

RISK-NET



Manuale D'uso

Versione 1.0

Marzo 2012

RECONnet
Rete Nazionale sulla gestione e la
Bonifica dei Siti Contaminati



RISK-NET Versione 1.0

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

*Il software **Risk-net** è stato sviluppato nell'ambito della rete RECONnet (Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati) su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Roma "Tor Vergata". Il software permette di calcolare il rischio e gli obiettivi di bonifica legato alla presenza di contaminanti all'interno di un sito, applicando la procedura APAT-ISPRA di analisi di rischio sanitaria ("Criteri metodologici l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"; APAT-ISPRA 2008) in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana (D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08).*

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.

Sviluppo del software

Iason Verginelli, Dipartimento di Ingegneria Civile – Università di Roma "Tor Vergata"

Ottimizzazione e validazione del software (in ordine alfabetico)

Renato Baciocchi, Dipartimento di Ingegneria Civile – Università di Roma "Tor Vergata"

Simona Berardi, Istituto Nazionale Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL)

Laura D'Aprile, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA)

Andrea Forni, SGM Ingegneria Srl

Andrea Sconocchia, Agenzia Regionale di Protezione Ambientale (ARPA) Umbria

Antonio Traversa, Agenzia Regionale di Protezione Ambientale (ARPA) Lazio

Igor Villani, Provincia di Ferrara

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

Federico Caldera, Water & Soil Remediation Srl

Serena Noli e il Team di Analisi di Rischio, Petroltecnica

Stefania Verdelocco, AECOM Italy

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

Il software Risk-net ed il relativo manuale d'uso sono distribuiti gratuitamente da:

RECONnet, Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati

Sito: www.reconnet.net

INDICE

Risk-net.....	2
Elenco Figure.....	5
Elenco Tabelle.....	6
Acronimi.....	7
Cos'è Risk-net.....	8
Interfaccia e utilizzo del software.....	9
Architettura del software.....	11
Schermata principale.....	12
Analisi, limiti e opzioni di calcolo.....	14
Tipo di Analisi.....	14
Accettabilità.....	15
Opzioni di Calcolo.....	16
Input.....	20
Modello Concettuale.....	20
Contaminanti Indicatori.....	23
Banca Dati.....	26
Concentrazione Rappresentativa Alla Sorgente.....	29
Definizione dei Recettori.....	32
Parametri di Esposizione.....	33
Caratteristiche Sito.....	36
Gestione degli errori.....	38
Output.....	40
Riepilogo Input.....	40
Output Intermedi, Proprietà Contaminanti Indicatori.....	42
Output Intermedi, Trasporto ed Esposizione.....	43
Output Intermedi, Concentrazioni al Punto di Esposizione.....	47
Output Intermedi, Ripartizione Contaminanti.....	49
Calcolo Obiettivi di Bonifica (CSR).....	50
Calcolo CSR.....	50
Calcolo CSR Idrocarburi.....	53

Riepilogo Output	54
Valori di screening prodotto libero.....	55
Calcolo Rischio.....	56
Calcolo del Rischio.....	57
Riepilogo Output	59
Valori di screening prodotto libero	59
Documenti di Riferimento	60
Nomenclatura.....	61
Appendici – Equazioni e Criteri di calcolo.....	67
Appendice 1. Calcolo del Rischio	68
Rischio Individuale.....	68
Rischio per più di vie di esposizione.....	69
Rischio Cumulativo.....	71
Rischio Risorsa Idrica.....	71
Appendice 2. Calcolo Obiettivi di Bonifica (CSR).....	76
CSR Individuali.....	76
CSR per più vie di esposizione.....	77
CSR Cumulative (Obiettivi di bonifica).....	79
Appendice 3. Calcolo Fattori di Trasporto.....	86
Appendice 4. Calcolo Fattori di Esposizione.....	105
Appendice 5. Saturazione Chimico-Fisica e Residua	107
Concentrazione di Saturazione.....	107
Concentrazione Residua (Screening Mobilità NAPL)	108
Applicazione dell'Analisi di Rischio in condizioni di saturazione	108
Appendice 6. Koc e Kd in funzione del pH.....	111

ELENCO FIGURE

Figura 1. Schermata principale del software Risk-net.....	12
Figura 2. Definizione del tipo di analisi e delle opzioni di calcolo.	14
Figura 3. Definizione dei limiti accettabili di Rischio e Indice di Pericolo.	15
Figura 4. Opzioni di calcolo.	16
Figura 5. Finestra di dialogo per l'accesso alle diverse schermate di Input.....	20
Figura 6. Definizione del modello concettuale.	21
Figura 7. Selezione contaminanti.	23
Figura 8. Selezione Database.	24
Figura 9. Selezione contaminanti indicatori.	25
Figura 10. Database Risk-net.....	27
Figura 11. Banca Dati Esterna.	28
Figura 12. Ricerca dei parametri dei contaminanti presenti nel database.....	29
Figura 13. Definizione della Concentrazione Rappresentativa alla Sorgente.....	30
Figura 14. Stima classi MADEP da speciazione idrocarburi.	31
Figura 15. Selezione dello scenario di esposizione.	32
Figura 16. Parametri di Esposizione.....	34
Figura 17. Caratteristiche del sito.....	36
Figura 18. Controllo sugli errori di tipo concettuale.....	38
Figura 19. Avviso di errato inserimento dei parametri di input.	39
Figura 20. Finestra di dialogo per l'accesso alle diverse schermate di Output.....	40
Figura 21. Riepilogo Input.	41
Figura 22. Userform proprietà contaminanti indicatori.	42
Figura 23. Riepilogo Proprietà Contaminanti Indicatori.....	42
Figura 24. Userform Output Intermedi.	43
Figura 25. Riepilogo Modello Concettuale.	44
Figura 26. Fattori di esposizione calcolati.....	45
Figura 27. Fattori di trasporto calcolati.....	45
Figura 28. Evoluzione contaminazione in falda.....	46
Figura 29. Eluato – Green Ampt.....	47
Figura 29. Concentrazioni al punto di esposizione.	48
Figura 30. Ripartizione dei contaminanti nel suolo.	49
Figura 31. Userform Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR).	50
Figura 32. Calcolo degli Obiettivi di bonifica (CSR)	51
Figura 33. Calcolo CSR Idrocarburi.....	53
Figura 34. Riepilogo Output, applicazione Analisi di Rischio “Backward”.....	54
Figura 35. Calcolo valori di screening per la mobilità del prodotto libero.....	55
Figura 36. Userform Calcolo del Rischio.	56
Figura 37. Calcolo del Rischio.....	58
Figura 38. Riepilogo output Analisi di Rischio in modalità diretta (Calcolo del Rischio)..	59
Figura 39. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo superficiale.....	69
Figura 40. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo profondo.....	70
Figura 41. Criteri di cumulo dei rischi per la falda.	70
Figura 42. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo superficiale.....	77
Figura 43. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo profondo.....	78
Figura 44. Criteri di cumulo delle CSR per la falda.	78

ELENCO TABELLE

Tabella 1. Fattori di trasporto considerando o meno l'esaurimento della sorgente.....	17
Tabella 2. Vie di esposizione/migrazione attivabili.....	22
Tabella 3. Fattori di trasporto utilizzati per ciascuna via di esposizione.	22
Tabella 4. Valori di default implementati nel software (APAT-ISPRA, 2008).....	35
Tabella 5: Proprietà del terreno in funzione della tessitura selezionata.	37
Tabella 6. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo delle CSR....	52
Tabella 7. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo del rischio....	58
Tabella 8. Suolo Superficiale: Rischio e Indice di Pericolo.....	72
Tabella 9. Suolo Profondo: Rischio e Indice di Pericolo.....	74
Tabella 10. Falda: Rischio e Indice di Pericolo	75
Tabella 11. Rischio Risorsa Idrica	75
Tabella 12. Suolo Superficiale: CSR	80
Tabella 13. Suolo Profondo: CSR.....	82
Tabella 14. Falda: CSR	83
Tabella 15. CSR Risorsa Idrica	83
Tabella 16. Calcolo CSR Idrocarburi	84
Tabella 17. Screening Prodotto Libero	85
Tabella 18. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori outdoor	87
Tabella 19. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori outdoor (Soil-Gas)	88
Tabella 20. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori indoor	89
Tabella 21. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori indoor (Soil-Gas)	90
Tabella 22. Suolo Superficiale: Lisciviazione in falda.....	91
Tabella 23. Suolo Superficiale: Emissione di Particolato	92
Tabella 24. Dispersione In Atmosfera.....	92
Tabella 25. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori outdoor	93
Tabella 26. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori outdoor (Soil-Gas)	93
Tabella 27. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori indoor	94
Tabella 28. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori indoor (Soil-Gas)	95
Tabella 29. Suolo Profondo: Lisciviazione in Falda	96
Tabella 30. Eluato Green-Ampt	97
Tabella 31. Fattore di Diluizione in Falda.....	98
Tabella 31. Falda: Equazione di Domenico	99
Tabella 32. Falda: Volatilizzazione vapori outdoor.....	100
Tabella 33. Falda: Volatilizzazione vapori outdoor (Soil-Gas).....	100
Tabella 34. Falda: Volatilizzazione vapori indoor.....	101
Tabella 35. Falda: Volatilizzazione vapori indoor (Soil-Gas).....	102
Tabella 36. Coefficiente di diffusione.....	103
Tabella 37. Concentrazione di Saturazione, C_{sat}	104
Tabella 38. Concentrazione Tal Quale vs. Concentrazione Sostanza Secca.....	104
Tabella 39. Fattori di Esposizione.....	106
Tabella 40. Valori Koc in funzione del pH per i contaminanti organici (1/2).....	111
Tabella 41. Valori Koc in funzione del pH per i contaminanti organici (2/2).....	112
Tabella 42. Valori Kd in funzione del pH per i contaminanti inorganici (1/2).....	113
Tabella 43. Valori Kd in funzione del pH per i contaminanti inorganici (2/2).....	114

ACRONIMI

SIMBOLO	SIGNIFICATO
AdR	Analisi di Rischio
CSR	Concentrazione Soglia di Rischio
CSC	Concentrazione Soglia di Contaminazione
CRS	Concentrazione rappresentativa alla Sorgente
DB	Database o Banca Dati
R	Rischio Cancerogeno
HI	Indice di Pericolo (Non Cancerogeno)
Csat	Concentrazione di saturazione
On-site	All'interno del sito contaminato
Off-site	All'esterno del sito contaminato
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 modo diretto ("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. Il programma è stato sviluppato per lavorare in ambiente Microsoft Excel. Risk-net può essere utilizzato su qualsiasi pc sul quale sia installata una versione di Excel 2003 o superiore.

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 (modifica contenuto e file cartella). Installando il software in una cartella in cui non si hanno diritti di amministratore (ad es. in "C:") non sarà possibile procedere con l'attivazione del programma (non verrà salvata la licenza e vi verrà richiesto ogni volta che avviate il programma di inserire il codice di attivazione).

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.xls' (o il collegamento presente sul desktop o nella barra dei programmi). Nella stessa directory del file si devono trovare il file di help e la banca dati. All'avvio del software è necessario attivare le Macro e gli ActiveX, implementati nel software tramite Visual Basic. Pertanto prima di avviare il software si consiglia di verificare che il livello di protezione delle macro sia su "medio" o "alto".

Excel 2003. Prima di avviare 'Risk-net', nel menù di Excel accedere in "Strumenti >> Macro >> Protezione". Verificare che come livello di protezione sia selezionato "Medio". Successivamente avviare Risk-net e all'apertura del file uscirà un avviso di protezione. Per procedere selezionare "Attiva Macro".

Excel 2007: Prima di avviare 'Risk-net', accedere dal menù principale di Excel in "File >> Opzioni di Excel >> Centro Protezione >> Impostazione Centro Protezione >> Impostazioni Macro". Verificare che come livello di protezione sia selezionato "Disattiva tutte le macro con notifica". Successivamente avviare Risk-net e all'apertura del file uscirà un avviso di protezione. Per procedere selezionare "Opzioni/Attiva il Contenuto".

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 premere "crea nuova licenza" e viene fornito un numero identificativo dell'installazione ("ID di Installazione"). A questo punto premere "Attiva in seguito" (il software memorizza i dati inseriti ed il codice di

installazione) ed inviare per e-mail a risknet@reconnet.net il numero identificativo ed il nominativo. Riceverete un codice di attivazione che deve essere inserito nel software. 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 quali si desidera installare Risk-net.

Risoluzione e dimensione dei caratteri. La risoluzione ottimale per lavorare con Risk-net è “1360 x 768 px” con una dimensione dei caratteri “Normale”.

Interfaccia del Programma. Risk-net utilizza una semplice interfaccia grafica attraverso la quale l’utente può seguire i diversi step per la compilazione dei dati di input e la visualizzazione degli output (Figura 1). Il programma è strutturato per lavorare nei diversi fogli di calcolo a cui si accede dai relativi pulsanti della schermata principale di avvio. La schermata principale è strutturata con diverse finestre di dialogo relative a: “Descrizione del Progetto”, “Tipo di Analisi”, “Limiti e Opzioni di Calcolo”, “Comandi”, “Input” e “Output”. I pulsanti “?” presenti in alcune finestre di dialogo permettono di accedere alla guida rapida (help) di riferimento.

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 PRINCIPALE

All'avvio del programma viene caricata la schermata principale riportata in Figura 1. Da qui si accede, mediante i relativi comandi di controllo, alle diverse schermate di input e output. Tale schermata è strutturata con diverse finestre di dialogo da cui è possibile definire le informazioni generali sul progetto, il tipo di analisi che si intende applicare, i limiti di riferimento e le opzioni di calcolo, gli input e gli output. Da qui è inoltre possibile salvare o caricare i file generati dal software. Il pulsante “zoom” permette di modificare la visualizzazione del programma qualora sia utilizzata una risoluzione differente da quella ottimale (1360 x 768, Dimensione Caratteri: Normale). I pulsanti “?” presenti in alcune finestre di dialogo permettono di accedere alla guida rapida (help) di riferimento.

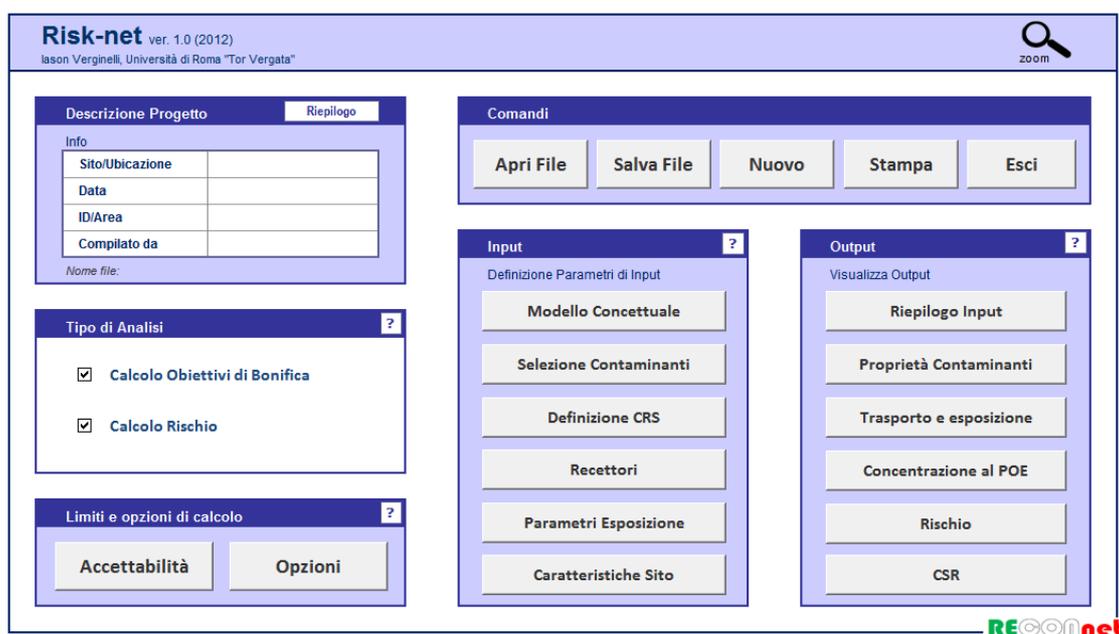


Figura 1. Schermata principale del software Risk-net.

Descrizione Progetto. In questa finestra di dialogo è possibile definire le informazioni generali del progetto (Sito, Data, ID e Compilato Da) che vengono riportate sulle diverse schermate di input e output. Il pulsante “Riepilogo” permette di visualizzare le impostazioni e le assunzioni principali definite nel caso in esame.

Tipo di Analisi. Risk-net può essere utilizzato per applicare l'Analisi di Rischio sia in modalità diretta (“Forward mode”) che inversa (“Backward mode”). L'opzione “Calcolo Obiettivi di Bonifica” permette di calcolare le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) applicando l'Analisi di Rischio in modalità backward. L'opzione “Calcolo Rischio”

permette di stimare il rischio associato alla Concentrazione Rappresentativa alla Sorgente (CRS) definita dall'utente. Le simulazioni possono essere effettuate attivando una o entrambe le opzioni.

Limiti e Opzioni di Calcolo. Da questa finestra di dialogo è possibile accedere, mediante i relativi pulsanti di controllo, alla definizione dei limiti accettabili (per Rischio e Indice di Pericolo) e alla selezione e attivazione di alcune opzioni di calcolo (per una descrizione più dettagliata si rimanda ai paragrafi successivi).

Input. Da questa finestra di dialogo è possibile accedere, mediante i relativi pulsanti di controllo, alle diverse schermate di definizione degli input richiesti per l'applicazione dell'Analisi di Rischio. Al fine di guidare l'utente durante il processo di compilazione, dei check posizionati al lato dei pulsanti di controllo vengono attivati una volta che si accede alla relativa schermata di input.

Output. Una volta definiti i diversi input richiesti, da questa finestra di dialogo è possibile accedere, mediante i relativi pulsanti di controllo, alle diverse schermate di riepilogo e di output (per una descrizione più dettagliata si rimanda ai paragrafi successivi).

Comandi

Apri File. Carica una simulazione precedentemente salvata.

Salva File. Salva gli input e gli output della simulazione effettuata.

Nuovo. Resetta il programma alle condizioni iniziali. I dati non salvati vengono persi.

Stampa. Stampa la schermata visualizzata.

Riepilogo. Permette di visualizzare le impostazioni definite per la simulazione corrente.

Esci. Permette di uscire dal software. I dati non salvati vengono persi.

Zoom. Permette di modificare la visualizzazione del programma qualora sia utilizzata una risoluzione differente da quella ottimale (1360 x 768, Dimensione Caratteri: Normale).

ANALISI, LIMITI E OPZIONI DI CALCOLO

Il primo step che l'utente deve compiere consiste nel definire il tipo di analisi che vuole effettuare, i limiti di accettabilità e le opzioni di calcolo (Figura 2).

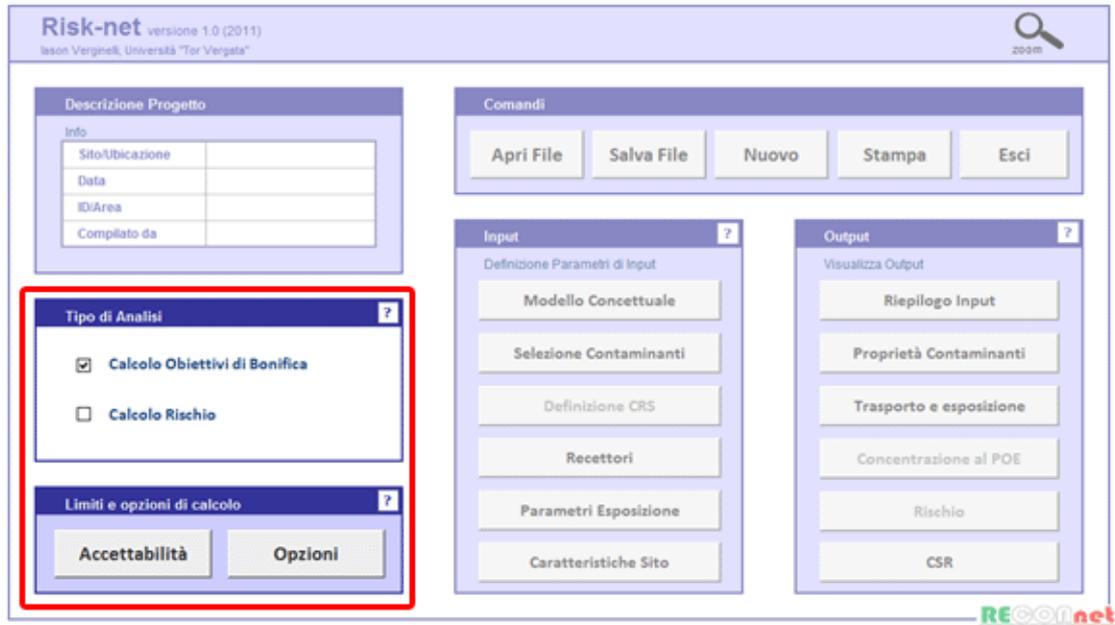


Figura 2. Definizione del tipo di analisi e delle opzioni di calcolo.

