

RISK-NET



Manuale D'uso

Versione 2.1
Ottobre 2016

RECONnet
Rete Nazionale sulla gestione e la
Bonifica dei Siti Contaminati



RISK-NET Versione 2.1

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

*Il software **Risk-net v. 2.1** 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 e Ingegneria Informatica dell'Università degli studi 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.

Autore e sviluppatore del software

Iason Verginelli, Università di Roma "Tor Vergata"

Membri del gruppo di lavoro Reconnet che hanno contribuito all'ottimizzazione e valutazione della versione 2.0 e 2.1 del software (in ordine alfabetico)

Renato Baciocchi, Università di Roma "Tor Vergata"

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

Andrea Forni, Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bologna

Igor Villani, ARPAE Emilia Romagna

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

Angiolo Cali, Golder Associate

Amedeo Dragano, ARPA Lazio

Alessandro Girelli, Industria Ambiente

Francesco Ioppolo, Arcadis

Andrea Melilli, Ambiente s.c.

Serena Noli, Petroltecnica

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

Stefania Verdelocco, AECOM Italy

Mattia Zaffaroni, ERM

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 2.1 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

DISCLAIMER

Il presente prodotto è il risultato del lavoro coordinato in seno alla rete RECONNET "Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati". I prodotti elaborati dalla Rete sono tutelati dalle norme sul copyright e sono di esclusiva proprietà di tutte le parti coinvolte nell'Accordo. A tal riguardo i "Prodotti RECONnet" possono essere modificati e/ o revocati da RECONNET in qualsiasi momento e senza preavviso. Tutte le indicazioni e i dati presenti nei "Prodotti RECONnet" costituiscono una semplice guida di carattere informativo, finalizzata a conseguire un corretto orientamento per la valutazione e la diffusione di tecnologie e tematiche ambientali. Di conseguenza, la Rete RECONnet e i suoi membri non rilasciano alcuna garanzia e declinano ogni responsabilità in merito alla completezza e all'utilità delle informazioni, dei prodotti o dei processi divulgati, nonché agli eventuali danni derivanti dall'utilizzo degli stessi da parte degli utenti. Il riferimento e i richiami presenti nei documenti RECONNET relativi a tecnologie e prodotti offerti da terze parti non costituiscono un riconoscimento di garanzia e di qualità degli stessi. Le opinioni espresse dagli autori non rappresentano necessariamente quelle degli Enti di Controllo. Si sottolinea infine che il software realizzato non vuole e non può essere sostitutivo della professionalità dei tecnici. In tal senso i risultati che vengono forniti sono sotto la piena responsabilità di chi effettua lo studio di analisi di rischio.

INDICE

Risk-net Versione 2.1	2
Elenco Figure.....	6
Elenco Tabelle	7
Acronimi.....	8
Cos'è Risk-net	9
Interfaccia e utilizzo del software.....	10
Principali novità della versione 2.0	12
Modifiche nella versione 2.1 (rispetto alla 2.0)	14
Architettura del software	17
Schermata principale.....	18
Analisi, limiti e opzioni di calcolo	20
Tipo di Analisi	20
Accettabilità	21
Opzioni di Calcolo.....	22
Input.....	26
Modello Concettuale	26
Contaminanti Indicatori.....	29
Banca Dati	33
Concentrazione Rappresentativa Alla Sorgente	36
Definizione dei Recettori.....	37
Parametri di Esposizione	38
Caratteristiche Sito	41
Gestione degli errori	43
Output	45
Riepilogo Input.....	45
Contaminanti Indicatori.....	47
Output Intermedi	48
Calcolo Rischio	52
Calcolo del Rischio	53

Riepilogo Output	55
Valori di screening prodotto libero	56
Calcolo Obiettivi di Bonifica (CSR)	56
Calcolo CSR	57
Riepilogo Output	59
Calcolo CSR Idrocarburi	60
Valori di screening prodotto libero	62
Confronto concentrazioni	63
Documenti di Riferimento	65
Nomenclatura	66
Appendici – Equazioni e Criteri di calcolo	72
Appendice 1. Calcolo del Rischio	73
Rischio Individuale	73
Rischio per più di vie di esposizione	74
Rischio Cumulativo	76
Rischio Risorsa Idrica	76
Appendice 2. Calcolo Obiettivi di Bonifica (CSR)	81
CSR Individuali	81
CSR per più vie di esposizione	82
CSR Cumulative (Obiettivi di bonifica)	84
Appendice 3. Calcolo Fattori di Trasporto	92
Appendice 4. Calcolo Fattori di Esposizione	112
Appendice 5. Saturazione Chimico-Fisica e Residua	114
Concentrazione di Saturazione	114
Concentrazione Residua (Screening Mobilità NAPL)	115
Applicazione dell'Analisi di Rischio in condizioni di saturazione	115
Appendice 6. Utilizzo dei dati soil-gas	117
Appendice 7. Fattore di aggiustamento (ADAF)	122
Appendice 8. Koc e Kd in funzione del pH	123

ELENCO FIGURE

Figura 1. Schermata principale del software Risk-net.....	18
Figura 2. Definizione del tipo di analisi e delle opzioni di calcolo.....	20
Figura 3. Definizione dei limiti accettabili di Rischio e Indice di Pericolo.....	21
Figura 4. Opzioni di calcolo.....	22
Figura 5. Finestra di dialogo per l'accesso alle diverse schermate di Input.....	26
Figura 6. Definizione del modello concettuale.....	27
Figura 7. Selezione contaminanti.....	29
Figura 8. Selezione Database.....	30
Figura 9. Selezione contaminanti indicatori.....	31
Figura 10. Database Risk-net.....	33
Figura 11. Banca Dati Esterna.....	34
Figura 12. Ricerca dei parametri dei contaminanti presenti nel database.....	35
Figura 13. Definizione della Concentrazione Rappresentativa alla Sorgente.....	36
Figura 15. Selezione dello scenario di esposizione.....	37
Figura 16. Parametri di Esposizione.....	39
Figura 17. Caratteristiche del sito.....	41
Figura 18. Controllo sugli errori di tipo concettuale.....	44
Figura 19. Avviso di errato inserimento dei parametri di input.....	44
Figura 20. Finestra di dialogo per l'accesso alle diverse schermate di Output.....	45
Figura 21. Riepilogo Input.....	46
Figura 22. Userform proprietà contaminanti indicatori.....	47
Figura 23. Riepilogo Proprietà Contaminanti Indicatori.....	47
Figura 24. Userform Output Intermedi.....	48
Figura 25. Riepilogo Modello Concettuale.....	49
Figura 26. Fattori di esposizione calcolati.....	49
Figura 27. Fattori di trasporto calcolati.....	50
Figura 28. Evoluzione contaminazione in falda.....	51
Figura 30. Concentrazioni al punto di esposizione.....	52
Figura 37. Userform Calcolo del Rischio.....	53
Figura 38. Calcolo del Rischio.....	54
Figura 39. Riepilogo output Analisi di Rischio in modalità diretta (Calcolo del Rischio).....	55
Figura 32. Userform Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR).....	56
Figura 33. Calcolo degli Obiettivi di bonifica (CSR).....	57
Figura 35. Riepilogo Output, applicazione Analisi di Rischio "Backward".....	60
Figura 34. Calcolo CSR Idrocarburi.....	61
Figura 36. Calcolo valori di screening per la mobilità del prodotto libero.....	62
Figura 37. Confronto concentrazioni, applicazione Analisi di Rischio "Backward".....	63
Figura 40. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo superficiale.....	74
Figura 41. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo profondo.....	75
Figura 42. Criteri di cumulo dei rischi per la falda.....	75
Figura 43. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo superficiale.....	83
Figura 44. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo profondo.....	83
Figura 45. Criteri di cumulo delle CSR per la falda.....	84

ELENCO TABELLE

Tabella 1. Fattori di trasporto considerando o meno l'esaurimento della sorgente.	23
Tabella 2. Vie di esposizione/migrazione attivabili	28
Tabella 3. Fattori di trasporto utilizzati per ciascuna via di esposizione.	28
Tabella 4. Valori di default implementati nel software (APAT-ISPRA, 2008).	40
Tabella 5: Proprietà del terreno in funzione della tessitura selezionata.	42
Tabella 7. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo del rischio	54
Tabella 6. Descrizione delle parole chiave e dei simboli inerenti il calcolo delle CSR	58
Tabella 8. Suolo Superficiale: Rischio e Indice di Pericolo	77
Tabella 9. Suolo Profondo: Rischio e Indice di Pericolo.....	79
Tabella 10. Falda: Rischio e Indice di Pericolo	80
Tabella 11. Rischio Risorsa Idrica.....	80
Tabella 12. Suolo Superficiale: CSR.....	86
Tabella 13. Suolo Profondo: CSR	88
Tabella 14. Falda: CSR.....	89
Tabella 15. CSR Risorsa Idrica.....	89
Tabella 16. Calcolo CSR Idrocarburi.....	90
Tabella 17. Screening Prodotto Libero.....	91
Tabella 39. Flux Chambers (Dinamiche).....	91
Tabella 18. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori outdoor	93
Tabella 19. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori outdoor (Soil-Gas)	94
Tabella 20. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori indoor	95
Tabella 21. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori indoor (Soil-Gas)	96
Tabella 22. Suolo Superficiale: Lisciviazione in falda.....	97
Tabella 23. Suolo Superficiale: Emissione di Particolato	98
Tabella 24. Dispersione In Atmosfera	98
Tabella 24. Coefficienti di dispersione In Atmosfera	99
Tabella 24. Stima velocità del vento in corrispondenza dell'altezza di miscelazione	99
Tabella 25. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori outdoor	100
Tabella 26. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori outdoor (Soil-Gas)	100
Tabella 27. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori indoor	101
Tabella 28. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori indoor (Soil-Gas)	102
Tabella 29. Suolo Profondo: Lisciviazione in Falda.....	103
Tabella 30. Eluato Green-Ampt.....	104
Tabella 31. Fattore di Diluizione in Falda.....	105
Tabella 32. Falda: Equazione di Domenico	106
Tabella 33. Falda: Volatilizzazione vapori outdoor.....	107
Tabella 34. Falda: Volatilizzazione vapori outdoor (Soil-Gas).....	107
Tabella 35. Falda: Volatilizzazione vapori indoor	108
Tabella 36. Falda: Volatilizzazione vapori indoor (Soil-Gas).....	109
Tabella 37. Coefficiente di diffusione	110
Tabella 38. Concentrazione di Saturazione, C_{sat}	111
Tabella 39. Concentrazione Tal Quale vs. Concentrazione Sostanza Secca	111
Tabella 40. Fattori di Esposizione	113
Tabella 41. Valori Koc in funzione del pH per i contaminanti organici (1/2)	123
Tabella 42. Valori Koc in funzione del pH per i contaminanti organici (2/2)	124
Tabella 43. Valori Kd in funzione del pH per i contaminanti inorganici (1/2)	125
Tabella 44. Valori Kd in funzione del pH per i contaminanti inorganici (2/2)	126

ACRONIMI

SIMBOLO	SIGNIFICATO
ADF	Fattore di dispersione in atmosfera
AdR	Analisi di Rischio
Cpoe	Concentrazione al punto di esposizione
CSR	Concentrazione Soglia di Rischio
CSC	Concentrazione Soglia di Contaminazione
CRS	Concentrazione rappresentativa alla Sorgente
DAF	Fattore di attenuazione in falda
DB	Database o Banca Dati
R	Rischio Cancerogeno
HI	Indice di Pericolo (Non Cancerogeno)
Cres	Concentrazione residua
Csat	Concentrazione di saturazione
On-site	All'interno della sorgente di contaminazione
Off-site	All'esterno della sorgente di contaminazione
POC	Punto di conformità

COS'È RISK-NET

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

Il software permette di calcolare sia il rischio in 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 in Visual Basic per lavorare in ambiente Microsoft Excel. Il software Risk-net è stato sviluppato per lavorare in ambiente Windows XP, Windows 7 e Windows 8 con Excel 2003, Excel 2007 e Excel 2010. Con le versioni più recenti di Excel alcune funzionalità del software potrebbero risultare limitate o rallentate.

Il software non risulta invece compatibile con LibreOffice e OpenOffice.

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".

Excel 2010 ed Excel 2013: Prima di avviare 'Risk-net', accedere dal menù principale di Excel in "File >> Opzioni >> 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 premendo il pulsante "crea licenza" viene fornito un numero identificativo dell'installazione ("ID di Installazione").

Per ottenere il codice di attivazione da inserire nel software Risk-net 2.1, è necessario compilare il form disponibile nella pagina "Attivazione Risk-net 2.1" disponibile sul sito www.reconnet.net inserendo Nome e Cognome, Società/Ente, Indirizzo e-mail e l'ID di installazione fornito dal software durante la creazione della licenza. Una volta inseriti tutti i dati, premere il pulsante "Invia Richiesta" e vi verrà inviato all'e-mail inserita nel form online il codice di attivazione da inserire nel software. Il codice di attivazione viene inviato in automatico (i tempi di invio possono variare da pochi minuti a qualche ora). Alcuni gestori di posti potrebbero identificare la mail con il codice di attivazione generata in maniera automatica come Spam o Posta indesiderata. Se non si riceve nelle tempistiche descritte il codice di attivazione controllare nelle cartelle di Spam o Posta Indesiderata se avete ricevuto una mail da risknet@reconnet.net.

Inserito il codice, premere il pulsante "Attiva software" ed il software è pronto per l'uso. Qualora fossero necessarie più licenze è sufficiente ripetere questa operazione su tutti i computer sui quali si desidera installare Risk-net. Qualora al momento dell'installazione non fosse possibile accedere ad internet è possibile salvare i dati inseriti ed il codice di installazione premendo il pulsante "Attiva in seguito".

Se ad ogni avvio del programma viene richiesto di inserire nuovamente i dati per creare la licenza è probabile che il programma sia installato su un percorso su cui non si hanno i diritti di amministratore (veda istruzioni "Installazione del software"). In questo caso è consigliabile reinstallare il programma nel percorso corretto (ad es. in Documenti) e creare una nuova licenza.

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.

PRINCIPALI NOVITÀ DELLA VERSIONE 2.0

Banca Dati. In questa versione del software è implementata di default la Banca Dati ISS-INAIL (2015).

Utilizzo dati soil-gas. In Risk-net 2.0 è possibile utilizzare i dati di soil-gas sia per il calcolo del rischio di inalazione outdoor e indoor (opzione già presente nella versione 1.0) che per l'aggiornamento delle CSR per inalazione. Nell'attuale versione sono state inoltre modificate le equazioni utilizzate per il calcolo dei fattori di trasporto per il soil-gas associate al suolo superficiale e alla falda.

Concentrazione di saturazione. Nella nuova versione del software, è possibile stimare i rischi (opzione già presente nella versione 1.0) e le CSR non tenendo conto del raggiungimento delle condizioni di saturazione. Tale opzione, seppur non fisicamente significativa in quanto in realtà la tensione di vapore di ogni sostanza (corrispondente alle condizioni di saturazione) limita in effetti la concentrazione raggiungibile in fase vapore, è stata prevista per valutare le CSR ipotetiche che si avrebbero se non si raggiungessero le condizioni di saturazione. Ciò significa che i rischi e le CSR stimati in questo modo sono senza dubbio più conservativi rispetto a quelli reali valutati assumendo una concentrazione pari a quella di saturazione (C_{sat}).

Bilancio di Materia. Nei modelli ASTM il bilancio di materia viene effettuato considerando una ripartizione lineare tra le diverse fasi del suolo. Pertanto nel caso in cui si attivi l'opzione di limitare la concentrazione totale alla C_{sat} calcolata il bilancio di materia che tiene conto dell'esaurimento della sorgente potrebbe risultare sottostimato. In questa versione del software è possibile attivare un'opzione che, nel bilancio di materia, tenga conto anche della presenza della fase separata.

Volatilizzazione Outdoor da Falda. Nella nuova versione del software per il trasporto di vapori outdoor off-site da falda, viene data la possibilità di definire se il trasporto al di fuori del sito avviene per trasporto in falda e successiva volatilizzazione (già prevista nella versione 1.0) o per volatilizzazione on-site e successivo trasporto in atmosfera.

Presenza di una lente (Percorso Volatilizzazione). Nella nuova versione del software, per il percorso di volatilizzazione, l'utente può inserire (se presente) una lente a bassa permeabilità posta tra la sorgente e il piano campagna.

CSR Idrocarburi. Nella nuova versione del software vengono calcolati in maniera automatica le CSR per gli Idrocarburi ($C>12$, $C<12$ e totali) sulla base delle CSR calcolate usando speciazione TPH WG o MADEP. Rispetto alla versione precedente è stato implementato in maniera più rigorosa il metodo della frazione critica riportato nell'

Appendice V del manuale ISPRA (2009). In particolare rispetto alla versione precedente nella speciazione MADEP, in maniera cautelativa, le classi miste (Alifatici C9-C18 e Aromatici C11-C22) vengono conteggiate sia nei C<12 che nei C>12.

Fattore di aggiustamento (ADAF). In accordo con quanto previsto nel documento di supporto della banca dati ISS-INAIL (2015), nella nuova versione del software è stato previsto per alcune sostanze cancerogene un fattore di aggiustamento da applicare ai parametri tossicologici utilizzati per il recettore bambino.

Modulo Confronto Concentrazioni. Nella nuova versione del software è stata prevista un nuovo modulo (Confronto Concentrazioni) in cui è possibile valutare, in funzione delle concentrazioni totali definite dall'utente, la concentrazione attesa nelle diverse matrici (soil gas, eluato, aria outdoor, aria indoor...) e il corrispondente valore limite (aria indoor, aria outdoor, flux chambers, soil-gas, eluato...) calcolato in funzione delle CSR individuate per le diverse sorgenti (SS, SP e GW).

Modulo Lisciviazione e Trasporto in Falda. Nella nuova versione del software è stata modificata la schermata relativa al trasporto in falda. In questa nuova versione l'utente può valutare per i contaminanti di interesse le concentrazioni in falda attese a diverse distanze dalla sorgente. In questa schermata l'utente può inoltre valutare come cambiano i risultati in funzione del tempo (Steady state vs. Transitorio).

Schermate CSR. Nella nuova versione del software nella schermata delle CSR vengono riportate anche le CRS definite dall'utente e vengono evidenziati i parametri non conformi.

Report. Nella nuova versione del software nella schermata principale è stata inserita la voce "Report" che permette di esportare in un file excel editabile i dati definiti per la simulazione corrente e i risultati ottenuti.

Simulazioni con versione 1.0. Il software permette di ricaricare le simulazioni effettuate con la versione 1.0. Per le opzioni di calcolo non previste nella versione precedente vengono assegnati dei valori di default.

Bug/Malfunzionamenti. Nella nuova versione del software sono stati corretti alcuni malfunzionamenti riscontrati nella versione 1.0.

MODIFICHE DELLA VERSIONE 2.1 (RISPETTO ALLA 2.0)

In Risk-net 2.1 sono stati corretti alcuni malfunzionamenti riscontrati nella versione 2.0. Di seguito sono brevemente descritte le principali modifiche della versione 2.1 rispetto alla precedente.

Database esterno. Con la nuova versione del software è possibile selezionare il file del database esterno da caricare. In questo modo l'utente può utilizzare più facilmente diversi database esterni. Inoltre la versione 2.1 permette di caricare la banca dati esterna su simulazioni già effettuate (nella versione 2.0 caricando una nuova banca dati il software cancellava in automatico i contaminanti precedentemente inseriti). In particolare, caricando una nuova banca dati il software aggiorna i contaminanti precedentemente inseriti, con quelli aventi lo stesso ID nella nuova banca dati selezionata (per maggiori dettagli si rimanda alla pagina 33 del manuale).

Calcolo automatico del Kd in funzione del pH. Nella versione 2.0, nel caricamento delle simulazioni il calcolo automatico del Kd in funzione del pH veniva interrotto (e pertanto modificando il valore di pH, i Kd non venivano aggiornati). Tale malfunzionamento è stato corretto nella versione 2.1.

Rischi cumulati outdoor off-site per il suolo superficiale. Nella versione 2.0 il rischio cumulato outdoor off-site non teneva conto dell'inalazione off-site di polveri. Tale aspetto è stato corretto nella versione 2.1.

CSR Idrocarburi nel caso di simulazioni con molti contaminanti. Nella versione 2.0 se venivano inseriti molti contaminanti (più di 20), le CRS per le diverse classi degli Idrocarburi non veniva lette in automatico nella schermata di calcolo delle CSR per gli Idrocarburi. Tale malfunzionamento è stato corretto nella versione 2.1.

CSR per i contaminanti non volatili nelle schermate delle CSR. Nella versione 2.0 per i contaminanti non volatili nelle schermate delle CSR, nel caso di attivazione dei soli percorsi di volatilizzazione, veniva indicata la dicitura ">Csat" invece che più propriamente "NA" (Non Applicabile in quanto il contaminante non risulta volatile). Tale aspetto è stato corretto nella versione 2.1.

Rischi cumulati nella stampa delle schermate. Nella versione 2.0, usando il comando di stampa presente nel software, non venivano mostrate le tabelle riepilogative dei rischi cumulati. Tale opzione è stata inserita nella versione 2.1.

Creazione report di simulazione. Nella nuova versione è stato migliorato il modulo di creazione del report di simulazione. Nella versione 2.0 infatti per avere il report con tutti i

dati di input e output aggiornati era prima necessario entrare in ciascuna schermata. Nella versione 2.1 tale aggiornamento viene fatto in maniera automatica dal software.

Modulo di lisciviazione e trasporto in falda in funzione del tempo nel caso di attivazione della Csat. Nella versione 2.0 quando veniva attivata l'opzione relativa al calcolo dei rischi e delle CSR tenendo conto della Csat, nella schermata sulla lisciviazione e trasporto in falda in funzione del tempo, i calcoli venivano effettuati considerando come CRS nel suolo superficiale e profondo il valore della Csat. Nella versione 2.1 viene invece utilizzato il valore di CRS definito dall'utente. Inoltre, nella versione 2.0 non era previsto un check per i casi in cui la Csat non veniva calcolata per assenza di valori di solubilità nel database (ad es. per alcuni metalli) restituendo in questi casi "VALORE". Tale check è stato aggiunto nella versione 2.1.

Coefficienti di dispersività nel modulo di lisciviazione e trasporto in falda in funzione del tempo. Nella versione 2.0 i fattori di dispersività venivano calcolati usando le formule empiriche standard definite nei criteri metodologici dell'ISPRA (2008) anche nel caso di modifica da parte dell'utente di tali valori nella schermata "Caratteristiche Sito" (rendendo quindi incoerenti i risultati in tale schermata rispetto al resto delle elaborazioni). Nella versione 2.1 nel caso in cui l'utente utilizzi dei dati di dispersività sito-specifici il software utilizza quei dati per calcolarsi le nuove correlazioni empiriche.

Calcolo CSR da suolo profondo nel caso di volatilizzazione outdoor off-site. Nella versione 2.0 per le sostanze non cancerogene, le CSR per il percorso di volatilizzazione outdoor off-site da suolo profondo venivano calcolate senza tener conto del fattore di attenuazione ADF. Tale bug è stato corretto nella versione 2.1 del software.

