation: E-2081-00.

### Normativa

- ✓ D.M. 46/19 (2019). DM 31/15 (2015). Regolamento recante criteri semplificati per la caratterizzazione, messa in sicurezza e bonifica dei punti vendita carburanti, ai sensi dell’articolo 252, comma 4, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.
- ✓ D.M. 31/15 (2015). Regolamento recante criteri semplificati per la caratterizzazione, messa in sicurezza e bonifica dei punti vendita carburanti, ai sensi dell’articolo 252, comma 4, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.
- ✓ D.Lgs. 04/08 (2008), Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 24 del 29 Gennaio 2008, Supplemento Ordinario n.24.
- ✓ D.Lgs. 152/06 (2006), Norme in materia ambientale. Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale N.88 del 14 Aprile 2006, Supplemento Ordinario n.96.
- ✓ D.M. 471/99 (1999), Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell’art.17 del D.Lgs. 5 febbraio 1997 n.22 e successive modificazioni e integrazioni.

### Proprietà Chimico-Fisiche e Tossicologiche

- ✓ ISS-INAIL (2018), “Banca Dati ISS-INAIL per Analisi di Rischio Sanitario Ambientale” e documento di supporto.

## NOMENCLATURA

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
$A_b$	Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	cm <sup>2</sup>
$ABS$	Fattore di assorbimento dermico	-
$ADF$	Fattore di dispersione atmosferica	-
$ADAF$	Fattore di aggiustamento dei parametri tossicologici	-
$AF$	Fattore di aderenza dermica	(mg/(cm <sup>2</sup> giorno))
$AT$	Tempo medio di esposizione	anni
$B_i$	Inalazione indoor	m <sup>3</sup> /ora
$B_o$	Inalazione outdoor	m <sup>3</sup> /ora
$BW$	Peso corporeo	kg
$C_{falda}$	Concentrazione al punto di esposizione in falda	mg/L
$C_{indoor}$	Concentrazione al punto di esposizione - ambiente indoor	mg/m <sup>3</sup>
$C_{outdoor}$	Concentrazione al punto di esposizione - ambiente outdoor	mg/m <sup>3</sup>
$CRS$	Concetrzione Rappresentativa alla sorgente	mg/kg o mg/L
$CRS_{soil-gas}$	Concetrzione Rappresentativa alla sorgente nel soil-gas	mg/m <sup>3</sup>
$C_{sat}$	Concentrazione di Saturazione	mg/kg
$CSC$	Concentrazione Soglia di Contaminazione	mg/kg o mg/L
$CSR$	Concentrazione Soglia di Rischio	mg/kg o mg/L
$CSR_{canc}$	CSR sost. cancerogene	mg/kg o mg/L
$CSR_{non.canc}$	CSR sost. tossiche	mg/kg o mg/L
$d$	Spessore della sorgente nel suolo superficiale	cm
$D_a$	Coefficiente di diffusione molecolare in aria	cm <sup>2</sup> /s
$d_a$	spessore acquifero	cm
$DAF$	Fattore di diluizione in falda	-

## Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
$D_{crack}^{eff}$	Coefficiente di diffusione nelle fondazioni	cm <sup>2</sup> /s
$d_{lens}$	Spessore della lente ad alto contenuto di acqua	cm
$d_s$	Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo	cm
$D_s^{eff}$	Coefficiente di diffusione nella zona insatura	cm <sup>2</sup> /s
$D_w$	Coefficiente di diffusione molecolare in acqua	cm <sup>2</sup> /s
$D_w^{eff}$	Coefficiente di diffusione globale dalla falda	cm <sup>2</sup> /s
$ED$	Durata di esposizione	anni
$EF$	Frequenza di esposizione	giorni/anno
$EF_{gi}$	Frequenza giornaliera indoor	ore/giorno
$EF_{go}$	Frequenza giornaliera outdoor	ore/giorno
$EM_{ConD}$	Fattore di contatto dermico	mg/kg/giorno
$EM_{Inal}$	Fattore di inalazione indoor	m <sup>3</sup> /kg/giorno
$EM_{InaO}$	Fattore di inalazione outdoor	m <sup>3</sup> /kg/giorno
$EM_{IngW}$	Fattore di ingestione acqua	L/kg/giorno
$ER$	Tasso di ricambio aria indoor	1/s
$Fi$	Frazione di polveri indoor	-
$FI$	Frazione di suolo ingerita	-
$f_{oc}$	Frazione di carbonio organico	-
$H$	Costante adim. di Henry	-
$h_{cap}$	Spessore frangia capillare	cm
$h_{cr}$	Carico Idraulico critico	cm
$HI$	Indice di Pericolo sostanze non cancerogene	-
$h_v$	Spessore zona insatura	cm
$H_w$	Battente idrico superficiale	cm
$i$	Gradiente idraulico	-
$I_{eff}$	Infiltrazione efficace	cm/s

## Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
$IR$	Tasso di ingestione di suolo	mg/giorno
$IR_w$	Tasso di ingestione di acqua	L/giorno
$K_s$	Coefficiente di ripartizione soluto – fase adsorbita	(mg/kg)/(mg/L)
$K_{sat}$	Conducibilità Idraulica	cm/s
$k_v$	Permeabilità del suolo al flusso di vapore	cm <sup>2</sup>
$L_b$	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione	cm
$L_{crack}$	Spessore fondazioni	cm
$LDf$	Fattore di diluizione in falda	-
$LF_{sp}$	Fattore di Lisciviazione in falda da suolo profondo	(mg/L)/(mg/kg)
$LF_{ss}$	Fattore di Lisciviazione in falda da suolo superficiale	(mg/L)/(mg/kg)
$L_{gw}$	Soggiacenza della falda rispetto al p.c.	cm
$L_s (SP)$	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo	cm
$L_s (SS)$	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale	cm
$P$	Tasso di piovosità	cm/anno
$P_e$	Portata di particolato per unità di superficie	g/cm <sup>2</sup> /s
$PEF$	Fattore di emissione di particolato outdoor	
$PEF_{in}$	Fattore di emissione di particolato indoor	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/kg)
$POC$	Distanza punto di conformità	cm
$Q_s$	Flusso di vapore entrante nell'edificio	cm <sup>3</sup> /s
$Rit$	Fattore di Ritardo	-
$R$	Rischio sostanze cancerogene	-
$RfD$	Parametro tossicologico sost. non Cancerogene	mg/kg/giorno
$RfD_{Ina}$	Reference dose - inalazione	mg/kg/giorno
$RfD_{Ing}$	Reference dose - ingestione	mg/kg/giorno
$Sol$	Solubilità	mg/L

## Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
$SA$	Superficie di pelle esposta	cm <sup>2</sup>
$SF$	Parametro tossicologico sost. Cancerogene	[mg/kg/giorno] <sup>-1</sup>
$SF_{Ina}$	Slope factor - inalazione	[mg/kg/giorno] <sup>-1</sup>
$SF_{Ing}$	Slope factor - ingestione	[mg/kg/giorno] <sup>-1</sup>
$S_r$	Frazione residua dei pori zona insatura	-
$S_{r,sat}$	Frazione residua dei pori zona satura	-
$S_w$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al vento	cm
$THQ$	Indice di Pericolo Accettabile	-
$TR$	Rischio accettabile	-
$u$	umidità campione	-
$U_{air}$	Velocità del vento	cm/s
$v_e$	Velocità effettiva della falda	cm/s
$VF_{samb}$	Fattore di volatilizzazione outdoor da suolo profondo	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/kg)
$VF_{seesp}$	Fattore di volatilizzazione indoor da suolo profondo	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/kg)
$VF_{ss}$	Fattore di volatilizzazione outdoor da suolo superficiale	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/kg)
$VF_{ss,esp}$	Fattore di volatilizzazione indoor da suolo superficiale	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/kg)
$VF_{wamb}$	Fattore di volatilizzazione outdoor dalla falda	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/L)
$VF_{wesp}$	Fattore di volatilizzazione indoor dalla falda	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/L)
$v_{gw}$	Velocità di Darcy	cm/s
$W$	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	cm
$W'$	Estensione della sorgente nella direzione del vento	cm
$x$	Distanza longitudinale	cm
$X_{crack}$	Perimetro delle fondazioni	cm
$y$	Posizione trasversale	cm
$z$	Posizione verticale	cm
$Z_{crack}$	Profondità fondazioni da p.c.	cm

## Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
$\alpha_{samb}$	Fattore di volatilizzazione outdoor da soil-gas suolo profondo	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/m <sup>3</sup> )
$\alpha_{sesp}$	Fattore di volatilizzazione indoor da soil-gas suolo profondo	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/m <sup>3</sup> )
$\alpha_{ss,esp}$	Fattore di volatilizzazione indoor da soil-gas suolo superficiale	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/m <sup>3</sup> )
$\alpha_{wamb}$	Fattore di volatilizzazione outdoor da soil-gas falda	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/m <sup>3</sup> )
$\alpha_{wesp}$	Fattore di volatilizzazione indoor da soil-gas falda	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/m <sup>3</sup> )
$\alpha_{ss}$	Fattore di volatilizzazione outdoor da soil-gas suolo superficiale	(mg/m <sup>3</sup> )/(mg/m <sup>3</sup> )
$\alpha_x$	Dispersività longitudinale	cm
$\alpha_y$	Dispersività trasversale	cm
$\alpha_z$	Dispersività verticale	cm
$\beta$	Fattore di correlazione empirico tra sorgente e soil-gas	
$\delta_{air}$	Altezza della zona di miscelazione in aria	cm
$\delta_{gw}$	Spessore della zona di miscelazione in falda	cm
$\Delta p$	Differenza di pressione tra indoor e outdoor	g/cm <sup>2</sup> /s
$\eta$	Frazione areale di fratture indoor	-
$\eta_{outdoor}$	Frazione areale di fratture outdoor	-
$\theta_a$	Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura	-
$\theta_{acap}$	Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	-
$\theta_{acrack}$	Contenuto volumetrico di aria nelle fondazioni	-
$\theta_e$	Porosità effettiva zona insatura	-
$\theta_{e,cap}$	Porosità effettiva zona capillare	-
$\theta_{e,crack}$	Porosità effettiva fondazioni	-
$\theta_{e,sat}$	Porosità effettiva zona satura	-
$\theta_w$	Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura	-
$\theta_{wcap}$	Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare	-
$\theta_{wcrack}$	Contenuto volumetrico di acqua nelle fondazioni	-

## Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
$\lambda$	Costante di biodegradazione del primo ordine	1/s
$\mu_{air}$	Viscosità del vapore	g/cm/s
$\rho_o$	Densità del contaminante	g/cm <sup>3</sup>
$\rho_s$	Densità del suolo	g/cm <sup>3</sup>
$\sigma_y$	Coefficiente di dispersione trasversale in aria	cm
$\sigma_z$	Coefficiente di dispersione verticale in aria	cm
$T_{indoor}$	Tempo medio di durata del flusso di vapore indoor	s
$T_{LF}$	Tempo di durata media del lisciviato	s
$T_{outdoor}$	Tempo medio di durata del flusso di vapore outdoor	s

## APPENDICI – EQUAZIONI E CRITERI DI CALCOLO



## APPENDICE 1A. CALCOLO DEL RISCHIO (CAR. STANDARD)

---

**Rischio Individuale.** La stima del rischio per la salute umana, connesso alla esposizione ad un contaminante, viene stimata dalla seguente relazione:

$$R = E \cdot SF \quad \text{Rischio per le sostanze cancerogene}$$

$$HI = E / RfD \quad \text{Indice di Pericolo per le sostanze non cancerogene}$$

dove E rappresenta l'assunzione cronica giornaliera del contaminante, SF (Slope Factor) rappresenta la probabilità di casi incrementali di tumore e RfD (Reference Dose) rappresenta la stima dell'esposizione media giornaliera a sostanze non cancerogene che non produce effetti avversi apprezzabili sull'organismo umano durante il corso della vita. L'assunzione cronica giornaliera del contaminante (E) può essere stimata come il prodotto tra la concentrazione calcolata in corrispondenza del punto di esposizione  $C_{poe}$ , e la portata effettiva di esposizione, EM:

$$E = C_{poe} \cdot EM$$

La concentrazione nel punto di esposizione,  $C_{poe}$ , si può calcolare attraverso la seguente relazione:

$$C_{poe} = FT \cdot CRS$$

dove CRS rappresenta la concentrazione in sorgente e FT è il fattore di trasporto, che tiene conto dei fenomeni di attenuazione che intervengono durante la migrazione dei contaminanti attraverso i vari comparti ambientali.

Combinando le diverse equazioni si ottiene:

$$R = FT \cdot CRS \cdot EM \cdot SF \quad \text{Rischio per le sostanze cancerogene}$$

$$HI = \frac{FT \cdot CRS \cdot EM}{RfD} \quad \text{Indice di Pericolo per le sostanze non cancerogene}$$

Tale stima deve essere effettuata per le diverse vie di esposizione e migrazione attive nel sito utilizzando i relativi fattori di esposizione e di trasporto (per maggiori dettagli si rimanda alle tabelle riportate di seguito). Le equazioni per il calcolo dei diversi fattori di trasporto (FT) sono riportati Appendice 3. Le equazioni per il calcolo dei diversi fattori di esposizione sono riportati in Appendice 4.

Si evidenzia che le equazioni sopra riportate sono quelle presenti nei Criteri Metodologici ISPRA (2008) in cui viene indicato di utilizzare, per i percorsi di inalazione, le Reference Dose (RfD) e gli Slope Factor (SF) rimodulando l'esposizione in funzione del peso corporeo (BW) e del tasso di inalazione (B). In alternativa il software permette di utilizzare l'approccio indicato nel documento di supporto della banca dati ISS-INAIL (2018). In questo caso viene indicato di utilizzare le Reference Concentration (RfC) e l'Inhalation Unit Risk (IUR) riportati nella banca dati ISS-INAIL, senza rimodulazione per il peso corporeo e il tasso di inalazione.

Combinando le diverse equazioni si ottiene:

$$R = FT \cdot CRS \cdot EC \cdot IUR \quad \text{Rischio per le sostanze cancerogene}$$

$$HI = \frac{FT \cdot CRS \cdot EC}{RfC} \quad \text{Indice di Pericolo per le sostanze non cancerogene}$$

Nelle tabelle di questa appendice vengono riportate le equazioni implementate nel software utilizzando il metodo della “dosi di riferimento” o delle “concentrazioni di riferimento”.

**Rischio per più vie di esposizione.** Le equazioni precedentemente descritte permettono di stimare il rischio associato alla singola via di esposizione. Il calcolo del rischio per la salute umana associato al singolo contaminante per la matrice considerata viene stimato cumulando gli effetti (sommando i rischi) dei diversi scenari espositivi (ad es. esposizione outdoor) e successivamente scegliendo il valore più conservativo (ovvero il valore maggiore) tra i diversi scenari.

Nella Figura 34, Figura 35 e Figura 36 vengono riportati i criteri di cumulo utilizzati in Risk-net per il calcolo del Rischio individuale associato a più vie attive per il suolo superficiale, suolo profondo e falda.

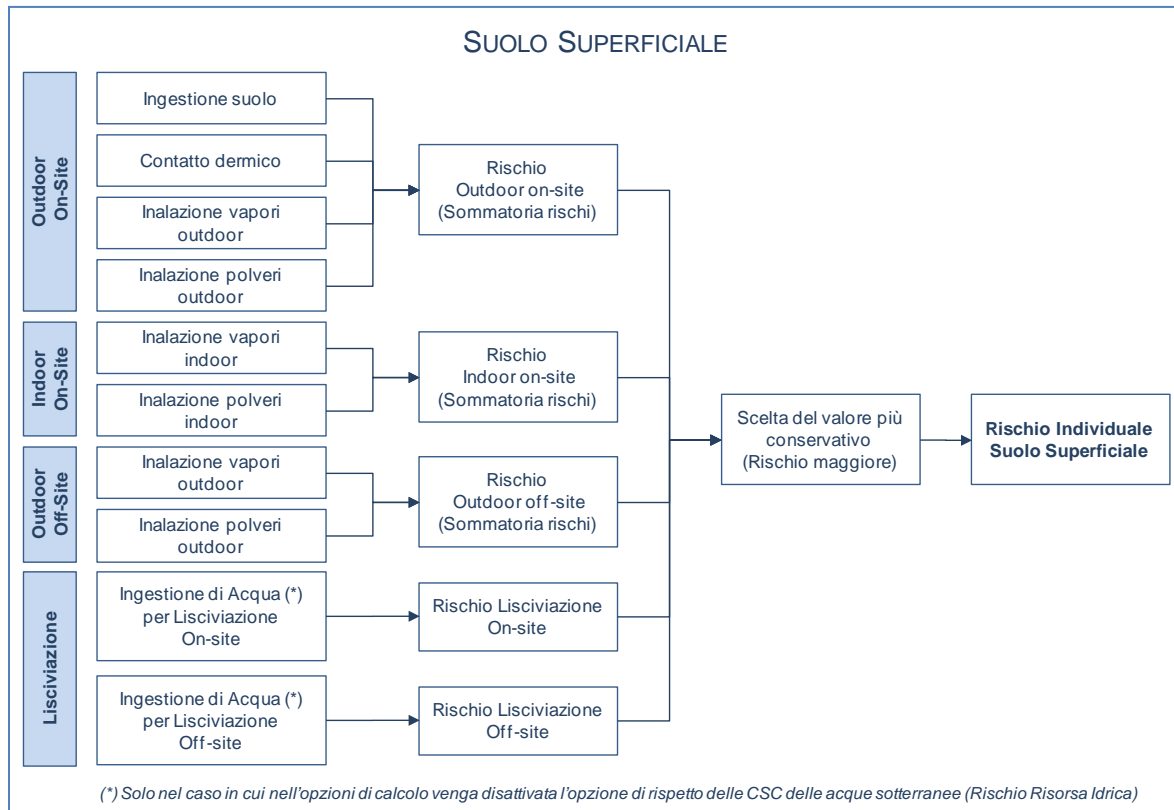


Figura 34. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo superficiale.

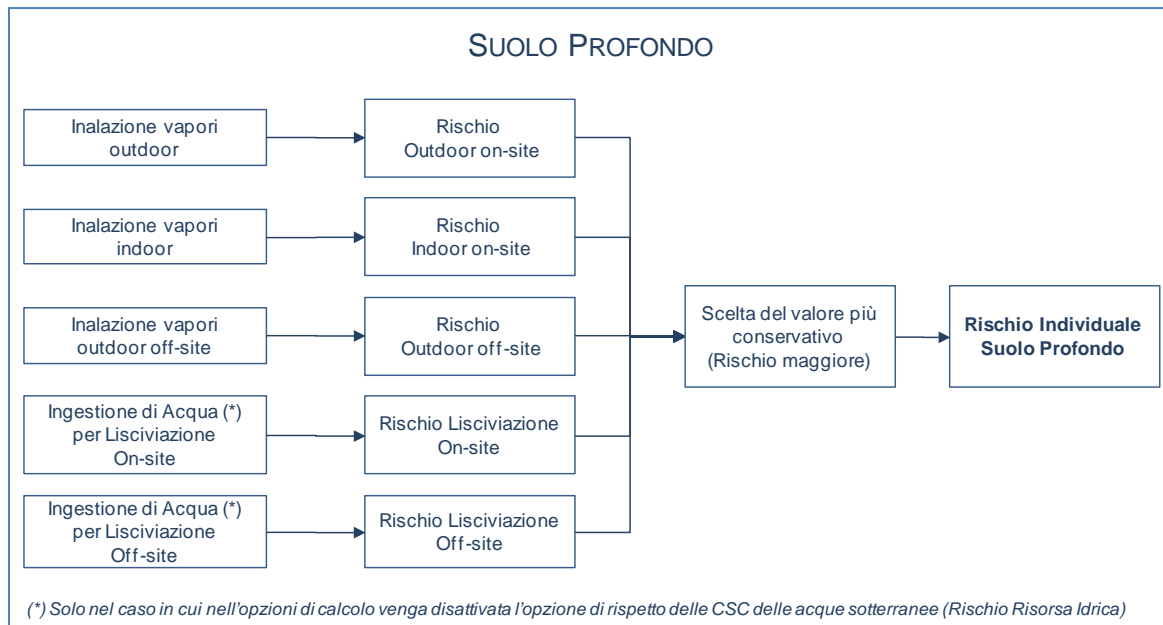


Figura 35. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo profondo.

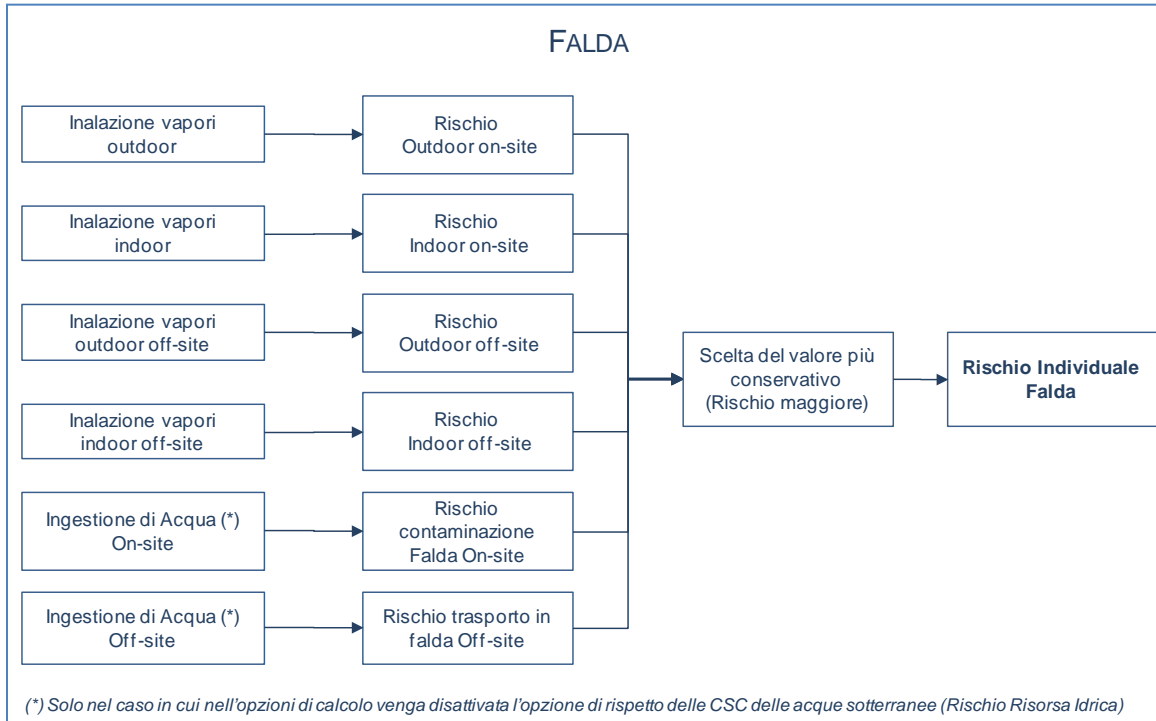


Figura 36. Criteri di cumulo dei rischi per la falda.

