

RISK-NET



Manuale D'uso

Versione 3.0 Pro

Luglio 2018

RECONnet

Rete Nazionale sulla gestione e la
Bonifica dei Siti Contaminati



RISK-NET Versione 3.0 Pro

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

*Il software **Risk-net v. 3.0 Pro** permette di calcolare il rischio e gli obiettivi di bonifica legato alla presenza di contaminanti all'interno di un sito, applicando la procedura APAT-ISPRA di analisi di rischio sanitaria ("Criteri metodologici l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"; APAT-ISPRA 2008) in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana (D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08).*

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, Golder

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 3.0 Pro.....	2
Elenco Figure.....	7
Elenco Tabelle	8
Acronimi.....	10
Cos'è Risk-net	11
Interfaccia e utilizzo del software.....	12
Principali novità della versione 3.0 Pro	14
Architettura del software.....	16
Schermata di avvio e gestione dei file	17
Schermata di simulazione	20
Impostazione della simulazione (Setup).....	23
Descrizione del sito	23
Modello Concettuale del sito	24
Recettori	27
Input.....	30
Contaminanti Indicatori.....	30
Concentrazione in Sorgente.....	34
Fattori di Esposizione	36
Parametri del Sito	38
Gestione degli errori	42
Opzioni di Calcolo.....	44
Volatilizzazione	45
Lisciviazione	46
Dispersione in falda	47
Csat	48
Esposizione	49
Limiti	49
Caratterizzazione avanzata del sito.....	50
Output.....	52

Calcolo Rischio	52
CSR	54
Calcolo CSR Idrocarburi.....	57
CSR cumulative	56
Risultati Dettagliati	59
Fattori di Trasporto	59
Concentrazione al punto di esposizione.....	60
Tassi di esposizione	60
Dettaglio Rischi.....	61
Dettaglio CSR	62
Trasporto Off-site.....	63
Dettaglio concentrazioni	65
Documenti di Riferimento	66
Nomenclatura	67
Appendici – Equazioni e Criteri di calcolo	73
Appendice 1a. Calcolo del Rischio (Car. Standard)	74
Rischio Individuale.....	74
Rischio per più vie di esposizione.	75
Rischio Cumulativo.....	77
Rischio Risorsa Idrica.....	77
Appendice 1b. Calcolo del Rischio (Car. Avanzata).....	84
Appendice 2a. Obiettivi di Bonifica (CSR).....	88
CSR Individuali	88
CSR per più vie di esposizione.....	89
CSR Cumulative (Obiettivi di bonifica).	91
Appendice 2b. Concentrazioni di Riferimento	101
Appendice 3a. Fattori di Trasporto (Car. Standard)	104
Appendice 3b. Fattori di trasporto (Car. Avanzata).....	122
Appendice 4. Calcolo Fattori di Esposizione	127
Appendice 5. Saturazione Chimico-Fisica e Residua	129
Concentrazione di Saturazione.	129
Concentrazione Residua (Screening Mobilità NAPL).....	130
Applicazione dell'Analisi di Rischio in condizioni di saturazione	130
Appendice 6. Utilizzo dei dati di car. Avanzata	132

Misure in aria outdoor	132
Misure in aria indoor	133
Misure soil-gas.....	134
Misure con camere di flusso	135
Test di cessione	137
Appendice 7. Dettaglio concentrazioni	139
Appendice 8. Fattore di aggiustamento (ADAF).....	144
Appendice 9. Koc e Kd in funzione del pH	145

ELENCO FIGURE

Figura 1. Schermata di avvio del software Risk-net 3.0.....	17
Figura 2. Schermata con le impostazioni sulla Lingua e sullo Zoom.....	19
Figura 3. Schermata iniziale di simulazione con menù laterale attivo.....	20
Figura 4. Schermata iniziale di simulazione con menù laterale disattivato.....	21
Figura 5. Schermata iniziale di simulazione con più file aperti.....	22
Figura 6. Setup della simulazione.....	23
Figura 7. Definizione del modello concettuale.....	24
Figura 8. Caratterizzazione integrativa.....	27
Figura 9. Selezione dello scenario di esposizione.....	28
Figura 10. Inserimento dei contaminanti.....	30
Figura 11. Proprietà contaminanti.....	32
Figura 12. Banca dati.....	33
Figura 13. Esempio di inserimento di un contaminante nella banca dati.....	34
Figura 14. Definizione della Concentrazione Rappresentativa alla Sorgente.....	35
Figura 15. Parametri di Esposizione.....	36
Figura 16. Caratteristiche del sito.....	39
Figura 17. Controllo sugli errori di tipo concettuale.....	42
Figura 18. Opzioni di calcolo.....	44
Figura 19. Opzioni di calcolo per la caratterizzazione avanzata del sito.....	50
Figura 20. Calcolo del Rischio.....	52
Figura 21. Calcolo degli Obiettivi di bonifica (CSR).....	54
Figura 22. Calcolo CSR Idrocarburi.....	58
Figura 23. Verifica CSR cumulative.....	56
Figura 24. Fattori di trasporto.....	59
Figura 25. Concentrazioni al punto di esposizione.....	60
Figura 26. Tassi di esposizione.....	61
Figura 27. Dettaglio Rischi.....	62
Figura 28. Dettaglio CSR.....	63
Figura 29. Trasporto Off-site (Falda).....	64
Figura 30. Trasporto Off-site (Atmosfera).....	64
Figura 31. Dettaglio concentrazioni.....	65
Figura 32. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo superficiale.....	76
Figura 33. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo profondo.....	76
Figura 34. Criteri di cumulo dei rischi per la falda.....	77
Figura 35. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo superficiale.....	90
Figura 36. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo profondo.....	90
Figura 37. Criteri di cumulo delle CSR per la falda.....	91

ELENCO TABELLE

Tabella 1. Significato pulsanti presenti nella schermata di avvio.	18
Tabella 2. Vie di esposizione/migrazione attivabili.....	25
Tabella 3. Fattori di trasporto utilizzati per ciascuna via di esposizione.	26
Tabella 4. Valori di default implementati nel software (APAT-ISPRA, 2008).	37
Tabella 5: Proprietà del terreno in funzione della tessitura selezionata.	40
Tabella 6. Fattori di trasporto considerando o meno l'esaurimento della sorgente.	45
Tabella 7. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo del rischio	53
Tabella 8. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo delle CSR individuali.....	55
Tabella 9. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo delle CSR cumulative.	57
Tabella 10. Suolo Superficiale: Rischio e Indice di Pericolo.....	79
Tabella 11. Suolo Profondo: Rischio e Indice di Pericolo.....	81
Tabella 12. Falda: Rischio e Indice di Pericolo	82
Tabella 13. Rischio Risorsa Idrica.....	83
Tabella 14. Misure Soil-gas: Rischio e Indice di Pericolo.....	84
Tabella 15. Camere di flusso: Rischio e Indice di Pericolo	85
Tabella 16. Misure in Aria: Rischio e Indice di Pericolo	86
Tabella 17. Eluato suolo superficiale: Rischio e Indice di Pericolo.....	87
Tabella 18. Eluato suolo profondo: Rischio e Indice di Pericolo.....	87
Tabella 19. Suolo Superficiale: CSR.....	93
Tabella 20. Suolo Profondo: CSR	96
Tabella 21. Falda: CSR.....	97
Tabella 22. CSR Risorsa Idrica.....	98
Tabella 23. Calcolo CSR Idrocarburi.....	99
Tabella 24. Screening Prodotto Libero.....	100
Tabella 25. Concentrazioni di riferimento (CR): aria	101
Tabella 26. Concentrazioni di riferimento (CR): camere di flusso	102
Tabella 27. Concentrazioni di riferimento (CR): soil gas	102
Tabella 28. Concentrazioni di riferimento (CR): eluato da suolo superficiale.....	102
Tabella 29. Concentrazioni di riferimento (CR): eluato da suolo profondo.....	103
Tabella 30. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori outdoor	105
Tabella 31. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori indoor	106
Tabella 32. Suolo Superficiale: Lisciviazione in falda.....	107
Tabella 33. Suolo Superficiale: Emissione di Particolato	108
Tabella 34. Dispersione In Atmosfera	108
Tabella 35. Coefficienti di dispersione In Atmosfera	109
Tabella 36. Stima velocità del vento in corrispondenza dell'altezza di miscelazione	109
Tabella 37. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori outdoor	110

Elenco Tabelle

Tabella 38. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori indoor	111
Tabella 39. Suolo Profondo: Lisciviazione in Falda.....	112
Tabella 40. Fattore di Diluizione in Falda.....	113
Tabella 41. Falda: Equazione di Domenico	114
Tabella 42. Falda: Volatilizzazione vapori outdoor.....	115
Tabella 43. Falda: Volatilizzazione vapori indoor.....	116
Tabella 44. Coefficiente di diffusione	117
Tabella 45. Concentrazione di Saturazione, C_{sat}	118
Tabella 46. Fattore di biodegradazione (BDF) per volatilizzazione	119
Tabella 47. Fattore di biodegradazione (BDF) per lisciviazione	120
Tabella 48. Infiltrazione efficace.....	121
Tabella 49. Soil gas: Volatilizzazione vapori outdoor	123
Tabella 50. Camera di flusso dinamica: Volatilizzazione vapori outdoor.....	123
Tabella 51. Soil gas: Volatilizzazione vapori indoor	124
Tabella 52. Eluato da Suolo Superficiale: Lisciviazione in falda.....	125
Tabella 53. Eluato da Suolo Profondo: Lisciviazione in falda.....	126
Tabella 54. Fattori di Esposizione (EM)	128
Tabella 55. Concentrazioni attese in aria.....	139
Tabella 56. Concentrazioni attese nel soil gas (outdoor)	140
Tabella 57. Concentrazioni attese nel soil gas (indoor)	141
Tabella 58. Concentrazioni attese nella camera di flusso	142
Tabella 59. Concentrazioni attese nell'eluato	142
Tabella 60. Concentrazioni attese in falda	143
Tabella 61. Valori Koc in funzione del pH per i contaminanti organici (1/2)	145
Tabella 62. Valori Koc in funzione del pH per i contaminanti organici (2/2)	146
Tabella 63. Valori Kd in funzione del pH per i contaminanti inorganici (1/2)	147
Tabella 64. Valori Kd in funzione del pH per i contaminanti inorganici (2/2)	148

ACRONIMI

SIMBOLO	SIGNIFICATO
ADF	Fattore di dispersione in atmosfera
AdR	Analisi di Rischio
Cpoe	Concentrazione al punto di esposizione
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
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
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

COS'È RISK-NET

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

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 APAT-ISPRA (2008), le concentrazioni massime attese in condizioni stazionarie al punto di esposizione. Tali modelli tengono conto della ripartizione dei contaminanti nelle diverse fasi del suolo e dell'attenuazione subita durante la migrazione dalla sorgente al punto di esposizione. Successivamente, sulla base dei parametri di esposizione definiti dall'utente, viene calcolata la dose giornaliera dei diversi ricettori. Tali dosi, combinate con i corrispondenti parametri tossicologici e con le concentrazioni al punto di esposizione, sono utilizzate nel calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica (CSR). Successivamente, per ciascun contaminante vengono cumulati gli effetti legati alla presenza di più vie di esposizione attive e vengono calcolati gli obiettivi di bonifica e i rischi individuali (legati alla singola sostanza) e cumulativi (derivanti dalla presenza di più sostanze).

INTERFACCIA E UTILIZZO DEL SOFTWARE

Requisiti di Sistema. La versione 3.0 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 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 DELLA VERSIONE 3.0 PRO

Multipiattaforma. 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 precedenti il software è disponibile sia in lingua italiana che inglese.

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.

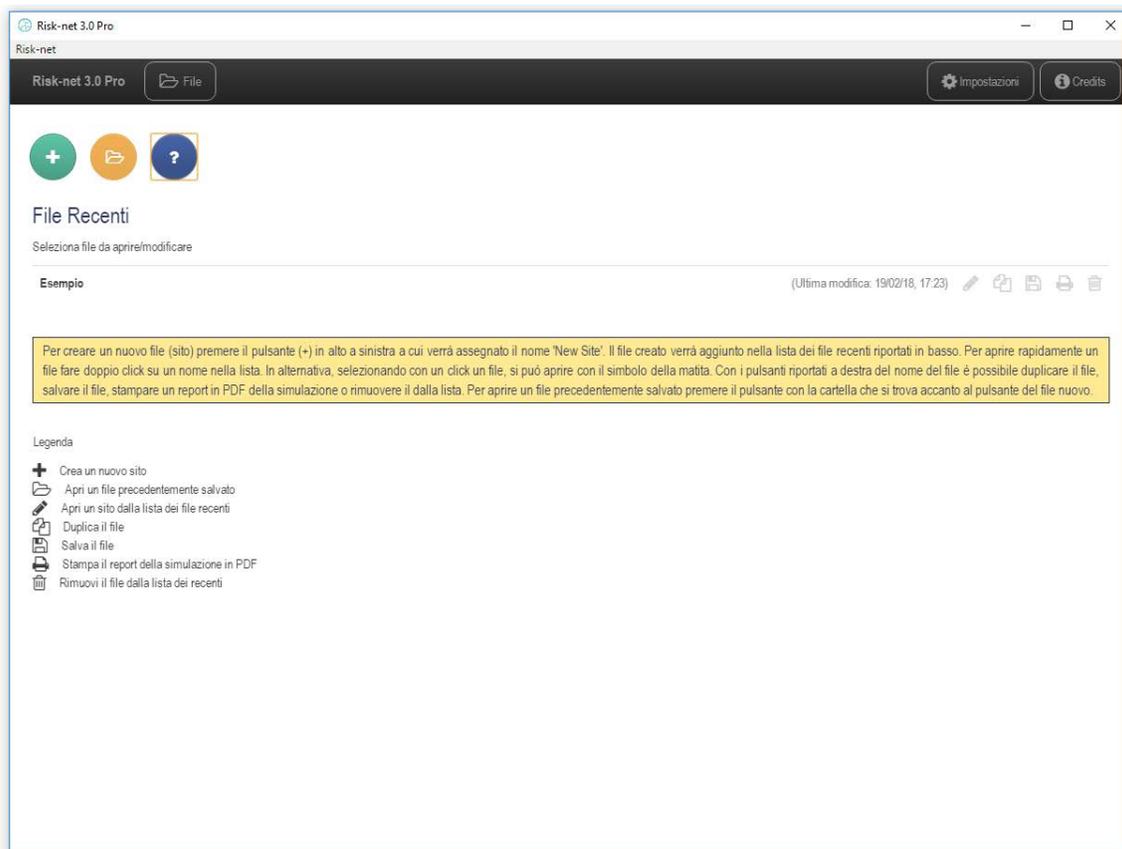


Figura 1. Schermata di avvio del software Risk-net 3.0.

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.

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

Nel caso in cui si voglia cambiare la lingua o lo zoom delle finestre, dalla schermata principale cliccando sul pulsante Impostazioni (o “Settings” se impostato in inglese) si

accede alla schermata mostrata in Figura 2. Per tornare alla schermata principale è sufficiente cliccare sul pulsante “File” in alto a sinistra.

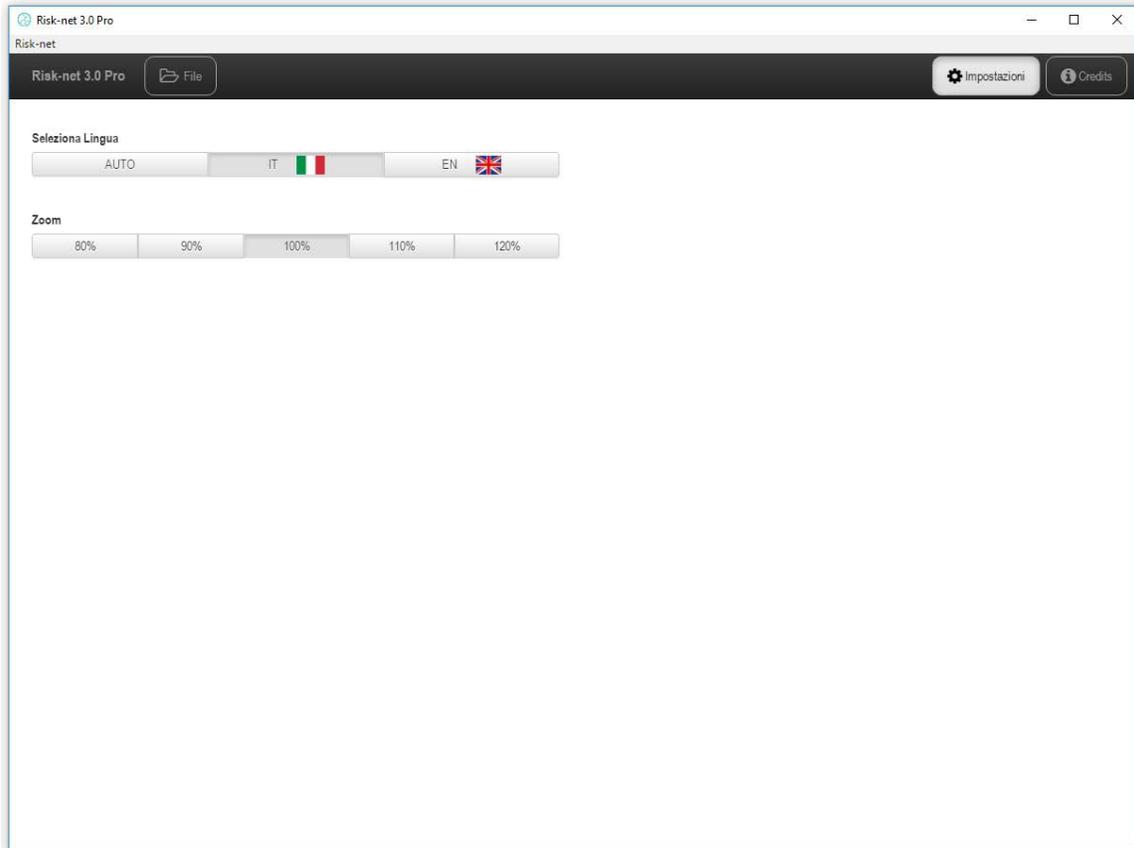


Figura 2. Schermata con le impostazioni sulla Lingua e sullo Zoom.