Modulo "Confronto Concentrazioni" nel caso di attivazione della Csat. Nella versione 2.0 quando veniva attivata l'opzione relativa al calcolo dei rischi e delle CSR tenendo conto della Csat, nella schermata "Confronto Concentrazioni" veniva mostrata nella casella delle CRS la Csat invece che il valore di CRS definito dall'utente. Nella versione 2.1 per maggiore chiarezza nella casella di riferimento viene mostrata la CRS definita dall'utente.

Modulo "Confronto Concentrazioni" nel caso di contaminanti non volatili. Nella versione 2.0 non era previsto un check nel caso di contaminanti non volatili e pertanto in alcune caselle di questa schermata veniva riportata la dicitura "VALORE". Tale check è stato aggiunto nella versione 2.1.

Profondità delle fondazioni per gli edifici off-site. Nella versione 2.0 la profondità delle fondazioni degli edifici off-site veniva erroneamente assunta pari a quella relativa agli edifici on-site. Tale bug è stato corretto nella versione 2.1.

Verifica della profondità delle fondazioni nel caso di sorgenti superficiali. Nella

versione 2.0 era previsto un check sulla profondità delle fondazioni nel caso di sorgenti superficiali. In particolare veniva verificato se le fondazioni risultassero più profonde rispetto al top della sorgente o alla sonda soil-gas. Non era invece previsto un controllo nel caso di esatta coincidenza tra top della sorgente e fondazioni. In quest'ultimo caso la distanza sorgente-edificio poteva risultare zero rendo inapplicabile il calcolo del fattore di trasporto. Tale ulteriore check è stato inserito nella versione 2.1.

Check sui valori presenti nel database. Nella versione 2.1 sono stati inseriti degli ulteriori check per verificare se risultano inseriti i valori di solubilità, costante di Henry, Kd in modo da evitare che se manchino dei valori il software vada in errore.

Caratteristiche del sito. Nella versione 2.1 sono stati inseriti degli ulteriori check nella schermata sulle caratteristiche del sito per verificare eventuali valori nulli (ad es. v_{eff} , LDF e δ_{gw}) nel caso di dati di input erroneamente posti dall'utente pari a zero.

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 in 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.

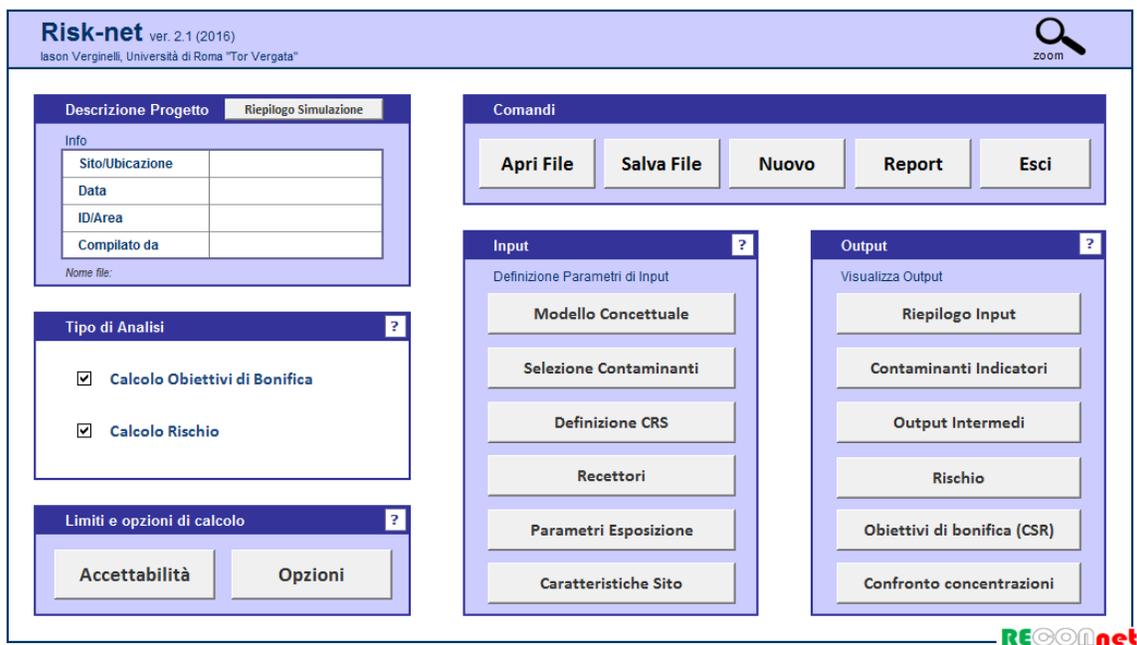


Figura 1. Schermata principale del software Risk-net.

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.

Report. Permette di creare un file di report in formato excel editabile in cui vengono riportati i principali input e output della simulazione effettuata.

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).

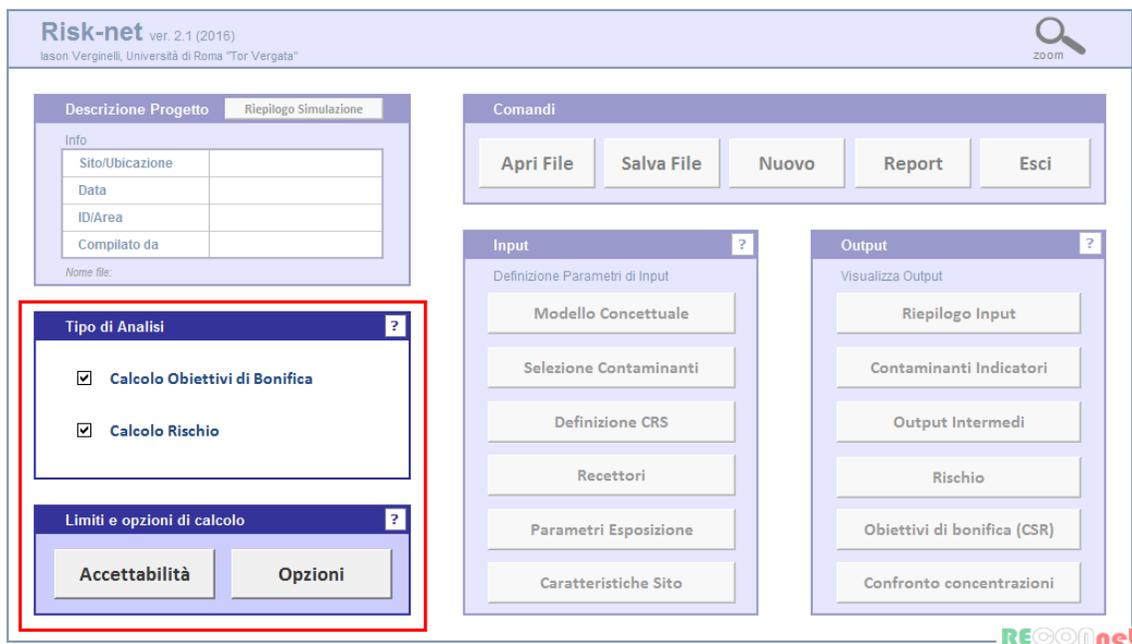


Figura 2. Definizione del tipo di analisi e delle opzioni di calcolo.

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.

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

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.

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).

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.

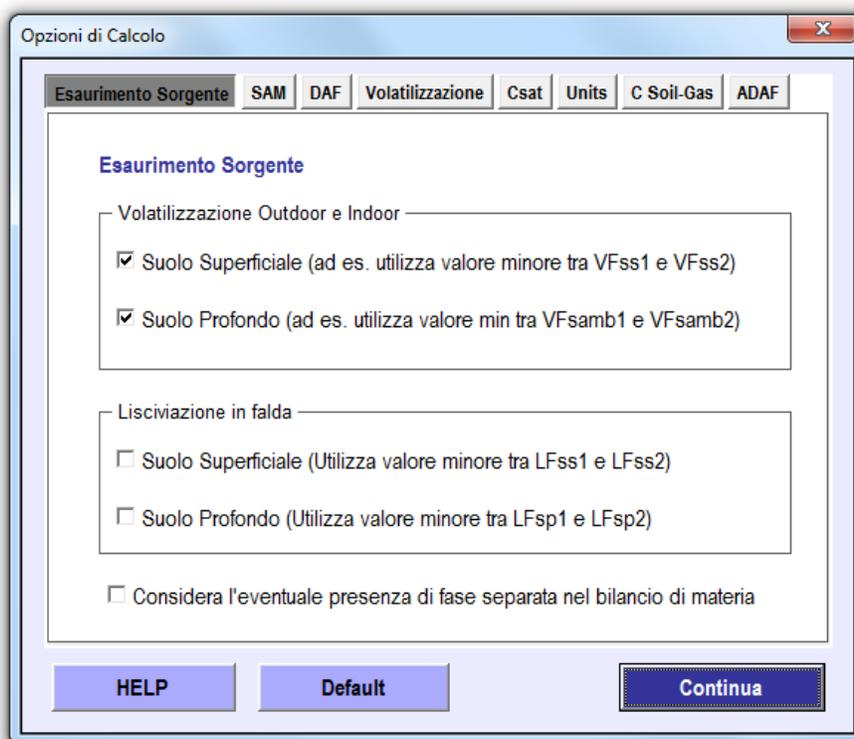


Figura 4. Opzioni di calcolo.

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

In tale scheda è inoltre possibile attivare l'opzione "Considera l'eventuale presenza di fase separata nel bilancio di materia". Attivando tale opzione, nel caso in cui si attivi l'opzione di limitare la concentrazione totale alla C_{sat} , nel bilancio di materia utilizzato per stimare l'esaurimento della sorgente si tiene conto anche della presenza della fase separata.

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

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.

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 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.

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

In questa scheda è inoltre possibile definire per la volatilizzazione outdoor off-site da falda se il trasporto al di fuori del sito avviene in atmosfera (ADF) o in falda (DAF).

Concentrazione di saturazione (C_{sat}). In questa scheda è possibile attivare l'opzione "Considera C_{sat} per calcolo del Rischio e delle CSR". Se viene attivata questa opzione, nel caso di condizioni di saturazione ($CRS > C_{sat}$) per i contatti non diretti (volatilizzazione e lisciviazione) le CRS (Concentrazioni Rappresentative alla sorgente) definite nel caso di applicazione dell'Analisi di Rischio in modalità diretta (Calcolo del Rischio), vengono sostituite con la Concentrazione di Saturazione (C_{sat}). Per i contatti diretti (ad es. ingestione e contatto dermico) tali concentrazioni, seppur superiori alla saturazione sono implementate tal quali nel software, in quanto il recettore può venire a contatto con il contaminante anche in fase separata. In maniera analoga, nei casi³ in cui le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) calcolate risultano superiori alla Concentrazione di Saturazione (C_{sat}) non vengono restituiti i valori limite per le vie che saturano (volatilizzazione e lisciviazione), ma viene indicato che si è in condizioni di saturazione (viene indicato ">C_{sat}"). Se la CSR (ipotetica) calcolata risulta essere superiore alla concentrazione di saturazione (C_{sat}) infatti non è possibile definire una concentrazione di riferimento per i contatti indiretti (volatilizzazione e lisciviazione) in quanto anche alla massima concentrazione a cui il contaminante può lisciviare (come soluto) o volatilizzare il rischio risulta essere comunque inferiore al limite accettabile (ad es. $R=10^{-6}$ o $HI=1$). Se viene attivata questa opzione, la CSR calcolata viene comunque visualizzata negli

³ Tale condizione si verifica spesso per i contaminanti poco solubili come gli Idrocarburi Policiclici Aromatici.

output (tra parentesi quadre) anche quando maggiore alla concentrazione di saturazione. Disattivando l'opzione "Considera Csat per calcolo del Rischio e delle CSR" compare nella stessa scheda una sotto-opzione "Considera Csat solo per calcolo CSR". Attivando questa sotto-opzione viene verificato il raggiungimento della Csat solo nel calcolo delle CSR ma non nel calcolo diretto del Rischio, in cui la CRS non viene limitata alla Csat. Questa sotto-opzione, sebbene se attivata possa condurre a risultati incoerenti nelle due modalità di calcolo (Calcolo del Rischio e Calcolo delle CSR), è stata prevista per allinearsi con quanto fatto da alcuni software disponibili (ad es. RBCA ToolKit) che effettuano solo la verifica della Csat nel calcolo delle CSR ma non nel calcolo del Rischio.

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 dovuta alla redistribuzione in massa 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.

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. In questa scheda è possibile attivare o disattivare l'utilizzo delle concentrazioni del soil-gas (se definite dall'utente) per i percorsi volatilizzazione indoor e outdoor. In questa scheda è inoltre possibile definire se il fattore empirico β di correlazione tra concentrazione in sorgente e nel soil-gas (utilizzato per ricalcolare le CSR per inalazione), venga calcolato automaticamente dal software in funzione delle concentrazioni definite nel software per suolo (o falda) e soil-gas o venga invece definito dall'utente in funzione delle evidenze sito-specifiche. Per maggiori dettagli si rimanda all'Appendice 6.

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

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.

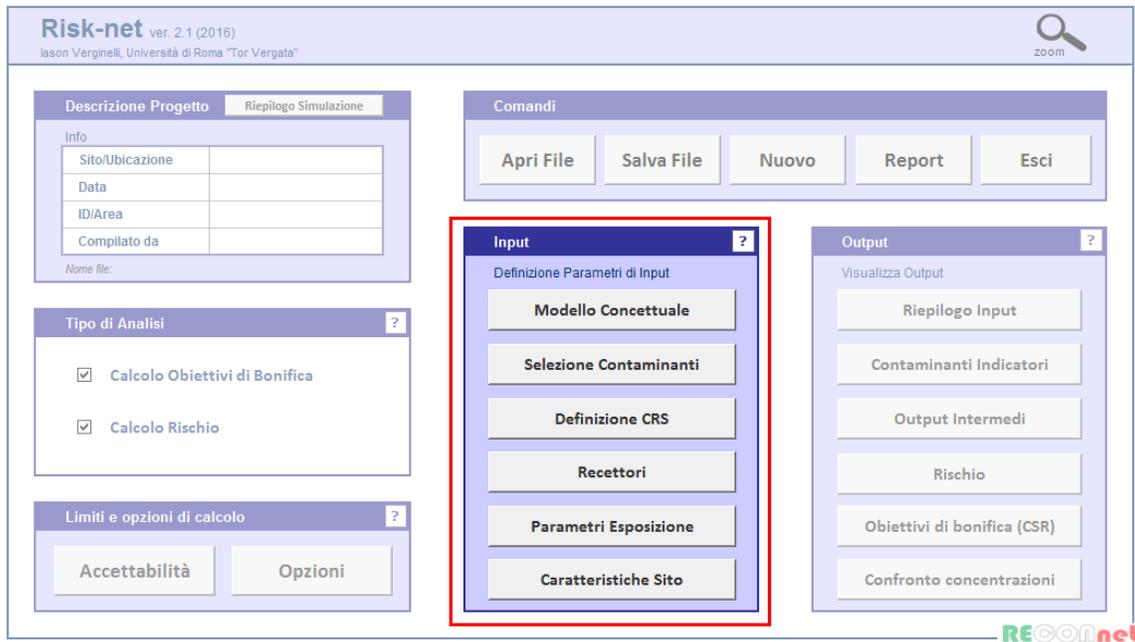


Figura 5. Finestra di dialogo per l’accesso alle diverse schermate di Input.

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 secondarie⁴: 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

⁽⁴⁾ 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).

ricostruzione incompleta del modello concettuale.

Comandi			Sito:	ID:	Risk-net		Seleziona Tutte
Continua	HELP	Stampa	Comp. da:	Data:	Modello Concettuale		Deseleziona Tutte
Sorgente	Esposizione	Bersaglio		On-Site	Off-site		
Suolo Superficiale	Contatto Diretto	<input checked="" type="checkbox"/> Ingestione di Suolo e Contatto Dermico	<input checked="" type="checkbox"/> On-Site	<input type="checkbox"/> No Off-Site			
	Volatilizzazione Erosione vento	<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Vapori Outdoor	<input checked="" type="checkbox"/> On-Site	<input type="checkbox"/> Off-Site (ADF)			
		<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Vapori Indoor	<input checked="" type="checkbox"/> On-Site	<input type="checkbox"/> No Off-Site			
		<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Polveri Outdoor	<input checked="" type="checkbox"/> On-Site	<input type="checkbox"/> Off-Site (ADF)			
		<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Polveri Indoor	<input checked="" type="checkbox"/> On-Site	<input type="checkbox"/> No Off-Site			
	Dilavamento	<input checked="" type="checkbox"/> Lisciviazione in Falda	<input checked="" type="checkbox"/> POC = 0	<input type="checkbox"/> POC > 0 (DAF)			
Suolo Profondo	Volatilizzazione	<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Vapori Outdoor	<input checked="" type="checkbox"/> On-Site	<input type="checkbox"/> Off-Site (ADF)			
		<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Vapori Indoor	<input checked="" type="checkbox"/> On-Site	<input type="checkbox"/> No Off-Site			
	Dilavamento	<input checked="" type="checkbox"/> Lisciviazione in Falda	<input checked="" type="checkbox"/> POC = 0	<input type="checkbox"/> POC > 0 (DAF)			
Falda	Volatilizzazione	<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Vapori Outdoor	<input checked="" type="checkbox"/> On-Site	<input type="checkbox"/> Off-Site (ADF)			
		<input checked="" type="checkbox"/> Inalazione Vapori Indoor	<input checked="" type="checkbox"/> On-Site	<input type="checkbox"/> Off-Site			
	Diretto	<input checked="" type="checkbox"/> Contaminazione in Falda	<input checked="" type="checkbox"/> POC = 0	<input type="checkbox"/> POC > 0 (DAF)			

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). Per quanto riguarda il percorso di lisciviazione e di contaminazione in falda con POC viene indicato il punto di conformità. Pertanto se viene attivata la casella "POC = 0", il rischio per la risorsa idrica (se attivata nella schermata Recettori) nel caso della lisciviazione da suolo superficiale e profondo viene calcolato confrontando le concentrazioni attese in falda sulla verticale rispetto alla sorgente presente nel suolo (non si tiene conto di un eventuale attenuazione della contaminazione dovuta al trasporto in falda) e i valori limite definiti dalla normativa per le acque sotterranee (CSC, Concentrazioni Soglia di Contaminazione). Nel caso di contaminazione in falda attivando la casella POC = 0, il software calcola il rischio per la risorsa idrica semplicemente confrontando le concentrazioni in falda definite dall'utente con le CSC per le acque sotterranee. Si sottolinea che sebbene il software permetta di attivare entrambe le opzioni (POC=0 e POC>0) è evidente che se vengono attivate entrambe, le CSR finali calcolate per la

protezione della risorsa idrica saranno quelle stimate considerando $POC=0$. Pertanto, in funzione del caso in esame, l'utente dovrà prestare particolare attenzione a quale delle due opzioni mantenere attiva.

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 x ADF
	Inalazione di Polveri Indoor	PEF_{in}	---
	Lisciviazione in falda	LF_{ss}	$LF_{ss} \times DAF$
Suolo Profondo	Inalazione di Vapori Outdoor	VF_{samb}	$VF_{samb} \times ADF$
	Inalazione di Vapori Indoor	VF_{sesp}	---
	Lisciviazione in falda	LF_{sp}	$LF_{sp} \times DAF$
Falda	Inalazione di Vapori Outdoor	VF_{wamb}	$VF_{wamb} \times ADF^*$
	Inalazione di Vapori Indoor	VF_{wesp}	$VF_{wesp} \times DAF$
	Contaminazione in falda	Diretto	DAF

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

Comandi della schermata di Selezione dei contaminati

Continua. Tale pulsante permette di ritornare alla schermata principale.

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

Help. Si accede al manuale nella 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-INAIL, 2015) o utilizzare un database esterno modificabile. Nel Database di Default è implementata la banca dati ISS-INAIL (Marzo 2015) e i limiti fissati dal D.Lgs 152/06 e s.m.i. (per MtBE, EtBE e Piombo Tetraetile i limiti per i suoli e per le acque sotterrane sono riferiti al D.M. 12 febbraio 2015, n. 31). 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 e il calcolo delle CSR per gli Idrocarburi. La scelta del Database da utilizzare può essere modificata in seguito direttamente dal foglio Banca Dati a cui si accede dal pulsante "Banca Dati" (si sottolinea che cambiando in corso la banca dati di riferimento, i contaminanti indicatori precedentemente inseriti, vengono sostituiti con quelli aventi lo stesso ID nella nuova banca dati).



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.

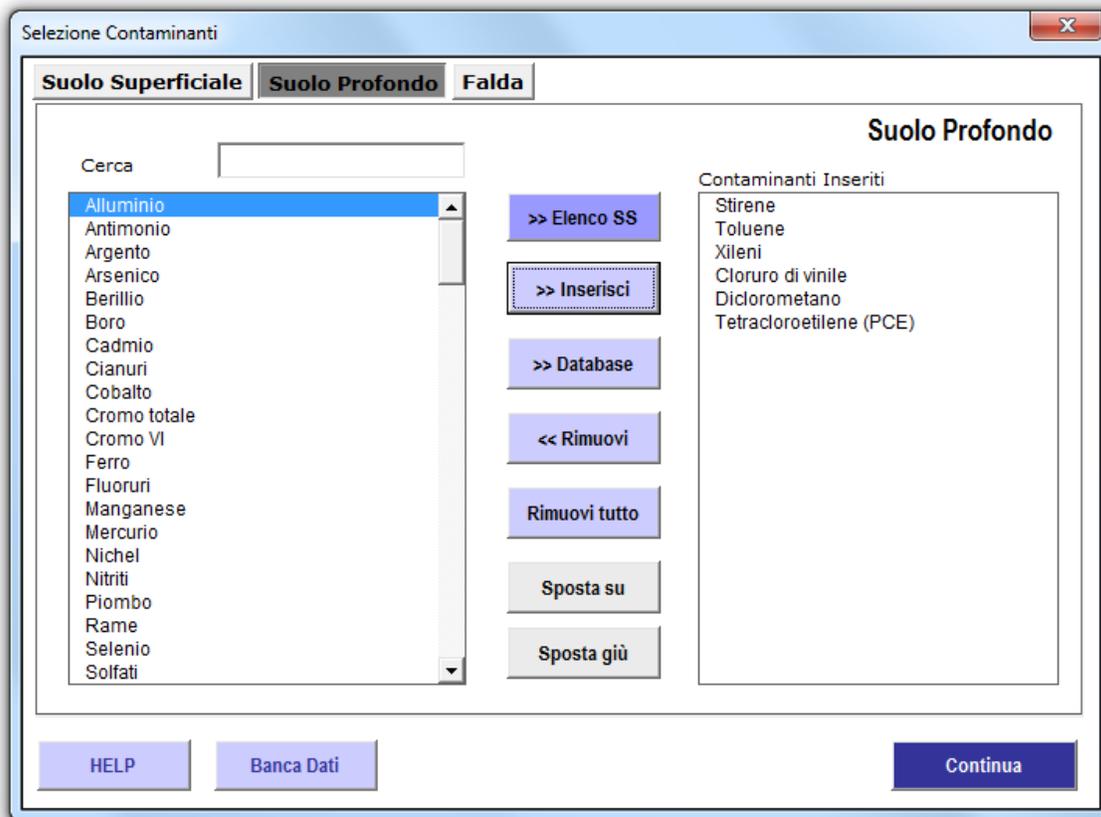


Figura 9. Selezione contaminanti indicatori.