**Rischio Cumulativo.** Il calcolo del rischio per la salute umana associato alla presenza di più contaminanti viene effettuato, in accordo con quanto definito nel documento ISPRA (2008), sommando il rischio (o l'indice di pericolo) di ogni singola specie chimica contaminate:

$$R_{tot} = \sum_{i=1}^n R_i \quad \text{Rischio totale per le sostanze cancerogene}$$

$$HI_{tot} = \sum_{i=1}^n HI_i \quad \text{Indice di Pericolo totale per le sostanze non cancerogene}$$

Il rischio e l'indice di pericolo totale vengono poi confrontati con i criteri di accettabilità individuali e cumulativi, per decidere se esistono o meno condizioni in grado di causare effetti sanitari nocivi e pertanto se il sito risulta contaminato.

**Rischio Risorsa Idrica.** Il rischio per la risorsa idrica sotterranea si calcola ponendo a confronto il valore di concentrazione del contaminante in falda, in corrispondenza del

punto di conformità, con i valori di riferimento per la falda (Concentrazioni Soglia di Contaminazione,  $CSC_{GW}$ ).

Nello specifico il rischio per la risorsa idrica sotterranea ( $R_{GW}$ ) viene calcolato come il rapporto tra la concentrazione del contaminante in falda in corrispondenza del punto di Conformità e i valori di riferimento per la falda:

$$R_{GW} = \frac{C_{poe}}{CSC_{GW}} = \frac{FT \cdot CRS}{CSC_{GW}}$$

Pertanto per essere accettabile il rischio per la risorsa idrica deve risultare pari o inferiore all'unità.

<b>Tabella 11. Suolo Superficiale: Rischio e Indice di Pericolo</b>	
<p><b>Ingestione suolo (no off-site)</b></p> $R_{SS.IngS} = CRS \cdot SF_{Ing} \cdot EM_{IngS} \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg}$ $HI_{SS.IngS} = CRS \cdot \frac{EM_{IngS} \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg}}{RfD_{Ing}}$	<p>R = Rischio cancerogeno                      HI = Indice di pericolo                      CRS = Concentrazione in sorgente                      SF<sub>Ing</sub> = Slope factor per ingestione                      RfD<sub>Ing</sub> = Reference dose ingestione                      EM<sub>IngS</sub> = Fattore di ingestione di suolo</p>
<p><b>Contatto dermico (no off-site)</b></p> $R_{SS.ConD} = CRS \cdot SF_{Ing} \cdot EM_{ConD} \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg}$ $HI_{SS.ConD} = CRS \cdot \frac{EM_{ConD} \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg}}{RfD_{Ing}}$	<p>R = Rischio cancerogeno                      HI = Indice di pericolo                      CRS = Concentrazione in sorgente                      SF<sub>Ing</sub> = Slope factor per ingestione                      RfD<sub>Ing</sub> = Reference dose ingestione                      EM<sub>ConD</sub> = Fattore di contatto dermico</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</b></p> $R_{SS.InaO} = CRS \cdot SF_{Ina} \cdot EM_{InaO} \cdot VF_{ss} \cdot ADF$ $HI_{SS.InaO} = CRS \cdot \frac{EM_{InaO} \cdot VF_{ss} \cdot ADF}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno                      HI = Indice di pericolo                      CRS = Concentrazione in sorgente                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      VF<sub>ss</sub> = Volatilizzazione outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{SS.InaO} = CRS \cdot IUR \cdot EC_{InaO} \cdot VF_{ss} \cdot ADF$ $HI_{SS.InaO} = CRS \cdot \frac{EC_{InaO} \cdot VF_{ss} \cdot ADF}{RfC}$	<p>R = Rischio cancerogeno                      HI = Indice di pericolo                      CRS = Concentrazione in sorgente                      IUR = Inhalation Unit Risk                      RfC = Concentrazione di riferimento                      EC<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      VF<sub>ss</sub> = Volatilizzazione outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione particolato outdoor (dosi di riferimento)</b></p> $R_{SS.InaOP} = CRS \cdot SF_{Ina} \cdot EM_{InaO} \cdot PEF \cdot ADF$ $HI_{SS.InaOP} = CRS \cdot \frac{EM_{InaO} \cdot PEF \cdot ADF}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno                      HI = Indice di pericolo                      CRS = Concentrazione in sorgente                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      PEF = Particolato outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione particolato outdoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{SS.InaOP} = CRS \cdot IUR \cdot EC_{InaO} \cdot PEF \cdot ADF$ $HI_{SS.InaOP} = CRS \cdot \frac{EC_{InaO} \cdot PEF \cdot ADF}{RfC}$	<p>R = Rischio cancerogeno                      HI = Indice di pericolo                      CRS = Concentrazione in sorgente                      IUR = Inhalation Unit Risk                      RfC = Concentrazione di riferimento                      EC<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      PEF = Particolato outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Cumulativo Outdoor</b></p> $R_{SS.outdoor} = R_{SS.IngS} + R_{SS.ConD} + R_{SS.InaO} + R_{SS.InaOP}$ $HI_{SS.outdoor} = HI_{SS.IngS} + HI_{SS.ConD} + HI_{SS.InaO} + HI_{SS.InaOP}$	

<b>Tabella 11. Suolo Superficiale: Rischio e Indice di Pericolo</b>	
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site)</b> <b>(dosi di riferimento)</b></p> $R_{SS.Inal} = CRS \cdot SF_{Ina} \cdot EM_{Inal} \cdot VF_{ssesp}$ $HI_{SS.Inal} = CRS \cdot \frac{EM_{Inal} \cdot VF_{ssesp}}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione EM<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor VF<sub>ssesp</sub> = Volatilizzazione indoor</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site)</b> <b>(concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{SS.Inal} = CRS \cdot IUR \cdot EC_{Inal} \cdot VF_{ssesp}$ $HI_{SS.Inal} = CRS \cdot \frac{EC_{Inal} \cdot VF_{ssesp}}{RfC}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente IUR= Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor VF<sub>ssesp</sub> = Volatilizzazione indoor</p>
<p><b>Inalazione particolato indoor (no off-site)</b> <b>(dosi di riferimento)</b></p> $R_{SS.InalP} = CRS \cdot SF_{Ina} \cdot EM_{Inal} \cdot PEF_{in}$ $HI_{SS.InalP} = CRS \cdot \frac{EM_{Inal} \cdot PEF_{in}}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione EM<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor PEF<sub>in</sub> = Particolato indoor</p>
<p><b>Inalazione particolato indoor (no off-site)</b> <b>(concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{SS.InalP} = CRS \cdot IUR \cdot EC_{Inal} \cdot PEF_{in}$ $HI_{SS.InalP} = CRS \cdot \frac{EC_{Inal} \cdot PEF_{in}}{RfC}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente IUR= Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor PEF<sub>in</sub> = Particolato indoor</p>
<p><b>Cumulativo Indoor</b></p> $R_{SS.Indoor} = R_{SS.Inal} + R_{SS.InalP}$ $HI_{SS.Indoor} = HI_{SS.Inal} + HI_{SS.InalP}$	
<p><b>Ingestione di acqua per lisciviazione</b></p> $R_{SS.LF} = CRS \cdot \frac{SF_{Ing} \cdot EM_{IngW} \cdot LF_{ss}}{DAF}$ $HI_{SS.LF} = CRS \cdot \frac{EM_{IngW} \cdot LF_{ss}}{RfD_{Ing} \cdot DAF}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SF<sub>Ing</sub> = Slope factor per ingestione RfD<sub>Ing</sub> = Reference dose ingestione EM<sub>IngW</sub> = Fattore di ingestione acqua LF<sub>ss</sub> = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Rischio e Indice di Pericolo Suolo superficiale</b></p> $R_{SS} = \max [R_{SS.outdoor}; R_{SS.Indoor}; R_{SS.LF}]$ $HI_{SS} = \max [HI_{SS.outdoor}; HI_{SS.Indoor}; HI_{SS.LF}]$	

Per i recettori On-site ADF=1; DAF=1

Tabella 12. Suolo Profondo: Rischio e Indice di Pericolo	
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</b></p> $R_{SP.InaO} = CRS \cdot SF_{Ina} \cdot VF_{samb} \cdot EM_{InaO} \cdot ADF$ $HI_{SP.InaO} = CRS \cdot \frac{VF_{samb} \cdot EM_{InaO} \cdot ADF}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor VF<sub>samb</sub> = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{SP.InaO} = CRS \cdot IUR \cdot VF_{samb} \cdot EC_{InaO} \cdot ADF$ $HI_{SP.InaO} = CRS \cdot \frac{VF_{samb} \cdot EC_{InaO} \cdot ADF}{RfC}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor VF<sub>samb</sub> = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</b></p> $R_{SP.Inal} = CRS \cdot SF_{Ina} \cdot VF_{seps} \cdot EM_{Inal}$ $HI_{SP.Inal} = CRS \cdot \frac{VF_{seps} \cdot EM_{Inal}}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione EM<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor VF<sub>seps</sub> = Volatilizzazione indoor</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{SP.Inal} = CRS \cdot IUR \cdot VF_{seps} \cdot EC_{Inal}$ $HI_{SP.Inal} = CRS \cdot \frac{VF_{seps} \cdot EC_{Inal}}{RfC}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor VF<sub>seps</sub> = Volatilizzazione indoor</p>
<p><b>Ingestione di acqua per lisciviazione</b></p> $R_{SP.LF} = CRS \cdot \frac{SF_{Ing} \cdot EM_{IngW} \cdot LF_{sp}}{DAF}$ $HI_{SP.LF} = CRS \cdot \frac{EM_{IngW} \cdot LF_{sp}}{RfD_{Ing} \cdot DAF}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SF<sub>Ing</sub> = Slope factor per ingestione RfD<sub>Ing</sub> = Reference dose ingestione EM<sub>IngW</sub> = Fattore di ingestione acqua LF<sub>sp</sub> = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Rischio e Indice di Pericolo Suolo Profondo</b></p> $R_{SP} = \max [R_{SP.InaO}; R_{SP.Inal}; R_{SP.LF}]$ $HI_{SP} = \max [HI_{SP.InaO}; HI_{SP.Inal}; HI_{SP.LF}]$	

Per i recettori On-site ADF=1; DAF=1



<b>Tabella 13. Falda: Rischio e Indice di Pericolo</b>	
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</b></p> $R_{GW.InaO} = CRS \cdot \frac{SF_{Ina} \cdot VF_{wamb} \cdot EM_{InaO}}{ADF} *$ $HI_{GW.InaO} = CRS \cdot \frac{VF_{wamb} \cdot EM_{InaO}}{RfD_{Ina} \cdot ADF} *$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor VF<sub>wamb</sub> = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{GW.InaO} = CRS \cdot \frac{IUR \cdot VF_{wamb} \cdot EC_{InaO}}{ADF} *$ $HI_{GW.InaO} = CRS \cdot \frac{VF_{wamb} \cdot EC_{InaO}}{RfC \cdot ADF} *$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente IUR= Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor VF<sub>wamb</sub> = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (dosi di riferimento)</b></p> $R_{GW.Inal} = CRS \cdot \frac{SF_{Ina} \cdot VF_{wesp} \cdot EM_{Inal}}{DAF}$ $HI_{GW.Inal} = CRS \cdot \frac{VF_{wesp} \cdot EM_{Inal}}{RfD_{Ina} \cdot DAF}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione EM<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor VF<sub>wesp</sub> = Volatilizzazione indoor DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{GW.Inal} = CRS \cdot \frac{IUR \cdot VF_{wesp} \cdot EC_{Inal}}{DAF}$ $HI_{GW.Inal} = CRS \cdot \frac{VF_{wesp} \cdot EC_{Inal}}{RfC \cdot DAF}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente IUR= Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor VF<sub>wesp</sub> = Volatilizzazione indoor DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Ingestione di acqua</b></p> $R_{GW.D} = CRS \cdot \frac{SF_{Ing} \cdot EM_{IngW}}{DAF}$ $HI_{GW.D} = CRS \cdot \frac{EM_{IngW}}{RfD_{Ing} \cdot DAF}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SF<sub>Ing</sub> = Slope factor per ingestione RfD<sub>Ing</sub> = Reference dose ingestione EM<sub>IngW</sub> = Fattore di ingestione acqua DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Rischio e Indice di Pericolo Falda</b></p> $R_{GW} = \max [R_{GW.InaO}; R_{GW.Inal}; R_{GW.D}]$ $HI_{GW} = \max [HI_{GW.InaO}; HI_{GW.Inal}; HI_{GW.D}]$	

(\*)L'utente può selezionare se il trasporto off-site avviene in aria (ADF) o in falda (DAF).  
Per i recettori On-site DAF=1

<b>Tabella 14. Rischio Risorsa Idrica</b>	
<p><b>Lisciviazione da suolo superficiale</b></p> $R_{SS.LF} = \frac{CRS \cdot LF_{ss}}{DAF \cdot CSC_{Falda} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}}$	<p>CRS = Concentrazione in sorgente                      CSC<sub>falda</sub> = limite normativo per le acque sotterranee                      LF<sub>ss</sub> = Lisciviazione in falda                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Lisciviazione da suolo profondo</b></p> $R_{SP.LF} = \frac{CRS \cdot LF_{sp}}{DAF \cdot CSC_{Falda} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}}$	<p>CRS = Concentrazione in sorgente                      CSC<sub>falda</sub> = limite normativo per le acque sotterranee                      LF<sub>sp</sub> = Lisciviazione in falda                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Contaminazione in falda</b></p> $R_{GW.D} = \frac{CRS}{DAF \cdot CSC_{Falda} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}}$	<p>CRS = Concentrazione in sorgente                      CSC<sub>falda</sub> = limite normativo per le acque sotterranee                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>

Per i recettori On-site DAF=1

## APPENDICE 1B. CALCOLO DEL RISCHIO (CAR. AVANZATA)

Tabella 15. Misure Soil-gas: Rischio e Indice di Pericolo	
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</b></p> $R_{SG.InaO} = CRS \cdot SF_{Ina} \cdot \alpha_{samb} \cdot EM_{InaO} \cdot ADF$ $HI_{SG.InaO} = CRS \cdot \frac{\alpha_{samb} \cdot EM_{InaO} \cdot ADF}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione rappresentativa SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor α<sub>samb</sub> = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{SG.InaO} = CRS \cdot IUR \cdot \alpha_{samb} \cdot EC_{InaO} \cdot ADF$ $HI_{SG.InaO} = CRS \cdot \frac{\alpha_{samb} \cdot EC_{InaO} \cdot ADF}{RfC}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione rappresentativa IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor α<sub>samb</sub> = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</b></p> $R_{SG.Inal} = CRS \cdot SF_{Ina} \cdot \alpha_{sest} \cdot EM_{Inal}$ $HI_{SG.Inal} = CRS \cdot \frac{\alpha_{sest} \cdot EM_{Inal}}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione rappresentativa SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione EM<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor α<sub>sest</sub> = Volatilizzazione indoor</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{SG.Inal} = CRS \cdot IUR \cdot \alpha_{sest} \cdot EC_{Inal}$ $HI_{SG.Inal} = CRS \cdot \frac{\alpha_{sest} \cdot EC_{Inal}}{RfC}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione rappresentativa IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor α<sub>sest</sub> = Volatilizzazione indoor</p>
<p><b>Rischio e Indice di Pericolo Soil Gas</b></p> $R_{SG} = \max [R_{SG.InaO}; R_{SG.Inal}]$ $HI_{SG} = \max [HI_{SG.InaO}; HI_{SG.Inal}]$	

Per i recettori On-site ADF=1

Tabella 16. Camere di flusso: Rischio e Indice di Pericolo	
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (input concentrazione) (dosi di riferimento)</b></p> $R_{FC.InaO} = CRS \cdot SF_{Ina} \cdot \alpha_{FC} \cdot EM_{InaO} \cdot ADF$ $HI_{FC.InaO} = CRS \cdot \frac{\alpha_{FC} \cdot EM_{InaO} \cdot ADF}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione rappresentativa SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor <math>\alpha_{FC}</math> = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (input concentrazione) (concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{FC.InaO} = CRS \cdot IUR \cdot \alpha_{FC} \cdot EC_{InaO} \cdot ADF$ $HI_{FC.InaO} = CRS \cdot \frac{\alpha_{FC} \cdot EC_{InaO} \cdot ADF}{RfC}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione rappresentativa IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor <math>\alpha_{FC}</math> = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (input flusso) (dosi di riferimento)</b></p> $R_{FC.InaO} = F \cdot SF_{Ina} \cdot \alpha_{FC(flux)} \cdot EM_{InaO} \cdot ADF$ $HI_{FC.InaO} = F \cdot \frac{\alpha_{FC(flux)} \cdot EM_{InaO} \cdot ADF}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo F = flusso misurato SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor <math>\alpha_{FC(flux)}</math> = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (input flusso) (concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{FC.InaO} = F \cdot IUR \cdot \alpha_{FC(flux)} \cdot EC_{InaO} \cdot ADF$ $HI_{FC.InaO} = F \cdot \frac{\alpha_{FC(flux)} \cdot EC_{InaO} \cdot ADF}{RfC}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo F = flusso misurato IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor <math>\alpha_{FC(flux)}</math> = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>

Per i recettori On-site ADF=1

<b>Tabella 17. Misure in Aria: Rischio e Indice di Pericolo</b>	
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</b></p> $R_{AR.InaO} = CRS \cdot SF_{Ina} \cdot EM_{InaO} \cdot ADF$ $HI_{AR.InaO} = CRS \cdot \frac{EM_{InaO} \cdot ADF}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione rappresentativa SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{AR.InaO} = CRS \cdot IUR \cdot EC_{InaO} \cdot ADF$ $HI_{AR.InaO} = CRS \cdot \frac{EC_{InaO} \cdot ADF}{RfC}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione rappresentativa IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</b></p> $R_{AR.Inal} = CRS \cdot SF_{Ina} \cdot EM_{Inal}$ $HI_{AR.Inal} = CRS \cdot \frac{EM_{Inal}}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione rappresentativa SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione EM<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</b></p> $R_{AR.Inal} = CRS \cdot IUR \cdot EC_{Inal}$ $HI_{AR.Inal} = CRS \cdot \frac{EC_{Inal}}{RfC}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione rappresentativa IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor</p>
<p><b>Rischio e Indice di Pericolo Aria</b></p> $R_{AR} = \max [R_{AR.InaO}; R_{AR.Inal}]$ $HI_{AR} = \max [HI_{AR.InaO}; HI_{AR.Inal}]$	

Per i recettori On-site ADF=1

Tabella 18. Eluato suolo superficiale: Rischio e Indice di Pericolo	
<p><b>Ingestione di acqua</b></p> $R_{ELSS.D} = CRS \cdot \frac{\alpha_{LFSS} \cdot SF_{Ing} \cdot EM_{IngW}}{DAF}$ $HI_{ELSS.D} = CRS \cdot \frac{\alpha_{LFSS} \cdot EM_{IngW}}{RfD_{Ing} \cdot DAF}$	<p>R = Rischio cancerogeno                      HI = Indice di pericolo                      CRS = Concentrazione in sorgente                      SFI<sub>ng</sub> = Slope factor per ingestione                      RfD<sub>Ing</sub> = Reference dose ingestione                      EM<sub>IngW</sub> = Fattore di ingestione acqua                      α<sub>LFSS</sub> = Lisciviazione in falda                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Lisciviazione da suolo superficiale</b></p> $R_{GW.ELSS} = \frac{CRS \cdot \alpha_{LFSS}}{DAF \cdot CSC_{Falda} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}}$	<p>CRS = Concentrazione in sorgente                      CSC<sub>falda</sub> = limite normativo per le acque sotterranee                      α<sub>LFSS</sub> = Lisciviazione in falda                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>

Per i recettori On-site DAF=1

Tabella 19. Eluato suolo profondo: Rischio e Indice di Pericolo	
<p><b>Ingestione di acqua</b></p> $R_{ELsp.D} = CRS \cdot \frac{\alpha_{LFsp} \cdot SF_{Ing} \cdot EM_{IngW}}{DAF}$ $HI_{ELsp.D} = CRS \cdot \frac{\alpha_{LFsp} \cdot EM_{IngW}}{RfD_{Ing} \cdot DAF}$	<p>R = Rischio cancerogeno                      HI = Indice di pericolo                      CRS = Concentrazione in sorgente                      SFI<sub>ng</sub> = Slope factor per ingestione                      RfD<sub>Ing</sub> = Reference dose ingestione                      EM<sub>IngW</sub> = Fattore di ingestione acqua                      α<sub>LFsp</sub> = Lisciviazione in falda                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Lisciviazione da suolo superficiale</b></p> $R_{GW.ELsp} = \frac{CRS \cdot \alpha_{LFsp}}{DAF \cdot CSC_{Falda} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}}$	<p>CRS = Concentrazione in sorgente                      CSC<sub>falda</sub> = limite normativo per le acque sotterranee                      α<sub>LFsp</sub> = Lisciviazione in falda                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>

Per i recettori On-site DAF=1

## APPENDICE 1C. CALCOLO DEL RISCHIO (AREE AGRICOLE)

**Tabella 20. Calcolo del rischio per consumo prodotti agroalimentari**

<p><b>Average e Lifetime Average Daily Dose (ADD e LADD)</b></p> $ADD = [\sum_i (C \times IR)_i \times EF \times ED] / (BW \times AT_{ADD} \times 365)$ $LADD = [\sum_i (C \times IR)_i \times EF \times ED] / (BW \times AT_{LADD} \times 365)$ <p><i>Tale calcolo viene effettuato per ciascun recettore (bambino, adolescente, adulto e anziano)</i></p>	<p>C = Concentrazione nel prodotto agricolo (mg/g)                  IR = tasso di consumo alimentare pro Capite (g/giorno)                  EF = frequenza d'esposizione (giorni/anno)                  ED = durata di esposizione (anni)                  BW = peso corporeo (kg)                  AT<sub>ADD</sub> = tempo sul quale l'esposizione viene mediata per le sostanze non cancerogene (anni)                  AT<sub>LADD</sub> = tempo sul quale l'esposizione viene mediata per le sostanze cancerogene (anni)</p>
<p><b>Rischio e Indice di pericolo</b></p> $HI = ADD/RfD$ $R = LADD \times SF$ <p><i>Tale calcolo viene effettuato per ciascun recettore (bambino, adolescente, adulto e anziano)</i></p>	<p>HI = Indice di pericolo                  R = Rischio cancerogeno                  ADD = Average Daily Dose                  LADD = Lifetime Average Daily Dose                  RfD = Reference Dose Ingestione                  SF = Slope Factor Ingestione</p>

## APPENDICE 2A. OBIETTIVI DI BONIFICA (CSR)

Il calcolo degli obiettivi di bonifica (Concentrazioni Soglia di Rischio, CSR) viene effettuato mediante l'applicazione della procedura di Analisi di rischio in modalità inversa (backward mode). Tale analisi permette il calcolo degli obiettivi di bonifica sito-specifici per ciascuna sorgente di contaminazione che corrispondono al valore di concentrazione massimo ammissibile in sorgente, compatibile con il livello di rischio ritenuto tollerabile per il recettore esposto.

**CSR Individuali.** Il calcolo della Concentrazione Soglia di Rischio (CSR) viene effettuato utilizzando le stesse equazioni applicate per il calcolo del rischio (come descritto nell'Appendice 1), opportunamente invertite ed esplicitate in termini della concentrazione:

$$CSR = \frac{C_{poe}}{FT} = \frac{E}{EM \cdot FT} = \frac{TR}{SF \cdot EM \cdot FT} \quad \text{per le sostanze cancerogene}$$

$$CSR = \frac{C_{poe}}{FT} = \frac{E}{EM \cdot FT} = \frac{THI \cdot RfD}{EM \cdot FT} \quad \text{per le sostanze non cancerogene}$$

Dove:

TR: Target Risk. Livello di rischio individuale (singola sostanza) ritenuto accettabile (ad es. TR = 10<sup>-6</sup>)

THI: Target Hazard Index. Livello di indice di pericolo individuale (singola sostanza) ritenuto accettabile (THI = 1)

E: assunzione cronica giornaliera del contaminante.