SCHEMATA 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.

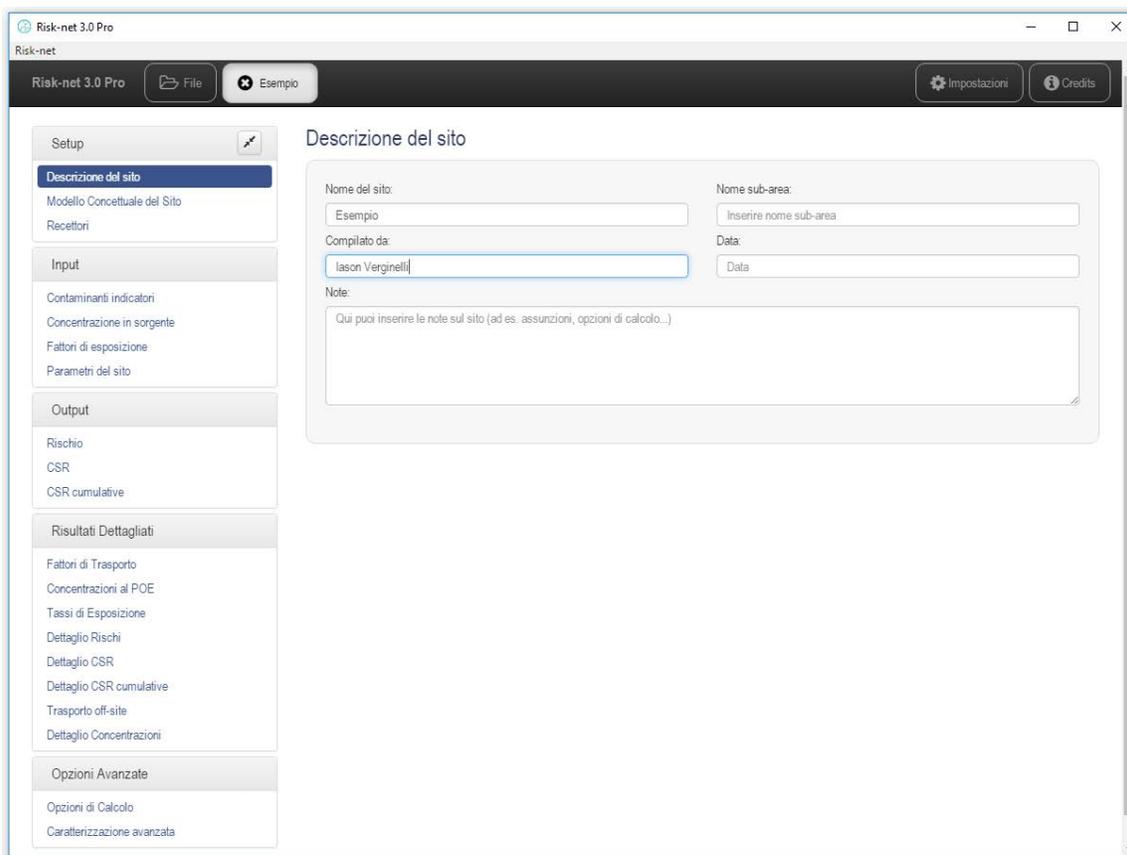


Figura 3. Schermata iniziale di simulazione con menù laterale attivo.

Per ripristinare il menù laterale è sufficiente premere il pulsante  .

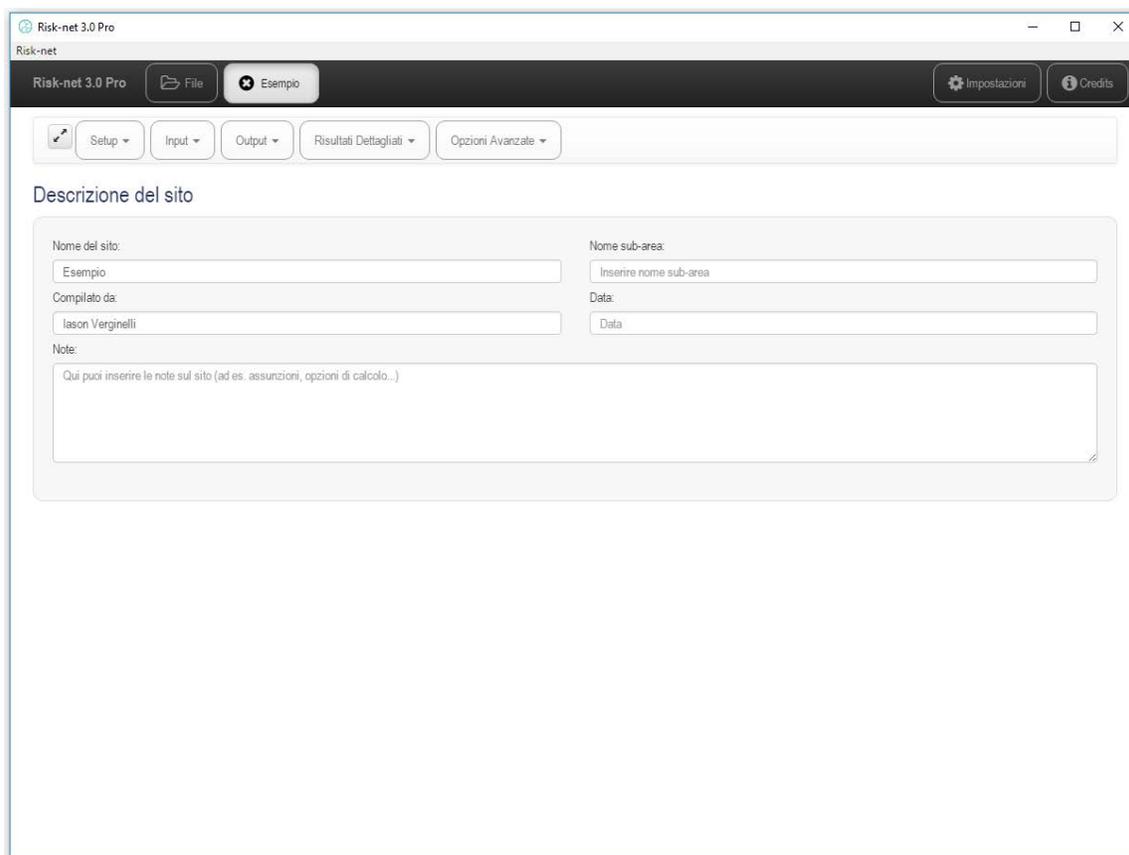


Figura 4. Schermata iniziale di simulazione con menù laterale disattivato.

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

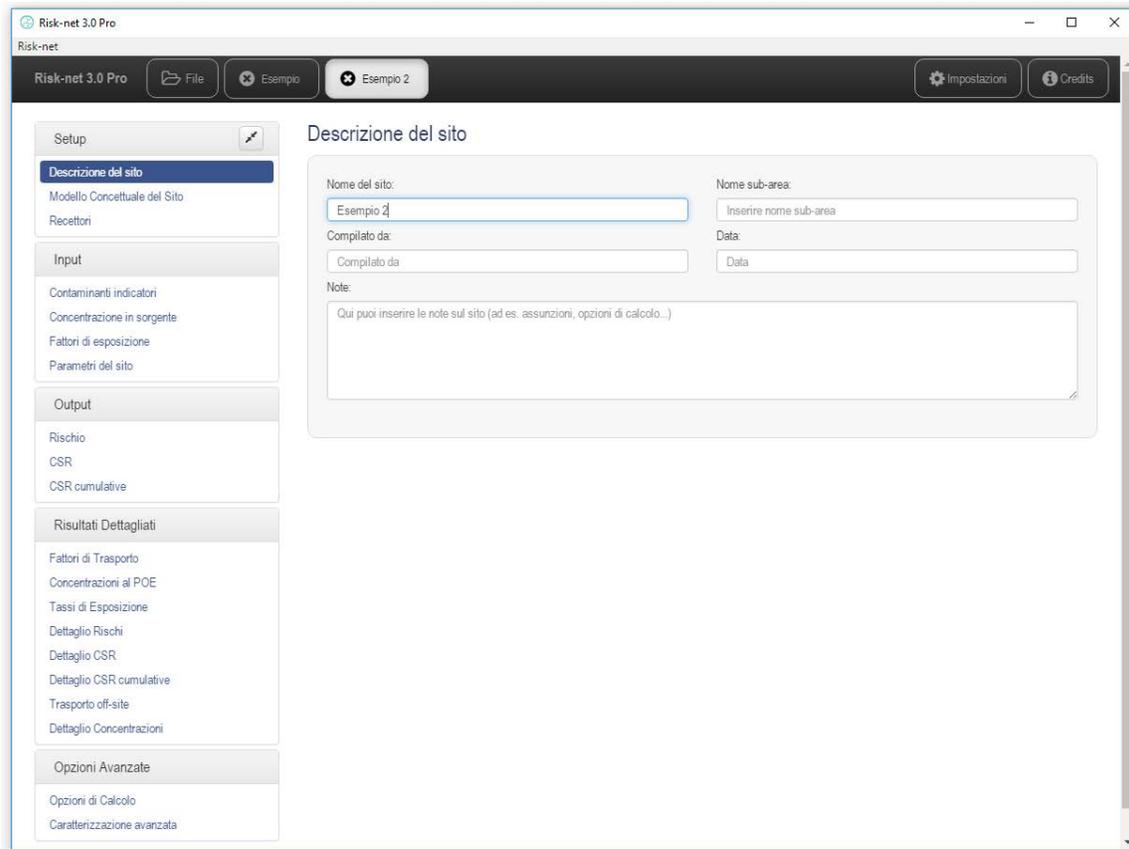


Figura 5. Schermata iniziale di simulazione con più file aperti.

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.

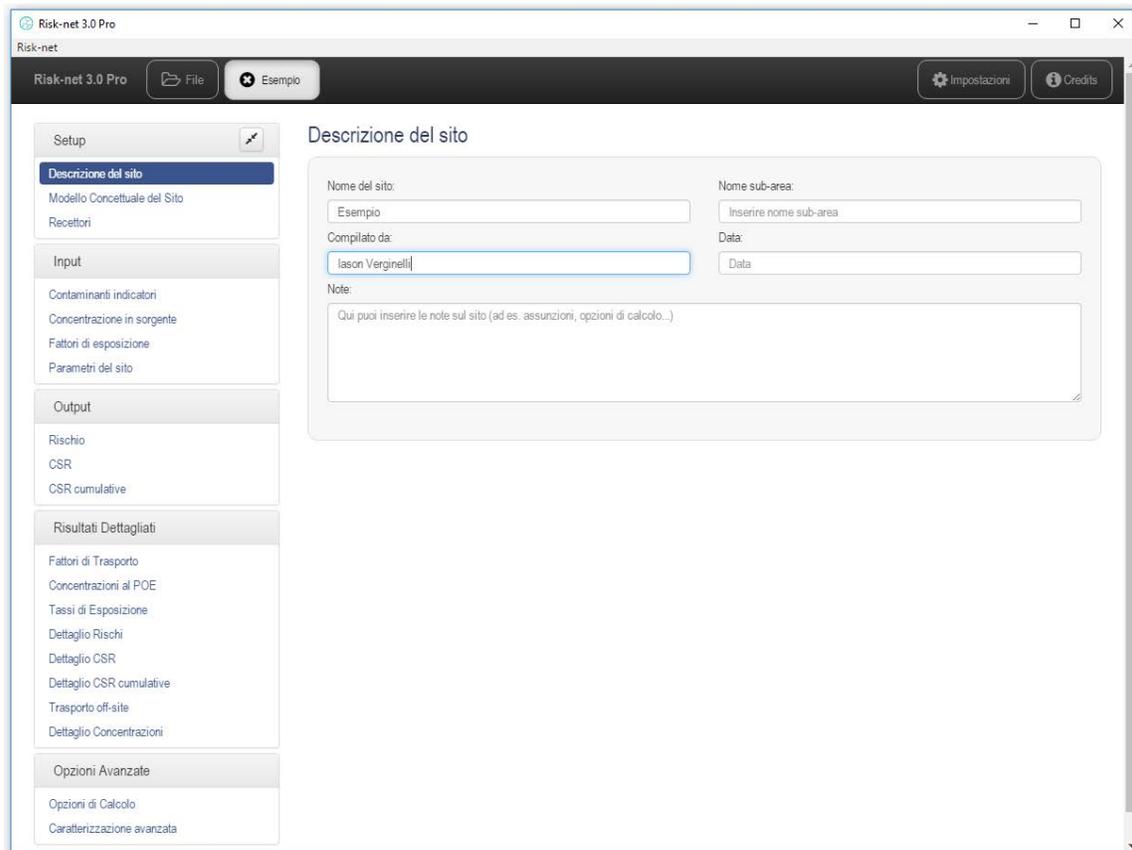


Figura 6. Setup della simulazione.

In questa schermata è possibile definire le informazioni generali del progetto (Nome del sito, nome dell'eventuale sub-area, Data, e Compilato Da). La casella “Note” permette di

Impostazione della simulazione (Setup)

inserire alcune note sulla compilazione del progetto. Si evidenzia che nella lista dei file temporanei il nome della simulazione verrà automaticamente impostato sulla base del “Nome del sito” assegnato in questa schermata.

MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

Cliccando sulla voce “Modello concettuale del sito” del menù “Setup” si accede alla schermata mostrata in Figura 7. Nella definizione del modello concettuale l’utente deve selezionare, per ciascuna matrice, le vie di migrazione e di esposizione attive nel sito.

The screenshot displays the 'Modello Concettuale del Sito' configuration window in Risk-net 3.0 Pro. The interface includes a sidebar on the left with sections for 'Setup', 'Input', 'Output', 'Risultati Dettagliati', and 'Opzioni Avanzate'. The main area is titled 'Modello Concettuale del Sito' and features a flowchart showing the relationship between 'Sorgente' (Source) and 'Recettori' (Receptors). The sources are categorized into 'Suolo Superficiale', 'Suolo Profondo', and 'Falda'. The pathways are defined by 'Contatto diretto', 'Volatilizzazione', 'Erosione Vento', and 'Dilavamento'. For each source, specific exposure routes are listed with checkboxes for 'On-Site' and 'Off-Site' selection. The 'On-Site' checkboxes are all checked, while 'Off-Site' checkboxes are unchecked. The 'Falda' source has routes for 'Inalazione Vapori Outdoor', 'Inalazione Vapori Indoor', and 'Contaminazione in Falda', with 'On-Site' checked and 'Off-Site' unchecked.

Figura 7. Definizione del modello concettuale.

In accordo con quanto previsto dalle linee guida APAT-ISPRA (2008), vengono

considerate in maniera distinta le seguenti sorgenti secondarie ¹: 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
	Contaminazione in falda	V	V

Per alcune vie di esposizione è possibile definire dei percorsi off-site (ovvero al di fuori del sito). Per quanto riguarda il percorso di lisciviazione e di contaminazione in falda, con POC viene indicato il punto di conformità. Pertanto se viene attivata la casella "POC = 0", 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 (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

⁽¹⁾ 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).

Soglia di Contaminazione). Nel caso di contaminazione in falda attivando la casella POC = 0, 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 e POC>0) è evidente che se vengono attivate entrambe, le CSR finali calcolate per la protezione della risorsa idrica saranno quelle stimate considerando POC=0. 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}	$VF_{wesp} \times DAF$
	Contaminazione in falda	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. 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

Impostazione della simulazione (Setup)

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 campagna. In più in questo caso nelle diverse schermate di output verranno mostrati i risultati relativi a tali monitoraggi.

