



ROME
REASONABLE MAXIMUM EXPOSURE

Versione 2.1

MANUALE OPERATIVO

Dicembre 2002

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	4
1.1 CAMPO DI APPLICAZIONE DEL SOFTWARE.....	4
1.2 IL PROCESSO DECISIONALE	4
1.2.1 <i>Confronto tabellare</i>	4
1.2.2 <i>Analisi di rischio (Livello 2)</i>	5
1.3 CARATTERISTICHE FONDAMENTALI DEL SOFTWARE ROME.....	5
1.4 AGGIORNAMENTI INTRODOTTI NELLA VERSIONE 2.1	5
2. MANUALE DI UTILIZZO DI ROME VER. 2.1	7
2.1 INSTALLAZIONE ED ESECUZIONE DEL PROGRAMMA	7
2.2 MENU PRINCIPALE	7
2.3 INSERIMENTO CONTAMINANTI	9
2.4 CONFRONTO TABELLARE	11
2.4.1 <i>Confronto con i limiti del D.M. 471/99</i>	11
2.4.2 <i>Confronto con i LAG</i>	12
2.5 ANALISI DI RISCHIO DI LIVELLO 2	14
2.5.1 <i>Modello concettuale del sito</i>	14
2.5.2 <i>Parametri di input (riepilogo parametri)</i>	17
2.5.3 <i>Risultati: stima del rischio e dei LAS</i>	19
2.5.3.1 Rischi per l'uomo	19
2.5.3.1.1 <i>Sostanze cancerogene</i>	20
2.5.3.1.2 <i>Sostanze non cancerogene</i>	21
2.5.3.2 Rischi per le risorse idriche.....	22
2.5.3.2.1 <i>Risorsa idrica sotterranea</i>	22
2.5.3.2.2 <i>Risorsa idrica superficiale</i>	23
2.5.3.3 Obiettivi della bonifica (LAS)	24
2.5.3.3.1 <i>Calcolo dei LAS per le singole sostanze</i>	24
2.5.3.3.2 <i>Calcolo dei LAS considerando l'additività</i>	25
2.5.3.3.3 <i>Raccomandazioni sull'uso pratico dei LAS</i>	26
2.5.4 <i>Grafici dei percorsi di esposizione</i>	27
2.6 STAMPA DEI DATI	28
2.7 USCITA DAL PROGRAMMA	28
2.8 TABELLE.....	29
<i>Legenda</i>	45
2.9 BIBLIOGRAFIA	46
ALLEGATO 1: METODOLOGIA PER LA DEFINIZIONE DEI LAG	49
AL1.1 INTRODUZIONE.....	49
AL1.2 DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE GENERICO	49
AL1.3 PARAMETRIZZAZIONE DEL MODELLO	50
AL1.3.1 <i>Assunzioni relative al sito</i>	50
AL1.3.2 <i>Assunzioni relative all'esposizione umana</i>	50
AL1.3.3 <i>Parametri chimico-fisici delle sostanze chimiche</i>	50
AL1.3.4 <i>Parametri tossicologici delle sostanze chimiche</i>	50
AL1.4 CALCOLO DEI LAG	50
ALLEGATO 2: METODOLOGIA PER LA DEFINIZIONE DEI LAS	52
AL2.1 RICOSTRUZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE SPECIFICO DEL SITO	52
AL2.1.1 <i>Sostanze chimiche da valutare</i>	52
AL2.1.2 <i>Matrici ambientali</i>	53
AL2.1.3 <i>Recettori della contaminazione</i>	53
AL2.1.4 <i>Percorsi di esposizione potenzialmente attivi</i>	54
AL2.2 INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO CONCETTUALE	56
AL2.3 CALCOLO DEL RISCHIO E DEI LAS.....	57
AL2.3.1 <i>Confronto con altri criteri rilevanti</i>	58
AL2.3 SCELTA DEGLI INTERVENTI CORRETTIVI DEI RISCHI INDIVIDUATI	58
APPENDICE 1: FORMULE PER IL CALCOLO DEI LAG	59
AP1.1 CALCOLO DEI LAG PER I RECETTORI UMANI	59

<i>AP1.1.1 MDI da ingestione di suolo</i>	60
<i>AP1.1.2 MDI da contatto dermico con suolo</i>	60
<i>AP1.1.3 MDI da inalazione indoor di polvere proveniente dal suolo</i>	61
<i>AP1.1.4 MDI da inalazione outdoor di polvere proveniente dal suolo</i>	61
<i>AP1.1.5 MDI da inalazione indoor di vapori dal suolo</i>	62
<i>AP1.1.6 MDI da inalazione outdoor di vapori dal suolo</i>	63
AP1.2 CALCOLO DEI LAG PER IL RECETTORE FALDA	64
AP1.3 CONFRONTO DEI LAG CON IL LIMITE DI SATURAZIONE DEL SUOLO	65
AP1.4 TRASFORMAZIONE DEI LAG DA “TAL QUALE” A “S.S.” (SOSTANZA SECCA).....	65
APPENDICE 2: FORMULE PER IL CALCOLO DEI LAS	67
AP2.1 CALCOLO DEI LAS PER I RECETTORI UMANI.....	67
<i>AP2.1.1 MDI da inalazione indoor di vapori provenienti dalle acque sotterranee</i>	67
<i>AP2.1.2 MDI da inalazione outdoor di vapori provenienti dalle acque sotterranee</i>	68
<i>AP2.1.3 MDI da inalazione indoor di vapori provenienti dal prodotto libero LNAPL</i>	69
<i>AP2.1.4 MDI da inalazione outdoor di vapori provenienti dal prodotto libero LNAPL</i>	70
AP2.2 CALCOLO DEI LAS PER IL RECETTORE FALDA	71
<i>AP2.2.1 Calcolo della concentrazione “D.M. 471 surrogato”</i>	71
<i>AP2.2.2 Dilavamento del suolo e migrazione verso il punto di conformità</i>	71
<i>AP2.2.3 Migrazione della contaminazione in falda verso il punto di conformità</i>	72
<i>AP2.2.4 Migrazione della fase di prodotto dissolta in falda verso il punto di conformità</i>	73
AP2.3 CALCOLO DEI LAS PER IL RECETTORE ACQUE SUPERFICIALI.....	74
<i>AP2.3.1 Dilavamento del suolo e migrazione verso il punto di conformità</i>	74
<i>AP2.3.2 Migrazione della contaminazione della falda verso la risorsa idrica superficiale</i>	74
<i>AP2.3.3 Migrazione della fase di prodotto dissolta in falda verso la risorsa idrica superficiale</i>	74

Il software ROME Ver. 2.1 è stato realizzato da Environ Italy srl su incarico dell'ANPA. Il progetto è stato condotto dal Dott. Fabio Colombo per Environ Italy srl e dalla Dott.ssa Francesca Quercia per ANPA.

1. INTRODUZIONE

1.1 Campo di applicazione del software

Il software ROME Ver. 2.1, con l'ausilio del presente manuale, è uno strumento per l'analisi di rischio e la valutazione degli obiettivi di bonifica dei siti contaminati. Il software fornisce anche elementi per la gestione del rischio e per la scelta delle soluzioni di risanamento.

La metodologia implementata nel software è conforme a quanto disciplinato dalla normativa in vigore (D.M. 471/99) ed applica i principi e i metodi adottati a livello internazionale ed in particolare dalla procedura RBCA (Risk Based Corrective Actions) standardizzata dall'ASTM nel 1995 e nel 1998. Gli stessi principi e metodi sono anche enunciati nel Manuale Unichim n. 196/1 pubblicato nel 2002.

Il primo step della metodologia prevede un confronto tabellare della contaminazione osservata nel sito con le concentrazioni limite (CL) dell'All. 1 al D.M. 471/99 ed anche il confronto tabellare con valori di screening risk-based per il suolo derivati da un progetto condotto dall'ANPA che applica il Livello 1 della procedura RBCA dell'ASTM. Mentre l'analisi comparativa con le CL di cui all'All. 1 del D.M. 471/99 ha valore legale, l'opzione del confronto tabellare con i valori di screening risk-based ha valenza comparativa, soprattutto nei riguardi degli approcci più frequentemente adottati a livello internazionale.

Il secondo step prevede la stima dei rischi sito-specifici e degli obiettivi di bonifica, in termini di contaminazione residuale accettabile, applicando il Livello 2 della procedura, conforme al Livello 1.

La metodologia di analisi di rischio predisposta valuta i rischi sanitari ed i rischi per le risorse idriche dovuti allo stato di contaminazione del sito. I rischi per le risorse idriche, per le sostanze normate, vengono valutati stimando la conformità con gli standard di qualità in vigore.

Il manuale contiene nel testo principale la procedura operativa di utilizzo del software e negli allegati ed appendici i riferimenti metodologici ed i dettagli delle procedure di calcolo. Per alcuni suggerimenti specifici, il testo rimanda al Manuale Unichim sopra citato.

1.2 Il processo decisionale

Il processo decisionale per la valutazione di siti contaminati predisposto dall'ANPA, di cui ROME è la versione informatizzata, è conforme al D.M.471/99 e consta di due parti:

- il confronto tabellare comprensivo di analisi di rischio di Livello 1;
- l'analisi di rischio di Livello 2, "sito-specifica".

Le due parti del processo decisionale sono descritte di seguito.

1.2.1 Confronto tabellare

La prima parte della procedura di valutazione di un sito contaminato viene completata confrontando le concentrazioni ritrovate nel sito con le concentrazioni limite CL del D.M. 471/99.

Nel software ROME, per la sola qualità del suolo, è possibile effettuare il confronto anche con i LAG - Limiti di Accettabilità Generici. I LAG sono limiti di accettabilità calcolati applicando la metodologia di analisi di rischio di Livello 1 che prevede la formulazione di un Modello Concettuale Generico (MCG) che considera scenari di esposizione molto conservativi che determinano il peggiore scenario di rischio ragionevolmente possibile ("Reasonable Worst Case"). Così formulati, i LAG sono del tutto analoghi ai "Risk-Based Screening Levels" (RBSLs) della metodologia RBCA dell'ASTM o ai "Soil Screening Levels" (SSLs) dell'USEPA.

Il MCG e le equazioni di calcolo dei LAG sono riportati in **Allegato 1** e in **Appendice 1** rispettivamente. Conformemente alle altre procedure internazionali, le equazioni di calcolo utilizzate per derivare i LAG non vengono modificate quando si passa all'analisi di rischio di Livello 2 "sito-specifica". Al termine del confronto, qualora le concentrazioni del sito risultino inferiori alle CL sia per il suolo che per la falda, in conformità al D.M. 471/99, il sito è classificato "non contaminato" e viene archiviato senza ulteriori approfondimenti. Qualora invece nel sito siano stati ritrovati uno o più contaminanti con concentrazioni eccedenti le CL si aprono due possibili alternative:

- bonificare il sito per riportarlo all'interno delle concentrazioni limite CL;
- effettuare un'analisi di rischio di Livello 2.

Mentre nelle metodologie internazionali la scelta tra queste due possibili alternative è a discrezione dell'utente e può essere valutata caso per caso sulla base di considerazioni relative ai costi ed ai benefici, in Italia, in accordo a quanto stabilito dal D.M. 471/99, la seconda alternativa è percorribile unicamente qualora la bonifica non possa riportare le concentrazioni del sito all'interno delle CL *"nonostante l'applicazione, se-*

condo i principi della normativa comunitaria, delle migliori tecnologie disponibili a costi sopportabili". La bonifica condotta in base a quest'ultima alternativa deve inoltre contemplare delle misure di sicurezza.

1.2.2 Analisi di rischio (Livello 2)

L'analisi di rischio di Livello 2 ha lo scopo di calcolare i rischi sito-specifici associati allo stato di contaminazione osservato nel sito e le concentrazioni dei contaminanti, dette "residuali", che possono permanere nel sito in alternativa alle CL. Secondo la terminologia utilizzata in questo documento, queste concentrazioni residuali sono definite Limiti di Accettabilità Specifici (LAS) del sito ed hanno lo stesso significato dei "Site Specific Target Levels" (SSTLs) della procedura RBCA-ASTM.

La metodologia di analisi di rischio di ROME è conforme alle procedure internazionali di analisi di rischio dei siti contaminati presentate nei seguenti documenti:

- "Risk Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites", American Society for Testing and Materials, E1739-95, 1995;
- "Soil Screening Guidance: Technical Background Document", U.S. Environmental Protection Agency, 1996;
- "European Oil Industry Guideline for Risk-Based Assessment of Contaminated Sites", CONCAWE, 1997;
- "Standard Provisional Guide for Risk-Based Corrective Action", American Society for Testing and Materials, PS104-98, 1998.
- CARACAS, "Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe, Scientific Basis", Vol. 1, LQM Press, 1999.

Le operazioni fondamentali per condurre l'analisi di rischio sono quattro:

- ricostruzione del Modello Concettuale Specifico (MCS) del sito;
- definizione dei parametri dell'MCS;
- stima/caratterizzazione del rischio e calcolo dei LAS;
- scelta degli interventi correttivi dei rischi individuati.

Queste valutazioni sono oggetto di una trattazione dettagliata in [Allegato 2](#). Le formule per la modellazione delle esposizioni proprie del Livello 2 sono riportate in [Appendice 2](#).

1.3 Caratteristiche fondamentali del software ROME

Alla luce degli aspetti metodologici descritti, le caratteristiche peculiari del software ROME possono essere riassunte come segue:

- ROME è uno strumento di analisi e supporto alle decisioni per i siti contaminati conforme alla normativa in vigore;
- la procedura consta di due parti: un confronto tabellare ed un'analisi di rischio sito-specifica;
- il confronto tabellare è previsto tra le concentrazioni del sito e le CL del D.M. 471/99; inoltre è possibile effettuare il confronto con i LAG, valori di screening "risk-based" calcolati in base alle assunzioni generico/conservative di default: questo confronto corrisponde ad un'analisi di rischio di Livello 1;
- l'analisi di rischio di Livello 2 viene condotta con dati sito specifici: il risultato è la stima, in termini quantitativi e qualitativi, dei rischi associati allo stato di contaminazione del sito. Nel Livello 2 ROME calcola i LAS, obiettivi di bonifica "sito specifici", tenendo conto delle caratteristiche del sito, dei recettori e delle sostanze analizzate. In assenza di dati sito specifici, ROME prevede l'adozione delle assunzioni di default;
- nella definizione degli obiettivi di bonifica, il software permette l'introduzione degli effetti additivi per il recettore uomo, sia per le sostanze cancerogene che per quelle non cancerogene presenti nel suolo e nella falda; il calcolo degli effetti additivi viene effettuato tramite una procedura applicata a livello internazionale (F.D.E.P., 1999).

1.4 Aggiornamenti introdotti nella versione 2.1

L'aggiornamento del software ROME vuole rendere più completa la valutazione dei rischi associati ai siti contaminati e l'individuazione degli obiettivi di bonifica, includendo le risorse idriche superficiali come possibile recettore della contaminazione.

ROME Ver. 2.1 presenta un numero sostanziale di aggiornamenti rispetto alla versione 1.0 pubblicata nel 1999. Gli aggiornamenti, descritti di seguito e riassunti nella tabella, riflettono sia un adempimento più com-

pleto ai requisiti della normativa vigente che esigenze ed osservazioni fatte pervenire all'ANPA da diversi utenti.

- Confronto con i limiti tabellari. L'utente può effettuare il confronto delle concentrazioni osservate sia con le CL del DM 471/99, non presenti nella versione precedente, che con i LAG. Il software evidenzia le concentrazioni eccedenti, in entrambi i casi.
- Analisi di rischio di Livello 2. ROME Ver. 2.1 effettua l'analisi di rischio di Livello 2 per tutte le sostanze di input ritrovate nel sito, indipendentemente dai risultati del confronto con i limiti tabellari.
- Risorse idriche superficiali. ROME Ver. 2.1 valuta i rischi determinati dal dilavamento del suolo e dalla migrazione in falda dei contaminanti verso i corpi idrici superficiali.
- Additività degli effetti delle sostanze. Con ROME Ver. 2.1 è possibile calcolare gli obiettivi della bonifica LAS tenendo conto degli effetti additivi delle sostanze cancerogene ed anche di quelli delle sostanze non cancerogene, considerando, per queste ultime, 16 organi bersaglio.
- Aiuto in linea. L'utente, nell'utilizzo di ROME Ver. 2.1, è anche supportato da un commento "in linea": passando con il cursore del mouse sopra le icone viene visualizzata una scritta (definita tecnicamente "tooltip") che fornisce informazioni aggiuntive.
- Miglioramento della grafica e della funzionalità. Il software è stato completamente rivisto in ogni sua parte al fine di semplificarne l'utilizzo e la comprensione da parte dell'utente.
- Versione inglese. La versione in lingua inglese consentirà la diffusione di ROME ver.2.1 all'estero ed un più facile confronto con analoghi strumenti di calcolo disponibili a livello internazionale.

	Versione 2.1	Versione 1.0
Interfaccia	Il menù principale è una schermata con barra degli strumenti con comandi a tendina.	Il menù principale è una schermata che visualizza tutti i comandi.
	Il modello concettuale del sito è uno schema a blocchi che viene costruito dall'utente collegando le sorgenti di contaminazione ai recettori, attraverso i percorsi di esposizione potenzialmente attivi.	Il modello concettuale del sito è una schermata nella quale si possono selezionare percorsi.
	Selezionando ciascun percorso di esposizione attivato si ha accesso diretto alla formula ed è possibile modificare i parametri di input.	Per visualizzare la formula e il modello di ciascun percorso è necessario aprire tutti i percorsi selezionati in una sequenza prestabilita.
	Le tabelle di riepilogo dei parametri di input utilizzati per l'analisi di rischio sono interattive.	Le tabelle di riepilogo dei parametri di input utilizzati per l'analisi di rischio non sono interattive.
Valutazione dei dati	La prima fase della valutazione può essere effettuata mediante il confronto delle concentrazioni con i limiti tabellari del D.M. 471/99 e con i LAG ottenuti dall'analisi di rischio di Livello 1.	La prima fase della valutazione può essere effettuata mediante un'analisi di rischio di Livello 1, con confronto delle concentrazioni con i LAG.
	Le concentrazioni dei contaminanti nel suolo calcolate dal software, sia per LAG che per LAS, sono sempre riferite al 'suolo secco'.	Le concentrazioni dei contaminanti nel suolo calcolate dal software sono riferite al 'tal quale'.
	Il software evidenzia le sostanze le cui concentrazioni superano i limiti (D.M. 471/99 o LAG) che l'utente ha selezionato, ma tutte le sostanze possono essere considerate per l'analisi di rischio di Livello 2.	Solo le sostanze che eccedono i LAG possono essere considerate nell'analisi di rischio di Livello 2.
	Per l'analisi di rischio di Livello 2 vengono presi in considerazione i seguenti recettori: gli esseri umani (lavoratori e/o residenti, bambini e adulti), le risorse idriche sotterranee e quelle superficiali.	Per l'analisi di rischio di Livello 2 vengono presi in considerazione i seguenti recettori: gli esseri umani (lavoratori e/o residenti, bambini e adulti) e le risorse idriche sotterranee.
	Per il calcolo dei LAS, in riferimento all'additività degli effetti sono stati considerati 16 organi bersaglio (oltre l'effetto cancerogeno) ed è stata utilizzata una procedura riconosciuta a livello internazionale.	Per il calcolo dei LAS, in riferimento all'additività degli effetti sono stati considerati 7 organi bersaglio (oltre l'effetto cancerogeno).
Grafica	La rappresentazione grafica del peso relativo dei percorsi di esposizione può essere effettuata per il suolo (superficiale e profondo) e le acque sotterranee.	La rappresentazione grafica del peso relativo dei percorsi di esposizione può essere effettuata per i rischi dal suolo per i recettori umani.

2. MANUALE DI UTILIZZO DI ROME Ver. 2.1

2.1 Installazione ed esecuzione del programma

L'installazione di ROME può essere effettuata su ogni PC che abbia le seguenti caratteristiche minime:

- processore 486 o superiore;
- 8 MB di RAM;
- 20 MB di spazio disponibile su disco;
- Microsoft Windows 3x, NT, 2000;
- lettore CD o collegamento Internet (per installare il programma).

La procedura di installazione è la seguente:

- chiudere tutte le applicazioni in corso;
- inserire il CD di installazione oppure copiare in una singola directory tutti i file di installazione scaricati dal sito Internet dell'ANPA;
- eseguire il programma "Setup.exe";
- seguire passo per passo le istruzioni che compaiono a video.

Nella directory prescelta, al termine dell'installazione si troveranno il file eseguibile "Rome.exe" e la cartella "Database" contenente i seguenti due file:

- "Rome.mdb": file di formato ACCESS di Microsoft contenente tutti i parametri di default ed il database completo delle sostanze chimiche;
- "Language.mdb": file di formato ACCESS di Microsoft contenente le parole ed i testi in lingua italiana ed in lingua inglese.

Questi file sono indispensabili all'esecuzione corretta di ROME e non devono quindi essere modificati o cancellati.

Il programma ROME si avvia selezionando l'icona omonima che, per default, si trova nella cartella "Programmi", sottocartella "Rome".

Tutti i file contenenti progetti di ROME possono essere aperti direttamente in ambiente ACCESS (file ".mdb"), con il vantaggio di poterli gestire e/o modificare utilizzando le specifiche funzioni di ACCESS e di potere esportare le informazioni in altri programmi, sia della famiglia di Microsoft Office che altri.

2.2 Menu principale

Una volta avviato ROME, dopo il logo del programma, comparirà la schermata principale di ROME (**Figura 1**). Tale schermata si presenta costituita da due barre distinte orizzontali: la prima con delle scritte che attivano dei menu a tendina, la seconda con delle icone. La prima barra riporta gli strumenti "Progetto", "Funzioni" e "?": si tratta di menu a tendina che in pratica raggruppano tutte le icone della seconda barra.