SF: Slope Factor. Rappresenta la probabilità di casi incrementali di tumore.

RfD: Reference Dose. Rappresenta la stima dell'esposizione media giornaliera a sostanze non cancerogene che non produce effetti avversi apprezzabili sull'organismo umano durante il corso della vita.

C<sub>poe</sub>: Concentrazione calcolata in corrispondenza del punto di esposizione.

EM: portata effettiva di esposizione.

FT: fattore di trasporto

Tale calcolo deve essere effettuato per le diverse vie di esposizione e migrazione attive nel sito utilizzando i relativi fattori di esposizione e di trasporto (per maggiori dettagli si rimanda alle tabelle riportate di seguito). Le equazioni per il calcolo dei diversi fattori di trasporto (FT) sono riportati Appendice 3. Le equazioni per il calcolo dei fattori di esposizione sono riportati in Appendice 4.



Analogamente a quanto descritto per il calcolo del rischio, si evidenzia che le equazioni sopra riportate sono quelle presenti nei Criteri Metodologici ISPRA (2008) in cui viene indicato di utilizzare, per i percorsi di inalazione di vapori, le Reference Dose (RfD) e gli Slope Factor (SF) rimodulando l'esposizione in funzione del peso corporeo (BW) e del tasso di inalazione (B). In alternativa il software permette di utilizzare l'approccio indicato nel documento di supporto della banca dati ISS-INAIL (2018). In questo caso viene indicato di utilizzare le Reference Concentration (RfC) e l'Inhalation Unit Risk (IUR) riportati nella banca dati ISS-INAIL, senza rimodulazione per il peso corporeo e il tasso di inalazione.

Combinando le diverse equazioni si ottiene:

$$CSR = \frac{TR}{IUR \cdot EC \cdot FT} \quad \text{per le sostanze cancerogene}$$

$$CSR = \frac{THI \cdot RfC}{EC \cdot FT} \quad \text{per le sostanze non cancerogene}$$

Nelle tabelle riportate in queste appendice vengono riportate le equazioni implementate nel software utilizzando il metodo della "dosi di riferimento" o delle "concentrazioni di riferimento".

**CSR per più vie di esposizione.** Le equazioni precedentemente descritte permettono di stimare le CSR relative alla singola via di esposizione. La CSR individuale (associato al singolo contaminante) per la matrice considerata viene stimata cumulando gli effetti dei diversi scenari espositivi (ad es. esposizione outdoor) e successivamente scegliendo il valore più conservativo (ovvero il valore minore) tra le CSR calcolate per i diversi scenari. In particolare il cumulo degli effetti viene stimato come il reciproco della somma dei reciproci delle CSR calcolate per ciascuna via di esposizione. Si consideri, a titolo esemplificativo, il caso del calcolo della CSR per l'esposizione in ambienti outdoor:

$$CSR_{outdoor} = \frac{1}{1/CSR_{ingestione} + 1/CSR_{contatto.derm} + 1/CSR_{polveri} + 1/CSR_{vapori}}$$

Per gli altri scenari si rimanda alle tabelle riportate di seguito.

Nella Figura 37, Figura 38 e Figura 39 vengono riportati i criteri di cumulo utilizzati in Risk-net per il calcolo della CSR individuale associata a più vie attive per il suolo superficiale, suolo profondo e falda.

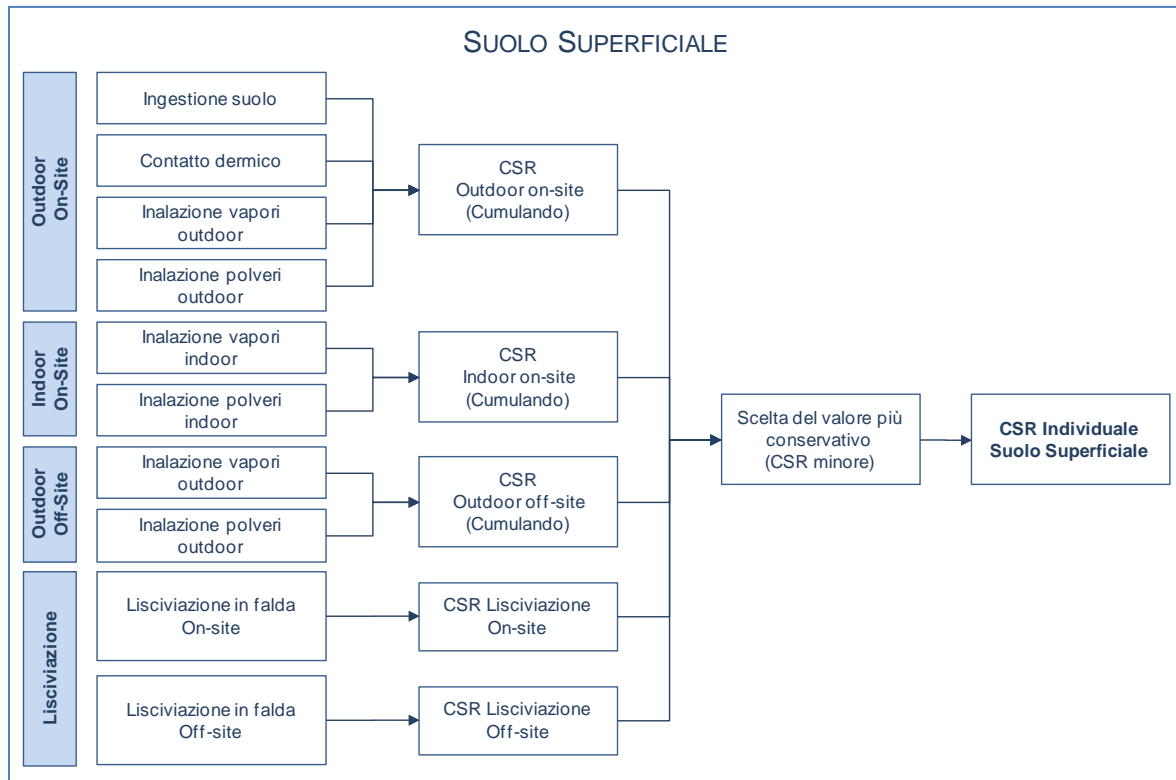


Figura 37. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo superficiale.

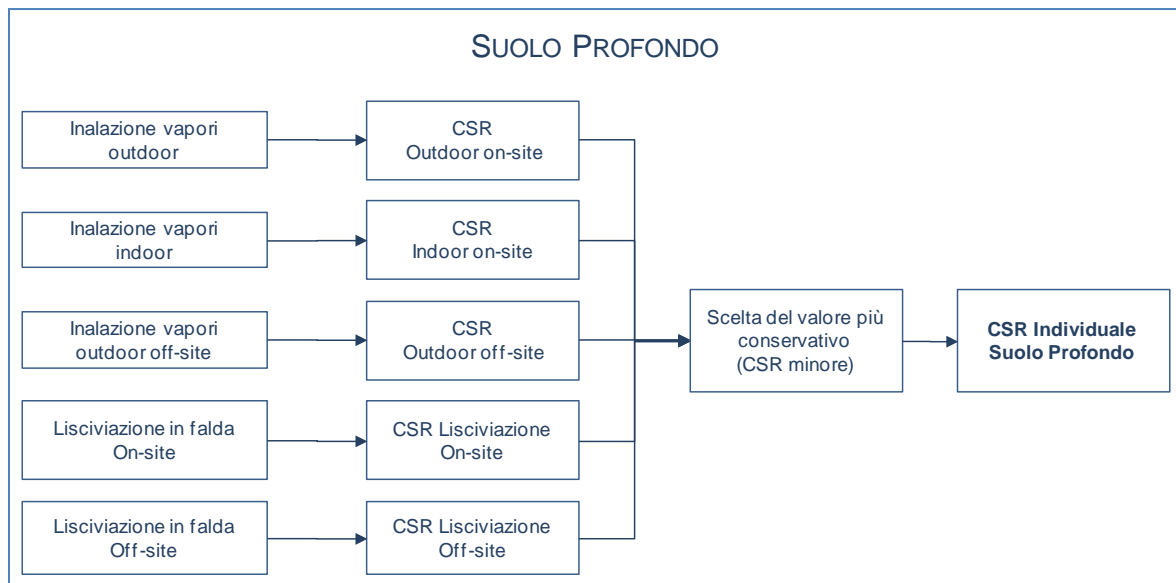


Figura 38. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo profondo.

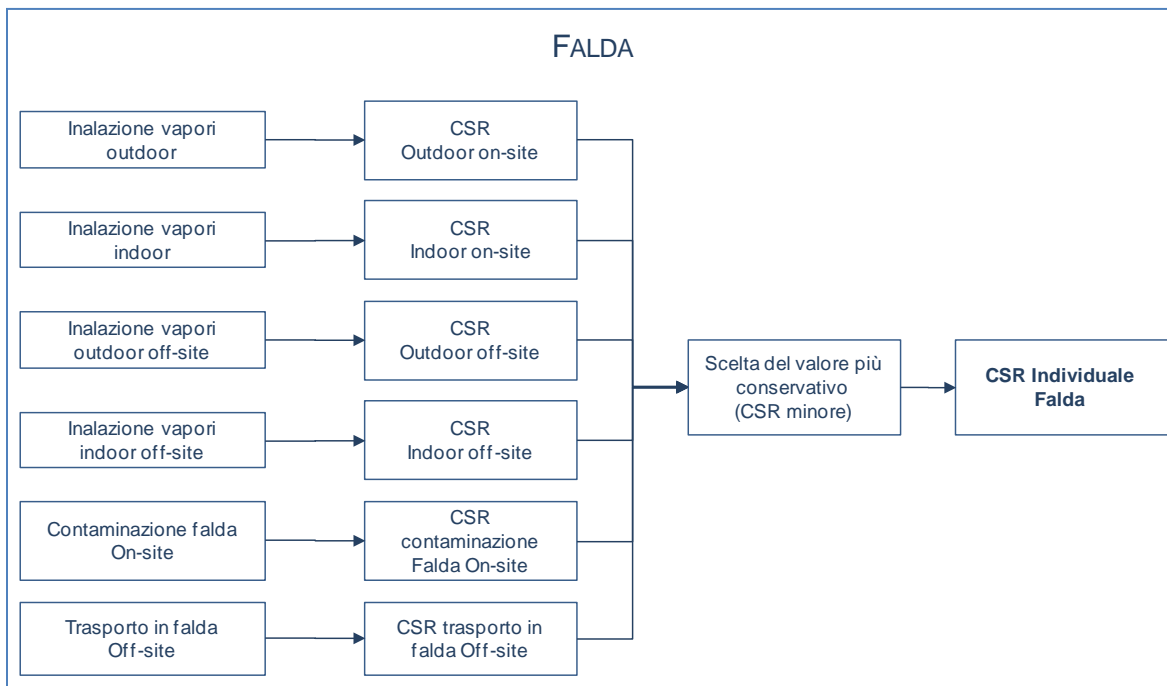


Figura 39. Criteri di cumulo delle CSR per la falda.

**CSR Cumulative (Obiettivi di bonifica).** Le CSR individuali non costituiscono però ancora gli obiettivi di bonifica in quanto le concentrazioni calcolate rispettano esclusivamente la condizione di rischio tollerabile per esposizione a singola sostanza. Per tenere conto degli effetti di cumulazione del rischio è necessario ridurre ulteriormente le concentrazioni delle specie presenti rispetto ai valori definiti dalle CSR individuali fino a garantire il raggiungimento di valori di concentrazione tali da rispettare la condizione di rischio cumulativo accettabile:

$$\sum_i^n CSR_i^{cum} \cdot FT_i \cdot EM_i \cdot SF_i \leq TR \quad \text{Rischio per le sostanze cancerogene}$$

$$\sum_i^n \frac{CSR_i^{cum} \cdot FT_i \cdot EM_i}{RfD_i} \leq THI \quad \text{Indice di Pericolo per le sostanze non cancerogene}$$

Tale verifica viene effettuata applicando l'Analisi di Rischio in modalità diretta ed impostando come concentrazione in sorgente (CRS, vedi Appendice 1) la CSR individuale calcolata. Se la sommatoria dei rischi (R) e degli indici di pericolo (HI) calcolati risultano inferiori o uguali al rischio e all'indice di pericolo cumulativo accettabile (ad es.  $R=10^{-5}$  e  $HI=1$ ), le CSR cumulative ( $CSR^{cum}$ ) sono proprio pari alle CSR individuali calcolate. Viceversa se i rischi o gli indici di pericolo totali sono superiori al valore limite,

l'utente deve ridurre iterativamente le CSR fino a che non vengano rispettati i valori limite (individuali e cumulativi). In questo caso la  $CSR^{cum}$  sarà pari alla CSR individuale ridotta di un fattore  $f$ :

$$CSR^{cum} = \frac{CSR^{ind}}{f}$$

Le CSR cumulative che rispettano i limiti individuali e cumulativi costituiscono gli obiettivi di bonifica sito-specifici della matrice contaminata.

<b>Tabella 21. Suolo Superficiale: CSR</b>	
<p><b>Ingestione suolo (no off-site)</b></p> $CSR_{SS.Ing} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ing} \cdot EM_{IngS} \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ing}}{EM_{IngS} \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg}} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ing</sub> = Slope factor per ingestione                      RfD<sub>Ing</sub> = Reference dose ingestione                      EM<sub>IngS</sub> = Fattore di ingestione di suolo</p>
<p><b>Contatto dermico (no off-site)</b></p> $CSR_{SS.ConD} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ing} \cdot EM_{ConD} \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ing}}{EM_{ConD} \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg}} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      EM<sub>ConD</sub> = Fattore di contatto dermico</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</b></p> $CSR_{SS.InaO} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InaO} \cdot VF_{ss} \cdot ADF} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{EM_{InaO} \cdot VF_{ss} \cdot ADF} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      VF<sub>ss</sub> = Volatilizzazione outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $CSR_{SS.InaO} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR}{IUR \cdot EC_{InaO} \cdot VF_{ss} \cdot ADF} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfC}{EC_{InaO} \cdot VF_{ss} \cdot ADF} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      IUR = Inhalation Unit Risk                      RfC = Concentrazione di riferimento                      EC<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      VF<sub>ss</sub> = Volatilizzazione outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione particolato outdoor (dosi di riferimento)</b></p> $CSR_{SS.InaOP} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InaO} \cdot PEF \cdot ADF} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{EM_{InaO} \cdot PEF \cdot ADF} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      PEF = Particolato outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>

<b>Tabella 21. Suolo Superficiale: CSR</b>	
<p><b>Inalazione particolato outdoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $CSR_{SS.InaOP} = \min \left\{ \begin{array}{l} CSR_{canc} = \frac{TR}{IUR \cdot EC_{InaO} \cdot PEF \cdot ADF} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfC}{EC_{InaO} \cdot PEF \cdot ADF} \end{array} \right.$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      PEF = Particolato outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Cumulativo Outdoor</b></p> $CSR_{SS.outdoor} = \begin{cases} \frac{1}{\frac{1}{CSR_{SS.IngS}} + \frac{1}{CSR_{SS.ConD}} + \frac{1}{CSR_{SS.InaO}} + \frac{1}{CSR_{SS.InaOP}}} & \text{(se } CSR_{InaO} \leq C_{sat} \text{)} \\ \frac{TR - R_{max,InaO}}{\frac{TR}{CSR_{SS.IngS}} + \frac{TR}{CSR_{SS.ConD}} + \frac{TR}{CSR_{SS.InaOP}}} & \text{(se } CSR_{InaO} > C_{sat} \text{)} \end{cases}$ $R_{max,InaO} = (C_{sat} / CSR_{InaO}) \cdot TR \quad \text{(se } CSR_{InaO} > C_{sat} \text{)}$	
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</b></p> $CSR_{SS.Inal} = \min \left\{ \begin{array}{l} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{Inal} \cdot VF_{ssesp}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{EM_{Inal} \cdot VF_{ssesp}} \end{array} \right.$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor                      VF<sub>ssesp</sub> = Volatilizzazione indoor</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</b></p> $CSR_{SS.Inal} = \min \left\{ \begin{array}{l} CSR_{canc} = \frac{TR}{IUR \cdot EC_{Inal} \cdot VF_{ssesp}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfC}{EC_{Inal} \cdot VF_{ssesp}} \end{array} \right.$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      IUR = Inhalation Unit Risk                      RfC = Concentrazione di riferimento                      EC<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor                      VF<sub>ssesp</sub> = Volatilizzazione indoor</p>
<p><b>Inalazione particolato indoor (no off-site)</b></p> $CSR_{SS.InalP} = \min \left\{ \begin{array}{l} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{Inal} \cdot PEF_{in}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{EM_{Inal} \cdot PEF_{in}} \end{array} \right.$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor                      PEF<sub>in</sub> = Particolato indoor</p>

Tabella 21. Suolo Superficiale: CSR	
<p><b>Cumulativo Indoor</b></p> $CSR_{SS.Indoor} = \begin{cases} \frac{1}{\frac{1}{CSR_{SS.Inal}} + \frac{1}{CSR_{SS.InalP}}} & (\text{se } CSR_{Inal} \leq C_{sat}) \\ \frac{TR - R_{max,Inal}}{TR} \cdot CSR_{SS.InalP} & (\text{se } CSR_{Inal} > C_{sat}) \end{cases}$ <p>Dove:</p> $R_{max,Inal} = (C_{sat} / CSR_{Inal}) \cdot TR \quad (\text{se } CSR_{Inal} > C_{sat})$	
<p><b>Ingestione di acqua per lisciviazione</b></p> $CSR_{SS.LF} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR \cdot DAF}{SF_{Ing} \cdot EM_{IngW} \cdot LF_{ss}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ing} \cdot DAF}{EM_{IngW} \cdot LF_{ss}} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                  CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                  TR = Rischio accettabile                  THQ = Indice di Pericolo Accettabile                  SF<sub>Ing</sub> = Slope factor per ingestione                  RfD<sub>Ing</sub> = Reference dose ingestione                  EM<sub>IngW</sub> = Fattore di ingestione acqua                  LF<sub>ss</sub> = Lisciviazione in falda                  DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>CSR Suolo superficiale</b></p> $CSR_{SS} = \min [CSR_{SS.outdoor}; CSR_{SS.Indoor}; CSR_{SS.LF}]$	

Per i recettori On-site ADF=1; DAF=1

<b>Tabella 22. Suolo Profondo: CSR</b>	
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</b></p> $CSR_{SP.InaO} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot VF_{samb} \cdot EM_{InaO} \cdot ADF} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{VF_{samb} \cdot EM_{InaO} \cdot ADF} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      VF<sub>samb</sub> = Volatilizzazione outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $CSR_{SP.InaO} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR}{IUR \cdot VF_{samb} \cdot EC_{InaO} \cdot ADF} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfC}{VF_{samb} \cdot EC_{InaO} \cdot ADF} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      IUR = Inhalation Unit Risk                      RfC = Concentrazione di riferimento                      EC<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      VF<sub>samb</sub> = Volatilizzazione outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</b></p> $CSR_{SP.Inal} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot VF_{seps} \cdot EM_{Inal}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{VF_{seps} \cdot EM_{Inal}} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor                      VF<sub>seps</sub> = Volatilizzazione indoor</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</b></p> $CSR_{SP.Inal} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR}{IUR \cdot VF_{seps} \cdot EC_{Inal}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfC}{VF_{seps} \cdot EC_{Inal}} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      IUR = Inhalation Unit Risk                      RfC = Concentrazione di riferimento                      EC<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor                      VF<sub>seps</sub> = Volatilizzazione indoor</p>
<p><b>Ingestione di acqua per lisciviazione</b></p> $CSR_{SP.LF} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR \cdot DAF}{SF_{Ing} \cdot EM_{IngW} \cdot LF_{sp}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ing} \cdot DAF}{EM_{IngW} \cdot LF_{sp}} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ing</sub> = Slope factor per ingestione                      RfD<sub>Ing</sub> = Reference dose ingestione                      EM<sub>IngW</sub> = Fattore di ingestione acqua                      LF<sub>sp</sub> = Lisciviazione in falda                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>CSR Suolo Profondo</b>  <math>CSR_{SP} = \min [CSR_{SP.InaO}; CSR_{SP.Inal}; CSR_{SP.LF}]</math></p>	

Per i recettori On-site ADF=1; DAF=1



<b>Tabella 23. Falda: CSR</b>	
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</b></p> $CSR_{GW.InaO} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR \cdot ADF *}{SF_{Ina} \cdot VF_{wamb} \cdot EM_{InaO}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina} \cdot ADF *}{VF_{wamb} \cdot EM_{InaO}} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      VF<sub>wamb</sub> = Volatilizzazione outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $CSR_{GW.InaO} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR \cdot ADF *}{IUR \cdot VF_{wamb} \cdot EC_{InaO}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfC \cdot ADF *}{VF_{wamb} \cdot EC_{InaO}} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      IUR = Inhalation Unit Risk                      RfC = Concentrazione di riferimento                      EC<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      VF<sub>wamb</sub> = Volatilizzazione outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (dosi di riferimento)</b></p> $CSR_{GW.Inal} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR \cdot DAF}{SF_{Ina} \cdot VF_{wesp} \cdot EM_{Inal}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina} \cdot DAF}{VF_{wesp} \cdot EM_{Inal}} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor                      VF<sub>wesp</sub> = Volatilizzazione indoor                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $CSR_{GW.Inal} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR \cdot DAF}{IUR \cdot VF_{wesp} \cdot EC_{Inal}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfC \cdot DAF}{VF_{wesp} \cdot EC_{Inal}} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      IUR = Inhalation Unit Risk                      RfC = Concentrazione di riferimento                      EC<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor                      VF<sub>wesp</sub> = Volatilizzazione indoor                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Ingestione di acqua</b></p> $CSR_{GW.D} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR \cdot DAF}{SF_{Ing} \cdot EM_{IngW}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ing} \cdot DAF}{EM_{IngW}} \end{cases}$	<p>CSR<sub>canc</sub> = CSR sost. cancerogene                      CSR<sub>non.canc</sub> = CSR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ing</sub> = Slope factor per ingestione                      RfD<sub>Ing</sub> = Reference dose ingestione                      EM<sub>IngW</sub> = Fattore di ingestione acqua                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>CSR Falda</b>  <math>CSR_{GW} = \min [CSR_{GW.InaO}; CSR_{GW.Inal}; CSR_{GW.D}]</math></p>	

(\*) In questa versione del software l'utente può selezionare se il trasporto off-site avviene in aria (ADF) o in falda (DAF).