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 al manuale nella sezione di riferimento.

>> Inserisci. Inserisce per la matrice contaminata il contaminante selezionato (in alternativa è sufficiente fare doppio click sul contaminante da inserire)

<< Rimuovi. Elimina per la matrice contaminata il contaminante selezionato (in alternativa è sufficiente fare doppio click sul contaminante da inserire)

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. 29), è possibile utilizzare la banca dati interna al software (“Database di Default” in cui è implementata la banca dati ISS-INAIL, 2015) o utilizzare un database esterno modificabile. Nel caso di utilizzo del database di default il software calcola automaticamente i coefficienti di ripartizione 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	Crea DB Esterno																
HELP	Kd e Koc --> f(pH)	Stampa																
Default (ISS-INAIL, 2015)																		
ID	Contaminanti	Numero CAS	Classe	Peso Molecolare [g/mole]	Solubilità [mg/L]	Rif.	Pressione di vapore [mm Hg]	Rif.	Costante di Henry [adm.]	Rif.	Koc/Kd f(pH)	Koc [mg/kg/mg/L]	Kd [mg/kg/mg/L]	Rif.	log Kow [adm.]	Rif.	Coeff. Diff. Aria [cm ² /sec]	Rif.
1	Alluminio	7429-96-5	Inorganici	26.98		1							1.50E+03	1				
2	Antimonio	7440-36-0	Inorganici	121.75									4.50E+01	1				
3	Argento	7440-22-4	Inorganici	107.87							f(pH)		8.30E+00					
4	Arsenico	7440-38-2	Inorganici	74.92							f(pH)		2.90E+01					
5	Berillio	7440-41-7	Inorganici	9.01							f(pH)		7.90E+02					
6	Boro	7440-42-8	Inorganici	13.84		1							3.00E+00	1				
7	Cadmio	7440-43-9	Inorganici	112.41							f(pH)		7.50E+01					
8	Cianuri	57-12-5	Inorganici	27.03			3.74E+03	1*	5.44E-03	1			9.90E+00	1		2.11E-01	1	
9	Cobalto	7440-48-4	Inorganici	58.93									4.50E+01	1				
10	Cromo totale	16065-83-1	Inorganici	52.00							f(pH)		1.80E+06					
11	Cromo VI	18540-28-9	Inorganici	52.00							f(pH)		1.90E+01					
12	Ferro	7439-89-6	Inorganici	55.85		1							2.50E+01	1				
13	Fluoruri	7782-41-4	Inorganici	38.00	4.22E+04	1	7.60E+02	2	9.19E+02	**			1.50E+02	1				
14	Manganese	7439-96-5	Inorganici	54.94		1							6.50E+01	1				
15	Cloruro di mercurio	7487-94-7	Inorganici	271.50	6.90E+04	1			2.90E-08	6	f(pH)		5.20E+01					
16	Mercurio elementare	7439-97-6	Inorganici	200.59	6.00E-02	1	2.60E-03	1*	4.67E-01	1	f(pH)		5.20E+01			3.07E-02	1	
17	Metilmercurio	22967-92-6	Inorganici	215.83														
18	Nichel	7440-02-0	Inorganici	58.69							f(pH)		6.50E+01					
19	Nitri	14797-85-0	Inorganici	46.00		1												
20	Piombo	7439-92-1	Inorganici	207.20									9.00E+02	1				
21	Rame	7440-50-8	Inorganici	63.55									3.50E+01	1				
22	Selenio	7782-49-2	Inorganici	78.96									5.00E+00					
23	Talio	7440-28-0	Inorganici	204.38									7.10E-01					

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-INAIL. 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-INAIL). Le modifiche vengono evidenziate in rosso e nelle diverse schermate di riepilogo viene riportata la dicitura “Database di Default modificato” e i contaminanti modificati vengono indicati con un asterisco.

Input

Creazione 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-INAIL è possibile creare un database esterno (Figura 11).

Si accede a tale banca dati dal pulsante “Crea 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 possibile salvare il file con il nome desiderato. Per caricare il database esterno creato premere il pulsante “Carica DB esterno” riportato nella schermata della banca dati e selezionare il file che si desidera utilizzare (Figura 10). Si sottolinea che caricando un nuovo database per una simulazione già effettuata, nel caso in cui l’elenco dei contaminanti presenti nel nuovo database selezionato risultasse diverso, il software ricerca e sostituisce i contaminanti indicatori precedentemente inseriti dall’utente con quelli aventi lo stesso ID (prima colonna del foglio Banca dati). Pertanto qualora si vogliono usare gli stessi contaminanti con database diversi è necessario assegnare nelle diverse banche dati lo stesso ID.

Risk-net Banca Dati Esterna																			
<i>Istruzioni: Non eliminare né inserire nuove colonne; Non lasciare righe vuote (il software carica fino alla prima riga vuota)</i>																			
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)	Rif.	Coeff. Diff. Aria (cm ² /sec)	Rif.	Coeff. Diff. Acqua (cm ² /sec)
1	Aluminio	7429-90-5	Inorganici	26.98		1							1.50E+03	1					
2	Antimonio	7440-36-0	Inorganici	121.75									4.50E+01	1					
3	Argento	7440-22-4	Inorganici	107.87							f(pH)		8.30E+00						
4	Arsenico	7440-38-2	Inorganici	74.92							f(pH)		2.90E+01						
5	Berillio	7440-41-7	Inorganici	9.01									7.90E+02						
6	Boro	7440-42-8	Inorganici	13.94		1							3.00E+00	1					
7	Cadmio	7440-43-9	Inorganici	112.41							f(pH)		7.50E+01						
8	Cianuri	57-12-5	Inorganici	27.03			3.74E+03	1*	5.44E-03	1			9.80E+00	1			2.11E-01	1	2.46E-05
9	Cobalto	7440-48-4	Inorganici	58.93									4.50E+01	1					
10	Cromo totale	16065-83-1	Inorganici	52.00							f(pH)		1.80E+06						
11	Cromo VI	18540-29-9	Inorganici	52.00							f(pH)		1.90E+01						
12	Ferro	7439-89-6	Inorganici	55.85		1							2.50E+01	1					
13	Fluoruri	7782-41-4	Inorganici	38.00	4.22E+04	1	7.80E-02	2	9.19E+02	**			1.50E+02	1					
14	Manganese	7439-96-5	Inorganici	54.94									6.50E+01	1					
15	Cloruro di mercurio	7487-94-7	Inorganici	271.50	6.90E+04	1			2.90E-08	6	f(pH)		5.20E+01						
16	Mercurio elementare	7439-97-6	Inorganici	200.59	6.00E+02	1	2.60E-03	1*	4.67E-01	1	f(pH)		5.20E+01				3.07E-02	1	6.30E-06
17	Metilmercurio	22967-92-6	Inorganici	215.63															
18	Nichel	7440-02-0	Inorganici	58.69							f(pH)		6.50E+01						
19	Nitri	14797-85-0	Inorganici	46.00		1													
20	Piombo	7439-92-1	Inorganici	207.20															
21	Rame	7440-50-9	Inorganici	63.55									9.00E+02	1					
22	Selenio	7782-49-2	Inorganici	78.96							f(pH)		5.00E+00						
23	Tallio	7440-28-0	Inorganici	204.38							f(pH)		7.10E+01						
24	Vanadio	7440-82-2	Inorganici	50.94									1.00E+03	1					
25	Zinco	7440-66-6	Inorganici	65.38							f(pH)		6.20E+01						
26	Benzene	71-43-2	Aromatici	78.11	1.79E+03	1	9.66E+01	1*	2.27E-01	1		1.46E+02		1	1.99E+00	2	8.95E-02	1	1.03E-05
27	Etilbenzene	100-41-4	Aromatici	106.17	1.69E+02	1	9.53E+00	1*	3.22E-01	1		4.46E+02		1	3.03E+00	2	6.85E-02	1	8.46E-06
28	Stirene	100-42-5	Aromatici	104.15	3.10E+02	1	6.22E+00	1*	1.12E-01	1		4.49E+02		1	2.69E+00	2	7.11E-02	1	8.70E-06
29	Toluene	100-52-3	Aromatici	92.14	5.20E+02	1	2.80E+01	1*	2.71E-01	1		2.34E+02		1	2.54E+00	2	7.70E-02	1	9.20E-06
30	m-Xilene	100-30-3	Aromatici	106.17	1.61E+02	1	8.27E+00	1*	2.94E-01	1		3.75E+02		1	3.20E+00	2	6.84E-02	1	8.44E-06
31	o-Xilene	95-47-6	Aromatici	106.17	1.78E+02	1	6.60E+00	1*	2.12E-01	1		3.83E+02		1	3.13E+00	2	6.89E-02	1	8.53E-06
32	p-Xilene	106-42-3	Aromatici	106.17	1.62E+02	1	8.00E+00	1*	2.82E-01	1		3.75E+02		1	3.17E+00	2	6.82E-02	1	8.42E-06
33	Xileni	1330-20-7	Aromatici	106.17	1.06E+02	1	3.93E+00	1*	2.12E-01	1		3.83E+02		1	3.09E+00	2	8.47E-02	1	9.90E-06
34	Acenaftefene	83-32-9	Aromatici policiclici	154.21	3.90E+00	1	3.54E-03	1*	7.52E-03	1		5.03E+03		1	4.15E+00	2	5.06E-02	1	8.33E-06
35	Acenaftefene	200-96-8	Aromatici policiclici	152.20	3.93E+00	2	2.27E-03	2*	4.74E-03	2		6.92E+03		2	3.94E+00	2	4.39E-02	2	7.69E-06
36	Altracene	120-12-7	Aromatici policiclici	178.24	4.94E+02	1	1.00E-05	1*	2.27E-03	1		1.84E+04		1	4.34E+00	2	3.98E-02	1	7.85E-06
37	Benzo(a)lantracene	56-55-3	Aromatici policiclici	228.30	9.40E-03	1	3.75E-07	1*	4.91E-04	1		1.77E+05		1	5.52E+00	2	5.06E-02	1	5.94E-06
38	Benzo(a)pirene	50-32-8	Aromatici policiclici	252.32	1.62E-03	1	2.23E-09	1*	1.87E-05	1		5.87E+05		1	6.11E+00	2	4.76E-02	1	5.56E-06
39	Benzo(e)pirene	192-97-2	Aromatici policiclici	252.31	8.60E-04	2	1.51E-09	2*	2.38E-05	2		3.86E+06		2	6.70E+00	2	4.05E-02	2	5.49E-06

Figura 11. Banca Dati Esterna.

Si sottolinea che utilizzando il database esterno viene disattivata la funzione di calcolo automatico dei coefficienti di ripartizione Koc e Kd che dipendono dal valore di pH definito nel sito e il calcolo delle CSR per gli Idrocarburi. Per quanto riguarda il rischio cumulato per la risorsa idrica, per il parametro “Idrocarburi Totali” per le sottoclassi della

classificazione TPH WG e MADEP, nel database esterno è necessario inserire nella colonna “Classe” la dicitura “Idrocarburi (TPHCWG)” e “Idrocarburi (MADEP)”, rispettivamente.

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.

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.

The screenshot shows a software window titled "Database Composti" with two main sections: "Ricerca composto" and "Proprietà composto".

Ricerca composto: Includes a search box for "Composto da cercare:" and a dropdown menu with options: Argento, Arsenico, Atrazina, and Benzene (selected). To the right, there is a "Ricerca Avanzata" section with another search box and a "Cerca" button. Further right, an "Opzioni" section has radio buttons for "Cerca Nome Composto" (selected) and "Cerca Numero C.A.S."

Proprietà composto: Displays various parameters for Benzene. The "Composto" field is filled with "Benzene", "Numero C.A.S." with "71-43-2", and "Classe" with "Aromatici". A table of physical and chemical properties is shown below, with a "Rif." column. The "Koc/Kd: f(pH)" button is highlighted in blue.

Parametro	Valore	Rif.
Peso Molecolare [g/mole]	78.1	
Solubilità [mg/litro]	1.8E+03	1
Pressione di vapore [mm Hg]	9.5E+01	4
Costante di Henry [adim.]	2.3E-01	1
Koc [mL/g]	6.2E+01	
Kd [mL/g]		1
log Kow [adim.]	2.13	1
Coeff. Diff. Aria [cm2/sec]	8.8E-02	1
Coeff. Diff. Acqua [cm2/sec]	9.8E-06	1

Additional parameters on the right side of the "Proprietà composto" section:

- Cat. Carc. UE: 1
- Classe Cancer. EPA: A
- SF Ing. [mg/kg/day]-1: 5.5E-02
- SF Inal. [mg/kg/day]-1: 2.7E-02
- RfD Ing. [mg/kg/day]: 4.0E-03
- RfD Inal. [mg/kg/day]: 8.6E-03
- ABS [adim.]: 0.1
- λ [1/day]:
- CSC Residenziale: Suolo [mg/kg]: 1.0E-01
- CSC Industriale: Suolo [mg/kg]: 2.0E+00
- CSC: Falda [mg/L]: 1.0E-03

A "Chiudi" button is located at the bottom right of the window.

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

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede al manuale nella 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 14).



Figura 14. Selezione dello scenario di esposizione.

L'utente deve scegliere tra le seguenti opzioni:

- ✓ Adulto (Ambito Residenziale o Ricreativo⁵)
- ✓ 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)

Nel caso in cui sia attiva la lisciviazione o il trasporto in falda, l'utente deve selezionare se calcolare il rischio per la risorsa idrica⁶ (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 al manuale nella 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 15). 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).

⁵ 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.

⁶ 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

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).

Comandi			Site:		ID: Risk-net			
Continua	HELP	Stampa	Comp. da:		Data: Parametri di Esposizione			
Parametri di esposizione	Simbolo	Unità di misura	Residenziale (o Ricreativo)		Industriale	Residenziale (o Ricreativo)		Industriale
			Adulto	Bambino	Adulto	Adulto	Bambino	Adulto
Parametri Generali			On-Site					
Peso corporeo	BW	kg	70	15	70	70	15	70
Durata di esposizione sostanze cancerogene	ATc	anni	70					
Durata di esposizione sostanze non cancerogene	ED	anni	24	6	25	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorn/anno	350	350	250	350	350	250
Ingestione di suolo								
Frazione di suolo ingerita	FI	adim	1.0	1.0	1.0	NA	NA	NA
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno	100.0	200.0	50.0	NA	NA	NA
Contatto dermico con suolo								
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²	5700.0	2800.0	3300.0	NA	NA	NA
Fattore di aderenza dermica del suolo	AF	mg/cm ² giorno	0.07	0.20	0.20	NA	NA	NA
Inalazione di aria outdoor								
Frequenza giornaliera di esposizione (c)	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	1.0			1.0		
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	1.0			1.0		
Ingestione di acqua potabile								
Tasso di ingestione di acqua	Rw	L/giorno	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0

(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. Per un ambito ricreativo le linee guida suggeriscono come valori di inalazione outdoor 3,2 m³/ora e 1,9 m³/ora per un adulto e per bambino, rispettivamente.

(c) Per un ambito ricreativo le linee guida ISPRA indicano una frequenza giornaliera di esposizione di 3 ore/giorno.

24	Parametro da inserire
300	Parametro non richiesto
300	Parametro diverso da default
300	Valore di default
Imposta valori default ISPRA	

Figura 15. 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
			ADULTO	BAMBINO	
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. In questo caso viene richiesto se assegnare i valori di default riferiti ad un ambito residenziale o ricreativo.

Help. Si accede al manuale nella 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 16). 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	HELP	Stampa	Comp. da	Data:			Caratteristiche Sito
Zona Insatura							
L_1 (IS)	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	m	0	0	0,0	ok	
L_1 (SP)	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	m	1	1	1,0	ok	
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	m	1	1	1,0	ok	
d_p	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	m	2	2	2,0	ok	
L_{QIV}	Profondità del piano di falda	m	3	3	3,0	ok	
h_v	Spessore della zona insatura	m	2.812	2.95	2.812	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_{Lp}	Tempo medio di durata del lisciviato	anni	30	30	30,0	ok	
pH	pH	adim.	6.8	6.8	6.8	ok	
ρ_s	Densità del suolo	g/cm ³	1.7	1.7	1.7	ok	
θ_e	Porosità efficace del terreno in zona insatura	adim.			0.353	ok	
θ_w	Contenuto volumetrico di acqua	adim.			0.193	ok	
θ_a	Contenuto volumetrico di aria	adim.			0.25	ok	
θ_{accap}	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.			0.318	ok	
θ_{accap}	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.			0.035	ok	
θ_{cap}	Spessore frangia capillare	m			0.188	ok	
I_{ef}	Infiltrazione efficace	cm/anno	30		3.00E+01	ok	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato
P	Piuvosità	cm/anno	---	---	129,0	ok	
$\eta_{outdoor}$	Frazione areale di fratture outdoor (solo per lisciviazione)	adim.	1	1	1,0	ok	
Zona Saturata							
W	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	m	45	45	45,0	ok	
S_w	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	m	45	45	45,0	ok	
d_a	Spessore acquifero	m	---	---	2,0	ok	
K_{sat}	Conducibilità idraulica del terreno saturo	m/s			7.90E-05	ok	
i	Gradiente idraulico	adim.	---	---	0,01	ok	
v_{Darcy}	Velocità di Darcy	m/s	7.90E-07		7.90E-07	ok	
v_e	Velocità media effettiva nella falda	m/s	2.20E-06	2.20E-06	2.24E-06	ok	
$\theta_{e, sat}$	Porosità efficace del terreno in zona saturata	adim.	0.353	0.353	0.353	ok	
$f_{oc, sat}$	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0.001	0.001	0.001	ok	

Figura 16. 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.

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							

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

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

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

Velocità del vento. La velocità del vento richiesta dal software si riferisce al valore a 2 m di altezza da p.c. Se i dati disponibili per la velocità del vento sono riferiti ad altezze superiori (tipicamente i dati delle centraline sono riferiti ai valori a 10 m di altezza) è possibile calcolare il valore atteso a 2 m utilizzando le equazioni empiriche riportate nel documento APAT-ISPRA (2008). Tali equazioni sono state implementate nel software ed

è possibile utilizzarle accendendo alla Userform tramite il pulsante “Calc” posizionato in corrispondenza della cella di riferimento.

Spessore della zona di miscelazione. L’utente può scegliere se inserirlo manualmente o calcolarlo in funzione delle caratteristiche del terreno e dell’acquifero (per maggiori dettagli si rimanda alle equazioni riportate negli allegati).

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

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.

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 al manuale nella 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 17). In caso di inserimento di un parametro fuori dal range tipico o nel caso di definizione di parametri incoerenti, viene riportato un avviso nella colonna a destra di quella di input (colonna “check”). I parametri per i quali non viene effettuata tale verifica sono indicati nella colonna di controllo con “no check”.

Input

Zona Insatura		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
L _s (SS)	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	m	0	0	0.0	ok
L _s (SP)	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	m	1	1	1.0	ok
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	m	1	1	1.0	ok
d _s	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	m	2	2	4.0	ds > L _{gw} - L _s (SP)
L _{GW}	Profondità del piano di falda	m	3	3	3.0	ds + d > L _{gw}
h _v	Spessore della zona insatura	m	2.812	2.95	2.012	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 _{L,F}	Tempo medio di durata del lisciviato	anni	30	30	30.0	ok
pH	pH	adim.	6.8	6.8	6.8	ok
ρ _s	Densità del suolo	g/cm ³	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.	<input type="text" value="LOAMY SAND"/>		0.103	ok
θ _a	Contenuto volumetrico di aria	adim.	<input type="checkbox"/> Lente tra sorgente e p.c.		0.25	ok
θ _{wcap}	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.	Tessitura selezionata: LOAMY SAND		0.318	ok
θ _{acap}	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.			0.035	ok
h _{cap}	Spessore frangia capillare	m			0.188	ok
I _{ef}	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	3.00E+01	ok
P	Piovosità	cm/anno	---	---	129.0	ok
η _{outdoor}	Frazione areale di fratture outdoor (solo per liscivazione)	adim.	1	1	1.0	ok

Figura 17. Controllo sugli errori di tipo concettuale.

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

ID: Risk-net
 Parametri di Esposizione

Sito: _____
 Comp. da: _____

Data: _____

Default ISPRA

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	g	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					NA	NA	
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno					NA	NA	
Contatto dermico con suolo									
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²					NA	NA	
Fattore di aderenza dermica del suolo	AF	mg/cm ² /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	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	IRw	L/giorno	2	1	1	2	1	1	

Risknet

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

OK

Figura 18. 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 18 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 19) si accede alle diverse schermate di riepilogo degli input e di visualizzazione degli output (intermedi e finali).

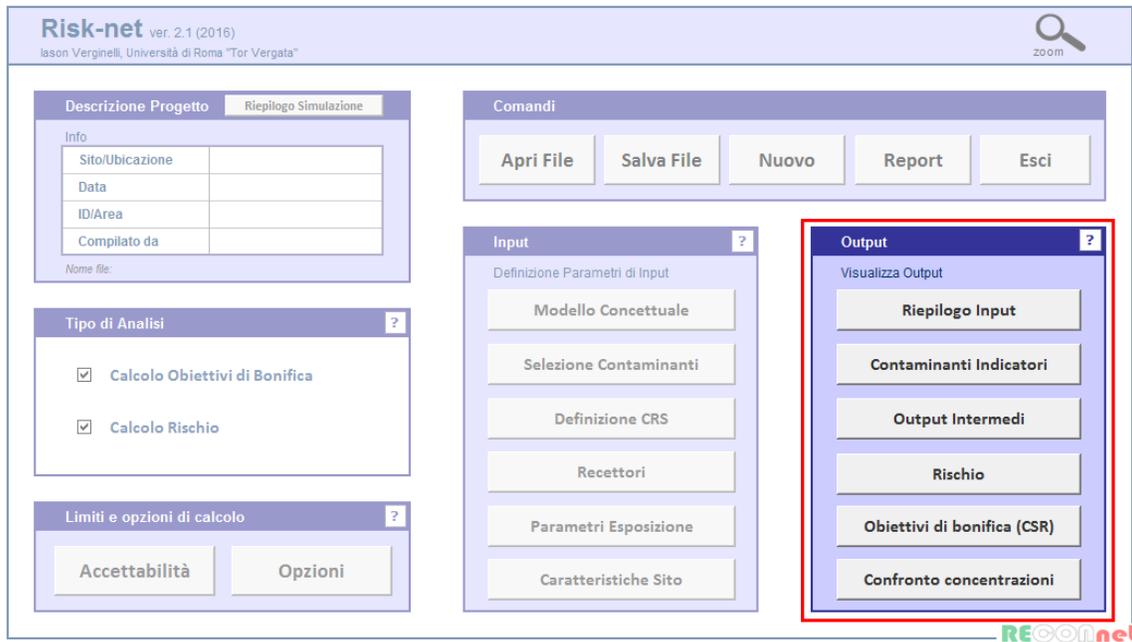


Figura 19. Finestra di dialogo per l'accesso alle diverse schermate di Output.