TIPO DI ANALISI

Risk-net permette di applicare l'Analisi di Rischio sia in modalità diretta ("Forward mode") che inversa ("Backward mode"). In particolare l'utente deve scegliere se vuole calcolare gli obiettivi di bonifica sito-specifici o stimare il rischio associato alla concentrazione rilevata in sorgente (o effettuare entrambe le analisi).

“Calcolo Obiettivi di Bonifica”. Calcolo delle concentrazioni massime ammissibili in sorgente compatibili con il livello di rischio e indice di pericolo accettabile. Tale calcolo viene effettuato mediante 3 step sequenziali: 1) Calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) individuali (singola sostanza) applicando la procedura AdR in modalità inversa (backward mode); 2) Verifica del rischio cumulativo legato alla presenza di più sostanze. In questa fase Risk-net calcola il rischio individuale associato alla CSR

individuale¹ di ciascun contaminante e il rischio complessivo (sommatoria dei singoli rischi individuali). 3) Infine l'utente deve ridurre iterativamente le diverse CSR fino a che il rischio totale (ovvero la somma dei rischi delle singole CSR) sia pari o inferiore al valore limite. I valori di CSR che rispettano i valori limite accettabili (individuali e cumulativi) costituiscono gli obiettivi di bonifica del sito in esame.

“Calcolo Rischio”. Calcolo del rischio associato alla Concentrazione Rappresentativa alla Sorgente (CRS) definita dall'utente. Anche in questo caso viene calcolato sia il rischio individuale (singola sostanza) che quello cumulativo (sommatoria dei rischi associati ai diversi contaminanti riscontrati nel sito). I valori ottenuti devono essere confrontati con i criteri di accettabilità individuali e cumulativi del rischio sanitario, al fine di valutare se esistono o meno condizioni in grado di causare effetti sanitari nocivi.

ACCETTABILITÀ

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.

Default	Individuale	Cumulativo
Rischio	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵
Indice di Pericolo	1	1

Individuale	Cumulativo
Rischio	10 ⁻⁵
Indice di Pericolo	1

Custom	Individuale	Cumulativo
Rischio	1.0E-06	1.0E-05
Indice di Pericolo	1.0	1.0

Figura 3. Definizione dei limiti accettabili di Rischio e Indice di Pericolo.

¹ In assenza di saturazioni il rischio associato alla CSR individuale, rappresentativa della matrice contaminata, risulterà pari al valore limite accettabile (rischio o di indice di pericolo).

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 dalla Userform riportata in Figura 2 a cui si accede dal pulsante di comando “Accettabilità” riportato nella finestra di dialogo “Limiti e opzioni di calcolo” della schermata principale.

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 alla Userform “Opzioni di calcolo” (Figura 4) dal pulsante di comando “Opzioni” riportato nella finestra di dialogo “Limiti e opzioni di calcolo” della schermata principale.

Di seguito vengono brevemente descritte le diverse opzioni.

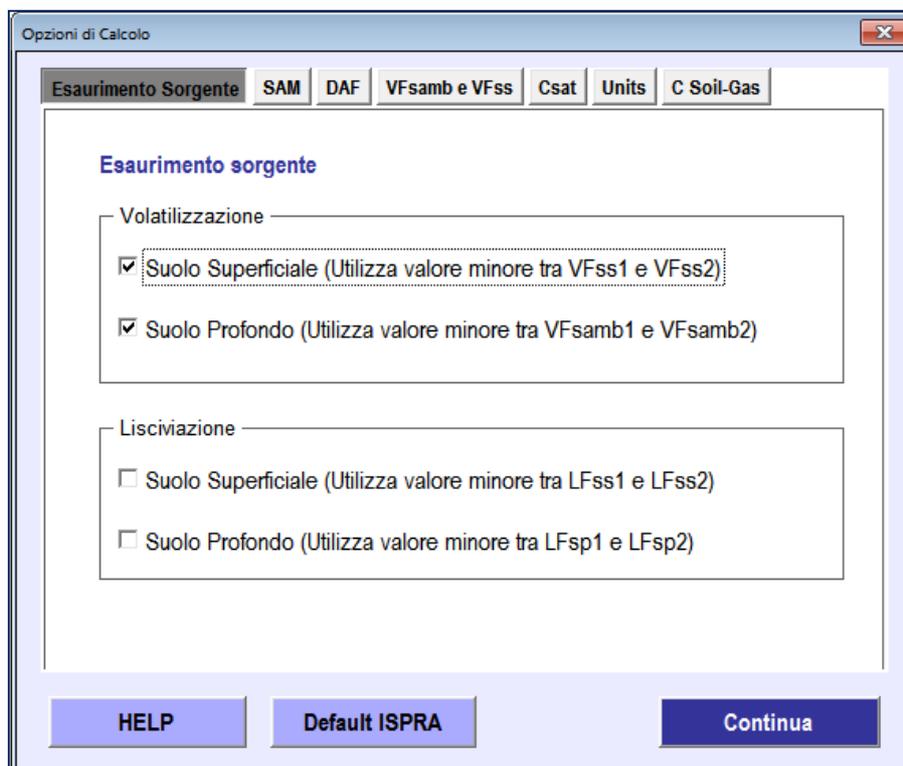


Figura 4. Opzioni di calcolo.

Esaurimento Sorgente. Per la volatilizzazione e la lisciviazione² 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) e per lisciviazione viene calcolato selezionando, per ciascun contaminante, il valore minore tra il fattore di trasporto e l'equazione di bilancio di materia (Tabella 1). Per un maggior dettaglio riguardo i simboli e le equazioni utilizzate, si rimanda a quanto descritto in appendice.

Tabella 1. 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	$LF_{sp} = \min [LF_{sp} (1); LF_{sp} (2)]$	$LF_{sp} = LF_{sp} (1)$

VF_{samb} e VF_{ss}. Per la volatilizzazione da suolo (superficiale e profondo) in ambienti outdoor viene data la possibilità di attivare alcune opzioni di calcolo. Nello specifico viene data la possibilità di tener conto, nel caso in cui la contaminazione nel suolo superficiale non si estenda fino al piano campagna (ovvero $L_s > 0$), dell'eventuale attenuazione subita dal contaminante durante il trasporto nella porzione di suolo non contaminato (mediante l'utilizzo dell'equazione VF_{samb}). Per contaminazione nel suolo profondo è possibile inoltre verificare che la volatilizzazione da suolo profondo non risulti superiore a quella che si avrebbe per contaminazione nel suolo superficiale (scegliendo il fattore di

² 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.

trasporto minore tra α_{samb} e α_{ss})³. Per maggiori dettagli si rimanda alle equazioni per il calcolo dei fattori di trasporto riportati in appendice.

Visualizza CSR anche quando $CSR > Csat$. In alcuni casi⁴ le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) calcolate possono risultare superiori alla Concentrazione di Saturazione ($Csat$). In questo caso ($CSR > Csat$) non vengono restituiti i valori limite per le vie che saturano (volatilizzazione e lisciviazione), ma viene indicato che si è in condizioni di saturazione. Se viene attivata questa opzione, la CSR calcolata viene comunque visualizzata negli output (tra parentesi quadre) anche quando maggiore alla concentrazione di saturazione. Tale opzione può risultare particolarmente utile per verificare di quanto la CSR teorica risulti superiore a quella di saturazione (che dipende dalle caratteristiche del sito definite dall'utente).

Limita CRS a $Csat$. Se viene attivata questa opzione, nel caso di condizioni di saturazione ($CRS > Csat$) per i contatti non diretti (volatilizzazione e lisciviazione) le CRS (Concentrazioni Rappresentative alla sorgente) definite nel caso di applicazione dell'Analisi di Rischio in modalità diretta (Calcolo del Rischio), vengono sostituite con la Concentrazione di Saturazione ($Csat$). Per i contatti diretti (ad es. ingestione e contatto dermico) tali concentrazioni, seppur superiori alla saturazione sono implementate tal quali nel software, in quanto il recettore può venire a contatto con il contaminante anche in fase separata.

Attenuazione nel suolo (Soil Attenuation Model, SAM). Attivando questa opzione nel calcolo del fattore di trasporto per lisciviazione in falda si tiene conto dell'attenuazione dell'inquinante durante il percorso di lisciviazione da suolo in falda. Per maggiori dettagli si rimanda alle equazioni per il calcolo dei fattori di trasporto riportati in appendice.

Fattore di attenuazione in falda (DAF). 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.

In tale schermata è inoltre possibile definire se utilizzare automaticamente il $DAF(3)$ nel

³ Si sottolinea che tale verifica viene effettuata anche per il soil-gas in cui viene scelto il valore minore tra α_{samb} e α_{ss} .

⁴ Tale condizione si verifica spesso per i contaminanti poco solubili come gli Idrocarburi Policiclici Aromatici.

caso in cui lo spessore di miscelazione coincide con lo spessore della falda e se considerare la biodegradazione durante il trasporto nel caso in cui vengano definite nella banca dati le costanti di biodegradazione per i diversi contaminanti selezionati.

Unità di Misura. Da qui è possibile selezionare se inserire i parametri inerenti la geometria del sito e della sorgente espressi in cm o in m.

C soil-gas. Permette di attivare o disattivare l'utilizzo delle concentrazioni del soil-gas (se definite dall'utente) per i percorsi volatilizzazione indoor e outdoor.

INPUT

Dalla finestra di dialogo “Input” della schermata principale (Figura 5) si accede alle diverse sezioni per la definizione del modello concettuale, dei contaminanti indicatori e dei parametri di input richiesti.

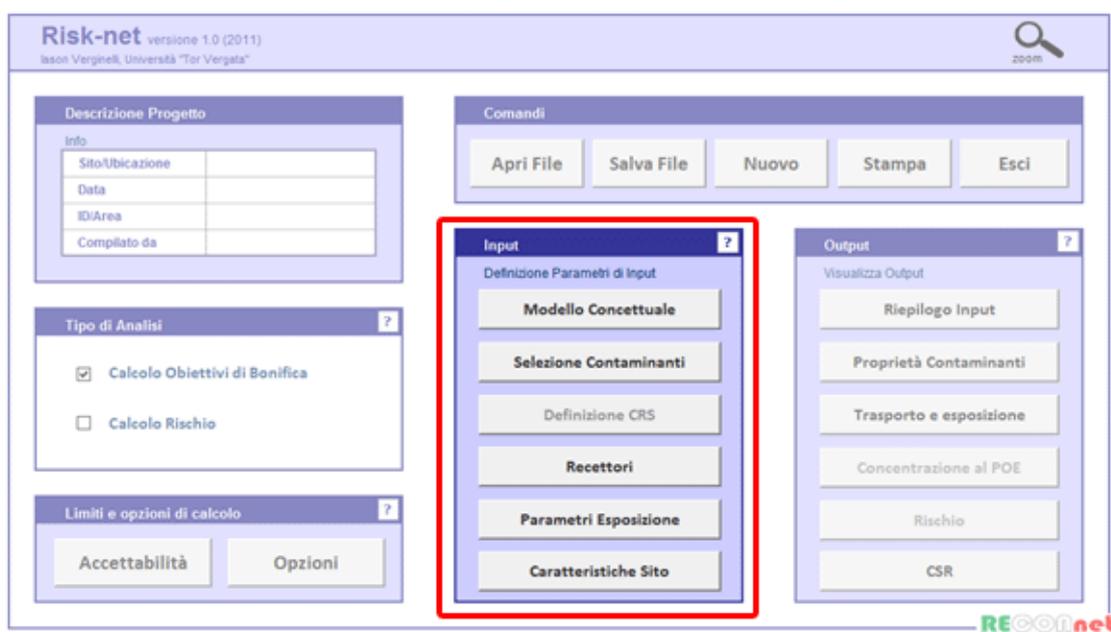


Figura 5. Finestra di dialogo per l'accesso alle diverse schermate di Input.

MODELLO CONCETTUALE

Nella definizione del modello concettuale l'utente deve selezionare, per ciascuna matrice, le vie di migrazione e di esposizione attive nel sito.

In accordo con quanto previsto dalle linee guida APAT-ISPRA (2008), vengono considerate in maniera distinta le seguenti sorgenti secondarie⁵: 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 giallo 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

⁽⁵⁾ 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).

Input

ricostruzione incompleta del modello concettuale.

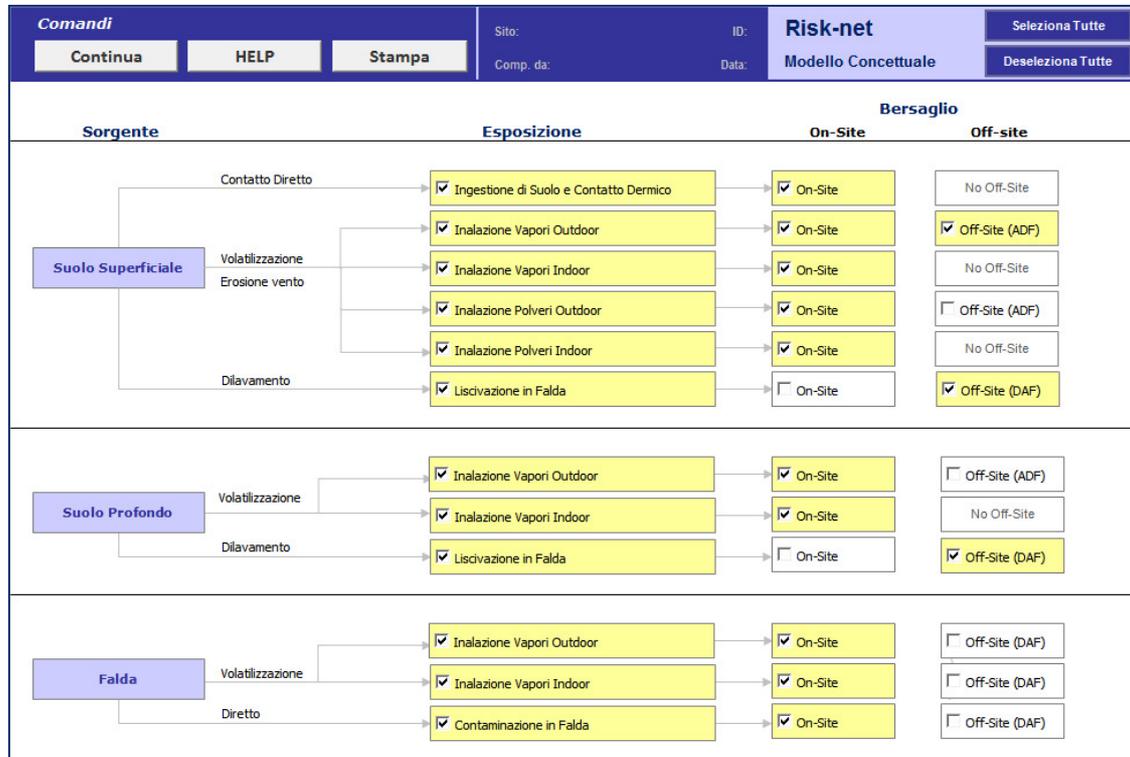


Figura 6. Definizione del modello concettuale.

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

Per alcune vie di esposizione è possibile definire dei percorsi off-site (ovvero al di fuori del sito). Per tali bersagli si distingue il trasporto al di fuori del sito dovuto a dispersione in aria (rappresentato dal simbolo ADF tra parentesi) o al trasporto in falda (rappresentato con il simbolo DAF).

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

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}	$VF_{wamb} \times DAF$
	Inalazione di Vapori Indoor	VF_{wesp}	$VF_{wesp} \times DAF$
	Contaminazione in falda	Diretto	DAF

>> **Contaminanti.** Avvia la Userform di inserimento dei contaminanti.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

Banca Dati. Si accede al database per visualizzare, modificare o inserire nuovi contaminanti.

Selezione del Database. Al primo accesso alla schermata di inserimento dei contaminanti viene richiesto il database da utilizzare (Figura 8). E' possibile utilizzare la banca dati interna al software ('Database di Default' in cui è implementata la banca dati ISS-ISPEL, 2009) o utilizzare il file esterno modificabile (file .xls 'Banca Dati_RCN' che si trova nella stessa cartella del software). Caricando il file esterno viene disattivata la funzione di calcolo automatico dei coefficienti di ripartizione Koc e Kd che dipendono dal valore di pH definito nel sito. La scelta del Database da utilizzare può essere modificata in seguito direttamente dal foglio Banca Dati a cui si accede dal pulsante "Banca Dati".



Figura 8. Selezione Database.

Selezione contaminanti indicatori. Definito il database da utilizzare si avvia automaticamente la Userform di inserimento dei contaminanti (Figura 9). In accordo con quanto previsto dalle linee guida APAT-ISPRA è possibile definire in maniera distinta i contaminanti rilevati nel suolo superficiale, suolo profondo e falda.

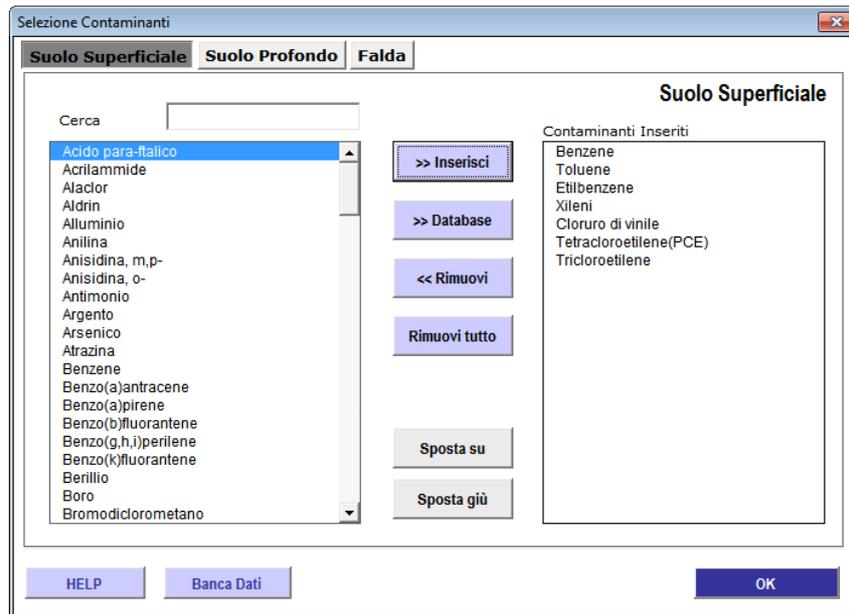


Figura 9. Selezione contaminanti indicatori.

Con riferimento alla Figura 9, la colonna a sinistra riporta i contaminanti presenti nel database. Dalla casella di testo “cerca” è possibile accelerare la ricerca digitando le iniziali del composto desiderato. Una volta individuato, selezionarlo e premere il tasto “>> Inserisci” (o doppio click sul contaminante selezionato) ed il contaminante verrà aggiunto nella colonna di destra.

Qualora si voglia rimuovere un composto precedentemente inserito, è sufficiente selezionarlo sulla colonna di destra e premere il tasto “<< Rimuovi” (o doppio click sul contaminante selezionato). Per eliminare tutti i contaminanti inseriti premere il tasto “Rimuovi Tutto”. Il Software permette di inserire anche tutti le sostanze presenti nel database (“>> Database”).

I tasti “Sposta su” e “Sposta giù” permettono di ordinare l'elenco dei contaminanti inseriti.