Per i recettori On-site DAF=1

Tabella 24. CSR Risorsa Idrica	
<p><b>Lisciviazione da suolo superficiale</b></p> $CSR_{SS.LF} = \frac{CSC_{Falda} \cdot DAF}{LF_{ss}} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}$	<p>CSC<sub>falda</sub> = limite normativo per le acque sotterranee                      LF<sub>ss</sub> = Lisciviazione in falda                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Lisciviazione da suolo profondo</b></p> $CSR_{SP.LF} = \frac{CSC_{Falda} \cdot DAF}{LF_{sp}} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}$	<p>CSC<sub>falda</sub> = limite normativo per le acque sotterranee                      LF<sub>sp</sub> = Lisciviazione in falda                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Ingestione di acqua</b></p> $CSR_{GW.D} = DAF \cdot CSC_{Falda} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}$	<p>CSC<sub>falda</sub> = limite normativo per le acque sotterranee                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>

Per i recettori On-site DAF=1

**Tabella 25. Calcolo CSR Idrocarburi**

**CLASSIFICAZIONE MADEP**

**Calcolo CSR Idrocarburi C < 12**

$$CSR_{C<12} = \min \left( CSR_{MADEP1} / fraz_1^{C<12}; CSR_{MADEP2} / fraz_2^{C<12}; \dots; CSR_{MADEPn} / fraz_n^{C<12} \right)$$

**Calcolo CSR Idrocarburi C > 12**

$$CSR_{C>12} = \min \left( CSR_{MADEP1} / fraz_1^{C>12}; CSR_{MADEP2} / fraz_2^{C>12}; \dots; CSR_{MADEPn} / fraz_n^{C>12} \right)$$

**Calcolo CSR Idrocarburi totali**

$$CSR_{HC} = \min \left( CSR_{MADEP1} / fraz_1^{HC}; CSR_{MADEP2} / fraz_2^{HC}; \dots; CSR_{MADEPn} / fraz_n^{HC} \right)$$

**Nomenclatura**

$CSR_{MADEPi}$  = CSR calcolata per la i-esima classe del MADEP

$fraz_i^{C<12}$  e  $fraz_i^{C>12}$  = frazioni dell'i-esima classe MADEP nel frazionamento dei C<12 e C>12

$fraz_i^{HC}$  = frazioni dell'i-esima classe MADEP nel frazionamento degli idrocarburi totali.

Le frazioni vengono calcolate in automatico dal software per ciascuna sottoclasse in funzione delle concentrazioni definite dall'utente (ad es.  $fraz_1 = CRS_1 / \sum CRS_i$ ). Si sottolinea che nella speciazione MADEP in maniera cautelativa le classi miste (Alifatici C9-C18 e Aromatici C11-C22) vengono conteggiate sia nei C<12 che nei C>12.

**CLASSIFICAZIONE TPH WG**

**Calcolo CSR Idrocarburi C < 12**

$$CSR_{C<12} = \min \left( CSR_{TPHWG1} / fraz_1^{C<12}; CSR_{TPHWG2} / fraz_2^{C<12}; \dots; CSR_{TPHWGn} / fraz_n^{C<12} \right)$$

**Calcolo CSR Idrocarburi C > 12**

$$CSR_{C>12} = \min \left( CSR_{TPHWG1} / fraz_1^{C>12}; CSR_{TPHWG2} / fraz_2^{C>12}; \dots; CSR_{TPHWGn} / fraz_n^{C>12} \right)$$

**Calcolo CSR Idrocarburi totali**

$$CSR_{HC} = \min \left( CSR_{TPHWG1} / fraz_1^{HC}; CSR_{TPHWG2} / fraz_2^{HC}; \dots; CSR_{TPHWGn} / fraz_n^{HC} \right)$$

**Nomenclatura**

$CSR_{TPHWGi}$  = CSR calcolata per la i-esima classe del TPH WG

$fraz_i^{C<12}$  e  $fraz_i^{C>12}$  = frazioni dell'i-esima classe TPH WG nel frazionamento dei C<12 e C>12

$fraz_i^{HC}$  = frazioni dell'i-esima classe TPH WG nel frazionamento degli idrocarburi totali.

Le frazioni vengono calcolate in automatico dal software per ciascuna sottoclasse in funzione delle concentrazioni definite dall'utente (ad es.  $fraz_1 = CRS_1 / \sum CRS_i$ ).

Tabella 26. Screening Prodotto Libero

**Zona Insatura (ASTM E2081-00)**

$$RBSL_{NAPL} = \frac{\theta_w + H(\theta_a - \theta_o) + \rho_s \cdot K_s}{\rho_s} \cdot S + \frac{\theta_o \cdot \rho_o}{\rho_s} \cdot 10^6 \frac{mg}{kg}$$

**Frazione volumetrica della fase residuale,  $\theta_o$  (-)**

$$\theta_o = \theta_e \cdot S_r$$

**Zona Saturata (ASTM E2081-00)**

$$RBSL_{NAPL} = \frac{(\theta_{e,sat} - \theta_o) + \rho_s \cdot K_s}{\rho_s} \cdot S + \frac{\theta_o \cdot \rho_o}{\rho_s} \cdot 10^6 \frac{mg}{kg}$$

**Frazione volumetrica della fase residuale,  $\theta_o$  (-)**

$$\theta_o = \theta_{e,sat} \cdot S_{r,sat}$$

**Nomenclatura**

$S_r$  = Frazione residua dei pori zona insatura (-)

$S_{r,sat}$  = Frazione residua dei pori zona satura(-)

$\theta_w$  = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

$\theta_a$  = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

$\theta_e$  = Porosità effettiva zona insatura (-)

$\theta_{e,sat}$  = Porosità effettiva zona satura (-)

$K_s$  = coefficiente di ripartizione tra il soluto e la fase adsorbita(kg/L)

$H$  = costante di Henry (-)

$\rho_s$  = Densità del suolo (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_o$  = Densità del contaminante (g/cm<sup>3</sup>)

## APPENDICE 2B. CONCENTRAZIONI DI RIFERIMENTO

<b>Tabella 27. Concentrazioni di riferimento (CR): aria</b>	
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</b></p> $CR_{AR.InaO} = \min \begin{cases} CR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InaO} \cdot ADF} \\ CR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{EM_{InaO} \cdot ADF} \end{cases}$	<p>CR<sub>canc</sub> = CR sost. cancerogene                      CR<sub>non.canc</sub> = CR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $CR_{AR.InaO} = \min \begin{cases} CR_{canc} = \frac{TR}{IUR \cdot EC_{InaO} \cdot ADF} \\ CR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfC}{EC_{InaO} \cdot ADF} \end{cases}$	<p>CR<sub>canc</sub> = CR sost. cancerogene                      CR<sub>non.canc</sub> = CR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      IUR = Inhalation Unit Risk                      RfC = Concentrazione di riferimento                      EC<sub>InaO</sub> = Fattore di inalazione outdoor                      ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</b></p> $CR_{AR.Inal} = \min \begin{cases} CR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{Inal}} \\ CR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{EM_{Inal}} \end{cases}$	<p>CR<sub>canc</sub> = CR sost. cancerogene                      CR<sub>non.canc</sub> = CR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      SF<sub>Ina</sub> = Slope factor - inalazione                      RfD<sub>Ina</sub> = Reference dose - inalazione                      EM<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor</p>
<p><b>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</b></p> $CR_{AR.Inal} = \min \begin{cases} CR_{canc} = \frac{TR}{IUR \cdot EC_{Inal}} \\ CR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfC}{EC_{Inal}} \end{cases}$	<p>CR<sub>canc</sub> = CR sost. cancerogene                      CR<sub>non.canc</sub> = CR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile                      IUR = Inhalation Unit Risk                      RfC = Concentrazione di riferimento                      EC<sub>Inal</sub> = Fattore di inalazione indoor</p>
<p><b>CR Aria</b>  <math>CR_{AR} = \min [CR_{AR.InaO}; CR_{AR.Inal}]</math></p>	

Per i recettori On-site ADF=1

**Tabella 28. Concentrazioni di riferimento (CR): camere di flusso**

<b>Inalazione di vapori outdoor</b>	
$CR_{FC.InaO} = \frac{CR_{AR.InaO}}{\alpha_{FC} \cdot ADF}$	$\alpha_{FC}$ = Fattore di attenuazione per volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica

Per i recettori On-site ADF=1

**Tabella 29. Concentrazioni di riferimento (CR): soil-gas**

<b>Inalazione di vapori outdoor</b>	
$CR_{SG.InaO} = \frac{CR_{AR.InaO}}{\alpha_{samb} \cdot ADF}$	$\alpha_{samb}$ = Fattore di attenuazione per volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica
<b>Inalazione di vapori indoor</b>	
$CR_{SG.Inal} = \frac{CR_{AR.Inal}}{\alpha_{sepp}}$	$\alpha_{sepp}$ = Fattore di attenuazione per volatilizzazione indoor
<b>CR soil-gas</b>	
$CR_{SG} = \min [CR_{SG.InaO}; CR_{SG.Inal}]$	

Per i recettori On-site ADF=1

**Tabella 30. Concentrazioni di riferimento (CR): eluato da suolo superficiale**

<b>Lisciviazione da suolo superficiale</b>	
$CR_{ELss} = \frac{CSC_{Falda} \cdot DAF}{\alpha_{LFss}} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}$	$CSC_{falda}$ = limite normativo per le acque sotterranee $\alpha_{LFss}$ = Fattore di attenuazione per lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda
<b>Ingestione di acqua per lisciviazione</b>	
$CR_{ELss} = \min \left\{ \begin{array}{l} CR_{canc} = \frac{TR \cdot DAF}{SF_{Ing} \cdot EM_{IngW} \cdot \alpha_{LFss}} \\ CR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ing} \cdot DAF}{EM_{IngW} \cdot \alpha_{LFss}} \end{array} \right.$	$CR_{canc}$ = CR sost. cancerogene $CR_{non.canc}$ = CR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile $SF_{Ing}$ = Slope factor per ingestione $RfD_{Ing}$ = Reference dose ingestione $EM_{IngW}$ = Fattore di ingestione acqua $\alpha_{LFss}$ = Fattore di attenuazione per lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda

Per i recettori On-site DAF=1

<b>Tabella 31. Concentrazioni di riferimento (CR): eluato da suolo profondo</b>	
<p><b>Lisciviazione da suolo profondo</b></p> $CR_{ELsp} = \frac{CSC_{Falda} \cdot DAF}{\alpha_{LFsp}} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}$	<p><math>CSC_{falda}</math> = limite normativo per le acque sotterranee  <math>\alpha_{LFsp}</math> = Fattore di attenuazione per lisciviazione in falda                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p><b>Ingestione di acqua per lisciviazione</b></p> $CR_{ELsp} = \min \left\{ \begin{array}{l} CR_{canc} = \frac{TR \cdot DAF}{SF_{Ing} \cdot EM_{IngW} \cdot \alpha_{LFsp}} \\ CR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ing} \cdot DAF}{EM_{IngW} \cdot \alpha_{LFsp}} \end{array} \right.$	<p><math>CR_{canc}</math> = CR sost. cancerogene  <math>CR_{non.canc}</math> = CR sost. tossiche                      TR = Rischio accettabile                      THQ = Indice di Pericolo Accettabile  <math>SF_{Ing}</math> = Slope factor per ingestione  <math>RfD_{Ing}</math> = Reference dose ingestione  <math>EM_{IngW}</math> = Fattore di ingestione acqua  <math>\alpha_{LFsp}</math> = Fattore di attenuazione per lisciviazione in falda                      DAF = Fattore di diluizione in falda</p>

Per i recettori On-site DAF=1

## APPENDICE 3A. FATTORI DI TRASPORTO (CAR. STANDARD)

I fattori di trasporto (FT) intervengono nella valutazione delle esposizioni indirette ovvero laddove eventuali contaminanti possono raggiungere i bersagli solo attraverso la migrazione e diffusione dal comparto ambientale.

Per il calcolo dei fattori di trasporto è indispensabile determinare le caratteristiche fisiche dei comparti ambientali coinvolti (suolo insaturo, suolo saturo, aria indoor e aria outdoor) nonché le caratteristiche chimico-fisiche degli inquinanti in modo da poter determinare la ripartizione e dispersione dei contaminanti.

I fattori di trasporto considerati nel software Risk-net per la caratterizzazione standard (suolo superficiale, suolo profondo e falda) sono:

### *Da Suolo Superficiale*

- $VF_{ss}$ : fattore di volatilizzazione di vapori outdoor
- $VF_{sest}$ : fattore di volatilizzazione di vapori indoor
- PEF: emissione di particolato outdoor
- $PEF_{in}$ : emissione di particolato indoor
- $LF_{ss}$ : fattore di lisciviazione in falda

### *Da Suolo Profondo*

- $VF_{samb}$ : fattore di volatilizzazione di vapori outdoor
- $VF_{sest}$ : fattore di volatilizzazione di vapori indoor
- $LF_{sp}$ : fattore di lisciviazione in falda da suolo

### *Dalla Falda*

- $VF_{wamb}$ : fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da falda
- $VF_{wesp}$ : fattore di volatilizzazione di vapori indoor da falda
- DAF: fattore di attenuazione in falda

### *Dispersione in Aria*

- ADF: fattore di dispersione in aria outdoor.

Le principali assunzioni, su cui si basano le equazioni sono:

- concentrazione degli inquinanti uniformemente distribuita nel suolo e costante per tutto il periodo di esposizione;
- terreno omogeneo, isotropo e incoerente (si escludono quindi i suoli fratturati e fessurati).



**Tabella 32. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori outdoor**

$$VF_{ss} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / kg_{suolo}} \right] = \min \left\{ \begin{array}{l} VF_{ss} (1) = \frac{2 \cdot W' \cdot \rho_s}{U_{air} \cdot \delta_{air}} BDF_{Vol} \sqrt{\frac{D_s^{eff} \cdot H}{\pi \cdot \tau_{outdoor} \cdot (\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a)}} \cdot 10^3 \\ VF_{ss} (2) = \frac{W' \cdot \rho_s \cdot d}{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot \tau_{outdoor}} \cdot 10^3 \quad (\text{opzionale}) \end{array} \right.$$

**Verifica profondità sorgente suolo superficiale (opzionale)**

$$VF_{ss} (1) = \begin{cases} \frac{2 \cdot W' \cdot \rho_s}{U_{air} \cdot \delta_{air}} BDF_{Vol} \sqrt{\frac{D_s^{eff} \cdot H}{\pi \cdot \tau_{outdoor} \cdot (\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a)}} \cdot 10^3 & \text{se } L_{s(SS)} = 0 \\ \frac{H \cdot \rho_s}{(\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a) \cdot \left( 1 + \frac{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot L_{s(SS)}}{D_s^{eff} \cdot W'} \right)} BDF_{Vol} \cdot 10^3 & \text{se } L_{s(SS)} > 0 \end{cases}$$

**Nomenclatura**

*d* = spessore della sorgente nel suolo superficiale insaturo (cm)

*L<sub>s(SS)</sub>* = Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c. (cm)

*D<sub>s<sup>eff</sup></sub>* = Coefficiente di diffusione nella zona insatura (cm<sup>2</sup>/s)

*W'* = Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (cm)

*δ<sub>air</sub>* = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)

*U<sub>air</sub>* = Velocità del vento (cm/s)

*T<sub>outdoor</sub>* = Tempo medio di durata del flusso di vapore outdoor (impostato pari alla durata di esposizione) (s)

*θ<sub>w</sub>* = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

*θ<sub>a</sub>* = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

*θ<sub>e</sub>* = Porosità effettiva zona insatura (-)

*H* = costante di Henry (-)

*ρ<sub>s</sub>* = Densità del suolo (g/cm<sup>3</sup>)

*BDF<sub>Vol</sub>* = Fattore di attenuazione per biodegradazione per il percorso di volatilizzazione (-)

**Tabella 33. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori indoor**

$$VF_{ssesp} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / kg_{suolo}} \right] = \min \left\{ \begin{array}{l} VF_{ssesp} (1) \\ VF_{ssesp} (2) = \frac{\rho_s \cdot d}{L_b \cdot ER \cdot \tau_{indoor}} \cdot 10^3 \quad (\text{opzionale}) \end{array} \right.$$

Flusso solo diffusivo ( $\Delta p=0$ )

$$VF_{ssesp} (1) = \frac{\frac{H \cdot \rho_s}{(\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a)} \cdot \frac{D_s^{eff}}{(L_{s(SS)} - Z_{crack}) \cdot L_b \cdot ER}}{1 + \frac{D_s^{eff}}{(L_{s(SS)} - Z_{crack}) \cdot L_b \cdot ER} + \frac{D_s^{eff} \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \cdot \eta \cdot (L_{s(SS)} - Z_{crack})}} \cdot BDF_{Vol} \cdot 10^3$$

Flusso diffusivo e convettivo ( $\Delta p \neq 0$ )

$$VF_{ssesp} (1) = \frac{\frac{H \cdot \rho_s}{(\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a)} \cdot \frac{D_s^{eff}}{(L_{s(SS)} - Z_{crack}) \cdot L_b \cdot ER} \cdot e^{\xi}}{e^{\xi} + \frac{D_s^{eff}}{(L_{s(SS)} - Z_{crack}) \cdot L_b \cdot ER} + \frac{D_s^{eff} \cdot A_b}{Q_s \cdot (L_{s(SS)} - Z_{crack})}} \cdot (e^{\xi} - 1)} \cdot BDF_{Vol} \cdot 10^3$$

Flusso di vapore entrante nell'edificio,  $Q_s$  ( $cm^3/s$ )

$$Q_s = \frac{2\pi \cdot \Delta p \cdot k_v \cdot X_{crack}}{\mu_{air} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot Z_{crack} \cdot X_{crack}}{A_b \cdot \eta} \right)} \quad \xi = \frac{Q_s \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \cdot A_b \cdot \eta}$$

**Nomenclatura**

$L_{crack}$  = spessore fondazioni (cm)

$L_b$  = Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (cm)

$Z_{crack}$  = profondità fondazioni da p.c. (cm)

$d$  = spessore della sorgente nel suolo superficiale insaturo (cm)

$L_{s(SS)}$  = Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c. (cm)

$D_s^{eff}$  = Coefficiente di diffusione nella zona insatura ( $cm^2/s$ )

$D_{crack}^{eff}$  = Coefficiente di diffusione nelle fondazioni ( $cm^2/s$ )

$T_{indoor}$  = Tempo medio di durata del flusso di vapore indoor (impostato pari alla durata di esposizione) (s)

$ER$  = tasso di ricambio aria indoor (1/s)

$\eta$  = Frazione areale di fratture indoor (-)

$\theta_w$  = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

$\theta_a$  = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

$\theta_e$  = Porosità effettiva zona insatura (-)

$H$  = costante di Henry (-)

$\rho_s$  = Densità del suolo ( $g/cm^3$ )

$X_{crack}$  = perimetro delle fondazioni (cm)

$\Delta p$  = Differenza di pressione tra indoor e outdoor ( $g/cm^2/s$ )

$k_v$  = Permeabilità del suolo al flusso di vapore ( $cm^2$ )

$A_b$  = Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione ( $cm^2$ )

$\mu_{air}$  = Viscosità del vapore ( $g/cm/s$ )

$BDF_{Vol}$  = Fattore di attenuazione per biodegradazione per il percorso di volatilizzazione (-)

**Tabella 34. Suolo Superficiale: Lisciviazione in falda**

$$LF_{ss} \left[ \frac{mg / L_{acqua}}{mg / kg_{suolo}} \right] = \min \left\{ \begin{array}{l} LF_{ss} (1) = \frac{K_{ws} \cdot SAM}{LDF} BDF_{LF} \\ LF_{ss} (2) = \frac{d \cdot \rho_s}{I_{eff} \cdot \tau_{LF}} \quad (\text{opzionale}) \end{array} \right.$$

**Soil Attenuation model, SAM (-)**

$$SAM = \frac{d}{L_{gw} - L_{s(SS)}} \quad (\text{opzionale})$$

**Fattore di diluizione, LDF (-)**

$$LDF = 1 + \frac{v_{gw} \cdot \delta_{gw}}{I_{eff} \cdot W}$$

**Coefficienti di Ripartizione (kg/L)**

$$K_{ws} = \frac{\rho_s}{\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a} \quad K_s = \begin{cases} K_d & \text{composti inorganici} \\ K_{oc} \cdot f_{oc} & \text{composti organici} \end{cases}$$

**Spessore zona di miscelazione,  $\delta_{gw}$  (cm)**

$$\delta_{gw} = (2 \cdot 0.0056 \cdot W^2)^{0.5} + d_a \cdot \left[ 1 - \exp \left( - \frac{W \cdot I_{eff}}{v_{gw} \cdot d_a} \right) \right] \quad \text{Se } \delta_{gw} > d_a \rightarrow \delta_{gw} = d_a$$

**Nomenclatura**

$d$  = spessore della sorgente nel suolo superficiale (cm)

$L_{gw}$  = soggiacenza della falda rispetto al p.c. (cm)

$L_{s(SS)}$  = Profondità del top della sorgente rispetto al p.c. (cm)

$v_{gw}$  = velocità di Darcy (cm/s)

$K_{sat}$  = conducibilità idraulica (cm/s)

$I_{eff}$  = Infiltrazione efficace (cm/s)

$\tau_{LF}$  = tempo di durata media del lisciviato (impostato pari alla durata di esposizione) (s)

$\theta_w$  = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

$\theta_a$  = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

$\theta_e$  = Porosità effettiva zona insatura (-)

$H$  = costante di Henry (-)

$\rho_s$  = Densità del suolo ( $g/cm^3$ )

$f_{oc}$  = frazione di carbonio organico (-)

$d_a$  = spessore acquifero (cm)

$W$  = estensione della sorgente nella direzione principale del flusso di falda (cm)

$\alpha_z$  = Dispersività verticale (cm)

$BDF_{LF}$  = Fattore di attenuazione per biodegradazione per il percorso di lisciviazione (-)

$I_{eff}$  = Infiltrazione efficace (cm/anno)

**Tabella 35. Suolo Superficiale: Emissione di Particolato**

*Ambienti Outdoor*

$$PEF \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / kg_{suolo}} \right] = \frac{P_e \cdot W'}{U_{air} \cdot \delta_{air}} \cdot 10^3$$

*Ambienti Indoor*

$$PEF_{in} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / kg_{suolo}} \right] = PEF \cdot F_i$$

**Nomenclatura**

$W'$  = Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (cm)

$\delta_{air}$  = Altezza della zona di miscelazione in aria(cm)

$U_{air}$  = Velocità del vento (cm/s)

$P_e$  = Portata di particolato per unità di superficie(g/cm<sup>2</sup>/s)

$F_i$  = Frazione di polveri indoor (-)

**Tabella 36. Dispersione In Atmosfera**

$$ADF \left[ \frac{mg / m^3_{aria,offsite}}{mg / m^3_{aria,onsite}} \right] = \frac{Q}{2\pi \cdot U_{air} \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot \left[ 2 \cdot \exp \left( -\frac{1}{2} \frac{\delta_{air}^2}{\sigma_z^2} \right) \right]$$

Quantità di inquinante emessa dalla sorgente, Q [cm<sup>3</sup>/s]

$$Q = U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot S_w$$

Si sottolinea che nel caso in cui il valore di ADF calcolato risulti superiore a 1, l'ADF viene assunto pari proprio al valore unitario (ADF=1).