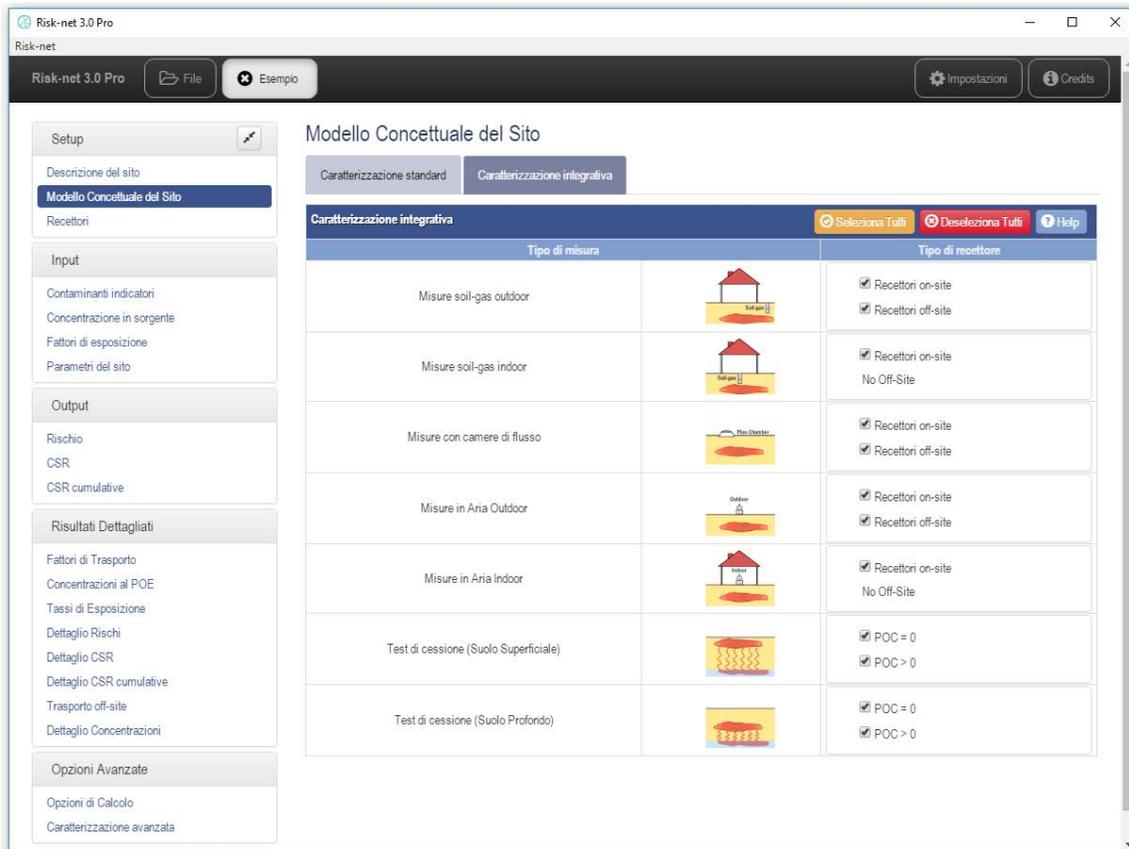


Figura 8. Caratterizzazione integrativa.

RECETTORI

Cliccando sulla voce "Recettori" del menù "Setup", si accede alla schermata mostrata in Figura 9.

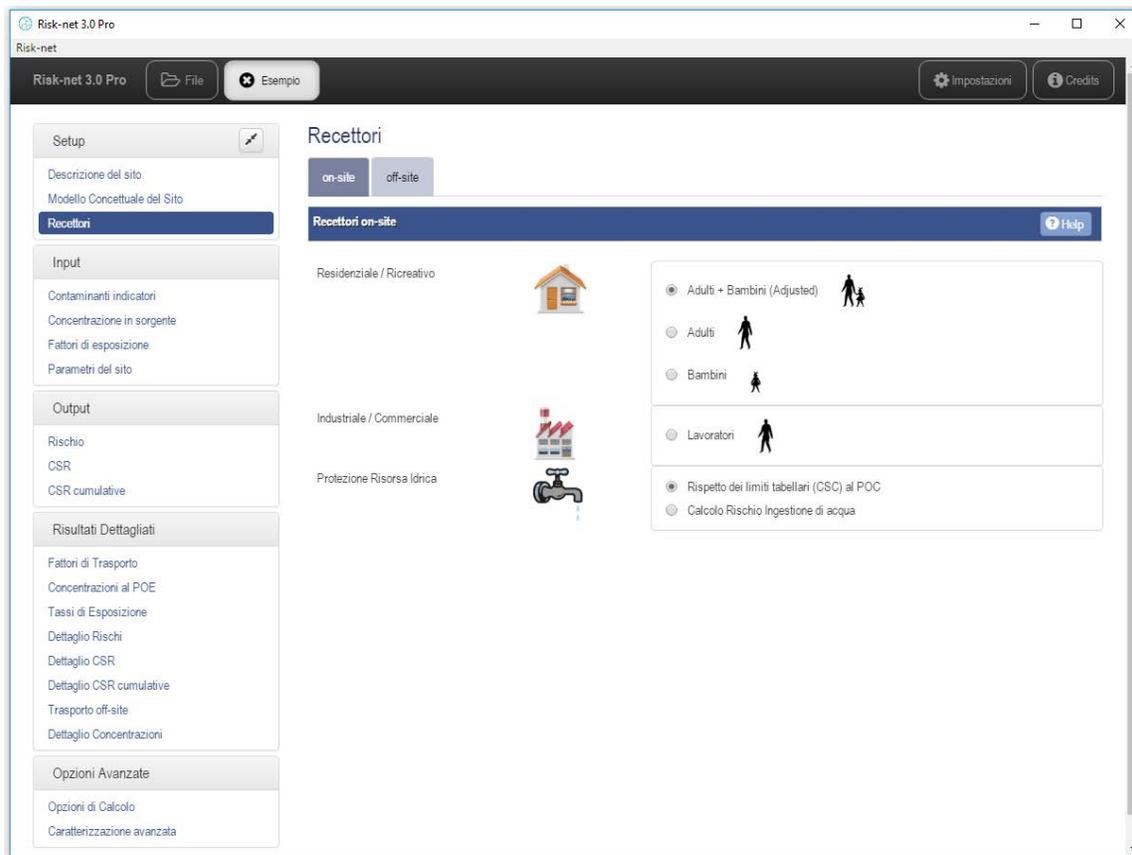


Figura 9. Selezione dello scenario di esposizione.

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

L'utente deve scegliere tra le seguenti opzioni:

- ✓ Adulto (Ambito Residenziale o Ricreativo²)
- ✓ Bambino (Ambito Residenziale o Ricreativo)
- ✓ Adjusted (Ambito Residenziale o Ricreativo): attivando questa opzione si considera per i composti cancerogeni una esposizione mediata tra 6 anni da bambino e 24 da adulto mentre per i composti non cancerogeni si assume in via cautelativa l'esposizione del bambino (per maggiori chiarimenti si rimanda al documento APAT-ISPRA);
- ✓ Lavoratore Adulto (Industriale o Commerciale)

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

Nel caso in cui sia attiva la lisciviazione o il trasporto in falda, l'utente deve selezionare se calcolare il rischio per la risorsa idrica³ (in conformità con quanto previsto dal D.Lgs. 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.

⁽³⁾ 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.

INPUT

Dal menù “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 10. 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.

The screenshot shows the 'Contaminanti indicatori' section of the Risk-net 3.0 Pro software. The interface is divided into several parts:

- Sidebar (Left):** Contains navigation options such as 'Setup', 'Input', 'Output', and 'Risultati Dettagliati'. The 'Input' section is expanded, showing 'Contaminanti indicatori' as the selected option.
- Search Bar:** A search field with the placeholder text 'Cerca un contaminante o una classe' and a 'Rimuovi tutti' button.
- Table:** A table listing contaminants with columns for 'Inserisci', 'Nome contaminante', and 'Numero C.A.S.'. The 'Arsenico' row is checked.
- Selected Contaminants (Right):** A list of contaminants that have been selected, including Arsenico, Benzene, Toluene, and Etilbenzene, each with a 'Rimuovi' button.

Inserisci	Nome contaminante	Numero C.A.S.
<input type="checkbox"/>	Alluminio	7429-90-5
<input type="checkbox"/>	Antimonio	7440-36-0
<input type="checkbox"/>	Argento	7440-22-4
<input checked="" type="checkbox"/>	Arsenico	7440-38-2
<input type="checkbox"/>	Berillio	7440-41-7
<input type="checkbox"/>	Boro	7440-42-8
<input type="checkbox"/>	Cadmio	7440-43-9
<input type="checkbox"/>	Cianuri	57-12-5
<input type="checkbox"/>	Cobalto	7440-48-4
<input type="checkbox"/>	Cromo totale	16065-83-1
<input type="checkbox"/>	Cromo VI	18540-29-9
<input type="checkbox"/>	Ferro	7439-89-6
<input type="checkbox"/>	Fluoruri	7782-41-4
<input type="checkbox"/>	Manganese	7439-96-5
<input type="checkbox"/>	Cloruro di mercurio	7487-94-7
<input type="checkbox"/>	Mercurio elementare	7439-97-6
<input type="checkbox"/>	Metilmercurio	22967-92-6
<input type="checkbox"/>	Nichel	7440-02-0

Figura 10. 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 11. 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 3.0 Pro software. The 'Banca Dati' tab is active, displaying a table of selected contaminants. The table columns are: Contaminante, Vol, Sol, H, Kd, Kd(pH), Koc, Koc(pH), Dair, Dwa1, and ρ. The rows listed are Arsenico, Benzene, Toluene, and Etilbenzene.

Contaminante	Vol	Sol	H	Kd	Kd(pH)	Koc	Koc(pH)	Dair	Dwa1	ρ
		mg/L	-	L/kg	L/kg	L/kg	L/kg	cm ² /s	cm ² /s	kg/L
Arsenico	PM				2.90e+1		-			
Benzene	VOC	1.79e+3	2.27e-1		-	1.47e+2	-	8.95e-2	1.03e-5	0.877
Toluene	VOC	5.26e+2	2.71e-1		-	2.34e+2	-	7.79e-2	9.20e-6	0.862
Etilbenzene	VOC	1.69e+2	3.22e-1		-	4.40e+2	-	6.85e-2	8.46e-6	0.863

Figura 11. Proprietà contaminanti.

Banca Dati. Cliccando sulla scheda “Banca Dati” si accede alla schermata mostrata in Figura 12. 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 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 13). 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

Input

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 in corso si decida di modificare alcuni parametri del database esterno è necessario ripetere la procedura di upload del database (utilizzando il pulsante 'Carica DB esterno').

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.

The screenshot shows the 'Banca dati' (Database) section of the Risk-net 3.0 Pro software. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Setup', 'Input', 'Output', and 'Risultati Dettagliati'. The main area displays 'Contaminanti indicatori' with a search bar and a table of chemical-physical parameters.

Contaminante	Classe	Vol	Sol		f(pH)	Kd	Koc	Dair	Dwat	p
			mg/L	H						
Alluminio	Inorganici	PM	-	-	-	1.50e+3	-	-	-	2.7
Antimonio	Inorganici	PM	-	-	-	4.50e+1	-	-	-	-
Argento	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-	10.5
Arsenico	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-	-
Berillio	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-	-
Boro	Inorganici	PM	-	-	-	3.00e+0	-	-	-	2.34
Cadmio	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-	-
Cianuri	Inorganici	VVC	-	5.44e-3	-	-	-	2.11e-1	2.46e-5	-
Cobalto	Inorganici	PM	-	-	-	4.50e+1	-	-	-	-
Cromo totale	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-	-
Cromo VI	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-	-
Ferro	Inorganici	PM	-	-	-	2.50e+1	-	-	-	7.87
Fluoruri	Inorganici	PM	4.22e+4	9.19e+2	-	1.50e+2	-	-	-	-
Manganese	Inorganici	PM	-	-	-	6.50e+1	-	-	-	7.3
Cloruro di mercurio	Inorganici	SVC	6.90e+4	2.90e-8	f(pH)	-	-	-	-	-
Mercurio elementare	Inorganici	SVC	6.00e-2	4.67e-1	f(pH)	-	-	3.07e-2	6.30e-6	-
Metilmercurio	Inorganici	PM	-	-	-	-	-	-	-	-
Nichel	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-	-
Nitriti	Inorganici	PM	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 12. Banca dati.

Input

Risk-net 3.0 Pro

Contaminanti indicatori

File DB caricato : Default Database - Modified

Carica DB default Carica DB esempio

Cerca un contaminante o una classe

Parametri chimico-fisici Parametri Tossicologici CSC

Contaminante	Classe	Vol	Sol		H	f(pH)	Kd	Koc	Dair	Dwat	p
			mg/L	-							
Contaminante A	Elimina	VOC	10	0,1			100	1e-2	1e-6	0.8	
Alluminio	Inorganici	PM	-	-		1.50e+3	-	-	-	2.7	
Argento	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	4.50e+1	-	-	-		
Argento	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-	10.5	
Arsenico	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-		
Berillio	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-		
Boro	Inorganici	PM	-	-		3.00e+0	-	-	-	2.34	
Cadmio	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-		
Cianuri	Inorganici	VVC	-	5.44e-3		-	-	2.11e-1	2.46e-5		
Cobalto	Inorganici	PM	-	-		4.50e+1	-	-	-		
Cromo totale	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-		
Cromo VI	Inorganici	PM	-	-	f(pH)	-	-	-	-		
Ferro	Inorganici	PM	-	-		2.50e+1	-	-	-	7.87	
Fluoruri	Inorganici	PM	4.22e+4	9.19e+2		1.50e+2	-	-	-		
Manganese	Inorganici	PM	-	-		6.50e+1	-	-	-	7.3	
Cloruro di mercurio	SVC	SVC	6.90e+4	2.90e-8	f(pH)	-	-	-	-		
Mercurio elementare	Inorganici	SVC	6.00e-2	4.67e-1	f(pH)	-	-	3.07e-2	6.30e-6		
Metilmercurio	Inorganici	PM	-	-		-	-	-	-		

Figura 13. Esempio di inserimento di un contaminante nella banca dati.

Si sottolinea inoltre che cambiando in corso la banca dati di riferimento, i contaminanti indicatori precedentemente inseriti, vengono sostituiti con quelli aventi lo stesso ID nella nuova banca dati.

CONCENTRAZIONE IN SORGENTE

Cliccando sulla voce "Contaminanti indicatori" del menù "Input" si accede alla schermata mostrata in Figura 14. 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

Input

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 deseleggerato (il check verde a sinistra del nome diventa una 'x' grigia come mostrato a titolo esemplificativo in Figura 14 per il Benzene 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	
	Selezionati	(mg/kg)	Selezionati	(mg/kg)	Selezionati	(mg/L) (µg/L)
Arsenico	✓	12	✓	31	✗	0
Benzene	✓	5	✗	14	✓	12
Toluene	✓	15	✗	0	✓	15
Etilbenzene	✓	25	✗	0	✓	0

Figura 14. 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

Input

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ o mg/m^3 . 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 vogliono 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 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 15.

The screenshot shows the 'Fattori di esposizione' (Exposure Factors) input screen in the Risk-net 3.0 Pro software. The interface includes a sidebar menu on the left with 'Input' selected, and a main table with columns for 'Ambito', 'Simbolo', 'UM', and 'On Site' (Residenziale, Industriale, Lavoratore) and 'Off Site' (Residenziale, Industriale, Lavoratore). The table lists various exposure factors with numerical input fields.

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

(a) In caso di intensa attività fisica, in ambienti residenziali outdoor si suggerisce l'utilizzo di un valore maggiormente conservativo, pari a 1,5 m³/ora per gli adulti, e di 1,0 m³/ora per i bambini.
 (b) Per l'ambito commerciale/industriale si suggerisce di utilizzare nel caso di dura attività fisica un valore pari a 2,5 m³/ora da utilizzare mentre, nel caso di attività

Figura 15. Parametri di Esposizione.

Input

La definizione dei parametri di esposizione descrive il modello di comportamento atteso per i diversi bersagli selezionati (Adulti e/o Bambini). 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 differenziano a seconda che il recettore sia Adulto (Ambito Residenziale o Ricreativo), Bambino (Ambito Residenziale o Ricreativo) o un Lavoratore (Adulto, Ambito Industriale).

Tabella 4. Valori di default implementati nel software (APAT-ISPRA, 2008).

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

a) In caso di intensa attività fisica, in ambienti residenziali outdoor il documento APAT-ISPRA (2008) suggerisce l'utilizzo di un valore maggiormente conservativo, pari a 1,5 m³/ora per gli adulti, e di 1,0 m³/ora per i bambini.

b) Per l'ambito commerciale/industriale il documento APAT-ISPRA (2008) suggerisce di utilizzare nel caso di dura attività fisica un valore pari a 2,5 m³/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 m³/ora.

c) Per l'ambito ricreativo il documento APAT-ISPRA (2008) suggerisce di utilizzare una frequenza giornaliera EF_{go} = 3 ore/giorno e un tasso di inalazione pari a B_o = 3.2 m³/ora per l'adulto e B_o = 1.9 m³/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). 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 in Tabella 4. Per una descrizione dettagliata dei diversi valori si rimanda al documento APAT-ISPRA (2008).