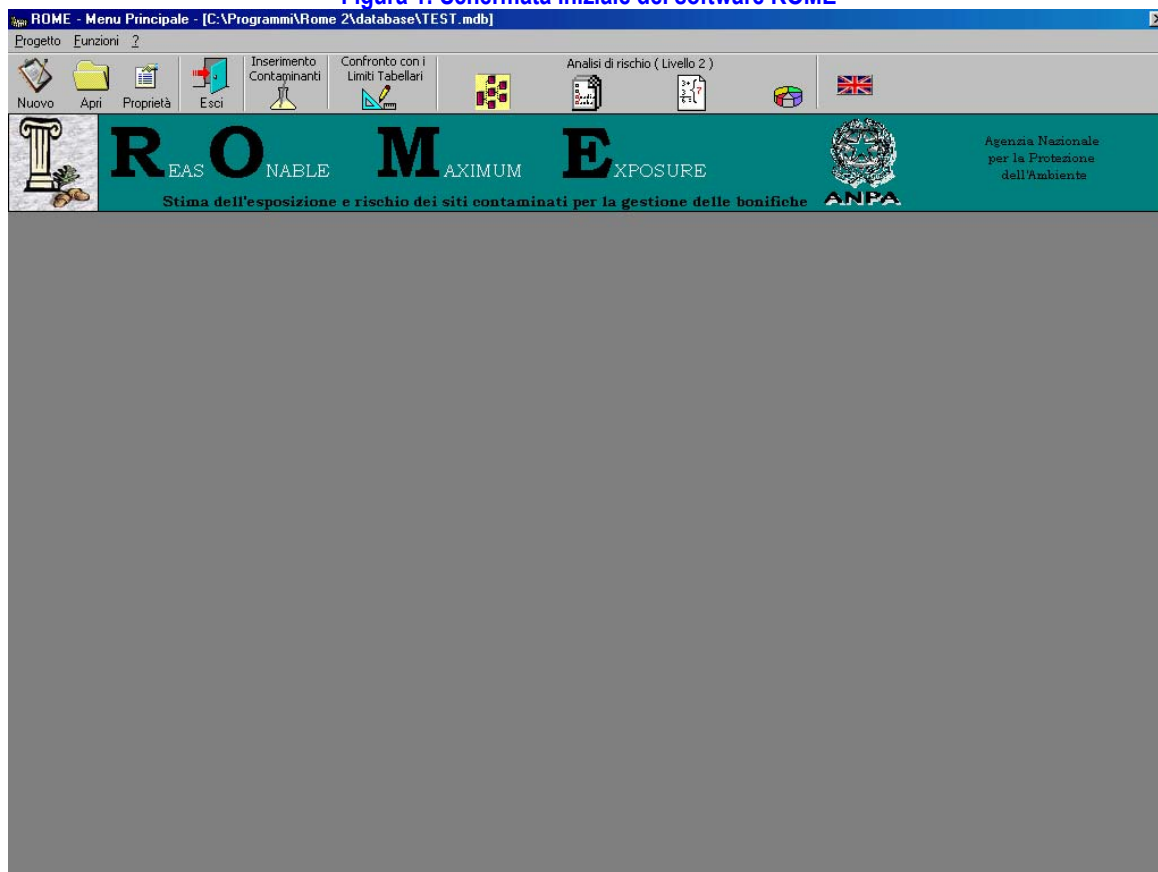
La seconda barra ("barra principale") al momento dell'apertura del software ha visibili solo le tre funzioni relative al "progetto", ossia: "Nuovo", "Apri" ed "Esci". La quarta icona, "Proprietà", al momento dell'apertura del software non è attiva e verrà visualizzata in seguito con le altre icone relative alle "funzioni". Inoltre, sul lato destro di questa barra, compare la bandiera inglese, ossia della lingua alternativa a quella in uso, modificabile in qualsiasi istante mediante l'utilizzo del mouse.

Una volta avviato il programma, è necessario che l'utente apra un progetto (file ".mdb"). Tale file/progetto può essere:

- un progetto esistente che verrà attivato selezionando l'icona "Apri"; (la stessa operazione può essere effettuata selezionando nella prima barra la funzione "Progetto" e quindi la voce "Apri" nel successivo menu a tendina);
- un progetto nuovo che verrà attivato selezionando l'icona "Nuovo"; (la stessa operazione può essere effettuata selezionando nella prima barra la funzione "Progetto" e quindi la voce "Nuovo" nel menu a tendina).

Nel seguito di questo manuale, per semplicità, si supporrà che nell'uso di ROME l'utente si avvalga solo delle icone della barra principale. Va tenuto comunque presente che, come sopra illustrato, le stesse operazioni possono essere effettuate con i menu a tendina attivabili dalla prima barra della schermata principale.

Figura 1: Schermata iniziale del software ROME



Prima di passare a descrivere le schermate successive del programma, si precisa sin da ora che, in ogni momento, l'utente può decidere di chiudere il programma dal "Menù principale" selezionando l'icona "Esci" presente nella barra principale.

All'apertura di un nuovo progetto, viene attivata una finestra "ROME – Crea un progetto nuovo" nella quale inserire il nome del file che verrà salvato come file ".mdb" nella cartella prescelta dall'utente o nella sotto-cartella di default "Database". A questa prima finestra, farà seguito la seconda, "Proprietà del progetto", nella quale inserire le specifiche del progetto, ossia (Figura 2):

Figura 2: Proprietà del progetto

- il nome del sito;
- la sua ubicazione;
- il nome dell'operatore;
- la data in cui viene effettuata l'analisi del sito.

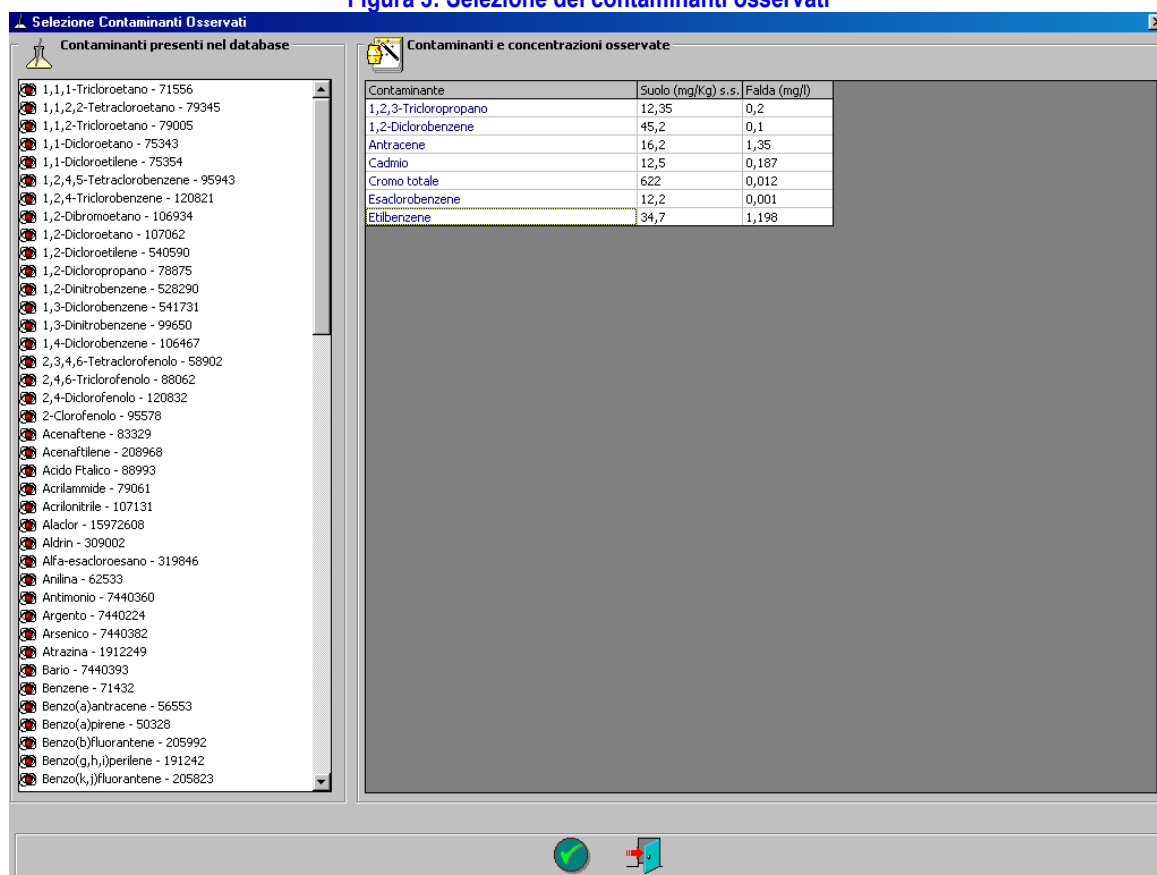
Nell'ultima riga compare il nome del file e la cartella in cui è contenuto.

Una volta inseriti i dati, è possibile uscire dalla schermata salvando (🟢) oppure no (🚪) le informazioni inserite. Queste icone, con lo stesso significato di, rispettivamente, “Salva le modifiche ed esci” ed “Esci senza salvare le modifiche”, verranno utilizzate in tutte le successive schermate del software.

2.3 Inserimento contaminanti

Uscendo dalla schermata “Proprietà del progetto”, nella barra principale del Menu comparirà l'icona “Inserimento contaminanti”. Questa icona permette di accedere alla schermata “Selezione contaminanti osservati” (Figura 3).

Figura 3: Selezione dei contaminanti osservati



In questa schermata l'utente può inserire le concentrazioni ritrovate nel sito, ossia nelle matrici ambientali suolo (mg/kg) e falda (mg/l), per un numero di contaminati (118¹), che compaiono nella tabella in ordine rigorosamente alfabetico.

Selezionando un qualsiasi contaminante presente nella lista con il tasto destro del mouse, questo verrà automaticamente spostato nella finestra “Contaminanti e concentrazioni osservate”, situata nel lato destro dello schermo. Per rimuovere un contaminante selezionato, riportandolo sul lato sinistro dello schermo, basterà invece cliccare due volte sul contaminante stesso nella finestra “Contaminanti e concentrazioni osservate”.

Nella parte destra della tabella, nella finestra “Contaminanti e concentrazioni osservate”, oltre alla prima colonna nella quale vengono riportati i contaminanti selezionati, sono presenti due altre colonne per l'inserimento dei dati:

¹ I contaminanti presenti nel database corrispondono a quelli del D.M. 471/99, per i quali è possibile effettuare l'analisi di rischio, disponendo dei parametri chimico-fisici e tossicologici, integrati con i contaminanti presenti in ROME ver 1.0. Apprendo con Access di Microsoft il file “Rome.mdb” è possibile aggiungere al database tutti i contaminanti dei quali si disponga dei parametri chimico-fisici e di quelli tossicologici necessari per la stima e caratterizzazione del rischio.

- la prima viene utilizzata per inserire le concentrazioni (mg/kg) sulla “sostanza secca” (s.s.) per ogni contaminante ritrovato nel suolo;
- la seconda viene utilizzata per inserire per ogni contaminante la concentrazione (mg/l) ritrovata in falda.

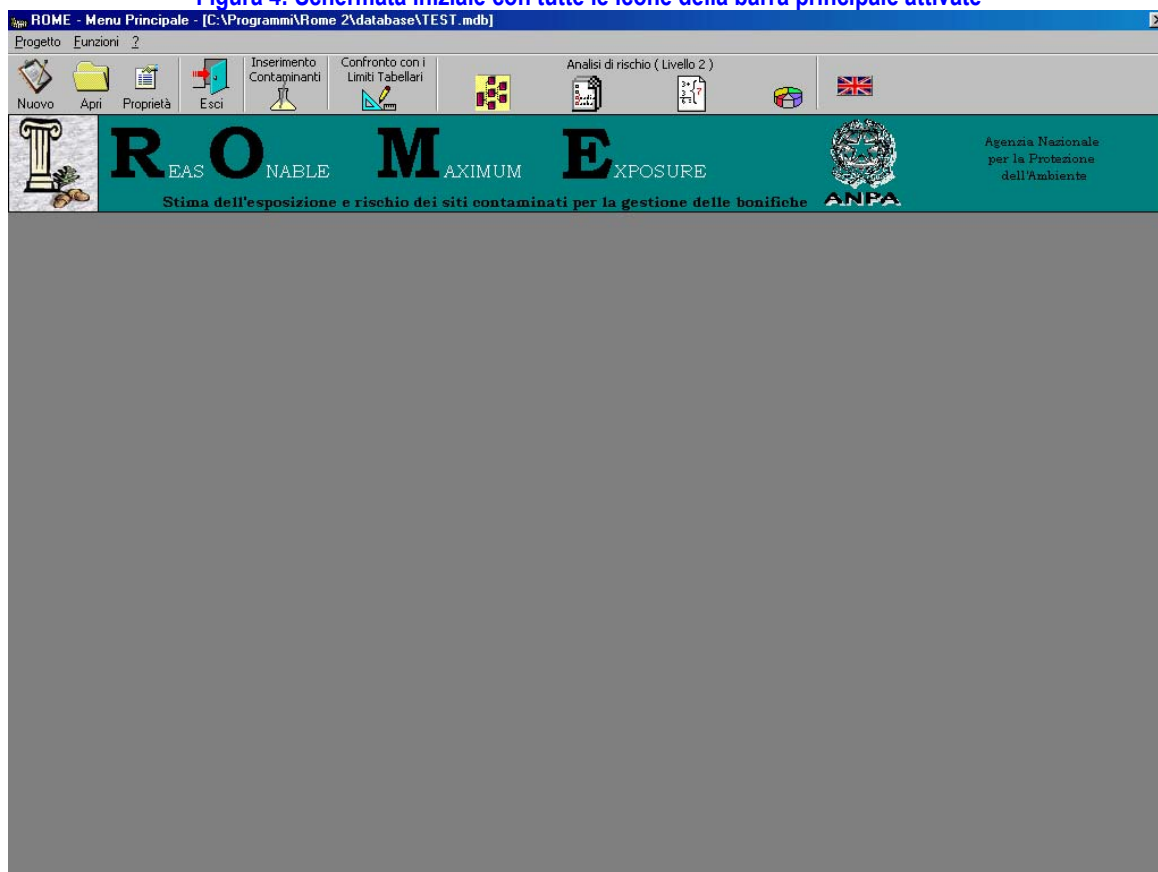
In **Figura 3** è riportato, a titolo di esempio, un sito nel quale sono stati ritrovati 7 contaminanti: 1,2,3-Tricloropropano, 1,2-Diclorobenzene, Antracene, Cadmio, Cromo totale, Esaclorobenzene e Etilbenzene.

Si ricorda che per uscire dalla schermata sono disponibili in basso le due icone: quella a sinistra serve per uscire salvando i dati e quella a destra per abbandonare le modifiche apportate.

Una volta inseriti i contaminanti, nella barra principale del Menu, si renderanno attive altre icone (**Figura 4**) che permetteranno di accedere alle seguenti “funzioni”:

- Confronto con i limiti tabellari;
- Analisi di rischio (Livello 2):
 - Modello concettuale;
 - Parametri di input;
 - Risultati e LAS;
 - Grafici dei percorsi di esposizione.

Figura 4: Schermata iniziale con tutte le icone della barra principale attivate



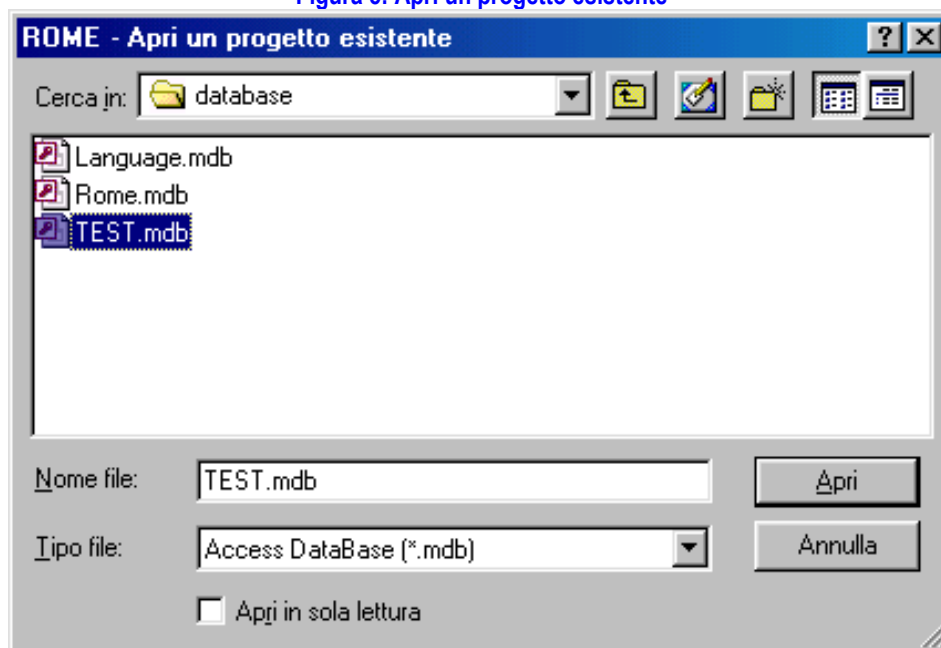
Nel caso in cui l'utente abbia aperto un file precedentemente creato, cliccando sull'icona “Apri” all'inizio del programma e selezionando il file esistente dalla schermata di **Figura 5**, si troverà con tutte le voci del Menu già attivate, come in **Figura 4**. In questo caso l'utente potrà accedere direttamente a qualunque sezione del Menu, visualizzando/modificando le parti di interesse.

Con l'attivazione di tutte le icone della barra principale, l'utente può effettuare in modo completo la valutazione di un sito contaminato ed in particolare:

- il confronto tabellare tra le concentrazioni ritrovate in sito e quelle del D.M. 471/99, con la possibilità di visualizzare anche i LAG definiti per la matrice ambientale “suolo”;
- l'analisi di rischio di Livello 2, calcolando il rischio determinato dalla contaminazione osservata ed i limiti di accettabilità sito-specifici della contaminazione residua (LAS).

Per gli approfondimenti sul processo decisionale, sulla derivazione dei LAG e sull'effettuazione dell'analisi di rischio, si rimanda agli allegati tecnici.

Figura 5: Apri un progetto esistente



Un'informazione importante per l'utente è che in ROME ver.2.1 il confronto tabellare e l'analisi di rischio sono indipendenti tra loro. Ciò significa, ad esempio, che è possibile effettuare l'analisi di rischio anche per le sostanze ritrovate in concentrazioni inferiori a quelle del D.M. 471/99 oppure accedere direttamente all'analisi di rischio senza dover preliminarmente effettuare il confronto tabellare.

Di seguito verranno illustrate separatamente le operazioni da effettuarsi per completare la valutazione di un sito contaminato.

2.4 Confronto tabellare

In genere per effettuare il confronto tabellare in presenza di un numero esiguo di dati, si utilizza per ogni contaminante la massima concentrazione ritrovata in sito. Sono possibili altre scelte, per esempio l'UCL 95% della media aritmetica delle concentrazioni del suolo, e per approfondimenti circa la stima della concentrazione rappresentativa, si rimanda al Manuale Unichim 196/1.

Selezionando l'icona "Confronto con i limiti tabellari", l'utente può scegliere tra due confronti tabellari:

- il confronto delle concentrazioni ritrovate con le CL del D.M. 471/99;
- il confronto delle concentrazioni ritrovate con i LAG, limiti di accettabilità generici "risk-based".

2.4.1 Confronto con i limiti del D.M. 471/99

L'icona "Confronto con i limiti tabellari" ha come prima opzione il confronto con il D.M. 471/99. Selezionando questa opzione, il software attiva la schermata di **Figura 6**, composta dalle seguenti sei colonne:





- descrizione (nome del contaminante);
- concentrazione ritrovata nel suolo (mg/kg sulla sostanza secca) ed inserita nella schermata "Inserimento contaminanti";
- concentrazione limite (CL) del D.M. 471/99 per il suolo ad uso residenziale/ricreativo (mg/kg sulla sostanza secca);
- CL del D.M. 471/99 per il suolo ad uso industriale/commerciale (mg/kg sulla sostanza secca);
- concentrazione ritrovata in falda (mg/l) ed inserita nella schermata "Inserimento contaminanti";
- CL del D.M. 471/99 per la falda (mg/l).

Per i composti presenti nel database di ROME ver. 2.1 ma non inclusi nel D.M. 471/99, in questa schermata non viene effettuato nessun confronto (le celle relative alle CL rimangono vuote). La legenda posta in basso a sinistra fornisce la chiave di lettura delle colorazioni utilizzate nella tabella per evidenziare le concentrazio-

ni eccedenti. Ad esempio, il superamento della CL per il suolo ad uso residenziale è segnalato in colore arancione.

Figura 6: Visualizzazione della schermata del confronto con i limiti del D.M. 471/99

Confronto con i limiti tabellari					
Descrizione	Matrice Suolo			Matrice Falda	
	Ritrovato (mg/kg) s.s.	DM 471 (RES) (mg/kg) s.s.	DM 471 (IND) (mg/kg) s.s.	Ritrovato (mg/l)	DM 471 (Falda) (mg/l)
1,2,3-Tricloropropano	12,35	0,1	1	0,2	0,000001
1,2-Diclorobenzene	45,2	1	50	0,1	0,27
Antracene	16,2			1,35	
Cadmio	12,5	2	15	0,187	0,005
Cromo totale	622	150	800	0,012	0,05
Esadorobenzene	12,2	0,05	5	0,001	0,00001
Etilbenzene	34,7	0,5	50	1,198	0,05

	= Superamento del limite RES del livello 1	Limiti per il suolo : RES : comprende l'uso residenziale, ricreativo IND : comprende l'uso industriale e commerciale
	= Superamento dei limiti IND del livello 1	
	= Superamento dei limiti RES e IND del livello 1	
	= Superamento del limite DM471 Falda	

Al termine di questo confronto tabellare, ai sensi del D.M. 471/99, la valutazione della contaminazione del sito è conclusa se nessun contaminante supera le CL relative alla destinazione d'uso prevista (e quindi nessun valore delle colonne "Ritrovato", sia per il suolo che per la falda, viene evidenziato in colore).

2.4.2 Confronto con i LAG

L'icona "Confronto con i limiti tabellari", come seconda opzione consente il confronto con i LAG. Questo confronto corrisponde ad una analisi di rischio di Livello 1. Selezionando questa opzione si attiva un sotto-menu nel quale si può scegliere se il confronto va effettuato con i LAG a protezione dell'uomo, o quelli a protezione dell'uomo e della risorsa idrica sotterranea (vedi [Tabella 5](#) per i valori numerici dei LAG e [Allegato 1](#) per le spiegazioni sulla loro derivazione).