**Nomenclatura**

$S_w$  = Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento (cm)

$\delta_{air}$  = Altezza della zona di miscelazione in aria(cm)

$U_{air}$  = Velocità del vento (cm/s)

$\sigma_y$  = Coefficiente di dispersione trasversale (cm)

$\sigma_z$  = Coefficiente di dispersione verticale(cm)

**Tabella 37. Coefficienti di dispersione In Atmosfera**

*Equazioni empiriche implementate nel software per la determinazione dei coefficienti di dispersione in atmosfera (Briggs, 1973).*

Classe di stabilità	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
<b>Aree aperte (campagna)</b>		
A	$0.22d (1 + 0.0001d)^{-1/2}$	0.20d
B	$0.16d (1 + 0.0001d)^{-1/2}$	0.12d
C	$0.11d (1 + 0.0001d)^{-1/2}$	$0.07d (1 + 0.0002d)^{-1/2}$
D	$0.08d (1 + 0.0001d)^{-1/2}$	$0.06d (1 + 0.0015d)^{-1/2}$
E	$0.06d (1 + 0.0001d)^{-1/2}$	$0.03d (1 + 0.0003d)^{-1}$
F	$0.04d (1 + 0.0001d)^{-1/2}$	$0.016d (1 + 0.0003d)^{-1}$
<b>Aree Urbane</b>		
A – B	$0.32d (1 + 0.0004d)^{-1/2}$	$0.24 (1 + 0.001d)^{-1/2}$
C	$0.22d (1 + 0.0004d)^{-1/2}$	0.20d
D	$0.16d (1 + 0.0004d)^{-1/2}$	$0.14d (1 + 0.0003d)^{-1/2}$
E - F	$0.11d (1 + 0.0004d)^{-1/2}$	$0.08d (1 + 0.00015d)^{-1/2}$

*Tali equazioni risultano valide per  $100\text{ m} < d < 10000\text{ m}$*

**Nomenclatura**

$\sigma_y$  = Coefficiente di dispersione trasversale (m)

$\sigma_z$  = Coefficiente di dispersione verticale(m)

$d$  = Distanza dalla sorgente al bersaglio (m)

**Tabella 38. Stima velocità del vento in corrispondenza dell'altezza di miscelazione**

*Equazione implementata nel software per la stima della velocità del vento in corrispondenza dell'altezza di miscelazione ( $\delta_{air}$ ) in funzione dell'altezza della centralina ( $z_2$ ).*

$$\frac{U_{air}(z_1)}{U_{air}(z_2)} = \left( \frac{z_1}{z_2} \right)^p$$

<b>Coefficiente empirico "p"</b>						
Classe di stabilità	A	B	C	D	E	F
Suolo urbano	0.15	0.15	0.20	0.25	0.40	0.60
Suolo rurale	0.07	0.07	0.10	0.15	0.35	0.55

Tabella 39. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori outdoor

$$VF_{samb} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / kg_{suolo}} \right] = \min \left\{ \begin{array}{l} VF_{samb} (1) = \frac{H \cdot \rho_s}{(\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a) \cdot \left( 1 + \frac{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot L_{s(SP)}}{D_s^{eff} \cdot W'} \right)} BDF_{Vol} \cdot 10^3 \\ VF_{samb} (2) = \frac{W' \cdot \rho_s \cdot d_s}{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot \tau_{outdoor}} \cdot 10^3 \quad (\text{opzionale}) \end{array} \right.$$

**Nomenclatura**

$d_s$  = spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo) (cm)

$L_{s(SP)}$  = Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c. (cm)

$D_s^{eff}$  = Coefficiente di diffusione nella zona insatura ( $cm^2/s$ )

$W'$  = Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (cm)

$\delta_{air}$  = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)

$U_{air}$  = Velocità del vento ( $cm/s$ )

$\tau_{outdoor}$  = Tempo medio di durata del flusso di vapore outdoor (impostato pari alla durata di esposizione) (s)

$\theta_w$  = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

$\theta_a$  = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

$\theta_e$  = Porosità effettiva zona insatura (-)

$H$  = costante di Henry (-)

$\rho_s$  = Densità del suolo ( $g/cm^3$ )

$BDF_{Vol}$  = Fattore di attenuazione per biodegradazione per il percorso di volatilizzazione (-)

**Tabella 40. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori indoor**

$$VF_{sesp} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / kg_{suolo}} \right] = \min \left\{ \begin{array}{l} VF_{sesp} (1) \\ VF_{sesp} (2) = \frac{\rho_s \cdot d_s}{L_b \cdot ER \cdot \tau_{indoor}} \cdot 10^3 \quad (\text{opzionale}) \end{array} \right.$$

Flusso solo diffusivo ( $\Delta p=0$ )

$$VF_{sesp} (1) = \frac{\frac{H \cdot \rho_s}{(\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a)} \cdot \frac{D_s^{eff}}{(L_{s(SP)} - Z_{crack}) \cdot L_b \cdot ER}}{1 + \frac{D_s^{eff}}{(L_{s(SP)} - Z_{crack}) \cdot L_b \cdot ER} + \frac{D_s^{eff} \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \cdot \eta \cdot (L_{s(SP)} - Z_{crack})}} \cdot BDF_{Vol} \cdot 10^3$$

Flusso diffusivo e convettivo ( $\Delta p \neq 0$ )

$$VF_{sesp} (1) = \frac{\frac{H \cdot \rho_s}{(\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a)} \cdot \frac{D_s^{eff}}{(L_{s(SP)} - Z_{crack}) \cdot L_b \cdot ER} \cdot e^{\xi}}{e^{\xi} + \frac{D_s^{eff}}{(L_{s(SP)} - Z_{crack}) \cdot L_b \cdot ER} + \frac{D_s^{eff} \cdot A_b}{Q_s \cdot (L_{s(SP)} - Z_{crack})} \cdot (e^{\xi} - 1)} \cdot BDF_{Vol} \cdot 10^3$$

Flusso di vapore entrante nell'edificio,  $Q_s$  ( $cm^3/s$ )

$$Q_s = \frac{2\pi \cdot \Delta p \cdot k_v \cdot X_{crack}}{\mu_{air} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot Z_{crack} \cdot X_{crack}}{A_b \cdot \eta} \right)} \quad \xi = \frac{Q_s \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \cdot A_b \cdot \eta}$$

**Nomenclatura**

$L_{crack}$  = spessore fondazioni (cm)

$L_b$  = Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (cm)

$Z_{crack}$  = profondità fondazioni da p.c. (cm)

$d_s$  = spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo (cm)

$L_{s(SP)}$  = Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c. (cm)

$D_s^{eff}$  = Coefficiente di diffusione nella zona insatura ( $cm^2/s$ )

$D_{crack}^{eff}$  = Coefficiente di diffusione nelle fondazioni ( $cm^2/s$ )

$\tau_{indoor}$  = Tempo medio di durata del flusso di vapore indoor (impostato pari alla durata di esposizione) (s)

$ER$  = tasso di ricambio aria indoor (1/s)

$\eta$  = Frazione areale di fratture indoor (-)

$\theta_w$  = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

$\theta_a$  = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

$\theta_e$  = Porosità effettiva zona insatura (-)

$H$  = costante di Henry (-)

$\rho_s$  = Densità del suolo ( $g/cm^3$ )

$X_{crack}$  = perimetro delle fondazioni (cm)

$\Delta p$  = Differenza di pressione tra indoor e outdoor ( $g/cm^2/s$ )

$k_v$  = Permeabilità del suolo al flusso di vapore ( $cm^2$ )

$A_b$  = Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione ( $cm^2$ )

$\mu_{air}$  = Viscosità del vapore ( $g/cm/s$ )

$BDF_{Vol}$  = Fattore di attenuazione per biodegradazione per il percorso di volatilizzazione (-)

**Tabella 41. Suolo Profondo: Lisciviazione in Falda**

$$LF_{sp} \left[ \frac{mg / L_{acqua}}{mg / kg_{suolo}} \right] = \min \left\{ \begin{array}{l} LF_{sp} (1) = \frac{K_{ws} \cdot SAM}{LDF} BDF_{LF} \\ LF_{sp} (2) = \frac{d_s \cdot \rho_s}{I_{eff} \cdot \tau_{LF}} \quad (\text{opzionale}) \end{array} \right.$$

**Soil Attenuation model, SAM (-)**

$$SAM = \frac{d_s}{L_{gw} - L_{s(SP)}} \quad (\text{opzionale})$$

**Fattore di diluizione, LDF (-)**

$$LDF = 1 + \frac{v_{gw} \cdot \delta_{gw}}{I_{eff} \cdot W}$$

**Coefficienti di Ripartizione (kg/L)**

$$K_{ws} = \frac{\rho_s}{\theta_w + K_s \cdot \rho_s + H \cdot \theta_a} \quad K_s = \begin{cases} K_d & \text{contaminanti inorganici} \\ K_{oc} \cdot f_{oc} & \text{composti organici} \end{cases}$$

**Spessore zona di miscelazione,  $\delta_{gw}$  (cm)**

$$\delta_{gw} = (2 \cdot 0.0056 \cdot W^2)^{0.5} + d_a \cdot \left[ 1 - \exp \left( - \frac{W \cdot I_{eff}}{v_{gw} \cdot d_a} \right) \right] \quad \text{Se } \delta_{gw} > d_a \rightarrow \delta_{gw} = d_a$$

**Nomenclatura**

$d_s$  = spessore della sorgente nel suolo profondo (cm)

$L_{gw}$  = soggiacenza della falda rispetto al p.c. (cm)

$L_{s(SP)}$  = Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c. (cm)

$v_{gw}$  = velocità di Darcy (cm/s)

$K_{sat}$  = conducibilità idraulica (cm/s)

$I_{eff}$  = Infiltrazione efficace (cm/s)

$\tau_{LF}$  = tempo di durata media del lisciviato (impostato pari alla durata di esposizione) (s)

$\theta_w$  = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

$\theta_a$  = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

$\theta_e$  = Porosità effettiva zona insatura (-)

$H$  = costante di Henry (-)

$\rho_s$  = Densità del suolo (g/cm<sup>3</sup>)

$f_{oc}$  = frazione di carbonio organico (-)

$d_a$  = spessore acquifero (cm)

$W$  = estensione della sorgente nella direzione principale del flusso di falda (cm)

$\alpha_z$  = Dispersività verticale (cm)

$BDF_{LF}$  = Fattore di attenuazione per biodegradazione per il percorso di lisciviazione (-)

$I_{eff}$  = Infiltrazione efficace (cm/anno)



**Tabella 42. Fattore di Diluizione in Falda**

**Dispersione in tutte le direzioni - DAF1 (-)**

$$\frac{1}{DAF1} = \exp \left[ \frac{x}{2 \cdot \alpha_x} \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{4 \cdot \lambda \cdot \alpha_x \cdot R}{v_e}} \right) \right] \cdot \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{S_w}{4 \sqrt{\alpha_y \cdot x}} \right) \right] \cdot \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{\delta_{gw}}{4 \sqrt{\alpha_z \cdot x}} \right) \right]$$

**Dispersione longitudinale, trasversale e verticale verso il basso – DAF2 (-)**

$$\frac{1}{DAF2} = \exp \left[ \frac{x}{2 \cdot \alpha_x} \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{4 \cdot \lambda \cdot \alpha_x \cdot R}{v_e}} \right) \right] \cdot \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{S_w}{4 \sqrt{\alpha_y \cdot x}} \right) \right] \cdot \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{\delta_{gw}}{2 \sqrt{\alpha_z \cdot x}} \right) \right]$$

**Dispersione longitudinale e trasversale - DAF3(-)**

$$\frac{1}{DAF3} = \exp \left[ \frac{x}{2 \cdot \alpha_x} \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{4 \cdot \lambda \cdot \alpha_x \cdot R}{v_e}} \right) \right] \cdot \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{S_w}{4 \sqrt{\alpha_y \cdot x}} \right) \right]$$

Velocità effettiva della falda,  $v_e$  (cm/s)

$$v_e = \frac{K_{sat} \cdot i}{\theta_{e,sat}}$$

Fattore di Ritardo,  $R$  (-)

$$R = 1 + K_s \frac{\rho_s}{\theta_{e,sat}}$$

Dispersività longitudinale,  $\alpha_x$  (cm)

$$\alpha_x = POC/10$$

Dispersività trasversale,  $\alpha_y$  (cm)

$$\alpha_y = \alpha_x/3$$

Dispersività verticale,  $\alpha_z$  (cm)

$$\alpha_z = \alpha_x/20$$

**Nomenclatura**

$\lambda$  = costante di biodegradazione del primo ordine(1/s)

$S_w$  = larghezza della sorgente nella perpendicolare al flusso (cm)

$\delta_{gw}$  = spessore della zona di miscelazione (cm)

$x$  = distanza(cm)

$K_s$  = coefficiente di ripartizione soluto – fase adsorbita (mg/kg/mg/L)

$\theta_{e,sat}$  = Porosità effettiva zona satura (-)

$\rho_s$  = Densità del suolo (g/cm<sup>3</sup>)

$i$  = gradiente idraulico

$K_{sat}$  = Conducibilità Idraulica (cm/s)

POC = Distanza punto di conformità (cm)

Tabella 43. Falda: Equazione di Domenico

**Dispersione in tutte le direzioni - DAF1 (-)**

$$C(x, y, z, t) = \frac{C_o}{8} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma$$

Dove:

$$\alpha = \exp \left[ \frac{x}{2 \cdot \alpha_x} \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{4 \cdot \lambda \cdot \alpha_x \cdot R}{v_e}} \right) \right] \cdot \operatorname{erfc} \left[ \frac{R \cdot x - v_e \cdot t \sqrt{1 + \frac{4 \cdot \lambda \cdot \alpha_x \cdot R}{v_e}}}{2 \sqrt{\alpha_x \cdot v_e \cdot R \cdot t}} \right]$$

$$\beta = \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{y + 0.5 S_w}{2 \sqrt{\alpha_y \cdot x}} \right) - \operatorname{erf} \left( \frac{y - 0.5 S_w}{2 \sqrt{\alpha_y \cdot x}} \right) \right]$$

$$\gamma = \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{z + \delta_{gw}}{2 \sqrt{\alpha_z \cdot x}} \right) - \operatorname{erf} \left( \frac{z - \delta_{gw}}{2 \sqrt{\alpha_z \cdot x}} \right) \right]$$

**Nomenclatura**

$\lambda$  = costante di biodegradazione del primo ordine (1/s)

$S_w$  = larghezza della sorgente nella perpendicolare al flusso (cm)

$\delta_{gw}$  = spessore della zona di miscelazione (cm)

$x$  = distanza longitudinale (cm)

$y$  = posizione trasversale (cm)

$z$  = posizione verticale (cm)

$R$  = fattore di Ritardo (-)

$K_s$  = coefficiente di ripartizione soluto – fase adsorbita (mg/kg/mg/L)

$\theta_{e,sat}$  = Porosità effettiva zona satura (-)

$\rho_s$  = Densità del suolo (g/cm<sup>3</sup>)

$i$  = gradiente idraulico (-)

$K_{sat}$  = Conducibilità Idraulica (cm/s)

$\alpha_x$  = Dispersività longitudinale (cm)

$\alpha_y$  = Dispersività trasversale (cm)

$\alpha_z$  = Dispersività verticale (cm)

Tabella 44. Falda: Volatilizzazione vapori outdoor

$$VF_{wamb} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / L_{acqua}} \right] = \frac{H}{1 + \frac{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot L_{gw}}{D_w^{eff} \cdot W'}} BDF_{Vol} \cdot 10^3$$

**Nomenclatura**

$L_{gw}$  = Soggiacenza falda rispetto al p.c. (cm)

$D_w^{eff}$  = Coefficiente di diffusione globale dalla falda (cm<sup>2</sup>/s)

$W'$  = Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (cm)

$\delta_{air}$  = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)

$U_{air}$  = Velocità del vento (cm/s)

$H$  = costante di Henry (-)

$BDF_{Vol}$  = Fattore di attenuazione per biodegradazione per il percorso di volatilizzazione (-)

**Tabella 45. Falda: Volatilizzazione vapori indoor**

Flusso solo diffusivo ( $\Delta p=0$ )

$$VF_{wesp} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / L_{acqua}} \right] = \frac{H \cdot \frac{D_w^{eff}}{(L_{gw} - Z_{crack}) L_b \cdot ER}}{1 + \frac{D_w^{eff}}{(L_{gw} - Z_{crack}) L_b \cdot ER} + \frac{D_w^{eff} \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} (L_{gw} - Z_{crack}) \eta}} BDF_{Vol} \cdot 10^3$$

Flusso diffusivo e convettivo ( $\Delta p \neq 0$ )

$$VF_{wesp} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / L_{acqua}} \right] = \frac{H \cdot \frac{D_w^{eff}}{(L_{gw} - Z_{crack}) L_b \cdot ER} \cdot e^\xi}{e^\xi + \frac{D_w^{eff}}{(L_{gw} - Z_{crack}) L_b \cdot ER} + \frac{D_w^{eff} \cdot A_b}{Q_s \cdot (L_{gw} - Z_{crack})} \cdot (e^\xi - 1)} BDF_{Vol} \cdot 10^3$$

Flusso di vapore entrante nell'edificio,  $Q_s$  ( $cm^3/s$ )

$$Q_s = \frac{2\pi \cdot \Delta p \cdot k_v \cdot X_{crack}}{\mu_{air} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot Z_{crack} \cdot X_{crack}}{A_b \cdot \eta} \right)} \quad \xi = \frac{Q_s \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \cdot A_b \cdot \eta}$$

**Nomenclatura**

- $L_{crack}$  = spessore fondazioni (cm)
- $L_b$  = Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (cm)
- $Z_{crack}$  = profondità fondazioni da p.c.(cm)
- $L_{gw}$  = Soggiacenza falda (cm)
- $D_w^{eff}$  = Coefficiente di diffusione globale dalla falda ( $cm^2/s$ )
- $D_{crack}^{eff}$  = Coefficiente di diffusione nelle fondazioni ( $cm^2/s$ )
- $ER$  = tasso di ricambio aria indoor (1/s)
- $\eta$  = Frazione areale di fratture indoor (-)
- $H$  = costante di Henry (-)
- $\rho_s$  = Densità del suolo ( $g/cm^3$ )
- $X_{crack}$  = perimetro delle fondazioni (cm)
- $\Delta p$  = Differenza di pressione tra indoor e outdoor ( $g/cm^2/s$ )
- $k_v$  = Permeabilità del suolo al flusso di vapore ( $cm^2$ )
- $A_b$  = Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione ( $cm^2$ )
- $\mu_{air}$  = Viscosità del vapore ( $g/cm/s$ )
- $BDF_{Vol}$  = Fattore di attenuazione per biodegradazione per il percorso di volatilizzazione (-)

**Tabella 46. Coefficiente di diffusione**

*Coefficiente di diffusione effettiva nel suolo*

$$D_s^{eff} \left[ \frac{cm^2}{s} \right] = \frac{D_a \cdot \theta_a^{3,33}}{\theta_e^2} + \frac{D_w \cdot \theta_w^{3,33}}{H \cdot \theta_e^2}$$

*Coefficiente di diffusione nella frangia capillare*

$$D_{cap}^{eff} \left[ \frac{cm^2}{s} \right] = \frac{D_a \cdot \theta_{acap}^{3,33}}{\theta_{e, cap}^2} + \frac{D_w \cdot \theta_{wcap}^{3,33}}{H \cdot \theta_{e, cap}^2}$$

*Coefficiente di diffusione nella lente*

$$D_{lente}^{eff} \left[ \frac{cm^2}{s} \right] = \frac{D_a \cdot \theta_{alens}^{3,33}}{\theta_{e, lens}^2} + \frac{D_w \cdot \theta_{wlens}^{3,33}}{H \cdot \theta_{e, lens}^2}$$

*Coefficiente di diffusione effettiva attraverso le fenditure delle fondazioni*

$$D_{crack}^{eff} \left[ \frac{cm^2}{s} \right] = \frac{D_a \cdot \theta_{acrack}^{3,33}}{\theta_{e, crack}^2} + \frac{D_w \cdot \theta_{wcrack}^{3,33}}{H \cdot \theta_{e, crack}^2}$$

*Coefficiente di diffusione globale dalla falda*

$$D_w^{eff} \left[ \frac{cm^2}{s} \right] = \frac{h_{cap} + h_v}{\frac{h_{cap}}{D_{cap}^{eff}} + \frac{h_v}{D_s^{eff}}}$$

*Coefficiente di diffusione effettiva globale nel suolo in caso di presenza di una lente*

$$D_{s+lente}^{eff} \left[ \frac{cm^2}{s} \right] = \frac{L_s}{\frac{L_s - d_{lens}}{D_{suolo}^{eff}} + \frac{d_{lens}}{D_{lente}^{eff}}}$$

**Nomenclatura**

$h_{cap}$  = spessore frangia capillare (cm)

$h_v$  = spessore zona insatura (cm)

$d_{lens}$  = spessore lente nella zona insatura (cm)

$L_s$  = profondità sorgente

$D_a$  = Coefficiente di diffusione molecolare in aria ( $cm^2/s$ )

$D_w$  = Coefficiente di diffusione molecolare in acqua ( $cm^2/s$ )

$\theta_w$  = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

$\theta_a$  = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

$\theta_{wcap}$  = Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare (-)

$\theta_{acap}$  = Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare (-)

$\theta_{wlens}$  = Contenuto volumetrico di acqua nella lente (-)

$\theta_{alens}$  = Contenuto volumetrico di aria nella lente (-)

$\theta_{wcrack}$  = Contenuto volumetrico di acqua nelle fondazioni (-)

$\theta_{acrack}$  = Contenuto volumetrico di aria nelle fondazioni (-)

$\theta_e$  = Porosità effettiva zona insatura (-)

$\theta_{e, cap}$  = Porosità effettiva zona capillare (-)

$\theta_{e, crack}$  = Porosità effettiva fondazioni (-)

$\theta_{e, lens}$  = Porosità effettiva nella lente (-)

$H$  = costante di Henry (-)

$\rho_s$  = Densità del suolo ( $g/cm^3$ )

**Tabella 47. Concentrazione di Saturazione,  $C_{sat}$**

*Concentrazione di Saturazione*

$$C_{sat} [mg / kg] = \frac{\theta_w + H \cdot \theta_a + \rho_s \cdot K_s}{\rho_s} \cdot S$$

**Coefficiente di Ripartizione (kg/L)**

$$K_s = \begin{cases} K_d & \text{contaminanti inorganici} \\ K_{oc} \cdot f_{oc} & \text{composti organici} \end{cases}$$

**Nomenclatura**

$\theta_w$  = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

$\theta_a$  = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

$f_{oc}$  = frazione di carbonio organico (-)

$S$  = solubilità (mg/L)

$H$  = costante di Henry (-)

$\rho_s$  = Densità del suolo (g/cm<sup>3</sup>)

**Tabella 48. Fattore di biodegradazione (BDF) per volatilizzazione**

**Fattore di biodegradazione (opzionale) e valido solo se  $L_s > 0$**  (Fonte: Verginelli e Baciocchi, 2014)

Volatilizzazione outdoor

$$BDF_{Vol} = 2 \cdot \frac{\exp(-kL_a)}{1 + k(L_s - L_a)} \quad \text{con} \quad k = \sqrt{\frac{\lambda \cdot \theta_w}{H \cdot D_s^{eff}}}$$

**Nomenclatura**

$L_s$  = Profondità del top della sorgente rispetto al p.c. (cm) \*

$L_a$  = Profondità della zona aerobica da p.c. (cm)

$D_s^{eff}$  = Coefficiente di diffusione nella zona insatura ( $cm^2/s$ )

$\theta_w$  = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

$H$  = costante di Henry (-)

$L_a$  = profondità della zona aerobica da p.c. (cm)

$\lambda$  = costante cinetica di biodegradazione del primo ordine (1/s)

**Fattore di biodegradazione (opzionale) e valido solo se  $L_s - Z_{crack} > 0$**  (Fonte: Verginelli e Baciocchi, 2014)

Volatilizzazione indoor

$$BDF_{Vol} = 2 \cdot \frac{\exp(-kL_{a,indoor})}{1 + k(L_s - Z_{crack} - L_{a,indoor})} \quad \text{con} \quad k = \sqrt{\frac{\lambda \cdot \theta_w}{H \cdot D_s^{eff}}}$$

**Nomenclatura**

$L_s$  = Profondità del top della sorgente rispetto al p.c. (cm) \*

$L_{a,indoor}$  = Profondità della zona aerobica dalle fondazioni (cm)

$D_s^{eff}$  = Coefficiente di diffusione nella zona insatura ( $cm^2/s$ )

$\theta_w$  = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

$H$  = costante di Henry (-)

$Z_{crack}$  = profondità fondazioni da p.c. (cm)

$L_{a,indoor}$  = profondità della zona aerobica dalla base delle fondazioni (cm)

$\lambda$  = costante cinetica di biodegradazione del primo ordine (1/s)

\* Nel caso del soil-gas viene  $L_s$  risulta la profondità della sonda

**Tabella 49. Fattore di biodegradazione (BDF) per lisciviazione**

**Fattore di biodegradazione (BDF) per lisciviazione** (Fonte: Modello Green Ampt)

$$BDF_{LF} = \exp \left[ - \left( \frac{\lambda \cdot R}{v_{gw}} \right) \cdot L \right]$$

Tempo di raggiungimento della tavola d'acqua,  $t_{gw}$  (cm/s)

$$t_{gw} = \frac{\theta_a}{K_{sat}} \cdot \left[ L - (H_w - h_{cr}) \cdot \ln \left( \frac{H_w + L - h_{cr}}{H_w - h_{cr}} \right) \right]$$

Velocità di infiltrazione dell'acqua,  $v_{gw}$  (cm/s)

$$v_{gw} = \frac{L}{t_{gw}}$$

Velocità di infiltrazione del contaminante  $v_c$  (cm/s)

$$v_c = \frac{v_{gw}}{R}$$

Fattore di Ritardo,  $R$  (-)

$$R = 1 + K_s \frac{\rho_s}{\theta_e}$$

Dispersività longitudinale,  $\alpha_x$  (cm)

**Nomenclatura**

$\lambda$  = costante di biodegradazione del primo ordine (1/s)

$H_w$  = battente idrico in superficie (cm)

$L$  = Distanza dell'acquifero dal bottom della sorgente nel suolo insaturo (cm)

$h_{cr}$  = carico idraulico critico (cm)

$\theta_e$  = Porosità effettiva zona insatura (-)

$K_s$  = coefficiente di ripartizione soluto – fase adsorbita (mg/kg/mg/L)

$\rho_s$  = Densità del suolo (g/cm<sup>3</sup>)

$K_{sat}$  = Conducibilità Idraulica (cm/s)



**Tabella 50. Infiltrazione efficace**

**Infiltrazione efficace nel sottosuolo**

$$I_{eff} = \beta \cdot P^2 \cdot \eta_{outdoor}$$

Terreni sabbiosi (Sand, Loamy Sand e SandyLoam)  $\beta = 0.0018$ ; terreni limosi (Sandy Clay Loam, Loam, Silt Loam e Silt)  $\beta = 0.0009$ ; terreni argillosi (Clay Loam, Silty Clay Loam, Silty Clay, Sandy Clay e Clay)  $\beta = 0.00018$ .