L'inserimento dei contaminanti deve essere ripetuto per ciascuna matrice contaminata attivata nel modello concettuale. Per far questo è necessario accedere alle diverse schede, dai pulsanti “Suolo Superficiale”, “Suolo Profondo” e “Falda” posizionati nella Userform in alto a sinistra. Si sottolinea che nella Userform vengono mostrate solo le schede delle matrici attivate precedentemente durante la ricostruzione del modello concettuale del sito.

Per la scheda Suolo Profondo, oltre ai comandi precedentemente descritti compare il pulsante “>> Elenco SS”. Tale pulsante permette di inserire per la matrice suolo profondo gli stessi contaminanti inseriti per il suolo superficiale.

Per la scheda Falda compare il pulsante “>> Elenco SP”. Tale pulsante permette di inserire per la matrice selezionata gli stessi contaminanti inseriti per il suolo profondo.

Una volta terminato, per completare il processo di inserimento premere il tasto “Continua” posizionato nella Userform in basso a destra.

Comandi della Userform di inserimento dei contaminanti indicatori

Suolo Superficiale. Si accede alla Userform di inserimento dei contaminanti indicatori del suolo superficiale.

Suolo Profondo. Si accede alla Userform di inserimento dei contaminanti indicatori del suolo profondo.

Falda. Si accede alla Userform di inserimento dei contaminanti indicatori della falda.

Help Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

>> Inserisci. Inserisce per la matrice contaminata il contaminante selezionato

<< Rimuovi. Elimina per la matrice contaminata il contaminante selezionato

Rimuovi Tutto. Rimuove tutti i contaminanti indicatori inseriti per la matrice selezionata.

Sposta su, Sposta giù. Permettono di ordinare l'elenco dei contaminanti inseriti.

>> Elenco SS. Inserisce per la matrice suolo profondo gli stessi contaminanti inseriti per il suolo superficiale.

>> Elenco SP. Inserisce per la falda gli stessi contaminanti inseriti per il suolo profondo.

Continua. Completa il processo di inserimento dei contaminanti indicatori.

Banca Dati. Si accede al database per visualizzare, modificare o inserire nuovi composti.

BANCA DATI

Dal pulsante “Banca Dati” della Userform di inserimento dei contaminanti indicatori si accede al database caricato nel software (Figura 10). Da qui è possibile visualizzare le proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti presenti nel database selezionato.

Nel software, come descritto nel paragrafo “Contaminanti Indicatori” (pag. 23), è possibile utilizzare la banca dati interna al software (‘Database di Default’ in cui è implementata la banca dati ISS-ISPEL, 2009) o utilizzare il file esterno modificabile (file .xls ‘Banca Dati_RCN’ che si trova nella stessa cartella del software). Nel caso di utilizzo del database di default il software calcola automaticamente i coefficienti di ripartizione

Input

Koc e Kd in funzione del pH definito nel sito. Tale opzione viene disattivata nel caso di utilizzo del database esterno.

Comandi			Risk-net Banca Dati												
Continua	Carica DB Default	Carica DB Esterno													
Ricerca	Modifica DB Default	Apri DB Esterno													
HELP	Kd e Koc --> f(pH)	Stampa													
Database di Default															
ID	Contaminanti	Numero CAS	Classe	Peso Molecolare [g/mole]	Solubilità [mg/L]	Rif.	Pressione di vapore [mm Hg]	Rif.	Costante di Henry [adim.]	Rif.	Koc/Kd f(pH)	Koc [mg/Kg/mg/L]	Kd [mg/Kg/mg/L]	Rif.	log Kow [adim.]
1	Acido para-ftalico	100-21-0	Altre sostanze	166.14	2.00E+03	6	1.21E+02	4	5.41E-01	6		6.67E+01		11	8.20E-01
2	Acilammide	79-06-1	Altre sostanze	71.08	2.05E+06	4	1.20E-02	16	5.63E-08	4		1.07E-01		4	-6.70E-01
3	Aldiclor	15972-60-8	Fitofarmaci	269.77	2.40E+02	4	2.16E-05	4	8.90E-07	4		1.70E+02		4	2.80E+00
4	Aldrin	309-00-2	Fitofarmaci	364.90	1.80E-01	1	2.27E-04	4	6.97E-03	1		4.87E+04		1	6.50E+00
5	Alluminio	7429-90-5	Composti Inorganici	26.98	5.94E+04	23	8.74E-10	23					1.50E+03	23	
6	Anilina	62-53-3	Ammine aromatiche	93.10	3.61E+04	4	4.90E-01	23	4.49E-05	6		4.48E+01		23	9.00E-01
7	Anisidina, m,p-	536-90-3	Ammine aromatiche	123.20	1.30E+05	6	5.18E-03	6	1.75E-06	6		6.73E+00		11	1.61E+00
8	Anisidina, o-	90-04-0	Ammine aromatiche	123.17	1.30E+05	6	5.18E-03	6	1.75E-06	6		6.73E+00		11	1.61E+00
9	Antimonio	7440-36-0	Composti Inorganici	121.80	1.00E+06	18		23					4.50E+01	1	
10	Argento	7440-22-4	Composti Inorganici	107.90	1.00E+06			23			f(pH)		8.30E+00		
11	Arsenico	7440-38-2	Composti Inorganici	74.90	4.41E+05	19		23			f(pH)		2.90E+01	1	
12	Atrazina	1912-24-9	Fitofarmaci	215.70	3.00E+01	4	8.93E-06	4	1.17E-07	4		7.48E+02		1	2.75E+00
13	Benzene	71-43-2	Aromatici	78.10	1.75E+03	1	9.53E+01	4	2.28E-01	1		6.20E+01		1	2.13E+00
14	Benzo(a)antracene	56-55-3	Aromatici policiclici	228.30	9.40E-03	1	4.55E-06	4	1.37E-04	1		3.58E+05		1	5.70E+00
15	Benzo(a)pirene	50-32-8	Aromatici policiclici	252.30	1.62E-03	1	5.68E-04	ps	4.63E-05	1		9.69E+05		1	6.11E+00
16	Benzo(b)fluorantene	205-99-2	Aromatici policiclici	252.30	1.50E-03	1	6.67E-07	16	4.55E-03	1		1.23E+06		1	6.20E+00
17	Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2	Aromatici policiclici	276.30	7.00E-04	2	1.69E-07	4	3.00E-05	4		1.60E+06		2	6.51E+00
18	Benzo(k)fluorantene	207-08-9	Aromatici policiclici	252.30	8.00E-04	1	3.09E-08	4	3.45E-05	1		1.23E+06		1	6.20E+00
19	Berillio	7440-41-7	Composti Inorganici	9.01	1.00E+06	18	2.59E-20	23					7.90E+02	1	
20	Boro	7440-42-8	Composti Inorganici	10.81	4.37E+04	23	1.24E-07	23					3.00E+00	23	
21	Bromodichlorometano	75-27-4	Alifatici alogenati cancerogeni	163.80	6.74E+03	4	5.00E+01	4	9.82E-02	4		5.50E+01		4	2.10E+00
22	Cadmio	7440-43-9	Composti Inorganici	112.40	6.51E+05	19	8.98E-18	23					7.50E+01	1	

Figura 10. Database Risk-net

Modifica del Database di Default. Nel caso di utilizzo del database di default è possibile modificare alcuni parametri premendo il pulsante “Modifica DB Default”. Tale pulsante sblocca la schermata di inserimento e l'utente può modificare i parametri della banca dati ISS-ISPEL. Tali modifiche permangono esclusivamente per la simulazione corrente (all'avvio di una nuova simulazione o caricando nuovamente la banca dati di default vengono ripristinati i valori originali definiti nel database ISS-ISPEL). Le modifiche vengono evidenziate in rosso e nelle diverse schermate di riepilogo viene riportato che si sta utilizzando il “Database di Default modificato” e i contaminanti modificati vengono indicati con un asterisco.

Accesso e modifica del database esterno. Nel caso in cui si vogliono inserire nuovi contaminanti o nel caso in cui si vogliono utilizzare parametri diversi da quelli definiti nella banca dati ISS-ISPEL è possibile utilizzare il database esterno (Figura 11).

Si accede a tale banca dati dal pulsante “Apri DB Esterno” riportato nella schermata della banca dati (Figura 10) o in alternativa è possibile aprire direttamente il file .xls ‘Banca Dati_RCN’ riportato nella stessa cartella del software. In questa schermata è possibile apportare tutte le modifiche o integrazioni desiderate. Durante tali operazioni si deve prestare attenzione a non modificare l'ordine o il numero delle colonne e a non lasciare righe vuote (il software carica il database esterno fino alla prima riga vuota). Una volta terminato è necessario salvare il file non modificando il nome (‘Banca Dati_RCN’). Per caricare il database esterno premere il pulsante “Carica DB esterno” riportato nella schermata della banca dati (Figura 10).

Input

Risk-net									
Banca Dati Esterna									
Istruzioni: Non eliminare ne inserire nuove colonne; Il File si deve chiamare 'Banca Dati_RCN'									
ID	Composti	Numero CAS	Classe	Peso Molecolare [g/mole]	Solubilità [mg/L]	Rif.	Pressione di vapore [mm Hg]	Rif.	Costante di Henry [adim.]
1	Acido para-ftalico	100-21-0	Altre sostanze	166.14	2.00E+03	6	1.21E+02	4	5.41E-01
2	Acrilammide	79-06-1	Altre sostanze	71.08	2.05E+06	4	1.20E-02	16	5.83E-08
3	Alaclor	15972-60-8	Fitofarmaci	269.77	2.40E+02	4	2.16E-05	4	8.90E-07
4	Aldrin	309-00-2	Fitofarmaci	364.90	1.80E-01	1	2.27E-04	4	6.97E-03
5	Alluminio	7429-90-5	Composti Inorganici	26.98	5.94E+04	23	8.74E-10	23	
6	Anilina	62-53-3	Ammine aromatiche	93.10	3.61E+04	4	4.90E-01	23	4.49E-05
7	Anisidina, m,p-	536-90-3	Ammine aromatiche	123.20	1.30E+05	6	5.18E-03	6	1.75E-06
8	Anisidina, o-	90-04-0	Ammine aromatiche	123.17	1.30E+05	6	5.18E-03	6	1.75E-06
9	Antimonio	7440-36-0	Composti Inorganici	121.80	1.00E+06	18		23	
10	Argento	7440-22-4	Composti Inorganici	107.90	1.00E+06			23	
11	Arsenico	7440-38-2	Composti Inorganici	74.90	4.41E+05	19		23	
12	Atrazina	1912-24-9	Fitofarmaci	215.70	3.00E+01	4	8.93E-06	4	1.17E-07
13	Benzene	71-43-2	Aromatici	78.10	1.75E+03	1	9.53E+01	4	2.28E-01
14	Benzo(a)antracene	56-55-3	Aromatici policiclici	228.30	9.40E-03	1	4.55E-06	4	1.37E-04
15	Benzo(a)pirene	50-32-8	Aromatici policiclici	252.30	1.62E-03	1	5.68E-04	ps	4.63E-05
16	Benzo(b)fluorantene	205-99-2	Aromatici policiclici	252.30	1.50E-03	1	6.67E-07	16	4.55E-03
17	Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2	Aromatici policiclici	276.30	7.00E-04	2	1.69E-07	4	3.00E-05
18	Benzo(k)fluorantene	207-08-9	Aromatici policiclici	252.30	8.00E-04	1	3.09E-08	4	3.45E-05
19	Berillio	7440-41-7	Composti Inorganici	9.01	1.00E+06	18	2.59E-20	23	
20	Boro	7440-42-8	Composti Inorganici	10.81	4.37E+04	23	1.24E-07	23	
21	Bromodichlorometano	75-27-4	Alifatici alogenati cancerogeni	163.80	6.74E+03	4	5.00E+01	4	9.82E-02
22	Cadmio	7440-43-9	Composti Inorganici	112.40	6.51E+05	19	8.98E-18	23	
23	Cianuri (liberi)	57-12-5	Composti Inorganici	27.00	1.00E+05	23	7.42E+02	23	1.10E-06
24	Clordano	57-74-9	Fitofarmaci	409.80	5.60E-02	1	1.99E-05	4	1.99E-03
25	Clorofenolo, 2-	95-57-8	Fenoli clorurati	128.60	2.20E+04	1	2.11E+00	7	1.60E-02
26	Clorometano	74-87-3	Alifatici clorurati cancerogeni	50.50	5.24E+03	4	4.28E+03	4	3.95E-01
27	Cloronitrobenzeni	100-00-5	Nitrobenzeni	157.60	2.00E+02	5	3.00E-02	5	6.50E-04
28	Cloruro di vinile	75-01-4	Alifatici clorurati cancerogeni	62.50	2.76E+03	1	2.66E+03	4	1.11E+00

Figura 11. Banca Dati Esterna.

Kd e Koc funzione del pH. Premendo il pulsante “Kd e Koc → pH” è possibile visualizzare i valori di Koc e Kd che sono funzione del pH. Per maggiori dettagli si rimanda all'Appendice 6.

Conversione Parametri Tossicologici. Premendo il pulsante “Conversione parametri tossicologici” è possibile accedere alla schermata per la conversione dei parametri tossicologici inerenti l'inalazione outdoor e indoor. Nello specifico da tale schermata è possibile convertire le Reference dose (RfD) e gli Slope Factor (SF) rispettivamente in Reference Concentration (RfC) e Unit Risk factor (URF) e viceversa.

Ricerca Contaminanti. Per velocizzare il processo di ricerca e di visualizzazione dei parametri chimico-fisici e tossicologici dei diversi contaminanti è possibile utilizzare la Userform riportata in Figura 12 (si accede dal pulsante “Ricerca” riportato nella schermata della banca dati). In questa schermata è possibile selezionare il contaminante da visualizzare o effettuare una ricerca in base al nome o al numero C.A.S. Una volta terminato premendo il pulsante “Chiudi” si ritorna alla schermata della banca dati.

Input

The screenshot displays the 'Database Composti' application window. It is divided into two main sections: 'Ricerca composto' and 'Proprietà composto'.

Ricerca composto:

- Composto da cercare: [Empty text box]
- Dropdown menu with options: Argento, Arsenico, Atrazina, Benzene (selected).
- Ricerca Avanzata: Composto da cercare: [Empty text box]
- Opzioni: Cerca Nome Composto, Cerca Numero C.A.S.
- [Cerca] button

Proprietà composto:

Composto	Benzene	Cat. Carc. UE	1
Numero C.A.S	71-43-2	Classe Cancer. EPA	A
Classe	Aromatici	SF Ing. [mg/kg/day]-1	5.5E-02
Peso Molecolare [g/mole]	78.1	SF Inal. [mg/kg/day]-1	2.7E-02
Solubilità [mg/litro]	1.8E+03	RfD Ing. [mg/kg/day]	4.0E-03
Pressione di vapore [mm Hg]	9.5E+01	RfD Inal. [mg/kg/day]	8.6E-03
Costante di Henry [adim.]	2.3E-01	ABS [adim.]	0.1
Koc [mL/g]	6.2E+01	λ [1/day]	
Kd [mL/g]		CSC Residenziale: Suolo [mg/kg]	1.0E-01
log Kow [adim.]	2.13	CSC Industriale: Suolo [mg/kg]	2.0E+00
Coeff. Diff. Aria [cm ² /sec]	8.8E-02	CSC: Falda [mg/L]	1.0E-03
Coeff. Diff. Acqua [cm ² /sec]	9.8E-06		

[Chiudi] button

Figura 12. Ricerca dei parametri dei contaminanti presenti nel database.

CONCENTRAZIONE RAPPRESENTATIVA ALLA SORGENTE

Nel caso di applicazione in modalità diretta ("forward") l'utente deve definire, per ciascun contaminante, la concentrazione rappresentativa alla sorgente (Figura 13). Si accede a tale schermata dal menù principale dal pulsante "Definizione CRS".

Come dati di input vengono richiesti le concentrazioni espresse come mg/kg di sostanza secca (per il suolo) e come mg/L per la falda.

Input

Comandi				Site		ID: Risk-net					
Continua	CRS MADEP	HELP	Stampa	Comp. da	Data	Concentrazione rappresentativa alla sorgente (CRS)					
Suolo Superficiale				Suolo Profondo				Falda			
Contaminanti				Contaminanti				Contaminanti			
CRS [mg/kg s.s.]				CRS [mg/kg s.s.]				CRS [mg/L]			
CRS soil-gas [mg/m ³]				CRS soil-gas [mg/m ³]				CRS soil-gas [mg/m ³]			
Benzene	5.00E+01	5.00E+01		Alifatici C5-C8	2.00E+01						
Etilbenzene	3.50E+01	4.50E+01		Aromatici C9-C10	3.50E+01						
Toluene	1.50E+01	2.50E+01		Alifatici C9-C18	2.50E+01						
Xileni	2.00E+01	5.00E+02		Alifatici C19-C36	4.50E+01						
Alifatici C5-C8	1.50E+01			Aromatici C11-C22	5.50E+01						
Aromatici C9-C10	1.00E+01										
Alifatici C9-C18	1.20E+01										
Alifatici C19-C36	4.50E+01										
Aromatici C11-C22	6.00E+01										

Figura 13. Definizione della Concentrazione Rappresentativa alla Sorgente.

Soil-Gas. Qualora disponibili, è possibile inserire le concentrazioni del soil-gas (esprese come mg/m³) che verranno utilizzate per il calcolo dei percorsi di volatilizzazione indoor ed outdoor (opzione aggiuntiva rispetto a quanto previsto nelle linee guida APAT-ISPRA, 2008). Nel caso in cui non vengano inseriti valori per il soil-gas, per tali vie di migrazione, vengono utilizzati i dati di concentrazione totali, applicando i modelli di ripartizione previsti dal documento APAT-ISPRA (2008).

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

CRS MADEP. Permette di stimare le concentrazioni nelle diverse classi MADEP in funzione delle concentrazioni misurate per le diverse classi di Idrocarburi.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

CRS MADEP. Nel caso di contaminazione da Idrocarburi è possibile stimare le concentrazioni nelle diverse classi MADEP in funzione delle concentrazioni misurate per le diverse classi di idrocarburi (Figura 14). Si accede a tale schermata dal pulsante "CRS MADEP"⁶ riportato nella schermata di inserimento delle Concentrazioni Rappresentative alla sorgente (Figura 13).

Da qui è possibile definire, in maniera distinta per suolo e falda, le concentrazioni nelle diverse frazioni di idrocarburi (a tal fine viene richiesto se inserire le concentrazioni per singole classi o, se disponibile, facendo riferimento alle concentrazioni secondo la classificazione MADEP).. Successivamente premendo il pulsante "Calcola" vengono stimate le concentrazioni (CRS) e le frazioni per le diverse classi MADEP. Le frazioni

⁶ Attivo solo nel caso in cui venga inserita almeno una classe MADEP

Input

stimate possono essere esportate per il successivo calcolo delle CSR per gli Idrocarburi Totali, Idrocarburi C<12 e Idrocarburi C>12 (in accordo con quanto definito dalla normativa vigente).

Dal pulsante “Definizione CRS” si ritorna alla schermata di definizione delle concentrazioni rappresentative alla sorgente.

Comandi

Definizione CRS
CSR MADEP
HELP
Stampa

Sito:
ID: Risk-net

Comp. da:
Data:
Stima classi MADEP da speciazione idrocarburi

Definizione concentrazioni Idrocarburi
 Classi MADEP Single frazioni

SUOLO SUPERFICIALE

Inserire concentrazione per ciascuna classe

Classi MADEP	CRS mg/kg s.s	C<=>12
Alifatici C5-C8		C<12
Aromatici C9 - C10		C<12
Alifatici C9 - C12		C<12
Alifatici C13 - C18		C>12
Alifatici C19 - C36		C>12
Aromatici C11 - C12		C<12
Aromatici C13 - C22		C>12
Altre Classi		---

Calcola
Esporta Frazioni per Calcolo CSR

Classi MADEP	CRS [mg/kg s.s.]	Frazioni C < 12	Frazioni C > 12	Frazioni HC Totali
Alifatici C5-C8			---	
Aromatici C9 - C10			---	
Alifatici C9 - C18	C9 - C12		---	
	C13 - C18		---	
Alifatici C19 - C36			---	
Aromatici C11 - C22	C11 - C12		---	
	C13 - C22		---	
Altre Classi				

Idrocarburi C<12	mg/kg s.s.
Idrocarburi C>12	mg/kg s.s.
Idrocarburi Totali	mg/kg s.s.