RIEPILOGO INPUT

Dal pulsante "Riepilogo Input" della schermata principale si accede alla schermata riportata in Figura 20. 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				Sito:	ID:	Risk-net
Continua HELP Stampa				Comp. da:	Data:	Riepilogo Input
Caratteristiche Sito						
Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore	Note		
Zona Insatura						
L ₁ (S)	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	m	0	Default		
L ₁ (SP)	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	m	1	Default		
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	m	1	Default		
d ₁	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	m	4	Modificato		
L _{top}	Profondità del piano di falda	m	3	Default		
n ₁	Spessore della zona insatura	m	2,812	Default		
f _{oc, S}	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale	g-C/g-suolo	0,01	Default		
f _{oc, SP}	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo profondo	g-C/g-suolo	0,01	Default		
t _L	Tempo medio di durata del lasciviato	anni	NA	Non Richiesto		
pH	pH	adm.	6,8	Default		
ρ _s	Densità del suolo	g/cm ³	1,7	Default		
θ _s	Porosità efficace del terreno in zona insatura	adm.	0,353	Default		
θ _a	Contenuto volumetrico di acqua	adm.	0,103	Default		
θ _a	Contenuto volumetrico di aria	adm.	0,25	Default		
θ _{cap}	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangie capillare	adm.	0,318	Default		
θ _{cap}	Contenuto volumetrico di aria nelle frangie capillare	adm.	0,035	Default		
n _{cap}	Spessore frangia capillare	m	0,188	Default		
I _{ef}	Infiltrazione efficace	cm/anno	29,95	Default		
P	Piovosità	cm/anno	129	Default		
f _{fracture}	Frazione areale di fratture outdoor	adm.	1	Default		
Zona Saturata						
W	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	m	45	Default		
S _w	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	m	NA	Non Richiesto		
d _a	Spessore acquifero	m	2	Default		
K _{sat}	Conduttività idraulica del terreno saturo	nis	7,90E-05	Default		
i	Gradiente idraulico	adm.	0,01	Default		
V _{Darcy}	Velocità di Darcy	m/s	7,90E-07	Default		
V _e	Velocità media effettiva nella falda	m/s	2,24E-06	Default		
θ _{e sat}	Porosità efficace del terreno in zona saturata	adm.	0,353	Default		
f _{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0,001	Default		
POC	Distanza recettore off site (GAF)	m	NA	Non Richiesto		
ρ _s	Dispersività longitudinale	m	NA	Non Richiesto		
ρ _t	Dispersività trasversale	m	NA	Non Richiesto		
ρ _v	Dispersività verticale	m	NA	Non Richiesto		
θ _{zoo}	Spessore della zona di miscelazione in falda	m	2,00E+00	Default		
LDF	Fattore di diluizione in falda	adm.	4,70	Default		
Ambiente Outdoor						
Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore	Note		
Edificio On-Site						
D _{air}	Altezza della zona di miscelazione	m	2	Default		
W'	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	m	45	Default		
S _{w'}	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	m	NA	Non Richiesto		
U _{air}	Velocità del vento	m/s	2,25E+00	Default		
P _a	Portata di particolato per unità di superficie	g/(cm ² ·a)	6,90E-14	Default		
t _{outdoor}	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	30	Default		
POC ADF	Distanza recettore off site (ADF)	m	NA	Non Richiesto		
α _T	Coefficiente di dispersione trasversale	m	NA	Non Richiesto		
α _V	Coefficiente di dispersione verticale	m	NA	Non Richiesto		
Edificio Off-Site						
Z _{crack}	Profondità fondazioni da p.c.	m	0,15	Default		
L _{crack}	Spessore delle fondazioni/muri	m	0,15	Default		
η	Frazione areale di fratture indoor	adm.	0,01	Default		
L _b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione	m	2	Default		
θ _{crack}	Contenuto volumetrico di acqua nelle fratture	adm.	0,12	Default		
θ _{crack}	Contenuto volumetrico di aria nelle fratture	adm.	0,26	Default		
ER	Tasso di ricambio di aria indoor	1/a	0,00014	Default		
t _{indoor}	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	30	Default		
ΔP	Differenza di pressione tra indoor e outdoor	g/(cm ² ·a)	NA	Non Richiesto		
K _v	Permeabilità del suolo al flusso di vapore	m ²	NA	Non Richiesto		
A _b	Superficie totale convolta nell'infiltrazione	m ²	NA	Non Richiesto		
X _{crack}	Perimetro delle fondazioni/muri	m	NA	Non Richiesto		
μ _{air}	Viscosità del vapore	g/(cm·s)	NA	Non Richiesto		
Z _{crack}	Profondità fondazioni da p.c.	m	NA	Non Richiesto		
L _{crack}	Spessore delle fondazioni/muri	m	NA	Non Richiesto		
η	Frazione areale di fratture indoor	adm.	NA	Non Richiesto		
L _b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione	m	NA	Non Richiesto		
θ _{crack}	Contenuto volumetrico di acqua nelle fratture	adm.	NA	Non Richiesto		
θ _{crack}	Contenuto volumetrico di aria nelle fratture	adm.	NA	Non Richiesto		
ER	Tasso di ricambio di aria indoor	1/a	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 ·a)	NA	Non Richiesto		
K _v	Permeabilità del suolo al flusso di vapore	m ²	NA	Non Richiesto		
A _b	Superficie totale convolta nell'infiltrazione	m ²	NA	Non Richiesto		
X _{crack}	Perimetro delle fondazioni/muri	m	NA	Non Richiesto		
μ _{air}	Viscosità del vapore	g/(cm·s)	NA	Non Richiesto		
Accettabilità						
Tipologia	Individuale	Cumulativo				
Rischio	1E-6	1E-5				
Indice di pericolo	1	1				
Modello Concettuale						
Via di esposizione		On-Site	Off-Site			
Suolo Superficiale						
Ingestione Suolo		V	NA			
Contatto Dermico		V	NA			
Inalazione Vapori Outdoor		V	---			
Inalazione Polveri Outdoor		V	---			
Inalazione Vapori Indoor		V	NA			
Inalazione Polveri Indoor		V	NA			
Lacivazione in Falda		V	---			
Suolo Profondo						
Lacivazione in Falda		V	---			
Inalazione Vapori Outdoor		V	---			
Inalazione Vapori Indoor		V	NA			
Falda						
Ingestione d'acqua / Risorsa Idrica		V	---			
Inalazione Vapori Outdoor		V	---			
Inalazione Vapori Indoor		V	---			
Recettori / Ambito						
Recettore	On-Site	Off-Site				
Recettore	Res - Adjusted	NA				
Bersaglio Falda	Risorsa Idrica	NA				
Opzioni di Calcolo						
Suolo Superficiale		Suolo Profondo				
Volatilizzazione, Esaurimento sorgente		V	V			
VFamb per suolo superficiale se sorgente più profonda di p.c.		NA	---			
Utilizzo minore tra VFamb e Vfs		---	No			
Lacivazione, Esaurimento sorgente		No	No			
Soil Attenuation Model (SAM)		V	V			
Altre Opzioni di Calcolo						
Dispersione in Falda			NA			
Considera Casr per calcolo Rischio (modaltà forward)			No			
Considera Casr per calcolo CSR (modaltà backward)			No			
Parametri di Esposizione On-site						
Residenziale		Industriale				
Simbolo	Unità di misura	Adulto	Bambino	Adulto		
ON-SITE						
Parametri Generali						
Peso corporeo	kg	70	15	NA		
Durata di esposizione sostanze cancerogene	anni	70	NA	NA		
Durata di esposizione sostanze non cancerogene	anni	24	6	NA		
Frequenza di esposizione	giornaliero	350	350	NA		
Ingestione di suolo						
Frazione di suolo ingerita	adm	1	1	NA		
Tasso di ingestione di suolo	mg/giorno	100	200	NA		
Contatto dermico con suolo						
Superficie di pelle esposta	cm ²	5700	2800	NA		
Fattore di aderenza dermica del suolo	mg/cm ² giorno	0,07	0,2	NA		
Inalazione di aria outdoor						
Frequenza giornaliera di esposizione (c)	ore/giorno	24	24	NA		
Inalazione outdoor (a) (b)	m ³ /ora	0,9	0,7	NA		
Frazione di particelle di suolo nella polvere	adm	1	NA	NA		
Inalazione di aria indoor						
Frequenza giornaliera di esposizione	ore/giorno	24	24	NA		
Inalazione indoor (b)	m ³ /ora	0,9	0,7	NA		
Frazione indoor di polvere all'aperto	adm	1	NA	NA		
Ingestione di acqua potabile						
Tasso di ingestione di acqua	L/giorno	NA	NA	NA		
Parametri di Esposizione Off-site						
Residenziale		Industriale				
Simbolo	Unità di misura	Adulto	Bambino	Adulto		
OFF-SITE						
Parametri Generali						
Peso corporeo	kg	NA	NA	NA		
Durata di esposizione sostanze cancerogene	anni	NA	NA	NA		
Durata di esposizione sostanze non cancerogene	anni	NA	NA	NA		
Frequenza di esposizione	giornaliero	NA	NA	NA		
Inalazione di aria outdoor						
Frequenza giornaliera di esposizione (c)	ore/giorno	NA	NA	NA		
Inalazione outdoor (a) (b)	m ³ /ora	NA	NA	NA		
Frazione di particelle di suolo nella polvere	adm	NA	NA	NA		
Inalazione di aria indoor						
Frequenza giornaliera di esposizione	ore/giorno	NA	NA	NA		
Inalazione indoor (b)	m ³ /ora	NA	NA	NA		
Frazione indoor di polvere all'aperto	adm	NA	NA	NA		
Ingestione di acqua potabile						
Tasso di ingestione di acqua	L/giorno	NA	NA	NA		

Figura 20. Riepilogo Input.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede al manuale nella sezione di riferimento.

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

Output

CONTAMINANTI INDICATORI

Dal pulsante “Contaminanti Indicatori” riportato nella finestra di dialogo “Output” della schermata principale si accede alla Userform riportata in Figura 21. Da qui è possibile visualizzare, per ciascuna matrice di contaminazione, i contaminanti indicatori inseriti e le relative caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche.

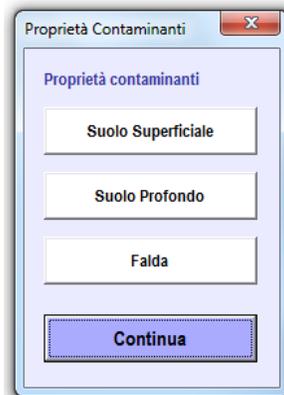


Figura 21. Userform proprietà contaminanti indicatori.

Per ciascun contaminante vengono riportate le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche utilizzate nei calcoli (Figura 22).

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							
Default (ISS-INAIL, 2015)														
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.
26	Benzene	71-43-2	Aromatici	78.11	1.79E+03	1	9.66E+01	1*	2.27E-01	1		1.46E+02		1
27	Etilbenzene	100-41-4	Aromatici	106.17	1.69E+02	1	9.53E+00	1*	3.22E-01	1		4.46E+02		1
28	Stirene	100-42-5	Aromatici	104.15	3.10E+02	1	6.22E+00	1*	1.12E-01	1		4.46E+02		1
29	Toluene	108-88-3	Aromatici	92.14	5.26E+02	1	2.88E+01	1*	2.71E-01	1		2.34E+02		1
33	Xleni	1330-20-7	Aromatici	106.17	1.06E+02	1	3.93E+00	1*	2.12E-01	1		3.83E+02		1
63	Cloruro di vinile	75-01-4	Alifatici clorurati cancerogeni	62.50	8.80E+03	1	2.97E+03	1*	1.14E+00	1		2.17E+01		1
64	Diclorometano	75-09-2	Alifatici clorurati cancerogeni	84.93	1.30E+04	1	3.78E+02	1*	1.33E-01	1		2.17E+01		1
65	Tetracloroetilene (PCE)	127-18-4	Alifatici clorurati cancerogeni	165.83	2.06E+02	1	1.67E+01	1*	7.24E-01	1		9.49E+01		1

Figura 22. Riepilogo Proprietà Contaminanti Indicatori.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede al manuale nella sezione di riferimento.

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

OUTPUT INTERMEDI

Dal pulsante “Output Intermedi” riportato nella finestra di dialogo “Output” della schermata principale si accede alla Userform riportata in Figura 23. Da qui è possibile visualizzare, per ciascuna matrice di contaminazione, le vie di esposizione attive, i fattori di esposizione, i fattori di trasporto, il modulo per la valutazione dell’andamento delle concentrazioni in falda in funzione del tempo (Steady State vs. Transitorio) e le concentrazioni al punto di esposizione (Cpoe). Si sottolinea che i pulsanti di controllo per le matrici non attivate, risultano non accessibili.

Figura 23. Userform Output Intermedi.

Riepilogo Modello Concettuale. Dal pulsante di controllo “Vie Attive” della Userform riportata in Figura 23 si accede al riepilogo del modello concettuale definito dall’utente (Figura 24). 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).

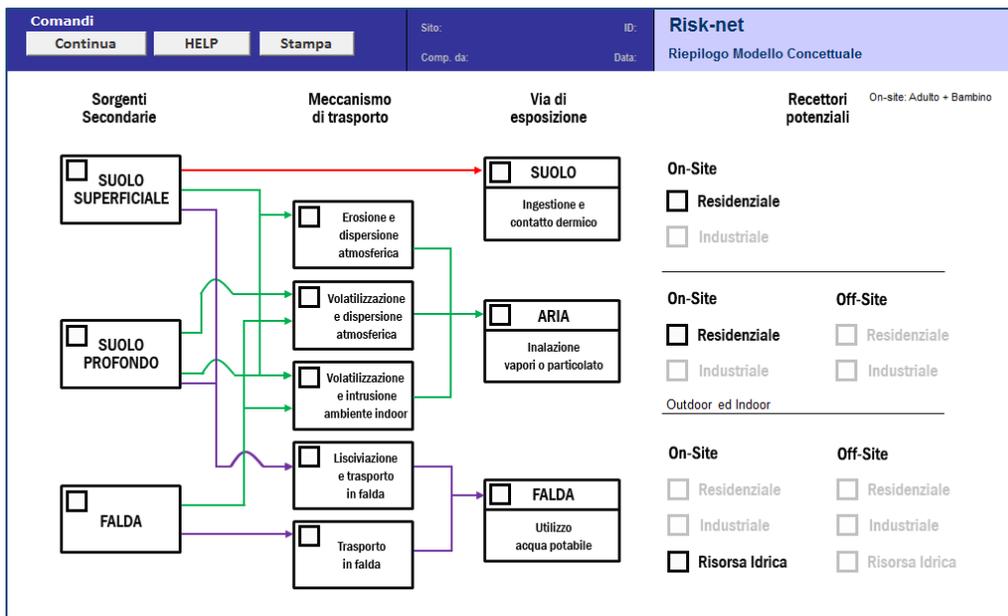


Figura 24. Riepilogo Modello Concettuale.

Fattori di esposizione. Dal pulsante di controllo “Fattori di esposizione” della Userform riportata in Figura 23 è possibile visualizzare, per le vie di esposizione attive, i fattori di esposizione calcolati per le sostanze cancerogene e non (Figura 25). Con il simbolo NA vengono indicate le vie di esposizione non attive (o non previste come nel caso di ingestione di suolo off-site).

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 25. Fattori di esposizione calcolati.

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.

Fattori di Trasporto. Dai pulsante di controllo “Fattori di Trasporto / Matrice” della Userform riportata in Figura 23 è possibile visualizzare, per le vie di esposizione attive, i fattori di trasporto calcolati per ciascuna sorgente di contaminazione (Figura 25). 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		Risk-net												
<input type="button" value="Continua"/> <input type="button" value="HELP"/> <input type="button" value="Stampa"/>			Comp. di:		Fattori di Trasporto: Suolo Superficiale												
Contaminanti	Da eff [cm ² /sec]	Dw eff [cm ² /sec]	Dcap eff [cm ² /sec]	Dcrack eff [cm ² /sec]	Lfss [mg/L/(mg/kg)]	Vfss [mg/m ² /(mg/kg)]	Vfss,esp [mg/m ² /(mg/kg)]	PEF [mg/m ² /(mg/kg)]	PEFin [mg/m ² /(mg/kg)]	off-site		off-site		α _{ss} [mg/m ² /(mg/m ²)]	α _{ss,esp} [mg/m ² /(mg/m ²)]	β [mg/m ² /(mg/kg)]	
										DAF [mg/L/(mg/L)]	ADF [mg/m ² /(mg/m ²)]	α _{ss}	α _{ss,esp}				
Benzene	7.10E-03	2.80E-04	1.82E-05	6.98E-03	4.57E-02	1.80E-05	6.42E-03	6.90E-12	6.90E-12	NA	NA	1.42E-05	1.63E-04	NA	NA	NA	
Etilbenzene	5.44E-03	1.92E-04	1.24E-05	5.35E-03	1.55E-02	1.80E-05	6.42E-03	6.90E-12	6.90E-12	NA	NA	1.09E-05	1.24E-04	NA	NA	NA	
Stirene	5.64E-03	3.31E-04	2.20E-05	5.55E-03	1.56E-02	1.80E-05	3.26E-03	6.90E-12	6.90E-12	NA	NA	1.13E-05	1.29E-04	NA	NA	NA	
Toluene	6.17E-03	2.29E-04	1.49E-05	6.07E-03	2.91E-02	1.80E-05	6.42E-03	6.90E-12	6.90E-12	NA	NA	1.23E-05	1.41E-04	NA	NA	NA	
Xileni	6.72E-03	2.75E-04	1.79E-05	6.91E-03	1.91E-02	1.80E-05	6.42E-03	6.90E-12	6.90E-12	NA	NA	1.34E-05	1.54E-04	NA	NA	NA	
Cloruro di vinile	8.49E-03	2.19E-04	1.40E-05	8.35E-03	1.59E-01	1.80E-05	6.42E-03	6.90E-12	6.90E-12	NA	NA	1.70E-05	1.94E-04	NA	NA	NA	
Diclorometano	7.93E-03	4.24E-04	2.80E-05	7.80E-03	2.39E-01	1.80E-05	6.42E-03	6.90E-12	6.90E-12	NA	NA	1.59E-05	1.81E-04	NA	NA	NA	
Tetracloroetilene (PCE)	4.01E-03	1.25E-04	8.06E-06	3.94E-03	6.36E-02	1.80E-05	6.42E-03	6.90E-12	6.90E-12	NA	NA	8.02E-06	9.17E-05	NA	NA	NA	

Figura 26. Fattori di trasporto calcolati.

Steady State vs. Transitorio (Lisciviazione e trasporto in falda). Dal pulsante di controllo “Steady State vs Transitorio” è possibile accedere alla schermata riportata in Figura 27.

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 dai due menù a tendina riportati nella schermata il percorso (Lisciviazione da Suolo Superficiale e Profondo o Trasporto in Falda) e il contaminante di interesse (tra quelli inseriti nelle fasi precedenti per il calcolo del rischio e/o delle CSR). L’utente può inoltre valutare come variano le concentrazioni in falda in funzione del tempo e della distanza (caselle in giallo). Le concentrazioni in falda vengono calcolate sia assumendo uno stato stazionario (punti in blu) che in transitorio (punti in rosso). Le barre di scorrimento laterali presenti nella casella tempo e nella casella distanza permettono di valutare in maniera semplice e rapida come cambiano i risultati al variare delle condizioni assunte.

Per la lisciviazione, l’utente deve definire il battente idraulico superficiale che viene utilizzato nell’equazione di Green Ampt, per stimare il tempo impiegato dal contaminante per raggiungere la tavola d’acqua (per maggiori dettagli sulle equazioni utilizzate si rimanda a quanto riportato in appendice).

Si sottolinea che tali analisi sono finalizzate esclusivamente a valutazioni integrative e non vengono utilizzate per il calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica.

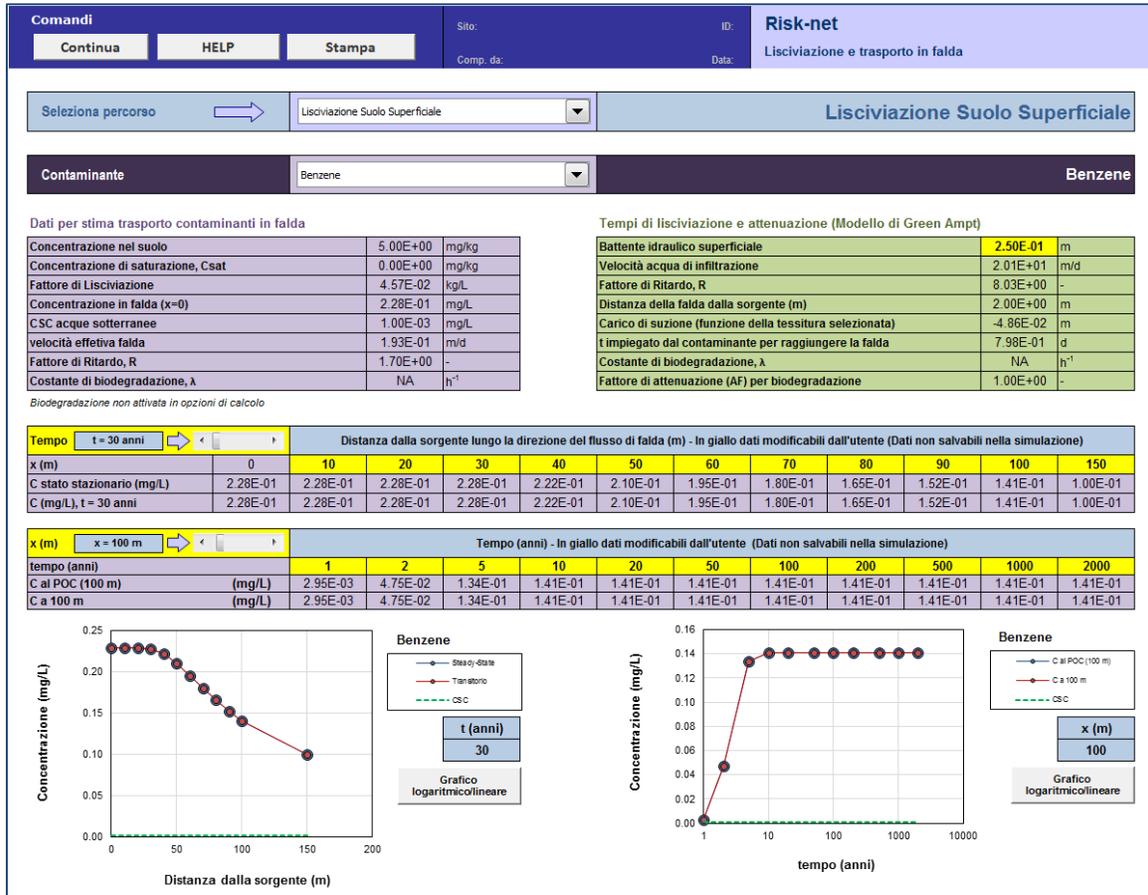


Figura 27. Evoluzione contaminazione in falda.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede al manuale nella sezione di riferimento.