**Infiltrazione efficace in presenza di strato a bassa permeabilità tra la sorgente e la falda (Linee guida sull'analisi di rischio per le discariche redatte da ISPRA, 2005)**

$$I_{eff} = K_{unsat} \cdot i_f$$

Gradiente idraulico medio verticale

$$i_f = \frac{h_{perc} + d_{unsat}}{d_{unsat}}$$

**Infiltrazione efficace nel caso di presenza di un telo in HDPE (Linee guida sull'analisi di rischio per le discariche redatte da ISPRA, 2005)**

$$I_{eff} = \rho_m \cdot L_{fm} + \rho_f \cdot L_{ff} + \rho_s \cdot L_{fs}$$

Flusso in uscita da microfori, fori e strappi

$$\begin{cases} L_{fm} = C_d \cdot i_{av} \cdot h_{perc}^{0,9} \cdot a_m^{0,1} \cdot K_{eq}^{0,74} & \text{microfori} \\ L_{ff} = C_d \cdot i_{av} \cdot h_{perc}^{0,9} \cdot a_f^{0,1} \cdot K_{eq}^{0,74} & \text{fori} \\ L_{fs} = C_d \cdot i_{av} \cdot h_{perc}^{0,9} \cdot a_s^{0,1} \cdot K_{eq}^{0,74} & \text{strappi} \end{cases}$$

Gradiente idraulico medio verticale

$$i_{av} = 1 + 0,1 \cdot \left( \frac{h_{perc}}{d_{unsat}} \right)^{0,95}$$

**Nomenclatura**

$a_m, a_f, a_s$ : Area dei difetti per microfori, fori e strappi presenti ( $cm^2$ )

$C_d$ : costante adimensionale del contatto tra geomembrana e strato sottostante (-)

$d_{unsat}$ : Spessore dello strato a bassa permeabilità (sotto HDPE se presente) (cm)

$h_{perc}$ : Battente idraulico al di sopra del telo in HDPE o dello strato a bassa permeabilità (cm)

$i_{av}$ : Gradiente idraulico verticale (-)

$K_{unsat}$ : Conducibilità idraulica del terreno a bassa permeabilità (sotto HDPE se presente) (cm/anno)

$\rho_m, \rho_f, \rho_s$ : Densità o distribuzioni di probabilità rispettivamente dei microfori, fori e strappi (numero/ $cm^2$ )

$P$  = piovosità (cm/anno)

## APPENDICE 3B. FATTORI DI TRASPORTO (CAR. AVANZATA)

---

I fattori di trasporto considerati nel software Risk-net per la caratterizzazione avanzata (soil-gas, camere di flusso e test di cessione) sono:

### *Soil-gas*

- $\alpha_{\text{samb}}$ : fattore di volatilizzazione di vapori outdoor
- $\alpha_{\text{sest}}$ : fattore di volatilizzazione di vapori indoor

### *Camere di flusso*

- $\alpha_{\text{FC}}$ : fattore di volatilizzazione di vapori outdoor (camera di flusso dinamica)
- $\alpha_{\text{FC(flux)}}$ : fattore di volatilizzazione di vapori outdoor (camera di flusso dinamica e statica)
- $\alpha_{\text{FC,indoor}}$ : fattore di volatilizzazione di vapori indoor (camera di flusso dinamica)
- $\alpha_{\text{FC(flux),indoor}}$ : fattore di volatilizzazione di vapori indoor (camera di flusso dinamica e statica)

### *Eluato*

- $\alpha_{\text{LFss}}$ : fattore di lisciviazione in falda da suolo superficiale
- $\alpha_{\text{LFsp}}$ : fattore di lisciviazione in falda da suolo profondo

Le principali assunzioni, su cui si basano le equazioni sono:

- concentrazione degli inquinanti uniformemente distribuita nel suolo e costante per tutto il periodo di esposizione;
- terreno omogeneo, isotropo e incoerente (si escludono quindi i suoli fratturati e fessurati).

**Tabella 51. Soil-gas: Volatilizzazione vapori outdoor**

$$\alpha_{samb} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / m^3_{soil-gas}} \right] = \frac{BDF_{Vol}}{1 + \frac{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot L_{sg}}{D_s^{eff} \cdot W'}}$$

**Nomenclatura**

$L_{sg}$  = Profondità sonda soil-gas (cm)

$D_s^{eff}$  = Coefficiente di diffusione nella zona insatura (cm<sup>2</sup>/s)

$W'$  = Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (cm)

$\delta_{air}$  = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)

$U_{air}$  = Velocità del vento (cm/s)

$BDF_{Vol}$  = Fattore di attenuazione per biodegradazione per il percorso di volatilizzazione (-)

**Si sottolinea che nel software è possibile utilizzare dei fattori di attenuazione empirici al posto dei fattori calcolati con i modelli di trasporto.**

**Tabella 52. Camera di flusso: Volatilizzazione vapori outdoor**

Camera di flusso Dinamica (Input: Concentrazione)

$$\alpha_{FC,indoor} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / m^3_{soil-gas}} \right] = \frac{1}{\frac{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot A_{fc}}{W' \cdot Q_{in}}}$$

**Nomenclatura**

$W'$  = Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (cm)

$\delta_{air}$  = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)

$U_{air}$  = Velocità del vento (cm/s)

$Q_{in}$  = Portata del gas inerte in ingresso alla camera (cm<sup>3</sup>/s)

$A_{fc}$  = Superficie della camera esposta al suolo (cm<sup>2</sup>)

Camera di flusso Dinamica e Statica (Input: Flusso)

$$\alpha_{FC(flux)} \left[ \frac{s}{m} \right] = \frac{1}{\frac{U_{air} \cdot \delta_{air}}{W'}}$$

**Nomenclatura**

$W'$  = Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (cm)

$\delta_{air}$  = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)

$U_{air}$  = Velocità del vento (cm/s)

**Tabella 53. Soil-gas: Volatilizzazione vapori indoor**

Flusso solo diffusivo ( $\Delta p=0$ )

$$\alpha_{sesp} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / m^3_{soil-gas}} \right] = \frac{\frac{D_s^{eff}}{(L_{sg} - Z_{crack}) L_b \cdot ER}}{1 + \frac{D_s^{eff}}{(L_{sg} - Z_{crack}) L_b \cdot ER} + \frac{D_s^{eff} \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} (L_{sg} - Z_{crack}) \eta}} BDF_{Vol}$$

Flusso diffusivo e convettivo ( $\Delta p \neq 0$ )

$$\alpha_{sesp} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / m^3_{soil-gas}} \right] = \frac{\frac{D_s^{eff}}{(L_{sg} - Z_{crack}) L_b \cdot ER} \cdot e^\xi}{e^\xi + \frac{D_s^{eff}}{(L_{sg} - Z_{crack}) L_b \cdot ER} + \frac{D_s^{eff} \cdot A_b}{Q_s \cdot (L_{sg} - Z_{crack})}} \cdot (e^\xi - 1) BDF_{Vol}$$

Flusso di vapore entrante nell'edificio,  $Q_s$  ( $cm^3/s$ )

$$Q_s = \frac{2\pi \cdot \Delta p \cdot k_v \cdot X_{crack}}{\mu_{air} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot Z_{crack} \cdot X_{crack}}{A_b \cdot \eta} \right)} \quad \xi = \frac{Q_s \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \cdot A_b \cdot \eta}$$

**Nomenclatura**

$L_{crack}$  = spessore fondazioni (cm)

$L_b$  = Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (cm)

$Z_{crack}$  = profondità fondazioni da p.c. (cm)

$L_{sg}$  = Profondità sonda soil-gas (cm)

$D_s^{eff}$  = Coefficiente di diffusione nel suolo ( $cm^2/s$ )

$D_{crack}^{eff}$  = Coefficiente di diffusione nelle fondazioni ( $cm^2/s$ )

$ER$  = tasso di ricambio aria indoor (1/s)

$\eta$  = Frazione areale di fratture indoor (-)

$\theta_e$  = Porosità effettiva zona insatura (-)

$X_{crack}$  = perimetro delle fondazioni (cm)

$\Delta p$  = Differenza di pressione tra indoor e outdoor ( $g/cm^2/s$ )

$k_v$  = Permeabilità del suolo al flusso di vapore ( $cm^2$ )

$A_b$  = Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione ( $cm^2$ )

$\mu_{air}$  = Viscosità del vapore ( $g/cm/s$ )

$BDF_{Vol}$  = Fattore di attenuazione per biodegradazione per il percorso di volatilizzazione (-)

**Si sottolinea che nel software è possibile utilizzare dei fattori di attenuazione empirici al posto dei fattori calcolati con i modelli di trasporto.**

**Tabella 54. Camera di flusso: Volatilizzazione vapori indoor**

Camera di flusso Dinamica (Input: Concentrazione)

$$\alpha_{FC,indoor} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / m^3_{soil-gas}} \right] = \frac{1}{\frac{L_b \cdot ER \cdot A_{fc}}{Q_{in}}}$$

**Nomenclatura**

$Q_{in}$  = Portata del gas inerte in ingresso alla camera ( $cm^3/s$ )

$A_{fc}$  = Superficie della camera esposta al suolo ( $cm^2$ )

$L_b$  = Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (cm)

$ER$  = tasso di ricambio aria indoor (1/s)

Camera di flusso Dinamica e Statica (Input: Flusso)

$$\alpha_{FC(flux),indoor} \left[ \frac{s}{m} \right] = \frac{1}{L_b \cdot ER}$$

**Nomenclatura**

$L_b$  = Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (cm)

$ER$  = tasso di ricambio aria indoor (1/s)

**Tabella 55. Eluato da Suolo Superficiale: Lisciviazione in falda**

$$\alpha_{LFSS} \left[ \frac{mg / L_{acqua}}{mg / L_{eluato}} \right] = \frac{SAM}{LDF} BDF_{LF}$$

**Soil Attenuation model, SAM (-)**

$$SAM = \frac{d}{L_{gw} - L_{s(SS)}} \quad (\text{opzionale})$$

**Fattore di diluizione, LDF (-)**

$$LDF = 1 + \frac{v_{gw} \cdot \delta_{gw}}{I_{eff} \cdot W}$$

**Spessore zona di miscelazione,  $\delta_{gw}$  (cm)**

$$\delta_{gw} = (2 \cdot 0.0056 \cdot W^2)^{0.5} + d_a \cdot \left[ 1 - \exp \left( - \frac{W \cdot I_{eff}}{v_{gw} \cdot d_a} \right) \right] \quad \text{Se } \delta_{gw} > d_a \rightarrow \delta_{gw} = d_a$$

**Nomenclatura**

$L_{gw}$  = soggiacenza della falda rispetto al p.c. (cm)

$L_{s(SS)}$  = Profondità del top della sorgente rispetto al p.c. (cm)

$v_{gw}$  = velocità di Darcy (cm/s)

$K_{sat}$  = conducibilità idraulica (cm/s)

$I_{eff}$  = Infiltrazione efficace (cm/s)

$d_a$  = spessore acquifero (cm)

$W$  = estensione della sorgente nella direzione principale del flusso di falda (cm)

$\alpha_z$  = Dispersività verticale (cm)

$BDF_{LF}$  = Fattore di attenuazione per biodegradazione per il percorso di lisciviazione (-)

$I_{eff}$  = Infiltrazione efficace (cm/anno)

**Tabella 56. Eluato da Suolo Profondo: Lisciviazione in falda**

$$\alpha_{LFsp} \left[ \frac{mg / L_{acqua}}{mg / L_{eluato}} \right] = \frac{SAM}{LDF} BDF_{LF}$$

**Soil Attenuation model, SAM (-)**

$$SAM = \frac{d}{L_{gw} - L_{s(SP)}} \quad (\text{opzionale})$$

**Fattore di diluizione, LDF (-)**

$$LDF = 1 + \frac{v_{gw} \cdot \delta_{gw}}{I_{eff} \cdot W}$$

**Spessore zona di miscelazione,  $\delta_{gw}$  (cm)**

$$\delta_{gw} = (2 \cdot 0.0056 \cdot W^2)^{0.5} + d_a \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{W \cdot I_{eff}}{v_{gw} \cdot d_a}\right) \right] \quad \text{Se } \delta_{gw} > d_a \rightarrow \delta_{gw} = d_a$$

**Nomenclatura**

$L_{gw}$  = soggiacenza della falda rispetto al p.c. (cm)

$L_{s(SP)}$  = Profondità del top della sorgente rispetto al p.c. (cm)

$v_{gw}$  = velocità di Darcy (cm/s)

$K_{sat}$  = conducibilità idraulica (cm/s)

$I_{eff}$  = Infiltrazione efficace (cm/s)

$d_a$  = spessore acquifero (cm)

$W$  = estensione della sorgente nella direzione principale del flusso di falda (cm)

$\alpha_z$  = Dispersività verticale (cm)

$BDF_{LF}$  = Fattore di attenuazione per biodegradazione per il percorso di lisciviazione (-)

$I_{eff}$  = Infiltrazione efficace (cm/anno)

## APPENDICE 4. CALCOLO FATTORI DI ESPOSIZIONE

I fattori di esposizione vengono utilizzati per descrivere il comportamento atteso per i diversi recettori presenti all'interno o in prossimità del sito, definiti dall'utente. In particolare può trattarsi di residenti (adulti, bambini o esposizione mediata) o lavoratori. Vengono presi in considerazione scenari di esposizione al chiuso (ambienti indoor) o all'aperto (outdoor). Tali modelli permettono di calcolare la dose assunta mediata su un lungo periodo di tempo (da decine di anni a tutta la vita).

Le vie di esposizione considerate sono:

- Contatto dermico con il suolo
- Ingestione di suolo
- Inalazione di vapori in ambienti outdoor
- Inalazione di vapori in ambienti indoor
- Inalazione di particolato in ambienti outdoor
- Inalazione di particolato in ambienti indoor
- Ingestione di acqua (calcolata solo nel caso in cui non venga imposto il rispetto delle CSC delle acque sotterranee)

I recettori considerati sono:

*Ambito Residenziale o Ricreativo*

- a) Esposizione Mediata (Adulto e Bambino)
- b) Esposizione Mediata (Adulto, Bambino, Adolescente e Anziano)
- c) Adulto
- d) Bambino

*Ambito Industriale o Commerciale*

- e) Lavoratore Adulto

Per l'ambito residenziale/ricreativo per l'esposizione mediata (Opzione A e B), la portata EM è calcolata come:

$$EM_{adj}(\text{cancerogene}) = \begin{cases} EM_{bambino} + EM_{adulto} & \text{(opzione A)} \\ EM_{bambino} + EM_{adulto} + EM_{adolescente} + EM_{anziano} & \text{(opzione B)} \end{cases}$$

$$EM_{adj}(\text{non cancerogene}) = \begin{cases} EM_{bambino} & \text{(default)} \\ \max(EM_{bambino}; EM_{adulto}; EM_{adolescente}; EM_{anziano}) & \text{(se attivata)} \end{cases}$$

Analogamente i fattori di esposizione fattori calcolati utilizzando le "concentrazioni di riferimento" (EC) nel caso dell'esposizione mediata risultano pari a:



## Appendice 4. Calcolo Fattori di Esposizione

$$EC_{adj}(\text{cancerogene}) = \begin{cases} EC_{bambino} + EC_{adulto} & \text{(opzione A)} \\ EC_{bambino} + EC_{adulto} + EC_{adolescente} + EC_{anziano} & \text{(opzione B)} \end{cases}$$

$$EC_{adj}(\text{non cancerogene}) = \begin{cases} EC_{bambino} & \text{(default)} \\ \max(EC_{bambino}; EC_{adulto}; EC_{adolescente}; EC_{anziano}) & \text{(se attivata)} \end{cases}$$

Di seguito sono riportate le equazioni implementate nel software per le diverse vie di esposizione, distinguendo i fattori calcolati utilizzando il metodo delle “dosi di riferimento” (EM) dai fattori calcolati utilizzando le “concentrazioni di riferimento” (EC).

<b>Tabella 57. Fattori di Esposizione</b>	
<p><b>Contatto dermico</b></p> $EM \left[ \frac{mg}{kg \times giorno} \right] = \frac{SA \cdot AF \cdot ABS \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365} \frac{\text{giorni}}{\text{anno}}$	<p>BW = Peso corporeo (kg)                      EF = Frequenza di esposizione (giorni/anno)                      ED = Durata di esposizione (anni)                      AT = Tempo medio di esposizione (anni) (*)                      SA = Superficie di pelle esposta (cm<sup>2</sup>)                      AF = Fattore di aderenza dermica (mg/(cm<sup>2</sup> giorno))                      ABS = Fattore di assorbimento dermico (-)</p>
<p><b>Ingestione di suolo</b></p> $EM \left[ \frac{mg}{kg \times giorno} \right] = \frac{FB \cdot IR \cdot FI \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365} \frac{\text{giorni}}{\text{anno}}$	<p>BW = Peso corporeo (kg)                      EF = Frequenza di esposizione (giorni/anno)                      ED = Durata di esposizione (anni)                      AT = Tempo medio di esposizione (anni) (*)                      IR = Tasso di ingestione di suolo (mg/giorno)                      FI = Frazione di suolo ingerita (-)                      FB = Frazione bioaccessibile (-)</p>
<p><b>Inalazione di vapori e polveri outdoor (dosi di riferimento)</b></p> $EM \left[ \frac{m^3}{kg \times giorno} \right] = \frac{B_o \cdot EF_{go} \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365} \frac{\text{giorni}}{\text{anno}}$	<p>BW = Peso corporeo (kg)                      EF = Frequenza di esposizione (giorni/anno)                      ED = Durata di esposizione (anni)                      AT = Tempo medio di esposizione (anni) (*)                      EF<sub>go</sub> = Frequenza giornaliera outdoor (ore/giorno)                      B<sub>o</sub> = Inalazione outdoor (m<sup>3</sup>/ora)</p>
<p><b>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $EC[-] = \frac{EF_{go} \cdot EF \cdot ED}{AT \cdot 365} \frac{\text{giorni}}{\text{anno}} \cdot 24 \frac{\text{ore}}{\text{giorno}}$	<p>EF = Frequenza di esposizione (giorni/anno)                      ED = Durata di esposizione (anni)                      AT = Tempo medio di esposizione (anni) (*)                      EF<sub>go</sub> = Frequenza giornaliera outdoor (ore/giorno)</p>
<p><b>Inalazione di vapori e polveri indoor (dosi di riferimento)</b></p> $EM \left[ \frac{m^3}{kg \times giorno} \right] = \frac{B_i \cdot EF_{gi} \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365} \frac{\text{giorni}}{\text{anno}}$	<p>BW = Peso corporeo (kg)                      EF = Frequenza di esposizione (giorni/anno)                      ED = Durata di esposizione (anni)                      AT = Tempo medio di esposizione (anni) (*)                      EF<sub>gi</sub> = Frequenza giornaliera indoor (ore/giorno)                      B<sub>i</sub> = Inalazione indoor (m<sup>3</sup>/ora)</p>

<b>Tabella 57. Fattori di Esposizione</b>	
<p><b>Inalazione di vapori indoor (concentrazioni di riferimento)</b></p> $EC[-] = \frac{EF_{gi} \cdot EF \cdot ED}{AT \cdot 365 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}} \cdot 24 \frac{\text{ore}}{\text{giorno}}}$	<p>EF = Frequenza di esposizione (giorni/anno)                      ED = Durata di esposizione (anni)                      AT = Tempo medio di esposizione (anni) (*)                      EF<sub>gi</sub> = Frequenza giornaliera indoor (ore/giorno)</p>
<p><b>Ingestione di acqua (opzionale)</b></p> $EM \left[ \frac{L}{kg \times \text{giorno}} \right] = \frac{IR_w \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}}}$	<p>BW = Peso corporeo (kg)                      EF = Frequenza di esposizione (giorni/anno)                      ED = Durata di esposizione (anni)                      AT = Tempo medio di esposizione (anni) (*)                      IR<sub>w</sub> = Tasso di ingestione di acqua (L/giorno)</p>
<p><b>Esposizione adulti e bambini (adjusted)</b></p> <p>Portate di esposizione (EM)</p> $EM_{adj}(\text{cancerogene}) = EM_{bambino} + EM_{adulto}$ $EM_{adj}(\text{non cancerogene}) = \begin{cases} EM_{bambino} & \text{(opzione default)} \\ \max(EM_{bambino}; EM_{adulto}) & \text{(se attivata opzione)} \end{cases}$ <p>Fattori di esposizione (EC)</p> $EC_{adj}(\text{cancerogene}) = EC_{bambino} + EC_{adulto}$ $EC_{adj}(\text{non cancerogene}) = \begin{cases} EC_{bambino} & \text{(opzione default)} \\ \max(EC_{bambino}; EC_{adulto}) & \text{(se attivata opzione)} \end{cases}$	
<p><b>Esposizione adulti, bambini, adolescenti e anziani</b></p> <p>Portate di esposizione (EM)</p> $EM_{adj}(\text{cancerogene}) = EM_{bambino} + EM_{adulto} + EM_{adolescente} + EM_{anziano}$ $EM_{adj}(\text{non cancerogene}) = \begin{cases} EM_{bambino} & \text{(default)} \\ \max(EM_{bambino}; EM_{adulto}; EM_{adolescente}; EM_{anziano}) & \text{(se attivata)} \end{cases}$ <p>Fattori di esposizione (EC)</p> $EC_{adj}(\text{cancerogene}) = EC_{bambino} + EC_{adulto} + EC_{adolescente} + EC_{anziano}$ $EC_{adj}(\text{non cancerogene}) = \begin{cases} EC_{bambino} & \text{(default)} \\ \max(EC_{bambino}; EC_{adulto}; EC_{adolescente}; EC_{anziano}) & \text{(se attivata)} \end{cases}$	

(\*) Per le sostanze non cancerogene AT = ED

## APPENDICE 5. SATURAZIONE CHIMICO-FISICA E RESIDUA

**Concentrazione di Saturazione.** I modelli di trasporto implementati nella procedura di Analisi di Rischio si basano su semplici modelli di ripartizione in cui viene assunto che il contaminante si ripartisca linearmente, secondo costanti di partizione specifiche del contaminante, come soluto, vapore e fase adsorbita al suolo. Sotto tali ipotesi la concentrazione totale nel suolo ( $C_{tot}$ ) viene definita come:

$$C_{tot} = \frac{\theta_w + H \theta_a + \rho_s K_s}{\rho_s} \cdot C_{sol}$$

dove  $K_s$  è il coefficiente di ripartizione tra il soluto e la fase adsorbita<sup>10</sup>,  $H$  la costante di Henry,  $\theta_w$  e  $\theta_a$  il contenuto volumetrico di acqua e di aria,  $\rho_s$  la densità del terreno e  $C_{sol}$  la concentrazione del soluto nell'acqua interstiziale.