La schermata dei LAG a protezione dell'uomo ([Figura 7](#)) contiene le seguenti quattro colonne:

- descrizione (nome del contaminante);
- concentrazione ritrovata nel suolo (mg/kg sulla sostanza secca) ed inserita nella schermata "Inserimento contaminanti";
- limite di accettabilità generico per il suolo ad uso residenziale/ricreativo - LAG (RES) (mg/kg sulla sostanza secca);
- limite di accettabilità generico per il suolo ad uso industriale/commerciale - LAG (IND) (mg/kg sulla sostanza secca).

La legenda fornisce la chiave di lettura delle colorazioni utilizzate nella tabella per evidenziare i differenti superamenti. Ad esempio, il superamento del LAG per il suolo ad uso industriale è segnalato in colore rosso.

La schermata dei LAG a protezione dell'uomo e della risorsa idrica sotterranea contiene le seguenti sei colonne ([Figura 8](#)):

- descrizione (nome del contaminante);
- concentrazione ritrovata nel suolo (mg/kg sulla sostanza secca) ed inserita nella schermata "Inserimento contaminanti";
- limite di accettabilità generico per il suolo ad uso residenziale/ricreativo - LAG (RES) (mg/kg sulla sostanza secca);

- limite di accettabilità generico per il suolo ad uso industriale/commerciale - LAG (IND) (mg/kg sulla sostanza secca);
- concentrazione ritrovata nella falda (mg/l) ed inserita nella schermata "Inserimento contaminanti";
- limite di accettabilità generico per la falda – LAG (falda) (mg/l).

Figura 7: Confronto con i LAG a protezione dell'uomo

Confronto con i limiti tabellari protezione uomo			
Descrizione	Matrice Suolo		
	Ritrovato (mg/Kg) s.s.	LAG (RES) (mg/kg) s.s.	LAG (IND) (mg/kg) s.s.
1,2,3-Tricloropropano	12,35	0,008	0,07
1,2-Diclorobenzene	45,2	46	569
Antracene	16,2	10	10
Cadmio	12,5	75	757
Cromo totale	622	113000	2070000
Esadorobenzene	12,2	1,2	4,8
Etilbenzene	34,7	42,5	365

= Superamento del limite RES del livello 1
 = Superamento dei limiti IND del livello 1
 = Superamento dei limiti RES e IND del livello 1

Limiti per il suolo :
LAG : limiti di accettabilità generici equivalenti ai livelli di screening
RES : comprende l'uso residenziale, ricreativo
IND : comprende l'uso industriale e commerciale

Figura 8: Confronto con i LAG a protezione dell'uomo e della risorsa idrica sotterranea

Confronto con i limiti tabellari protezione uomo e risorsa idrica sotterranea					
Descrizione	Matrice Suolo			Matrice Falda	
	Ritrovato (mg/Kg) s.s.	LAG (RES) (mg/kg) s.s.	LAG (IND) (mg/kg) s.s.	Ritrovato (mg/l)	LAG (Falda) (mg/l)
1,2,3-Tricloropropano	12,35	0,000014	0,000014	0,2	0,000001
1,2-Diclorobenzene	45,2	14	14	0,1	0,27
Antracene	16,2	10	10	1,35	
Cadmio	12,5	5,1	5,1	0,187	0,005
Cromo totale	622	814	814	0,012	0,05
Esadorobenzene	12,2	0,1	0,1	0,001	0,00001
Etilbenzene	34,7	1,5	1,5	1,198	0,05

= Superamento del limite RES del livello 1
 = Superamento dei limiti IND del livello 1
 = Superamento dei limiti RES e IND del livello 1
 = Superamento del limite LAG Falda

Limiti per il suolo :
LAG : limiti di accettabilità generici equivalenti ai livelli di screening
RES : comprende l'uso residenziale, ricreativo
IND : comprende l'uso industriale e commerciale

Come illustrato in dettaglio in **Allegato 1**, per ogni contaminante è visualizzato in **Figura 8** il valore minimo tra il LAG del suolo a protezione dell'uomo ed il LAG del suolo a protezione della risorsa idrica sotterranea. Per definizione, quindi, i LAG del suolo a protezione sia dell'uomo che della falda non possono essere maggiori di quelli a protezione dell'uomo.

I LAG della falda corrispondono alle CL della falda del D.M. 471/99: la scelta di non formulare dei LAG risk-based è determinata dalla non esplicita indicazione, nella stessa normativa, della destinazione d'uso prevista per le acque sotterranee cui le CL sono riferite.

Solamente i LAG del suolo a protezione dell'uomo sono elaborati con un rigoroso criterio di analisi di rischio sanitario di Livello 1 e pertanto solamente questi ultimi hanno la valenza e la funzione di valori di screening risk-based in senso stretto. I LAG per il suolo a protezione della falda ed i LAG per la falda intendono viceversa rispettare la conformità con gli standard normati per le risorse idriche sotterranee.

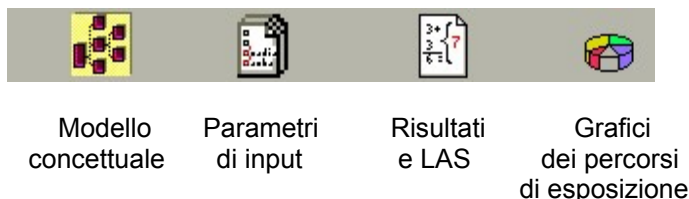
La legenda fornisce la chiave di lettura delle colorazioni utilizzate nella tabella per evidenziare le concentrazioni osservate eccedenti i LAG. Ad esempio, il superamento del LAG per la falda è segnalato in colore azzurro.

Si ricorda che per l'analisi di rischio di Livello 2, ROME ver.2.1 considera tutti i composti di partenza visualizzati nella schermata "Inserimento contaminanti".

2.5 Analisi di rischio di livello 2

L'analisi di rischio sito-specifica viene condotta sia nel metodo diretto che nel metodo inverso: nel metodo diretto vengono calcolati i rischi associati alla contaminazione del sito e nel metodo inverso si stimano gli obiettivi di bonifica o concentrazioni residuali accettabili nel sito stesso. I passi da percorrere ed i dati da inserire sono gli stessi per entrambe le valutazioni poiché i modelli utilizzati coincidono: nel calcolo dei LAS, vengono semplicemente invertite le equazioni per la stima dell'esposizione e del rischio (**Allegato 2**).

Per l'analisi di rischio di Livello 2 sono visualizzate le seguenti quattro icone con il seguente significato:



2.5.1 Modello concettuale del sito

Selezionando l'icona "Modello concettuale" del sito viene visualizzata la schermata di **Figura 9**, suddivisa verticalmente in tre sezioni:

- Sorgenti da valutare;
- Percorsi di esposizione;
- Recettori.

Nel primo blocco "Sorgenti da valutare" l'utente può selezionare le matrici ambientali di interesse tra quelle riportate (suolo superficiale, suolo profondo), da un minimo di una ad un massimo di quattro. Per esempio, nella **Figura 9**, tutte e quattro le sorgenti sono state tutte selezionate.

Nel primo blocco vi è anche un box giallo "Dettaglio delle concentrazioni delle matrici ambientali". Selezionando il blocco si attiva una finestra come quella mostrata in **Figura 10** nella quale è dettagliata la contaminazione ritrovata in sito, che sarà poi utilizzata per l'analisi di rischio.

Questo box è costituito da una tabella con un massimo di cinque colonne:

- nella prima colonna viene riportata la lista dei contaminanti selezionati in "Inserimento contaminanti"
- nella seconda colonna vi sono, per ogni contaminante, le concentrazioni rilevate nel suolo superficiale (0-1 m dal piano campagna), che per default coincidono con quelle inserite nella finestra "Contaminanti e concentrazioni osservate";
- nella terza colonna vi sono, per ogni contaminante, le concentrazioni rilevate nel suolo profondo (> 1 m dal piano campagna) che per default coincidono con quelle inserite nella finestra "Contaminanti e concentrazioni osservate";
- nella quarta colonna possono venire inseriti i risultati dei test di eluizione, qualora disponibili;
- nella quinta vengono inserite informazioni relative al prodotto libero, qualora presente, cioè alla presenza sopra la falda di una fase separata più leggera dell'acqua ("LNAPL – Light Non-Aqueous Phase Liquid")

(l'informazione è di tipo "Sì" o "No", selezionabile mediante le frecce destra e sinistra della tastiera del computer, come precisato in legenda).

FIGURA 9: Modello concettuale del sito

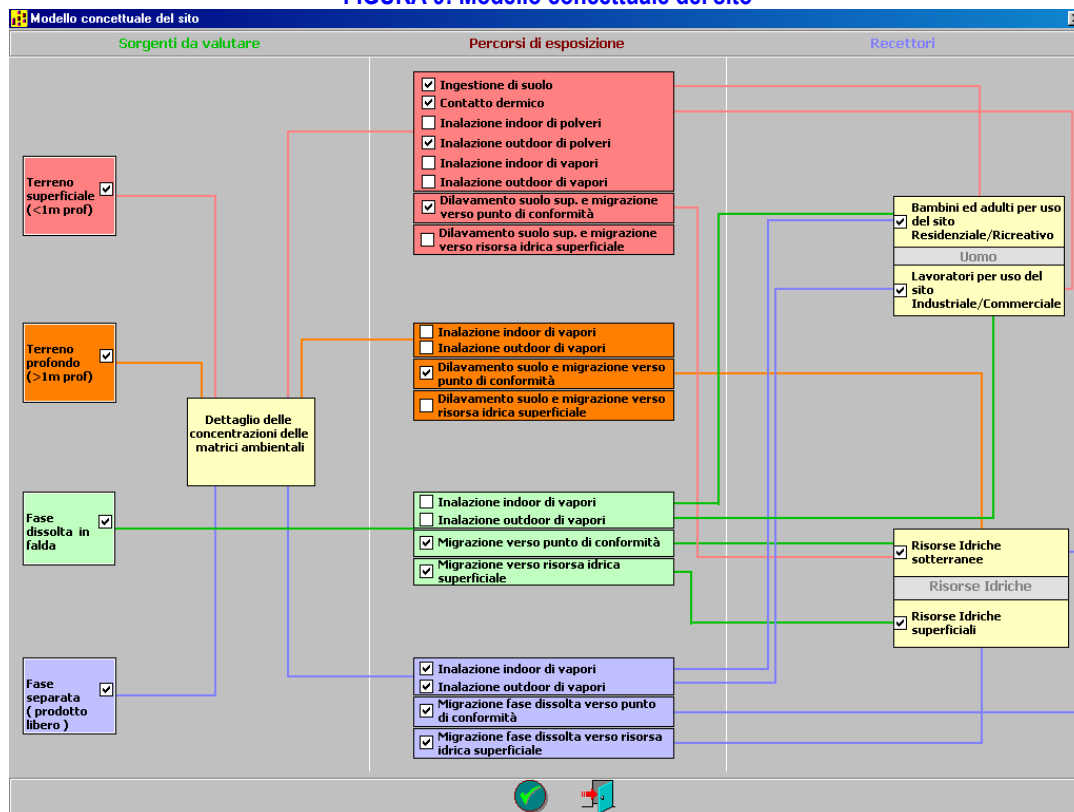


FIGURA 10: Dettaglio delle concentrazioni delle matrici ambientali

Dettaglio delle concentrazioni delle matrici ambientali				
Descrizione contaminante	Conc. Suolo sup. (mg/Kg) s.s.	Conc. Suolo prof. (mg/Kg) s.s.	Eluato (mg/l)	LNAPL
1,2,3-Tricloropropano	12,35	12,35	0	-
1,2-Diclorobenzene	45,2	45,2	0	-
Antracene	16,2	16,2	0	-
Cadmio	12,5	12,5	0	-
Cromo totale	622	622	0	-
Esadiorobenzene	12,2	12,2	0	-
Etilbenzene	34,7	34,7	0	SI

Stampa

Suolo superficiale : < 1m dal piano campagna

Suolo profondo : > 1m dal piano campagna

LNAPL : Prodotto libero in galleggiamento sulla falda. Per includere il calcolo del rischio per il prodotto in galleggiamento sulla falda occorre selezionare casella corrispondente e premere i tasti 'freccia destra' o 'freccia sinistra' per cambiare in SI o NO.

Come evidenziato dalla seconda e dalla terza colonna, per l'analisi di rischio deve essere differenziata la contaminazione ritrovata nel suolo superficiale da quella ritrovata nel suolo profondo.

ROME assume per default che la concentrazione del suolo superficiale e quella del suolo profondo siano uguali a quella inserita. Il valore massimo tra queste due matrici deve corrispondere a quello inserito nella finestra "Contaminanti e concentrazioni osservate" dell'icona "Inserimento contaminanti" del menu principale. Sta all'utente modificare questa assunzione di default ed adattarla alle reali condizioni del sito, tenendo conto che:

- almeno una delle due concentrazioni deve essere uguale a quella inserita in "Inserimento contaminanti";
- l'altra non può essere superiore alla precedente.

Se vengono inseriti valori non compatibili con questa schematizzazione, l'utente viene automaticamente avvisato con un messaggio di attenzione.

Nella quarta colonna l'utente dovrà inserire, se presenti, i valori dell'eluato ottenuti dai test di cessione.

In presenza dei test di eluizione, il software è programmato per utilizzare le concentrazioni dell'eluato per il calcolo del rischio di contaminazione della risorsa idrica sotterranea determinato dalla contaminazione presente nel suolo soprastante.

In assenza, invece, dei test di eluizione, il software utilizza l'equazione che descrive la partizione all'equilibrio tra le diverse fasi, calcolando con essa un "eluato teorico".

Poiché il calcolo dell'eluato teorico produce risultati generalmente conservativi, talvolta anche molto conservativi, in presenza di un rischio non accettabile per la risorsa idrica sotterranea dovuto al suolo contaminato, è sempre consigliabile effettuare dei test di eluizione e successivamente ripetere l'analisi di rischio con questi dati sperimentali, che meglio si prestano a descrivere le reali condizioni di mobilità della contaminazione ritrovata in sito.

Per le sostanze per le quali il D.M. 471 non ha fissato limiti per le acque sotterranee, il software ROME utilizza una concentrazione accettabile "surrogata". Questa concentrazione deriva da una valutazione risk-based e corrisponde alla concentrazione di contaminante accettabile nel caso di una ingestione giornaliera, da parte di un adulto, di 2 l di acqua per una durata dell'esposizione pari a quella dei recettori di un'area residenziale. Questa concentrazione viene trattata dal software allo stesso modo di quelle fissate dal D.M. 471. Nei risultati, l'utilizzo delle concentrazioni "surrogate" per la falda è evidenziato con un asterisco.

La quinta colonna della finestra "Dettaglio delle concentrazioni delle matrici ambientali" è dedicata all'inserimento della presenza di prodotto libero in galleggiamento sulla falda per le sostanze (LNAPL), per le quali ciò sia possibile. Le sostanze chimiche presenti nel database di ROME classificate come LNAPL sono le seguenti:

- Benzene
- Etilbenzene
- Toluene
- Xileni totali
- Stirene
- TPH (range dei Gasoli)
- TPH (range delle Benzine)

Per considerare la presenza di prodotto libero, l'utente, agendo con le frecce della tastiera, dovrà modificare in "SI" la notazione "No", presente di default in corrispondenza delle sostanze LNAPL. Le altre sostanze, non compatibili con la presenza di prodotto libero, sono indicate con il tratto "-".

E' bene ricordare che, se nel "Modello concettuale" non è stata selezionata la falda tra le sorgenti presenti sul sito o la sorgente "Fase separata (prodotto libero)", nel box "Dettaglio delle concentrazioni delle matrici ambientali" non sarà evidente la quinta colonna.

Nel secondo blocco del modello concettuale, "Percorsi di esposizione", l'utente può selezionare i percorsi di esposizione che ritiene potenzialmente attivi per il sito in esame.



Nel terzo blocco, "Recettori", si possono selezionare i recettori esposti alla contaminazione. I recettori considerati dal software sono il recettore "Uomo" (bambini e adulti o lavoratori, a seconda della destinazione d'uso) e il recettore "Risorse idriche" (sotterranee e superficiali).

E' di fondamentale importanza ricordare che l'analisi di rischio può essere effettuata unicamente per i cosiddetti "percorsi di esposizione completi", ossia quelli in cui sia presente una sorgente di contaminazione, un recettore ed un percorso che le metta in collegamento.

Se nessun percorso caratterizzato dalla sequenza "sorgente-percorso-recettore" viene completato, il software non effettua alcun calcolo di rischio né di LAS.

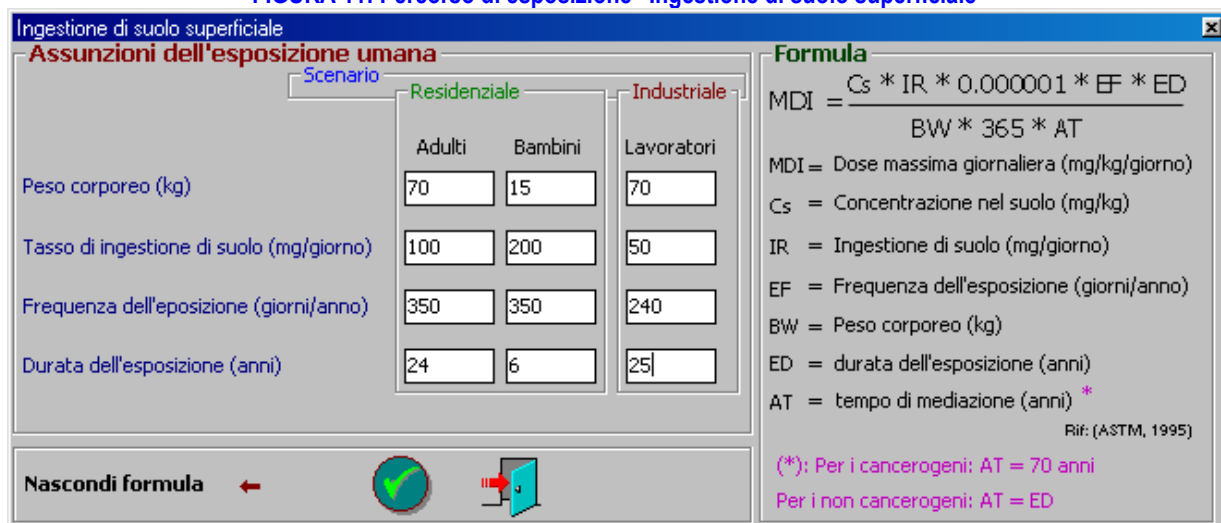
Lo schema del modello concettuale è stato studiato in modo da evidenziare, anche con l'ausilio del colore, tutti i percorsi di esposizione completi presenti sul sito.

L'utilizzo del tasto destro del mouse su ogni percorso di esposizione selezionato permette di aprire una schermata dedicata, nella quale possono essere contenute le seguenti informazioni:

- tutti i parametri relativi all'esposizione umana ed al sito che sono di interesse per il percorso di esposizione in esame;
- la formula per il calcolo della dose massima giornaliera ("Maximum Daily Intake, MDI"): per visualizzarla occorre selezionare l'icona  posta in basso a sinistra della schermata;
- la formula per il calcolo della concentrazione al punto di esposizione: per accedervi, quando presente, occorre selezionare l'icona  posta in basso a destra della schermata;
- i riferimenti bibliografici delle formule visualizzate.

In **Figura 11** si riporta, a titolo esemplificativo, la schermata corrispondente al percorso di esposizione "Ingestione di suolo superficiale".

FIGURA 11: Percorso di esposizione "Ingestione di suolo superficiale"



Ingestione di suolo superficiale

Assunzioni dell'esposizione umana

Scenario: **Residenziale** (Industriale)

	Adulti	Bambini	Lavoratori
Peso corporeo (kg)	70	15	70
Tasso di ingestione di suolo (mg/giorno)	100	200	50
Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	350	350	240
Durata dell'esposizione (anni)	24	6	25

Formula

$$MDI = \frac{C_s * IR * 0.000001 * EF * ED}{BW * 365 * AT}$$

MDI = Dose massima giornaliera (mg/kg/giorno)
 C_s = Concentrazione nel suolo (mg/kg)
 IR = Ingestione di suolo (mg/giorno)
 EF = Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)
 BW = Peso corporeo (kg)
 ED = durata dell'esposizione (anni)
 AT = tempo di mediazione (anni) *

Rif: (ASTM, 1995)

(*): Per i cancerogeni: AT = 70 anni
 Per i non cancerogeni: AT = ED

Nascondi formula

Per un file appena creato (icona "Crea un nuovo progetto", nella barra principale del Menu), i valori numerici dei parametri dell'esposizione umana e del sito che compaiono nella schermata corrispondono a quelli di default. E' importante sottolineare che questi default sono gli stessi del modello concettuale generico utilizzato per la derivazione dei LAG (vedi **Allegato 1** e **Tabelle da 1 a 4**). Pertanto, un'analisi di rischio effettuata senza che l'utente cambi i valori di default e con tutti i percorsi di esposizione attivati, produrrebbe per il suolo superficiale dei valori LAS a protezione dell'uomo perfettamente coincidenti con i LAG di **Tabella 5** (a meno di piccole differenze dovute ad arrotondamenti).

Tutte le schermate che visualizzano i parametri sono interattive ed i valori di default (o comunque quelli inseriti, se si sta operando su un progetto esistente) possono quindi essere sostituiti con valori che meglio rappresentano le reali condizioni dei recettori e del sito (parametri "sito-specifici"). In assenza di dati specifici di buona qualità, si raccomanda in generale l'utente che la sostituzione dei valori di default, quando non evitabile, avvenga con la dovuta cautela.