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

Grafico logaritmico/lineare. Permette di modificare la scala da lineare a logaritmica (e viceversa).

Concentrazione 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 28. Da 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 (Csat) e le concentrazioni nei diversi comparti ambientali in funzione del modello concettuale. In particolare sono riportate le concentrazione negli ambienti outdoor ($C_{outdoor}$, mg/m^3), le concentrazioni all'interno degli edifici (C_{indoor} , mg/m^3) 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				Site		ID		Risk-net			
Continua	HELP	Stampa		Comp. da	Data	Concentrazioni al punto di esposizione (Cpoe)					
Suolo Superficiale				on site				off site			
Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m ³]	Csat [mg/kg s.s.]	Coutdoor [mg/m ³]	Cindoor [mg/m ³]	Cfalda [mg/L]	Coutdoor [mg/m ³]	Cfalda [mg/L]			
Benzene	5.00E+00	---	2.78E+03	8.98E-05	3.21E-02	2.28E-01	NA	NA			
Etilbenzene	2.00E+00	---	7.72E+02	3.59E-05	1.28E-02	3.11E-02	NA	NA			
Stirene	3.00E+00	---	1.41E+03	5.39E-05	9.76E-03	4.88E-02	NA	NA			
Toluene	4.00E+00	---	1.20E+03	7.19E-05	2.57E-02	1.18E-01	NA	NA			
Xileni	5.50E+00	---	4.16E+02	9.88E-05	3.53E-02	9.99E-02	NA	NA			
Cloruro di vinile	1.20E+00	---	3.92E+03	2.16E-05	7.70E-03	1.91E-01	NA	NA			
Diclorometano	1.10E+00	---	3.90E+03	1.90E-05	7.90E-03	2.82E-01	NA	NA			
Tetracloroetilene (PCE)	5.00E+01	---	2.30E+02	8.96E-06	3.21E-03	3.18E-02	NA	NA			
Suolo Profondo				on site				off site			
Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m ³]	Csat [mg/kg s.s.]	Coutdoor [mg/m ³]	Cindoor [mg/m ³]	Cfalda [mg/L]	Coutdoor [mg/m ³]	Cfalda [mg/L]			
Stirene	5.00E+00	---	1.41E+03	2.82E-04	1.54E-02	2.35E-01	NA	NA			
Toluene	3.00E+00	---	1.28E+03	2.18E-04	4.58E-02	2.62E-01	NA	NA			
Xileni	1.20E+01	---	4.16E+02	8.63E-04	9.67E-02	6.52E-01	NA	NA			
Cloruro di vinile	1.50E+01	---	3.92E+03	1.08E-03	3.95E-01	7.17E+00	NA	NA			
Diclorometano	6.00E+00	---	3.88E+03	4.31E-04	1.54E-01	4.30E+00	NA	NA			
Tetracloroetilene (PCE)	7.00E+00	---	2.30E+02	5.03E-04	1.80E-01	1.34E+00	NA	NA			

Figura 28. Concentrazioni al punto di esposizione.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede al manuale nella sezione di riferimento.

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

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 29. 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". It is organized into four main sections, each with a header and two buttons:

- Suolo Superficiale:** "Calcola Rischio" and "Riepilogo Output" buttons.
- Suolo Profondo:** "Calcola Rischio" and "Riepilogo Output" buttons.
- Falda:** "Calcola Rischio" and "Riepilogo Output" buttons.
- NAPL:** "Screening NAPL (Cres)" button.

At the bottom of the window is a larger "Continua" button.

Figura 29. Userform Calcolo del Rischio.

Calcolo del Rischio. Dalla Userform precedente, cliccando su uno dei pulsanti "Calcolo Rischio" si accede alla schermata riportata in Figura 30 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 (vedi valori nelle tabelle riportate a destra della schermata) 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. 37). Nel caso sia stato imposto il rispetto delle CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione) delle acque sotterranee al punto di conformità (POC)⁷ viene inoltre riportato il rischio della risorsa idrica calcolato come rapporto tra la concentrazione al punto di esposizione e la CSC di riferimento per le acque sotterranee. Per maggiori dettagli riguardo le equazioni e i criteri di cumulo si rimanda all'Appendice 1. 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 $HI=1$).

⁷ Per maggiori dettagli si rimanda a quanto descritto nel paragrafo "Definizione dei Recettori".

Output

Nel caso in cui siano stati inseriti degli Idrocarburi con classificazione MADEP o TPH WG, nella stessa schermata vengono riportati i rischi cumulati per la risorsa idrica relativamente al parametro "Idrocarburi Totali". Se tale condizione non risultasse soddisfatta i valori vengono evidenziati in arancione. Se si vuole determinare la concentrazione massima ammissibile in sorgente è possibile 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.

Comandi				Sito:		Risk-net						
<input type="button" value="Continua"/> <input type="button" value="Legenda"/> <input type="button" value="HELP"/> <input type="button" value="Stampa"/>				ID:		Rischio: Suolo Superficiale						
				Comp. da:		Data:						
Ricalcola con Fattore di Correzione												
Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m ³]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m ³]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]	CSC Industriale [mg/kg s.s.]	Csat [mg/kg s.s.]	C.A.S. Number
Benzene	5.00E+00	---		5.00E+00	---	1.70E-04	4.02E+00	2.28E+02	1.00E-01	2.00E+00	2.78E+03	71-43-2
Etilbenzene	2.00E+00	---		2.00E+00	---	2.17E-05	4.82E-02	6.21E-01	5.00E-01	5.00E+01	7.72E-02	100-41-4
Stirene	3.00E+00	---		3.00E+00	---	---	3.67E-02	1.88E+00	5.00E-01	5.00E+01	1.41E+03	100-42-5
Toluene	4.00E+00	---		4.00E+00	---	---	1.93E-02	7.76E+00	5.00E-01	5.00E+01	1.28E+03	108-88-3
Xileni	5.50E+00	---		5.50E+00	---	---	1.33E+00	NA	5.00E-01	5.00E+01	4.18E+02	1330-20-7
Cloruro di vinile	1.20E+00	---		1.20E+00	---	3.39E-05	2.89E-01	3.83E+02	1.00E-02	1.00E-01	3.92E+03	75-01-4
Diclorometano	1.10E+00	---		1.10E+00	---	9.33E-06	4.48E-02	NA	1.00E-01	5.00E+00	3.88E+03	75-09-2
Tetracloroetilene (PCE)	5.00E-01	---		5.00E-01	---	5.65E-07	3.02E-01	2.89E+01	5.00E-01	2.00E+01	2.30E+02	127-18-4
Alifatici C5-C8 (n-esano > 53%)	1.20E-01	---		1.20E-01	---	---	4.33E-01	1.98E-01	1.00E+01	2.50E+02	1.24E+03	
Alifatici C >10-12	1.50E-01	---		1.50E-01	---	---	5.93E-01	9.55E-04	1.00E+01	2.50E+02	1.69E+02	
Alifatici >C16-21	1.40E-01	---		1.40E-01	---	---	1.15E-04	7.13E-07	5.00E+01	7.50E+02	5.97E+00	
Aromatici C >8-10	2.30E-01	---		2.30E-01	---	---	1.89E+00	3.67E-01	1.00E+01	2.50E+02	1.40E+03	
Aromatici C >16-21	2.00E+00	---		2.00E+00	---	---	1.09E-03	2.57E-03	5.00E+01	7.50E+02	8.85E+01	
Alifatici C5-C8	1.30E+01	---		1.30E+01	---	---	1.57E+00	8.59E-02	1.00E+01	2.50E+02	3.38E+02	
Alifatici C9-C18	1.40E+01	---		1.40E+01	---	---	3.48E-01	4.17E-04	1.00E+01	2.50E+02	6.81E+01	
Alifatici C19-C36	1.10E+01	---		1.10E+01	---	---	9.00E-05	5.60E-07	5.00E+01	7.50E+02	5.97E+00	
Aromatici C9-C10	5.00E+00	---		5.00E+00	---	---	9.00E-01	5.66E-02	1.00E+01	2.50E+02	9.13E+02	
Aromatici C11-C22	2.00E+00	---		2.00E+00	---	---	1.00E-02	8.10E-03	1.00E+01	2.50E+02	2.90E+02	

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	4.27E-06	1.06E-01
Indoor	2.35E-04	1.16E+01
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	---

On-site	R gw
TPH WG	5.66E-01
MADEP	1.51E-01
Off-site	R gw
TPH WG	---
MADEP	---

Figura 30. Calcolo del Rischio.

In Tabella 7 vengono descritte le diverse parole chiave e simboli inerenti il calcolo del Rischio.

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

SIMBOLO	SIGNIFICATO
CSC	Concentrazione Soglia di Contaminazione
CRS	Concentrazione rappresentativa alla Sorgente
f	Fattore di correzione
R	Rischio Cancerogeno
HI	Indice di Pericolo (Non Cancerogeno)
NA	Non Applicabile (ad es. via di esposizione non attiva)
R GW -->	Rischio per la risorsa idrica

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede al manuale nella sezione di riferimento.

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

Legenda. Visualizza il significato dei diversi simboli utilizzati.

Ricalcola con Fattore di Correzione. Riduce le CRS e ricalcola i rischi e indici di pericolo associati.

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 29 l'utente può accedere alla schermata di riepilogo dei risultati ottenuti (Figura 31).

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.

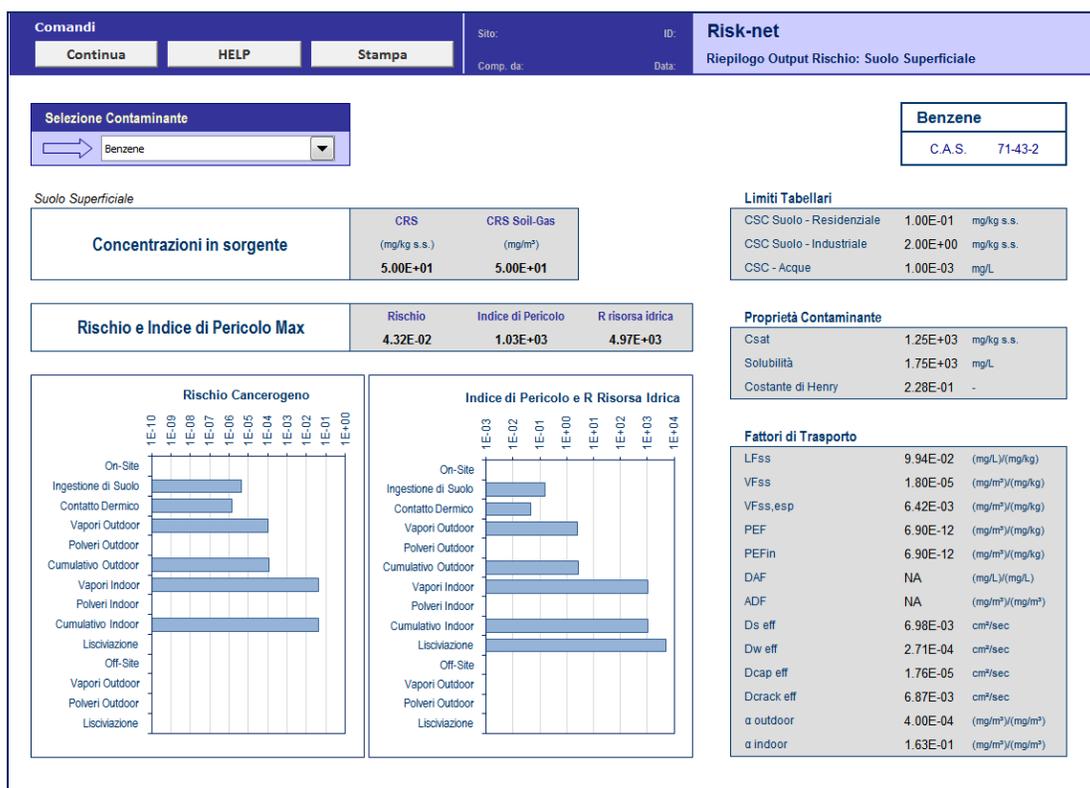


Figura 31. Riepilogo output Analisi di Rischio in modalità diretta (Calcolo del Rischio).

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede al manuale nella sezione di riferimento.

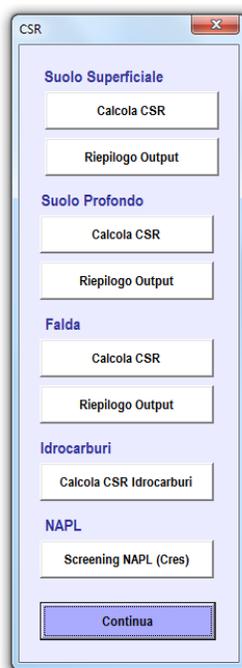
Stampa. Permette di stampare la schermata su cui si sta lavorando.

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. 56).

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 standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window content is organized into several sections, each with a blue header and two buttons below it:

- Suolo Superficiale**: "Calcola CSR" and "Riepilogo Output"
- Suolo Profondo**: "Calcola CSR" and "Riepilogo Output"
- Falda**: "Calcola CSR" and "Riepilogo Output"
- Idrocarburi**: "Calcola CSR Idrocarburi"
- NAPL**: "Screening NAPL (Cres)"

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 (CSR individuali) che sono calcolate indipendentemente per ciascun contaminante applicando l'analisi di rischio in modalità indiretta, ovvero stimando le concentrazioni massime che si possono avere nel sito compatibili con i limiti accettabili (ad es. $R=10^{-6}$ e $HI=1$). Come descritto nell' Appendice 2, la CSR individuale viene calcolata selezionando il valore più conservativo (ovvero il valore minore) tra le CSR calcolate per le diverse modalità di esposizione. Per maggiori dettagli riguardo le equazioni e i criteri di cumulo si rimanda all'Appendice.

Comandi				Site:		Risk-net							
Continua		Legenda		HELP		Stampa		Comp. da:		Data:		CSR Suolo Superficiale	
Ricalcola con Fattore di Correzione													
Contaminanti	CSR individuali [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.O.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]	CSC Industriali [mg/kg s.s.]	Csat [mg/kg s.s.]	CSR in sorgente [mg/kg s.s.]		
Benzene	2.19E-02		2.19E-02	2.06E-02	7.42E-07	1.76E-02	1.00E+00	1.00E-01	2.00E+00	2.78E+03	5.00E+00		
Etilbenzene	9.20E-02		9.20E-02	8.65E-02	1.00E-06	2.22E-03	2.86E-02	5.00E-01	5.00E+01	7.72E+02	2.00E+00		
Stirene	1.60E+00		1.60E+00	1.50E+00	---	1.96E-02	1.00E+00	5.00E-01	5.00E+01	1.41E+03	3.00E+00		
Toluene	5.16E-01		5.16E-01	4.85E-01	---	2.49E-03	1.00E+00	5.00E-01	5.00E+01	1.28E+03	4.00E+00		
Xileni	4.15E+00		4.15E+00	3.90E+00	---	1.00E+00	---	5.00E-01	5.00E+01	4.16E+02	5.50E+00		
Cloruro di vinile	3.14E-03		3.14E-03	2.95E-03	8.85E-08	7.56E-04	1.00E+00	1.00E-02	1.00E-01	3.92E+03	1.20E+00		
Diclorometano	1.18E-01		1.18E-01	1.11E-01	1.00E-06	4.78E-03	---	1.00E-01	5.00E+00	3.86E+03	1.10E+00		
Tetracloroetilene (PCE)	1.73E-02		1.73E-02	1.62E-02	1.95E-08	1.05E-02	1.00E+00	5.00E-01	2.00E+01	2.30E+02	5.00E-01		
Alifatici C5-C6 (n-esano > 53%)	2.77E+01		2.77E+01	2.60E+01	---	1.00E+00	4.53E-01	1.00E+01	2.50E+02	1.24E+03	1.20E+01		
Alifatici C >10-12	2.53E+01		2.53E+01	2.38E+01	---	1.00E+00	1.61E-03	1.00E+01	2.50E+02	1.69E+02	1.50E+01		
Alifatici >C16-C21	1.22E+05		1.22E+05	1.15E+05	---	1.00E+00	6.23E-03	5.00E+01	7.50E+02	5.97E+00	1.40E+01		
Aromatici C >8-10	1.36E+01		1.36E+01	1.28E+01	---	1.00E+00	2.17E-01	1.00E+01	2.50E+02	1.40E+03	2.30E+01		
Aromatici C >16-21	7.79E+02		7.79E+02	7.32E+02	---	4.25E-01	1.00E+00	5.00E+01	7.50E+02	8.85E+01	2.00E+00		
Alifatici C5-C8	8.27E+00		8.27E+00	7.77E+00	---	1.00E+00	5.46E-02	1.00E+01	2.50E+02	3.38E+02	1.30E+01		
Alifatici C9-C18	4.03E+01		4.03E+01	3.78E+01	---	1.00E+00	1.20E-03	1.00E+01	2.50E+02	6.81E+01	1.40E+01		
Alifatici C19-C36	1.22E+05		1.22E+05	1.15E+05	---	1.00E+00	6.23E-03	5.00E+01	7.50E+02	5.97E+00	1.10E+01		
Aromatici C9-C10	5.56E+00		5.56E+00	5.22E+00	---	1.00E+00	6.29E-02	1.00E+01	2.50E+02	9.13E+02	5.00E+00		
Aromatici C11-C22	1.99E+02		1.99E+02	1.87E+02	---	1.00E+00	8.07E-01	1.00E+01	2.50E+02	2.90E+02	2.00E+00		

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	2.23E-08	2.72E+00
Indoor	2.85E-06	8.06E+00
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	---

On-site	R gw
TPH WG	1.68E+00
MADEP	9.32E-01
Off-site	R gw
TPH WG	---
MADEP	---

Figura 33. Calcolo degli Obiettivi di bonifica (CSR)

Le CSR individuali non costituiscono però 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 non rispettano necessariamente la condizione di rischio cumulativo tollerabile (ad es. $R=10^{-5}$ e $HI=1$). 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 concentrazioni tali da rispettare la condizione di rischio cumulativo accettabile.

A tal fine in Risk-net vengono calcolati, per ciascuna via di esposizione, i rischi (R) e gli indici di pericolo (HI) associati alle Concentrazioni Soglia di Rischio individuali calcolate⁸. In fondo a questa tabella vengono riportati i rischi cumulativi (ovvero la somma dei rischi di ciascun contaminante). Tale somma deve essere inferiore al rischio ed all'indice di pericolo cumulativo accettabile (ad es. $R=10^{-5}$ e $HI=1$). Nel caso in cui siano stati inseriti degli Idrocarburi con classificazione MADEP o TPH WG, nella stessa schermata vengono riportati i rischi cumulati per la risorsa idrica relativamente al parametro "Idrocarburi Totali". Se tale condizione non risultasse soddisfatta (valori evidenziati in arancione) l'utente deve applicare un fattore correttivo (f, terza colonna della tabella) che riduca la concentrazione soglia di rischio e conseguentemente il rischio associato (premendo il pulsante "Ricalcola con 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 risultino inferiori al limite accettabile. Le CSR che rispettano i limiti individuali e cumulativi costituiscono gli obiettivi di bonifica sito-specifici della matrice contaminata.

I contaminanti per i quali le CRS in sorgente definite dall'utente risultano superiori alle CSR calcolate vengono evidenziati in arancione.

In Tabella 7 vengono descritte le diverse parole chiave e simboli inerenti il calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR).

Tabella 7. 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
> C _{sat}	CSR (teorica) maggiore della saturazione. In questo caso la concentrazione massima (alla saturazione) che può volatilizzare o lisciviare garantisce rischi accettabili e pertanto non esiste un valore soglia di rischio (CSR). Il rischio riportato si riferisce alla saturazione (se attivata l'opzione)
* (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 il rispetto delle CSC della falda per il percorso di lisciviazione
CSC/LF/f	Viene imposto il rispetto delle CSC della falda per il percorso di lisciviazione tenendo conto del fattore di correzione.

⁸ Si sottolinea che in assenza di condizioni di saturazione il rischio o l'indice di pericolo calcolati per le CSR individuali della via che risulta più critica sono pari al limite individuale definito accettabile (ad es. $R = 10^{-6}$ e $HI = 1$).

Output

SIMBOLO	SIGNIFICATO
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. Tale condizione comporta che il contaminante anche se fosse presente puro non comporterebbe comunque rischi per quale percorso di migrazione/esposizione.
>Sol	CSR (teorica) maggiore della solubilità. In questo caso la concentrazione massima (alla saturazione) che può volatilizzare garantisce rischi accettabili e pertanto non esiste un valore soglia di rischio (CSR). Il rischio riportato si riferisce alla saturazione.
CSC	Viene imposto il rispetto delle CSC della falda al confine (POC).
R GW -->	Rischio per la risorsa idrica

Comandi schermata CSR

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede al manuale nella sezione di riferimento.

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.

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 34).

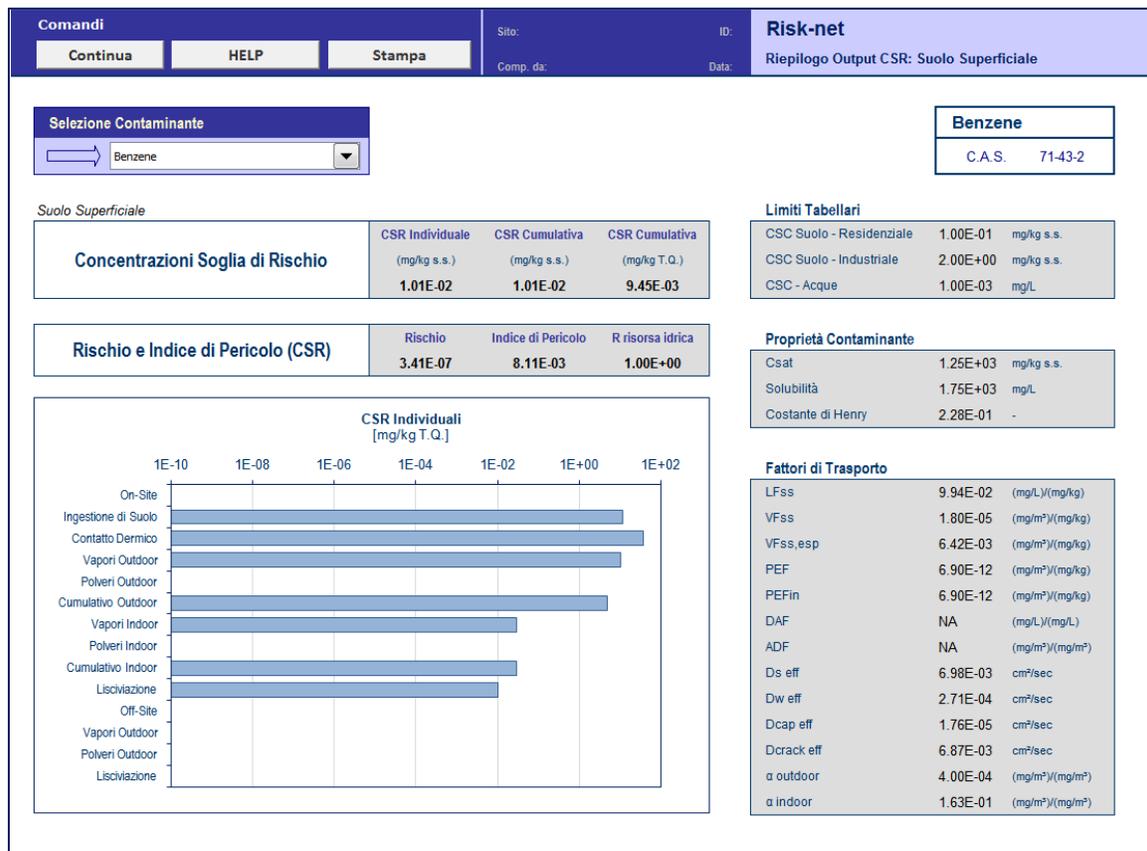


Figura 34. Riepilogo Output, applicazione Analisi di Rischio "Backward"

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 al manuale nella sezione di riferimento.