PARAMETRI DEL SITO

Cliccando sulla voce “Parametri del sito” del menù “Input” si accede alla schermata mostrata in Figura 16 in cui è necessario definire diversi parametri inerenti la geometria e le caratteristiche del sito.

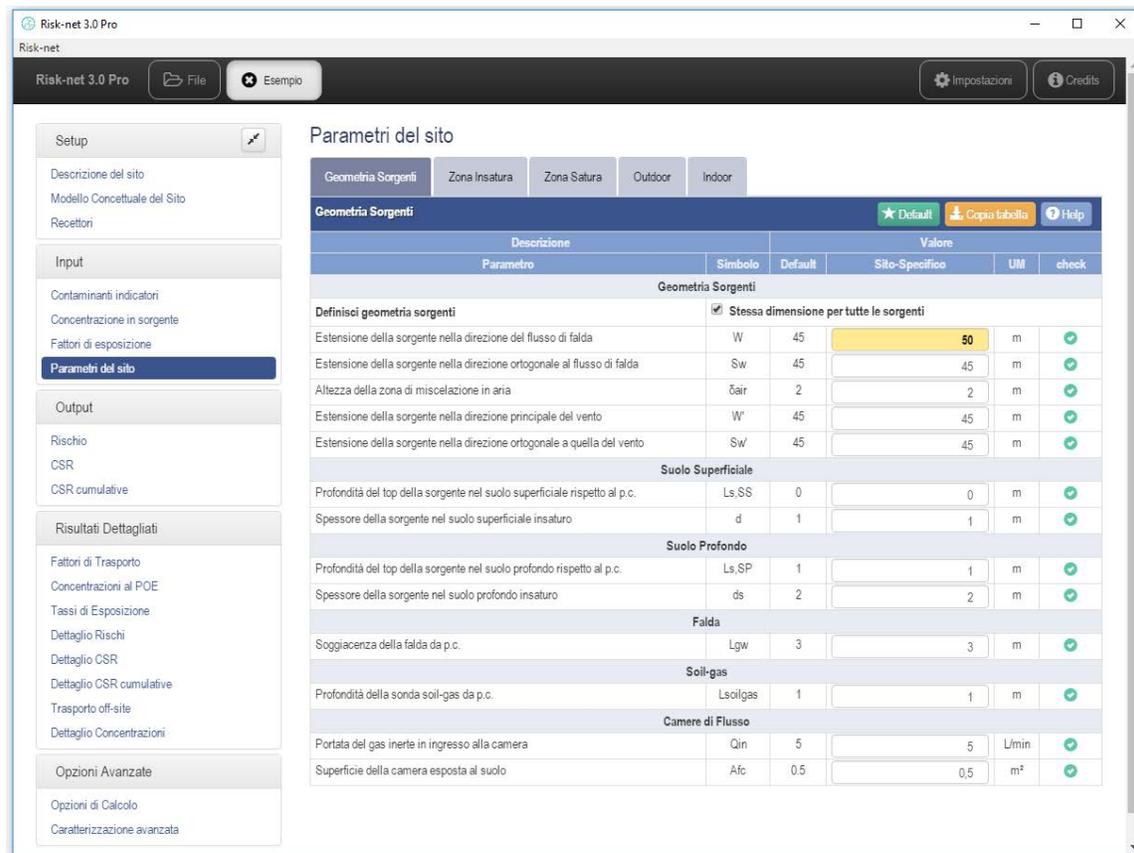


Figura 16. Caratteristiche del sito.

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' e 'Indoor (Off-site)'.

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 alla spunta al check box “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 APAT-ISPRA (2008) o definire dei dati sito-specifici selezionando dal menu a tendina la voce “Sito-Specifico”. In Tabella 5 sono riportati i dati implementati nel software relativi alle diverse tipologie di terreno.

Tabella 5: Proprietà del terreno in funzione della tessitura selezionata.

TESSITURA	K_{sat} cm/s	θ_r adim.	θ_e adim.	θ_a adim.	θ_w adim.	θ_{acap} adim.	θ_{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
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 APAT-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).

Dispersività 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 APAT-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 APAT-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 " Δp " superiore a zero ed inserire i parametri aggiuntivi richiesti.

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 17).

Parametri del sito

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

Descrizione	Simbolo	Valore			UM	check
		Default	Sito-Specifico			
Geometria Sorgenti						
Definisci geometria sorgenti <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	h _{air}	2	2	m	✓	
Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	W'	45	4	m	✗ < 0	
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	Sw'	45	45	m	✓	
Suolo Superficiale						
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	✓	
Suolo Profondo						
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	✓	
Falda						
Soggiacenza della falda da p.c.	Lgw	3	3	m	✓	
Soil-gas						
Profondità della sonda soil-gas da p.c.	Lsoilgas	1	1	m	✓	
Camere di Flusso						
Portata del gas inerte in ingresso alla camera	Qin	5	5	L/min	✓	
Superficie della camera esposta al suolo	Afc	0.5	0,5	m²	✓	

Figura 17. Controllo sugli errori di tipo concettuale.

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

Input

(colonna “check”). I parametri per i quali non viene effettuata tale verifica sono indicati nella colonna di controllo con “no check”.

OPZIONI DI CALCOLO

Nel software sono implementate, come impostazioni di base (default), le equazioni e i criteri di calcolo definiti nelle linee guida APAT-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 18). Tali opzioni sono suddivise nelle seguenti schede: "Volatilizzazione", "Lisciviazione", "Dispersione in falda", "Csat", "Esposizione" e "Limiti".

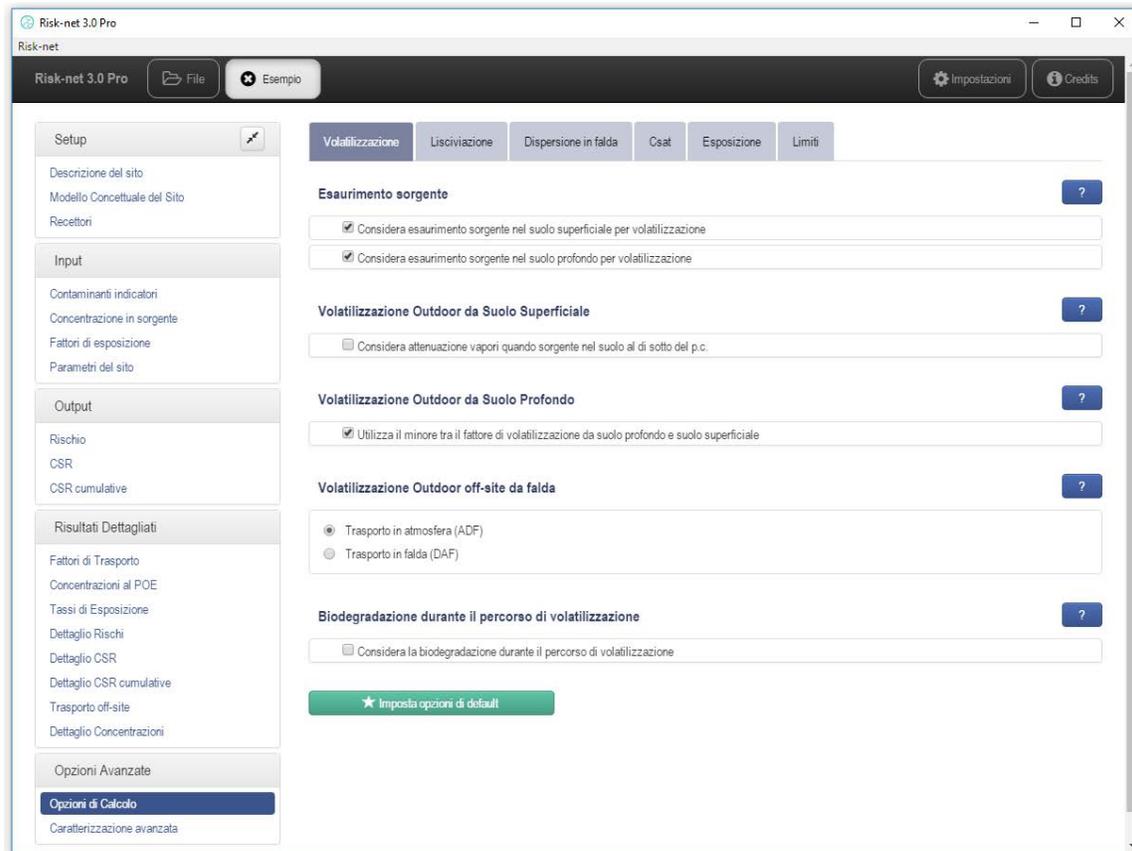


Figura 18. Opzioni di calcolo.

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 APAT-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 6). Per un maggior dettaglio riguardo i simboli e le equazioni utilizzate, si rimanda a quanto descritto in appendice.

Tabella 6. 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 opzione⁴ 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 APAT-ISPRA (2008), l'esaurimento della sorgente⁵. 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 6). 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

⁴ 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.

⁵ Per il calcolo dell'esaurimento della sorgente per lisciviazione è stata implementata l'equazione LF (4) descritta nell'Appendice B del documento APAT-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 opzione⁶ 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.

⁶ 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.

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.

CSAT

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

Concentrazione di saturazione (C_{sat}). In questa scheda è possibile attivare l'opzione "Considera C_{sat} per calcolo del Rischio e delle CSR". Se viene attivata questa opzione, nel caso di condizioni di saturazione ($CRS > C_{sat}$) 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 (C_{sat}). 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 casi⁷ in cui le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) calcolate risultano superiori alla Concentrazione di Saturazione (C_{sat}) 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 ">C_{sat}"). Se la CSR (ipotetica) calcolata risulta essere superiore alla concentrazione di saturazione (C_{sat}) 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 $HI=1$).

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.

⁷ Tale condizione si verifica spesso per i contaminanti poco solubili come gli Idrocarburi Policiclici Aromatici.

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 19. 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.

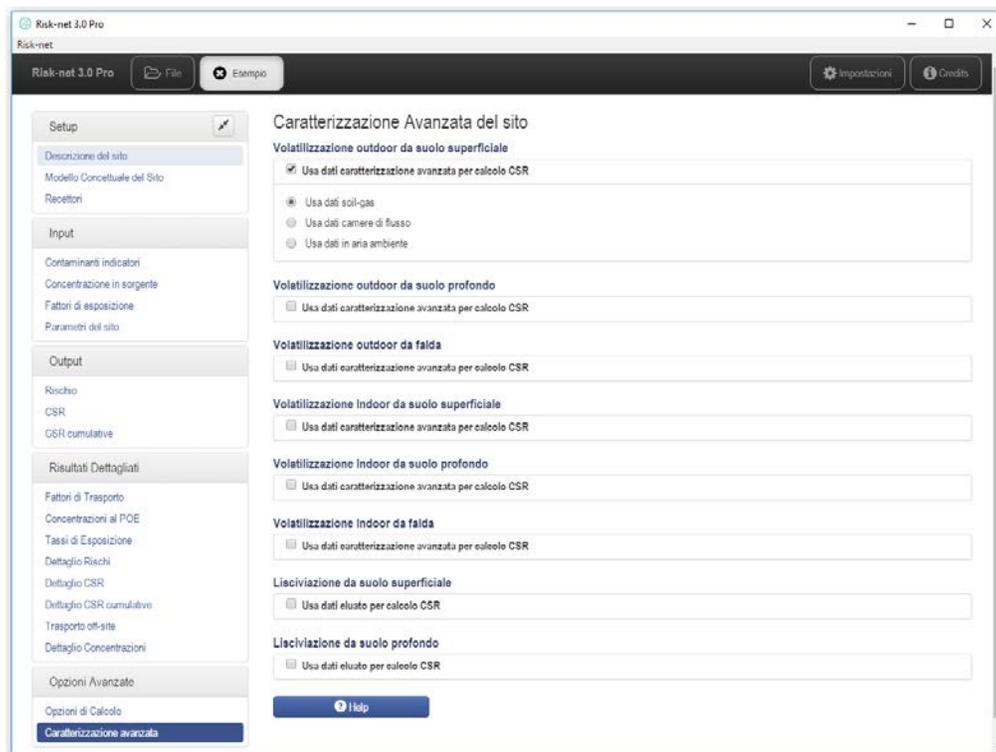


Figura 19. Opzioni di calcolo per la caratterizzazione avanzata del sito.

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 20. Da qui è possibile visualizzare il rischio e l'indice di pericolo calcolati per la matrice selezionata (che può essere selezionata dalla relativa scheda).

Contaminante	CRS	f	CRS*f	Csat	Cms	R (Ht)	HI (Ht)	Rgw (GW)
	mg/kg		mg/kg	mg/kg	mg/kg	-	-	-
Arsenico	1.20e+1		1.20e+1	-	-	3.08e-5	5.54e-1	3.18e+0
Benzene	5.00e+0		5.00e+0	2.80e+3	1.01e+4	8.38e-5	1.51e+0	2.46e+2
Toluene	1.50e+1		1.50e+1	1.28e+3	8.44e+3	-	1.81e-2	3.18e+1
Etilbenzene	2.50e+1		2.50e+1	7.72e+2	7.94e+3	3.80e-5	8.42e-2	8.43e+0
Cumulato Outdoor (On-site)						3.44e-5	5.95e-1	
Cumulato Indoor (On-site)						1.02e-4	1.51e+0	

Figura 20. 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)⁸ 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 7 vengono descritte le diverse parole chiave e simboli inerenti il calcolo del Rischio.

Tabella 7. 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 modificate le proprietà chimico-fisiche e/o tossicologiche, sono sottolineati e in corsivo

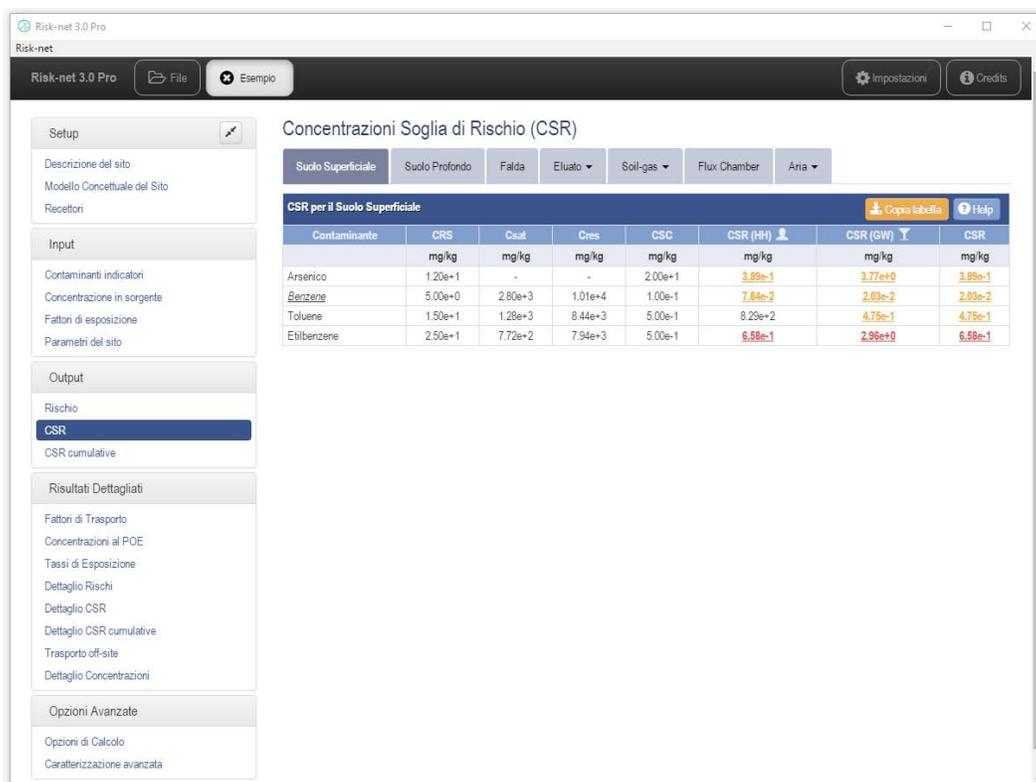
⁸ Per maggiori dettagli si rimanda a quanto descritto nel paragrafo "Recettori".

Output

(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 21 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 'Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR)' window in Risk-net 3.0 Pro. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Setup', 'Input', 'Output', and 'Risultati Dettagliati'. The main area displays a table of CSR values for different contaminants across various media (Soil Superficiale, Suolo Profondo, Falda, etc.).

Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR)							
Suolo Superficiale							
Contaminante	CSR	Csat	Cres	CSC	CSR (RH)	CSR (GW)	CSR
Arsenico	1.20e+1	-	-	2.00e+1	3.89e-1	3.77e+0	3.89e-1
Benzene	5.00e+0	2.80e+3	1.01e+4	1.00e-1	7.84e-2	2.03e-2	2.03e-2
Toluene	1.50e+1	1.28e+3	8.44e+3	5.00e-1	8.29e+2	4.75e-1	4.75e-1
Etilbenzene	2.50e+1	7.72e+2	7.94e+3	5.00e-1	6.58e-1	2.98e+0	6.58e-1

Figura 21. Calcolo degli Obiettivi di bonifica (CSR).

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 8 vengono descritte le diverse parole chiave e simboli inerenti il calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) individuali.

Tabella 8. 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.

tossicologiche, sono sottolineati e in corsivo. In Tabella 9 vengono descritte le diverse parole chiave e simboli inerenti il calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) cumulative.

Tabella 9. 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 23).

The screenshot displays the Risk-net 3.0 Pro interface. The main window is titled "CSR cumulative" and shows two tables for the "Suolo Superficiale" (Surface Soil) category. The left sidebar contains navigation options like "Setup", "Input", "Output", and "Risultati Dettagliati".

CSR cumulative per il Suolo Superficiale

Contaminante	CRS	CSRind	f	CSRcum	CSC	Csat	R (HH)	HI (HH)	Rgw (GW)
	mg/kg	mg/kg		mg/kg	mg/kg	mg/kg	-	-	-
Arsenico	1.20e+1	3.89e-1		3.89e-1	2.00e+1	-	1.00e-6	1.80e-2	1.03e-1
Benzene	5.00e+0	2.03e-2		2.03e-2	1.00e-1	2.80e+3	2.59e-7	6.14e-3	1.00e+0
Toluene	1.50e+1	4.75e-1		4.75e-1	5.00e-1	1.28e+3	-	5.73e-4	1.00e+0
Etilbenzene	2.50e+1	6.58e-1		6.58e-1	5.00e-1	7.72e+2	1.00e-6	2.22e-3	2.22e-1
Alifatici C5-C8	1.20e+1	8.27e+0		8.27e+0	1.00e+1	3.38e+2	-	1.00e+0	5.93e-2
Aromatici C9-C10	1.50e+1	5.56e+1		5.56e+1	1.00e+1	9.13e+2	-	1.00e+0	6.83e-1
Aromatici C11-C22	3.40e+1	2.27e+2		2.27e+2	1.00e+1	2.90e+2	-	2.62e-1	1.00e+0
Cumulato Outdoor (On-site)							1.06e-6	3.92e-1	
Cumulato Indoor (On-site)							1.26e-6	2.12e+0	
Rischio per la risorsa idrica per gli idrocarburi - MADEP							-	-	1.74e+0

Per le CSR<CSC impone le CSRcum pari alle CSC ed escludi dalla verifica del rischio cumulato

CSR Idrocarburi (MADEP) per il Suolo Superficiale

Contaminante	CRS	Frazione			Csat	CSR (HH)	CSR/fr (HH)			CSR (GW)			CSR/fr (GW)		
		Inserisci frazioni	C<12	C>12			TOT	C<12	C>12	TOT	C<12	C>12	TOT		
	mg/kg	-	-	-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
Alifatici C5-C8	1.20e+1	0.20	-	0.20	3.38e+2	8.27e+0	4.20e+1	-	4.20e+1	1.39e+2	7.09e+2	-	-	7.09e+2	
Aromatici C9-C10	1.50e+1	0.25	-	0.25	9.13e+2	5.56e+1	2.26e+2	-	2.26e+2	8.14e+1	3.31e+2	-	-	3.31e+2	
Aromatici C11-C22	3.40e+1	0.56	1.00	0.56	2.90e+2	1.53e+3	2.75e+3	1.53e+3	2.75e+3	2.27e+2	4.08e+2	2.27e+2	2.27e+2	4.08e+2	
Frazione Critica						CSR (HH)	4.20e+1	1.53e+3	4.20e+1	CSR (GW)	3.31e+2	2.27e+2	3.31e+2		

Figura 23. 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 APAT-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	Dss,eff	Dcrack,eff	LF	VFss	VFssesp	PEF	DAF,ss	ADF,ss
	cm ² /s	cm ² /s	(mg/L)/(mg/kg)	(mg/m ³)/(mg/kg)	(mg/m ³)/(mg/kg)	(mg/m ³)/(mg/kg)	(mg/L)/(mg/L)	(mg/m ³)/(mg/m ³)
Arsenico	-	-	2.65e-3	-	-	6.90e-12	1.62e+0	-
<i>Benzene</i>	7.10e-3	6.98e-3	4.93e-2	1.80e-5	2.41e-3	6.90e-12	1.62e+0	-
Toluene	6.17e-3	6.07e-3	3.16e-2	1.80e-5	1.61e-3	6.90e-12	1.62e+0	-
Etilbenzene	5.44e-3	5.35e-3	1.69e-2	1.80e-5	8.97e-4	6.90e-12	1.62e+0	-

Figura 24. 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.

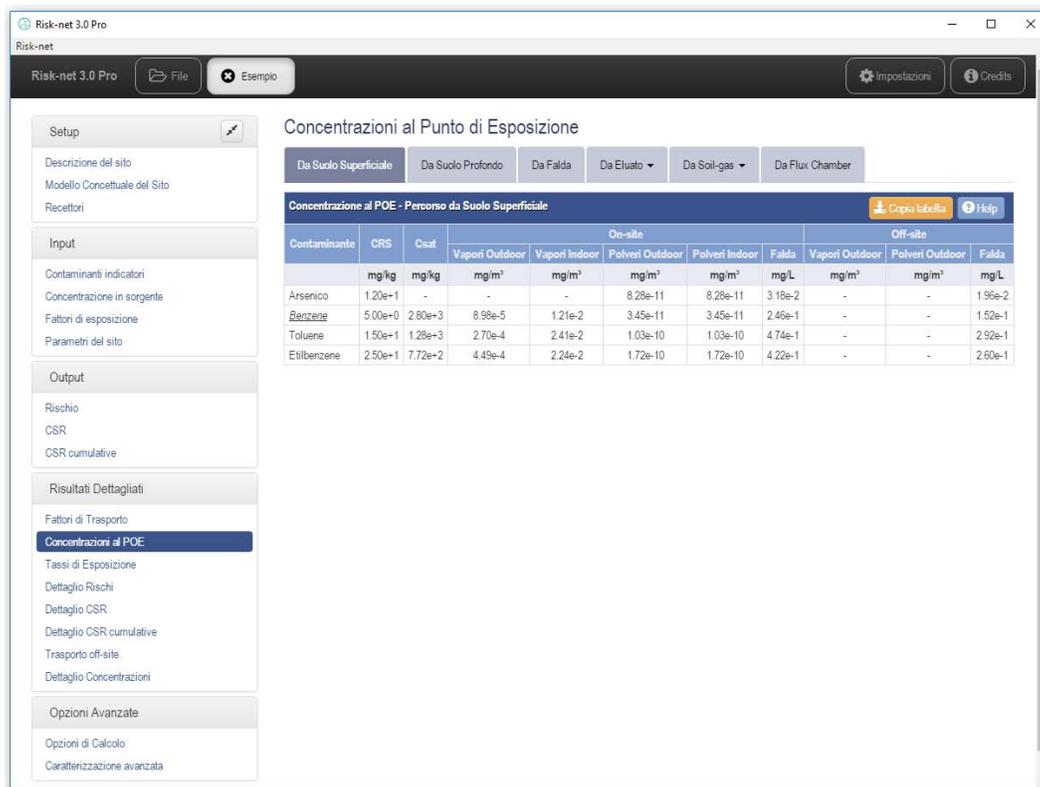


Figura 25. Concentrazioni al punto di esposizione.

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

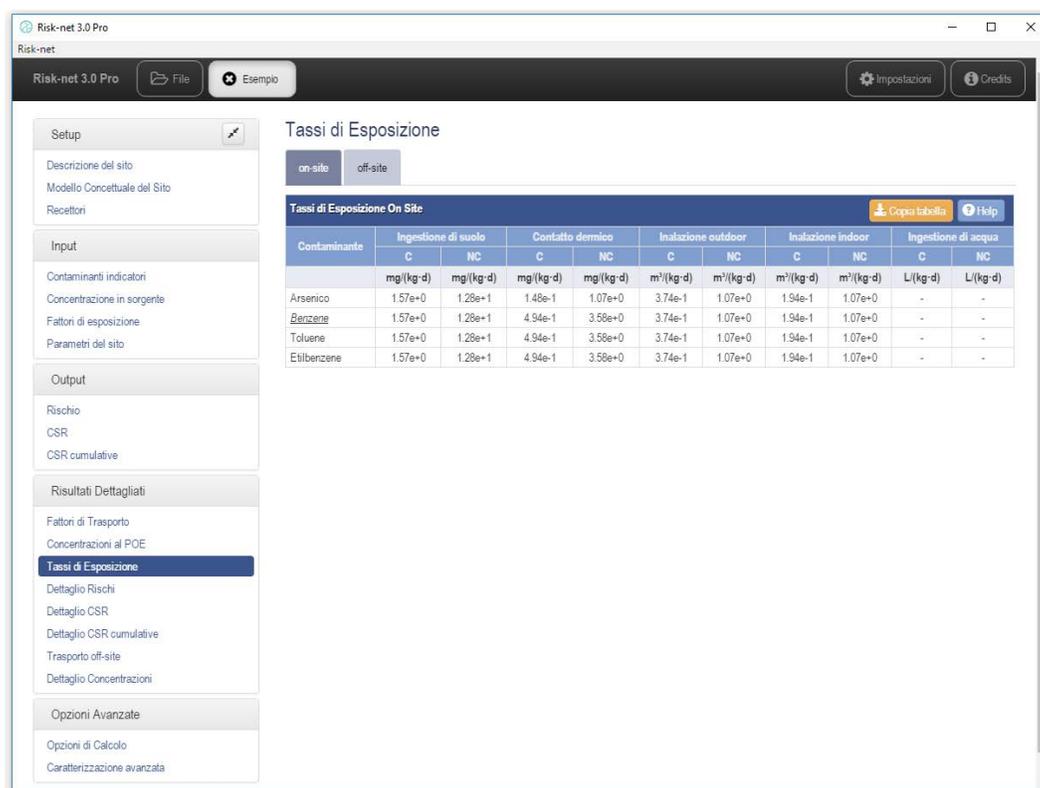


Figura 26. Tassi di esposizione.

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

Dettaglio Rischi

Suolo Superficiale Suolo Profondo Falda Eluato Soil-gas Flux Chamber Aria

Dettaglio Rischi - Suolo Superficiale

Contaminante	CRS	f	CRS/f	Csat	On-Site		On-Site		On-Site		On-Site		On-Site		Vapori
					Ingestione di suolo		Contatto Dermico		Vapori Outdoor		Polveri Outdoor		Cumulato outdoor		
					R	HI	R	HI	R	HI	R	HI	R	HI	
Arsenico	1.20e+1		1.20e+1	-	2.82e-5	5.11e-1	2.67e-6	4.30e-2	-	4.67e-10	2.07e-5	3.08e-5	5.54e-1	-	
<i>Benzene</i>	5.00e+0		5.00e+0	2.80e+3	4.31e-7	1.60e-2	1.36e-7	4.47e-3	9.17e-7	1.13e-2	3.52e-13	4.32e-9	1.48e-6	3.17e-2	5.38e-5
Toluene	1.50e+1		1.50e+1	1.28e+3	-	2.40e-3	-	6.71e-4	-	2.02e-4	-	7.77e-11	-	3.27e-3	
Etilbenzene	2.50e+1		2.50e+1	7.72e+2	4.31e-7	3.20e-3	1.36e-7	8.95e-4	1.47e-6	1.69e-3	5.64e-13	6.48e-10	2.04e-6	5.78e-3	3.80e-5
Rischio Cumulato					2.90e-5	5.33e-1	2.94e-6	4.90e-2	2.39e-6	1.31e-2	4.68e-10	2.07e-5	3.44e-5	5.95e-1	1.02e-4

Figura 27. 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). 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.

Risultati Dettagliati

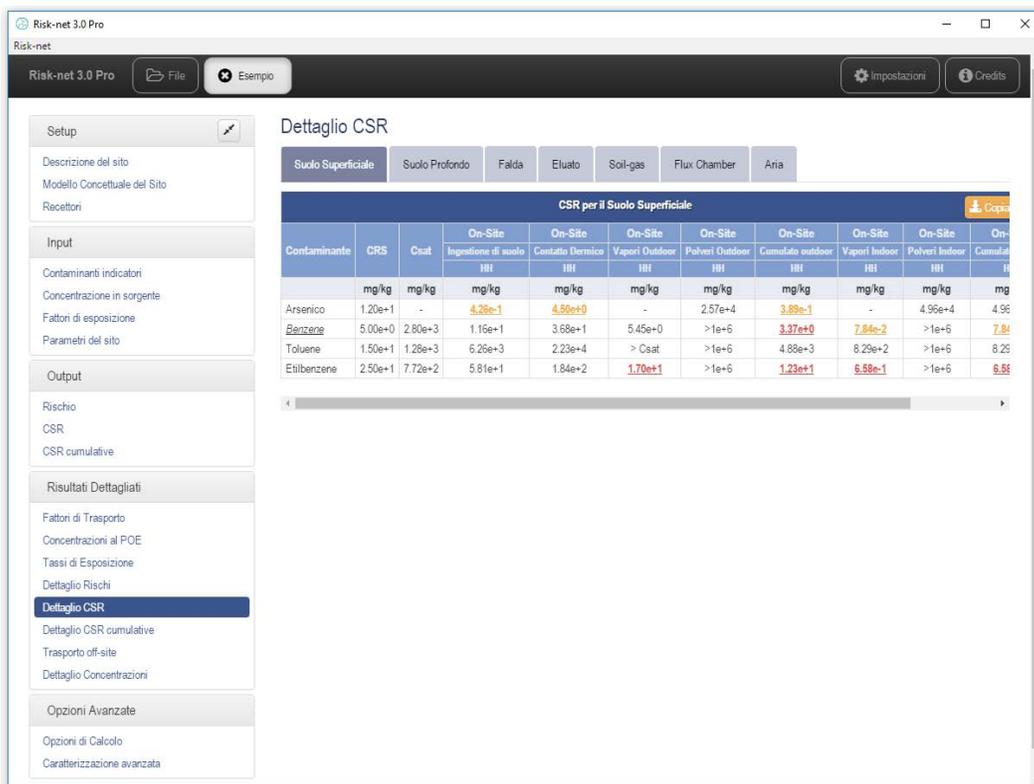


Figura 28. Dettaglio CSR.

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

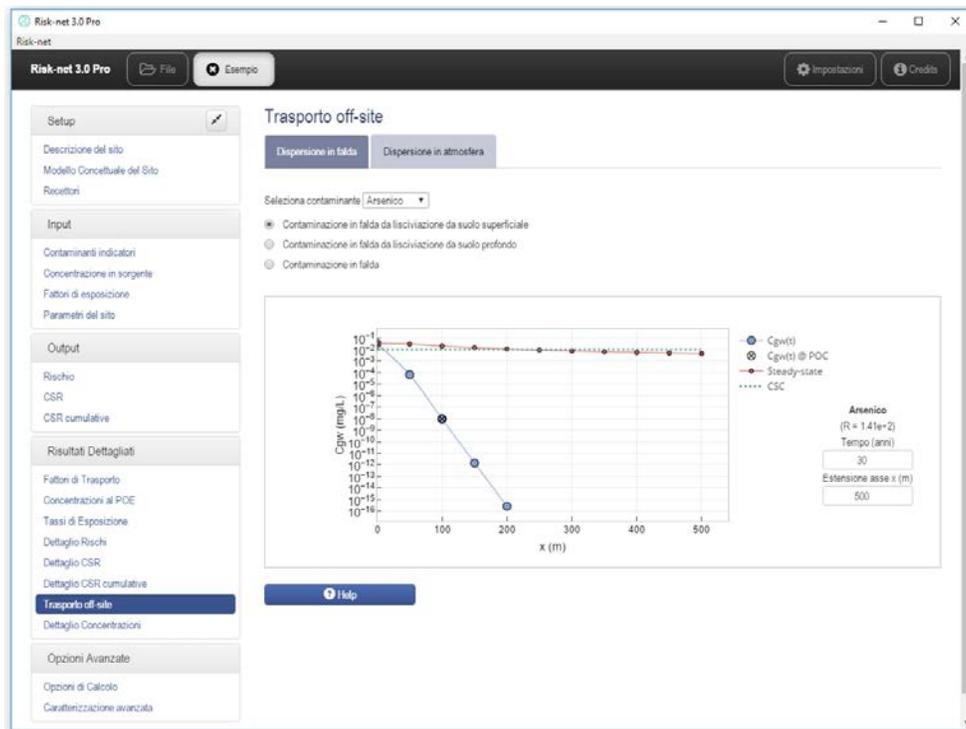


Figura 29. Trasporto Off-site (Falda).