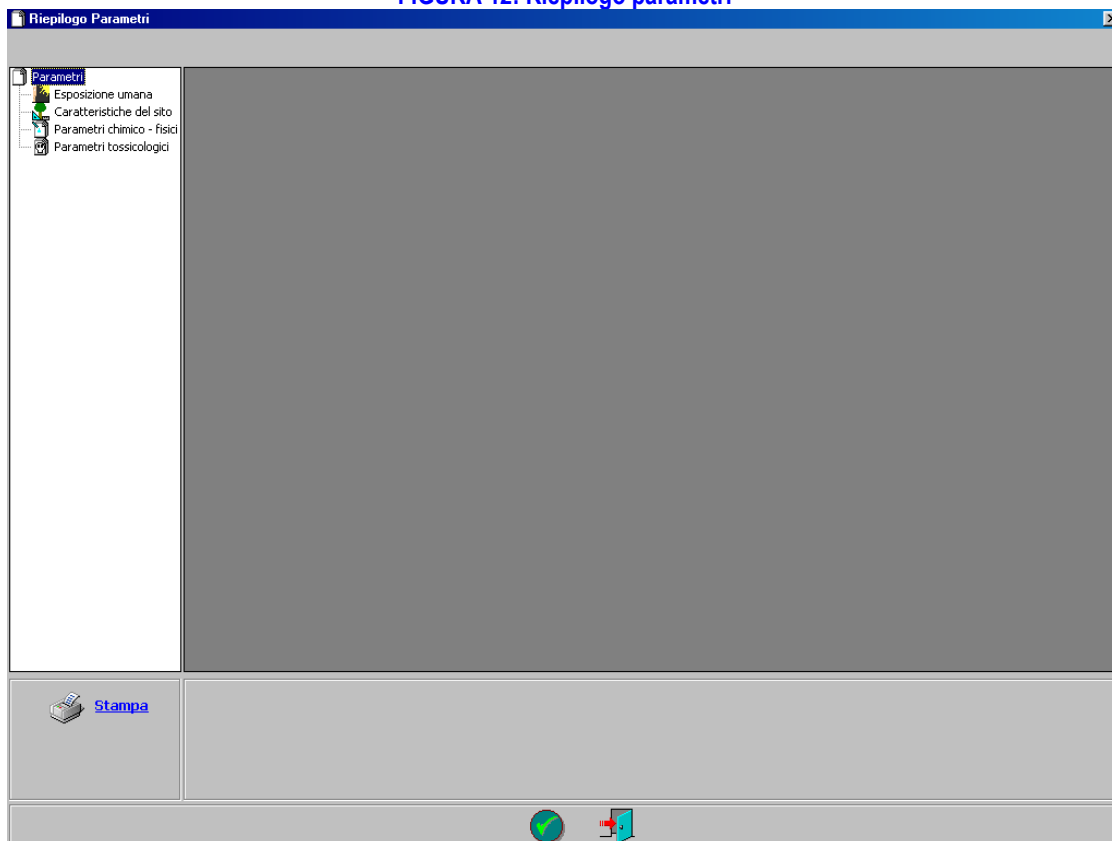
2.5.2 Parametri di input (riepilogo parametri)

Selezionando l'icona "Parametri di input" della barra principale del Menu viene visualizzata la schermata di **Figura 12**, dalla quale si accede a tutti i parametri del modello concettuale, ossia:

- i parametri dell'esposizione umana;
- le caratteristiche del sito;
- i parametri chimico-fisici (limitatamente ai contaminanti di interesse per l'analisi di rischio);
- i parametri tossicologici (limitatamente ai contaminanti di interesse per l'analisi di rischio).

Per accedere a queste tabelle è sufficiente selezionare una delle icone riportate sul lato sinistro della schermata (**Figura 12**). I valori riportati in queste tabelle corrispondono a quelli di default, a meno che essi non siano stati sostituiti nella schermata del modello concettuale o comunque in una revisione precedente del progetto.

FIGURA 12: Riepilogo parametri



Nella tabella “Esposizione umana” (**Figura 13**), si riportano i dati relativi al recettore “Uomo”, suddivisi per i residenti (adulti e bambini) ed i lavoratori. Tutti i parametri possono essere modificati ed adeguati alle reali e specifiche caratteristiche dei recettori presenti in sito.

FIGURA 13: Parametri dell'esposizione umana

Parametri	Scenario			
	Residenziale / Ricreativo		Industriale / Commerciale	
	Adulti	Bambini	Lavoratori	
Parametro dell'esposizione umana				
Peso corporeo (kg)	70	15		70
Durata dell'esposizione (anni)	24	6		25
Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	350	350		240
Lunghezza della vita (giorni)	25550	25550		25550
Tasso di ingestione di suolo (mg/giorno)	100	200		50
Superficie della pelle (cm²/giorno)	17938	6381		17938
Frazione di pelle esposta (adim.)	0,2	0,5		0,2
Fattore di aderenza (mg/cm²)	1	1		1
Tasso di inalazione indoor (m³/giorno)	15	6		8
Tasso di inalazione outdoor (m³/giorno)	5	3		2
Frazione di tempo spesa in sito (adim.)	1	1		1

Nella tabella “Caratteristiche del sito” (**Figura 14**), si riportano i parametri generali del sito, quelli della zona non satura e di quella satura e quelli relativi alla risorsa idrica superficiale. Tutti i parametri possono essere modificati ed adeguati alle reali e specifiche caratteristiche del sito. A questo scopo può essere di aiuto la **Tabella 6**, nella quale sono riportati gli intervalli plausibili del valore che i parametri possono assumere e la loro incidenza sul risultato finale.

FIGURA 14: Caratteristiche del sito

Riepilogo Parametri			
Parametri	Parametri	Simbolo	Valore di default
Esposizione umana	GENERALI		
Caratteristiche del sito	Velocità del vento (cm/s)	Uair	225
Parametri chimico - fisici	Altezza della zona di miscelazione (cm)	Dair	200
Parametri tossicologici	Altezza degli edifici residenziali (cm)	LB(R)	200
	Altezza degli edifici industriali (cm)	LB(I)	300
	Tasso di ricambio d'aria (1/h) uso res.	ER(R)	0,504
	Tasso di ricambio d'aria (1/h) uso ind.	ER(I)	0,828
	Spessore di fondazioni/pareti degli edifici (cm)	Lcrack	15
	Frazione areale di fratture in fondazioni pareti (cm ² /cm ²)	n	0,01
	Contenuto d'aria nelle fratture (adim.)	Oacrack	0,26
	Contenuto d'acqua nelle fratture (adim.)	Owcrack	0,12
	DELLA ZONA NON SATURA		
	Densità secca (g/cm ³)	Ps	1,7
	Frazione di Carbonio organico nella zona non satura (g-C/g-suolo)	Foc	0,01
	Profondità della contaminazione nel suolo superficiale (cm)	Ls(S)	50
	Profondità della contaminazione nel suolo profondo (cm)	Ls(P)	100
	Spessore della frangia capillare (cm)	hcap	5
	Spessore della zona non satura (cm)	h _v	295
	Contenuto d'aria nel suolo (adim.)	Oas	0,26
	Contenuto d'acqua nel suolo (adim.)	Ows	0,12
	Porosità totale del suolo (adim.)	Ot	0,38
	Contenuto d'aria in frangia capillare (adim.)	Oacap	0,038
	Contenuto d'acqua in frangia capillare (adim.)	Owcap	0,342
	Particelle di suolo nella polvere (adim.)	Fsd	1
	Concentrazione di polvere all'aperto (mg/m ³)	PMo	0,07
	Frazione di polvere indoor (adim.)	Fi	1
	Concentrazione di polvere indoor (mg/m ³)	PMi	0,07
	Lunghezza della sorgente parallela alla direzione del flusso del vento (m)	Lw	15
	Larghezza della sorgente perpendicolare alla direzione del flusso del vento (m)	W	15
	Lunghezza della sorgente parallela alla direz. di flusso della falda (m)	L	15
	Larghezza della sorgente perpendicolare alla direz. di flusso della falda (m)	Swp	15
	DELLA ZONA SATURA		
	Densità secca (g/cm ³)	Ps(sat)	1,7
	Frazione di Carbonio organico nella zona satura (g-C/g-suolo)	Foc(sat)	0,01
Caratteristiche del sito			
NB: In grassetto sono indicati i valori non modificabili			

Valutate le inevitabili incertezze associate ai dati della caratterizzazione, la scelta dei parametri di input dovrebbe in linea di massima essere orientata verso valori cautelativamente rappresentativi del sito.

Nelle tabelle “Parametri chimico-fisici” e “Parametri tossicologici” sono riportati tali parametri per i contaminanti di interesse per l’analisi di rischio.

Poiché i valori numerici di tutti i parametri chimico-fisici e di quelli tossicologici sono desunti da database internazionali di provata affidabilità (**Tabella 3** e **Tabella 4**, rispettivamente), la modifica del valore di default è limitata ai casi in cui siano disponibili aggiornamenti delle stesse banche dati, ovvero sorgenti di dati altrettanto autorevoli.

2.5.3 Risultati: stima del rischio e dei LAS

Una volta completato il modello concettuale sito-specifico e revisionati i dati di input, selezionando l'icona “Risultati e LAS” della barra principale del Menu, si accede ad un menu a tendina nel quale scegliere se si vogliono visualizzare i “Risultati”, in termini di “Rischi per l’uomo” e di “Rischi per le risorse idriche” (sotterranee e superficiali), oppure gli “Obiettivi della bonifica” (LAS).

Di seguito queste possibilità sono illustrate separatamente.

2.5.3.1 Rischi per l’uomo

I “Rischi per l’uomo”, ossia i rischi sanitari, possono essere riferiti a:

- sostanze cancerogene;
- sostanze non cancerogene.

Nella schermata relativa ai rischi per l'uomo, la scelta tra queste due tipologie di sostanze avviene scegliendo l'icona di interesse tra i due riquadri presenti sul lato sinistro della schermata.

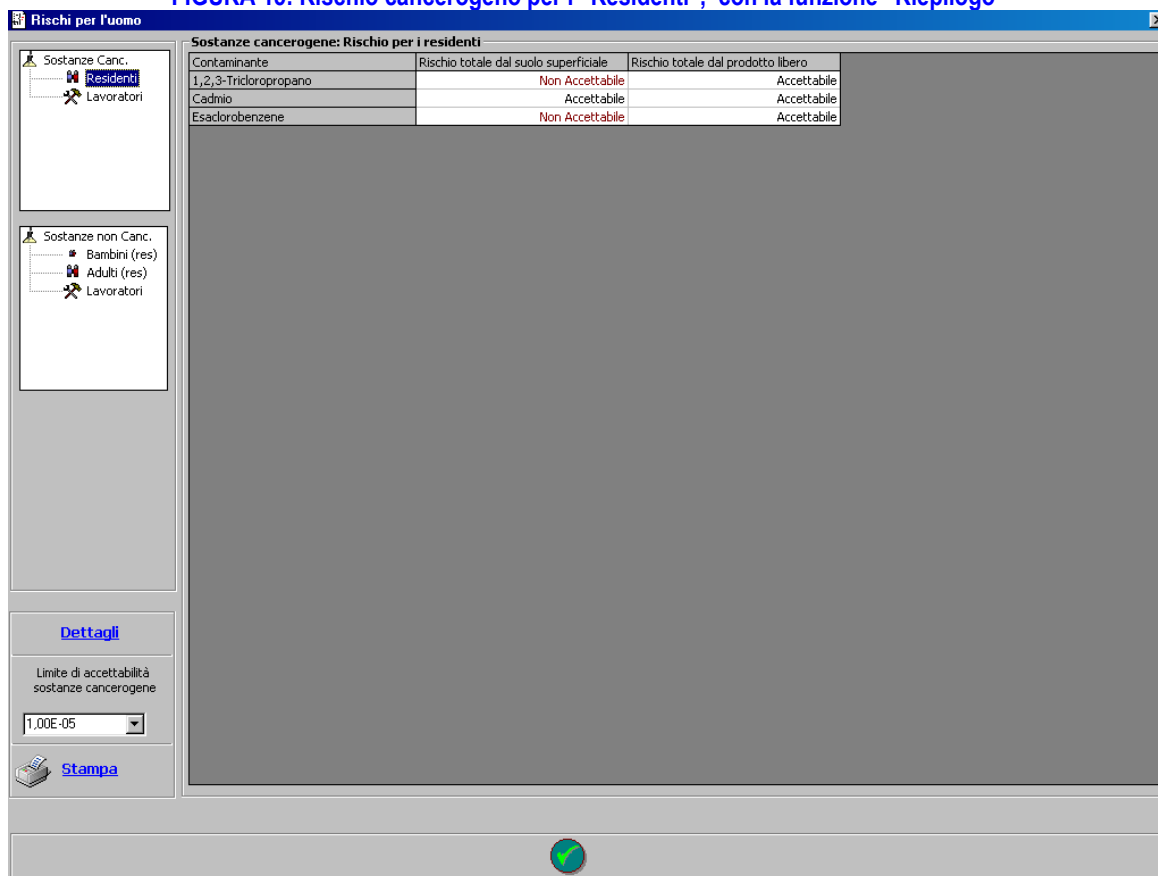
2.5.3.1.1 Sostanze cancerogene

Ai risultati dell'analisi di rischio per l'uomo – sostanze cancerogene - si accede selezionando il recettore di interesse tra quelli possibili: "Residenti" e "Lavoratori". Per i residenti si ricorda che, come illustrato in [Appendice 1](#), non viene fatta differenza tra i bambini e gli adulti in quanto il calcolo del rischio viene effettuato su tutta la durata della vita e si tiene quindi conto del fatto che la parte iniziale di essa viene trascorsa da bambini e la parte restante da adulti. Si rimanda a questo proposito all'[Appendice 1](#) ed al parametro "AT = tempo di mediazione".

La stima del rischio può essere visualizzata in due modi possibili:

- in termini di "Accettabile" o "Non accettabile": selezionando la scritta "Riepilogo" nella colonna di sinistra ([Figura 15](#));
- in termini numerici: visualizzazione di default o comunque selezionando la scritta "Dettagli" nella colonna di sinistra.

FIGURA 15: Rischio cancerogeno per i "Residenti", con la funzione "Riepilogo"



La soglia di accettabilità del rischio - rischio incrementale di tumore nel corso della vita dovuto alle sostanze cancerogene - (Rischio) può essere impostata dall'utente scegliendo tra i valori di 1×10^{-4} (ossia una probabilità ogni 10.000 nel corso della vita), 1×10^{-5} (valore di default nel calcolo dei LAG e valore più diffusamente utilizzato nei paesi europei) e 1×10^{-6} . La scelta tra queste possibilità avviene agendo con il mouse sul pulsante con la freccia verso il basso nella parte della schermata di interesse, posta nella colonna sul lato sinistro (vedi [Figura 15](#)).

Mediante l'opzione "Riepilogo", per i recettori prescelti viene visualizzata una tabella, come quella rappresentata in [Figura 15](#), che mostra le seguenti informazioni:

- nella prima colonna: la lista dei contaminanti cancerogeni, tra quelli di interesse per l'analisi di rischio;
- nella seconda colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per le sostanze cancerogene che sono presenti nel suolo superficiale;

- nella terza colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per le sostanze cancerogene presenti nel suolo profondo;
- nella quarta colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per le sostanze cancerogene presenti in falda;
- nella quinta colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per le sostanze cancerogene presenti nel prodotto libero.

Le colonne dalla seconda alla quinta sono visualizzate solo nel caso in cui siano stati ritrovati contaminanti nelle rispettive matrici ambientali o vi sia presenza prodotto libero in galleggiamento sulla falda.

Ad esempio, nel caso di assenza di una falda, non compariranno la quarta e la quinta colonna; in assenza di prodotto in galleggiamento non comparirà solamente la quinta colonna.

Mediante l'opzione "Dettagli", viene visualizzata una tabella che mostra le seguenti informazioni:

- nella prima colonna: la lista dei contaminanti cancerogeni, tra quelli di interesse per l'analisi di rischio;
- nelle colonne dalla seconda alla quinta: il rischio complessivo per i recettori umani determinato dalle quattro singole matrici ambientali: suolo superficiale, suolo profondo, acque sotterranee e prodotto libero (qualora tutte presenti);
- nelle colonne successive: il rischio associato ad ogni singolo percorso di esposizione attivo, in analogia alle scelte introdotte nella schermata del modello concettuale.

Per entrambe le opzioni ("Riepilogo" e "Dettagli"), in rosso sono evidenziati i rischi non accettabili, quelli cioè superiori al criterio di accettabilità del rischio prescelto. Si precisa che in questa fase il rischio si riferisce a ciascun contaminante, considerato singolarmente; l'opzione per valutare l'additività degli effetti tra più contaminanti è disponibile nel sottomenu relativo agli obiettivi di bonifica LAS.

2.5.3.1.2 Sostanze non cancerogene

Ai risultati dell'analisi di rischio per l'uomo – sostanze non cancerogene - si accede selezionando il recettore di interesse tra quelli possibili: "Residenti bambini", "Residenti adulti" e "Lavoratori".

La stima del rischio può essere visualizzata in due modi possibili:

- in termini di "Accettabile" o "Non accettabile": selezionando la scritta "Riepilogo" nella colonna di sinistra;
- in termini quantitativi: visualizzazione di default o comunque selezionando la scritta "Dettagli" nella colonna di sinistra.

La soglia di accettabilità del rischio per le sostanze non cancerogene ("HI – Hazard Index") è posta uguale a 1 e non può essere modificata dall'utente.

Mediante l'opzione "Riepilogo", per i recettori prescelti viene visualizzata una tabella che mostra le seguenti informazioni:

- nella prima colonna: la lista dei contaminanti non cancerogeni, tra quelli di interesse per l'analisi di rischio;
- nella seconda colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per le sostanze non cancerogene che sono presenti nel suolo superficiale;
- nella terza colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per le sostanze non cancerogene presenti nel suolo profondo;
- nella quarta colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per le sostanze non cancerogene presenti in falda;
- nella quinta colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per le sostanze non cancerogene presenti nel prodotto libero.

Le colonne dalla seconda alla quinta sono visualizzate solo nel caso in cui siano stati ritrovati contaminanti nelle rispettive matrici ambientali o sia presenza prodotto libero in galleggiamento sulla falda.

Mediante l'opzione "Dettagli", viene visualizzata una tabella che mostra le seguenti informazioni:

- nella prima colonna: la lista dei contaminanti non cancerogeni, tra quelli di interesse per l'analisi di rischio;
- nelle colonne dalla seconda alla quinta: l'HI complessivo per i recettori umani dalle quattro singole matrici ambientali: suolo superficiale, suolo profondo, acque sotterranee e prodotto libero (qualora tutte presenti);
- nelle colonne successive: l'HI associato ad ogni singolo percorso di esposizione attivo, in analogia alle scelte introdotte nella schermata del modello concettuale.

Per entrambe le opzioni (“Riepilogo” e “Dettagli”), in rosso sono evidenziati gli HI non accettabili, quelli cioè superiori a 1. Si precisa che in questa fase l'HI si riferisce a ciascun contaminante, considerato singolarmente; l'opzione per valutare l'additività degli effetti tra più contaminanti è disponibile nel sottomenu relativo agli obiettivi di bonifica LAS.

2.5.3.2 Rischi per le risorse idriche

I “Rischi per le risorse idriche” possono essere riferiti a:

- Risorsa idrica sotterranea;
- Risorsa idrica superficiale.

2.5.3.2.1 Risorsa idrica sotterranea

Ai risultati dell'analisi di rischio per la risorsa idrica sotterranea, si accede selezionando il recettore “Risorsa idrica sotterranea” nel menu a tendina aperto selezionando l'opzione “Rischi per le risorse idriche”.

La stima del rischio può essere visualizzata in due modi possibili:

- in termini di “Accettabile” o “Non accettabile”: selezionando la scritta “Riepilogo” nella colonna di sinistra;
- in termini numerici: selezionando la scritta “Dettagli” nella colonna di sinistra.

La valutazione del rischio per la risorsa idrica sotterranea viene effettuata confrontando, per ogni contaminante di interesse, la concentrazione calcolata al cosiddetto “punto di conformità” con la CL del D.M. 471/99 o, in assenza di questo, con la concentrazione “D.M. 471 surrogato” (per il calcolo di questa concentrazione si rimanda al paragrafo 2.1 dell'[Appendice 2](#)). Il rapporto tra queste due concentrazioni definisce numericamente il rischio per la risorsa idrica sotterranea.

La soglia di accettabilità del rischio per la risorsa idrica sotterranea è posta uguale a 1 e non può essere modificata dall'utente.

Il rischio stimato per le acque sotterranee ha pertanto una valenza ed un criterio di valutazione diversi dal rischio stimato per l'uomo: non rappresenta (se non per le sostanze “surrogate”) un rischio di carattere sanitario, quanto una stima del superamento delle CL nel punto di conformità.

FIGURA 16: Rischio per la risorsa idrica sotterranea con la funzione “Dettagli”

Contaminante	Rischio dal suolo	Rischio dalla falda	Rischio dal prodotto
1,2,3-Tricloropropano	9,76E+05	2,00E+05	
1,2-Diclorobenzene	3,57E+00	3,70E-01	
Antracene	5,20E-04	1,23E-01 *	
Cadmio	2,75E+00	3,74E+01	
Cromo totale	8,56E-01	2,40E-01	
Esaclorobenzene	1,26E+02	1,00E+02	
Etilbenzene	2,65E+01	2,40E+01	3,29E+03

* DM471 Surrogato

Mediante l'opzione "Riepilogo", per i recettori prescelti viene visualizzata una tabella che mostra le seguenti informazioni:

- nella prima colonna: la lista dei contaminanti di interesse per l'analisi di rischio;
- nella seconda colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per la falda derivante dai contaminanti presenti nel suolo (superficiale e profondo, complessivamente);
- nella terza colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per la falda derivante dai contaminanti presenti nel suolo valutati sulla base dei risultati dei test di eluizione;
- nella quarta colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per la falda derivante dai contaminanti presenti nella falda (migrazione della contaminazione ritrovata in falda verso il punto di conformità);
- nella quinta colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per la falda derivante dai contaminanti presenti come prodotto libero in galleggiamento.

Le colonne dalla seconda alla quinta sono visualizzate solo nel caso in cui siano stati ritrovati contaminanti nelle rispettive matrici ambientali o sia presenza prodotto libero in galleggiamento sulla falda.

Mediante l'opzione "Dettagli", viene visualizzata una tabella che mostra le stesse colonne descritte per l'opzione "Riepilogo", con la differenza che, invece dell'accettabilità o meno, vengono riportati i risultati delle stime del rischio (**Figura 16**).