SUOLO PROFONDO

Inserire concentrazione per ciascuna classe

Classi MADEP	CRS mg/kg s.s	C<=>12
Alifatici C5-C8		C<12
Aromatici C9 - C10		C<12
Alifatici C9 - C12		C<12
Alifatici C13 - C18		C>12
Alifatici C19 - C36		C>12
Aromatici C11 - C12		C<12
Aromatici C13 - C22		C>12
Altre Classi		---

Calcola
Esporta Frazioni per Calcolo CSR

Classi MADEP	CRS [mg/kg s.s.]	Frazioni C < 12	Frazioni C > 12	Frazioni HC Totali
Alifatici C5-C8			---	
Aromatici C9 - C10			---	
Alifatici C9 - C18	C9 - C12		---	
	C13 - C18		---	
Alifatici C19 - C36			---	
Aromatici C11 - C22	C11 - C12		---	
	C13 - C22		---	
Altre Classi				

Idrocarburi C<12	mg/kg s.s.
Idrocarburi C>12	mg/kg s.s.
Idrocarburi Totali	mg/kg s.s.

Figura 14. Stima classi MADEP da speciazione idrocarburi.

Comandi CRS MADEP

Definizione CRS. Ritorna alla schermata di inserimento delle concentrazioni rappresentative alla sorgente (CRS)

CSR MADEP. Permette di stimare le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) per gli Idrocarburi in funzione delle diverse classi MADEP individuate.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

DEFINIZIONE DEI RECETTORI

Dal pulsante “Recettori” della schermata principale si accede alla Userform di selezione dei bersagli all’interno o in prossimità del sito (Figura 15). L’utente deve scegliere tra le seguenti opzioni:

- ✓ Adulto (Ambito Residenziale o Ricreativo⁷)
- ✓ 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)

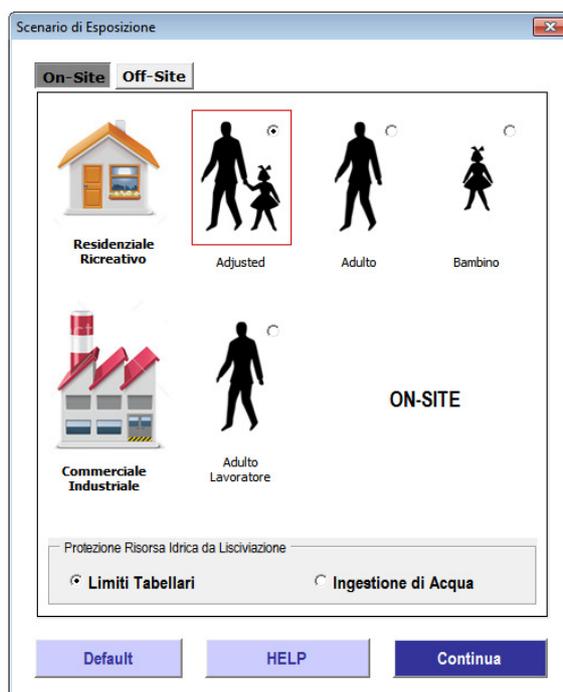


Figura 15. Selezione dello scenario di esposizione.

Nel caso in cui sia attiva la lisciviazione o il trasporto in falda, l’utente deve selezionare

⁽⁷⁾ 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 8 ore per un ambito residenziale.

se calcolare il rischio per la risorsa idrica⁸ (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 Userform in alto a destra. Nel caso in cui non siano attive vie di esposizione per i bersagli on-site o off-site le relative schede vengono oscurate.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Default. Imposta le opzioni di default del software in accordo con quanto previsto dalle linee guida APAT-ISPRA e dalla normativa (Esposizione "Adjusted" e Rispetto dei limiti tabellari nelle acque al punto di conformità).

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

PARAMETRI DI ESPOSIZIONE

Lo step successivo consiste nel definire i parametri di esposizione del sito in esame (Figura 16). Si accede a tale schermata dal pulsante "Parametri di Esposizione" riportato nella schermata principale. In tale contesto è necessario definire i parametri relativi alle esposizioni attive nel sito (on-site) e fuori dal sito (off-site).

La definizione dei parametri di esposizione descrive il modello di comportamento atteso per i diversi bersagli individuati. 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).

⁽⁸⁾ 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 [15].

Input

Comandi			Sito:		ID: Risk-net		Default ISPRA		
<input type="button" value="Continua"/> <input type="button" value="HELP"/> <input type="button" value="Stampa"/>			Comp. da:		Data:		Parametri di Esposizione		
Parametri di esposizione			Residenziale / Ricreativo		Industriale	Residenziale / Ricreativo		Industriale	
Simbolo	Unità di misura		Adulto	Bambino	Adulto	Adulto	Bambino	Adulto	
Fattori comuni			On-Site			Off-Site			
Peso corporeo	BW	kg	70	15	70	70	15	70	
Durata di esposizione sostanze cancerogene	ATc	anni	70			70			
Durata di esposizione sostanze non cancerogene	ED	anni	24	6	25	24	6	25	
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	250	350	350	250	
Ingestione di suolo									
Frazione di suolo ingerita	FI	adim	1	1	1	NA	NA	NA	
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno	100	200	50	NA	NA	NA	
Contatto dermico con suolo									
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²	5700	2800	3300	NA	NA	NA	
Fattore di aderenza dermica del suolo	AF	mg/cm ² /giorno	0.07	0.2	0.2	NA	NA	NA	
Inalazione di aria outdoor									
Frequenza giornaliera di esposizione	EFgo	ore/giorno	24	24	8	24	24	8	
Inalazione outdoor (a),(b)	Bo	m ³ /ora	0.9	0.7	2.5	0.9	0.7	2.5	
Frazione di particelle di suolo nella polvere	Fsd	adim	1			1			
Inalazione di aria Indoor									
Frequenza giornaliera di esposizione	EFgi	ore/giorno	24	24	8	24	24	8	
Inalazione indoor (b)	Bi	m ³ /ora	0.9	0.7	0.9	0.9	0.7	0.9	
Frazione indoor di polvere all'aperto	Fi	adim	1			1			
Ingestione di acqua potabile									
Tasso di ingestione di acqua	Rw	L/giorno	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 e 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.

Figura 16. Parametri di Esposizione.

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 scuro sono i dati non richiesti, mentre i dati da inserire sono riportati nelle celle in azzurro. Vengono inoltre evidenziati i valori che vengono modificati rispetto alle impostazioni di default.

Con il pulsante "Default ISPRA" si impostano i valori di default implementati nel software (Tabella 4). In tal caso nel software viene richiesto se impostare i dati di default per un ambito residenziale o per uno ricreativo (le differenze tra i due scenari sono evidenziate in Tabella 4). Per una descrizione dettagliata dei diversi valori si rimanda al documento APAT-ISPRA (2008).

Input

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.

Comandi

Continua. Tale pulsante permette di ritornare alla schermata principale.

Default. Imposta le opzioni di default del software in accordo con quanto previsto dalle linee guida APAT-ISPRA.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

CARATTERISTICHE SITO

Per il calcolo dei fattori di trasporto è necessario definire diversi parametri inerenti la geometria e le caratteristiche del sito (Figura 17). Si accede a tale schermata dal pulsante "Caratteristiche Sito" riportato nella finestra di dialogo "Input" della schermata principale. Da qui è possibile definire i diversi parametri che entrano in gioco nel calcolo dei fattori di trasporto. Per ciascun parametro, può essere definito il dato sito-specifico o impostare i valori di default forniti nel documento APAT-ISPRA.

I diversi parametri richiesti sono raggruppati in diversi sottogruppi "Zona Insatura", "Zona Saturata", "Ambiente Outdoor" e "Ambiente Indoor".

Per velocizzare il processo di inserimento vengono richiesti solo i dati utilizzati per il calcolo (caselle in celeste), in funzione delle matrici e delle vie di esposizione attive. Le caselle in grigio chiaro sono i dati non richiesti mentre in grigio scuro vengono evidenziati i dati calcolati o derivanti da stime indirette. Per una descrizione dei diversi parametri di input richiesti si rimanda al documento APAT-ISPRA (2008).

Comandi		Sito:	ID:	Risk-net		
Continua	Sblocca Input	HELP	Stampa	Caratteristiche Sito		
		Comp. da:	Data:	Default ISPRA		
Zona Insatura			Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
L_s (SS)	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	cm	0	0	0	ok
L_s (SP)	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm	100	100	100	ok
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	cm	100	100	100	ok
d_s	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	cm	200	200	200	ok
L_{GW}	Profondità del piano di falda	cm	300	300	300	ok
h_v	Spessore della zona insatura	cm	281.2	295	281.2	ok
$f_{oc, SS}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale	g-C/g-suolo	0.01	0.01	0.01	ok
$f_{oc, SP}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo profondo	g-C/g-suolo	0.01	0.01	0.01	ok
t_{LF}	Tempo medio di durata del lisciviato	anni	30	30	30	ok
pH	pH	adim.	6.8	6.8	6.8	ok
ρ_s	Densità del suolo	g/cm	1.7	1.7	1.7	ok
θ_e	Porosità efficace del terreno in zona insatura	adim.	Selezione Tessitura		0.353	ok
θ_w	Contenuto volumetrico di acqua	adim.			0.103	ok
θ_a	Contenuto volumetrico di aria	adim.	LOAMY SAND		0.25	ok
θ_{wcap}	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.			0.318	ok
θ_{acap}	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.			0.035	ok
h_{cap}	Spessore frangia capillare	cm	Tessitura selezionata: LOAMY SAND		18.8	
I_{ef}	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	30.0	no check
P	Piuvosità	cm/anno	---	---	129	no check
$f_{outdoor}$	Frazione areale di fratture outdoor	adim.	1	1	1	ok

Figura 17. Caratteristiche del sito

Selezione Tessitura. Per le caratteristiche specifiche della tipologia di terreno riscontrata nel sito, l'utente può scegliere, dal menù a tendina, se utilizzare i dati indicati nel documento APAT-ISPRA (2008) o definire dei dati sito-specifici selezionando dal menù a tendina la voce "--- CUSTOM ---". In Tabella 5 sono riportati i dati implementati nel software relativi alle diverse tipologie di terreno.

Input

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
--- CUSTOM ---	Definiti dall'Utente							

Infiltrazione Efficace. L'utente può scegliere se calcolare tale parametro in funzione della piovosità e della tipologia di terreno selezionata (si rimanda alle equazioni riportate in allegato per maggior dettaglio) o inserirlo manualmente.

Dispersività. L'utente può scegliere se inserirle manualmente o calcolarle in funzione della distanza dal punto di conformità (si rimanda alle equazioni riportate in allegato per maggior dettaglio).

Spessore della zona di miscelazione. L'utente può scegliere se inserirlo manualmente o calcolarlo in funzione delle caratteristiche del terreno e dell'acquifero (si rimanda alle equazioni riportate in allegato per maggior dettaglio).

Differenza di pressione tra indoor e outdoor. 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 attivare l'opzione " $\Delta p > 0$ " ed inserire i parametri aggiuntivi richiesti.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Input

Default ISPRA. Imposta le opzioni di default del software in accordo con quanto previsto dalle linee guida APAT-ISPRA e dalla normativa (Esposizione “Adjusted” e Rispetto dei limiti tabellari nelle acque al punto di conformità).

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

Sblocca Input. Sblocca le equazioni e i parametri di input non 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 18). In caso di inserimento di un parametro fuori dal range tipico o nel caso di definizione di parametri incoerenti, viene riportato un avviso nella colonna a destra di quella di input (colonna “check”). I parametri per i quali non viene effettuata tale verifica sono indicati nella colonna di controllo con “no check”.

Comandi				Sito:	ID:	Risk-net	
<input type="button" value="Continua"/> <input type="button" value="Sblocca Input"/> <input type="button" value="HELP"/> <input type="button" value="Stampa"/>				Comp. da:	Data:	Caratteristiche Sito	
Default ISPRA							
Zona Insatura		Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check		
L_s (SS)	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	cm	0	0	0	ok	
L_s (SP)	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm	100	100	100	ok	
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	cm	100	100	100	ok	
d_s	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	cm	200	200	300	ds > Lgw - Ls (SP)	
L_{GW}	Profondità del piano di falda	cm	300	300	300	ds + d > Lgw	
h_v	Spessore della zona insatura	cm	281.2	295	281.2	ok	
$f_{oc, SS}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale	g-C/g-suolo	0.01	0.01	0.01	ok	
$f_{oc, SP}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo profondo	g-C/g-suolo	0.01	0.01	0.01	ok	
t_{LF}	Tempo medio di durata del lisciviato	anni	30	30	30	ok	
pH	pH	adim.	6.8	6.8	6.8	ok	
ρ_s	Densità del suolo	g/cm	1.7	1.7	1.7	ok	
θ_e	Porosità efficace del terreno in zona insatura	adim.	Selezione Tessitura		0.353	ok	
θ_w	Contenuto volumetrico di acqua	adim.			0.103	ok	
θ_a	Contenuto volumetrico di aria	adim.	LOAMY SAND		0.25	ok	
θ_{wcap}	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.			0.318	ok	
θ_{acap}	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.			0.035	ok	
h_{cap}	Spessore frangia capillare	cm	Tessitura selezionata: LOAMY SAND		16.6	ok	
I_{ef}	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	30.0	no check	
P	Piuvosità	cm/anno	---	---	129	no check	
$\eta_{outdoor}$	Frazione areale di fratture outdoor	adim.	1	1	1	ok	

Figura 18. Controllo sugli errori di tipo concettuale.

Input

La verifica precedente analizza esclusivamente la coerenza (“concettuale”) dei parametri inseriti. Nel software è implementata un’ ulteriore verifica su errori di digitazione (ad es. formato non numerico o assenza di definizione).

Comandi: **Continua** **HELP** **Stampa** Sito: **Risk-net** ID: **Parametri di Esposizione** Default ISPRA
 Comp. da: Data:

Parametri di esposizione	Simbolo	Unità di misura	Residenziale / Ricreativo		Industriale	Residenziale / Ricreativo		Industriale
			Adulto	Bambino	Adulto	Adulto	Bambino	Adulto
Fattori comuni			On-Site			Off-Site		
Peso corporeo	BW	kg	70	15	70	70	15	70
Durata di esposizione sostanze cancerogene	ATc	anni	70	70	70	70	70	70
Durata di esposizione sostanze non cancerogene	ED	anni	24	6	25	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	250	350	350	250
Ingestione di suolo								
Frazione di suolo ingerita	FI	adim					NA	NA
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno					NA	NA
Contatto dermico con suolo								
Superficie di pelle esposta	SA	cm²					NA	NA
Fattore di aderenza dermica del suolo	AF	mg/cm²/giorno					NA	NA
Inalazione di aria outdoor								
Frequenza giornaliera di esposizione	EFgo	ore/giorno	24	24	8	24	24	8
Inalazione outdoor (a);(b)	Bo	m³/ora	0.9	0.7	2.5	0.9	0.7	2.5
Frazione di particelle di suolo nella polvere	Fsd	adim		1			1	
Inalazione di aria Indoor								
Frequenza giornaliera di esposizione	EFgi	ore/giorno	24	24	8	24	24	8
Inalazione indoor (b)	Bi	m³/ora	0.9	0.7	0.9	0.9	0.7	0.9
Frazione indoor di polvere all'aperto	Fi	adim		1			1	
Ingestione di acqua potabile								
Tasso di ingestione di acqua	IRw	L/giorno	2	1	1	2	1	1

Avviso di errore: Sono stati definiti in maniera errata alcuni parametri di input. Gli errori sono stati evidenziati in rosso.

Figura 19. Avviso di errato inserimento dei parametri di input.

In questo caso all’uscita dalla schermata di compilazione viene effettuata tale verifica e nel caso di uno più errori appare il warning riportato in Figura 19 e i parametri definiti in maniera errata vengono evidenziati in rosso. Per poter proseguire l’utente deve modificare i parametri errati. Le celle contenenti gli errori rimangono evidenziate in rosso fino al successivo accesso alla relativa schermata di compilazione.

OUTPUT

Dalla finestra di dialogo “Output” della schermata principale (Figura 20) si accede alle diverse schermate di riepilogo degli input e di visualizzazione degli output (intermedi e finali).

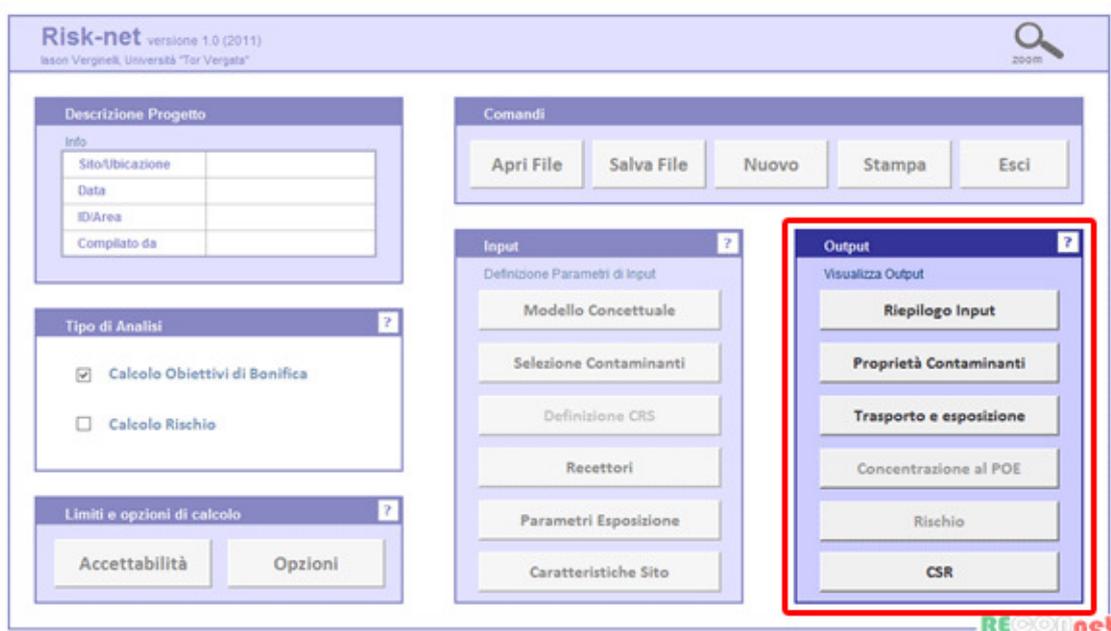


Figura 20. Finestra di dialogo per l'accesso alle diverse schermate di Output.

RIEPILOGO INPUT

Dal pulsante "Riepilogo Input" della schermata principale si accede alla schermata riportata in Figura 21. Da qui è possibile visualizzare le vie di migrazione e esposizione attive, i recettori, i limiti (rischio e indice di pericolo), le opzioni di calcolo, le caratteristiche del sito e i parametri di esposizione che saranno utilizzati per il calcolo degli obiettivi di bonifica (CSR, Concentrazioni Soglia di Rischio) e del Rischio.

Per le caratteristiche del sito, a fianco dei parametri definiti vengono indicati (nella colonna "note") quelli non utilizzati e quelli non modificati rispetto a quelli di default.