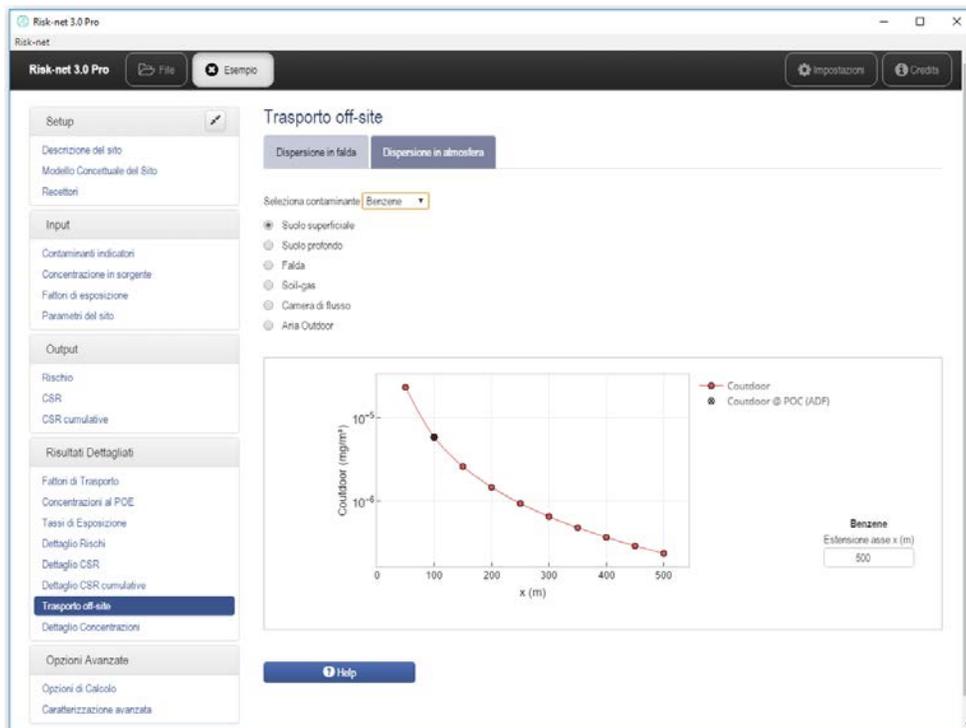


Figura 30. Trasporto Off-site (Atmosfera).

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.

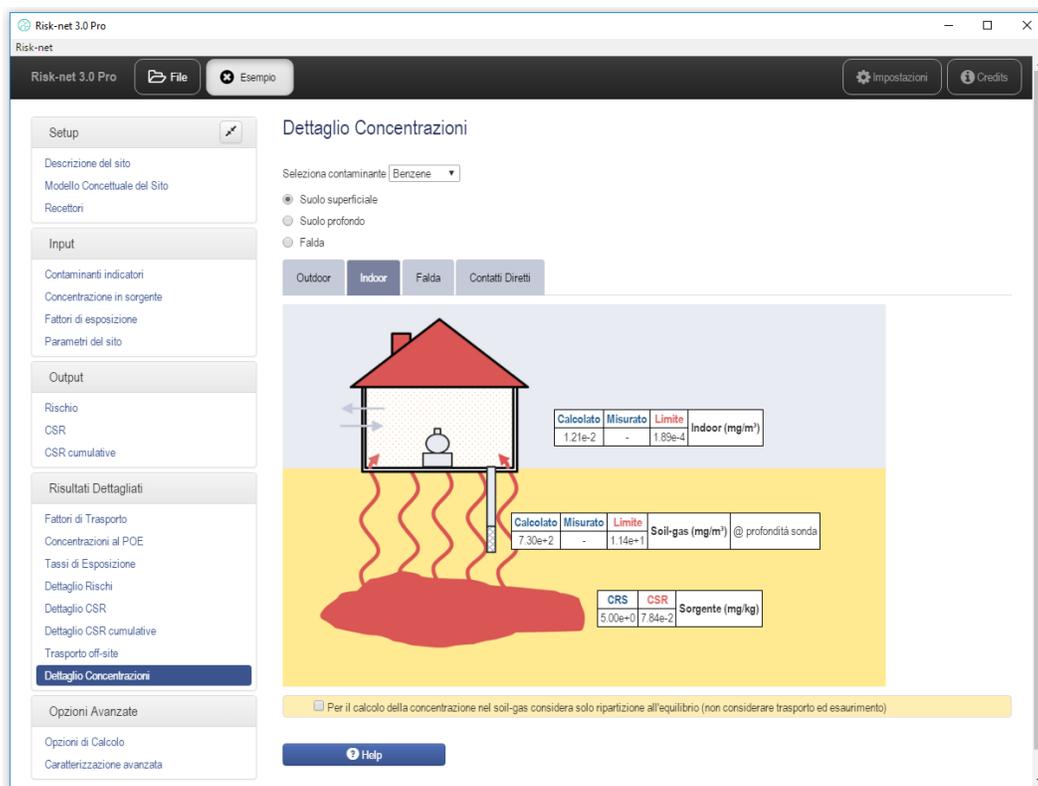


Figura 31. Dettaglio concentrazioni.

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

- ✓ MATTM (2014, con errata corrige 2015), Linee guida per l'applicazione dell'analisi di rischio sito-specifica.
- ✓ APAT-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.

Normative

- ✓ 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.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 ²
ABS	Fattore di assorbimento dermico	-
ADF	Fattore di dispersione atmosferica	-
$ADAF$	Fattore di aggiustamento dei parametri tossicologici	-
AF	Fattore di aderenza dermica	(mg/(cm ² giorno))
AT	Tempo medio di esposizione	anni
B_i	Inalazione indoor	m ³ /ora
B_o	Inalazione outdoor	m ³ /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 ³
$C_{outdoor}$	Concentrazione al punto di esposizione - ambiente outdoor	mg/m ³
CRS	Concetrzione Rappresentativa alla sorgente	mg/kg o mg/L
$CRS_{soil-gas}$	Concetrzione Rappresentativa alla sorgente nel soil-gas	mg/m ³
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 ² /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 ² /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 ² /s
D_w	Coefficiente di diffusione molecolare in acqua	cm ² /s
D_w^{eff}	Coefficiente di diffusione globale dalla falda	cm ² /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 ³ /kg/giorno
EM_{InaO}	Fattore di inalazione outdoor	m ³ /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 ²
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 ² /s
PEF	Fattore di emissione di particolato outdoor	
PEF_{in}	Fattore di emissione di particolato indoor	(mg/m ³)/(mg/kg)
POC	Distanza punto di conformità	cm
Q_s	Flusso di vapore entrante nell'edificio	cm ³ /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
S	Solubilità	mg/L

Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
SA	Superficie di pelle esposta	cm^2
SF	Parametro tossicologico sost. Cancerogene	$[mg/kg/giorno]^{-1}$
SF_{Ina}	Slope factor - inalazione	$[mg/kg/giorno]^{-1}$
SF_{Ing}	Slope factor - ingestione	$[mg/kg/giorno]^{-1}$
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	$(mg/m^3)/(mg/kg)$
VF_{seesp}	Fattore di volatilizzazione indoor da suolo profondo	$(mg/m^3)/(mg/kg)$
VF_{ss}	Fattore di volatilizzazione outdoor da suolo superficiale	$(mg/m^3)/(mg/kg)$
$VF_{ss,esp}$	Fattore di volatilizzazione indoor da suolo superficiale	$(mg/m^3)/(mg/kg)$
VF_{wamb}	Fattore di volatilizzazione outdoor dalla falda	$(mg/m^3)/(mg/L)$
VF_{wesp}	Fattore di volatilizzazione indoor dalla falda	$(mg/m^3)/(mg/L)$
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
α_{samb}	Fattore di volatilizzazione outdoor da soil-gas suolo profondo	(mg/m ³)/(mg/m ³)
α_{sesp}	Fattore di volatilizzazione indoor da soil-gas suolo profondo	(mg/m ³)/(mg/m ³)
$\alpha_{ss,esp}$	Fattore di volatilizzazione indoor da soil-gas suolo superficiale	(mg/m ³)/(mg/m ³)
α_{wamb}	Fattore di volatilizzazione outdoor da soil-gas falda	(mg/m ³)/(mg/m ³)
α_{wesp}	Fattore di volatilizzazione indoor da soil-gas falda	(mg/m ³)/(mg/m ³)
α_{ss}	Fattore di volatilizzazione outdoor da soil-gas suolo superficiale	(mg/m ³)/(mg/m ³)
α_x	Dispersività longitudinale	cm
α_y	Dispersività trasversale	cm
α_z	Dispersività verticale	cm
β	Fattore di correlazione empirico tra sorgente e soil-gas	
δ_{air}	Altezza della zona di miscelazione in aria	cm
δ_{gw}	Spessore della zona di miscelazione in falda	cm
Δp	Differenza di pressione tra indoor e outdoor	g/cm ² /s
η	Frazione areale di fratture indoor	-
$\eta_{outdoor}$	Frazione areale di fratture outdoor	-
θ_a	Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura	-
θ_{acap}	Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	-
θ_{acrack}	Contenuto volumetrico di aria nelle fondazioni	-
θ_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	-
θ_w	Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura	-
θ_{wcap}	Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare	-
θ_{wcrack}	Contenuto volumetrico di acqua nelle fondazioni	-

Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
λ	Costante di biodegradazione del primo ordine	1/s
μ_{air}	Viscosità del vapore	g/cm/s
ρ_o	Densità del contaminante	g/cm ³
ρ_s	Densità del suolo	g/cm ³
σ_y	Coefficiente di dispersione trasversale in aria	cm
σ_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 e 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 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:

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

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

Nelle tabelle riportate in queste 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 32, Figura 33 e Figura 34 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.

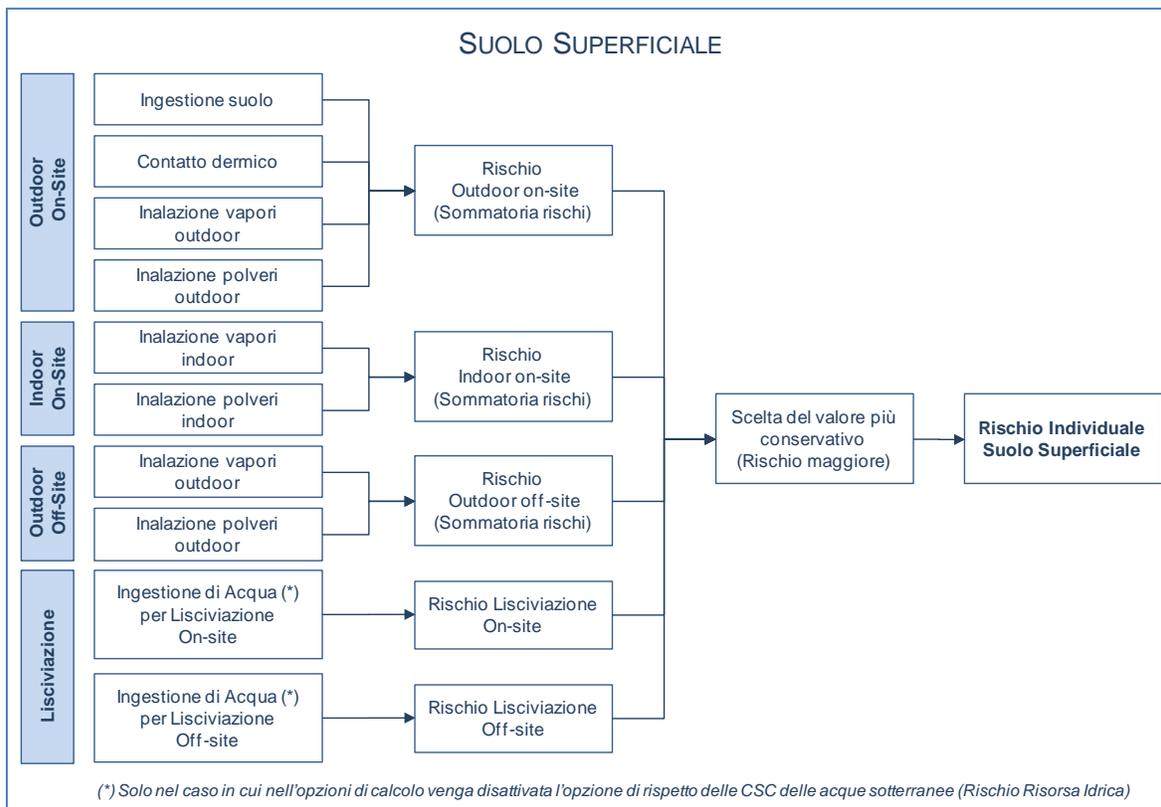


Figura 32. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo superficiale.

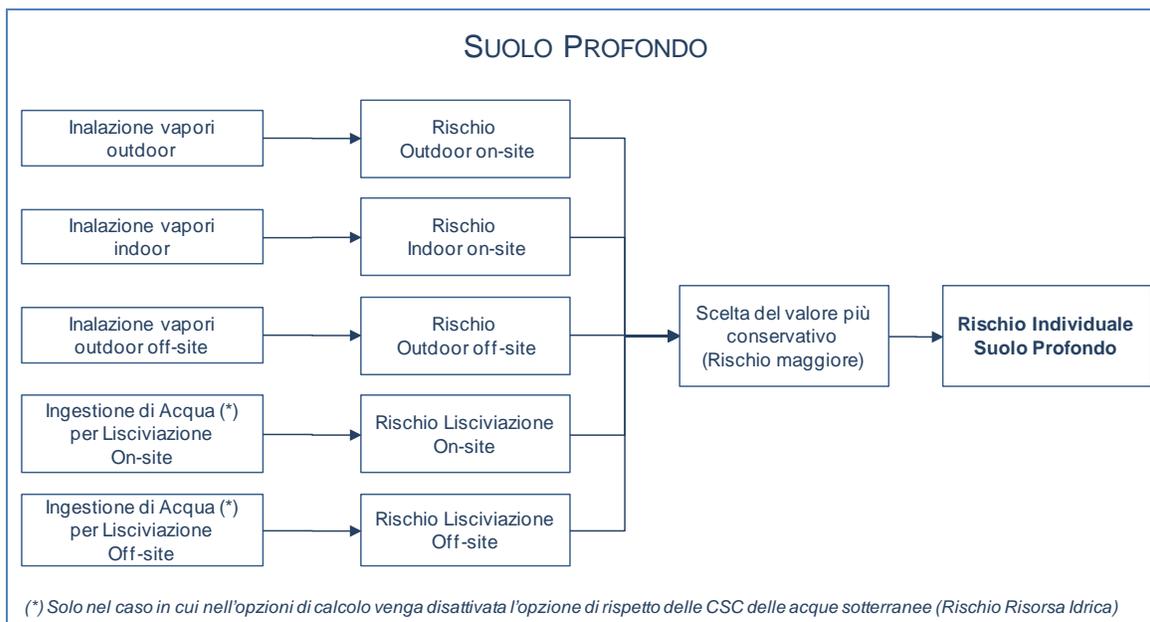


Figura 33. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo profondo.

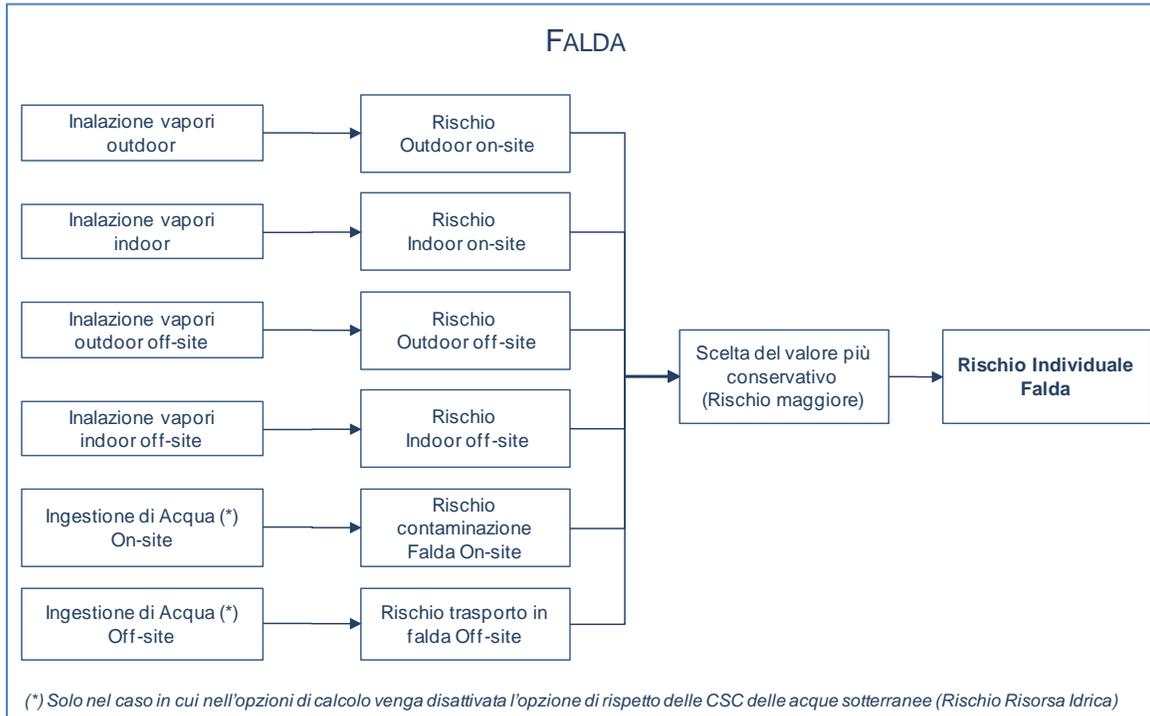


Figura 34. Criteri di cumulo dei rischi per la falda.