Tale assunzione risulta valida fino a che la concentrazione totale presente nel suolo risulta inferiore alla concentrazione di saturazione,  $C_{sat}$ . Infatti al raggiungimento di tale concentrazione l'acqua e l'aria dei pori contengono una concentrazione di contaminante rispettivamente pari alla solubilità,  $S$ , e alla tensione di vapore. Di conseguenza da questo punto in poi le concentrazioni del soluto, della fase adsorbita<sup>11</sup> e del vapore non aumentano più ma il contaminante inizia ad essere presente anche in fase separata ( $C_{libera}$ ). La concentrazione totale ( $C_{tot}$ ) al di sopra della saturazione è quindi pari a:

$$C_{tot} = C_{sat} + C_{libera}$$

Con la concentrazione di saturazione,  $C_{sat}$ , pari a:

$$C_{sat} = \frac{\theta_w + H \theta_a + \rho_s K_s}{\rho_s} \cdot S$$

Il raggiungimento delle condizioni di saturazione ( $C_{sat}$ ) dipende dalle proprietà chimico-fisiche del contaminante (coefficiente di ripartizione, costante di Henry e solubilità) e dalle caratteristiche del suolo (densità, frazione di carbonio organico e contenuto volumetrico di acqua ed aria).

<sup>10</sup> Nel caso delle sostanze organiche il coefficiente di ripartizione tra il soluto e la fase adsorbita può essere stimato come:  $k_d = k_{oc} \cdot f_{oc}$ ;  $k_{oc}$  è la costante di partizione carbonio organico/acqua e  $f_{oc}$  è la frazione di carbonio organico contenuta nel suolo.

<sup>11</sup> Con adsorbimento in questo contesto ci si riferisce al processo legato alle interazioni chimico-fisiche tra il suolo e il contaminante e non all'assorbimento di tipo meccanico che il suolo può esercitare su un fluido.

**Concentrazione Residua (Screening Mobilità NAPL).** Nel caso in cui il contaminante sia liquido a temperatura ambiente, lo standard ASTM E2081 assume che la fase separata che si forma al di sopra della  $C_{sat}$ , risulti immobile fino al raggiungimento della capacità di assorbimento meccanica del suolo (saturazione residua<sup>12</sup>), oltre la quale può aver luogo la percolazione diretta come prodotto libero.

La capacità di assorbimento meccanico del suolo, che determina la mobilità del contaminante come fase separata, risulta un fenomeno piuttosto complesso che dipende da diversi fattori quali la densità e viscosità della sostanza e la tessitura del suolo.

In Risk-net è stato implementato il modello semplificato riportato nello standard ASTM E2081-00, che permette di stimare le concentrazioni di screening per la zona satura ed insatura, oltre le quali è atteso che la fase separata presente nel suolo diventi mobile:

$$RBSL_{NAPL} = \begin{cases} \frac{\theta_w + H(\theta_a - \theta_o) + \rho_s K_s}{\rho_s} \cdot S + \frac{\theta_o \cdot \rho_o}{\rho_s} \cdot 10^6 \frac{mg}{kg} & \text{(zona insatura)} \\ \frac{(\theta_e - \theta_o) + \rho_s K_s}{\rho_s} \cdot S + \frac{\theta_o \cdot \rho_o}{\rho_s} \cdot 10^6 \frac{mg}{kg} & \text{(zona satura)} \end{cases}$$

dove  $\rho_o$  è la densità del contaminante e  $\theta_o$  la frazione volumetrica della fase residuale che può essere stimata come:

$$\theta_o = \theta_e \cdot S_r$$

$\theta_e$  è la porosità efficace del suolo mentre  $S_r$  è la frazione residua dei pori. Come valore cautelativo lo standard ASTM suggerisce un valore della frazione residua pari a  $S_r = 0,04$ .

**Applicazione dell'Analisi di Rischio in condizioni di saturazione.** Il raggiungimento delle condizioni di saturazione complica e rende non lineare il calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica. Infatti, analogamente a quanto discusso per la ripartizione, a basse concentrazioni i rischi per i contatti indiretti (volatilizzazione e lisciviazione) crescono linearmente con la concentrazione fino ad arrivare ad un valore massimo alla concentrazione di saturazione quando, come descritto in precedenza, si raggiungono nell'acqua e nell'aria dei pori la solubilità e la tensione di vapore della sostanza. Il discorso risulta differente per i contatti diretti (ad esempio ingestione e contatto dermico con il suolo) per i quali si assume un aumento del rischio anche al di sopra della  $C_{sat}$  in quanto si assume correttamente che il recettore possa entrare in contatto con il contaminante anche in fase separata.

L'andamento non lineare del rischio comporta alcune complicazioni sia nel calcolo diretto (analisi forward) che nel calcolo degli obiettivi di bonifica (analisi backward). Di seguito

<sup>12</sup> La fase separata che si forma immediatamente al di sopra della  $C_{sat}$  risulta immobile in quanto trattenuta per capillarità nei pori del suolo, o soggetta a tensioni superficiali che ne ostacolano il movimento.

viene descritto come tale problematica è stata trattata nel software Risk-net.

**Analisi Forward.** Per il calcolo del rischio, nel caso di condizioni di saturazione ( $CRS > C_{sat}$ ) si utilizzano le solite equazioni con l'unica differenza che per i contatti non diretti (volatilizzazione e lisciviazione) le  $CRS$  (Concentrazioni Rappresentative alla sorgente) vengono sostituite con la  $C_{sat}$ . Tale scelta, che risulta in accordo con quanto previsto negli standard e nei software di maggior utilizzo (ad eccezione dell'RBCA Tool-Kit <sup>13</sup>), deriva da una limitazione dei tradizionali modelli di AdR che escludono meccanismi di migrazione per la lisciviazione diversi dal trasporto del soluto in fase disciolta. Per i contatti diretti (ad es. ingestione e contatto) tali concentrazioni, seppur superiori alla saturazione sono implementate tal quali nel software, in quanto il recettore può venire a contatto con il contaminante anche in fase separata. Tale opzione di verifica del raggiungimento delle condizioni di saturazione può essere disattivata).

**Analisi Backward.** Per il calcolo degli obiettivi di bonifica, il raggiungimento delle condizioni di saturazione ( $C_{sat}$ ) rende più complicata la procedura e l'identificazione delle Concentrazione Soglia di Rischio ( $CSR$ ) per la matrice contaminata. In alcuni casi infatti le  $CSR$  calcolate per le vie indirette possono risultare superiori alla  $C_{sat}$ . In accordo con l'approccio implementato nei software più utilizzati a livello nazionale come RBCA Tool-Kit, RISC e Giuditta, nel caso di  $CSR > C_{sat}$  in Risk-net non vengono restituiti i valori limite per le vie che saturano (volatilizzazione e lisciviazione), ma viene indicato che si è in condizioni di saturazione (è comunque possibile visualizzare la  $CSR$  teorica).

**Esaurimento della sorgente.** Nei modelli ASTM il bilancio di materia viene effettuato considerando una ripartizione lineare tra le diverse fasi del suolo. Pertanto nel caso in cui si attivi l'opzione di limitare la concentrazione totale alla  $C_{sat}$  calcolata il bilancio di materia che tiene conto dell'esaurimento della sorgente potrebbe risultare sottostimato. In questa versione del software è possibile attivare un'opzione che, nel bilancio di materia, tenga conto anche della presenza della fase separata. In particolare attivando questa opzione nel caso siano definite dall'utente concentrazioni superiori alla  $C_{sat}$  calcolata il bilancio di materia viene effettuato tenendo conto della concentrazione totale e non della  $C_{sat}$ .

<sup>13</sup> Il software RBCA Tool-kit nell'applicazione dell'AdR Forward non tiene conto dell'eventuale raggiungimento delle condizioni di saturazione, conducendo in alcuni casi, a sovrastime del rischio anche di diversi ordini di grandezza: "Backward-mode calculations screen out results that exceed solubility or soil residual concentrations for indirect pathways....Forward-mode calculations do not screen for these values, which may result in inappropriately large risk values."

## APPENDICE 6. UTILIZZO DEI DATI DI CAR. AVANZATA

Di default nel software i dati ottenuti nella caratterizzazione avanzata del sito (soil-gas, flux-chamber, misure in aria, test di cessione) vengono esclusivamente utilizzati per calcolare in modalità diretta i rischi per i recettori considerati. Tuttavia l'utente entrando nelle opzioni di calcolo (Schermata "Caratterizzazione Avanzata") può decidere se utilizzare tali dati anche per la rimodulazione delle CSR nelle diverse matrici (suolo superficiale, suolo profondo e falda). In questo caso i dati ottenuti da tali monitoraggi vengono utilizzati per calcolare dei fattori di trasporto semi-empirici per le sorgenti selezionate che vengono utilizzati per il calcolo delle nuove CSR.

Di seguito vengono descritti come vengono utilizzati tali dati per il calcolo dei fattori di trasporto empirici e semi-empirici.

### Misure in aria outdoor

Le misure in aria outdoor possono essere utilizzate per valutare l'attenuazione sito-specifica dei vapori osservata sul campo. In particolare, misurando la concentrazione in aria e la concentrazione in sorgente (localizzata nel terreno o nelle acque sotterranee) sulla verticale rispetto al punto di monitoraggio in aria è possibile stimare l'attenuazione subita dai diversi contaminanti durante il trasporto dalla sorgente (presente nel suolo o in falda) al punto di esposizione. Tale fattore, definito con il simbolo  $\beta$ , può essere stimato nel caso di volatilizzazione da falda o da suolo utilizzando le seguenti equazioni:

#### Volatilizzazione da Suolo

$$\beta_{suolo(AR,Outdoor)} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \frac{C_{aria,outdoor}}{C_{suolo}}$$

#### Volatilizzazione da Falda

$$\beta_{falda(AR,Outdoor)} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \frac{C_{aria,outdoor}}{C_{falda}}$$

*Dove:*

$C_{aria,outdoor}$  = Concentrazione misurata nell'aria outdoor (mg/m<sup>3</sup>)

$C_{suolo}$  = Concentrazione misurata in sorgente nel suolo (mg/kg)

$C_{falda}$  = Concentrazione misurata in falda (mg/L)

I valori  $\beta$  da utilizzare per il calcolo dei fattori di trasporto delle diverse sorgenti di contaminazione possono essere calcolati in automatico dal software sulla base delle concentrazioni definite in sorgente e nell'aria outdoor.

Una volta stimati i fattori  $\beta$  sito-specifici dai dati sperimentali ottenuti dalla campagna di monitoraggio, è quindi possibile stimare i fattori di trasporto sito-specifici per ciascun contaminante e per le diverse vie di migrazione come riportato di seguito.

### Volatilizzazione outdoor

$$VF_{samb,empirico} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \beta_{suolo(AR,Outdoor)}$$

$$VF_{wamb,empirico} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \beta_{falda(AR,Outdoor)}$$

Una volta stimati i fattori di trasporto sito-specifici, il software permette di calcolare, applicando le equazioni standard utilizzate nella procedura di analisi di rischio definita nelle linee guida ISPRA (2008), le nuove CSR per inalazione.

### **Misure in aria indoor**

Le misure in aria indoor possono essere utilizzate per valutare l'attenuazione sito-specifica dei vapori osservata sul campo. In particolare, misurando la concentrazione in aria e la concentrazione in sorgente (localizzata nel terreno o nelle acque sotterranee) sulla verticale rispetto al punto di monitoraggio in aria è possibile stimare l'attenuazione subita dai diversi contaminanti durante il trasporto dalla sorgente (presente nel suolo o in falda) al punto di esposizione. Tale fattore, definito con il simbolo  $\beta$ , può essere stimato nel caso di volatilizzazione da falda o da suolo utilizzando le seguenti equazioni:

### Volatilizzazione da Suolo

$$\beta_{suolo(AR,Indoor)} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \frac{C_{aria,indoor}}{C_{suolo}}$$

### Volatilizzazione da Falda

$$\beta_{falda(AR,Indoor)} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \frac{C_{aria,indoor}}{C_{falda}}$$

*Dove:*

$C_{aria,indoor}$  = Concentrazione misurata nell'aria indoor ( $mg/m^3$ )

$C_{suolo}$  = Concentrazione misurata in sorgente nel suolo ( $mg/kg$ )

$C_{falda}$  = Concentrazione misurata in falda ( $mg/L$ )

I valori  $\beta$  da utilizzare per il calcolo dei fattori di trasporto delle diverse sorgenti di contaminazione possono essere calcolati in automatico dal software sulla base delle concentrazioni definite in sorgente e nell'aria indoor.

Una volta stimati i fattori  $\beta$  sito-specifici dai dati sperimentali ottenuti dalla campagna di monitoraggio, è quindi possibile stimare i fattori di trasporto sito-specifici per ciascun contaminante e per le diverse vie di migrazione come riportato di seguito.

### Volatilizzazione indoor

$$VF_{resp,empirico} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \beta_{suolo(AR,Indoor)}$$

$$VF_{wesp,empirico} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \beta_{falda(AR,Indoor)}$$

Una volta stimati i fattori di trasporto sito-specifici, il software permette di calcolare, applicando le equazioni standard utilizzate nella procedura di analisi di rischio definita nelle linee guida ISPRA (2008), le nuove CSR per inalazione.

### Misure soil-gas

Le misure di soil-gas possono essere utilizzate per valutare l'attenuazione sito-specifica dei vapori osservata sul campo. In particolare, misurando la concentrazione nel soil-gas e la concentrazione in sorgente (localizzata nel terreno o nelle acque sotterranee) sulla verticale rispetto alla sonda soil-gas è possibile stimare l'attenuazione subita dai diversi contaminanti durante il trasporto dalla sorgente (presente nel suolo o in falda) al punto di prelievo del soil-gas. Tale fattore, definito con il simbolo  $\beta$ , può essere stimato nel caso di volatilizzazione da falda o da suolo utilizzando le seguenti equazioni:

### Volatilizzazione da Suolo

$$\beta_{suolo(SG)} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \frac{C_{soil-gas}}{C_{suolo}}$$

### Volatilizzazione da Falda

$$\beta_{falda(SG)} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \frac{C_{soil-gas}}{C_{falda}}$$

*Dove:*

$C_{soil-gas}$  = Concentrazione misurata nel soil-gas (mg/m<sup>3</sup>)

$C_{suolo}$  = Concentrazione misurata in sorgente nel suolo (mg/kg)

$C_{falda}$  = Concentrazione misurata in falda (mg/L)

I valori  $\beta$  da utilizzare per il calcolo dei fattori di trasporto sono calcolati in automatico dal software sulla base delle concentrazioni definite in sorgente e nel soil-gas.



Una volta stimati i fattori  $\beta$  sito-specifici dai dati sperimentali ottenuti dalla campagna di monitoraggio, è quindi possibile stimare i fattori di trasporto sito-specifici per ciascun contaminante e per le diverse vie di migrazione come riportato di seguito.

#### Volatilizzazione outdoor

$$VF_{samb,semi-empirico} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \beta_{suolo(SG)} \cdot \alpha_{samb}$$

$$VF_{wamb,semi-empirico} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \beta_{falda(SG)} \cdot \alpha_{samb}$$

#### Volatilizzazione indoor

$$VF_{sesp,semi-empirico} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \beta_{suolo(SG)} \cdot \alpha_{sesp}$$

$$VF_{wesp,semi-empirico} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \beta_{falda(SG)} \cdot \alpha_{sesp}$$

Una volta stimati i fattori di trasporto sito-specifici, il software permette di calcolare, applicando le equazioni standard utilizzate nella procedura di analisi di rischio definita nelle linee guida ISPRA (2008), le nuove CSR per inalazione.

### **Misure con camere di flusso**

Le misure con camere di flusso possono essere utilizzate per valutare l'attenuazione sito-specifica dei vapori osservata sul campo. In particolare, misurando la concentrazione nella camera di flusso e la concentrazione in sorgente (localizzata nel terreno o nelle acque sotterranee) sulla verticale rispetto al punto in cui la camera è stata installata è possibile stimare l'attenuazione subita dai diversi contaminanti durante il trasporto dalla sorgente (presente nel suolo o in falda) al punto di misurazione. Tale fattore, definito con il simbolo  $\beta$ , può essere stimato nel caso di volatilizzazione da falda o da suolo utilizzando le seguenti equazioni:

#### Volatilizzazione da Suolo (camere di flusso dinamiche)

$$\beta_{suolo(FC)} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \frac{C_{FC}}{C_{suolo}}$$

#### Volatilizzazione da Falda (camere di flusso dinamiche)

$$\beta_{falda(FC)} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \frac{C_{FC}}{C_{falda}}$$

Dove:

$C_{FC}$  = Concentrazione misurata nella camera di flusso ( $mg/m^3$ )

$C_{suolo}$  = Concentrazione misurata in sorgente nel suolo ( $mg/kg$ )

$C_{falda}$  = Concentrazione misurata in falda ( $mg/L$ )

Volatilizzazione da Suolo (camere di flusso dinamiche e statiche)

$$\beta_{suolo(FC-flux)} \left[ \frac{mg / m^2 / s}{mg / kg} \right] = \frac{F}{C_{suolo}}$$

Volatilizzazione da Falda (camere di flusso dinamiche e statiche)

$$\beta_{falda(FC-flux)} \left[ \frac{mg / m^2 / s}{mg / L} \right] = \frac{F}{C_{falda}}$$

Dove:

$F$  = Flusso misurato ( $mg/m^2/s$ )

$C_{suolo}$  = Concentrazione misurata in sorgente nel suolo ( $mg/kg$ )

$C_{falda}$  = Concentrazione misurata in falda ( $mg/L$ )

I valori  $\beta$  da utilizzare per il calcolo dei fattori di trasporto sono calcolati in automatico dal software sulla base delle concentrazioni definite in sorgente e nelle camere di flusso. Una volta stimati i fattori  $\beta$  sito-specifici dai dati sperimentali ottenuti dalla campagna di monitoraggio, è quindi possibile stimare i fattori di trasporto sito-specifici per ciascun contaminante e per le diverse vie di migrazione come riportato di seguito.

Volatilizzazione outdoor (camere di flusso dinamiche)

$$VF_{samb,semi-empirico} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \beta_{suolo(FC)} \cdot \alpha_{FC}$$

$$VF_{wamb,semi-empirico} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \beta_{falda(FC)} \cdot \alpha_{FC}$$

Volatilizzazione outdoor (camere di flusso dinamiche e statiche)

$$VF_{samb,semi-empirico} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \beta_{suolo(FC-flux)} \cdot \alpha_{FC(flux)}$$

$$VF_{wamb,semi-empirico} \left[ \frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \beta_{falda(FC-flux)} \cdot \alpha_{FC(flux)}$$

Una volta stimati i fattori di trasporto sito-specifici, il software permette di calcolare, applicando le equazioni standard utilizzate nella procedura di analisi di rischio definita nelle linee guida ISPRA (2008), le nuove CSR per inalazione.

### Test di cessione

I risultati del test di cessione possono essere utilizzati per valutare la ripartizione sito-specifica dei contaminanti osservata sul campo. In particolare, misurando la concentrazione nell'eluato e la concentrazione in sorgente (localizzata nel terreno o nelle acque sotterranee) è possibile la ripartizione tra il contaminante in sorgente e in fase disciolta nell'acqua interstiziale. Tale fattore, definito con il simbolo  $\beta$ , può essere stimato utilizzando le seguenti equazioni:

#### Eluato suolo superficiale

$$\beta_{ss(LF)} \left[ \frac{mg / L}{mg / kg} \right] = \frac{C_{eluato,ss}}{C_{ss}}$$

#### Eluato suolo profondo

$$\beta_{sp(LF)} \left[ \frac{mg / L}{mg / kg} \right] = \frac{C_{eluato,sp}}{C_{sp}}$$

Dove:

$C_{eluato,ss}$  = Concentrazione misurata nell'eluato del suolo superficiale (mg/L)

$C_{ss}$  = Concentrazione misurata in sorgente nel suolo superficiale (mg/kg)

$C_{eluato,sp}$  = Concentrazione misurata nell'eluato del suolo profondo (mg/L)

$C_{sp}$  = Concentrazione misurata in sorgente nel suolo profondo (mg/kg)

I valori  $\beta$  da utilizzare per il calcolo dei fattori di trasporto sono calcolati in automatico dal software sulla base delle concentrazioni definite in sorgente e nell'eluato.

Una volta stimati i fattori  $\beta$  sito-specifici dai dati sperimentali ottenuti dalla campagna di monitoraggio, è quindi possibile stimare i fattori di trasporto sito-specifici per ciascun contaminante e per le diverse vie di migrazione come riportato di seguito.