Output

Comandi				Risk-net		
Continua				Riepilogo Input		
Caratteristiche Sito						
Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore	Note		
Zona Satura						
L_{s0}	Profondità della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	m	0	Out/ok		
L_{s1}	Profondità della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	m	1	Out/ok		
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (struttura)	adm	1.8	Out/ok		
d_1	Spessore della sorgente nel suolo profondo (struttura)	m	2	Out/ok		
L_{s2}	Profondità del piano di falda	m	3	Out/ok		
R_{s1}	Spessore della zona satura	m	2.812	Out/ok		
R_{s2}	Frazione di carbonio organico nel suolo satura	p-Cip=carbon	0.01	Out/ok		
t_{s1}	Tempo medio di durata del flusso	anni	NA	Non Richiesto		
pH	Spessore acqueo	adm	6.8	Out/ok		
R_v	Densità del suolo	g/cm ³	1.7	Out/ok		
R_{v1}	Porosità efficace del terreno in zona satura	adm	0.353	Out/ok		
R_{v2}	Contenuto volumetrico di acqua	adm	0.183	Out/ok		
R_{v3}	Contenuto volumetrico di aria	adm	0.25	Out/ok		
R_{v4}	Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare	adm	0.318	Out/ok		
R_{v5}	Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	adm	1.025	Out/ok		
R_{v6}	Spessore frangia capillare	m	0.188	Out/ok		
L_f	Infiltrazione efficace	cm/min	29.95	Out/ok		
P	Porosità	cm/min	129	Out/ok		
R_{v7}	Frazione areale di fratture outdoor	adm	1	Out/ok		
Zona Satura						
W	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	m	45	Out/ok		
S_{10}	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	m	4.50E+01	Out/ok		
K_{sat}	Spessore acqueo	m	2.00E+00	Out/ok		
K_{sat1}	Conduttività idraulica del terreno satura	m/s	7.50E-06	Out/ok		
i	Gradiente idraulico	adm	0.01	Out/ok		
V_{D1}	Velocità di Darcy	m/s	7.50E-07	Out/ok		
V_{D2}	Velocità media effettiva nella falda	m/s	2.24E-06	Out/ok		
R_{v8}	Porosità efficace del terreno in zona satura	adm	0.353	Out/ok		
R_{v9}	Frazione di carbonio organico nel suolo satura	p-Cip=carbon	1.00E-03	Out/ok		
POC	Densità reattiva off site (D ₁)	m	1.00E+02	Out/ok		
A_x	Dispersività longitudinale	m	10.0	Out/ok		
A_y	Dispersività trasversale	m	3.3	Out/ok		
A_z	Dispersività verticale	m	0.5	Out/ok		
$\Delta\rho$	Spessore della zona di miscelazione in falda	m	2.0	Out/ok		
LDF	Fattore di diluizione in falda	adm	4.70E+00	Out/ok		
Ambiente Outdoor						
Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore	Note		
Ambiente Outdoor						
A_{out}	Addezza nella zona di miscelazione	m	2	Out/ok		
W'	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	m	45	Out/ok		
S'_{10}	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	m	NA	Non Richiesto		
U_{dir}	Velocità del vento	m/s	2.25E+00	Out/ok		
P_{a1}	Porosità di particelle per unità di superficie	g/cm ²	6.50E-14	Out/ok		
t_{a1}	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	30	Out/ok		
Temperatura dell'aria (T_a)						
OT_1	Coefficiente di dispersione trasversale	m	NA	Non Richiesto		
OT_2	Coefficiente di dispersione verticale	m	NA	Non Richiesto		
Ambiente Indoor						
Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore	Note		
Edificio On-Site						
Z_{fond}	Profondità fondazioni da p.c.	m	0.15	Out/ok		
L_{fond}	Spessore delle fondazioni	m	0.15	Out/ok		
q	Frazione areale di fratture	adm	0.01	Out/ok		
L_{a1}	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione	m	2	Out/ok		
R_{v10}	Contenuto volumetrico di acqua nelle fratture	adm	0.12	Out/ok		
R_{v11}	Contenuto volumetrico di aria nelle fratture	adm	0.26	Out/ok		
ER	Tasso di ricambio di aria indoor	1/s	0.00014	Out/ok		
t_{indoor}	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	30	Out/ok		
Δp	Differenza di pressione tra indoor e outdoor	g/cm ² /s	NA	Non Richiesto		
K_{a1}	Permeabilità del suolo al flusso di vapore	m ²	NA	Non Richiesto		
A_{a1}	Superficie totale convoluta nell'infiltrazione	m ²	NA	Non Richiesto		
X_{a1}	Permeabilità delle fondazioni	m	NA	Non Richiesto		
P_{a1}	Velocità del vapore	g/cm ² /s	NA	Non Richiesto		
Edificio Off-Site						
Z_{fond}	Profondità fondazioni da p.c.	m	NA	Non Richiesto		
L_{fond}	Spessore delle fondazioni	m	NA	Non Richiesto		
q	Frazione areale di fratture	adm	NA	Non Richiesto		
L_a	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione	m	NA	Non Richiesto		
R_{v10}	Contenuto volumetrico di acqua nelle fratture	adm	NA	Non Richiesto		
ER	Tasso di ricambio di aria indoor	1/s	NA	Non Richiesto		
t_{indoor}	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	NA	Non Richiesto		
Δp	Differenza di pressione tra indoor e outdoor	g/cm ² /s	NA	Non Richiesto		
K_{a1}	Permeabilità del suolo al flusso di vapore	m ²	NA	Non Richiesto		
A_{a1}	Superficie totale convoluta nell'infiltrazione	m ²	NA	Non Richiesto		
X_{a1}	Permeabilità delle fondazioni	m	NA	Non Richiesto		
P_{a1}	Velocità del vapore	g/cm ² /s	NA	Non Richiesto		
Accettabilità						
Target	Individuale	Comunitaria				
Rischio	1E-4	1E-3				
Indice di pericolo	1	1				
Modello Concettuale						
Titolo di esposizione	On-Site	Off-Site				
Soil Superficiale						
Ingestione suolo	V	NA				
Contatto dermico	V	NA				
Inalazione Vapor-Outdoor	V	—				
Inalazione Polveri-Outdoor	V	NA				
Inalazione Vapor-Indoor	V	NA				
Inalazione Polveri-Indoor	V	NA				
Lacrificazione in Falda	V	—				
Soil Profondo						
Lacrificazione in Falda	V	—				
Inalazione Vapor-Outdoor	V	—				
Inalazione Vapor-Indoor	V	NA				
Falda						
Ingestione d'acqua in falda statica	V	—				
Inalazione Vapor-Outdoor	V	—				
Inalazione Vapor-Indoor	V	—				
Risultati / Analisi						
Risultato	On-Site	Off-Site				
Ingestione	Non Attivo	NA				
Barraggio Falda	Barriera statica	NA				
Opzioni di Calcolo						
Scenario	Soil Superficiale	Soil Profondo				
Visualizzazione Esaurimento sorgente	Attivo	Attivo				
Visualizzazione Esaurimento sorgente in falda statica (p.c.)	NA	Attivo				
Lacrificazione Esaurimento sorgente	Non Attivo	Non Attivo				
Soil Alternativa Model (SAAT)	Attivo	Attivo				
Altre Opzioni di Calcolo						
Dispersione in Falda	NA	NA				
Libera CRS a Cost (solo per casi forward)	NA	NA				
Parametri di Esposizione On-site						
Simbolo	Unità di misura	Residenziale	Bambino	Industriale		
ON-SITE						
I fattori comuni						
Mesa corporea	kg	30	15	70		
Tempo medio di esposizione anni lavorativa	anni	30	—	—		
Tempo medio di esposizione anni non lavorativa	anni	24	6	25		
Frequenza di esposizione	giornata	350	350	250		
Ingestione di suolo						
Frazione di suolo ingerito	adm	1	1	1		
Tasso di ingestione di suolo	mg/giorno	100	200	50		
Contatto dermico con suolo						
Superficie di pelle esposta	cm ²	5700	2800	3300		
Fattore di adesione dermica del suolo	mg/cm ² /giorno	8.81	9.2	9.2		
Inalazione di aria outdoor						
Frequenza giornaliera di esposizione outdoor	esposizione	3	3	8		
Inalazione outdoor	effettiva	3.2	1.9	2.5		
Frazione di particelle di suolo nella polvere	adm	1	—	—		
Inalazione di aria indoor						
Frequenza giornaliera di esposizione indoor	esposizione	24	24	8		
Inalazione indoor	effettiva	0.9	0.7	0.9		
Frazione indoor di polvere allogenita	adm	1	—	—		
Ingestione di acqua potabile						
Tasso di ingestione di acqua	L/giorno	2	1	1		
Parametri di Esposizione Off-site						
Simbolo	Unità di misura	Residenziale	Bambino	Industriale		
OFF-SITE						
I fattori comuni						
Mesa corporea	kg	30	15	70		
Tempo medio di esposizione anni lavorativa	anni	30	—	—		
Tempo medio di esposizione anni non lavorativa	anni	24	6	25		
Frequenza di esposizione	giornata	350	350	250		
Inalazione di aria outdoor						
Frequenza giornaliera di esposizione outdoor	esposizione	3	3	8		
Inalazione outdoor	effettiva	3.2	1.9	2.5		
Frazione di particelle di suolo nella polvere	adm	1	—	—		
Inalazione di aria indoor						
Frequenza giornaliera di esposizione indoor	esposizione	24	24	8		
Inalazione indoor	effettiva	0.9	0.7	0.9		
Frazione indoor di polvere allogenita	adm	1	—	—		
Ingestione di acqua potabile						
Tasso di ingestione di acqua	L/giorno	2	1	1		

Figura 21. Riepilogo Input.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

Output

OUTPUT INTERMEDI, PROPRIETÀ CONTAMINANTI INDICATORI

Dal pulsante "Proprietà Contaminanti" riportato nella finestra di dialogo "Output" della schermata principale si accede alla Userform riportata in Figura 22. Da qui è possibile visualizzare, per ciascuna matrice di contaminazione, i contaminanti indicatori inseriti e le relative caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche.

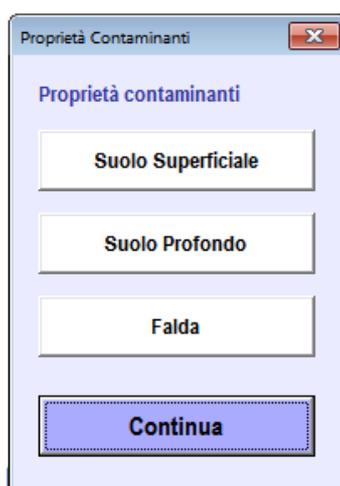


Figura 22. Userform proprietà contaminanti indicatori.

Per ciascun contaminante vengono riportate le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche utilizzate nei calcoli (Figura 23).

Comandi			Sito:		ID:		Risk-net						
<input type="button" value="Continua"/> <input type="button" value="HELP"/> <input type="button" value="Stampa"/>			Comp. da:		Data:		Banca Dati: Suolo Superficiale						
Database di Default				<input checked="" type="checkbox"/> VISUALIZZA RIFERIMENTI									
ID	Contaminanti	Numero CAS	Classe	Peso Molecolare [g/mole]	Solubilità [mg/L]	Rif.	Pressione di vapore [mm Hg]	Rif.	Costante di Henry [adim.]	Rif.	Koc/Kd f(ph)	Koc [mg/kg/mg/L]	Kd [mg/kg/mg/L]
13	Benzene	71-43-2	Aromatici	78.10	1.75E+03	1	9.53E+01	4	2.28E-01	1		6.20E+01	
116	Toluene	108-88-3	Aromatici	92.10	5.26E+02	1	3.00E+01	16	2.72E-01	1		1.40E+02	
66	Etilbenzene	100-41-4	Aromatici	106.20	1.69E+02	1	1.00E+01	PS	3.23E-01	1		2.04E+02	

Figura 23. Riepilogo Proprietà Contaminanti Indicatori.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

Visualizza Riferimenti. Se attivo, visualizza il riferimento bibliografico dei diversi parametri che popolano il database.

OUTPUT INTERMEDI, TRASPORTO ED ESPOSIZIONE

Dal pulsante “Trasporto e Esposizione” riportato nella finestra di dialogo “Output” della schermata principale si accede alla Userform riportata in Figura 24. Da qui è possibile visualizzare, per ciascuna matrice di contaminazione, le vie di esposizione attive, i fattori di esposizione e i fattori di trasporto per ciascun contaminante indicatore. Si sottolinea che i pulsanti di controllo per le matrici non attivate, risultano non accessibili.



The image shows a software dialog box titled "Parametri Intermedi". It is organized into three main sections, each with a header and a button below it:

- Modello Concettuale:** Contains a button labeled "Vie Attive".
- Fattori di Esposizione:** Contains a button labeled "EM".
- Fattori di Trasporto:** Contains four buttons stacked vertically: "Suolo Superficiale", "Suolo Profondo", "Falda", and "Falda - Domenico".

At the bottom of the dialog box is a large button labeled "Continua".

Figura 24. Userform Output Intermedi.

Riepilogo Modello Concettuale. Dal pulsante di controllo “Vie Attive” della Userform riportata in Figura 24 si accede al riepilogo del modello concettuale definito dall’utente (Figura 25). Da qui l’utente può verificare i recettori e le vie attive distinte in funzione della matrice impattata (suolo, aria e falda). In particolare con le frecce in rosso vengono rappresentati i contatti diretti (ingestione di suolo e contatto dermico) che vanno ad impattare la matrice suolo, in verde i percorsi legati a volatilizzazione, erosione e dispersione che impattano l’aria ed in viola i percorsi di lisciviazione e trasporto che impattano la falda. Per ciascuna matrice vengono inoltre indicati i potenziali recettori all’interno o in prossimità del sito, selezionati dall’utente e lo scenario di riferimento (residenziale o industriale).

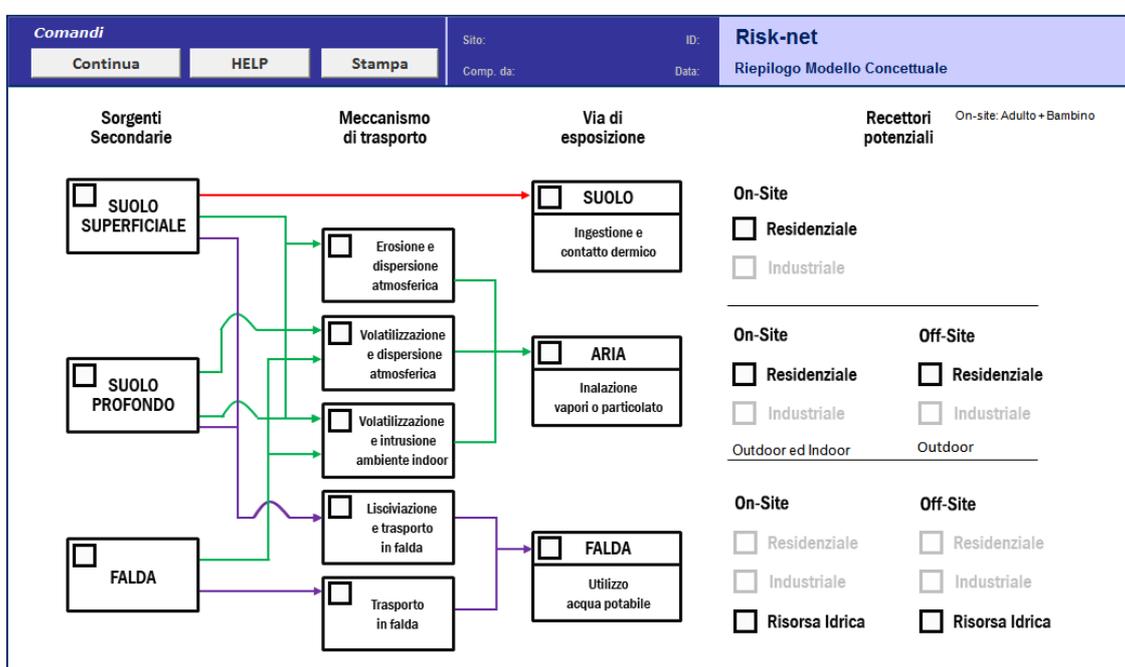


Figura 25. Riepilogo Modello Concettuale.

Fattori di esposizione. Dal pulsante di controllo “Fattori di esposizione” della Userform riportata in Figura 24 è possibile visualizzare, per le vie di esposizione attive, i fattori di esposizione calcolati per le sostanze cancerogene e non (Figura 26). Con il simbolo NA vengono indicate le vie di esposizione non attive (o non previste come nel caso di ingestione di suolo off-site). Si sottolinea che il fattore di contatto dermico riportato in questa schermata deve essere moltiplicato per il fattore di assorbimento dermico (ABS) caratteristico di ciascun contaminante.

Output

Comandi		Risk-net	
Continua	Stampa	Fattori di Esposizione	
Esposizione (EM)		On Site	Off Site
Ingestione suolo [mg/(kg x giorno)]			
EM _{ing,S,C}	Cancerogene	1.57E+00	NA
EM _{ing,S,NC}	Non Cancerog.	1.28E+01	NA
Contatto Dermico / ABS [mg/(kg x giorno)]			
EM _{ing,S,C}	Cancerogene	4.94E+00	NA
EM _{ing,S,NC}	Non Cancerog.	3.58E+01	NA
Inalazione aria outdoor [m³/(kg x giorno)]			
EM _{ina,O,C}	Cancerogene	1.94E-01	1.94E-01
EM _{ina,O,NC}	Non Cancerog.	1.07E+00	1.07E+00
Inalazione aria indoor [m³/(kg x giorno)]			
EM _{ina,I,C}	Cancerogene	1.94E-01	1.94E-01
EM _{ina,I,NC}	Non Cancerog.	1.07E+00	1.07E+00
Ingestione di acqua [L/(kg x giorno)]			
EM _{ing,W,C}	Cancerogene	NA	NA
EM _{ing,W,NC}	Non Cancerog.	NA	NA

Figura 26. Fattori di esposizione calcolati.

Fattori di Trasporto. Dai pulsante di controllo “Fattori di Trasporto / Matrice” della Userform riportata in Figura 24 è possibile visualizzare, per le vie di esposizione attive, i fattori di trasporto calcolati per ciascuna sorgente di contaminazione (Figura 26). Con il simbolo NA vengono indicate le vie di migrazione non attive. Nel caso in cui sia attiva l’opzione di esaurimento della sorgente per la volatilizzazione o per la lisciviazione (vedi paragrafo “Opzioni di Calcolo”), i fattori per i quali il trasporto è limitato dall’esaurimento della sorgente vengono evidenziati in rosso.

Comandi			Site:		ID:		Risk-net			
Continua	HELP	Stampa	Comp. da:	Data:	Fattori di Trasporto: Suolo Superficiale					
Contaminanti	Ds eff [cm²/sec]	Dw eff [cm²/sec]	Dcap eff [cm²/sec]	Dcrack eff [cm²/sec]	LFss [(mg/L)/(mg/kg)]	VFss [(mg/m²)/(mg/kg)]	VFss,esp [(mg/m²)/(mg/kg)]	PEF [(mg/m²)/(mg/kg)]	PEFin [(mg/m²)/(mg/kg)]	off-site DAF [(mg/L)/(mg/L)]
Benzene	6.98E-03	2.71E-04	1.76E-05	6.87E-03	9.94E-02	1.80E-05	6.42E-03	6.90E-12	6.90E-12	1.02E+01
Toluene	6.90E-03	2.39E-04	1.55E-05	6.79E-03	4.73E-02	1.80E-05	6.42E-03	6.90E-12	6.90E-12	1.02E+01
Etilbenzene	5.95E-03	1.98E-04	1.28E-05	5.85E-03	3.30E-02	1.80E-05	6.42E-03	6.90E-12	6.90E-12	1.02E+01

Figura 27. Fattori di trasporto calcolati.

Evoluzione temporale della contaminazione in falda. Dal pulsante di controllo “Falda - Domenico” è possibile accedere alla schermata riportata in Figura 28.

Output

Da qui è possibile valutare l'evoluzione spazio-temporale della contaminazione in falda utilizzando l'equazione di Domenico (per maggiori dettagli riguardo le equazioni utilizzate si rimanda agli allegati). In particolare l'utente deve selezionare il contaminante di interesse (dal menù a tendina), la matrice di riferimento, la concentrazione iniziale, la posizione in cui si vuole analizzare l'evoluzione temporale e alcune caratteristiche generali. Si sottolinea che tale analisi è finalizzata esclusivamente a valutazioni sul raggiungimento delle condizioni di equilibrio e non viene utilizzata per la stima degli obiettivi di bonifica o di calcolo del rischio.



Figura 28. Evoluzione contaminazione in falda.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

Zoom tempi. Permette di modificare nel grafico l'asse dei tempi.

Grafico logaritmico/lineare. Permette di passare dalla visualizzazione lineare a quella logaritmica (e viceversa).

Output

Eluato (Green-Ampt). Dal pulsante di controllo “Eluato – Green Ampt” è possibile accedere alla schermata riportata in Figura 29. Da qui è possibile valutare la velocità di infiltrazione dei contaminanti nel suolo nonché la possibile influenza della biodegradazione sull’attenuazione dei contaminanti durante la lisciviazione da suolo in falda. In particolare l’utente deve selezionare il contaminante di interesse (dal menù a tendina), la matrice di riferimento, la tessitura del suolo e alcune caratteristiche generali. Si sottolinea che tale analisi è finalizzata esclusivamente a valutazioni integrative e non viene utilizzata per la stima degli obiettivi di bonifica o di calcolo del rischio.