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 APAT-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.

Tabella 10. Suolo Superficiale: Rischio e Indice di Pericolo	
<p>Ingestione suolo (no off-site)</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_{Ing} = Slope factor per ingestione RfD_{Ing} = Reference dose ingestione EM_{IngS} = Fattore di ingestione di suolo</p>
<p>Contatto dermico (no off-site)</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_{Ing} = Slope factor per ingestione RfD_{Ing} = Reference dose ingestione EM_{ConD} = Fattore di contatto dermico</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{ss} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</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_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{ss} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione particolato outdoor</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor PEF = Particolato outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Cumulativo Outdoor</p> $R_{SS.outdoor} = R_{SS.IngS} + R_{SS.ConD} + R_{SS.InaO} + R_{SS.InaOP}$ $HI_{SS.outdoor} = HI_{SS.IngS} + HI_{SS.ConD} + HI_{SS.InaO} + HI_{SS.InaOP}$	

Tabella 10. Suolo Superficiale: Rischio e Indice di Pericolo	
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor VF_{ssesp} = Volatilizzazione indoor</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</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_{Inal} = Fattore di inalazione indoor VF_{ssesp} = Volatilizzazione indoor</p>
<p>Inalazione particolato indoor (no off-site)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor PEF_{in} = Particolato indoor</p>
<p>Cumulativo Indoor</p> $R_{SS.Indoor} = R_{SS.Inal} + R_{SS.InalP}$ $HI_{SS.Indoor} = HI_{SS.Inal} + HI_{SS.InalP}$	
<p>Ingestione di acqua per lisciviazione</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_{Ing} = Slope factor per ingestione RfD_{Ing} = Reference dose ingestione EM_{IngW} = Fattore di ingestione acqua LF_{ss} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Rischio e Indice di Pericolo Suolo superficiale</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 11. Suolo Profondo: Rischio e Indice di Pericolo	
<p>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{samb} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</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_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{samb} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor VF_{seps} = Volatilizzazione indoor</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</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_{Inal} = Fattore di inalazione indoor VF_{seps} = Volatilizzazione indoor</p>
<p>Ingestione di acqua per lisciviazione</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_{Ing} = Slope factor per ingestione RfD_{Ing} = Reference dose ingestione EM_{IngW} = Fattore di ingestione acqua LF_{sp} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Rischio e Indice di Pericolo Suolo Profondo</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

Tabella 12. Falda: Rischio e Indice di Pericolo	
<p>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{wamb} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</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_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{wamb} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (dosi di riferimento)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor VF_{wesp} = Volatilizzazione indoor DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (concentrazioni di riferimento)</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_{Inal} = Fattore di inalazione indoor VF_{wesp} = Volatilizzazione indoor DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Ingestione di acqua</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_{Ing} = Slope factor per ingestione RfD_{Ing} = Reference dose ingestione EM_{IngW} = Fattore di ingestione acqua DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Rischio e Indice di Pericolo Falda</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

Tabella 13. Rischio Risorsa Idrica	
<p>Lisciviazione da suolo superficiale</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_{falda} = limite normativo per le acque sotterranee LF_{ss} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Lisciviazione da suolo profondo</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_{falda} = limite normativo per le acque sotterranee LF_{sp} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Contaminazione in falda</p> $R_{GW.D} = \frac{CRS}{DAF \cdot CSC_{Falda} \cdot 10^{-3}} \text{ mg}/\mu\text{g}$	<p>CRS = Concentrazione in sorgente CSC_{falda} = 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 14. Misure Soil-gas: Rischio e Indice di Pericolo	
<p>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor α_{samb} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</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_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor α_{samb} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor α_{sest} = Volatilizzazione indoor</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</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_{Inal} = Fattore di inalazione indoor α_{sest} = Volatilizzazione indoor</p>
<p>Rischio e Indice di Pericolo Suolo Profondo</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 15. Camere di flusso: Rischio e Indice di Pericolo	
<p>Inalazione di vapori outdoor (input concentrazione) (dosi di riferimento)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor α_{FC} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (input concentrazione) (concentrazioni di riferimento)</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_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor α_{FC} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (input flusso) (dosi di riferimento)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor $\alpha_{FC(flux)}$ = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (input flusso) (concentrazioni di riferimento)</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_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor $\alpha_{FC(flux)}$ = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>

Per i recettori On-site ADF=1

Tabella 16. Misure in Aria: Rischio e Indice di Pericolo	
<p>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</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_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</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_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</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_{Inal} = Fattore di inalazione indoor</p>
<p>Rischio e Indice di Pericolo Suolo Profondo</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 17. Eluato suolo superficiale: Rischio e Indice di Pericolo	
<p>Ingestione di acqua</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_{ng} = Slope factor per ingestione RfD_{Ing} = Reference dose ingestione EM_{IngW} = Fattore di ingestione acqua α_{LFSS} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Lisciviazione da suolo superficiale</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_{falda} = limite normativo per le acque sotterranee α_{LFSS} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>

Per i recettori On-site DAF=1

Tabella 18. Eluato suolo profondo: Rischio e Indice di Pericolo	
<p>Ingestione di acqua</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_{ng} = Slope factor per ingestione RfD_{Ing} = Reference dose ingestione EM_{IngW} = Fattore di ingestione acqua α_{LFsp} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Lisciviazione da suolo superficiale</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_{falda} = limite normativo per le acque sotterranee α_{LFsp} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>

Per i recettori On-site DAF=1

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 = 10⁻⁶)

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_{poe}: 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 35, Figura 36 e Figura 37 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.

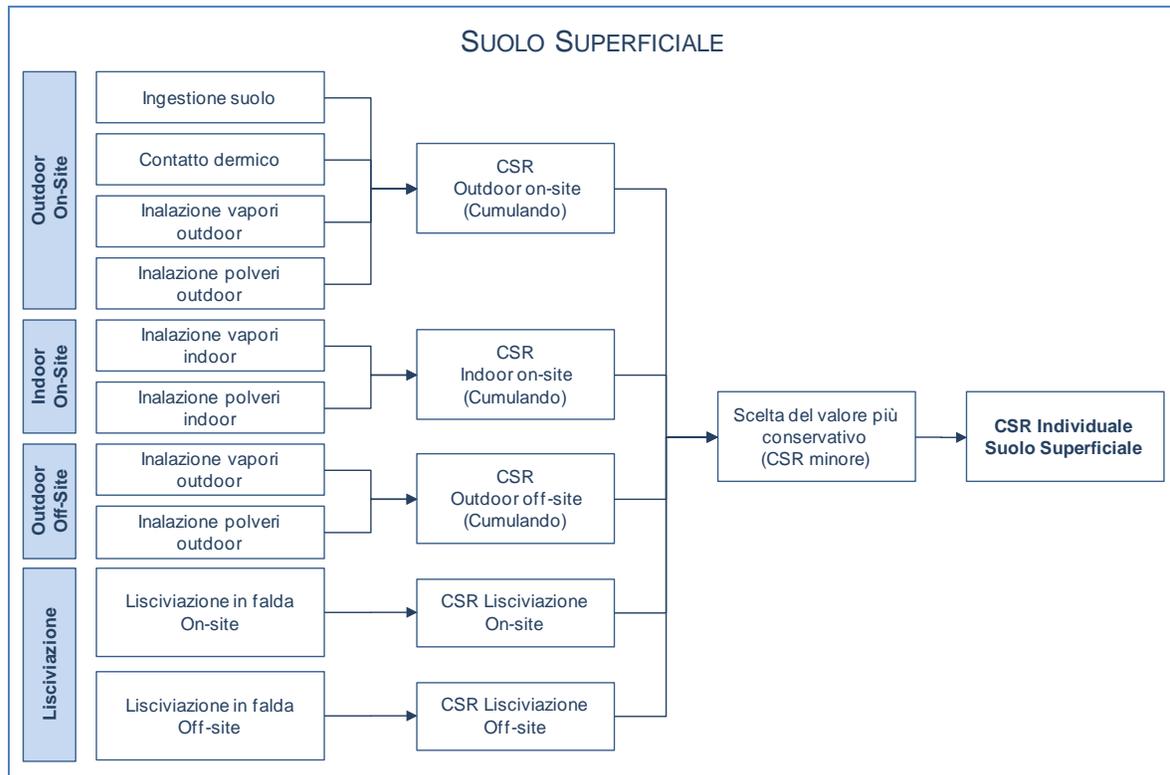


Figura 35. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo superficiale.

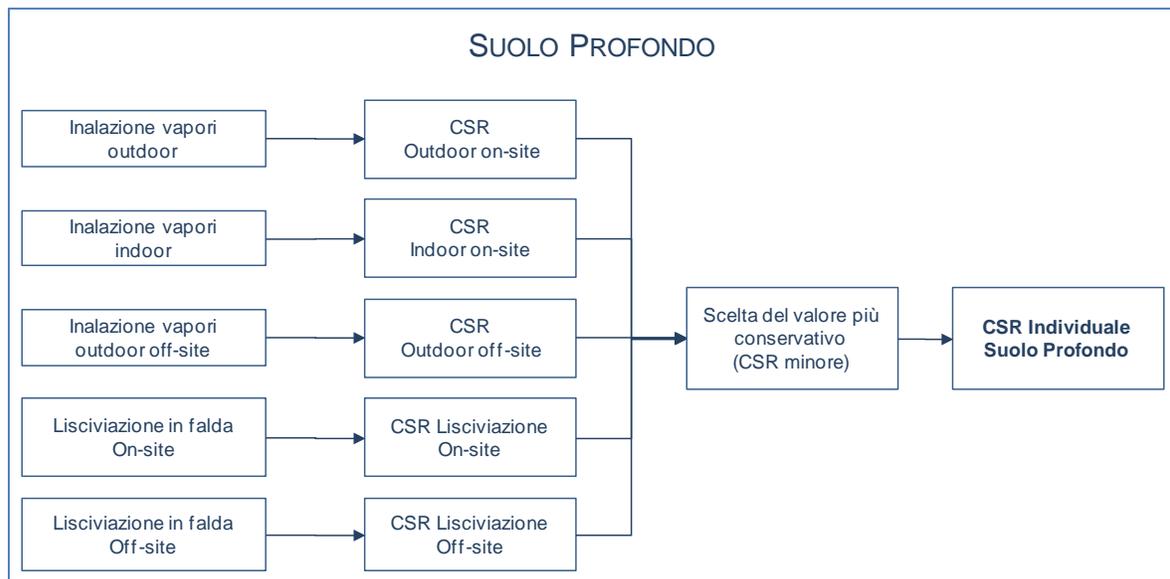


Figura 36. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo profondo.

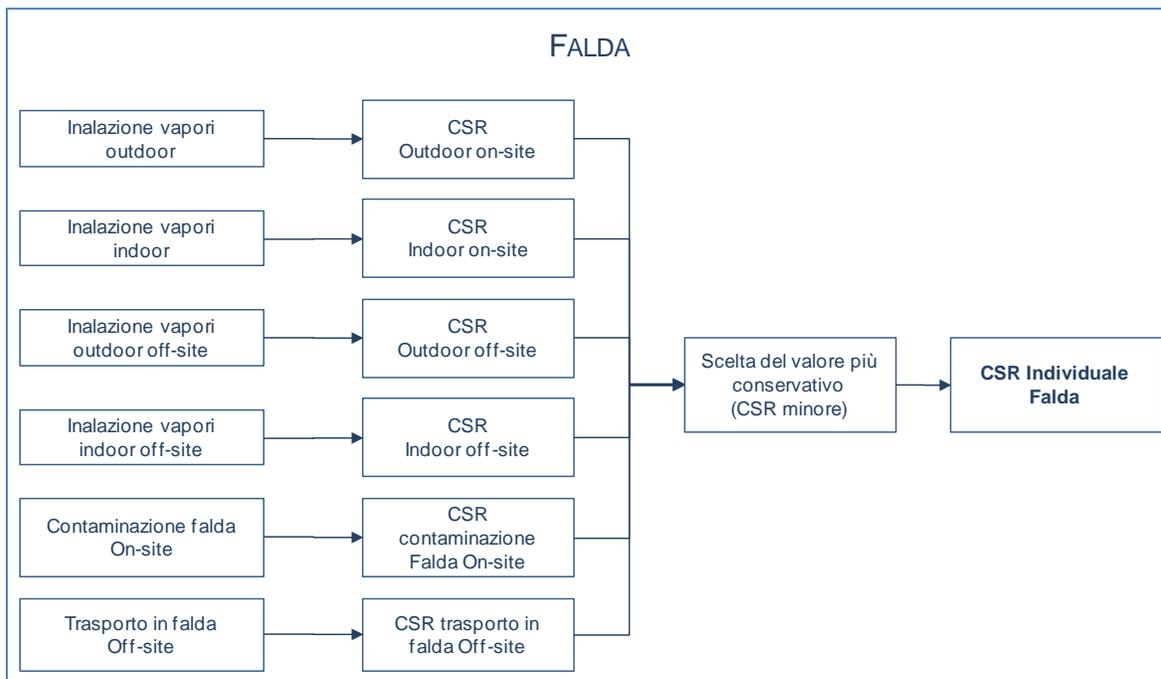


Figura 37. Criteri di cumulo delle CSR per la falda.

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.

Tabella 19. Suolo Superficiale: CSR	
<p>Ingestione suolo (no off-site)</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile SF_{Ing} = Slope factor per ingestione RfD_{Ing} = Reference dose ingestione EM_{IngS} = Fattore di ingestione di suolo</p>
<p>Contatto dermico (no off-site)</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile EM_{ConD} = Fattore di contatto dermico</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{ss} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{ss} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione particolato outdoor</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor PEF = Particolato outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>

Tabella 19. Suolo Superficiale: CSR	
<p>Cumulativo Outdoor</p> $CSR_{SS.outdoor} = \begin{cases} \frac{1}{\frac{1}{CSR_{SS.IngS}} + \frac{1}{CSR_{SS.ConD}} + \frac{1}{CSR_{SS.InaO}} + \frac{1}{CSR_{SS.InaOP}}} & (\text{se } CSR_{InaO} \leq C_{sat}) \\ \frac{TR - R_{max,InaO}}{\frac{TR}{CSR_{SS.IngS}} + \frac{TR}{CSR_{SS.ConD}} + \frac{TR}{CSR_{SS.InaOP}}} & (\text{se } CSR_{InaO} > C_{sat}) \end{cases}$ <p>$R_{max,InaO} = (C_{sat} / CSR_{InaO}) \cdot TR \quad (\text{se } CSR_{InaO} > C_{sat})$</p>	
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</p> $CSR_{SS.Inal} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{Inal} \cdot VF_{ssesp}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{EM_{Inal} \cdot VF_{ssesp}} \end{cases}$	<p>CSR_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor VF_{ssesp} = Volatilizzazione indoor</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</p> $CSR_{SS.Inal} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR}{IUR \cdot EC_{Inal} \cdot VF_{ssesp}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfC}{EC_{Inal} \cdot VF_{ssesp}} \end{cases}$	<p>CSR_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC_{Inal} = Fattore di inalazione indoor VF_{ssesp} = Volatilizzazione indoor</p>
<p>Inalazione particolato indoor (no off-site)</p> $CSR_{SS.InalP} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{Inal} \cdot PEF_{in}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{EM_{Inal} \cdot PEF_{in}} \end{cases}$	<p>CSR_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor PEF_{in} = Particolato indoor</p>

Tabella 19. Suolo Superficiale: CSR	
<p>Cumulativo Indoor</p> $CSR_{SS, Indoor} = \begin{cases} \frac{1}{\frac{1}{CSR_{SS, Inal}} + \frac{1}{CSR_{SS, InalP}}} & (\text{se } CSR_{Inal} \leq C_{sat}) \\ \frac{TR - R_{max, Inal}}{TR} \cdot \frac{1}{CSR_{SS, InalP}} & (\text{se } CSR_{Inal} > C_{sat}) \end{cases}$ <p>Dove:</p> $R_{max, Inal} = (C_{sat} / CSR_{Inal}) \cdot TR \quad (\text{se } CSR_{Inal} > C_{sat})$	
<p>Ingestione di acqua per lisciviazione</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR 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 LF_{ss} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>CSR Suolo superficiale</p> $CSR_{SS} = \min [CSR_{SS, outdoor} ; CSR_{SS, Indoor} ; CSR_{SS, LF}]$	