#### Lisciviazione dal suolo superficiale

$$LF_{ss,semi-empirico} \left[ \frac{mg / L}{mg / kg} \right] = \beta_{ss(LF)} \cdot \alpha_{LFss}$$

#### Lisciviazione dal suolo profondo

$$LF_{sp,semi-empirico} \left[ \frac{mg / L}{mg / kg} \right] = \beta_{sp(LF)} \cdot \alpha_{LFsp}$$

Una volta stimati i fattori di trasporto sito-specifici, il software permette di calcolare, applicando le equazioni standard utilizzate nella procedura di analisi di rischio definita nelle linee guida ISPRA (2008), le nuove CSR per il percorso di lisciviazione.

## APPENDICE 7. DETTAGLIO CONCENTRAZIONI

Nella schermata “Dettaglio concentrazioni” l’utente può verificare le concentrazioni attese nelle diverse matrici soil-gas, eluato, aria outdoor, aria indoor...) in funzione delle concentrazioni totali definite dall’utente in sorgente (Suolo Superficiale, Suolo Profondo o Falda). In questa appendice vengono riportate le equazioni utilizzate dal software per tali stime.

**Tabella 58. Concentrazioni attese in aria**

### **Volatilizzazione outdoor**

*Da suolo superficiale*

$$C_{Aria.Outdoor(ss)} = C_{ss} \cdot VF_{ss}$$

*Da suolo profondo*

$$C_{Aria.Outdoor(sp)} = C_{sp} \cdot VF_{samb}$$

*Da falda*

$$C_{Aria.Outdoor(gw)} = C_{gw} \cdot VF_{wamb}$$

### **Volatilizzazione indoor**

*Da suolo superficiale*

$$C_{Aria.Indoor(ss)} = C_{ss} \cdot VF_{ssesp}$$

*Da suolo profondo*

$$C_{Aria.Indoor(sp)} = C_{sp} \cdot VF_{sesp}$$

*Da falda*

$$C_{Aria.Indoor(gw)} = C_{gw} \cdot VF_{wesp}$$

### **Nomenclatura**

$C_{Aria.Outdoor}$ : concentrazione attesa nell’aria outdoor (mg/m<sup>3</sup>)

$C_{Aria.Indoor}$ : concentrazione attesa nell’aria indoor (mg/m<sup>3</sup>)

$C_{ss}$ : concentrazione nel suolo superficiale (mg/kg)

$C_{sp}$ : concentrazione nel suolo profondo (mg/kg)

$C_{gw}$ : concentrazione in falda (mg/L)

Per il significato degli altri simboli si rimanda alle appendici precedenti.

**Tabella 59. Concentrazioni attese nel soil-gas (outdoor)**

**Volatilizzazione outdoor**

*Da suolo superficiale*

$$C_{sg.Outdoor(ss)} = C_{ss} \cdot \frac{VF_{ss}}{\alpha_{samb}}$$

$$C_{sg(ss)} = C_{ss} \cdot K_{ws} \cdot H \cdot 1000 \quad (\text{se selezionato dall'utente})$$

*Da suolo profondo*

$$C_{sg.Outdoor(sp)} = C_{sp} \cdot \frac{VF_{samb}}{\alpha_{samb}}$$

$$C_{sg(sp)} = C_{sp} \cdot K_{ws} \cdot H \cdot 1000 \quad (\text{se selezionato dall'utente})$$

*Da falda*

$$C_{sg.Outdoor(gw)} = C_{gw} \cdot \frac{VF_{wamb}}{\alpha_{samb}}$$

$$C_{sg(gw)} = C_{gw} \cdot K_{ws} \cdot H \cdot 1000 \quad (\text{se selezionato dall'utente})$$

**Nomenclatura**

$C_{sg.Outdoor}$ : concentrazione attesa nel soil-gas per il percorso di volatilizzazione outdoor (mg/m<sup>3</sup>)

$C_{ss}$ : concentrazione nel suolo superficiale (mg/kg)

$C_{sp}$ : concentrazione nel suolo profondo (mg/kg)

$C_{gw}$ : concentrazione in falda (mg/L)

Per il significato degli altri simboli si rimanda alle appendici precedenti.

**Tabella 60. Concentrazioni attese nel soil-gas (indoor)**

**Volatilizzazione indoor**

*Da suolo superficiale*

$$C_{sg, Indoor(ss)} = C_{ss} \cdot \frac{VF_{ssesp}}{\alpha_{seesp}}$$

$$C_{sg(ss)} = C_{ss} \cdot K_{ws} \cdot H \cdot 1000 \quad (\text{se selezionato dall'utente})$$

*Da suolo profondo*

$$C_{sg, Indoor(sp)} = C_{sp} \cdot \frac{VF_{seep}}{\alpha_{seep}}$$

$$C_{sg(sp)} = C_{sp} \cdot K_{ws} \cdot H \cdot 1000 \quad (\text{se selezionato dall'utente})$$

*Da falda*

$$C_{sg, Indoor(gw)} = C_{gw} \cdot \frac{VF_{wesp}}{\alpha_{seep}}$$

$$C_{sg(gw)} = C_{gw} \cdot K_{ws} \cdot H \cdot 1000 \quad (\text{se selezionato dall'utente})$$

**Nomenclatura**

$C_{sg, Indoor}$ : concentrazione attesa nel soil-gas per il percorso di volatilizzazione indoor (mg/m<sup>3</sup>)

$C_{ss}$ : concentrazione nel suolo superficiale (mg/kg)

$C_{sp}$ : concentrazione nel suolo profondo (mg/kg)

$C_{gw}$ : concentrazione in falda (mg/L)

Per il significato degli altri simboli si rimanda alle appendici precedenti.

**Tabella 61. Concentrazioni attese nella camera di flusso**

**Volatilizzazione outdoor**

*Da suolo superficiale*

$$C_{FC(ss)} = C_{ss} \cdot \frac{K_{ws} \cdot H \cdot 1000}{\alpha_{FC}}$$

*Da suolo profondo*

$$C_{FC(sp)} = C_{sp} \cdot \frac{VF_{samb}(1)}{\alpha_{FC}}$$

*Da falda*

$$C_{FC(gw)} = C_{gw} \cdot \frac{VF_{wamb}}{\alpha_{FC}}$$

**Nomenclatura**

*C<sub>fc</sub>: concentrazione attesa nella camera di flusso (mg/m<sup>3</sup>)*

*C<sub>ss</sub>: concentrazione nel suolo superficiale (mg/kg)*

*C<sub>sp</sub>: concentrazione nel suolo profondo (mg/kg)*

*C<sub>gw</sub>: concentrazione in falda (mg/L)*

*Per il significato degli altri simboli si rimanda alle appendici precedenti.*

**Tabella 62. Concentrazioni attese nell'eluato**

**Lisciviazione da suolo in falda**

*Da suolo superficiale*

$$C_{EI(ss)} = C_{ss} \cdot K_{ws(ss)}$$

*Da suolo profondo*

$$C_{EI(sp)} = C_{sp} \cdot K_{ws(sp)}$$

**Nomenclatura**

*C<sub>EI</sub>: concentrazione attesa nell'eluato (mg/L)*

*C<sub>ss</sub>: concentrazione nel suolo superficiale (mg/kg)*

*C<sub>sp</sub>: concentrazione nel suolo profondo (mg/kg)*

*Per il significato degli altri simboli si rimanda alle appendici precedenti.*



**Tabella 63. Concentrazioni attesa in falda**

**Lisciviazione da suolo in falda (POC = 0)**

*Da suolo superficiale*

$$C_{gw(ss)} = C_{ss} \cdot LF_{ss}$$

*Da suolo profondo*

$$C_{gw(sp)} = C_{sp} \cdot LF_{sp}$$

**Lisciviazione da suolo in falda (POC > 0)**

*Da suolo superficiale*

$$C_{gw(ss)} = C_{ss} \cdot \frac{LF_{ss}}{DAF}$$

*Da suolo profondo*

$$C_{gw(sp)} = C_{sp} \cdot \frac{LF_{sp}}{DAF}$$

**Nomenclatura**

*C<sub>gw</sub>: concentrazione attesa in falda (mg/L)*

*C<sub>ss</sub>: concentrazione nel suolo superficiale (mg/kg)*

*C<sub>sp</sub>: concentrazione nel suolo profondo (mg/kg)*

*Per il significato degli altri simboli si rimanda alle appendici precedenti.*

## APPENDICE 8. FATTORE DI AGGIUSTAMENTO (ADAF)

---

Come suggerito nel documento di supporto alla banca dati ISS-INAIL, per le sostanze cancerogene che agiscono attraverso un'azione genotossica, il software permette di definire un fattore di aggiustamento "ADAF" (Age Dependent Adjustment Factor) da applicare ai parametri tossicologici cancerogeni (SF Ing., SF Inal., IUR) in funzione dell'età del bersaglio potenzialmente esposto:

$$SF_{bambino} = SF \cdot ADAF_{bambino}$$

$$IUR_{bambino} = IUR \cdot ADAF_{bambino}$$

$$SF_{adolescente} = SF \cdot ADAF_{adolescente}$$

$$IUR_{adolescente} = IUR \cdot ADAF_{adolescente}$$

In particolare, seguendo quanto indicato nel documento di supporto alla banca dati ISS-INAIL, nel database di default del software sono definiti per Benzo(a)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, 1,2,3-Tricloropropano, Diclorometano, Tricloroetilene e Acrilamide un fattore ADAF pari a 5 per il bambino e 3 per l'adolescente. Per il Cloruro di Vinile, per tener conto del diverso parametro tossicologico definito dall'IRIS per Bambini e Adulti, nel database del software è stato posto un fattore ADAF per il bambino pari a 2. Si sottolinea che tali fattori ADAF sono modificabili nella schermata della banca dati interna al software.

## APPENDICE 9. KOC E KD IN FUNZIONE DEL PH

Per le sostanze in cui il Koc ed il Kd sono funzione del pH, se si utilizza la Banca Dati di Default, nel software vengono adottati, in funzione del pH definito nel sito, i valori dei coefficienti di ripartizione riportati nelle tabelle seguenti (Fonte: Appendice Q; ISPRA, 2008).

Tabella 64. Valori Koc in funzione del pH per i contaminanti organici (1/2)

Valori del Koc (L/kg) per gli organici che sono funzione del pH					
pH	Acido Benzoico	Clorofenoli 2	Diclorofenolo 2,4	Dinitrofenolo 2,4	Pentaclorofenolo
4.9	5.5E+00	3.98E+02	1.59E+02	2.94E-02	9.05E+03
5	4.6E+00	3.98E+02	1.59E+02	2.55E-02	7.96E+03
5.1	3.9E+00	3.98E+02	1.59E+02	2.23E-02	6.93E+03
5.2	3.3E+00	3.98E+02	1.59E+02	1.98E-02	5.97E+03
5.3	2.7E+00	3.98E+02	1.59E+02	1.78E-02	5.10E+03
5.4	2.3E+00	3.98E+02	1.58E+02	1.62E-02	4.32E+03
5.5	1.9E+00	3.97E+02	1.58E+02	1.50E-02	3.65E+03
5.6	1.7E+00	3.97E+02	1.58E+02	1.40E-02	3.07E+03
5.7	1.4E+00	3.97E+02	1.58E+02	1.32E-02	2.58E+03
5.8	1.2E+00	3.97E+02	1.58E+02	1.25E-02	2.18E+03
5.9	1.1E+00	3.97E+02	1.57E+02	1.20E-02	1.84E+03
6	9.7E-01	3.96E+02	1.57E+02	1.16E-02	1.56E+03
6.1	8.8E-01	3.96E+02	1.57E+02	1.13E-02	1.33E+03
6.2	8.0E-01	3.96E+02	1.56E+02	1.10E-02	1.15E+03
6.3	7.4E-01	3.95E+02	1.55E+02	1.08E-02	9.98E+02
6.4	6.9E-01	3.94E+02	1.54E+02	1.06E-02	8.77E+02
6.5	6.5E-01	3.93E+02	1.53E+02	1.05E-02	7.81E+02
6.6	6.2E-01	3.92E+02	1.52E+02	1.04E-02	7.03E+02
6.7	6.0E-01	3.90E+02	1.50E+02	1.03E-02	6.40E+02
6.8	5.8E-01	3.88E+02	1.47E+02	1.02E-02	5.92E+02
6.9	5.6E-01	3.86E+02	1.45E+02	1.02E-02	5.52E+02
7	5.5E-01	3.83E+02	1.41E+02	1.02E-02	5.21E+02
7.1	5.4E-01	3.79E+02	1.38E+02	1.02E-02	4.96E+02
7.2	5.3E-01	3.75E+02	1.33E+02	1.01E-02	4.76E+02
7.3	5.3E-01	3.69E+02	1.28E+02	1.01E-02	4.61E+02
7.4	5.2E-01	3.62E+02	1.21E+02	1.01E-02	4.47E+02
7.5	5.2E-01	3.54E+02	1.14E+02	1.01E-02	4.37E+02
7.6	5.1E-01	3.44E+02	1.07E+02	1.01E-02	4.29E+02
7.7	5.1E-01	3.33E+02	9.84E+01	1.00E-02	4.23E+02
7.8	5.1E-01	3.19E+02	8.97E+01	1.00E-02	4.18E+02
7.9	5.1E-01	3.04E+02	8.07E+01	1.00E-02	4.14E+02
8	5.1E-01	2.86E+02	7.17E+01	1.00E-02	4.10E+02

Tabella 65. Valori Koc in funzione del pH per i contaminanti organici (2/2)

Valori del Koc (L/kg) per gli organici che sono funzione del pH				
pH	Tetraclorofenolo 2,3,4,5	Tetraclorofenolo 2,4,6	Triclorofenolo 2,4,5	Triclorofenolo 2,4,6
4.9	1.73E+04	4.45E+03	2.37E+03	1.04E+03
5	1.72E+04	4.15E+03	2.36E+03	1.03E+03
5.1	1.70E+04	3.83E+03	2.36E+03	1.02E+03
5.2	1.67E+04	3.49E+03	2.35E+03	1.01E+03
5.3	1.65E+04	3.14E+03	2.34E+03	9.99E+02
5.4	1.61E+04	2.79E+03	2.33E+03	9.82E+02
5.5	1.57E+04	2.45E+03	2.32E+03	9.62E+02
5.6	1.52E+04	2.13E+03	2.31E+03	9.38E+02
5.7	1.47E+04	1.83E+03	2.29E+03	9.10E+02
5.8	1.40E+04	1.56E+03	2.27E+03	8.77E+02
5.9	1.32E+04	1.32E+03	2.24E+03	8.39E+02
6	1.24E+04	1.11E+03	2.21E+03	7.96E+02
6.1	1.15E+04	9.27E+02	2.17E+03	7.48E+02
6.2	1.05E+04	7.75E+02	2.12E+03	6.97E+02
6.3	9.51E+03	6.47E+02	2.06E+03	6.44E+02
6.4	8.48E+03	5.42E+02	1.99E+03	5.89E+02
6.5	7.47E+03	4.55E+02	1.91E+03	5.33E+02
6.6	6.49E+03	3.84E+02	1.82E+03	4.80E+02
6.7	5.58E+03	3.27E+02	1.71E+03	4.29E+02
6.8	4.74E+03	2.80E+02	1.60E+03	3.81E+02
6.9	3.99E+03	2.42E+02	1.47E+03	3.38E+02
7	3.33E+03	2.13E+02	1.34E+03	3.00E+02
7.1	2.76E+03	1.88E+02	1.21E+03	2.67E+02
7.2	2.28E+03	1.69E+02	1.07E+03	2.39E+02
7.3	1.87E+03	1.53E+02	9.43E+02	2.15E+02
7.4	1.53E+03	1.41E+02	8.19E+02	1.95E+02
7.5	1.25E+03	1.31E+02	7.03E+02	1.78E+02
7.6	1.02E+03	1.23E+02	5.99E+02	1.64E+02
7.7	8.31E+02	1.17E+02	5.07E+02	1.53E+02
7.8	6.79E+02	1.13E+02	4.26E+02	1.44E+02
7.9	5.56E+02	1.08E+02	3.57E+02	1.37E+02
8	4.58E+02	1.05E+02	2.98E+02	1.31E+02

Tabella 66. Valori Kd in funzione del pH per i contaminanti inorganici (1/2)

Valori Kd (L/kg) per inorganici che sono funzione del pH						
pH	Arsenico	Bario	Berillio	Cadmio	Cromo III	Cromo VI
4.9	2.5E+01	1.1E+01	2.3E+01	1.5E+01	1.2E+03	3.1E+01
5	2.5E+01	1.2E+01	2.6E+01	1.7E+01	1.9E+03	3.1E+01
5.1	2.5E+01	1.4E+01	2.8E+01	1.9E+01	3.0E+03	3.0E+01
5.2	2.6E+01	1.5E+01	3.1E+01	2.1E+01	4.9E+03	2.9E+01
5.3	2.6E+01	1.7E+01	3.5E+01	2.3E+01	8.1E+03	2.8E+01
5.4	2.6E+01	1.9E+01	3.8E+01	2.5E+01	1.3E+04	2.7E+01
5.5	2.6E+01	2.1E+01	4.2E+01	2.7E+01	2.1E+04	2.7E+01
5.6	2.6E+01	2.2E+01	4.7E+01	2.9E+01	3.5E+04	2.6E+01
5.7	2.7E+01	2.4E+01	5.3E+01	3.1E+01	5.5E+04	2.5E+01
5.8	2.7E+01	2.6E+01	6.0E+01	3.3E+01	8.7E+04	2.5E+01
5.9	2.7E+01	2.8E+01	6.9E+01	3.5E+01	1.3E+05	2.4E+01
6	2.7E+01	3.0E+01	8.2E+01	3.7E+01	2.0E+05	2.3E+01
6.1	2.7E+01	3.1E+01	9.9E+01	4.0E+01	3.0E+05	2.3E+01
6.2	2.8E+01	3.3E+01	1.2E+02	4.2E+01	4.2E+05	2.2E+01
6.3	2.8E+01	3.5E+01	1.6E+02	4.4E+01	5.8E+05	2.2E+01
6.4	2.8E+01	3.6E+01	2.1E+02	4.8E+01	7.7E+05	2.1E+01
6.5	2.8E+01	3.7E+01	2.8E+02	5.2E+01	9.9E+05	2.0E+01
6.6	2.8E+01	3.9E+01	3.9E+02	5.7E+01	1.2E+06	2.0E+01
6.7	2.9E+01	4.0E+01	5.5E+02	6.4E+01	1.5E+06	1.9E+01
6.8	2.9E+01	4.1E+01	7.9E+02	7.5E+01	1.8E+06	1.9E+01
6.9	2.9E+01	4.2E+01	1.1E+03	9.1E+01	2.1E+06	1.8E+01
7	2.9E+01	4.2E+01	1.7E+03	1.1E+02	2.5E+06	1.8E+01
7.1	2.9E+01	4.3E+01	2.5E+03	1.5E+02	2.8E+06	1.7E+01
7.2	3.0E+01	4.4E+01	3.8E+03	2.0E+02	3.1E+06	1.7E+01
7.3	3.0E+01	4.4E+01	5.7E+03	2.8E+02	3.4E+06	1.6E+01
7.4	3.0E+01	4.5E+01	8.6E+03	4.0E+02	3.7E+06	1.6E+01
7.5	3.0E+01	4.6E+01	1.3E+04	5.9E+02	3.9E+06	1.6E+01
7.6	3.1E+01	4.6E+01	2.0E+04	8.7E+02	4.1E+06	1.5E+01
7.7	3.1E+01	4.7E+01	3.0E+04	1.3E+03	4.2E+06	1.5E+01
7.8	3.1E+01	4.9E+01	4.6E+04	1.9E+03	4.3E+06	1.4E+01
7.9	3.1E+01	5.0E+01	6.9E+04	2.9E+03	4.3E+06	1.4E+01
8	3.1E+01	5.2E+01	1.0E+05	4.3E+03	4.3E+06	1.4E+01

Tabella 67. Valori Kd in funzione del pH per i contaminanti inorganici (2/2)

Valori Kd (L/kg) per inorganici che sono funzione del pH						
pH	Mercurio	Nichel	Argento	Selenio	Tallio	Zinco
4.9	4.0E-02	1.6E+01	1.0E-01	1.8E+01	4.4E+01	1.6E+01
5	6.0E-02	1.8E+01	1.3E-01	1.7E+01	4.5E+01	1.8E+01
5.1	9.0E-02	2.0E+01	1.6E-01	1.6E+01	4.6E+01	1.9E+01
5.2	1.4E-01	2.2E+01	2.1E-01	1.5E+01	4.7E+01	2.1E+01
5.3	2.0E-01	2.4E+01	2.6E-01	1.4E+01	4.8E+01	2.3E+01
5.4	3.0E-01	2.6E+01	3.3E-01	1.3E+01	5.0E+01	2.5E+01
5.5	4.6E-01	2.8E+01	4.2E-01	1.2E+01	5.1E+01	2.6E+01
5.6	6.9E-01	3.0E+01	5.3E-01	1.1E+01	5.2E+01	2.8E+01
5.7	1.0E+00	3.2E+01	6.7E-01	1.1E+01	5.4E+01	3.0E+01
5.8	1.6E+00	3.4E+01	8.4E-01	9.8E+00	5.5E+01	3.2E+01
5.9	2.3E+00	3.6E+01	1.1E+00	9.2E+00	5.6E+01	3.4E+01
6	3.5E+00	3.8E+01	1.3E+00	8.6E+00	5.8E+01	3.6E+01
6.1	5.1E+00	4.0E+01	1.7E+00	8.0E+00	5.9E+01	3.9E+01
6.2	7.5E+00	4.2E+01	2.1E+00	7.5E+00	6.1E+01	4.2E+01
6.3	1.1E+01	4.5E+01	2.7E+00	7.0E+00	6.2E+01	4.4E+01
6.4	1.6E+01	4.7E+01	3.4E+00	6.5E+00	6.4E+01	4.7E+01
6.5	2.2E+01	5.0E+01	4.2E+00	6.1E+00	6.6E+01	5.1E+01
6.6	3.0E+01	5.4E+01	5.3E+00	5.7E+00	6.7E+01	5.4E+01
6.7	4.0E+01	5.8E+01	6.6E+00	5.3E+00	6.9E+01	5.8E+01
6.8	5.2E+01	6.5E+01	8.3E+00	5.0E+00	7.1E+01	6.2E+01
6.9	6.6E+01	7.4E+01	1.0E+01	4.7E+00	7.3E+01	6.8E+01
7	8.2E+01	8.8E+01	1.3E+01	4.3E+00	7.4E+01	7.5E+01
7.1	9.9E+01	1.1E+02	1.6E+01	4.1E+00	7.6E+01	8.3E+01
7.2	1.2E+02	1.4E+02	2.0E+01	3.8E+00	7.8E+01	9.5E+01
7.3	1.3E+02	1.8E+02	2.5E+01	3.5E+00	8.0E+01	1.1E+02
7.4	1.5E+02	2.5E+02	3.1E+01	3.3E+00	8.2E+01	1.3E+02
7.5	1.6E+02	3.5E+02	3.9E+01	3.1E+00	8.5E+01	1.6E+02
7.6	1.7E+02	4.9E+02	4.8E+01	2.9E+00	8.7E+01	1.9E+02
7.7	1.8E+02	7.0E+02	5.9E+01	2.7E+00	8.9E+01	2.4E+02
7.8	1.9E+02	9.9E+02	7.3E+01	2.5E+00	9.1E+01	3.1E+02
7.9	1.9E+02	1.4E+03	8.9E+01	2.4E+00	9.4E+01	4.0E+02
8	2.0E+02	1.9E+03	1.1E+02	2.2E+00	9.6E+01	5.3E+02