Comandi			Sito:	ID:	Risk-net
<input type="button" value="Continua"/>	<input type="button" value="HELP"/>	<input type="button" value="Stampa"/>	Comp. da:	Data:	Lisciviazione dal suolo (Green Ampt)
Suolo Superficiale <input type="button" value="v"/>			<input type="button" value="Calcola"/>		
Selezione Contaminante		Selezione Tessitura		Parametri Tessitura	
Benzene <input type="button" value="v"/>		LOAMY SAND <input type="button" value="v"/>		Conducibilità Idraulica (K) 4.1E-05 m/s	
Caratteristiche Sito-Specifiche			Porosità (θ_e) 3.5E-01 -		
Battente Idraulico superficiale (Hw)	0.25	m	Contenuto di aria (θ_a) 2.5E-01 -		
Distanza della falda dalla sorgente	2	m	Contenuto di acqua (θ_w) 1.0E-01 -		
Costante di biodegradazione (λ)	0.00E+00	d ⁻¹	Carico Idraulico Critico (hcr) 4.9E-02 m		
foc	0.01	-	Output		
Velocità di Infiltrazione			Velocità di Infiltrazione Acqua 7.3E+03 m/anno		
<input type="radio"/> Pari a Infiltrazione Efficace			Coefficiente di ritardo contaminante 4.0E+00 -		
<input checked="" type="radio"/> Calcola con Green Ampt			Velocità di lisciviazione del contaminante 1.8E+03 m/anno		
Infiltrazione efficace	NA	m/anno	Tempo impiegato dall'eluato per raggiungere la falda 1.1E-03 anni		
			Fattore di Attenuazione dovuto a biodegradazione (C/C0) 1.0E+00 -		

Figura 29. Eluato – Green Ampt.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

OUTPUT INTERMEDI, CONCENTRAZIONI AL PUNTO DI ESPOSIZIONE

Nel caso di applicazione dell’ Analisi di Rischio in modalità “Forward” (Calcolo del Rischio), dal pulsante “Concentrazione al POE” riportato nella finestra di dialogo “Output” della schermata principale, si accede alla schermata riportata in Figura 30. Da

Output

qui è possibile visualizzare, per ciascuna matrice contaminata, le concentrazioni nei diversi punti di esposizione (Cpoe). Per ciascuna matrice vengono visualizzate le concentrazioni rappresentative alla sorgente (totali e come soil-gas), le concentrazioni di saturazione (C_{sat}) e le concentrazioni nei diversi comparti ambientali in funzione del modello concettuale. In particolare sono riportate le concentrazioni negli ambienti outdoor (C_{outdoor}, mg/m³), le concentrazioni all'interno degli edifici (C_{indoor}, mg/m³) e le concentrazioni in falda (mg/l) all'interno (on-site) o in prossimità del sito (off-site). Con il simbolo NA vengono indicate le vie di migrazione non attive.

Comandi				Sito:	ID:	Risk-net		
Continua		HELP		Comp. da:		Data:		Concentrazioni al punto di
Suolo Superficiale				on-site			off-site	
Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m ³]	C _{sat} [mg/kg s.s.]	C _{outdoor} [mg/m ³]	C _{indoor} [mg/m ³]	C _{falda} [mg/L]	C _{outdoor} [mg/m ³]	C _{falda} [mg/L]
Benzene	5.00E+01	5.00E+01	1.25E+03	2.00E-02	8.17E+00	4.97E+00	NA	NA
Etilbenzene	3.50E+01	4.50E+01	3.63E+02	1.66E-02	6.27E+00	1.16E+00	NA	NA
Toluene	1.50E+01	2.50E+01	7.89E+02	9.94E-03	4.04E+00	7.09E-01	NA	NA
Xileni	2.00E+01	5.00E+02	3.82E+02	1.99E-01	8.08E+01	6.87E-01	NA	NA
Alifatici C5-C8	5.50E+01	---	3.37E+02	9.88E-04	3.53E-01	1.27E-01	NA	NA
Aromatici C9-C10	1.00E+01	---	9.12E+02	1.80E-04	2.40E-02	3.97E-02	NA	NA
Alifatici C9-C18	1.18E+02	---	6.81E+01	1.22E-03	8.97E-02	7.10E-04	NA	NA
Alifatici C19-C36	5.30E+01	---	---	NA	NA	NA	NA	NA
Aromatici C11-C22	1.90E+01	---	2.90E+02	1.54E-04	1.27E-03	2.69E-02	NA	NA

Figura 30. Concentrazioni al punto di esposizione.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

OUTPUT INTERMEDI, RIPARTIZIONE CONTAMINANTI

Nel caso di applicazione dell' Analisi di Rischio in modalità "Forward" (Calcolo del Rischio), dal pulsante "Concentrazione al POE/ Ripartizione" riportato nella finestra di dialogo "Output" della schermata principale, si accede alla schermata riportata in Figura 31. Da qui è possibile visualizzare, per ciascun contaminante il riepilogo delle concentrazioni calcolate nei diversi punti di esposizione (Cpoe) e la ripartizione del contaminante nelle diverse fasi del suolo. Con il simbolo NA vengono indicate le vie di migrazione non attive.

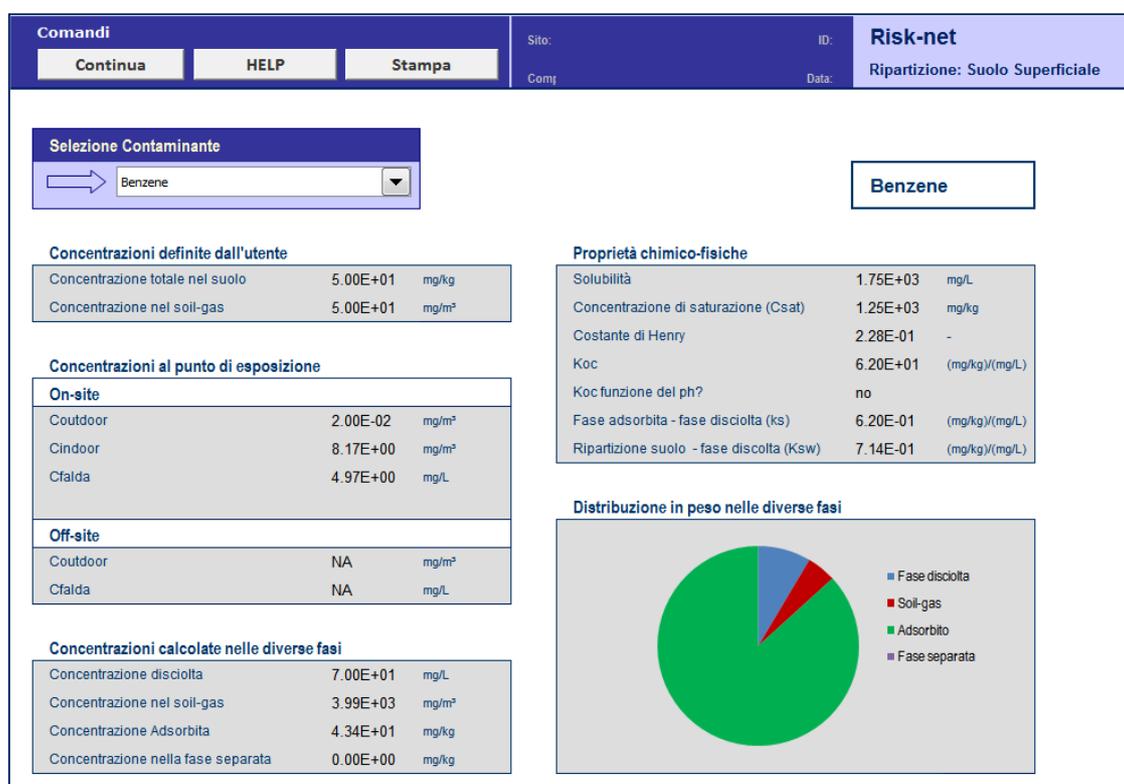


Figura 31. Ripartizione dei contaminanti nel suolo.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

CALCOLO OBIETTIVI DI BONIFICA (CSR)

Nel caso di applicazione dell' Analisi di Rischio in modalità "Backward" (Calcolo Obiettivi di Bonifica), dal pulsante "CSR" riportato nella finestra di dialogo "Output" della schermata principale si accede alla Userform riportata in Figura 32. Da qui è possibile visualizzare gli obiettivi di bonifica (Concentrazioni soglia di Rischio, CSR) calcolati per ciascuna matrice (Suolo Superficiale, Suolo Profondo e Falda) e il riepilogo dei diversi output (intermedi e finali).

The screenshot shows a software window titled "CSR" with a close button in the top right corner. The window is organized into several sections, each with a header and two buttons:

- Suolo Superficiale**: "Calcolo CSR" and "Riepilogo output"
- Suolo Profondo**: "Calcolo CSR" and "Riepilogo output"
- Falda**: "Calcolo CSR" and "Riepilogo output"
- Idrocarburi**: "Calcolo CSR Madep"
- NAPL**: "Valori di Screening"

At the bottom of the window is a large blue button labeled "Continua".

Figura 32. Userform Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR).

Calcolo CSR. Dalla Userform precedente, cliccando su uno dei pulsanti "Calcolo CSR" si accede alla schermata riportata in Figura 33 da cui è possibile visualizzare le Concentrazioni Soglia di Rischio calcolati per la matrice selezionata. In particolare, nella seconda colonna della tabella vengono riportate le Concentrazioni Soglia di Rischio

fattore di correzione"). Tale riduzione può essere effettuata proporzionalmente per tutti i contaminanti o intervenendo in maniera ragionata sui singoli contaminanti fino a che il rischio e l'indice di pericolo cumulativo calcolati risultano inferiori al limite accettabile. Le CSR che rispettano i limiti individuali e cumulativi costituiscono gli obiettivi di bonifica sito-specifici della matrice contaminata.

In Tabella 6 vengono descritte le diverse parole chiave e simboli inerenti il calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR).

Tabella 6. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo delle CSR

SIMBOLO	SIGNIFICATO
f	Fattore di correzione
R	Rischio Cancerogeno
HI	Indice di Pericolo (Non Cancerogeno)
C	Composto Cancerogeno
NC	Composto Non Cancerogeno
> 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
* (ad es. NC*)	CSR (ingestione e contatto dermico) maggiore della saturazione. A differenza del caso precedente si può venire a contatto con il composto anche in fase separata
CSC/LF	Viene imposto per il percorso di lisciviazione il rispetto delle CSC della falda
CSC/LF/f	Viene imposto per il percorso di lisciviazione (rispetto delle CSC della falda) tenendo conto del fattore di correzione.
NA	Non Applicabile (ad es. via di esposizione non attiva)
#	Non Calcolabile. Ad es. composto non volatile o assenza parametri
> 1E+6	Concentrazione teorica > Massima concentrazione possibile
>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).
R GW -->	Rischio per la risorsa idrica

Comandi schermata CSR

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Output

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

Legenda. Visualizza il significato dei diversi simboli utilizzati.

Ricalcola con Fattore di Correzione. Ricalcola le CSR e i rischi ed indici di pericolo associati.

Calcolo CSR Idrocarburi. In tale schermata è possibile calcolare le CSR per la classe "Idrocarburi C>12" e "Idrocarburi C<12" nei suoli, e per la classe "Idrocarburi totali" nelle acque sotterranee.

In particolare il calcolo delle CSR relative ai parametri normativi viene effettuato utilizzando il metodo indicato della "frazione critica", ovvero selezionando la classe MADEP che genera il rischio maggiore con riferimento alla reale presenza di tale classe nella miscela riscontrata in sito.

Comandi	Sito:	ID:	Risk-net
<input type="button" value="Continua"/> <input type="button" value="Stima frazioni"/> <input type="button" value="HELP"/> <input type="button" value="Stampa"/>	Comp. da:	Data:	Calcolo CSR Idrocarburi

SUOLO SUPERFICIALE

Inserire CSR calcolata e frazione rappresentativa di ciascuna classe

Classi MADEP	CSR Calcolata [mg/kg]	Frazioni C < 12	Frazioni C > 12	Frazioni HC Totali
Alifatici C5-C8	8.27E+00	0.440	---	0.202
Aromatici C9-C10	5.53E+00	0.080	---	0.037
Alifatici C9-C18	4.03E+01	C9-C12	0.320	0.147
		C13-C18	---	0.531
Alifatici C19 - C36	1.22E+05	---	0.361	0.195
Aromatici C11-C22	2.47E+02	C11-C12	0.088	0.040
		C13-C22	---	0.054
Altre Classi	---	0.072	0.054	0.063

Calcolo CSR totali selezionando la frazione più critica

Idrocarburi C>12 e C<12

Classe	CSR	U.M.	Frazione Critica
Idrocarburi C<12	1.9E+01	mg/kg	Alifatici C5-C8
Idrocarburi C>12	7.6E+01	mg/kg	Alifatici C13 - C18

Idrocarburi Totali

Classe	CSR	U.M.	Frazione Critica
Idrocarburi Totali	4.1E+01	mg/kg	Alifatici C5-C8

SUOLO PROFONDO

Inserire CSR calcolata e frazione rappresentativa di ciascuna classe

Classi MADEP	CSR Calcolata [mg/kg]	Frazioni C < 12	Frazioni C > 12	Frazioni HC Totali
Alifatici C5-C8	4.14E+00	0.321	---	0.124
Aromatici C9-C10	5.84E+00	0.137	---	0.053
Alifatici C9-C18	4.25E+01	C9-C12	0.115	0.044
		C13-C18	---	0.029
Alifatici C19 - C36	---	---	0.048	0.029
Aromatici C11-C22	8.23E+01	C11-C12	0.191	0.074
		C13-C22	---	0.611
Altre Classi	---	0.237	0.313	0.283

Calcolo CSR totali selezionando la frazione più critica

Idrocarburi C>12 e C<12

Classe	CSR	U.M.	Frazione Critica
Idrocarburi C<12		mg/kg	
Idrocarburi C>12		mg/kg	

Idrocarburi Totali

Classe	CSR	U.M.	Frazione Critica
Idrocarburi Totali		mg/kg	

Figura 34. Calcolo CSR Idrocarburi.

Comandi CSR Idrocarburi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Stima frazioni. Accede alla schermata di definizione delle diverse frazioni delle classi MADEP in funzione delle concentrazioni riscontrate nelle diverse classi di idrocarburi.

Calcola. Calcola le CSR per gli Idrocarburi in funzione delle CSR e delle frazioni definite per le diverse classi MADEP.

Output

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

Riepilogo Output. Una volta effettuato il calcolo degli obiettivi di bonifica per le diverse matrici contaminate, da uno dei pulsanti "Riepilogo output" della Userform riportata in Figura 32 l'utente accede alla schermata di riepilogo dei risultati ottenuti (Figura 35).

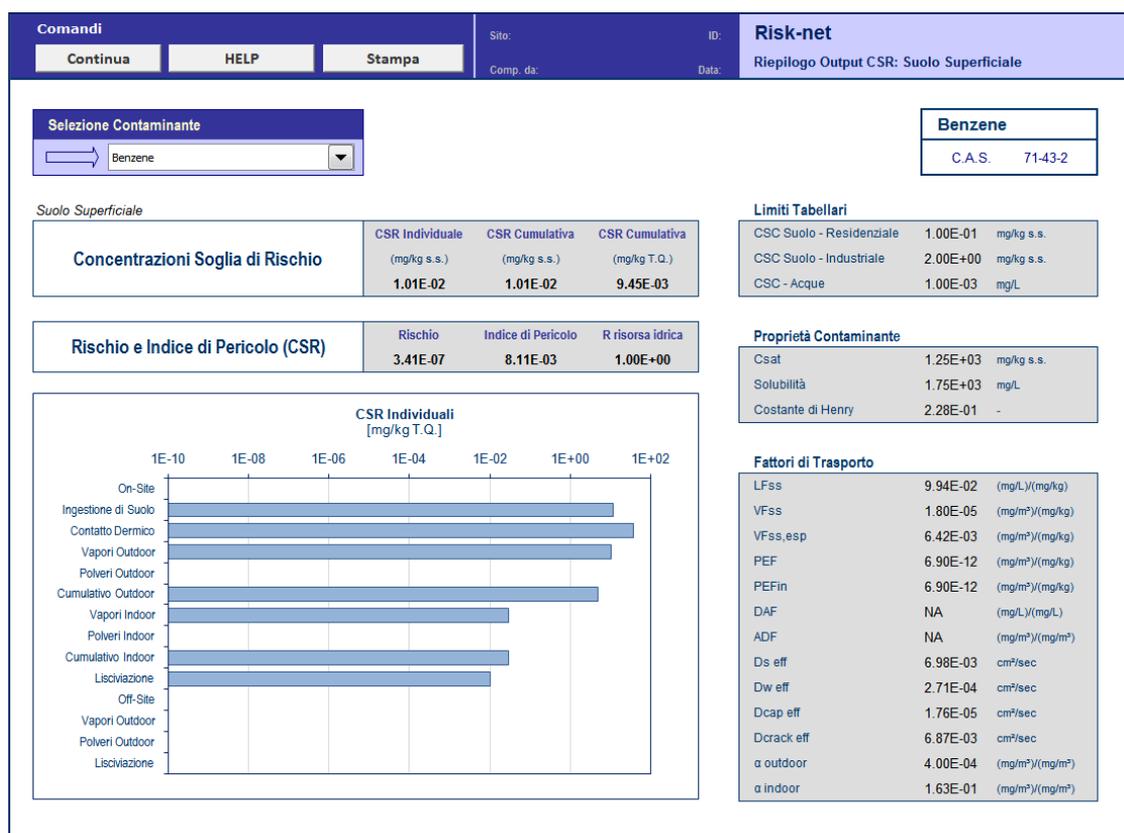


Figura 35. Riepilogo Output, applicazione Analisi di Rischio "Backward"

In tale schermata sono riportate, per ciascun contaminante (selezionabile dal menù a tendina in alto a sinistra), le CSR calcolate per ciascuna via di esposizione. Nella parte inferiore vengono riportati i fattori di trasporto utilizzati per calcolare i risultati sopra riportati e le vie di esposizione attive.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

Legenda. Visualizza il significato dei diversi simboli utilizzati.

Valori di screening prodotto libero. Con Risk-net è possibile effettuare delle valutazioni sulla mobilità del prodotto libero in zona insatura e satura (Figura 36). Si accede a tale schermata dal pulsante di comando "Valori di Screening" della Userform riportata in Figura 32. Per ciascun contaminante indicatore vengono calcolati dei valori di screening, secondo quanto previsto dallo standard ASTM E2081-00, che permettono di stimare la concentrazione residua del suolo per i contaminanti liquidi (per maggiori dettagli si rimanda a quanto descritto nell'Appendice 4). Nel caso in cui il contaminante sia liquido a temperatura ambiente, lo standard ASTM E2081 infatti assume che la fase separata che si forma al di sopra della C_{sat} , risulti immobile fino al raggiungimento della capacità di assorbimento meccanica del suolo (saturazione residua), oltre la quale può aver luogo la percolazione diretta come prodotto libero.

In Risk-net è stato implementato il modello proposto 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 diventi mobile. Tale verifica risulta particolarmente utile soprattutto per quei contaminanti in cui il calcolo degli obiettivi di bonifica ha messo in evidenza il raggiungimento delle condizioni di saturazione (C_{sat}). In particolare in questa schermata viene riportato, per ciascun contaminante, lo stato a cui si trova a temperatura ambiente (L = Liquido, S = Solido e G = Gassoso) la Concentrazione di Saturazione (C_{sat}), la densità, la tipologia di prodotto libero (LNAPL, Light Non-Aqueous Phase Liquid e DNAPL, Dense Non-Aqueous Phase Liquid) e la concentrazione di screening di mobilità del prodotto libero (solo per i contaminanti liquidi). In Risk-net la capacità residua del suolo è impostata di default, in accordo con quanto riportato nello standard ASTM E2081-00, in via cautelativa pari a $S_r = 0.04 \text{ cm}^3_{\text{NAPL}}/\text{cm}^3_{\text{vuoti}}$. Si sottolinea che per i contaminanti solidi tale verifica non viene effettuata ma è possibile che a concentrazioni superiori alla C_{sat} ci sia trasporto dei contaminanti in via solida-colloidale.