Per entrambe le opzioni ("Riepilogo" e "Dettagli"), in rosso sono evidenziati i rischi non accettabili, quelli cioè superiori a 1.

Nell'**Allegato 2**, è disponibile una descrizione più approfondita dell'analisi di rischio per il recettore falda, nonché dei percorsi di esposizione coinvolti nella stima del rischio stesso.

2.5.3.2.2 *Risorsa idrica superficiale*

Ai risultati dell'analisi di rischio per la risorsa idrica superficiale, si accede selezionando il recettore "Risorsa idrica superficiale" nel menu a tendina aperto selezionando l'opzione "Rischi per le risorse idriche".

La stima del rischio può essere visualizzata in due modi possibili:

- in termini di "Accettabile" o "Non accettabile": selezionando la scritta "Riepilogo" nella colonna di sinistra;
- in termini numerici: selezionando la scritta "Dettagli" nella colonna di sinistra.

La valutazione del rischio per la risorsa idrica superficiale viene effettuata rapportando, per ogni contaminante di interesse, la concentrazione calcolata per le acque superficiali alla concentrazione accettabile del D.Lgs. 152/99, riportata in **Tabella 8**. Il rapporto tra queste due concentrazioni definisce numericamente il rischio per la risorsa idrica superficiale.

La soglia di accettabilità del rischio per la risorsa idrica superficiale è posta uguale a 1 e non può essere modificata dall'utente.

Mediante l'opzione "Riepilogo", per i recettori prescelti viene visualizzata una tabella che mostra le seguenti informazioni:

- nella prima colonna: la lista dei contaminanti di interesse per l'analisi di rischio;
- nella seconda colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per la risorsa derivante dai contaminanti presenti nel suolo (superficiale e profondo, complessivamente);
- nella terza colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per la risorsa derivante dai contaminanti presenti nel suolo valutati sulla base dei risultati dei test di eluizione;
- nella quarta colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per la risorsa derivante dai contaminanti presenti nella falda (migrazione della contaminazione ritrovata in falda e diluizione nella risorsa idrica superficiale);
- nella quinta colonna: l'accettabilità o la non accettabilità del rischio per la risorsa derivante dai contaminanti presenti come prodotto libero in galleggiamento.

Le colonne dalla seconda alla quinta sono visualizzate solo nel caso in cui siano stati ritrovati contaminanti nelle rispettive matrici ambientali o vi sia presenza prodotto libero in galleggiamento sulla falda.

Mediante l'opzione "Dettagli", viene visualizzata una tabella che mostra le stesse colonne descritte per l'opzione "Riepilogo", con la differenza che, invece dell'accettabilità o meno, vengono riportati i risultati delle stime del rischio (**Figura 17**).

Per entrambe le opzioni ("Riepilogo" e "Dettagli"), in rosso sono evidenziati i rischi non accettabili, quelli cioè superiori a 1.

FIGURA 17: Rischio per la risorsa idrica superficiale con la funzione “Dettagli”

Contaminante	Rischio dalla falda	Rischio dal prodotto
Cadmio	7,38E-05	9,47E-08
Cromo totale	7,38E-05	9,47E-08

2.5.3.3 Obiettivi della bonifica (LAS)

I LAS - livelli di accettabilità specifici per il sito calcolati con l'analisi di rischio, possono essere calcolati in due modi possibili:

- per le singole sostanze considerate separatamente, senza cioè tenere conto della contemporanea presenza sul sito delle altre sostanze contaminanti: modalità di calcolo di default o comunque attivata non selezionando la scritta "Considera l'additività delle sostanze", posta nella parte in basso a sinistra della schermata;
- tenendo conto del fenomeno di additività degli effetti di sostanze simili, per il solo recettore uomo: modalità di calcolo attivata selezionando la scritta "Considera l'additività delle sostanze".

Qualunque sia la modalità di calcolo prescelta, per definizione il LAS di un contaminante viene calcolato unicamente qualora si sia in presenza di un rischio non accettabile proveniente da una specifica matrice ambientale e per un certo recettore. In caso contrario, la casella della tabella dei LAS rimane vuota.

Una descrizione approfondita del calcolo dei LAS è riportata nell'[Allegato 2](#).

2.5.3.3.1 Calcolo dei LAS per le singole sostanze

La tabella con i LAS calcolati per le singole sostanze considerate separatamente mostra le seguenti informazioni ([Figura 18](#)):

- nella prima colonna: la lista dei contaminanti di interesse per l'analisi di rischio;
- nelle colonne dalla seconda alla settima: i LAS a protezione della salute umana:
 - le prime tre colonne per la destinazione d'uso residenziale/ricreativa;
 - le seconde tre colonne per la destinazione d'uso industriale/commerciale;
- nelle colonne dall'ottava alla tredicesima: i LAS a protezione delle risorse idriche:
 - le prime tre colonne per la protezione della risorsa idrica sotterranea;
 - le seconde tre colonne per la protezione della risorsa idrica superficiale.

Queste colonne conterranno dei valori solo nel caso in cui siano stati ritrovati contaminanti nelle rispettive matrici ambientali e che questi comportino un rischio non accettabile per i recettori presenti sul sito.

FIGURA 18: Obiettivo della bonifica senza selezione della funzione per l'additività

Obiettivo della bonifica

Contaminante	PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA (additività non considerata)						PROTEZIONE DELLE RISORSE IDRICHE				
	Residenziale / Ricreativo			Industriale / Commerciale			Sotterranea		Superficiale		
	Suolo superficiale	Suolo profondo	Falda	Suolo superficiale	Suolo profondo	Falda	Suolo	Suolo(eluato)	Falda	Suolo	
1,2,3-Tricloropropano	3,20E-01			1,17E+00			1,42E-05		1,00E-06		
1,2-Diclorobenzene							1,42E+01				
Antracene											
Cadmio							5,09E+00		5,00E-03		
Esadiorobenzene	1,40E+00			5,10E+00			1,09E-01		1,00E-05		
Etilbenzene							1,46E+00		5,00E-02		

☐ Considera l'additività delle sostanze

I LAS sono evidenziati solo se i rischi eccedono il massimo livello di rischio accettabile.

Suolo superficiale = LAS per il suolo superficiale (mg/Kg) s.s. Suolo = LAS per il suolo (mg/Kg) s.s. Suolo (eluato) = LAS per l'eluato (mg/l)
 Suolo profondo = LAS per il suolo profondo (mg/Kg) s.s. Falda = LAS per la falda (mg/l) * DM471 Surrogato

Le tre colonne relative alla protezione della salute umana nella destinazione d'uso residenziale/ricreativa mostrano le seguenti informazioni:

- nella prima colonna: i LAS per il suolo superficiale (mg/kg s.s. - sostanza secca);
- nella seconda colonna: i LAS per il suolo profondo (mg/kg s.s.);
- nella terza colonna: i LAS per la falda (mg/l).

Le successive tre colonne, relative alla protezione della salute umana nella destinazione d'uso industriale/commerciale, presentano la stessa impostazione.

Le tre colonne relative alla protezione della risorsa idrica sotterranea mostrano le seguenti informazioni:

- nella prima colonna: i LAS per il suolo sia superficiale che profondo (mg/kg s.s.);
- nella seconda colonna sono riportati i LAS per l'eluato del suolo (mg/l);
- nella terza colonna sono riportati i LAS per la falda (mg/l).

Le successive tre colonne, relative alla protezione della risorse idriche superficiali, presentano la stessa impostazione.

Nella valutazione dei LAS del suolo a protezione della falda, si consiglia di utilizzare, se presenti, i LAS per l'eluato (Suolo (eluato)) in quanto più rappresentativi delle condizioni del sito.

Ciò significa che qualora siano stati effettuati i test di eluizione, in presenza di rischi accettabili calcolati per l'eluato il sito non necessita di interventi di bonifica del suolo a protezione delle risorse idriche (vanno pertanto ignorati gli eventuali LAS del suolo a protezione di questo recettore).

I LAS del prodotto libero in galleggiamento sulla falda non possono essere calcolati: qualora il prodotto libero determini dei rischi non accettabili, si rende necessario un intervento di rimozione.

2.5.3.3.2 Calcolo dei LAS considerando l'additività

Come per i LAS non additivi, i LAS additivi vengono calcolati solo per quelle sostanze per cui è stato stimato un rischio non accettabile. Va però tenuto presente che, considerando l'additività degli effetti, sostanze che prese singolarmente non comportano rischi inaccettabili, considerando gli effetti additivi potrebbero diventare tali e quindi determinare un LAS additivo.

La tabella con i LAS calcolati tenendo conto dell'addittività (**Figura 19**) mostra le stesse informazioni della tabella per le sostanze prese singolarmente (**Figura 18**): per quanto detto in precedenza, le colonne relative alla protezione dell'uomo riportano i LAS additivi, mentre quelle relative alla protezione della risorse idriche rimangono invariate.

Selezionando il pulsante “Visualizza dettagli addittività”, posto nella parte in basso a sinistra della schermata di **Figura 19**, è possibile osservare per quali sostanze possano venire calcolati i LAS additivi e su quali organi agiscano le sostanze con rischio non cancerogeno. In Tabella 7 sono riportate tutte le sostanze prese in considerazione in ROME Ver. 2.1, con gli organi sui quali ciascuna sostanza agisce.

Si ricorda che la procedura generale per il calcolo dei LAS additivi è illustrata nell'**Allegato 2** e nell'**Appendice 2**.

FIGURA 19: Obiettivo della bonifica con selezione della funzione per l'addittività

Contaminante	PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA (addittività considerata)						PROTEZIONE DELLE RISORSE IDRICHE			
	Residenziale / Ricreativo			Industriale / Commerciale			Sotterranea		Superficiale	
	Suolo superficiale	Suolo profondo	Falda	Suolo superficiale	Suolo profondo	Falda	Suolo (eluato)	Falda	Suolo	Sfalda
1,2,3-Tricloropropano	1,07E-01			3,89E-01			1,42E-05		1,00E-06	
1,2-Diclorobenzene							1,42E+01			
Antracene										
Cadmio							5,09E+00		5,00E-03	
Esadibenzene	4,67E-01			1,70E+00			1,09E-01		1,00E-05	
Etilbenzene							1,46E+00		5,00E-02	

☒ Considera l'addittività delle sostanze

I LAS sono evidenziati solo se i rischi eccedono il massimo livello di rischio accettabile.

Suolo superficiale = LAS per il suolo superficiale (mg/Kg) s.s. Suolo = LAS per il suolo (mg/Kg) s.s. Suolo (eluato) = LAS per l'eluato (mg/l)

Suolo profondo = LAS per il suolo profondo (mg/Kg) s.s. Falda = LAS per la falda (mg/l) * DM471 Surrogato

[Visualizza dettagli addittività](#)

2.5.3.3 Raccomandazioni sull'uso pratico dei LAS

Nella valutazione delle tabelle riportanti i LAS, si consiglia il seguente approccio:

- stabilire la destinazione d'uso per cui si stanno definendo gli obiettivi di bonifica;
- la concentrazione residua per il suolo (superficiale e profondo) e per la falda dovrà essere uguale al valore minimo tra il LAS a protezione della salute umana e quello a protezione della risorse idriche (sotterranee e superficiali);
- per la protezione delle risorse idriche è preferibile l'utilizzo dei LAS dell'eluato del suolo (mg/l) al posto di quelli sulla sostanza secca (mg/kg s.s.), in quanto più rappresentativi della reali condizioni del sito;
- rischi non accettabili derivanti dal prodotto libero in galleggiamento comportano la rimozione del prodotto stesso (come detto, i LAS del prodotto non possono essere calcolati).

Il tipo di assunzioni ed i modelli propri dell'analisi di rischio di Livello 2 fanno sì che i LAS calcolati siano conservativi. Per tale motivo si ritiene che, nella maggior parte dei casi, i LAS calcolati per le sostanze prese singolarmente siano sufficientemente cautelativi per la salute pubblica.

L'uso dei LAS additivi dovrebbe essere valutato caso per caso, evitando che si ottenga una eccessiva sovrastima dei rischi, non rappresentativa dei rischi posti effettivamente dal sito.

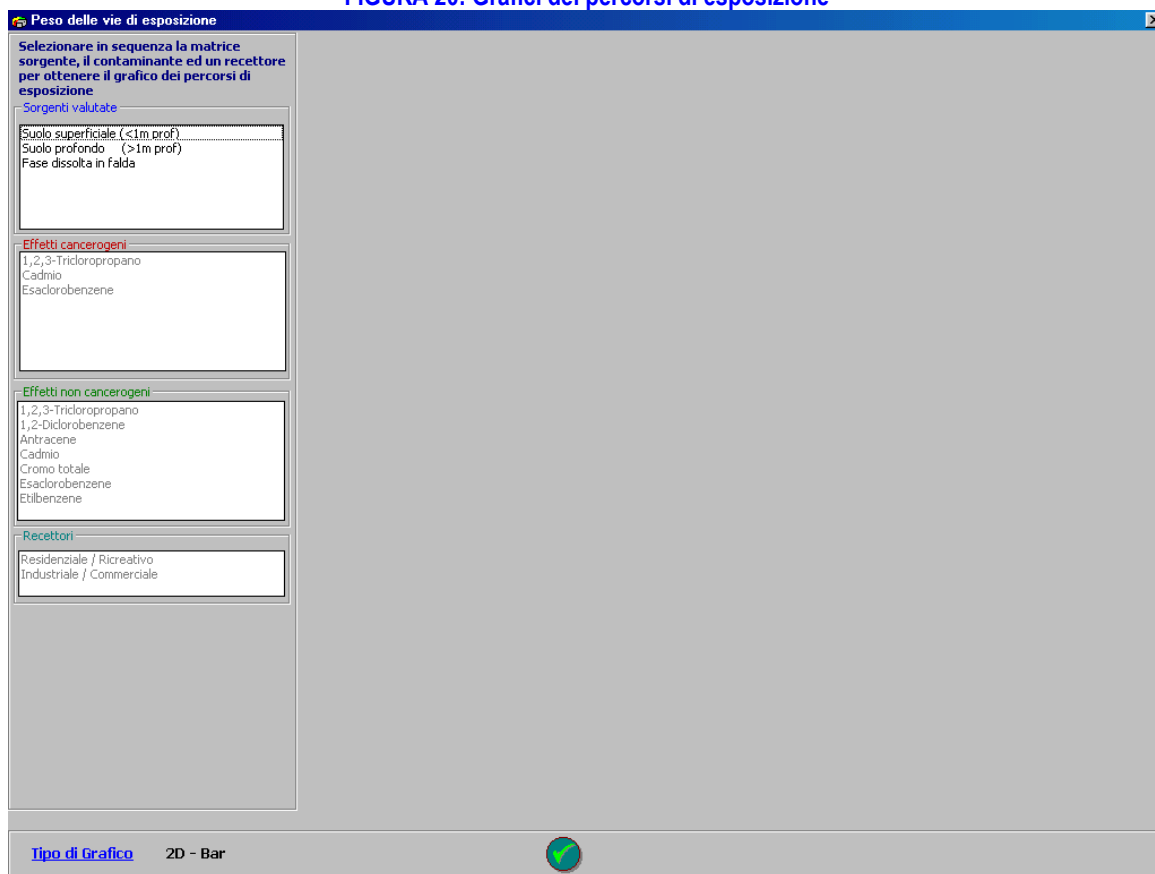
E' importante sottolineare che i LAS sono protettivi della salute dell'uomo e delle risorse idriche e che la definizione delle concentrazioni residue per un sito dovrebbe essere basata anche su considerazioni di natura non strettamente sanitaria, quali in particolare:

- il confronto con i livelli del fondo naturale locale;
- i criteri ecotossicologici, non considerati in ROME Ver. 2.1;
- altri criteri rilevanti (criteri estetici, l'odore, il sapore ed anche il colore) che in taluni casi possono concorrere a definire la contaminazione residua accettabile: per alcune sostanze presenti nelle acque, ad esempio per i Fenoli, i Cresoli, il Clorobenzene ed i Diclorobenzeni, la contaminazione residua accettabile viene valutata anche sulla base del sapore e dell'odore assunti dalle acque (paragrafo 3.1 dell'[Allegato 1](#)).

2.5.4 Grafici dei percorsi di esposizione

Selezionando l'icona "Grafici dei percorsi di esposizione" della barra principale del Menu, si accede alla rappresentazione grafica del peso dei singoli percorsi di esposizione rispetto al rischio totale per la salute dell'uomo ([Figura 20](#)).

FIGURA 20: Grafici dei percorsi di esposizione



L'utilizzo del tasto destro del mouse all'interno delle caselle incolonnate sul lato sinistro dello schermo, permette di selezionare le caratteristiche informazioni di interesse per il grafico che si vuole rappresentare. Queste caratteristiche di interesse riguardano:

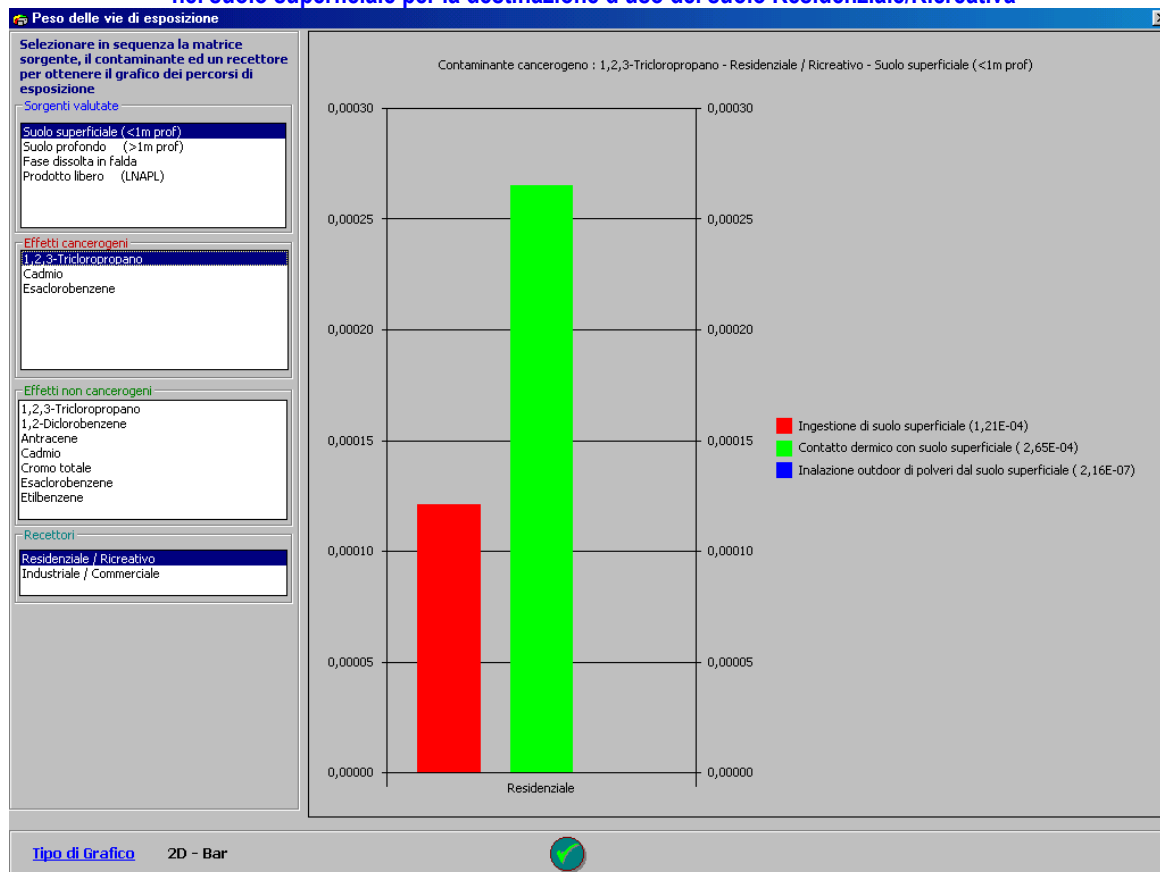
- nella prima casella: la sorgente (matrice ambientale contaminata), tra suolo superficiale, suolo profondo e fase dissolta in falda;
- nella seconda e nella terza casella: il contaminante, tra quelli di interesse per l'analisi di rischio, suddivisi tra quelli con "effetti cancerogeni" e quelli con "effetti non cancerogeni";
- nella quarta casella: i recettori umani, tra i residenti (destinazione d'uso Residenziale/Ricreativa) ed i lavoratori (Industriale/Commerciale).

Nella parte in basso della colonna, è inoltre possibile selezionare il "tipo di grafico", potendo scegliere tra l'istogramma bidimensionale, la torta bidimensionale e l'istogramma tridimensionale.

Per ciascun grafico, il titolo riassume le caratteristiche prescelte e la legenda illustra tutti i percorsi attivi per quelle caratteristiche, unitamente al valore del rischio calcolato (**Figura 21**).

Si noti che i percorsi con un contributo insignificante rispetto al rischio totale non sono visibili nel grafico e compaiono solo nella legenda.

FIGURA 21: Grafico del peso dei percorsi di esposizione sul rischio totale dell'1,2,3-Tricloropropano nel suolo superficiale per la destinazione d'uso del suolo Residenziale/Ricreativa



2.6 Stampa dei dati

L'opzione di stampa di ROME ver.2.1 è utilizzabile per stampare le principali tipologie di dati e di risultati dell'analisi del rischio. In particolare l'icona con la scritta "Stampa" è presente nelle seguenti schermate:

- Parametri dell'esposizione umana;
- Caratteristiche del sito;
- Parametri chimico-fisici;
- Parametri tossicologici;
- Analisi dei rischi per l'uomo (rischi cancerogeni e non cancerogeni);
- Analisi dei rischi per le risorse idriche sotterranee;
- Analisi dei rischi per le risorse idriche superficiali.

Per stampare è sufficiente selezionare la scritta "Stampa" e seguire le istruzioni.

Ogni schermata di ROME può essere inoltre salvata come immagine utilizzando la combinazione di tasti della tastiera "Alt" + "Stamp" ed incollata in diversi programmi, tra cui Microsoft Word e Power Point.

2.7 Uscita dal programma

Dalla schermata principale si esce da ROME selezionando l'icona "Esci" e rispondendo affermativamente alla successiva richiesta di conferma.