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

Tabella 20. Suolo Profondo: CSR	
<p>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{samb} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{samb} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor VF_{seps} = Volatilizzazione indoor</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC_{Inal} = Fattore di inalazione indoor VF_{seps} = Volatilizzazione indoor</p>
<p>Ingestione di acqua per lisciviazione</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR 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 LF_{sp} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>CSR Suolo Profondo $CSR_{SP} = \min [CSR_{SP.InaO} ; CSR_{SP.Inal} ; CSR_{SP.LF}]$</p>	

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

Tabella 21. Falda: CSR	
<p>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{wamb} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{wamb} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (dosi di riferimento)</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor VF_{wesp} = Volatilizzazione indoor DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (concentrazioni di riferimento)</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC_{Inal} = Fattore di inalazione indoor VF_{wesp} = Volatilizzazione indoor DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Ingestione di acqua</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_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR 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 DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>CSR Falda $CSR_{GW} = \min [CSR_{GW.InaO}; CSR_{GW.Inal}; CSR_{GW.D}]$</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 22. CSR Risorsa Idrica	
<p>Lisciviazione da suolo superficiale</p> $CSR_{SS.LF} = \frac{CSC_{Falda} \cdot DAF}{LF_{ss}} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}$	<p>CSC_{falda} = limite normativo per le acque sotterranee LF_{ss} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Lisciviazione da suolo profondo</p> $CSR_{SP.LF} = \frac{CSC_{Falda} \cdot DAF}{LF_{sp}} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}$	<p>CSC_{falda} = limite normativo per le acque sotterranee LF_{sp} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Ingestione di acqua</p> $CSR_{GW.D} = DAF \cdot CSC_{Falda} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}$	<p>CSC_{falda} = limite normativo per le acque sotterranee DAF = Fattore di diluizione in falda</p>

Per i recettori On-site DAF=1

Tabella 23. 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 24. 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, θ_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, θ_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(-)

θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

θ_a = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

θ_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 (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm³)

ρ_o = Densità del contaminante (g/cm³)

APPENDICE 2B. CONCENTRAZIONI DI RIFERIMENTO

Tabella 25. Concentrazioni di riferimento (CR): aria	
<p>Inalazione di vapori outdoor (dosi di riferimento)</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_{canc} = CR sost. cancerogene CR_{non.canc} = CR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</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_{canc} = CR sost. cancerogene CR_{non.canc} = CR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (dosi di riferimento)</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_{canc} = CR sost. cancerogene CR_{non.canc} = CR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site) (concentrazioni di riferimento)</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_{canc} = CR sost. cancerogene CR_{non.canc} = CR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile IUR = Inhalation Unit Risk RfC = Concentrazione di riferimento EC_{Inal} = Fattore di inalazione indoor</p>
<p>CR Aria $CR_{AR} = \min [CR_{AR.InaO}; CR_{AR.Inal}]$</p>	

Per i recettori On-site ADF=1

Tabella 26. Concentrazioni di riferimento (CR): camere di flusso	
<p>Inalazione di vapori outdoor</p> $CR_{FC.InaO} = \frac{CR_{AR.InaO}}{\alpha_{FC} \cdot ADF}$	<p>α_{FC} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>

Per i recettori On-site ADF=1

Tabella 27. Concentrazioni di riferimento (CR): soil gas	
<p>Inalazione di vapori outdoor</p> $CR_{SG.InaO} = \frac{CR_{AR.InaO}}{\alpha_{samb} \cdot ADF}$	<p>α_{samb} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori indoor</p> $CR_{SG.Inal} = \frac{CR_{AR.Inal}}{\alpha_{sest}}$	<p>α_{sest} = Volatilizzazione indoor</p>
<p>CR soil gas</p> $CR_{SG} = \min[CR_{SG.InaO}; CR_{SG.Inal}]$	

Per i recettori On-site ADF=1

Tabella 28. Concentrazioni di riferimento (CR): eluato da suolo superficiale	
<p>Lisciviazione da suolo superficiale</p> $CR_{ELss} = \frac{CSC_{Falda} \cdot DAF}{\alpha_{LFss}} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}$	<p>CSC_{falda} = limite normativo per le acque sotterranee α_{LFss} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Ingestione di acqua per lisciviazione</p> $CR_{ELss} = \min \left\{ \begin{array}{l} CR_{canc} = \frac{TR \cdot DAF}{SF_{Ing} \cdot EM_{IngW} \cdot \alpha_{LFss}} \\ CR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ing} \cdot DAF}{EM_{IngW} \cdot \alpha_{LFss}} \end{array} \right.$	<p>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 α_{LFss} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>

Per i recettori On-site DAF=1

Tabella 29. Concentrazioni di riferimento (CR): eluato da suolo profondo

<p>Lisciviazione da suolo profondo</p> $CR_{ELsp} = \frac{CSC_{Falda} \cdot DAF}{\alpha_{LFsp}} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g}$	<p>CSC_{falda} = limite normativo per le acque sotterranee α_{LFss} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Ingestione di acqua per lisciviazione</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>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 α_{LFsp} = 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_{semp} : 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_{semp} : 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 30. 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_{s(SS)} = Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c. (cm)

D_{s^{eff}} = Coefficiente di diffusione nella zona insatura (cm²/s)

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

δ_{air} = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)

U_{air} = Velocità del vento (cm/s)

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

θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

θ_a = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

θ_e = Porosità effettiva zona insatura (-)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm³)

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

Tabella 31. 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)

η = Frazione areale di fratture indoor (-)

θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

θ_a = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

θ_e = Porosità effettiva zona insatura (-)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm^3)

X_{crack} = perimetro delle fondazioni (cm)

Δp = 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)

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

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

Tabella 32. 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, δ_{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)

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

θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

θ_a = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

θ_e = Porosità effettiva zona insatura (-)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm³)

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

d_a = spessore acquifero (cm)

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

α_z = Dispersività verticale (cm)

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

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

Tabella 33. 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)

δ_{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/cm²/s)

F_i = Frazione di polveri indoor (-)

Tabella 34. 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 [cm³/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)

δ_{air} = Altezza della zona di miscelazione in aria(cm)

U_{air} = Velocità del vento (cm/s)

σ_y = Coefficiente di dispersione trasversale (cm)

σ_z = Coefficiente di dispersione verticale(cm)

Tabella 35. Coefficienti di dispersione In Atmosfera

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

Classe di stabilità	σ_y (m)	σ_z (m)
Aree aperte (campagna)		
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	$0.04d (1 + 0.0001d)^{-1/2}$	$0.016d (1 + 0.0003d)^{-1}$
Aree Urbane		
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

σ_y = Coefficiente di dispersione trasversale (m)

σ_z = Coefficiente di dispersione verticale(m)

d = Distanza dalla sorgente al bersaglio (m)

Tabella 36. 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 (δ_{air}) in funzione dell'altezza della centralina (z_2).

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

Coefficiente empirico "p"						
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 37. 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 (cm²/s)

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

δ_{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)

θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

θ_a = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

θ_e = Porosità effettiva zona insatura (-)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm³)

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

Tabella 38. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori indoor

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

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

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

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

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

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)

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)

η = Frazione areale di fratture indoor (-)

θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

θ_a = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

θ_e = Porosità effettiva zona insatura (-)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm^3)

X_{crack} = perimetro delle fondazioni (cm)

Δp = 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)

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

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

Tabella 39. Suolo Profondo: Lisciviazione in Falda

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

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, δ_{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)

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

θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

θ_a = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

θ_e = Porosità effettiva zona insatura (-)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm³)

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

d_a = spessore acquifero (cm)

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

α_z = Dispersività verticale (cm)

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

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

Tabella 40. 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, α_x (cm)

$$\alpha_x = POC/10$$

Dispersività trasversale, α_y (cm)

$$\alpha_y = \alpha_x/3$$

Dispersività verticale, α_z (cm)

$$\alpha_z = \alpha_x/20$$

Nomenclatura

λ = costante di biodegradazione del primo ordine(1/s)

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

δ_{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 (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm³)

i = gradiente idraulico

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

POC = Distanza punto di conformità (cm)

Tabella 41. 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:

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

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

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

Nomenclatura

λ = costante di biodegradazione del primo ordine(1/s)

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

δ_{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 (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm³)

i = gradiente idraulico (-)

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

α_x = Dispersività longitudinale(cm)

α_y = Dispersività trasversale(cm)

α_z = Dispersività verticale(cm)

Tabella 42. 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 (cm²/s)

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

δ_{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 43. 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)

η = Frazione areale di fratture indoor (-)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm^3)

X_{crack} = perimetro delle fondazioni (cm)

Δp = 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)

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

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

Tabella 44. 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)

θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

θ_a = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

θ_{wcap} = Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare (-)

θ_{acap} = Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare (-)

θ_{wlens} = Contenuto volumetrico di acqua nella lente (-)

θ_{alens} = Contenuto volumetrico di aria nella lente (-)

θ_{wcrack} = Contenuto volumetrico di acqua nelle fondazioni (-)

θ_{acrack} = Contenuto volumetrico di aria nelle fondazioni (-)

θ_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 (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm^3)

Tabella 45. 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

θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

θ_a = Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura (-)

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

S = solubilità (mg/L)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm³)

Tabella 46. 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) *

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

θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insatura (-)

H = costante di Henry (-)

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

λ = 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) *

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

θ_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)

λ = costante cinetica di biodegradazione del primo ordine (1/s)

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

Tabella 47. 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, α_x (cm)

Nomenclatura

λ = 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)

θ_e = Porosità effettiva zona insatura (-)

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

ρ_s = Densità del suolo (g/cm³)

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

Tabella 48. 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 (cm²)

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 (-)

i_f : Gradiente idraulico verticale (-)

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

ρ_m, ρ_f, ρ_s : Densità o distribuzioni di probabilità rispettivamente dei microfori, fori e strappi (numero/cm²)

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

- α_{samb} : fattore di volatilizzazione di vapori outdoor
- α_{sest} : fattore di volatilizzazione di vapori indoor

Camere di flusso

- α_{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)

Eluato

- α_{LFss} : fattore di lisciviazione in falda da suolo superficiale
- α_{LFsp} : fattore di lisciviazione in falda da suolo profondo

Dalla Falda

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

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 49. 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 (cm²/s)

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

δ_{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 (-)

Tabella 50. Camera di flusso dinamica: Volatilizzazione vapori outdoor

Camera di flusso Dinamica (Input: Concentrazione)

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

Nomenclatura

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

δ_{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 (cm³/s)

A_{fc} = Superficie della camera esposta al suolo (cm²)

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)

δ_{air} = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)

U_{air} = Velocità del vento (cm/s)

Tabella 51. 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)

η = Frazione areale di fratture indoor (-)

θ_e = Porosità effettiva zona insatura (-)

X_{crack} = perimetro delle fondazioni (cm)

Δp = 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)

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

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

Tabella 52. 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, δ_{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)

α_z = Dispersività verticale (cm)

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

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

Tabella 53. 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, δ_{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)

α_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

- Bambino
- Adulto
- Esposizione Mediata o Adjusted (Adulto + Bambino)

Ambito Industriale o Commerciale

- Lavoratore Adulto

Per l'ambito residenziale/ricreativo per le sostanze cancerogene, è possibile stimare un'esposizione mediata pari alla somma di 6 anni di esposizione da bambino e di 24 anni da adulto, per un totale di 30 anni. In questo caso la portata EM è pari a:

$$EM_{adj} = \begin{cases} EM_{bambino} + EM_{adulto} & \text{(sostanze cancerogene)} \\ EM_{bambino} & \text{(sostanze non cancerogene)} \end{cases}$$

Dove $EM_{bambino}$ ed EM_{adulto} sono calcolate considerando rispettivamente i parametri di esposizione di un bambino e di un adulto.

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).

Tabella 54. Fattori di Esposizione (EM)	
<p>Contatto dermico</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 (cm²) AF = Fattore di aderenza dermica (mg/(cm² giorno)) ABS = Fattore di assorbimento dermico (-)</p>
<p>Ingestione di suolo</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>Inalazione di vapori e polveri outdoor (dosi di riferimento)</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_{go} = Frequenza giornaliera outdoor (ore/giorno) B_o = Inalazione outdoor (m³/ora)</p>
<p>Inalazione di vapori outdoor (concentrazioni di riferimento)</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_{go} = Frequenza giornaliera outdoor (ore/giorno)</p>
<p>Inalazione di vapori e polveri indoor (dosi di riferimento)</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_{gi} = Frequenza giornaliera indoor (ore/giorno) B_i = Inalazione indoor (m³/ora)</p>
<p>Inalazione di vapori indoor (concentrazioni di riferimento)</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_{gi} = Frequenza giornaliera indoor (ore/giorno)</p>
<p>Ingestione di acqua (opzionale)</p> $EM \left[\frac{L}{kg \times giorno} \right] = \frac{IR_w \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365} \frac{\text{giorni}}{\text{anno}}$	<p>BW = Peso corporeo (kg) EF = Frequenza di esposizione (giorni/anno) ED = Durata di esposizione (anni) AT = Tempo medio di esposizione (anni) (*) IR_w = Tasso di ingestione di acqua (L/giorno)</p>
<p>Esposizione adulti e bambini (adjusted)</p> $EM_{adj} = \begin{cases} EM_{bambino} + EM_{adulto} & \text{(sostanze cancerogene)} \\ EM_{bambino} & \text{(sostanze non cancerogene)} \end{cases}$	

(*) 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 adsorbita⁹, H la costante di Henry, θ_w e θ_a il contenuto volumetrico di acqua e di aria, ρ_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 adsorbita¹⁰ 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).

⁹ 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.

¹⁰ 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 residua¹¹), 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 ρ_o è la densità del contaminante e θ_o la frazione volumetrica della fase residuale che può essere stimata come:

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

θ_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

¹¹ 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 ¹²), 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} .

¹² 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 β , 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^3)

C_{suolo} = Concentrazione misurata in sorgente nel suolo (mg/kg)

C_{falda} = Concentrazione misurata in falda (mg/L)

I valori β 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 β 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 β , 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 β 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 β 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 β , 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/m³)

C_{suolo} = Concentrazione misurata in sorgente nel suolo (mg/kg)

C_{falda} = Concentrazione misurata in falda (mg/L)

I valori β 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 β 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 β , 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 β 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 β 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 vapori 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 β , 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 β 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 β 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 diversi 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 55. 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^3)

$C_{Aria.Indoor}$: concentrazione attesa nell'aria indoor (mg/m^3)

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 56. 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/m³)

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 57. Concentrazioni attese nel soil gas (indoor)

Volatilizzazione indoor

Da suolo superficiale

$$C_{sg, Indoor(ss)} = C_{ss} \cdot \frac{VF_{ssep}}{\alpha_{ssep}}$$

$$C_{sg(ss)} = C_{ss} \cdot K_{ws} \cdot H \cdot 1000 \quad (\text{se selezionato dall'utente})$$

Da suolo profondo

$$C_{sg, Indoor(sp)} = C_{sp} \cdot \frac{VF_{ssep}}{\alpha_{ssep}}$$

$$C_{sg(sp)} = C_{sp} \cdot K_{ws} \cdot H \cdot 1000 \quad (\text{se selezionato dall'utente})$$

Da falda

$$C_{sg, Indoor(gw)} = C_{gw} \cdot \frac{VF_{wesp}}{\alpha_{ssep}}$$

$$C_{sg(gw)} = C_{gw} \cdot K_{ws} \cdot H \cdot 1000 \quad (\text{se selezionato dall'utente})$$

Nomenclatura

$C_{sg, Indoor}$: concentrazione attesa nel soil gas per il percorso di volatilizzazione indoor (mg/m³)

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 58. 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_{fc}: concentrazione attesa nella camera di flusso (mg/m³)

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 nell'eluato

Lisciviazione da suolo in falda

Da suolo superficiale

$$C_{El(ss)} = C_{ss} \cdot K_{ws(ss)}$$

Da suolo profondo

$$C_{El(sp)} = C_{sp} \cdot K_{ws(sp)}$$

Nomenclatura

C_{el}: concentrazione attesa nell'eluato (mg/L)

C_{ss}: concentrazione nel suolo superficiale (mg/kg)

C_{sp}: concentrazione nel suolo profondo (mg/kg)

Per il significato degli altri simboli si rimanda alle appendici precedenti.

Tabella 60. 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_{gw}: concentrazione attesa in falda (mg/L)

C_{ss}: concentrazione nel suolo superficiale (mg/kg)

C_{sp}: 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:

$$SF_{bambino} = SF \cdot ADAF$$

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 per il bambino pari a 3. 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; APAT-ISPRA, 2008).

Tabella 61. 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

Appendice 9. Koc e Kd in funzione del pH

Tabella 62. 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 63. 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 64. 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