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

Legenda. Visualizza il significato dei diversi simboli utilizzati.

Calcolo CSR Idrocarburi. Se nel caso in esame sono stati inseriti degli Idrocarburi utilizzando la classificazione MADEP o TPH WG entrando 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

Output

utilizzando il metodo della “frazione critica” riportato nell'Appendice V delle linee guida APAT-ISPRA (2008), ovvero selezionando la classe MADEP o TPH WG che genera il rischio maggiore con riferimento alla reale presenza di tale classe nella miscela riscontrata in sito. A tal fine, sulla base delle concentrazioni definite dall'utente, il software calcola la frazione di ciascuna sotto-classe (ad es. Alifatici C5-C6, Alifatici C6-C8...) presente nelle macro classi Idrocarburi C<12, Idrocarburi C>12 e Idrocarburi Totali. Tale frazione viene quindi applicata alle CSR calcolate per ciascuna sottoclasse e viene quindi individuata la frazione che restituisce la CSR più bassa (che quindi genera il rischio maggiore con riferimento alla reale presenza di tale classe nella miscela). Per quanto riguarda la classificazione MADEP, si sottolinea che in questa versione del software le classi miste (Alifatici C9-C18 e Aromatici C11-C22) vengono conteggiate sia nei C<12 che nei C>12. Per maggiori dettagli riguardo le equazioni utilizzate si rimanda a quanto contenuto negli allegati del manuale.

Comandi

CSR HELP Stampa

Sito: **Risk-net**

Comp. da: ID: Data:

Calcolo CSR Idrocarburi

Seleziona Matrice Suolo Superficiale Suolo Superficiale

Calcolo CSR per speciazione TPH WG

Classificazione TPH WG	CRS (mg/kg s.s.)	Frazioni			CSR (mg/kg s.s.)	CSR/f (mg/kg s.s.)		
		f C<12	f C>12	f totali		C<12	C>12	HC tot
Alifatici C5-C6	1.20E+01	2.40E-01	---	1.82E-01	2.77E+01	1.15E+02	---	1.52E+02
Alifatici >C5-C8	non inseriti	---	---	---	NA	---	---	---
Alifatici C >8-10	non inseriti	---	---	---	NA	---	---	---
Alifatici C >10-12	1.50E+01	3.00E-01	---	2.27E-01	2.53E+01	8.43E+01	---	1.11E+02
Alifatici C >12-16	non inseriti	---	---	---	NA	---	---	---
Alifatici >C16-21	1.40E+01	---	8.75E-01	2.12E-01	1.22E+05	---	1.40E+05	5.78E+05
Alifatici >C21-C35	non inseriti	---	---	---	NA	---	---	---
Aromatici C > 7-8	non inseriti	---	---	---	NA	---	---	---
Aromatici C > 8-10	2.30E+01	4.60E-01	---	3.48E-01	1.36E+01	2.95E+01	---	3.90E+01
Aromatici C > 10-12	non inseriti	---	---	---	NA	---	---	---
Aromatici C > 12-16	non inseriti	---	---	---	NA	---	---	---
Aromatici C > 16-21	2.00E+00	---	1.25E-01	3.03E-02	7.79E+02	---	6.24E+03	2.57E+04
Aromatici C > 21-35	non inseriti	---	---	---	NA	---	---	---

Classi	CRS (mg/kg s.s.)
Idrocarburi C<12	5.00E+01
Idrocarburi C>12	1.60E+01
Idrocarburi totali	6.60E+01

Idrocarburi	C<12	C>12	HC tot
CSR (mg/kg s.s.)	3.0E+01	6.2E+03	3.9E+01
Classe critica	<i>Aromatici C >8-10</i>	<i>Aromatici C >16-21</i>	<i>Aromatici C >8-10</i>

Calcolo CSR per speciazione MADEP

Classificazione MADEP	CRS (mg/kg s.s.)	Frazioni			CSR (mg/kg s.s.)	CSR/f (mg/kg s.s.)		
		f C<12	f C>12	f totali		C<12	C>12	HC tot
Alifatici C5-C8	1.30E+01	3.25E-01	---	2.89E-01	8.27E+00	2.64E+01	---	2.88E+01
Aromatici C9 - C10	1.40E+01	3.50E-01	---	3.11E-01	4.03E+01	1.15E+02	---	1.29E+02
Alifatici C9 - C18	1.10E+01	2.75E-01	6.11E-01	2.44E-01	1.22E+05	4.44E+05	2.00E+05	5.00E+05
Alifatici C19 - C36	5.00E+00	---	2.78E-01	1.11E-01	5.56E+00	---	2.00E+01	5.00E+01
Aromatici C11 - C22	2.00E+00	5.00E-02	1.11E-01	4.44E-02	1.99E+02	3.99E+03	1.79E+03	4.48E+03

Classi	CRS (mg/kg s.s.)
Idrocarburi C<12	4.0E+01
Idrocarburi C>12	1.8E+01
Idrocarburi totali	4.8E+01

Nella speciazione MADEP in maniera cautelativa le classi miste (ad es. Alifatici C9-C18) vengono conteggiate sia nei C<12 che nei C>12

Idrocarburi	C<12	C>12	HC tot
CSR (mg/kg s.s.)	2.5E+01	2.0E+01	2.9E+01
Classe critica	<i>Alifatici C5-C8</i>	<i>Alifatici C19 - C36</i>	<i>Alifatici C5-C8</i>

Figura 35. Calcolo CSR Idrocarburi.

Comandi CSR Idrocarburi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede al manuale nella sezione di riferimento.

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

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 "Screening NAPL (Cres)" 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 questo non esclude che a concentrazioni superiori alla C_{sat} ci sia trasporto dei contaminanti in via solida/colloidale).

Comandi: Continua, Idrocarburi, HELP, Stampa. ID: Risk-net. 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]	Densità [kg/L]	NAPL	Screening Mobilità NAPL (Cres) [mg/kg s.s.]
Benzene	71-43-2	l	2.78E+03	0.88	LNAPL	1.01E+04
Etilbenzene	100-41-4	l	7.72E+02	0.86	LNAPL	7.94E+03
Stirene	100-42-5	l	1.41E+03	0.90	LNAPL	8.90E+03
Toluene	108-88-3	l	1.28E+03	0.86	LNAPL	8.44E+03
Xileni	1330-20-7	l	4.16E+02	---	---	NA
Cloruro di vinile	75-01-4	g	3.92E+03	0.91	---	NA
Diclorometano	75-09-2	l	3.86E+03	1.33	DNAPL	1.49E+04
Tetracloroetilene (PCE)	127-18-4	l	2.30E+02	1.62	DNAPL	1.37E+04
Alifatici C5-C6 (n-esano > 53%)		l	1.24E+03	---	---	NA
Alifatici C > 10-12		l	1.69E+02	---	---	NA
Alifatici >C16-21		l	5.97E+00	---	---	NA
Aromatici C > 8-10		l	1.40E+03	---	---	NA
Aromatici C > 16-21		l	8.85E+01	---	---	NA
Alifatici C5-C8		l	3.38E+02	---	---	NA
Alifatici C9-C18		l	6.81E+01	---	---	NA
Alifatici C19-C36		l	5.97E+00	---	---	NA
Aromatici C9-C10		l	9.13E+02	---	---	NA
Aromatici C11-C22		l	2.90E+02	---	---	NA

Valori tipici di saturazione residua (Appendice V, ISPRA 2009)

Composti Idrocarburi	Saturazione Residua (mg/Kg)			
	Ghiaia grossolana	Ghiaia e Sabbia grossolana	Sabbia	Limi e Argille
GRO	1 000	1 700	3 400	10 000
DRO	2 000	3 900	7 700	22 800
HO	2 000	3 900	7 700	22 800
MO	5 000	8 700	17 400	51 400
Idrocarburi C ≤ 12	1 000	1 700	3 400	10 000
Idrocarburi C > 12	2 000	3 900	7 700	22 800

TPH = Total Petroleum Hydrocarbons; DRO = Diesel range organics; GRO = Gasoline range organics; HO = Heavy oil range organics; MO = Mineral oil.

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

Si sottolinea infine che con NA vengono indicati i contaminanti per i quali nella banca dati non è definito lo stato fisico o la densità specifica del contaminante.

Comandi

Continua. Ritorna alla schermata principale.

Help. Si accede al manuale nella 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.

CONFRONTO CONCENTRAZIONI

Nel caso di applicazione dell'Analisi di Rischio in modalità diretta (Calcolo Rischio), dal pulsante "Confronto Concentrazioni" riportato nella finestra di dialogo "Output" della schermata principale si accede alla schermata riportata in Figura 29.

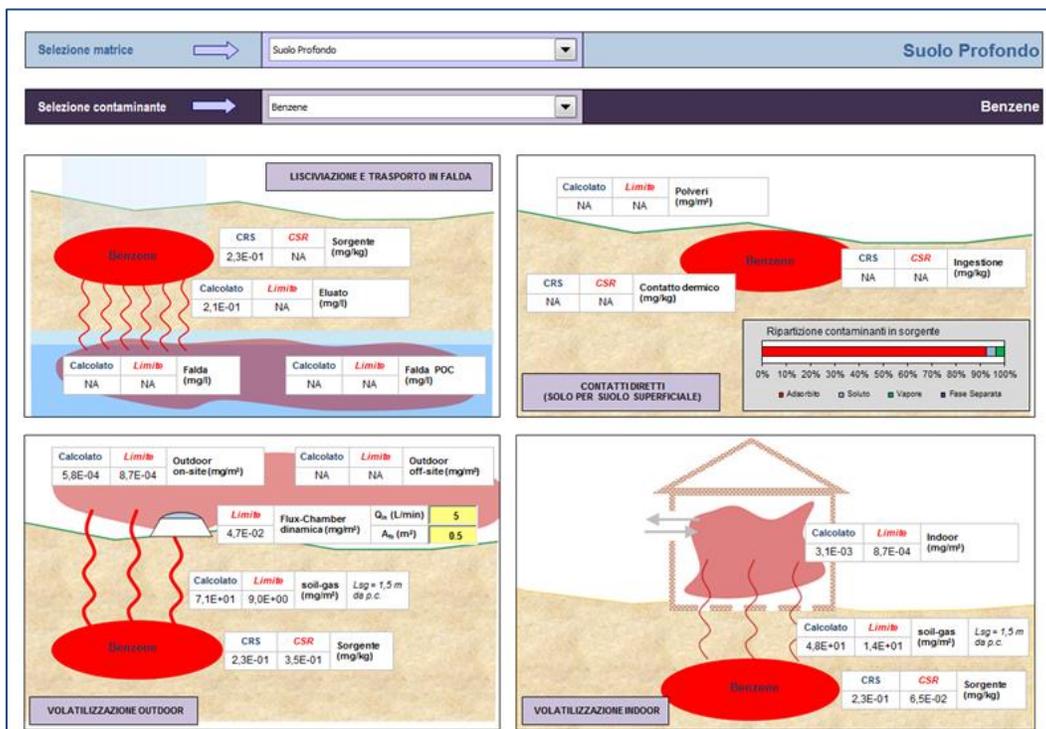


Figura 37. Confronto concentrazioni, applicazione Analisi di Rischio "Backward"

Qui l'utente deve selezionare dai due menù a tendina riportati nella schermata la matrice (Suolo Superficiale, Suolo Profondo o Falda) e il contaminante di interesse (tra quelli inseriti nelle fasi precedenti per il calcolo del rischio e/o delle CSR). Sulla base della selezione effettuata vengono riportati in funzione delle concentrazioni totali definite dall'utente, la concentrazione attesa nelle diverse matrici (soil gas, eluato, aria outdoor, aria indoor...) e il corrispettivo valore limite che garantisce il rispetto dei rischi accettabili nei diversi comparti (aria indoor, aria outdoor, flux chambers, soil-gas, eluato...) calcolato in funzione delle CSR individuate per le diverse sorgenti (Suolo Superficiale, Suolo Profondo e Falda). In tale schermata viene inoltre fornita un'indicazione sulla distribuzione in peso del contaminante nelle diverse fasi del suolo. Si sottolinea che le caselle in cui compare il simbolo "NA" indicano le vie di esposizione/migrazione non attive o i casi in cui le CSR calcolate in sorgente (suolo superficiale, suolo profondo e falda) sono risultate superiori alla concentrazione di saturazione (qualora tale opzione sia stata attivata nella schermata delle opzioni di calcolo descritta a pag. 22). In quest'ultimo caso per visualizzare i valori limiti nei diversi comparti è sufficiente disattivare nella schermata delle opzioni di calcolo la voce "Considera Csat per calcolo del Rischio e delle CSR". In questo contesto va inoltre considerato che le concentrazioni limite calcolate in aria e nel soil-gas ipotizzano una sorgente di emissione infinita e pertanto nel caso in cui dall'analisi di rischio dei suoli emergessero delle condizioni per cui ci si aspetta un esaurimento della sorgente nel periodo di esposizione, le concentrazioni limite nel soil-gas e in aria potrebbero risultare particolarmente cautelative.

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-INAIL (2015), Banca dati ISS/ISNAIL "Banca Dati ISS-INAIL per Analisi di Rischio Sanitario Ambientale".
- ✓ 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	-
$ADAF$	Fattore di aggiustamento dei parametri tossicologici	-
AF	Fattore di aderenza dermica	(mg/(cm ² giorno))
AT	Tempo medio di esposizione	anni
B_i	Inalazione indoor	m ³ /ora
B_o	Inalazione outdoor	m ³ /ora
BW	Peso corporeo	kg
C_{falda}	Concentrazione al punto di esposizione in falda	mg/L
C_{indoor}	Concentrazione al punto di esposizione - ambiente indoor	mg/m ³
$C_{outdoor}$	Concentrazione al punto di esposizione - ambiente outdoor	mg/m ³
CRS	Concetrazone Rappresentativa alla sorgente	mg/kg o mg/L
$CRS_{soil-gas}$	Concetrazone Rappresentativa alla sorgente nel soil-gas	mg/m ³
C_{sat}	Concentrazione di Saturazione	mg/kg
CSC	Concentrazione Soglia di Contaminazione	mg/kg o mg/L
CSR	Concentrazione Soglia di Rischio	mg/kg o mg/L
CSR_{canc}	CSR sost. cancerogene	mg/kg o mg/L
$CSR_{non.canc}$	CSR sost. tossiche	mg/kg o mg/L
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale	cm
D_a	Coefficiente di diffusione molecolare in aria	cm ² /s
d_a	spessore acquifero	cm
DAF	Fattore di diluizione in falda	-
D_{crack}^{eff}	Coefficiente di diffusione nelle fondazioni	cm ² /s

Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
d_s	Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo	cm
D_s^{eff}	Coefficiente di diffusione nella zona insatura	cm ² /s
D_w	Coefficiente di diffusione molecolare in acqua	cm ² /s
D_w^{eff}	Coefficiente di diffusione globale dalla falda	cm ² /s
ED	Durata di esposizione	anni
EF	Frequenza di esposizione	giorni/anno
EF_{gi}	Frequenza giornaliera indoor	ore/giorno
EF_{go}	Frequenza giornaliera outdoor	ore/giorno
EM_{ConD}	Fattore di contatto dermico	mg/kg/giorno
EM_{Inal}	Fattore di inalazione indoor	m ³ /kg/giorno
EM_{InaO}	Fattore di inalazione outdoor	m ³ /kg/giorno
EM_{IngW}	Fattore di ingestione acqua	L/kg/giorno
ER	Tasso di ricambio aria indoor	1/s
Fi	Frazione di polveri indoor	-
FI	Frazione di suolo ingerita	-
f_{oc}	Frazione di carbonio organico	-
H	Costante adim. di Henry	-
h_{cap}	Spessore frangia capillare	cm
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

Nomenclatura

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

Nomenclatura

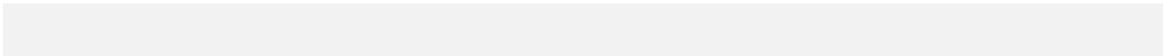
SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
S_r	Frazione residua dei pori zona insatura	-
$S_{r,sat}$	Frazione residua dei pori zona satura	-
S_w	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al vento	cm
THQ	Indice di Pericolo Accettabile	-
TR	Rischio accettabile	-
u	umidità campione	-
U_{air}	Velocità del vento	cm/s
v_e	Velocità effettiva della falda	cm/s
VF_{samb}	Fattore di volatilizzazione outdoor da suolo profondo	(mg/m ³)/(mg/kg)
VF_{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)

Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
α_{wesp}	Fattore di volatilizzazione indoor da soil-gas falda	(mg/m ³)/(mg/m ³)
α_{ss}	Fattore di volatilizzazione outdoor da soil-gas suolo superficiale	(mg/m ³)/(mg/m ³)
α_x	Dispersività longitudinale	cm
α_y	Dispersività trasversale	cm
α_z	Dispersività verticale	cm
β	Fattore di correlazione empirico tra sorgente e soil-gas	
δ_{air}	Altezza della zona di miscelazione in aria	cm
δ_{gw}	Spessore della zona di miscelazione in falda	cm
Δp	Differenza di pressione tra indoor e outdoor	g/cm ² /s
η	Frazione areale di fratture indoor	-
$\eta_{outdoor}$	Frazione areale di fratture outdoor	-
θ_a	Contenuto volumetrico di aria nella zona insatura	-
θ_{acap}	Contenuto volumetrico di aria nella frangia capillare	-
θ_{acrack}	Contenuto volumetrico di aria nelle fondazioni	-
θ_e	Porosità effettiva zona insatura	-
$\theta_{e,cap}$	Porosità effettiva zona capillare	-
$\theta_{e,crack}$	Porosità effettiva fondazioni	-
$\theta_{e,sat}$	Porosità effettiva zona satura	-
θ_w	Contenuto volumetrico di acqua nella zona 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

Nomenclatura

SIMBOLO	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA
σ_y	Coefficiente di dispersione trasversale in aria	cm
σ_z	Coefficiente di dispersione verticale in aria	cm
T_{indoor}	Tempo medio di durata del flusso di vapore indoor	s
T_{LF}	Tempo di durata media del lisciviato	s
$T_{outdoor}$	Tempo medio di durata del flusso di vapore outdoor	s



APPENDICI – EQUAZIONI E CRITERI DI CALCOLO

APPENDICE 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 è il fattore di trasporto, che tiene conto dei fenomeni di attenuazione che intervengono durante la migrazione dei contaminanti attraverso i vari comparti ambientali.

Combinando le diverse equazioni si ottiene:

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

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

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

trasporto (FT) sono riportati Appendice 3. Le equazioni per il calcolo dei diversi fattori di esposizione sono riportati in Appendice 4.

Rischio per più di vie di esposizione. Le equazioni precedentemente descritte permettono di stimare il rischio associato alla singola via di esposizione. Il calcolo del rischio per la salute umana associato al singolo contaminante per la matrice considerata viene stimato cumulando gli effetti (sommando i rischi) dei diversi scenari espositivi (ad es. esposizione outdoor) e successivamente scegliendo il valore più conservativo (ovvero il valore maggiore) tra i diversi scenari. Nella Figura 38, Figura 39 e Figura 40 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.

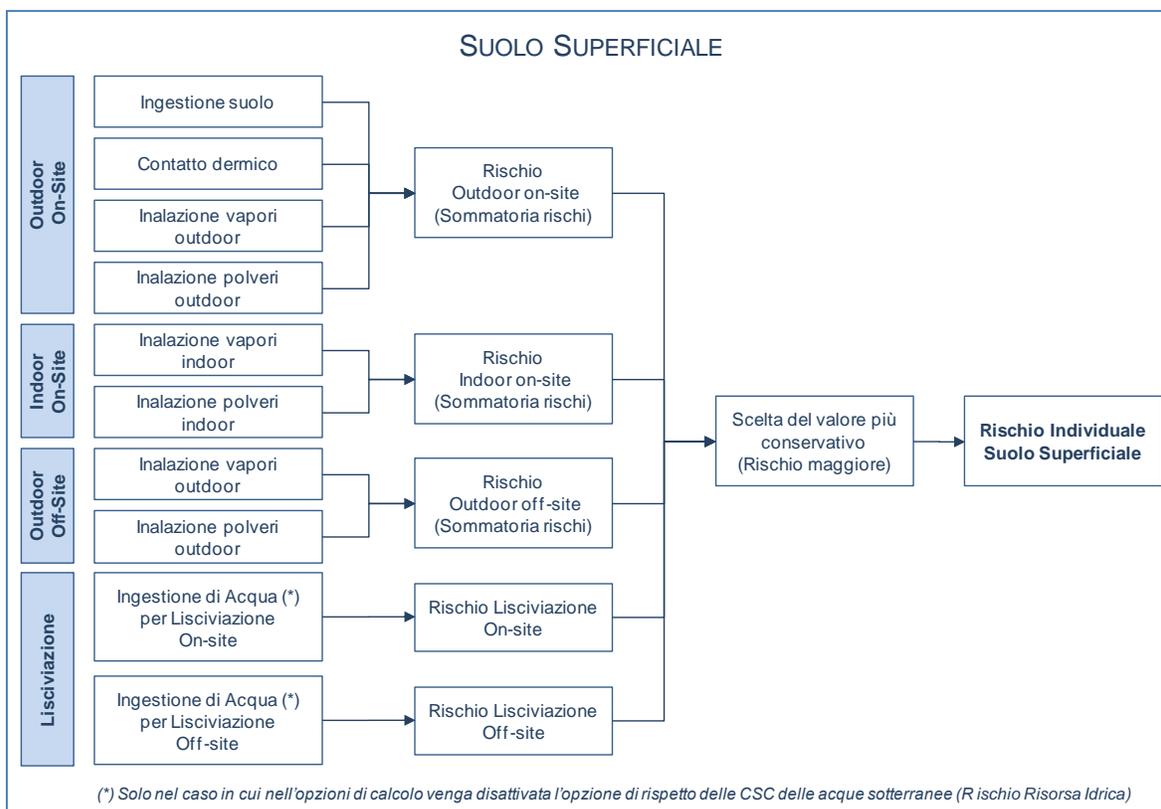


Figura 38. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo superficiale.