Comandi				ID		Risk-net	
Continua	Idrocarburi	HELP	Stampa	Sito:	Data:	Screening NAPL	
Capacità Residua Suolo Insaturo ()		0.04		Ricalcola			
Capacità Residua Suolo Saturo ()		0.04					
Suolo Superficiale							
Contaminanti	C.A.S. Number	Stato	Csat [mg/kg s.s.]	Densità [kg/L]	NAPL	Screening Mobilità NAPL [mg/kg s.s.]	
Benzene	71432	L	1.25E+03	0.88	LNAPL	8.53E+03	
Etilbenzene	100414	L	3.63E+02	0.86	LNAPL	7.53E+03	
Toluene	108883	L	7.89E+02	0.86	LNAPL	7.95E+03	
Suolo Profondo							
Contaminanti	C.A.S. Number	Stato	Csat [mg/kg s.s.]	Densità [kg/L]	NAPL	Screening Mobilità NAPL [mg/kg s.s.]	
Benzene	71432	L	1.25E+03	0.88	LNAPL	8.53E+03	
Toluene	108883	L	7.89E+02	0.86	LNAPL	7.95E+03	

Figura 36. Calcolo valori di screening per la mobilità del prodotto libero.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

Idrocarburi. Visualizza i valori tipici della concentrazione residua per le classi idrocarburiche.

Ricalcola. Ricalcola i valori di screening in funzione della capacità residua definita dall'utente.

CALCOLO RISCHIO

Nel caso di applicazione dell' Analisi di Rischio in modalità "Forward" (Calcolo Rischio), dal pulsante "Rischio" riportato nella finestra di dialogo "Output" della schermata principale si accede alla Userform riportata in Figura 37. Da qui è possibile visualizzare i rischi (individuali e cumulativi) calcolati per ciascuna matrice (Suolo Superficiale, Suolo Profondo e Falda) e il riepilogo dei diversi output (intermedi e finali).

The image shows a software window titled "Rischio". Inside, there are four main categories: "Suolo Superficiale", "Suolo Profondo", "Falda", and "NAPL". Under "Suolo Superficiale", "Suolo Profondo", and "Falda", there are two buttons each: "Calcolo Rischio" and "Riepilogo Output". Under "NAPL", there is one button: "Valori di Screening". At the bottom of the window is a larger button labeled "Continua".

Figura 37. Userform Calcolo del Rischio.

Calcolo del Rischio. Dalla Userform precedente, cliccando su uno dei pulsanti "Calcolo Rischio" si accede alla schermata riportata in Figura 38 da cui è possibile visualizzare il rischio e l'indice di pericolo calcolati per la matrice selezionata. 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, vedi paragrafo "Definizione dei Recettori" pag. 32). Nel caso sia stato imposto il rispetto delle CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione) delle acque sotterranee al punto di conformità (POC)¹⁰ viene inoltre riportato il rischio della risorsa idrica calcolato come rapporto tra la concentrazione al punto di esposizione e la CSC di riferimento. Per maggiori dettagli riguardo le equazioni e i criteri di cumulo si rimanda all'Appendice 1. 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 $HI=1$). Se tale condizione non risultasse soddisfatta (valori evidenziati in rosso) il sito risulta contaminato. Se si vuole determinare la concentrazione massima ammissibile in sorgente è necessario applicare un fattore correttivo (quarta colonna della tabella) che riduce la CRS fino a che il rischio e l'indice di pericolo individuale e cumulativo non rispettano i limiti accettabili.

¹⁰ Per maggiori dettagli si rimanda a quanto descritto nel paragrafo "Definizione dei Recettori".

Riepilogo Output. Una volta effettuato il calcolo del rischio e dell'indice di pericolo per le diverse matrici contaminate, da uno dei pulsanti "Riepilogo output" della Userform riportata in Figura 37 l'utente accede alla schermata di riepilogo dei risultati ottenuti (Figura 39).

In tale schermata sono riportate, per ciascun contaminante (selezionabile dal menù a tendina in alto a sinistra), il rischio ed indice di pericolo calcolati per ciascuna via di esposizione. Nella parte inferiore vengono riportati i fattori di trasporto utilizzati per calcolare i risultati sopra riportati e le vie di esposizione attive.

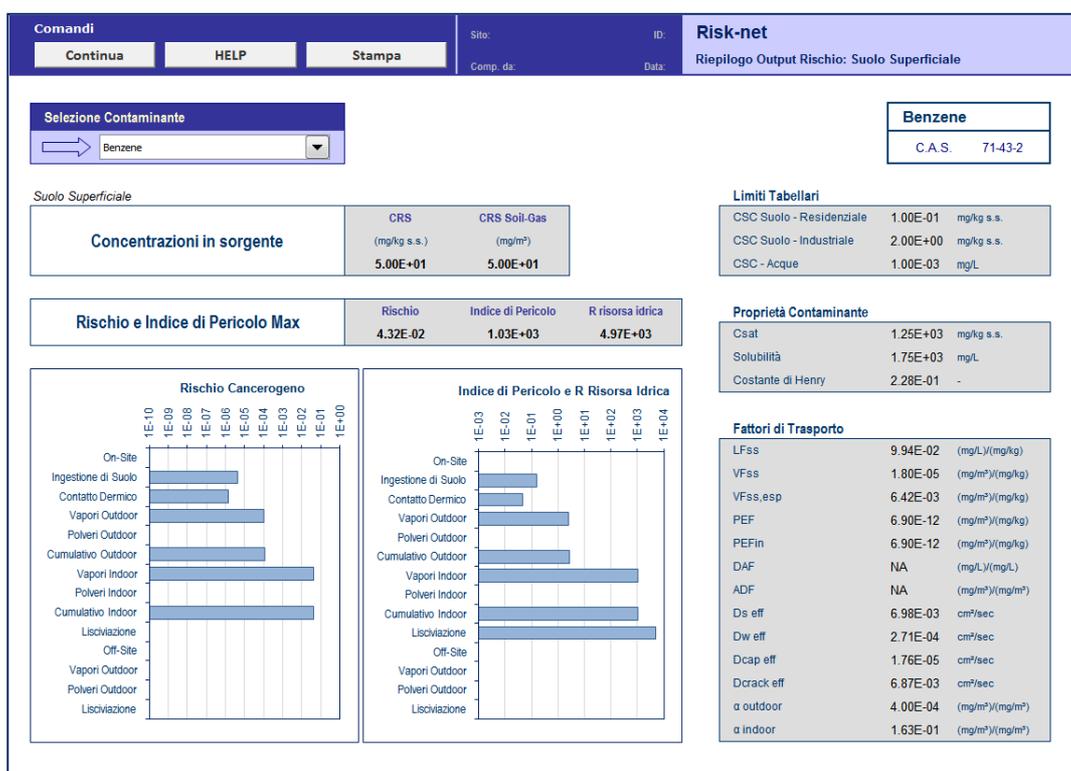


Figura 39. Riepilogo output Analisi di Rischio in modalità diretta (Calcolo del Rischio).

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede alla guida rapida della sezione di riferimento.

Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

Legenda. Visualizza il significato dei diversi simboli utilizzati.

Valori di screening prodotto libero. Per la descrizione di tale verifica si rimanda a quanto descritto nel paragrafo "Calcolo Obiettivi di Bonifica (CSR)" (pag. 50).

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

- ✓ 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

- ✓ 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-ISPEL (2009), Banca dati ISS/ISPEL "Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti". www.apat.gov.it/site/_files/Suolo_Territorio.
- ✓ Texas Commission on Environmental Quality (2009), TRRP Protective Concentration Levels. www.tceq.state.tx.us/remediation/trrp/trrppcls.html

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	-
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
$CSR_{non.can}$	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	-
D_{crack}^{eff}	Coefficiente di diffusione nelle fondazioni	cm ² /s
d_s	Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo	cm

Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
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
HI	Indice di Pericolo sostanze non cancerogene	-
h_v	Spessore zona insatura	cm
i	Gradiente idraulico	-
I_{eff}	Infiltrazione efficace	cm/s
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

Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
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
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	-

Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
$S_{r,sat}$	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_{sesp}	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
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)

Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
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
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 insaturo	-
θ_{wcap}	Contenuto volumetrico di acqua nella frangia capillare	-
θ_{wcrack}	Contenuto volumetrico di acqua nelle fondazioni	-
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

Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
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 1. CALCOLO DEL RISCHIO

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.

Rischio per più di vie di esposizione. L'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 40, Figura 41 e Figura 42 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.

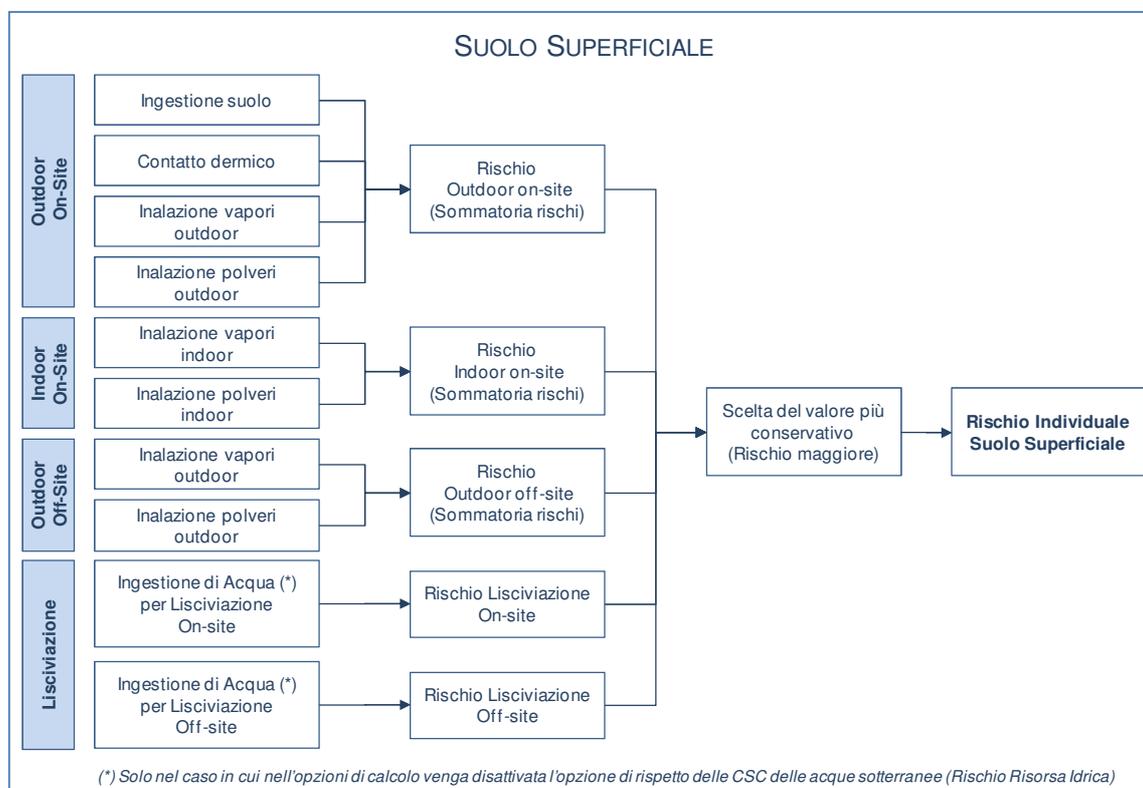


Figura 40. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo superficiale.

Appendice 1. Calcolo del Rischio

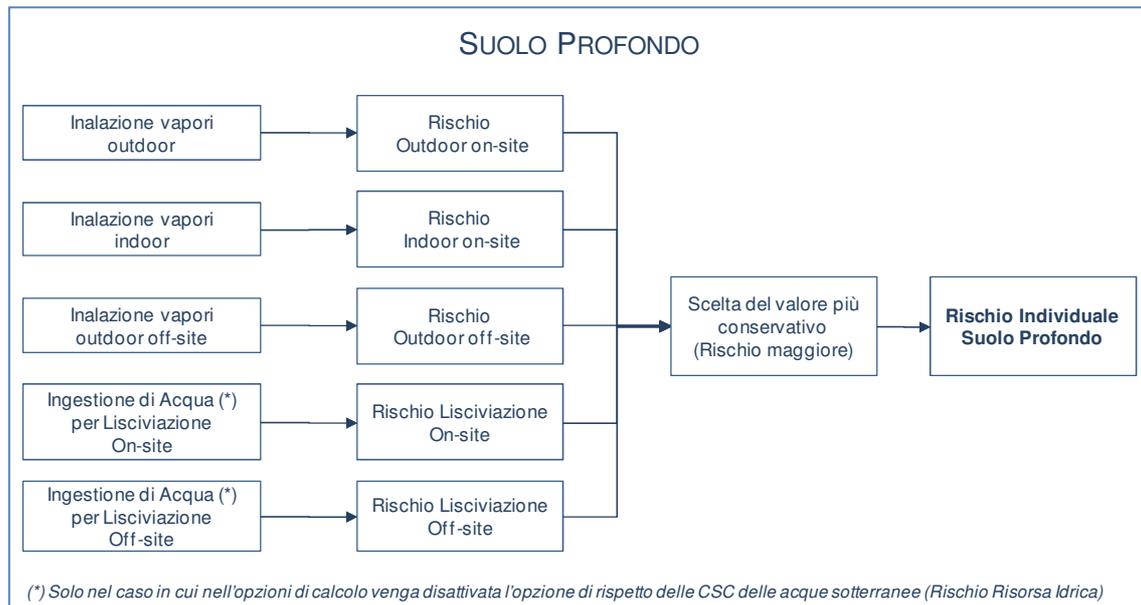


Figura 41. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo profondo.

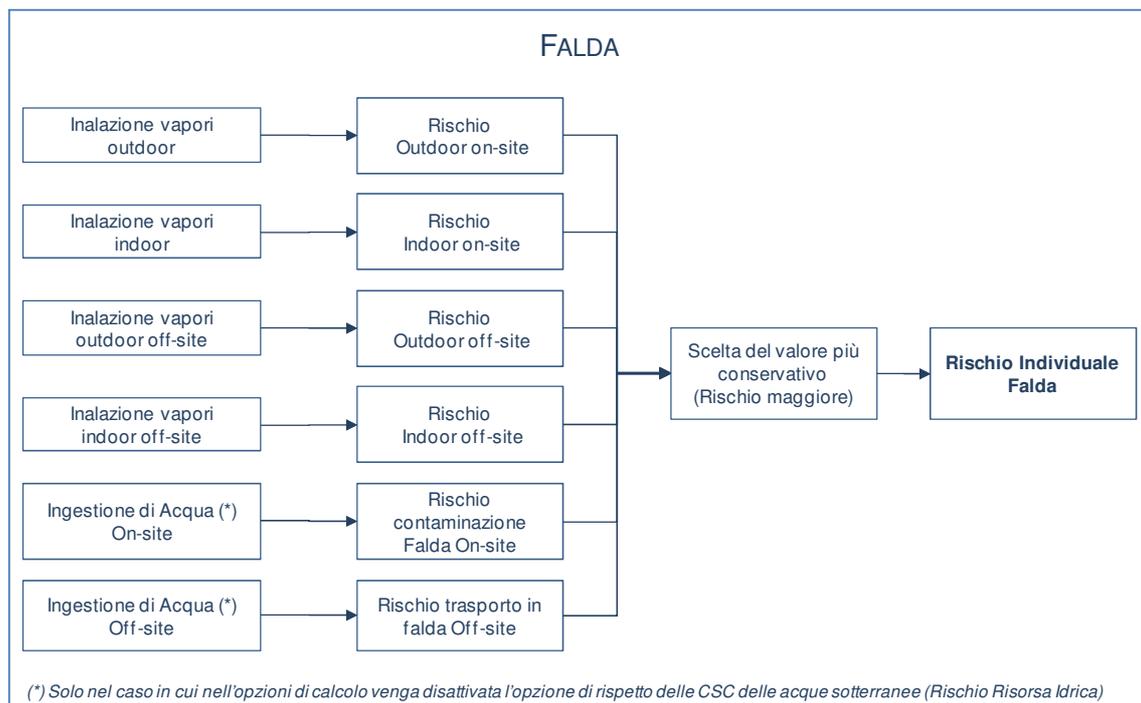


Figura 42. Criteri di cumulo dei rischi per la falda.

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 8. 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</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 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> $R_{SS.outdoor} = R_{SS.IngS} + R_{SS.ConD} + R_{SS.InaO} + R_{SS.InaOP}$ $HI_{SS.outdoor} = HI_{SS.IngS} + HI_{SS.ConD} + HI_{SS.InaO} + HI_{SS.InaOP}$	
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site)</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>

Tabella 8. Suolo Superficiale: Rischio e Indice di Pericolo

<p>Inalazione particolato indoor (no off-site)</p> $R_{SS.InalP} = CRS \cdot SF_{Inal} \cdot EM_{Inal} \cdot PEF_{in}$ $HI_{SS.InalP} = CRS \cdot \frac{EM_{Inal} \cdot PEF_{in}}{RfD_{Inal}}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SFI_{na} = Slope factor - inalazione RfD_{Inal} = 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 SFI_{ng} = 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 9. Suolo Profondo: Rischio e Indice di Pericolo	
<p>Inalazione di vapori outdoor</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 indoor (no off-site)</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>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

Appendice 1. Calcolo del Rischio

Tabella 10. Falda: Rischio e Indice di Pericolo	
<p>Inalazione di vapori outdoor</p> $R_{GW.InaO} = CRS \cdot \frac{SF_{Ina} \cdot VF_{wamb} \cdot EM_{InaO}}{DAF}$ $HI_{GW.InaO} = CRS \cdot \frac{VF_{wamb} \cdot EM_{InaO}}{RfD_{Ina} \cdot DAF}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{wamb} = Volatilizzazione outdoor DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Inalazione di vapori indoor</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>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> $R_{GW} = \max [R_{GW.InaO}; R_{GW.Inal}; R_{GW.D}]$ $HI_{GW} = \max [HI_{GW.InaO}; HI_{GW.Inal}; HI_{GW.D}]$	

Per i recettori On-site DAF=1

Tabella 11. 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 2. CALCOLO 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.

CSR per più vie di esposizione. L'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 43, Figura 44 e Figura 45 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.

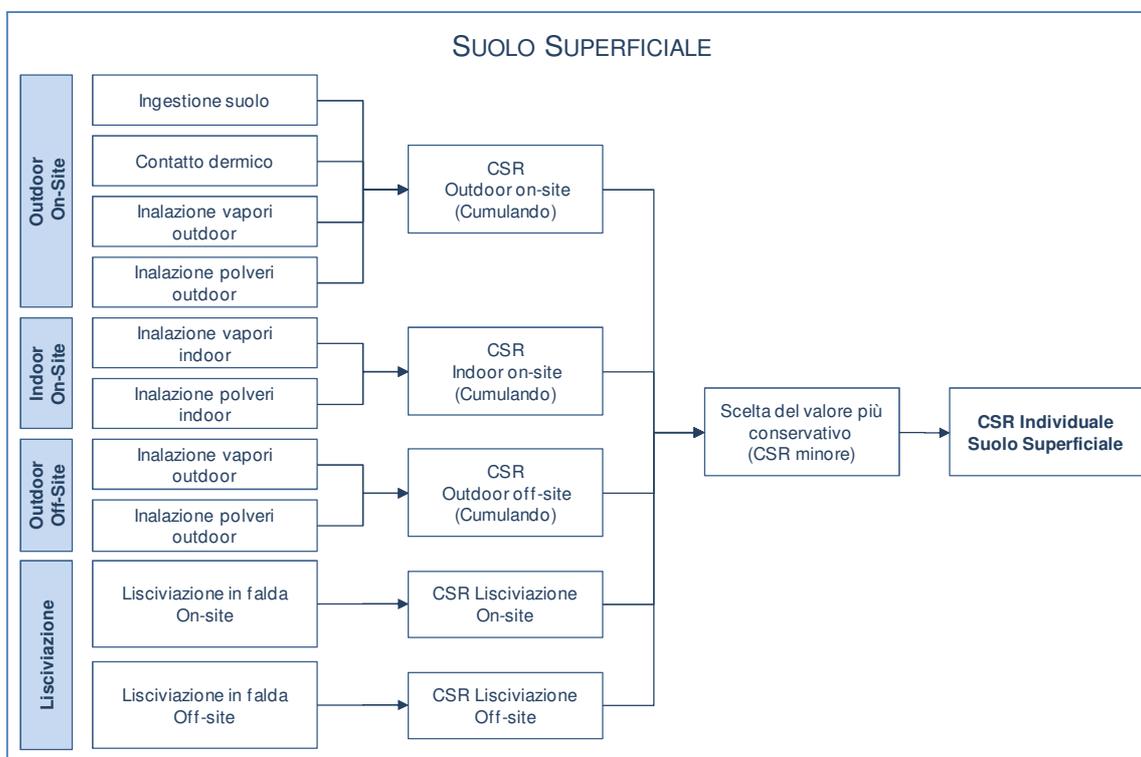


Figura 43. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo superficiale.