2.8 Tabelle

Tabella 1: Caratteristiche del sito

Parametri generali	Valore	Simbolo	Rif.
Velocità media del vento alla superficie del suolo (cm/s)	225	U_{air}	1
Altezza della zona di miscelazione dell'aria all'aperto (cm)	200	δ_{air}	1
Altezza degli edifici residenziali (cm)	200	LB (R)	1
Altezza degli edifici industriali (cm)	300	LB (I)	1
Tasso di ricambio d'aria in edifici residenziali (1/h)	0,504	ER (R)	1
Tasso di ricambio d'aria in edifici industriali (1/h)	0,828	ER (I)	1
Spessore di fondazioni/pareti degli edifici (cm)	15	L_{crack}	1
Frazione delle fratture per area (in fondazioni/pareti) (adim.)	0,01	n	1
Contenuto d'aria nelle fratture (adim.)	0,26	\emptyset_{acrack}	1
Contenuto d'acqua nelle fratture (adim.)	0,12	\emptyset_{wcrack}	1
Parametri della zona non satura			
Densità secca (g/cm ³)	1,7	ρ_s	1
Frazione di carbonio organico nella zona non satura (g-C/g-suolo)	0,01	F_{oc}	1
Profondità della contaminazione nel suolo superficiale (cm)	50	Ls(s)	2
Profondità della contaminazione nel suolo profondo (cm)	100	Ls(p)	2
Spessore della frangia capillare (cm)	5	h_{cap}	1
Spessore della zona non satura (cm)	295	h_v	= $L_{GW} - h_{cap}$
Contenuto d'aria nel suolo (adim.)	0,26	\emptyset_{as}	1
Contenuto d'acqua nel suolo (adim.)	0,12	\emptyset_{ws}	1
Porosità totale del suolo (adim.)	0,38	\emptyset_T	= $\emptyset_{as} + \emptyset_{ws}$
Contenuto d'aria in frangia capillare (adim.)	0,038	\emptyset_{acap}	1
Contenuto d'acqua in frangia capillare (adim.)	0,342	\emptyset_{wcap}	1
Frazione di particelle di suolo nella polvere (adim.)	1	F_{sd}	2
Concentrazione di polvere outdoor (mg/m ³)	0,07	PMo	4
Frazione di polvere indoor (adim.)	1	Fi	2
Concentrazione di polvere indoor (mg/m ³)	0,07	PMi	PMox Fi
Larghezza della sorgente perpendicolare alla direz. del vento (m)	15	W	2
Lunghezza della sorgente parallela alla direzione del vento (m)	15	LW	2
Largh. della sorgente perpendic. alla direz. di flusso della falda (m)	15	Swp	3
Lungh. della sorgente parallela alla direz. di flusso della falda (m)	15	L	1
Parametri della zona satura			
Densità secca dell'acquifero (g/cm ³)	1,7	ρ_s (sat)	3
Frazione di carbonio organico nella zona satura (g-C/g-suolo)	0,001	$F_{oc}(sat)$	3
Soggiacenza della falda (cm)	300	Lgw	1
Spessore saturo dell'acquifero (m)	10	esat	2
Spessore di acquifero contaminato dalla fase dissolta (m)	2,5	Sd	2
Profondità del prodotto libero (LNAPL) (cm)	400	Ls	1
Larghezza zona con prodotto (m)	10	Wp	3
Lunghezza zona con prodotto (m)	10	Lp	3
Spess. di acquifero contam. dal libero (LNAPL) (m)	1	Sp	2
Infiltrazione efficace (m/anno)	0,3	I	1
Conducibilità idraulica dell'acquifero (m/giorno)	13,7	K	3
Gradiente idraulico (adim.)	0,005	i	1
Porosità efficace dell'acquifero (adim.)	0,15	n_e	3
Dispersività longitudinale (cm)	10	a_l	3
Dispersività trasversale (cm)	3,3	a_t	3
Dispersività verticale (cm)	1	a_z	3
Distanza del punto di conformità dalla sorgente (m)	0,1	dist	2
Parametri della risorsa idrica superficiale			
Distanza dalla risorsa idrica superficiale (m)	100	dist (ris)	2
Concentrazione della risorsa idrica superf. a monte del sito (mg/l)	0	Cu	2
Portata della risorsa idrica superficiale a monte del sito (m ³ /s)	1	Qu	2
Portata della falda drenata dalla risorsa idrica superficiale (m ³ /s)	0,1	Qa	2

NB: in grassetto sono indicati i valori non modificabili

Riferimenti: 1) "RBCA" (ASTM, 1995); 2) Assunzione di tipo conservativo; 3) Valore medio di un sito italiano; 4) "RIVM Report" (valore utilizzato per calcolare gli "Intervention Values" delle Tabelle Olandesi)

Tabella 2: Parametri dell'esposizione umana

Parametro dell'esposizione umana	Adulti	Rif.	Bambini	Rif.	Lavoratori	Rif.
Peso corporeo (kg)	70	1,2	15	1	70	1,2
Durata dell'esposizione (anni)	24	1	6	1	25	1,2
Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	350	1,2	350	1	240	7
Lunghezza della vita (giorni)	25550	3	25550	3	25550	3
Tasso di ingestione di suolo (mg/giorno)	100	1,2	200	1	50	1,2
Superficie della pelle (cm ²)	17938	4	6381	4	17938	4
Frazione di pelle esposta (adim.)	0,2	3a	0,5	3	0,2	3
Fattore di aderenza (mg/cm ² - giorno)	1	3b	1	3b	1	3b
Tasso di inalazione indoor (m ³ /giorno)	15	1	6	3,6	8	3,6
Tasso di inalazione outdoor (m ³ /giorno)	5	1	3	3,6	2	3,6
Frazione di tempo spesa in sito (adim.)	1	5	1	5	1	5

Riferimenti bibliografici:

- 1 "Supplementary Risk Assessment Guidance for Superfund" (USEPA, 1989)
- 2 "Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites" (ASTM, 1995)
- 3 "Exposure Factors Handbook" (USEPA, 1996)
 - 3a: uguale all'uso industriale
 - 3b: valore medio tra il range fornito dall'USEPA
- 4 Calcolato dal peso corporeo (ICRP, 1975)
- 5 Assunzione di tipo conservativo
- 6 "RIVM Report" (valore utilizzato per calcolare gli "Intervention Values" delle Tabelle Olandesi)
- 7 "Air Quality Guidelines for Europe" (Organizzazione Mondiale della Sanità, 1987)

Tabella 3: Parametri chimico-fisici

Sostanze	CAS	MW (g/mole)	Rif.	H (adim.)	Rif.	Koc (*) (ml/g)	Rif.	Sol (mg/l)	Rif.	Dair (cm ² /s)	Rif.	Dwat (cm ² /s)	Rif.
1,1,1-Tricloroetano	71556	133,4	7	0,705	1	135	1g	1330	1	0,078	1	0,0000088	1
1,1,2,2-Tetracloroetano	79345	167,9	7	0,0182	7	74,1	7	2960	7	0,071	10	0,0000079	10
1,1,2-Tricloroetano	79005	133,4	7	0,0374	1	75	1g	4420	1	0,078	1	0,0000088	1
1,1-Dicloroetano	75343	99	7	0,23	1	53	1g	5060	1	0,0742	1	0,0000105	1
1,1-Dicloroetilene	75354	96,9	7	1,07	1	65	1g	2250	1	0,09	1	0,0000104	1
1,2,3-Tricloropropano	96184	147,4	7	0,0155	7	97,2	13	1900	7	0,0701	9	0,0000079	9
1,2,4,5-Tetraclorobenzene	95943	215,9	7	0,0494	7	1780	7	1,27	7	0,0521	14	0,00000622	15
1,2,4-Triclorobenzene	120821	181,5	7	0,0582	1	1660	1g	300	1	0,03	1	0,00000823	1
1,2-Dibromoetano	106934	187,9	7	0,0266	7	44	7	4150	7	0,0762	14	0,00000871	15
1,2-Diclorobenzene	95501	147	8	0,0779	1	379	1g	156	1	0,069	1	0,0000079	1
1,2-Dicloroetano	107062	99	7	0,0401	1	38	1g	8520	1	0,104	1	0,0000099	1
1,2-Dicloroetilene	540590	96,9	7	0,186	7	49	7	3500	7	0,0736	10	0,0000113	10
1,2-Dicloropropano	78875	113	7	0,115	10	47	10	2800	10	0,0782	10	0,00000873	10
1,2-Dinitrobenzene	528290	168,11	16	0,000902	9	94,3	7	1070	9	0,279	9	0,00000764	9
1,3-Diclorobenzene	541731	147	8	0,151	2	1700	2c	123	1	0,069	s	0,0000079	s
1,3-Dinitrobenzene	99650	168,11	16	0,000902	9	94,3	7	1070	9	0,279	9	0,00000764	9
1,4-Diclorobenzene	106467	147	8	0,0996	1	616	1g	73,8	1	0,069	1	0,0000079	1
2,3,4,6-Tetraclorofenolo	58902	213,9	7	0,000105	5	1580	5	1000	2	0,1	s	0,00001	s
2,4,6-Triclorofenolo	88062	197,5	7	0,000319	1	2000	2	800	1	0,0318	1	0,00000625	1
2,4-Diclorofenolo	120832	162,9	7	0,00013	1	380	2	4500	1	0,0346	1	0,00000877	1
2-Clorofenolo	95578	128,6	8	0,016	1	363	c	22000	1	0,0501	1	0,00000946	1
Acenaftene	83329	154,2	7	0,00636	1	4900	1g	4,24	1	0,0421	1	0,00000769	1
Acenaftilene	208968	150,2	7	0,0622	2	2500	2	3,93	2	0,1	d	0,00001	d
Acido Ftalico	88993	166,1	20	0,541	9	66,7	18	2000	9	0,064	9	0,0000068	9
Acrilammide	79061	71,1	7	5,83E-08	7	0,107	7	2050000	7	0,0817	14	0,00000996	15
Acrlonitrile	107131	53,1	7	0,00371	2c	0,85	2	79000	2	0,1	d	0,00001	d
Aldrin	309002	364,9	7	0,00697	1	48700	1g	0,18	1	0,0132	1	0,00000486	1
Alfa-esacloroetano	319846	290,9		0,000352		6920		1	7	0,0446	9	0,0000052	9
Anilina	62533	93,1	7	0,0000449	9	350	7	34000	9	0,0761	9	0,0000083	11
Antimonio	7440360					45	1	6000	9				
Antracene	120127	178,2	7	0,00267	1	23500	1g	0,0434	1	0,0324	1	0,00000774	1
Argento	7440224					8,3	1						
Arsenico	7440382					29	1	1000					
Atrazina	1912249	215,7	7	0,000000109	c	746	1	70	c	0,1	d	0,00001	d
Bario	7440393					41	1						
Benzene	71432	78,1	7	0,228	1	62	1g	1750	1	0,088	1	0,0000098	1
Benzo(a)antracene	56553	228,3	7	0,000137	1	358000	1g	0,0094	1	0,051	1	0,000009	1
Benzo(a)pirene	50328	252,3	7	0,0000463	1	969000	1g	0,00162	1	0,043	1	0,000009	1

Sostanze	CAS	MW (g/mole)	Rif.	H (adim.)	Rif.	Koc (*) (ml/g)	Rif.	Sol (mg/l)	Rif.	Dair (cm ² /s)	Rif.	Dwat (cm ² /s)	Rif.
Benzo(b)fluorantene	205992	252,3	7	0,00455	1	1230000	1c	0,0015	1	0,0226	1	0,00000556	1
Benzo(g,h,i)perilene	191242	268,4	7	0,00000224	2c	1600000	2	0,0007	2	0,1	d	0,00001	d
Benzo(k,j)fluorantene	205823	252,3	7	0,00000647	7	550000	7	0,0008	7	0,0226	10	0,00000556	10
Berillio	7440417					790	1	1700	9				
Beta-esacloroetano	319857	290,9	7	0,0000469	7	2290	7	0,1	7	0,0446	9	0,0000052	9
Bis(2-etilexil)ftalato	137893	390,5	8	0,00000418	1	111000	1g	0,34	1	0,0351	1	0,00000366	1
Bromodichlorometano	75274	163,8	13	0,0982	7	61	7	1500	7	0,0298	9	0,0000106	9
Cadmio	7440439					75	1	1700	9				
Cianuri liberi	57125	27	9	0,00000111	9	99	10	0,076	9	0,521	9	0,0000228	9
Clordano	57749	409,8	7	0,00199	1	51300	1g	0,056	1	0,0118	1	0,00000437	1
Clorometano	74873	50,5	7	0,395	7	4,29	7	5240	7	0,104	14	0,0000131	15
Cloronitrobenzeni	100005	157,6	8	0,000647	8	160	8	200	8	0,0315	9	0,00000937	9
Cloruro di vinile	75014	62,5	7	1,11	7	18,6	10	2760	7	0,106	10	0,00000123	10
Cobalto	7440484					60	5						
Crisene	218019	228,3	7	0,00388	1	398000	1c	0,0016	1	0,0248	1	0,00000621	1
Cromo (VI)	18540299					19	1						
Cromo totale	7440473					1200		0,005	19				
DDD	72548	320	7	0,000164	1	458000	1g	0,09	1	0,0169	1	0,00000476	1
DDE	72559	319	7	0,000861	1	86400	1g	0,12	1	0,0144	1	0,00000587	1
DDT	50293	354,5	7	0,000332	1	678000	1g	0,025	1	0,0137	1	0,00000495	1
Dibenzo(a,h)antracene	53703	278,4	7	0,000000603	1	1790000	1g	0,00249	1	0,0202	1	0,00000518	1
Dibenzo(a)pirene		278,4	7	0,00000308	7	1660000	7	0,00249	7	0,0202	10	0,00000518	10
Dibenzofuran	132649	168,2	7	0,000031	9	9120	9	10	9	0,0578	9	0,000006	9
Dibromodichlorometano	124481	208,3	9	0,00233	9	34,5	13	17300	9	0,025	9	0,00000757	9
Dichlorometano	75092	84,9		0,0898	1	10	1	13000	1	0,101	1	0,0000117	1
Dieldrin	60571	380,9	7	0,000619	1	25500	1g	0,195	1	0,0125	1	0,00000474	1
Difenilammina		169,2	7	0,0000142	7	365	7	300	7	0,0503	1	0,00000906	1
Endrin	72208	380,9	7	0,000308	1	10800	1g	0,25	1	0,0125	1	0,00000474	1
Eptaclor	76448	373,3	7	0,0344	1	9530	1g	0,18	1	0,0112	1	0,00000569	1
Esaclorobenzene	118741	284,8	7	0,0541	1	80000	1g	6,2	1	0,0542	1	0,00000591	9
Esaclorobutadiene	87683	260,76		0,334	1	295	t	3,23	1	0,0561	10	0,0000061	1
Etilbenzene	100414	106,2	7	0,323	1	204	1g	169	1	0,075	1	0,0000078	9
Fenantrene	85018	178,2	7	0,00668	2c	14000	2	1	2	0,1	d	0,00001	
Fenolo	108952	94,1	7	0,0000163	1	28,8	2c	82800	1	0,082	1	0,0000091	9
Ferro	7439896					165	5						
Fluorantene	206440	202,3	7	0,00066	1	49100	1g	0,206	1	0,0302	1	0,00000635	1
Fluorene	86737	166,2	7	0,00261	1	7710	1g	1,98	1	0,0363	1	0,00000788	1
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	193395	276,3	9	0,0000656	1	3470000	1c	0,000022	1	0,019	1	0,00000566	1
Isopropilbenzene (Cumene)	98828	120,2	7	0,211	3	2820	3	50	7	0,065	1	0,0000073	1

Sostanze	CAS	MW (g/mole)	Rif.	H (adim.)	Rif.	Koc (*) (ml/g)	Rif.	Sol (mg/l)	Rif.	Dair (cm ² /s)	Rif.	Dwat (cm ² /s)	Rif.
Lindano	58899	290,9	7	0,000574	1	1350	1g	6,8	1	0,0142	1	0,00000734	1
m,p-Anisidina	536903	123,2	16	0,00000175	9	6,73	18	130000	9	0,0565	9	0,00000893	9
Manganese	7439965					50	5						
Mercurio	7439976			0,47	1	5200	1	600	9	0,13	1	0,00000724	9
m-Metilfenolo	108394	108,15	8	0,0000369	7	34,7	7	22000	7	0,0613	14	0,00000717	15
Molibdeno	7439987					10	5						
Monoclorobenzene	108907	112,6	7	0,152	1	224	1g	472	1	0,073	1	0,0000087	1
Naftalene	91203	128,2	7	0,0198	1	1190	1g	31	1	0,059	1	0,0000075	1
Nichel	7440020					65	1						
Nitrobenzene	98953	123,1	8	0,000524	7	50,1	7	1900	7	0,076	10	0,0000086	10
o-Anisidina	90040	123,2	16	0,00000175	9	6,73	18	130000	9	0,0565	9	0,00000893	9
o-Metilfenolo	95487	108,15	8	0,0000631	7	21,9	7	26000	7	0,074	10	0,0000083	10
PCB	1336363	274	7	0,0445	1	530000	1	0,59	1	0,043	1	0,00000422	1
Pentaclorobenzene	608935	250,34		0,0316	t	31600	t	0,65	t	0,067	10	0,000009	10
Pentaclorofenolo	87865	266,3	2	0,000001	1	53000	2	1950	1	0,056	1	0,0000061	1
Piombo	7439921					55	5	12000					
Pirene	129000	202,3	7	0,000451	1	68000	1g	0,135	1	0,0272	1	0,00000724	1
p-Cloroanilina	106478	127,6	7	0,0000136	1	66,1	1	5300	1	0,0483	1	0,0000101	1
p-Metilfenolo	106445	108,15	8	0,0000264	7	49	7	20000	7	0,0644	14	0,0000768	15
p-Toluidina	106490	107,16	t	0,000328	t	25,1	t	7200	t	0,08	t	0,0000099	t
Rame	7440508					35	6						
Selenio	7782492					5	1						
Sommat. PCDD, PCDF(conv. T.E.)		322	7	0,00135	7	1100000	7	0,000019	7	0,1	d	0,00001	d
Stagno	7440315					50	17						
Stirene	100425	104,1	7	0,113	1	912	1g	310	1	0,071	1	0,000008	1
Tallio	7440280					59900	7						
Tetracloroetilene	127184	165,8	7	0,754	1	265	1g	200	1	0,072	1	0,0000082	1
Tetracloruro di Carbonio	56235	153,8	7	1,25	1	152	1g	793	1	0,078	1	0,0000088	1
Toluene	108883	92,1	7	0,272	1	140	1g	526	1	0,087	1	0,0000086	1
Tribromometano (bromoformio)	75252	252,8	7	0,0239	7	126	10	3100	7	0,0149	10	0,0000103	10
Tricloroetilene	79016	131,4	7	0,422	1	94	1g	1100	1	0,079	1	0,0000091	1
Triclorometano (Cloroformio)	67663	119,4	7	0,15	1	53	1g	7920	1	0,104	1	0,00001	1
Vanadio	7440622					1000	1						
Xilene (m)	108323	106,2	7	0,301	10	196	1c	161	7	0,07	10	0,0000078	10
Xilene (p)	106423	106,2	7	0,314	10	311	1c	185	7	0,0769	10	0,00000844	10
Xilene (o)	95476	106,2	7	0,213	10	241	1c	178	7	0,087	10	0,00001	10
Xileni	1330207	106,2	7	0,314	c	196	c	161	7	0,087	c	0,00001	c
Zinco	7440666					62	1						
Idrocarburi C<12 (Range delle Benzine)		78,1	21	0,228	21	620	21	1750	21	0,088	21	0,0000098	21

Sostanze	CAS	MW (g/mole)	Rif.	H (adim.)	Rif.	Koc (*) (ml/g)	Rif.	Sol (mg/l)	Rif.	Dair (cm ² /s)	Rif.	Dwat (cm ² /s)	Rif.
Idrocarburi C>12 (Range del Gasolio)		202,3	22	0,000451	22	68000	22	0,135	22	0,0272	22	0,00000724	22

(*) Kd per i metalli

Riferimenti bibliografici:

- 1 "Soil Screening Guidance: Technical Background Document" (USEPA, 1996)
- 1c "Soil Screening Guidance: Technical Background Document" (USEPA, 1996) - (calcolato)
- 1g "Soil Screening Guidance: Technical Background Document" (USEPA, 1996) - (media geometrica)
- 2 "Superfund Public Health Evaluation Manual" (USEPA, 1986)
- 2c "Superfund Public Health Evaluation Manual" (USEPA, 1986) - (calcolato)
- 3 "Groundwater Chemicals Desk Reference" (Montgomery, 1996)
- 4 "Selection of Representative TPH Fractions Based on Fate and Transport Considerations" (TPH Criteria working Group, Vol. III, 1997)
- 5 "Default Soil, Soil/Liquid Partition, Coefficients, Kds, for Major Soil Types: A Compendium" (Sheppard and Thibault, 1990)
- 6 "A Review and Analysis of Parameters for Assessing Transport of Environmental Released Radionuclides through Agriculture (Baes et Al., 1984)
- 7 Mackay, D., Wan-Ying, S., Kuo-Ching, M. 1997. "Illustrated Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals". CRP Press LLC
- 8 Croner's Substances Hazardous to the Environment. Croner Publications Ltd
- 9 US EPA CHEMDAT 8 Model
- 10 US EPA. 1996. "Technical Background Document for Soil Screening Guidance – Review Draft".
- 11 Calcolato dal volume molare di Le Bas, dopo Hayduk, W, e Laudie, H. 1974. Prediction of diffusion coefficients for non-electrolysis in dilute aqueous solutions. AIChE J 20,611-15
- c Calcolato da altri parametri
- d Valore di default (assumendo il caso peggiore - worst case)
- s Valore di un surrogato con caratteristiche simili
- 12 Howard, P.H. 1991. "Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals." Lewis Publishers, Michigan USA
- 13 Calcolato dalla solubilità e peso molare dopo Chiou, CT, Peters, LJ. and Freed, VH. 1979. "A physical concept of soil-water equilibria for non-ionic organic compounds." Science 206, 831-832
- 14 Calcolato da volume molare di le Bas e da peso molecolare dopo Fuller, EN, Schettler, PD, and Giddings, JC. 1966. "A new method for the prediction of binary gas-phase diffusion coefficients." Ind. En. Chem. 58, 19-27.
- 15 Calcolato dal volume molare di le Bas, dopo Hayduk, W, and Laudie, H. 1974. "Prediction of diffusion coefficients for non-electrolysis in dilute aqueous solutions." AIChE J20, 611-615.
- 16 Budavari, S. (Ed). 1989. "The Merck Index Eleventh Edition." Merck and Co., Inc., Rahway NJ, USA.
- 17 Spitz, K, and Moreno, o, J. 1996. A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modelling. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- 18 Calcolato dalla solubilità dopo Kenaga, EE and Goring, CAI. 1980. "Relationship between water solubility, soil sorption, octanol-water partitioning, and bioconcentration of chemicals in biota." Pubblicazione Tecnica Speciale 707. ASTM, Philadelphia, PA.
- 19 Hern, J.D. 1989. "Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water." USGS Water Supply Paper 2254. US Government Printing Office, Washington DC.
- 20 Sax, NI, and Irving R.J.L. 1989. Dangerous Properties of Industrial Materials, Seventh Edition. Van Nostrold Reinhold, New York
- t TAC 350.53 - Chemical/Physical Parameter Values (State of Texas).
- 21 Parametri del Benzene
- 22 Parametri del Pirene