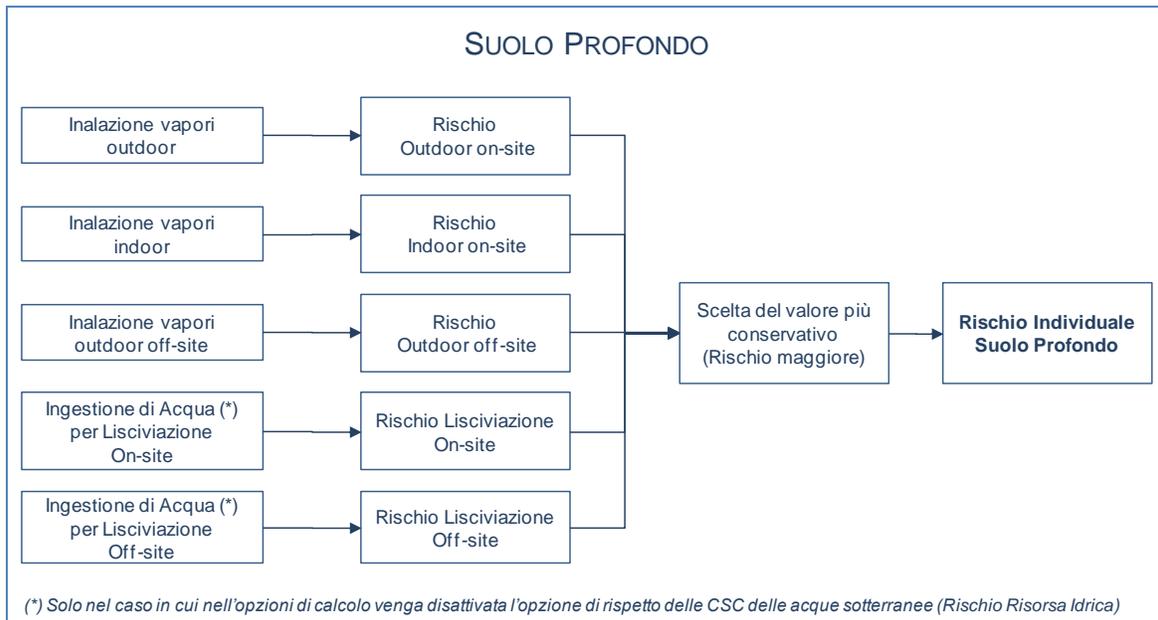


Figura 39. Criteri di cumulo dei rischi per il suolo profondo.

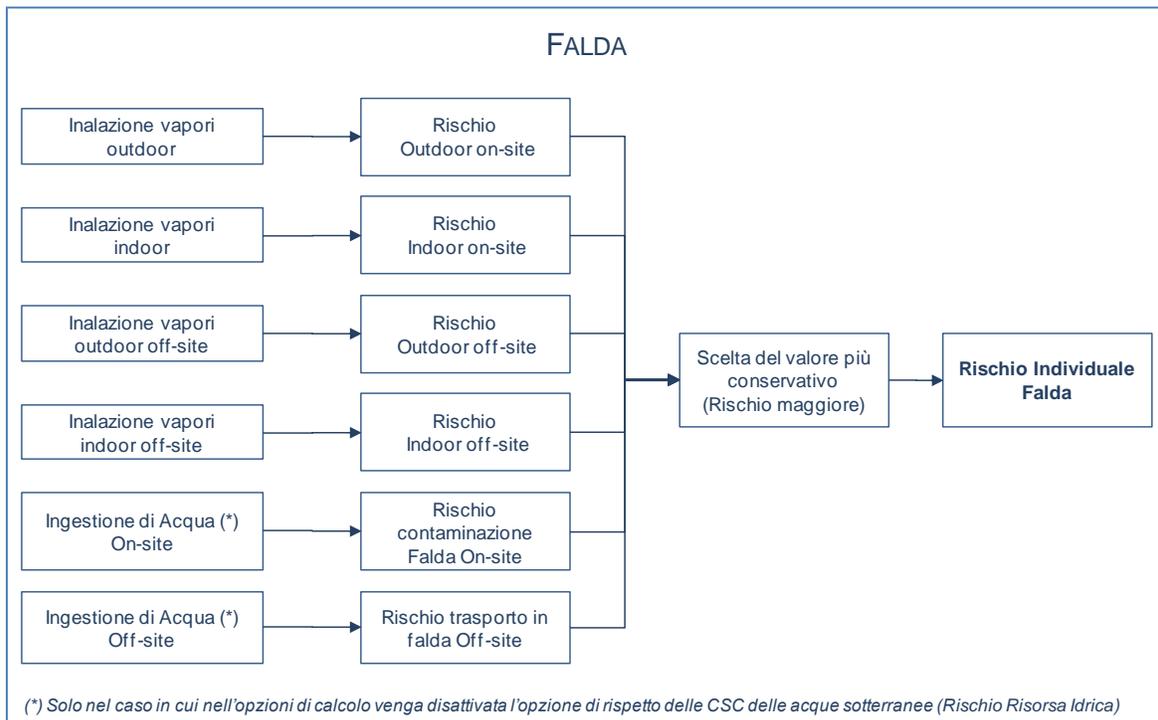


Figura 40. Criteri di cumulo dei rischi per la falda.

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> $R_{SS.InalP} = CRS \cdot SF_{Ina} \cdot EM_{Inal} \cdot PEF_{in}$ $HI_{SS.InalP} = CRS \cdot \frac{EM_{Inal} \cdot PEF_{in}}{RfD_{Ina}}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor PEF_{in} = Particolato indoor</p>
<p>Cumulativo Indoor</p> $R_{SS.Indoor} = R_{SS.Inal} + R_{SS.InalP}$ $HI_{SS.Indoor} = HI_{SS.Inal} + HI_{SS.InalP}$	
<p>Ingestione di acqua per lisciviazione</p> $R_{SS.LF} = CRS \cdot \frac{SF_{Ing} \cdot EM_{IngW} \cdot LF_{ss}}{DAF}$ $HI_{SS.LF} = CRS \cdot \frac{EM_{IngW} \cdot LF_{ss}}{RfD_{Ing} \cdot DAF}$	<p>R = Rischio cancerogeno HI = Indice di pericolo CRS = Concentrazione in sorgente SF_{Ing} = Slope factor per ingestione RfD_{Ing} = Reference dose ingestione EM_{IngW} = Fattore di ingestione acqua LF_{ss} = Lisciviazione in falda DAF = Fattore di diluizione in falda</p>
<p>Rischio e Indice di Pericolo Suolo superficiale</p> $R_{SS} = \max [R_{SS.outdoor}; R_{SS.Indoor}; R_{SS.LF}]$ $HI_{SS} = \max [HI_{SS.outdoor}; HI_{SS.Indoor}; HI_{SS.LF}]$	

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

Tabella 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

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

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

Per i recettori On-site DAF=1

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

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

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

Nella Figura 41, Figura 42 e Figura 43 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.

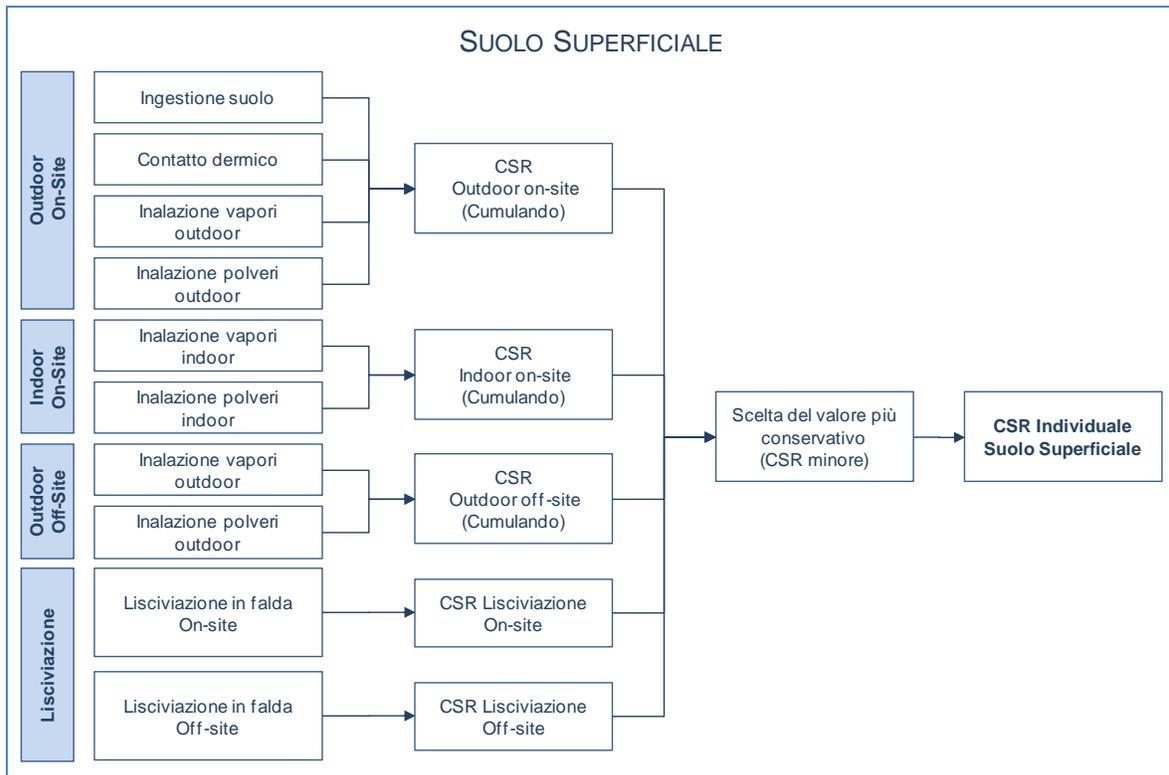


Figura 41. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo superficiale.

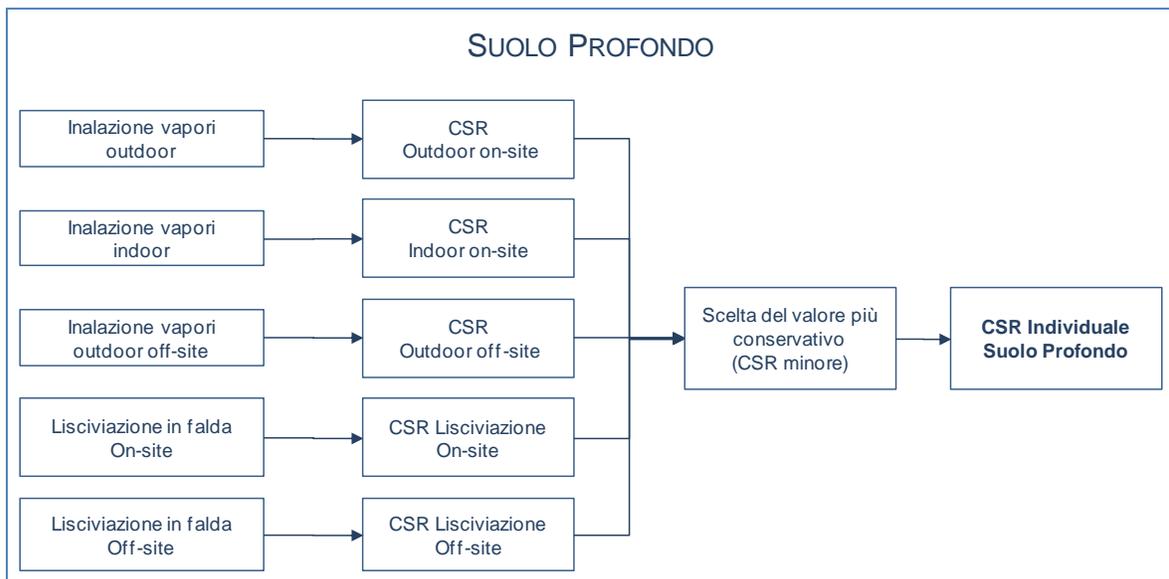


Figura 42. Criteri di cumulo delle CSR per il suolo profondo.

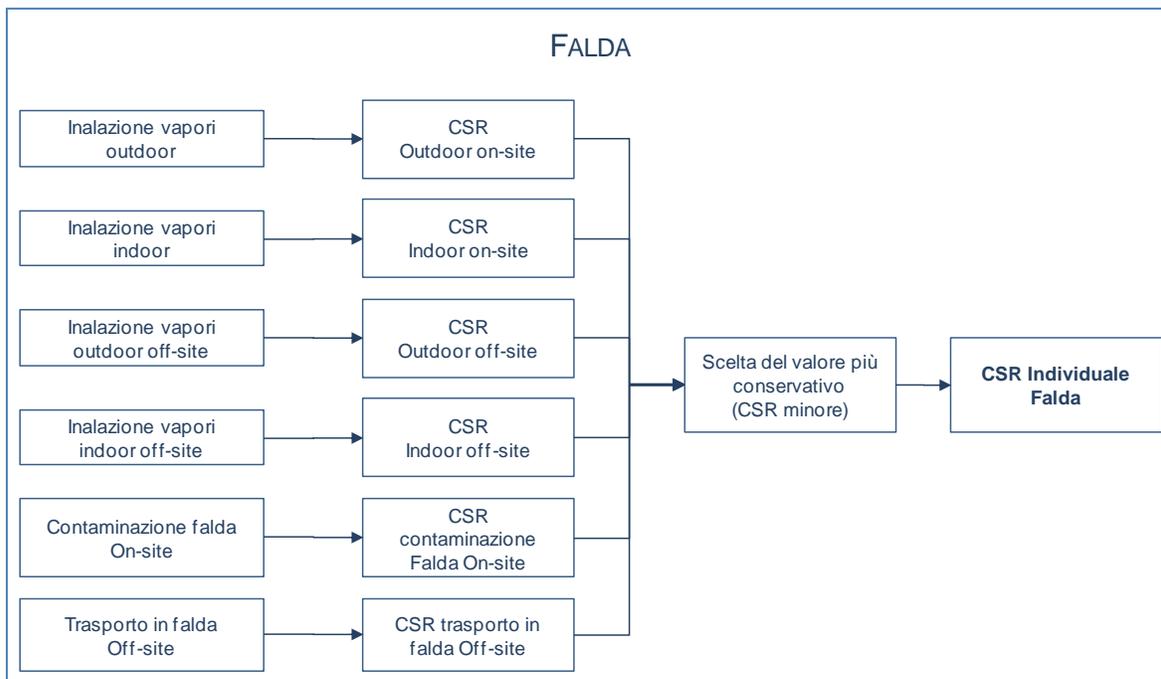


Figura 43. Criteri di cumulo delle CSR per la falda.

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

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

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

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

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

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

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

Tabella 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>	

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

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

Tabella 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</p> $CSR_{SP} = \min [CSR_{SP.InaO}; CSR_{SP.Inal}; CSR_{SP.LF}]$	

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

Tabella 14. Falda: CSR	
<p>Inalazione di vapori outdoor</p> $CSR_{GW.InaO} = \min \begin{cases} CSR_{canc} = \frac{TR \cdot ADF *}{SF_{Ina} \cdot VF_{wamb} \cdot EM_{InaO}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina} \cdot ADF *}{VF_{wamb} \cdot EM_{InaO}} \end{cases}$	<p>CSR_{canc} = CSR sost. cancerogene CSR_{non.canc} = CSR sost. tossiche TR = Rischio accettabile THQ = Indice di Pericolo Accettabile SF_{Ina} = Slope factor - inalazione RfD_{Ina} = Reference dose - inalazione EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor VF_{wamb} = Volatilizzazione outdoor ADF = Dispersione atmosferica</p>
<p>Inalazione di vapori 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</p> $CSR_{GW} = \min [CSR_{GW.InaO}; CSR_{GW.Inal}; CSR_{GW.D}]$	

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

Per i recettori On-site DAF=1

Tabella 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

CLASSIFICAZIONE MADEP

Calcolo CSR Idrocarburi C< 12

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

Calcolo CSR Idrocarburi C> 12

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

Calcolo CSR Idrocarburi totali

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

Nomenclatura

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

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

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

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

CLASSIFICAZIONE TPH WG

Calcolo CSR Idrocarburi C< 12

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

Calcolo CSR Idrocarburi C> 12

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

Calcolo CSR Idrocarburi totali

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

Nomenclatura

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

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

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

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

Tabella 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)

Tabella 18. Flux Chambers (Dinamiche)

Stima del flusso emesso da suolo, F (mg/m²/s), e della concentrazione in aria outdoor, C_{outdoor} (mg/m³)

$$F = C_{fc} \cdot \frac{Q_{in}}{A_{fc}} \quad C_{outdoor} = \frac{F \cdot W'}{U_{air} \cdot \delta_{air}}$$

Concentrazione limite nella flux chambers

$$CR_{fc} = CR_{outdoor} \cdot \frac{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot A_{fc}}{W' \cdot Q_{in}}$$

Nomenclatura

$CR_{outdoor}$ = concentrazione limite in aria outdoor (mg/m³)

C_{fc} = concentrazione misurata nella camera di flusso (mg/m³)

Q_{in} = portata in ingresso alla camera di flusso (m³/s)

A_{fc} = superficie della camera di flusso esposta al suolo (m²)

W' = estensione della sorgente nella direzione del vento (m)

U_{air} = velocità del vento (m/s)

δ_{air} = spessore della zona di miscelazione in aria (m)

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 considerati nel software Risk-net sono:

Da Suolo Superficiale

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

Da Suolo Profondo

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

Dalla Falda

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

Dispersione in Aria

- ADF: fattore di dispersione in aria outdoor.

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

- concentrazione degli inquinanti uniformemente distribuita nel suolo e costante per tutto il periodo di esposizione;
- terreno omogeneo, isotropo e incoerente (si escludono quindi i suoli porosi per fessurazione);
- assenza di fenomeni di biodegradazione (ad eccezione del DAF) o altri meccanismi di degradazione/trasformazione delle sostanze inquinanti.

Tabella 19. 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 20. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori outdoor (Soil-Gas)

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

Nomenclatura

$L_{sg(SS)}$ = Profondità sonda soil-gas associata al suolo superficiale (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)

Tabella 21. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori indoor

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

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

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

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)

τ_{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 22. Suolo Superficiale: Volatilizzazione vapori indoor (Soil-Gas)

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

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

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

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

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)
- $L_{sg(SS)}$ = Profondità sonda soil-gas associata al suolo superficiale (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 23. 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/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 = Dispersione verticale (cm)

Tabella 24. 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 25. 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 26. Coefficienti di dispersione In Atmosfera

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

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

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

Nomenclatura

σ_y = Coefficiente di dispersione trasversale (m)

σ_z = Coefficiente di dispersione verticale(m)

d = Distanza dalla sorgente al bersaglio (m)

Tabella 27. Stima velocità del vento in corrispondenza dell'altezza di miscelazione

Equazione implementata nel software per la stima della velocità del vento in corrispondenza dell'altezza di miscelazione (σ_{air}) in funzione dell'altezza della centralina (z).

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

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

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

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

Nomenclatura

$L_{sg(SP)}$ = Profondità sonda soil-gas associata al suolo profondo (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)

Tabella 30. Suolo Profondo: Volatilizzazione vapori indoor

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)
- $L_{sg(SP)}$ = Profondità sonda soil-gas associata al suolo profondo (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 32. Suolo Profondo: Lisciviazione in Falda

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

Soil Attenuation model, SAM (-)

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

Fattore di diluizione, LDF (-)

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

Coefficienti di Ripartizione (kg/L)

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

Spessore zona di miscelazione, 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, 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 = Dispersione verticale (cm)

Tabella 33. 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 Idraulica (cm/s)

Tabella 34. Fattore di Diluizione in Falda

Dispersione in tutte le direzioni - DAF1 (-)

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

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

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

Dispersione longitudinale e trasversale - DAF3(-)

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

Velocità effettiva della falda, v_e (cm/s)

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

Fattore di Ritardo, R (-)

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

Dispersività longitudinale, α_x (cm)

$$\alpha_x = POC/10$$

Dispersività trasversale, α_y (cm)

$$\alpha_y = \alpha_x/3$$

Dispersività verticale, α_z (cm)

$$\alpha_z = \alpha_x/20$$

Nomenclatura

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

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

δ_{gw} = spessore della zona di miscelazione (cm)

x = distanza (cm)

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

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

ρ_s = Densità del suolo (g/cm³)

i = gradiente idraulico

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

POC = Distanza punto di conformità (cm)

Tabella 35. Falda: Equazione di Domenico

Dispersione in tutte le direzioni - DAF1 (-)

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

Dove:

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

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

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

Nomenclatura

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

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

δ_{gw} = spessore della zona di miscelazione (cm)

x = distanza longitudinale (cm)

y = posizione trasversale (cm)

z = posizione verticale (cm)

R = fattore di Ritardo (-)

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

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

ρ_s = Densità del suolo (g/cm³)

i = gradiente idraulico (-)

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

α_x = Dispersività longitudinale(cm)

α_y = Dispersività trasversale(cm)

α_z = Dispersività verticale(cm)

Tabella 36. 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 37. Falda: Volatilizzazione vapori outdoor (Soil-Gas)

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

Nomenclatura

$L_{sg(GW)}$ = Profondità sonda soil-gas associata alla falda (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)

Tabella 38. 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 ($\Delta p \neq 0$)

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

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)
- 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 39. Falda: Volatilizzazione vapori indoor (Soil-Gas)

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

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

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

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

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)
- $L_{sg(GW)}$ = Profondità sonda soil-gas associata alla 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 40. 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

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

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

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

Nomenclatura

h_{cap} = spessore frangia capillare (cm)

h_v = spessore zona insatura (cm)

h_{lente} = spessore lente nella zona insatura (cm)

L_s = profondità sorgente

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

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

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

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

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

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

θ_{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 41. Concentrazione di Saturazione, C_{sat}

Concentrazione di Saturazione

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

Coefficiente di Ripartizione (kg/L)

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

Nomenclatura

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

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

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

S = solubilità (mg/L)

H = costante di Henry (-)

ρ_s = Densità del suolo (g/cm³)

Tabella 42. 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/cm³)

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 o Adjusted (Adulto + Bambino)

Ambito Industriale o Commerciale

- Lavoratore Adulto

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

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

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

Tabella 43. 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:

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

dove K_s è il coefficiente di ripartizione tra il soluto e la fase adsorbita⁹, H la costante di Henry, θ_w e θ_a il contenuto volumetrico di acqua e di aria, ρ_s la densità del terreno e C_{sol} la concentrazione del soluto nell'acqua interstiziale.

Tale assunzione risulta valida fino a che la concentrazione totale presente nel suolo risulta inferiore alla concentrazione di saturazione, C_{sat} . Infatti al raggiungimento di tale concentrazione l'acqua e l'aria dei pori contengono una concentrazione di contaminante rispettivamente pari alla solubilità, S , e alla tensione di vapore. Di conseguenza da questo punto in poi le concentrazioni del soluto, della fase adsorbita¹⁰ e del vapore non aumentano più ma il contaminante inizia ad essere presente anche in fase separata (C_{libera}). La concentrazione totale (C_{tot}) al di sopra della saturazione è quindi pari a:

$$C_{tot} = C_{sat} + C_{libera}$$

Con la concentrazione di saturazione, C_{sat} , pari a:

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

Il raggiungimento delle condizioni di saturazione (C_{sat}) dipende dalle proprietà chimico-fisiche del contaminante (coefficiente di ripartizione, costante di Henry e solubilità) e dalle caratteristiche del suolo (densità, frazione di carbonio organico e contenuto volumetrico di acqua ed aria).