Appendice 2. Calcolo Obiettivi di Bonifica (CSR)

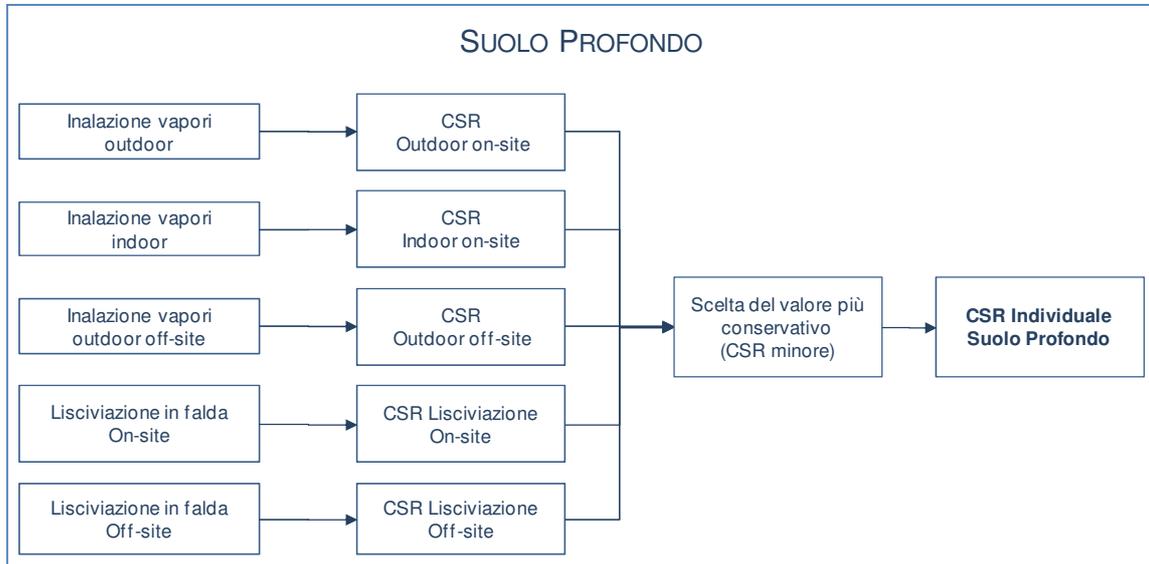


Figura 44. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo profondo.

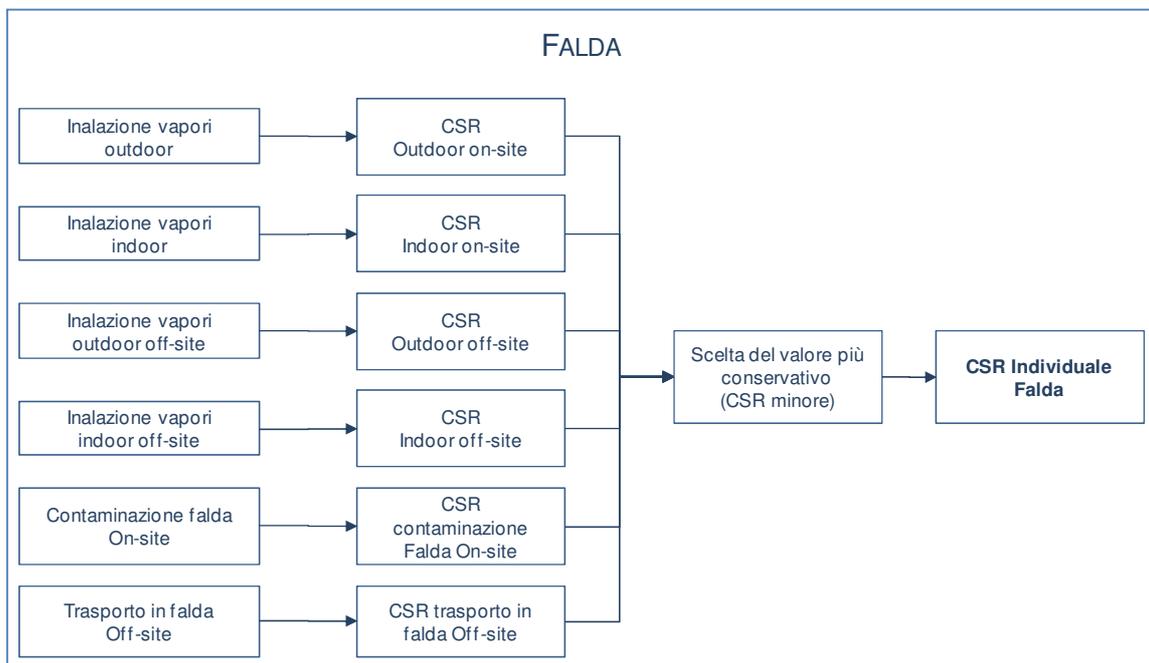


Figura 45. Criteri di cumulo delle CSR per la falda.

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. Pertanto le CSR individuali così calcolate non rispettano necessariamente la condizione di rischio cumulativo tollerabile.

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 12. 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</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 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>
<p>Cumulativo Outdoor</p> $CSR_{SS.outdoor} = \begin{cases} \frac{1}{\frac{1}{CSR_{SS.IngS}} + \frac{1}{CSR_{SS.ConD}} + \frac{1}{CSR_{SS.InaO}} + \frac{1}{CSR_{SS.InaOP}}} & \text{(se } CSR_{InaO} \leq C_{sat} \text{)} \\ \frac{TR - R_{max,InaO}}{\frac{TR}{CSR_{SS.IngS}} + \frac{TR}{CSR_{SS.ConD}} + \frac{TR}{CSR_{SS.InaOP}}} & \text{(se } CSR_{InaO} > C_{sat} \text{)} \end{cases}$ <p>$R_{max,InaO} = (C_{sat} / CSR_{InaO}) \cdot TR \quad \text{(se } CSR_{InaO} > C_{sat} \text{)}$</p>	

Appendice 2. Calcolo Obiettivi di Bonifica (CSR)

Tabella 12. Suolo Superficiale: CSR	
<p>Inalazione di vapori indoor (no off-site)</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 SFI_{na} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{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 SFI_{na} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor PEF_{in} = Particolato indoor</p>
<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 SFI_{ng} = 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 13. Suolo Profondo: CSR	
<p>Inalazione di vapori outdoor</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 indoor (no off-site)</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>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

Appendice 2. Calcolo Obiettivi di Bonifica (CSR)

Tabella 14. Falda: CSR	
<p>Inalazione di vapori outdoor</p> $CSR_{GW.InaO} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR \cdot DAF}{SF_{Ina} \cdot VF_{wamb} \cdot EM_{InaO}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina} \cdot DAF}{VF_{wamb} \cdot EM_{InaO}} \end{cases}$	<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 DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Inalazione di vapori indoor</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>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>	

Per i recettori On-site DAF=1

Tabella 15. 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 16. Calcolo CSR Idrocarburi

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.

Tabella 17. 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 3. CALCOLO FATTORI DI TRASPORTO

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 definiti considerati sono:

Da Suolo Superficiale

- VF_{ss} : fattore di volatilizzazione di vapori
- $VF_{se\text{sp}}$: 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
- $VF_{se\text{sp}}$: 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 porosi per fessurazione);
- assenza di fenomeni di biodegradazione (ad eccezione del DAF) o altri meccanismi di degradazione/trasformazione delle sostanze inquinanti.

Tabella 18. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori outdoor

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

Verifica profondità sorgente suolo superficiale (opzionale)

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

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)

τ_{outdoor} = Tempo medio di durata del flusso di vapore outdoor (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)

Tabella 19. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori outdoor (Soil-Gas)

$$\alpha_{ss} \left[\frac{mg / m^3_{aria}}{mg / m^3_{soil-gas}} \right] = \frac{2 \cdot W'}{U_{air} \cdot \delta_{air}} \sqrt{\frac{D_s^{eff}}{\pi \cdot \tau_{outdoor}}}$$

Verifica profondità sorgente suolo superficiale (opzionale)

$$\alpha_{ss} \left[\frac{mg / m^3_{aria}}{mg / m^3_{soil-gas}} \right] = \begin{cases} \frac{2 \cdot W'}{U_{air} \cdot \delta_{air}} \sqrt{\frac{D_s^{eff}}{\pi \cdot \tau_{outdoor}}} & \text{se } L_{s(SS)} = 0 \\ \frac{1}{\left(1 + \frac{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot L_{s(SS)}}{D_s^{eff} \cdot W'} \right)} & \text{se } L_{s(SS)} > 0 \end{cases}$$

Nomenclatura

$L_{s(SS)}$ = 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)

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

Tabella 20. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori indoor

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

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

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

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

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

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 (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 ($g/cm/s$)

Tabella 21. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori indoor (Soil-Gas)

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

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

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

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

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 (s)
- ER = tasso di ricambio aria indoor (1/s)
- η = Frazione areale di fratture indoor (-)
- 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 ($g/cm/s$)

Tabella 22. Suolo Superficiale: Lisciviazione in falda

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

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)

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

Infiltrazione efficace (Opzionale)

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

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) $\beta = 0.00018$.

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 (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/cm^3)

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

d_a = spessore acquifero (cm)

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

α_z = Dispersione verticale (cm)

Tabella 23. 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 24. 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 25. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori outdoor

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

Nomenclatura

- d_s = spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo) (cm)
- $L_{s(SP)}$ = Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c. (cm)
- D_s^{eff} = Coefficiente di diffusione nella zona insatura (cm^2/s)
- W' = Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (cm)
- 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 (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/cm^3)

Tabella 26. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori outdoor (Soil-Gas)

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

Si sottolinea che nel caso in cui venga attivata l'opzione di scelta di selezione del valore minore tra VF_{samb} e VF_{ss} (nella schermata opzioni di calcoli) viene effettuata anche la verifica tra il valore minore di α_{samb} e α_{ss} (scegliendo il valore minore come rappresentativo).

Nomenclatura

- $L_{s(SP)}$ = Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c. (cm)
- D_s^{eff} = Coefficiente di diffusione nella zona insatura (cm^2/s)
- W' = Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (cm)
- δ_{air} = Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)
- U_{air} = Velocità del vento (cm/s)

Tabella 27. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori indoor

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

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

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

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

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

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 (s)
- ER = tasso di ricambio aria indoor (1/s)
- η = Frazione areale di fratture indoor (-)
- θ_w = Contenuto volumetrico di acqua nella zona insaturo (-)
- 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 ($g/cm/s$)

Tabella 28. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori indoor (Soil-Gas)

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

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

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

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

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)
- $L_{s(SP)}$ = 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)
- ER = tasso di ricambio aria indoor (1/s)
- η = Frazione areale di fratture indoor (-)
- 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 ($g/cm/s$)

Tabella 29. Suolo Profondo: Lisciviazione in Falda

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

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)

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

Spessore zona di miscelazione, δ_{gw} (cm)

$$\delta_{gw} = (2 \cdot \alpha_z \cdot W)^{0,5} + d_a \cdot \left[1 - \exp \left(- \frac{W \cdot I_{eff}}{v_{gw} \cdot d_a} \right) \right] \quad \text{Se } \delta_{gw} > d_a \rightarrow \delta_{gw} = d_a$$

Infiltrazione efficace (Opzionale, solo se viene attivato dall'utente)

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

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) $\beta = 0.00018$.

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(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)

Tabella 30. Eluato Green-Ampt

Fattore di attenuazione

$$AF_{SLM} = \frac{C_{Lf}}{C_0} = \exp \left[\left(\frac{\lambda \cdot R}{v_{gw}} \right) \cdot L \right]$$

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

$$v_{gw} = \begin{cases} \frac{L}{t_{gw}} & \text{(a seconda dell'opzione scelta dall'utente)} \\ I_{eff} & \text{(a seconda dell'opzione scelta dall'utente)} \end{cases}$$

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)

$$v_{gw} = \begin{cases} \frac{L}{t_w} & \text{(a seconda dell'opzione scelta dall'utente)} \\ I_{eff} & \text{(a seconda dell'opzione scelta dall'utente)} \end{cases}$$

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 Idrraulica (cm/s)

Tabella 31. 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 (-)

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

Dispersione longitudinale, α_x (cm)

$$\alpha_x = POC/10$$

Dispersione trasversale, α_y (cm)

$$\alpha_y = \alpha_x/3$$

Dispersione 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/cm^3)

i = gradiente idraulico

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

POC = Distanza punto di conformità (cm)

Tabella 32. Falda: Equazione di Domenico

Dispersione in tutte le direzioni - DAF1 (-)

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

Dove:

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

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

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

Nomenclatura

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 Idrraulica (cm/s)

α_x = Dispersività longitudinale(cm)

α_y = Dispersività trasversale(cm)

α_z = Dispersività verticale(cm)

Tabella 33. Falda: Volatilizzazione vapori outdoor

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

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 (-)

Tabella 34. Falda: Volatilizzazione vapori outdoor (Soil-Gas)

$$\alpha_{wamb} \left[\frac{mg / m^3_{aria}}{mg / m^3_{soil-gas}} \right] = \frac{1}{1 + \frac{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot L_{gw}}{D_w^{eff} \cdot W'}}$$

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 (-)

Tabella 35. Falda: Volatilizzazione vapori indoor

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

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

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

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

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 ($g/cm/s$)

Tabella 36. Falda: Volatilizzazione vapori indoor (Soil-Gas)

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

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

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

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

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 (-)
- 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 ($g/cm/s$)

Tabella 37. 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 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

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

Nomenclatura

h_{cap} = spessore frangia capillare (cm)

h_v = spessore zona insatura (cm)

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_{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 (-)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm^3)

Tabella 38. Concentrazione di Saturazione, C_{sat}

Concentrazione di Saturazione

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

Nomenclatura

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

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

S = solubilità (mg/L)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm^3)

Tabella 39. Concentrazione Tal Quale vs. Concentrazione Sostanza Secca

CSR Tal quale

$$CSR_{TalQuale} [mg / kg] = CSR_{S.Secca} \cdot \left(1 - \frac{\theta_w}{\rho_s} \right)$$

Nomenclatura

$CSR_{TalQuale}$ = Concentrazione Soglia di Rischio espressa sul tal quale (mg/kg T.Q.)

$CSR_{S.Secca}$ = Concentrazione Soglia di Rischio espressa sulla sostanza secca (mg/kg s.s.)

θ_w = Contenuto di acqua nel suolo (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm^3)

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
- 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 (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.

Appendice 4. Calcolo Fattori di Esposizione

Tabella 40. Fattori di Esposizione	
<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> $EM \left[\frac{mg}{kg \times giorno} \right] = \frac{IR \cdot FI \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365} \frac{\text{giorni}}{\text{anno}}$	<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 (-)</p>
<p>Inalazione di vapori e polveri outdoor</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 e polveri indoor</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>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 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:

$$C_{tot} = \frac{\theta_w + H \theta_a + \rho_s k_d}{\rho_s} \cdot C_{sol}$$

dove k_d è il coefficiente di ripartizione tra il soluto e la fase adsorbita¹¹, 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 adsorbita¹² 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:

$$C_{sat} = \frac{\theta_w + H \theta_a + \rho_s k_d}{\rho_s} \cdot S$$

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).

¹¹ 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.

¹² 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 residua¹³), 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:

$$RBSL_{NAPL} = \begin{cases} \frac{\theta_w + H(\theta_a - \theta_o) + \rho_s k_d}{\rho_s} \cdot S + \frac{\theta_o \cdot \rho_o}{\rho_s} \cdot 10^6 \frac{mg}{kg} & \text{(zona insatura)} \\ \frac{(\theta_e - \theta_o) + \rho_s k_d}{\rho_s} \cdot S + \frac{\theta_o \cdot \rho_o}{\rho_s} \cdot 10^6 \frac{mg}{kg} & \text{(zona satura)} \end{cases}$$

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.

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 viene descritto come tale problematica è stata trattata nel software Risk-net.

¹³ 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.

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-Kit¹⁴), 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 (vedi paragrafo "Opzioni di Calcolo", pag. 16).

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).

Il discorso risulta più complicato quando si devono calcolare gli effetti cumulati legati alla presenza di più vie attive. Infatti, mentre nel calcolo diretto per cumulare gli effetti è sufficiente sommare i rischi legati a ciascun percorso (e quindi nel caso in cui alcune vie saturino è sufficiente utilizzare per quella via di esposizione il rischio calcolato con la C_{sat}), per il calcolo degli obiettivi di bonifica (CSR) 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:

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

¹⁴ 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."

Quando per una via di esposizione (ad es. inalazione di vapori) la CSR calcolata risulta superiore alla C_{sat} l'equazione sopra riportata diventa inapplicabile. Infatti, come discusso in precedenza, per alcune vie di esposizione al raggiungimento delle condizioni di saturazione può capitare che il rischio (o l'indice di pericolo) risulti comunque inferiore al limite accettabile e pertanto non è possibile definire una CSR . Tuttavia non tenerne conto, escludendo quindi la via di esposizione specifica dal calcolo delle CSR , porterebbe ad una sottostima del rischio. Infatti la via di esposizione che satura contribuisce comunque ad aumentare il rischio complessivo legato alla cumulazione degli effetti di più vie di esposizione.

Per tenerne conto è quindi possibile procedere in due maniere differenti. Il primo modo consiste nel stimare la CSR mediante un calcolo iterativo (applicando l'analisi di rischio in modalità forward) variando la concentrazione in sorgente (CRS) fino a che la somma totale dei diversi rischi risulta pari al limite accettabile (TR):

$$TR = R_{ingestione}(CRS) + R_{cont.dermico}(CRS) + R_{polveri}(CRS) + R_{max,vapori}(C_{sat})$$

In questo caso la CRS che restituisce un rischio complessivo pari al limite accettabile rappresenta proprio la CSR cumulata sulle diverse vie di esposizione attive.

Il termine $R_{max,vapori}$ riportato nella equazione rappresenta il rischio massimo per inalazione di vapori outdoor che si ottiene quando il vapore ha raggiunto la saturazione ($CRS \geq C_{sat}$).

In alternativa il calcolo della CSR per più vie di esposizione ($CSR_{outdoor}$) può essere effettuato direttamente, applicando la seguente equazione:

$$CSR_{outdoor} = \frac{TR - R_{max,vapori}}{\frac{TR}{CSR_{ingestione}} + \frac{TR}{CSR_{cont.dermico}} + \frac{TR}{CSR_{polveri}}} \quad (\text{se } CSR_{vapori} > C_{sat})$$

$R_{max,vapori}$ può essere calcolato in maniera diretta (analisi forward con $CRS = C_{sat}$) oppure derivandolo dalla proporzione $TR : CSR^*_{vapori} = R_{max,vapori} : C_{sat}$ ottenendo:

$$R_{max,vapori} = \frac{C_{sat}}{CSR^*_{vapori}} \cdot TR \quad (\text{se } CSR^*_{vapori} > C_{sat})$$

Dove CSR^*_{vapori} rappresenta la CSR teorica calcolata per l'inalazione di vapori che si avrebbe se il contaminante non saturasse. Lo stesso procedimento può essere applicato per le sostanze non cancerogene semplicemente sostituendo nell'equazioni descritte il valore di rischio accettabile (TR) ed il rischio massimo dei vapori alla C_{sat} ($R_{max,vapori}$) con il corrispondente indice di pericolo (HI e $HI_{max,vapori}$ rispettivamente).

APPENDICE 6. 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 41. 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 6. Koc e Kd in funzione del pH

Tabella 42. 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

Appendice 6. Koc e Kd in funzione del pH

Tabella 43. 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

Appendice 6. Koc e Kd in funzione del pH

Tabella 44. 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	Nickel	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