Tabella 4: Parametri tossicologici

Sostanze	CAS	TDI ing. (*)	Rif.	TDI inal. (*)	Rif.	SF ing. (-)	Rif.	SF inal. (-)	Rif.
1,1,1-Tricloroetano	71556	0,6	W	0,6	r				
1,1,2,2-Tetracloroetano	79345	0,06	l	0,06	r	0,2	l	0,2	l
1,1,2-Tricloroetano	79005	0,004	l	0,004	r	0,06	l	0,06	l
1,1-Dicloroetano	75343	0,1	H	0,14	H				
1,1-Dicloroetilene	75354	0,009	l	0,009	r	0,6	l	0,2	l
1,2,3-Tricloropropano	96184	0,006	l	0,006	r	7	H	7	r
1,2,4,5-Tetraclorobenzene	95943	0,0003	l	0,0003	r				
1,2,4-Triclorobenzene	120821	0,01	l	0,01	r				
1,2-Dibromoetano	106934					85	l	0,77	l
1,2-Diclorobenzene	95501	0,09	l	0,04	H				
1,2-Dicloroetano	107062					0,09	l	0,09	l
1,2-Dicloroetilene	540590	0,009	H	0,009	r				
1,2-Dicloropropano	78875	0,00114	r	0,00114	l	0,068	H	0,068	r
1,2-Dinitrobenzene	528290	0,0004	l	0,0004	r				
1,3-Diclorobenzene	541731	0,03	l	0,03	r				
1,3-Dinitrobenzene	99650	0,0001	l	0,001	r				
1,4-Diclorobenzene	106467	0,23	r	0,23	l				
2,3,4,6-Tetraclorofenolo	58902	0,03	l	0,03	r				
2,4,6-Triclorofenolo	88062					0,01	l	0,01	l
2,4-Diclorofenolo	120832	0,003	l	0,003	r				
2-Clorofenolo	95578	0,005	l	0,005	r				
Acenaftene	83329	0,06	l	0,06	r				
Acenaftilene	208968	0,06	l	0,06	r				
Acido Ftalico	88993	1	H	1	r				
Acilammide	79061	0,0002	l	0,0002	r	4,5	l	4,5	l
Acilonitrile	107131	0,0006	l	0,0006	r	0,54	l	0,24	l
Alaclor	15972608	0,01	l	0,01	r	0,08	H	0,08	r
Aldrin	309002	0,00003	l	0,00003	r	17	l	17,15	l
Alfa-esacloroetano	319846					6,3	l	6,3	r
Anilina	62533	0,0003	r	0,0003	l	0,0057	l	0,0057	r
Antimonio	7440360	0,0004	l	0,0004	r				
Antracene	120127	0,3	l	0,3	r				
Argento	7440224	0,005	l	0,005	r				
Arsenico	7440382	0,0003	l	0,0003	r	1,5	l	15	l
Atrazina	1912249	0,035	l	0,035	r	0,22	H	0,22	r
Bario	7440393	0,07	l	0,07	r				
Benzene	71432			0,0017	E	0,029	l	0,029	l
Benzo(a)antracene	56553					0,7	E	0,6	E
Benzo(a)pirene	50328					7,3	l	6,1	E
Benzo(b)fluorantene	205992					0,7	E	0,6	E
Benzo(g,h,i)perilene	191242	0,03	b	0,03	b				
Benzo(k,j)fluorantene	205823					0,073	l	0,031	l
Berillio	7440417	0,002	l	0,000006	r	4,3	l	8,4	l
Beta-esacloroetano	319857					1,8	l	1,8	r
Bis(2-etilexil)ftalato	137893	0,02	l	0,02	r	0,014	l	0,014	r
Bromodiclorometano	75274	0,02	l	0,02	r	0,062	l	0,062	r
Cadmio	7440439	0,001	l	0,001	r			6,3	l
Cianuri liberi	57125	0,02	l	0,02	r				
Clordano	57749	0,0005	l	0,0025	r	0,35	l	0,35	l
Clorometano	74873			0,086	l	0,013	l	0,0035	l
Cloronitrobenzeni	100005					0,025	H	0,025	r
Cloruro di vinile	75014					1,9	H	0,3	H
Cobalto	7440484	0,06	E	0,00029	E				

Sostanze	CAS	TDI ing. (*)	Rif.	TDI inal. (*)	Rif.	SF ing. (-)	Rif.	SF inal. (-)	Rif.
Crisene	218019	0,03	b	0,03	r	0,007	E	0,006	E
Cromo (VI)	18540299	0,003	l	0,00003	l			41	H
Cromo totale	7440473	1,5	l	1,5	r				
DDD	72548	0,0005	l	0,0005	r	0,24	l	0,24	l
DDE	72559	0,0005	l	0,0005	r	0,34	l	0,34	l
DDT	50293	0,0005	l	0,0005	r	0,34	l	0,34	l
Dibenzo(a,h)antracene	53703					7,3	E	6,1	E
Dibenzo(a)pirene	189640					120	O	39	O
Dibenzofuran	132649	0,004	E	0,004	r				
Dibromoclorometano	124481	0,02	l	0,02	r	0,084	l	0,084	r
Diclorometano	75092	0,06	l	0,06	r	0,008	l	0,002	l
Dieldrin	60571	0,00005	l	0,00005	r	16	l	16	l
Difenilammina	122394	0,025	l	0,025	r				
Endrin	72208	0,0003	l	0,0003	r				
Eptaclor	76448	0,0005	l	0,0005	r	4,5	l	4,6	l
Esaclorobenzene	118741	0,0008	l	0,0008	r	1,6	l	1,6	l
Esaclorobutadiene	87683	0,0002	H	0,0002	r	0,078	l	0,078	l
Etilbenzene	100414	0,1	l	0,3	l				
Fenantrene	85018	0,03	b	0,03	b				
Fenolo	108952	0,6	r	0,6	l				
Ferro	7439896	0,8	W	0,8	r				
Fluorantene	206440	0,04	l	0,04	r				
Fluorene	86737	0,04	l	0,04	r				
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	193395	0,03	b	0,03	r	0,7	E	0,6	E
Isopropilbenzene (Cumene)	98828	0,1	l	0,11	l				
Lindano	58899	0,0003	l	0,0003	r				
m,p-Anisidina	536903	0,007	ASL	0,007	r				
Manganese	7439965	0,14	l	0,000014	l				
Mercurio	7439976	0,0003	H	0,00009	l				
m-Metilfenolo	108394	0,05	l	0,05	r				
Molibdeno	7439987	0,005	l	0,005	r				
Monoclorobenzene	108907	0,02	l	0,006	H				
Naftalene	91203	0,04	T	0,05	T				
Nichel	7440020	0,02	l	0,02	r				
Nitrobenzene	98953	0,0005	l	0,0006	A				
o-Anisidina	90040	0,004	TRI	0,00006	TRI	0,14	CRI	0,14	CRI
o-Metilfenolo	95487	0,05	l	0,05	r				
PCB	1336363					7,7	l	7,7	r
Pentaclorobenzene	608935	0,0008	l	0,0008	r				
Pentaclorofenolo	87865	0,03	l	0,03	r	0,12	l	0,12	r
Piombo	7439921	0,0035	W	0,0035	r				
Pirene	129000	0,03	l	0,03	r				
p-Cloroanilina	106478	0,004	l	0,004	r				
p-Metilfenolo	106445	0,005	H	0,005	r				
p-Toluidina	106490					0,19	H	0,19	r
Rame	7440508	0,04	H	0,5	r				
Selenio	7782492	0,005	l	0,005	r				
Sommatoria PCDD, PCDF(conv. T.E.)	1746016					150000	l	0,12	l
Stagno	7440315	0,6	H	0,6	r				
Stirene	100425	0,2	l	0,29	l				
Tallio	7440280	0,00008	l	0,00008	r				
Tetracloroetilene	127184	0,01	l	0,01	r	0,05	l	0,002	l
Tetracloruro di Carbonio	56235	0,0007	l	0,0007	r	0,13	l	0,05	l
Toluene	108883	0,2	l	0,1	l				

Sostanze	CAS	TDI ing. (*)	Rif.	TDI inal. (*)	Rif.	SF ing. (-)	Rif.	SF inal. (-)	Rif.
Tribromometano (bromoformio)	75252	0,02	I	0,02	r	0,0079	I	0,0039	I
Tricloroetilene	79016	0,006	E	0,006	r	0,01	I	0,002	E
Triclorometano (Cloroformio)	67663	0,01	I	0,01	r	0,006	I	0,08	I
Vanadio	7440622	0,007	H	0,007	r				
Xilene (m)	108323	0,2	W	0,2	r				
xilene (p)	106423	0,2	W	0,2	r				
xilene (o)	95476	0,2	W	0,2	r				
Xileni	1330207	2	I	2	r				
Zinco	7440666	0,3	I	0,3	r				
Idrocarburi C<12 (Range delle Benzine)		0,2	T	0,114	T				
Idrocarburi C>12 (Range del Gasolio)		0,04	T	0,06	T				

(*) = mg/kg-giorno ; (-) = kg-giorno/mg

Riferimenti bibliografici:

H	"Health Effects Assessment Summary Table" (HEAST)
I	"IRIS Database" (USEPA, 1996)
E	Altri dati USEPA
T	"TPH Criteria Working Group" (1997)
W	"Drinking Water Guidelines" (WHO, 1993)
b	Basato sul valore del Pirene
r	Estrapolazione sulla base del valore di ingestione o di inalazione
A	"Agency for Toxic Substances and Disease Registry" (ATSDR, 1999).
HC	"Health Canada".
ASL	"A.S.L. Città di Milano" – Ex A.S.L. n. 38 – Presidio Multizonale di Igiene e Prevenzione - Unità Operativa chimica.
TRI	"US EPA 1997". TRI (Toxics Release Inventory).
CRI	"Californian EPA Office of Environmental Health Hazard Assessment. Criteria for Carcinogens 11", 1994.
O	"Technical Support Document for Describing Available Cancer Potency Factors" (OEHHA, 1999)

Tabella 5: Limiti di accettabilità generici (LAG)

Sostanze	LAG RES (mg/kg s.s.)	LAG IND (mg/kg s.s.)	LAG con protez.falda (mg/kg s.s.)
1,1,1-Tricloroetano	27	336	454
1,1,2,2-Tetracloroetano	0,2	1,7	0,00055
1,1,2-Tricloroetano	0,3	2,6	0,002
1,1-Dicloroetano	8,4	105	7
1,1-Dicloroetilene	0,003	0,06	0,0006
1,2,3-Tricloropropano	0,008	0,07	0,000014
1,2,4,5-Tetraclorobenzene	2,5	23	0,44
1,2,4-Triclorobenzene	106	1160	43
1,2-Dibromoetano	0,01	0,06	0,000007
1,2-Diclorobenzene	46	569	14
1,2-Dicloroetano	0,07	0,7	0,018
1,2-Dicloroetilene	0,6	7,8	0,5
1,2-Dicloropropano	0,05	0,5	0,001
1,2-Dinitrobenzene	2,2	25,4	0,2
1,3-Diclorobenzene	73	892	254
1,3-Dinitrobenzene	5,4	63,5	0,05
1,4-Diclorobenzene	93	340	0,04
2,3,4,6-Tetraclorofenolo	997	8650	236
2,4,6-Triclorofenolo	219	809	1,4
2,4-Diclorofenolo	98	857	5,8
2-Clorofenolo	30	353	9
Acenaftene	208	208	208
Acenaftilene	99	99	99
Acido Ftalico	38	478	412
Acilammide	0,36	1,6	0,0001
Acilonitrile	0,05	0,5	0,002
Alaclor	28	102	0,002
Aldrin	0,13	0,5	0,2
Alfa-esacloroetano	0,35	1,3	0,094
Anilina	9,9	86	0,5
Antimonio	30	551	3
Antracene	10	10	10
Argento	377	6890	1,1
Arsenico	3,7	24	4
Atrazina	10	37	0,03
Bario	5270	96400	1420
Benzene	0,07	0,7	0,01
Benzo(a)antracene	3,2	12	4,9
Benzo(a)pirene	0,3	1,1	1,3
Benzo(b)fluorantene	3,2	11,6	16,7
Benzo(g,h,i)perilene	11	11	2,2
Benzo(k,j)fluorantene	4,4	4,4	3,7
Berillio	1,35	9	43
Beta-esacloroetano	1,2	2,3	0,03
Bis(2-etilexil)ftalato	160	377	377
Bromodiclorometano	0,23	2,1	0,0016
Cadmio	75	757	5,1
Cianuri liberi	0,08	0,08	0,08
Clordano	6,4	23,3	0,7
Clorometano	0,07	0,7	0,0035
Cloronitrobenzeni	60	276	0,01
Cloruro di vinile	0,0007	0,007	0,003
Cobalto	2900	31000	40
Crisene	6,4	6,4	6,4
Cromo (VI)	27	116	1,3
Cromo totale	113000	2070000	814
DDD	9,3	34	6,2
DDE	6,6	24	1,2
DDT	6,6	24	9,2

Sostanze	LAG RES (mg/kg s.s.)	LAG IND (mg/kg s.s.)	LAG con protez.falda (mg/kg s.s.)
Dibenzo(a,h)antracene	0,3	1,1	2,4
Dibenzo(a)pirene	0,02	0,07	1,6
Dibenzofuran	135	913	181
Dibromoclorometano	4,2	32	0,0007
Diclorometano	0,6	5,7	0,27
Dieldrin	0,14	0,5	0,1
Difenilamina	830	1120	46
Endrin	10	27	0,15
Eptaclor	0,4	1,7	0,25
Esaclorobenzene	1,2	4,8	0,1
Esaclorobutadiene	0,05	0,6	0,006
Etilbenzene	42,5	365	1,5
Fenantrene	140	140	140
Fenolo	18100	29700	106
Ferro	60300	110000	448
Fluorantene	101	101	101
Fluorene	153	153	153
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	0,8	0,8	0,8
Isolpropilbenzene (Cumene)	329	1420	1400
Lindano	9,9	87	0,02
m,p-Anisidina	210	1880	0,5
Manganese	376	2360	34
Mercurio	0,12	1,5	0,7
m-Metilfenolo	1480	9190	10
Molibdeno	377	6890	25
Monoclorobenzene	2	25	1,3
Naftalene	371	371	237
Nichel	1510	27500	17,6
Nitrobenzene	7,5	79	0,03
o-Anisidina	13	54	0,01
o-Metilfenolo	1220	7530	7,2
PCB	0,3	1	0,7
Pentaclorobenzene	24	206	21,4
Pentaclorofenolo	18,5	68	3,6
Piombo	264	4820	7,5
Pirene	92	92	92
p-Cloroanilina	130	1130	1,45
p-Metilfenolo	131	1220	1,4
p-Toluidina	2,8	19,4	0,0015
Rame	3020	55550	476
Selenio	377	6890	0,7
Somm. PCDD,PCDF (conv. T.E.)	0,000015	0,00005	0,0006
Stagno	45200	826000	14900
Stirene	496	2850	3,1
Tallio	6	110	1620
Tetracloroetilene	0,84	10	0,04
Tetracloruro di Carbonio	0,02	0,2	0,16
Toluene	10,3	129	0,3
Tribromometano (bromoformio)	48	355	0,0054
Tricloroetilene	0,3	4	0,022
Triclorometano (Cloroformio)	0,02	0,13	0,0013
Vanadio	527	9640	3470
xilene (m)	31,6	334	206
xilene (p)	43	535	0,4
xilene (o)	43,4	447	249
Xileni	244	335	335
Zinco	22600	413000	2530
Idrocarburi C<12 (Range delle Benzine)	0,16	2	229
Idrocarburi C>12 (Range del Gasolio)	89	89	89

TABELLA 6: Intervalli plausibili del valore dei parametri e loro rispettiva influenza sul calcolo dei LAS

Simbolo	Parametri	Percorsi Interessati	Campi d'azione	Influenza su LAS
α_1	Dispersività longitudinale	Migrazione contaminazione in falda	1 – 100 m	Medio/alta
α_1/α_t	Rapporto tra dispersività longitudinale e trasversale	Migrazione contaminazione in falda	3 – 10	Medio/alta
α_1/α_z	Rapporto tra dispersività longitudinale e verticale	Migrazione contaminazione in falda	10 – 100	Medio/alta
δ_{air}	Altezza della zona di ricambio dell'aria negli edifici	Inalazione outdoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione outdoor di vapori dal suolo	100 – 250 cm	Bassa
η	Frazione delle fratture per area	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione indoor di vapori dal suolo	0,001 – 0,1 cm ² -fratture / cm ² -area totale	Bassa
θ_{acap}	Contenuto d'aria nella frangia capillare	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione outdoor di vapori dalla falda acquifera	0,05 – 0,40 cm ³ -aria/cm ³ -suolo	Media
θ_{acrack}	Contenuto di aria nelle fondazioni / pareti	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione indoor di vapori dal suolo	0,05 – 0,40 cm ³ -aria/cm ³ -volume totale	Bassa
θ_{as}	Contenuto d'aria nella zona insatura	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione outdoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione indoor di vapori dal suolo Inalazione outdoor di vapori dal suolo Infiltrazione di acque contaminate dal suolo verso la falda	0,05 – 0,40 cm ³ -aria / cm ³ -suolo	Alta
θ_{ws}	Contenuto idrico nella zona insatura	Inalazione di vapori interni dalla falda acquifera Inalazione di vapori esterni dalla falda acquifera Inalazione di vapori interni dal terreno Inalazione di vapori esterni dal terreno Infiltrazione di acque contaminate dal suolo verso la falda	0,05 – 0,40 cm ³ -H ₂ O / cm ³ -suolo	Alta
θ_T	Porosità totale del suolo	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione outdoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione indoor di vapori dal suolo Inalazione outdoor di vapori dal suolo	0,25 – 0,70 cm ³ /cm ³ -suolo	Bassa
θ_{wcap}	Contenuto idrico nella frangia capillare	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione outdoor di vapori dalla falda acquifera	0,05 – 0,40 cm ³ -H ₂ O/cm ³ -suolo	Media
θ_{wcrack}	Contenuto idrico nelle fondazioni / pareti	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione indoor di vapori dal suolo	0,05 – 0,40 cm ³ -H ₂ O/cm ³ -volume totale	Bassa
ρ_s	Densità secca del non saturo	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione outdoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione indoor di vapori dal suolo Inalazione outdoor di vapori dal suolo Infiltrazione di acque contaminate dal suolo verso la falda	1,0 – 3,0 g/cm ³	Bassa
$\rho_{s(sat)}$	Densità secca del saturo	Migrazione contaminazione in falda	1,0 – 3,0 g/cm ³	Bassa
A	Area della sorgente	Inalazione outdoor di vapori dal suolo	> 1 m ²	Alta
da	Profondità della sorgente di contaminazione nella falda	Infiltrazione di acque contaminate dal suolo verso la falda	> 1 m	Media
esat	Spessore saturo dell'acquifero	Infiltrazione di acque contaminate dal suolo verso la falda Migrazione contaminazione in falda	> 1 m	Alta
dist	Distanza del punto di conformità dalla sorgente	Migrazione contaminazione in falda	1 – 1000 m	Alta
ER	Ricambio d'aria negli edifici	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione indoor di vapori dal suolo	0,25 – 60/hr	Alta
F _{oc}	Frazione di carbone organico nella zona insatura	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione outdoor di vapori dalla falda acquifera	0,0001 – 0,03 g-C/g-suolo	Alta

Simbolo	Parametri	Percorsi Interessati	Campi d'azione	Influenza su LAS
		Inalazione indoor di vapori dal suolo Inalazione outdoor di vapori dal suolo Infiltrazione di acque contaminate dal suolo verso la falda		
Foc(sat)	Frazione di carbonio organico nella zona satura	Migrazione contaminazione in falda	0,0001 – 0,03 g-C/g-suolo	Alta
h_{cap}	Spessore della frangia capillare	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione outdoor di vapori dalla falda acquifera	0 – 2 m	Alta
H_v	Spessore della zona insatura	Inalazione indoor di vapori dalla falda Inalazione outdoor di vapori dalla falda	> 1 m	Media
i	Gradiente idraulico	Infiltrazione di acque contaminate dal suolo verso la falda Migrazione contaminazione in falda	0,001 – 0,02	Alta
I	Infiltrazione efficace	Infiltrazione di acque contaminate dal suolo verso la falda	10 – 1000 mm/anno	Alta
K	Conducibilità idraulica	Infiltrazione di acque dal suolo verso la falda Migrazione contaminazione in falda	0,00001 – 0,001 m/s	Alta
La	Lunghezza della sorgente parallela al flusso della falda	Infiltrazione di acque contaminate dal suolo verso la falda	> 1 m	Alta
L _B	Altezza dell'edificio	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione indoor di vapori dal suolo	100 – 300 cm	Media
L _b	Rapporto tra volume/area di infiltrazione negli edifici	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione indoor di vapori dal suolo		
L _{crack}	Spessore delle fondazioni o delle pareti negli edifici	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione indoor di vapori dal suolo	10 – 30 cm	Bassa
L _{gw}	Soggiacenza della falda	Inalazione indoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione outdoor di vapori dalla falda acquifera	> 1 m	Media
L _p	Profondità della contaminazione nel suolo profondo	Inalazione indoor di vapori dal suolo Inalazione outdoor di vapori dal suolo	> 1 m	Media
L _s	Profondità della contaminazione nel suolo superficiale	Inalazione indoor di vapori dal suolo Inalazione outdoor di vapori dal suolo Ingestione di suolo Contatto dermico con il suolo Inalazione di polveri	0 – 1 m	Media
n _e	Porosità efficace dell'acquifero	Migrazione contaminazione in falda	0,001 – 0,3	Alta
U _{air}	Velocità media del vento alla superficie del suolo	Inalazione outdoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione outdoor di vapori dal suolo	0 – 20 m/s	Media
W	Larghezza della sorgente parallela alla direzione del vento	Inalazione outdoor di vapori dalla falda acquifera Inalazione outdoor di vapori dal suolo	>1 m	Media
w	Larghezza della sorgente parallela al flusso della falda	Migrazione contaminazione in falda	> 1 m	Media