⁹ Nel caso delle sostanze organiche il coefficiente di ripartizione tra il soluto e la fase adsorbita può essere stimato come: $k_d = k_{oc} \cdot f_{oc}$; k_{oc} è la costante di partizione carbonio organico/acqua e f_{oc} è la frazione di carbonio organico contenuta nel suolo.

¹⁰ Con adsorbimento in questo contesto ci si riferisce al processo legato alle interazioni chimico-fisiche tra il suolo e il contaminante e non all'assorbimento di tipo meccanico che il suolo può esercitare su un fluido.

Concentrazione Residua (Screening Mobilità NAPL). Nel caso in cui il contaminante sia liquido a temperatura ambiente, lo standard ASTM E2081 assume che la fase separata che si forma al di sopra della C_{sat} , risulti immobile fino al raggiungimento della capacità di assorbimento meccanica del suolo (saturazione residua¹¹), oltre la quale può aver luogo la percolazione diretta come prodotto libero.

La capacità di assorbimento meccanico del suolo, che determina la mobilità del contaminante come fase separata, risulta un fenomeno piuttosto complesso che dipende da diversi fattori quali la densità e viscosità della sostanza e la tessitura del suolo.

In Risk-net è stato implementato il modello semplificato riportato nello standard ASTM E2081-00, che permette di stimare le concentrazioni di screening per la zona satura ed insatura, oltre le quali è atteso che la fase separata presente nel suolo diventi mobile:

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

dove ρ_o è la densità del contaminante e θ_o la frazione volumetrica della fase residuale che può essere stimata come:

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

θ_e è la porosità efficace del suolo mentre S_r è la frazione residua dei pori. Come valore cautelativo lo standard ASTM suggerisce un valore della frazione residua pari a $S_r = 0,04$.

Applicazione dell'Analisi di Rischio in condizioni di saturazione. Il raggiungimento delle condizioni di saturazione complica e rende non lineare il calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica. Infatti, analogamente a quanto discusso per la ripartizione, a basse concentrazioni i rischi per i contatti indiretti (volatilizzazione e lisciviazione) crescono linearmente con la concentrazione fino ad arrivare ad un valore massimo alla concentrazione di saturazione quando, come descritto in precedenza, si raggiungono nell'acqua e nell'aria dei pori la solubilità e la tensione di vapore della sostanza. Il discorso risulta differente per i contatti diretti (ad esempio ingestione e contatto dermico con il suolo) per i quali si assume un aumento del rischio anche al di sopra della C_{sat} in quanto si assume correttamente che il recettore possa entrare in contatto con il contaminante anche in fase separata.

L'andamento non lineare del rischio comporta alcune complicazioni sia nel calcolo diretto

¹¹ La fase separata che si forma immediatamente al di sopra della C_{sat} risulta immobile in quanto trattenuta per capillarità nei pori del suolo, o soggetta a tensioni superficiali che ne ostacolano il movimento.

(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.

Analisi Forward. Per il calcolo del rischio, nel caso di condizioni di saturazione ($CRS > C_{sat}$) si utilizzano le solite equazioni con l'unica differenza che per i contatti non diretti (volatilizzazione e lisciviazione) le CRS (Concentrazioni Rappresentative alla sorgente) vengono sostituite con la C_{sat} . Tale scelta, che risulta in accordo con quanto previsto negli standard e nei software di maggior utilizzo (ad eccezione dell'RBCA Tool-Kit ¹²), deriva da una limitazione dei tradizionali modelli di AdR che escludono meccanismi di migrazione per la lisciviazione diversi dal trasporto del soluto in fase disciolta. Per i contatti diretti (ad es. ingestione e contatto) tali concentrazioni, seppur superiori alla saturazione sono implementate tal quali nel software, in quanto il recettore può venire a contatto con il contaminante anche in fase separata. Tale opzione di verifica del raggiungimento delle condizioni di saturazione può essere disattivata (vedi paragrafo "Opzioni di Calcolo", pag. 22).

Analisi Backward. Per il calcolo degli obiettivi di bonifica, il raggiungimento delle condizioni di saturazione (C_{sat}) rende più complicata la procedura e l'identificazione delle Concentrazione Soglia di Rischio (CSR) per la matrice contaminata. In alcuni casi infatti le CSR calcolate per le vie indirette possono risultare superiori alla C_{sat} . In accordo con l'approccio implementato nei software più utilizzati a livello nazionale come RBCA Tool-Kit, RISC e Giuditta, nel caso di $CSR > C_{sat}$ in Risk-net non vengono restituiti i valori limite per le vie che saturano (volatilizzazione e lisciviazione), ma viene indicato che si è in condizioni di saturazione (è comunque possibile visualizzare la CSR teorica).

Esaurimento della sorgente. Nei modelli ASTM il bilancio di materia viene effettuato considerando una ripartizione lineare tra le diverse fasi del suolo. Pertanto nel caso in cui si attivi l'opzione di limitare la concentrazione totale alla C_{sat} calcolata il bilancio di materia che tiene conto dell'esaurimento della sorgente potrebbe risultare sottostimato. In questa versione del software è possibile attivare un'opzione che, nel bilancio di materia, tenga conto anche della presenza della fase separata. In particolare attivando questa opzione nel caso definite dall'utente superiori alla C_{sat} calcolata il bilancio di materia viene effettuato tenendo conto della concentrazione effettiva da verificare (CRS o CSR) e non della C_{sat} .

¹² Il software RBCA Tool-kit nell'applicazione dell'AdR Forward non tiene conto dell'eventuale raggiungimento delle condizioni di saturazione, conducendo in alcuni casi, a sovrastime del rischio anche di diversi ordini di grandezza: "Backward-mode calculations screen out results that exceed solubility or soil residual concentrations for indirect pathways...Forward-mode calculations do not screen for these values, which may result in inappropriately large risk values."

APPENDICE 6. UTILIZZO DEI DATI SOIL-GAS

Calcolo del Rischio. I dati di soil-gas possono essere innanzitutto utilizzati per calcolare l'effettivo rischio di volatilizzazione outdoor e indoor nei diversi punti di monitoraggio soil-gas. Di seguito, sono riportate le equazioni implementate nel software che possono essere utilizzate per il calcolo del rischio e dell'indice di pericolo per i percorsi di volatilizzazione outdoor e indoor.

Inalazione di vapori outdoor

$$R_{InaO} = C_{soil-gas} \cdot \alpha_{samb} \cdot SF_{Ina} \cdot EM_{InaO}$$

$$HI_{InaO} = \frac{C_{soil-gas} \cdot \alpha_{samb} \cdot EM_{InaO}}{RfD_{Ina}}$$

Dove:

R = Rischio cancerogeno

HI = Indice di pericolo

$C_{soil-gas}$ = Concentrazione misurata nel campione di soil-gas

SF_{Ina} = Slope factor per inalazione

RfD_{Ina} = Reference dose per inalazione

EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor

Inalazione di vapori indoor

$$R_{Inal} = C_{soil-gas} \cdot \alpha_{sest} \cdot SF_{Ina} \cdot EM_{Inal}$$

$$HI_{Inal} = \frac{C_{soil-gas} \cdot \alpha_{sest} \cdot EM_{Inal}}{RfD_{Ina}}$$

Dove:

R = Rischio cancerogeno

HI = Indice di pericolo

$C_{soil-gas}$ = Concentrazione misurata nel soil-gas

SF_{Ina} = Slope factor per inalazione

RfD_{Ina} = Reference dose per inalazione

EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor

Calcolo CSR. Le misure di soil-gas possono inoltre essere utilizzate per valutare l'attenuazione sito-specifica dei vapori osservata sul campo. In particolare, misurando la concentrazione nel soil-gas e la concentrazione in sorgente (localizzata nel terreno o nelle acque sotterranee) sulla verticale rispetto alla sonda soil-gas è possibile stimare l'attenuazione subita dai diversi contaminanti durante il trasporto dalla sorgente (presente nel suolo o in falda) al punto di prelievo del soil-gas. Facendo riferimento allo schema illustrato nella figura seguente, tale fattore, definito β , può essere facilmente stimato nel caso di volatilizzazione da falda o da suolo utilizzando le seguenti equazioni:

Suolo

$$\beta_{suolo} \left[\frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \frac{C_{soil-gas}}{C_{suolo}}$$

Falda

$$\beta_{falda} \left[\frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \frac{C_{soil-gas}}{C_{falda}}$$

Dove:

$C_{soil-gas}$ = Concentrazione misurata nel soil-gas (mg/m³)

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

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

I valori β da utilizzare per il calcolo dei fattori di trasporto delle diverse sorgenti di contaminazione possono essere o calcolati in automatico dal software sulla base delle concentrazioni definite in sorgente e nel soil-gas o definiti dall'utente sulla base di una elaborazione statistica dei singoli fattori di attenuazione stimati per ciascuna coppia di sonda soil-gas/piezometro (nel caso della falda o facendo riferimento alle concentrazioni nel terreno nel caso del calcolo del fattore di trasporto da suolo).

Una volta stimati i fattori β sito-specifici dai dati sperimentali ottenuti dalla campagna di monitoraggio e i fattori di attenuazione α calcolati tramite i modelli sopra descritti, è quindi possibile stimare i fattori di trasporto sito-specifici per ciascun contaminante e per le diverse vie di migrazione come riportato di seguito.

Volatilizzazione outdoor

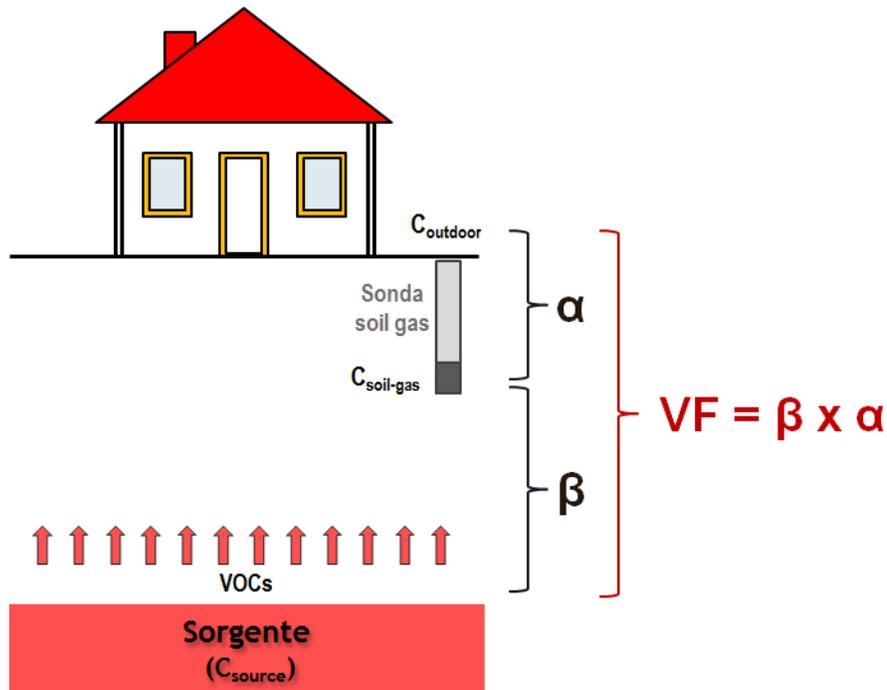
$$VF_{samb,semi-empirico} \left[\frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \beta_{suolo} \cdot \alpha_{samb}$$

$$VF_{wamb,semi-empirico} \left[\frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \beta_{falda} \cdot \alpha_{wamb}$$

Volatilizzazione indoor

$$VF_{semp,semi-empirico} \left[\frac{mg / m^3}{mg / kg} \right] = \beta_{suolo} \cdot \alpha_{semp}$$

$$VF_{wesp,semi-empirico} \left[\frac{mg / m^3}{mg / L} \right] = \beta_{falda} \cdot \alpha_{wesp}$$



Schema esemplificativo del significato dei due fattori di attenuazione.

Una volta stimati i fattori di trasporto sito-specifici, il software permette di calcolare, applicando le equazioni standard utilizzate nella procedura di analisi di rischio definita nelle linee guida ISPRA (2008), le nuove CSR per inalazione. Di seguito sono quindi descritte le equazioni da utilizzare che di fatto coincidono con quelle descritte nelle linee guida ISPRA (2008) ad eccezione del fattore di trasporto semi-empirico calcolato con le equazioni sopra descritte.

Inalazione di vapori outdoor da suolo

$$CSR_{S.InaO} = \min \left\{ \begin{array}{l} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot VF_{samb,semi-empirico} \cdot EM_{InaO}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{VF_{samb,semi-empirico} \cdot EM_{InaO}} \end{array} \right.$$

Dove:

CSR_{canc} = CSR sostanze cancerogene

$CSR_{non.canc}$ = CSR sostanze tossiche (non cancerogene)

TR = Rischio accettabile (TR = 10^{-6})

THQ = Indice di Pericolo Accettabile (THQ=1)

SF_{Ina} = Slope factor per inalazione

RfD_{Ina} = Reference dose per inalazione

EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor

$VF_{samb,semi-empirico}$ = Fattore di volatilizzazione outdoor da suolo calcolato sulla base delle misure soil-gas

Inalazione di vapori indoor da suolo

$$CSR_{S.Inal} = \min \left\{ \begin{array}{l} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot VF_{semp,semi-empirico} \cdot EM_{Inal}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{VF_{semp,semi-empirico} \cdot EM_{Inal}} \end{array} \right.$$

Dove:

CSR_{canc} = CSR sostanze cancerogene

$CSR_{non.canc}$ = CSR sostanze tossiche (non cancerogene)

TR = Rischio accettabile (TR = 10^{-6})

THQ = Indice di Pericolo Accettabile (THQ=1)

SF_{Ina} = Slope factor per inalazione

RfD_{Ina} = Reference dose per inalazione

EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor

$VF_{semp,semi-empirico}$ = Fattore di volatilizzazione indoor da suolo calcolato sulla base delle misure soil-gas

Inalazione di vapori outdoor da falda

$$CSR_{GW.InaO} = \min \left\{ \begin{array}{l} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot VF_{wamb,semi-empirico} \cdot EM_{InaO}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{VF_{wamb,semi-empirico} \cdot EM_{InaO}} \end{array} \right.$$

Dove:

CSR_{canc} = CSR sostanze cancerogene

$CSR_{non.canc}$ = CSR sostanze tossiche (non cancerogene)

TR = Rischio accettabile (TR = 10^{-6})

THQ = Indice di Pericolo Accettabile (THQ=1)

SF_{Ina} = Slope factor per inalazione

RfD_{Ina} = Reference dose per inalazione

EM_{InaO} = Fattore di inalazione outdoor

$VF_{wamb,semi-empirico}$ = Fattore di volatilizzazione outdoor da falda calcolato sulla base delle misure soil-gas

Inalazione di vapori indoor da falda

$$CSR_{GW.Inal} = \min \left\{ \begin{array}{l} CSR_{canc} = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot VF_{wesp,semi-empirico} \cdot EM_{Inal}} \\ CSR_{non.canc} = \frac{THQ \cdot RfD_{Ina}}{VF_{wesp,semi-empirico} \cdot EM_{Inal}} \end{array} \right.$$

Dove:

CSR_{canc} = CSR sostanze cancerogene

$CSR_{non.canc}$ = CSR sostanze tossiche (non cancerogene)

TR = Rischio accettabile (TR = 10^{-6})

THQ = Indice di Pericolo Accettabile (THQ=1)

SF_{Ina} = Slope factor per inalazione

RfD_{Ina} = Reference dose per inalazione

EM_{Inal} = Fattore di inalazione indoor

$VF_{wesp,semi-empirico}$ = Fattore di volatilizzazione indoor da falda calcolato sulla base delle misure soil-gas

APPENDICE 7. FATTORE DI AGGIUSTAMENTO (ADAF)

Come suggerito nel documento di supporto alla banca dati ISS-INAIL, per le sostanze cancerogene che agiscono attraverso un'azione genotossica, il software permette di definire un fattore di aggiustamento "ADAF" (Age Dependent Adjustment Factor) da applicare ai parametri tossicologici cancerogeni (SF Ing., SF Inal., IUR) in funzione dell'età del bersaglio potenzialmente esposto:

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

In particolare, seguendo quanto indicato nel documento di supporto alla banca dati ISS-INAIL, nel database di default del software sono definiti per Benzo(a)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, 1,2,3-Tricloropropano, Diclorometano, Tricloroetilene e Acrilamide un fattore ADAF per il bambino pari a 3. Per il Cloruro di Vinile, per tener conto del diverso parametro tossicologico definito dall'IRIS per Bambini e Adulti, nel database del software è stato posto un fattore ADAF per il bambino pari a 2.

Si sottolinea che tali fattori ADAF sono modificabili nella schermata della banca dati interna al software.

APPENDICE 8. 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 44. Valori Koc in funzione del pH per i contaminanti organici (1/2)

Valori del Koc (L/kg) per gli organici che sono funzione del pH					
pH	Acido Benzoico	Clorofenoli 2	Diclorofenolo 2,4	Dinitrofenolo 2,4	Pentaclorofenolo
4.9	5.5E+00	3.98E+02	1.59E+02	2.94E-02	9.05E+03
5	4.6E+00	3.98E+02	1.59E+02	2.55E-02	7.96E+03
5.1	3.9E+00	3.98E+02	1.59E+02	2.23E-02	6.93E+03
5.2	3.3E+00	3.98E+02	1.59E+02	1.98E-02	5.97E+03
5.3	2.7E+00	3.98E+02	1.59E+02	1.78E-02	5.10E+03
5.4	2.3E+00	3.98E+02	1.58E+02	1.62E-02	4.32E+03
5.5	1.9E+00	3.97E+02	1.58E+02	1.50E-02	3.65E+03
5.6	1.7E+00	3.97E+02	1.58E+02	1.40E-02	3.07E+03
5.7	1.4E+00	3.97E+02	1.58E+02	1.32E-02	2.58E+03
5.8	1.2E+00	3.97E+02	1.58E+02	1.25E-02	2.18E+03
5.9	1.1E+00	3.97E+02	1.57E+02	1.20E-02	1.84E+03
6	9.7E-01	3.96E+02	1.57E+02	1.16E-02	1.56E+03
6.1	8.8E-01	3.96E+02	1.57E+02	1.13E-02	1.33E+03
6.2	8.0E-01	3.96E+02	1.56E+02	1.10E-02	1.15E+03
6.3	7.4E-01	3.95E+02	1.55E+02	1.08E-02	9.98E+02
6.4	6.9E-01	3.94E+02	1.54E+02	1.06E-02	8.77E+02
6.5	6.5E-01	3.93E+02	1.53E+02	1.05E-02	7.81E+02
6.6	6.2E-01	3.92E+02	1.52E+02	1.04E-02	7.03E+02
6.7	6.0E-01	3.90E+02	1.50E+02	1.03E-02	6.40E+02
6.8	5.8E-01	3.88E+02	1.47E+02	1.02E-02	5.92E+02
6.9	5.6E-01	3.86E+02	1.45E+02	1.02E-02	5.52E+02
7	5.5E-01	3.83E+02	1.41E+02	1.02E-02	5.21E+02
7.1	5.4E-01	3.79E+02	1.38E+02	1.02E-02	4.96E+02
7.2	5.3E-01	3.75E+02	1.33E+02	1.01E-02	4.76E+02
7.3	5.3E-01	3.69E+02	1.28E+02	1.01E-02	4.61E+02
7.4	5.2E-01	3.62E+02	1.21E+02	1.01E-02	4.47E+02
7.5	5.2E-01	3.54E+02	1.14E+02	1.01E-02	4.37E+02
7.6	5.1E-01	3.44E+02	1.07E+02	1.01E-02	4.29E+02
7.7	5.1E-01	3.33E+02	9.84E+01	1.00E-02	4.23E+02
7.8	5.1E-01	3.19E+02	8.97E+01	1.00E-02	4.18E+02
7.9	5.1E-01	3.04E+02	8.07E+01	1.00E-02	4.14E+02
8	5.1E-01	2.86E+02	7.17E+01	1.00E-02	4.10E+02

Tabella 45. Valori Koc in funzione del pH per i contaminanti organici (2/2)

Valori del Koc (L/kg) per gli organici che sono funzione del pH				
pH	Tetraclorofenolo 2,3,4,5	Tetraclorofenolo 2,4,6	Triclorofenolo 2,4,5	Triclorofenolo 2,4,6
4.9	1.73E+04	4.45E+03	2.37E+03	1.04E+03
5	1.72E+04	4.15E+03	2.36E+03	1.03E+03
5.1	1.70E+04	3.83E+03	2.36E+03	1.02E+03
5.2	1.67E+04	3.49E+03	2.35E+03	1.01E+03
5.3	1.65E+04	3.14E+03	2.34E+03	9.99E+02
5.4	1.61E+04	2.79E+03	2.33E+03	9.82E+02
5.5	1.57E+04	2.45E+03	2.32E+03	9.62E+02
5.6	1.52E+04	2.13E+03	2.31E+03	9.38E+02
5.7	1.47E+04	1.83E+03	2.29E+03	9.10E+02
5.8	1.40E+04	1.56E+03	2.27E+03	8.77E+02
5.9	1.32E+04	1.32E+03	2.24E+03	8.39E+02
6	1.24E+04	1.11E+03	2.21E+03	7.96E+02
6.1	1.15E+04	9.27E+02	2.17E+03	7.48E+02
6.2	1.05E+04	7.75E+02	2.12E+03	6.97E+02
6.3	9.51E+03	6.47E+02	2.06E+03	6.44E+02
6.4	8.48E+03	5.42E+02	1.99E+03	5.89E+02
6.5	7.47E+03	4.55E+02	1.91E+03	5.33E+02
6.6	6.49E+03	3.84E+02	1.82E+03	4.80E+02
6.7	5.58E+03	3.27E+02	1.71E+03	4.29E+02
6.8	4.74E+03	2.80E+02	1.60E+03	3.81E+02
6.9	3.99E+03	2.42E+02	1.47E+03	3.38E+02
7	3.33E+03	2.13E+02	1.34E+03	3.00E+02
7.1	2.76E+03	1.88E+02	1.21E+03	2.67E+02
7.2	2.28E+03	1.69E+02	1.07E+03	2.39E+02
7.3	1.87E+03	1.53E+02	9.43E+02	2.15E+02
7.4	1.53E+03	1.41E+02	8.19E+02	1.95E+02
7.5	1.25E+03	1.31E+02	7.03E+02	1.78E+02
7.6	1.02E+03	1.23E+02	5.99E+02	1.64E+02
7.7	8.31E+02	1.17E+02	5.07E+02	1.53E+02
7.8	6.79E+02	1.13E+02	4.26E+02	1.44E+02
7.9	5.56E+02	1.08E+02	3.57E+02	1.37E+02
8	4.58E+02	1.05E+02	2.98E+02	1.31E+02

Tabella 46. 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 8. Koc e Kd in funzione del pH

Tabella 47. 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