Tabella 7: Organi bersaglio sui quali le sostanze agiscono

Sostanze	Effetto / Organi bersaglio
1,1,1-Tricloroetano	nn
1,1,2,2-Tetracloroetano	Cancerogeno
1,1,2-Tricloroetano	Cancerogeno, Fegato
1,1-Dicloroetano	Reni
1,1-Dicloroetilene	Cancerogeno, Fegato
1,2,3-Tricloropropano	Cancerogeno, Fegato, Mortalità, Peso corporeo, Reni
1,2,4,5-Tetraclorobenzene	Reni
1,2,4-Triclorobenzene	Ghiandole surrenali, Peso corporeo
1,2-Dibromoetano	Cancerogeno
1,2-Diclorobenzene	Peso corporeo
1,2-Dicloroetano	Cancerogeno
1,2-Dicloroetilene	Fegato, Sangue
1,2-Dicloropropano	Cancerogeno, Cavità nasali
1,2-Dinitrobenzene	Milza
1,3-Diclorobenzene	nn
1,3-Dinitrobenzene	Milza
1,4-Diclorobenzene	Fegato
2,3,4,6-Tetraclorofenolo	Fegato
2,4,6-Triclorofenolo	Cancerogeno
2,4-Diclorofenolo	Sistema immunitario
2-Clorofenolo	Riproduzione
Acenaftene	Fegato
Acenaftilene	Fegato, Peso corporeo
Acido Ftalico	nn
Acrilammide	Cancerogeno, Apparato neurologico
Acrilonitrile	Cancerogeno, Cavità nasali, Riproduzione
Alaclor	Cancerogeno, Sangue
Aldrin	Cancerogeno, Fegato
Alfa-esacloroetano	Cancerogeno
Anilina	Cancerogeno, Sangue
Antimonio	Mortalità, Sangue
Antracene	nn
Argento	Pelle
Arsenico	Cancerogeno, Sistema cardiovascolare, Pelle
Atrazina	Cancerogeno, Peso corporeo
Bario	Sistema cardiovascolare
Benzene	Cancerogeno
Benzo(a)antracene	Cancerogeno
Benzo(a)pirene	Cancerogeno
Benzo(b)fluorantene	Cancerogeno
Benzo(g,h,i)perilene	Apparato neurologico
Benzo(k,j)fluorantene	Cancerogeno
Berillio	Cancerogeno, Apparato gastrointestinale, Apparato respiratorio
Beta-esacloroetano	Cancerogeno
Bis(2-etilexil)ftalato	Cancerogeno, Fegato
Bromodichlorometano	Cancerogeno, Reni
Cadmio	Cancerogeno, Reni
Cianuri liberi	nn
Clordano	Cancerogeno, Fegato
Clorometano	Cancerogeno
Cloronitrobenzeni	Cancerogeno
Cloruro di vinile	Cancerogeno
Cobalto	Sist. cardiovascolare, Sist. immunitario, App. neurologico, Riproduz.
Crisene	Cancerogeno
Cromo (VI)	Cancerogeno, Apparato respiratorio
Cromo totale	nn
DDD	Cancerogeno
DDE	Cancerogeno
DDT	Cancerogeno, Fegato

Sostanze	Effetto / Organi bersaglio
Dibenzo(a,h)antracene	Cancerogeno
Dibenzo(a)pirene	Cancerogeno
Dibenzofuran	nn
Dibromoclorometano	Cancerogeno, Fegato
Diclorometano	Cancerogeno, Fegato
Dieldrin	Cancerogeno, Fegato
Difenilammina	nn
Endrin	Fegato
Eptaclor	Cancerogeno, Fegato
Esaclorobenzene	Cancerogeno, Fegato
Esaclorobutadiene	Cancerogeno
Etilbenzene	Fegato, Reni, Sviluppo
Fenantrene	Reni
Fenolo	Sviluppo
Ferro	Apparato gastrointestinale, Sangue
Fluorantene	Fegato, Reni, Sangue
Fluorene	Sangue
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	Cancerogeno
Isopropilbenzene (Cumene)	Ghiandole surrenali, Reni
Lindano	Fegato, Reni
m,p-Anisidina	nn
Manganese	Apparato neurologico
Mercurio	Apparato neurologico
m-Metilfenolo	Apparato neurologico, Peso corporeo
Molibdeno	nn
Monoclorobenzene	Fegato
Naftalene	Cavità nasali
Nichel	Peso corporeo
Nitrobenzene	Fegato, Ghiandole surrenali, Reni, Sangue
o-Anisidina	Cancerogeno
o-Metilfenolo	Apparato neurologico, Peso corporeo
PCB	Cancerogeno
Pentaclorobenzene	Fegato, Reni
Pentaclorofenolo	Cancerogeno, Fegato, Reni
Piombo	Apparato neurologico
Pirene	Reni
p-Cloroanilina	Nn
p-Metilfenolo	Apparato neurologico, Apparato respiratorio
p-Toluidina	Cancerogeno
Rame	Cancerogeno
Selenio	Apparato gastrointestinale
Sommatoria PCDD, PCDF	Apparato neurologico, Pelle
Stagno	Cancerogeno
Stirene	Fegato, Reni
Tallio	Fegato, Apparato neurologico, Sangue
Tetracloroetilene	Nn
Tetracloruro di Carbonio	Cancerogeno, Fegato, Pelle
Toluene	Cancerogeno, Fegato
Tribromometano (bromoformio)	Fegato, Apparato neurologico, Reni
Tricloroetilene	Cancerogeno, Fegato
Triclorometano (Cloroformio)	Cancerogeno
Vanadio	Cancerogeno, Fegato
Xilene (m)	nn
Xilene (p)	nn
Xilene (o)	nn
Xileni	nn
Zinco	Mortalità, App. neurol., Peso corporeo
Idrocarburi C<12 (Range delle Benzine)	nn
Idrocarburi C<12 (Range del Gasolio)	nn

Tabella 8: Concentrazioni accettabili per le acque superficiali stabilite dal D.Lgs 152/99

Sostanze	Concentrazioni (mg/l) Categoria A1	Note
Arsenico	0.01	1
Bario	0.1	2
Cadmio	0.001	1
Cianuri liberi	0.05	2
Cromo totale	0.05	2
Fenolo	0.001	2
Ferro	0.1	1
Manganese	0.05	1
Mercurio	0.0005	1
Piombo	0.05	2
Rame	0.02	1
Selenio	0.01	2
Zinco	0.5	1

Legenda

- 1 = Valore guida;
2 = Valore imperativo.

2.9 Bibliografia

1. ACGIH (1994) - "Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices". American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
2. AIHC (1994) - "Exposure Factors Sourcebook". American Industrial Health Council.
3. ANPA (1998) - "Criteri per la definizione dei Limiti di Accettabilità Generici (LAG) della contaminazione dei suoli e delle acque sotterranee e superficiali". Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente - RTI 1/98 AMB-COAB.
4. ANPA (1999) - ROME ver. 01 - Manuale per l'utilizzo del software per l'analisi di rischio, Roma.
5. ASTM (1995) - "Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites". American Society for Testing and Materials. Standard Guide E1739-95.
6. ASTM (1998) - "Standard Provisional Guide for Risk-Based Corrective Action". PS104-98.
7. ATSDR (1999) - "Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
8. Baes C.F., Sharp R.D., Sjoreen and Shor R.W. (1984) - "A Review and Analysis of Parameters for Assessing Transport of Environmentally Released Radionuclides through Agriculture". ORNL-5786.
9. Budavari S. (1989) - "The Merck Index Eleventh Edition" Merck and Co., Inc, Rahway NJ, USA.
10. Californian EPA Office of Environmental Health Hazard Assessment. Criteria for Carcinogens 11 (1994).
11. CARACAS (1997) - "Basic Information Report. 1st Project Year." Concerted Action on Risk Assessment for Contaminated Sites in European Union, funded by European Commission under the Environment and Climate Programme.
12. CARACAS (1998) - "Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe - Volume 1: Scientific Basis" LQM Press - Nottingham (UK).
13. C.R.I. (1994) - "California EPA Office of Environmental Health hazard Assessment Criteria for carcinogens 11".
14. CARACAS (1999) - "Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe - Volume 2: Policy Frameworks" LQM Press - Nottingham (UK)
15. CONCAWE (1997) - "European Oil Industry Guideline for Risk-Based Assessment of Contaminated Sites". The Oil Companies' European Organization for Environment, Health and Safety, Report No. 2/97, Brussels.
16. Decreto Legislativo del Governo (1999) - "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole" D. Lgs. n° 152 del 11/05/1999.
17. Domenico P.A. (1987) - "An analytical model for multidimensional transport of a decaying contaminant species." J. Hydrology, Vol.91, p.49-58.
18. FDEP (1999) - "Technical Report: Development of Soil Cleanup Target Levels (SCTLs) for Chapter 62-777, F.A.C. - Division of Waste Management Florida Department of Environmental Protection - Final Report, May 26, 1999 - CEHT/TR-99-01.
19. HEAST - "Health Effects Assessment Summary Table"
20. Heath, J.S., Koblis, K. and Sager, S.L. (1993) - "Review of Chemical, Physical, and Toxicologic Components of Total Petroleum Hydrocarbons". Journal of Soil 2, 1-25.
21. Hern J.D. (1989) - "Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water". USGS Water Supply Paper 2254 - US Government Printing Office, Washington DC.
22. Howard, P.H. (1991) - "Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals" - Lewis Publisher, Michigan USA.
23. ICRP (1975) - "Report of the Task Group on Reference Man". International Commission on Radiological Protection.
24. Mackay, D., Wan-Ying, S.Kuo Ching, M. (1997) - "Illustrated Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals" CRP Press LLC.
25. Ministero dell'Ambiente (1999) - Decreto Ministeriale 25 ottobre 1999, n. 471 "Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica ed il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n.22, e successive modificazioni ed integrazioni", G.U.R.I. n.293 del 15 dicembre 1999.
26. Montgomery (1996) - "Groundwater Chemicals Desk Reference"
27. NAS (1983) "Risk assessment in the Federal Government: Managing the process, US National Academy of Sciences.
28. OEHH (1999) - "Technical Support Document for Describing Available Cancer Potency Factors".
29. OMS (1987) - "Air Quality Guidelines for Europe". Organizzazione Mondiale della Sanità, Copenhagen.
30. OMS (1993) - "Guideline for Drinking Water Quality". Organizzazione Mondiale della Sanità.
31. ORNL (1995) - "Toxicological Benchmarks for Potential Contaminants of Concern for Effects on Soil and Litter Invertebrates and Heterotrophic Process". Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.

32. ORNL (1996) - "Toxicological Benchmarks for Screening Potential Contaminants of Concern for Effects on Aquatic Biota". Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
33. Provincia di Milano (1995) - "Standard di qualità dei terreni per la salvaguardia delle acque sotterranee." Provincia di Milano, Assessorato all'Ambiente, U.O. Tecnica Progetti Speciali.
34. Provincia di Milano (1998) - "Bonifica dei siti contaminati: teoria e pratica dell'analisi di rischio nel contesto italiano" Provincia di Milano, Assessorato all'Ambiente, U.O. Tecnica Progetti Speciali.
35. RIVM (1994) - "Human exposure to soil contamination: a qualitative and quantitative analysis towards proposals for human toxicological intervention values." (edizione parzialmente rivista). La prima pubblicazione è del 1991.
36. Sax, N. and Irving, R.J.L. (1989) – Dangerous Properties of Industrial Materials, Seventh Edition. Van Nostrand Reinhold, New York.
37. Sheppard and Thibault (1990) – "Default Soil, Soil/Liquid Partition, Coefficients, Kds, for Major Soil Types: A Compendium".
38. Smith R.L. (1995) - "EPA Region III Risk Based Concentration Table." EPA.
39. Spitz K. and Moreno J. (1996) – A practical guide to groundwater and solute transport modelling – John Wiley and Sons, Inc, New York.
40. TPH Criteria Working Group (1997) - "Selection of Representative TPH Fractions Based on Fate and Transport Considerations." Fate and Transport Technical Action Group, Vol. III In a Series.
41. UKDoE (1994) - "A Framework for Assessing the Impact of Contaminated Land on Groundwater and Surface Water." Department of the Environment del Regno Unito, CLR Report No.1, London.
42. UKEA (1996) - "Methodology to Determine the Degree of Soils Clean-up Required to Protect Water Resources." Environmental Agency del Regno Unito, R&D Technical Report P13, Bristol.
43. UNICHIM (1997) - "Linee guida per la valutazione di terreni e falde contaminate." Manuale n.185.
44. UNICHIM (2002) – "Suoli e falde contaminati – Analisi di Rischio sito-specifica – Criteri e Parametri", Manuale n. 196/1.
45. USEPA (1986) - "Superfund Public Health Evaluation Manual". OSWER Directive 9285.4-1. US Environmental Protection Agency.
46. USEPA (1986b) - "Quality Criteria for Water". US Environmental Protection Agency, Washington DC.
47. USEPA (1989) - "Supplementary Risk Assessment Guidance for Superfund"
48. USEPA (1996) - "Soil Screening Guidance: Technical Background Document" and "Users Guide". US Environmental Protection Agency.
49. USEPA (1996b) - "Exposure Factors Handbook". Review Draft. US Environmental Protection Agency.
50. USEPA (1996c) – "IRIS database (Integrated Risk Information System)".
51. USEPA (1997) – "TRI (Toxic Release Inventory)".
52. VROM (1994) - "Circular Second Phase of the Commencement of the Clean-Up Regulation". Appendice alla Circular Commencement Clean-Up Regulation Soil Protection Act, (Dutch) Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment.
53. Van den Berg R. (1995) - "Blootstelling van de mens aan bodemverontreiniging. Een kwalitatieve analyse, leidend tot voorstellen voor humaan toxicologische C-toetsingswaarden". Rijksinstituut Voor Volksgezondheid en Milieuhygiene Bilthoven.

ALLEGATO 1: METODOLOGIA PER LA DEFINIZIONE DEI LAG

AL1.1 Introduzione

In questo capitolo viene descritta in dettaglio la metodologia e le assunzioni adottate per la definizione dei LAG - limiti di accettabilità generici della contaminazione del suolo. I LAG del suolo (di seguito "LAG") sono stati predisposti al fine di poter essere utilizzati in ogni sito e pertanto il modello concettuale ed i parametri che lo definiscono sono stati scelti in modo da rappresentare il peggiore scenario di rischio ragionevolmente possibile (ad esclusione della presenza di un ecosistema protetto o sensibile). Per questo motivo il modello concettuale viene detto "modello concettuale generico - MCG".

La definizione dei LAG ha comportato una serie di attività preliminari che hanno riguardato:

1. la definizione del modello concettuale generico:
 - destinazione d'uso dell'area;
 - recettori potenzialmente esposti per ogni via di migrazione;
 - percorsi di esposizione potenzialmente attivi per ogni destinazione d'uso;
 -
2. la parametrizzazione del modello:
 - assunzioni relative ai parametri del sito, sia della zona insatura che di quella satura;
 - assunzioni relative all'esposizione umana;
 - parametri chimico-fisici delle sostanze chimiche di interesse;
 - parametri tossicologici delle sostanze chimiche di interesse.

Per il calcolo dei LAG, sono stati individuati i percorsi d'esposizione, i recettori potenzialmente esposti e le possibili destinazioni d'uso del sito.

In particolare per il recettore uomo si è assunto un modello di esposizione particolarmente cautelativo, assumendo che tutti i principali percorsi d'esposizione siano contemporaneamente attivi.

Per il recettore risorsa idrica, ossia per la definizione della qualità del suolo a salvaguardia della qualità della falda, il rispetto delle CL per le acque sotterranee previste dal D.M. 471/99 immediatamente al di sotto della sorgente di contaminazione.

E' importante sottolineare che per la risorsa idrica sotterranea i LAG non sono derivati da un approccio risk-based (tossicologico), ma dal confronto, per ogni contaminante, tra la concentrazione disciolta in falda e lo standard di qualità per la rispettiva sostanza (CL).

AL1.2 Definizione del modello concettuale generico

Il modello concettuale generico è stato predisposto per le seguenti destinazioni d'uso:

- residenziale/ricreativa;
- industriale/commerciale.

Quali recettori potenzialmente esposti all'interno del sito sono stati considerati i seguenti:

- gli esseri umani: adulti e bambini, a seconda della destinazione d'uso;
- le risorse idriche sotterranee (per tutte le destinazioni d'uso del suolo).

Per i recettori umani sono stati considerati i seguenti percorsi di esposizione:

- ingestione di suolo superficiale;
- contatto dermico con il suolo superficiale;
- inalazione in ambienti confinati (indoor) di polveri provenienti dal suolo superficiale;
- inalazione in ambienti aperti (outdoor) di polveri provenienti dal suolo superficiale;
- inalazione indoor di vapori provenienti dal suolo superficiale;
- inalazione outdoor di vapori provenienti dal suolo superficiale;
- inalazione indoor di vapori provenienti dal suolo profondo;
- inalazione outdoor di vapori provenienti dal suolo profondo.

Per il recettore risorse idriche la via di migrazione e di esposizione considerata è stata il dilavamento del terreno contaminato da parte delle acque di infiltrazione meteoriche.

AL1.3 Parametrizzazione del modello

In questo paragrafo si definiscono i parametri del modello concettuale generico che compaiono nelle equazioni del calcolo dei LAG. In particolare questi parametri riguardano le caratteristiche fisiche del sito, l'esposizione umana e le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche dei potenziali contaminanti.

AL1.3.1 Assunzioni relative al sito

Per il calcolo dei LAG si è fatto riferimento ad un sito ipotetico, con caratteristiche tali da poter determinare il peggiore scenario di esposizione ragionevolmente possibile. Nella **Tabella 1** del testo, sono elencati i parametri ed i rispettivi valori numerici assunti nel MCG. In generale questi valori derivano da assunzioni generiche, quasi tutte derivate dalla letteratura. I valori di alcuni parametri sono invece stati assegnati ex novo sulla base di assunzioni di tipo cautelativo ed in particolare:

- la profondità della contaminazione nel terreno superficiale ed in quello profondo, necessarie al calcolo della migrazione dei vapori, sono state rispettivamente assunte pari a 50 e 100 cm e quindi prossime alla superficie;
- la zona di miscelazione in falda, calcolata a partire dallo spessore saturo; l'altezza della zona di miscelazione, corrispondente alla parte di spessore saturo nella quale avviene la miscelazione tra le acque di infiltrazione provenienti dalla zona non satura e le acque sotterranee, è calcolata utilizzando l'equazione riportata in UKDoE, 1994.

AL1.3.2 Assunzioni relative all'esposizione umana

L'elenco dei parametri relativi all'esposizione umana ed i relativi valori numerici utilizzati sono riportati in **Tabella 2** del testo (questo elenco è esaustivo anche per l'analisi di rischio di Livello 2). Anche in questo caso si è fatto ricorso a quanto disponibile nella letteratura scientifica in materia, adottando il seguente ordine di preferenza nella scelta della fonte da utilizzare:

- dati OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) e USEPA (Agenzia di Protezione ambientale Statunitense);
- dati riportati in "RBCA" (ASTM, 1995);
- dati riportati in altre metodologie per la valutazione di siti contaminati;
- assunzioni di tipo conservativo e di comune utilizzo.

AL1.3.3 Parametri chimico-fisici delle sostanze chimiche

Le caratteristiche chimico-fisiche delle sostanze chimiche prese in considerazione sono riportate in **Tabella 3** del testo. Per la maggior parte di questi parametri si è fatto riferimento a dati pubblicati dall'USEPA.

Ai fini della derivazione dei LAG, per il parametro "Idrocarburi totali" ("TPH - Total Petroleum Hydrocarbon") sono state considerate due frazioni principali:

- una frazione leggera ($C < 12$) attribuibile alle Benzine (range delle Benzine);
- una frazione più pesante ($C > 12$) attribuibile ai Gasoli (range dei Gasoli).

In conformità a quanto riportato nei documenti del "Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group" pubblicati nel 1997, per il range delle Benzine si è utilizzato come surrogato il n-Esano, mentre il Pirene è stato utilizzato per il range del Gasolio. Le caratteristiche tossicologiche ed i parametri chimico fisici riportati nelle tabelle sono quelle dei surrogati.

AL1.3.4 Parametri tossicologici delle sostanze chimiche

In **Tabella 4** del testo sono riportati i parametri tossicologici delle singole sostanze chimiche, sia per l'inalazione che l'ingestione. Il criterio di tossicità utilizzato per le sostanze non cancerogene è stato quello dell'assunzione giornaliera tollerabile ("TDI - Tolerable Daily Intakes" - mg/kg/giorno); per gli effetti cancerogeni è stato utilizzato lo "Slope factor - SF". Lo SF è il coefficiente angolare del tratto iniziale della curva dose-risposta ottenuta da test tossicologici.

AL1.4 Calcolo dei LAG

Il calcolo dei LAG è stato effettuato a partire dal rapporto tra la dose tollerabile e la dose assunta per concentrazione unitaria. In **Appendice 1** sono riportate le equazioni per tutte le esposizioni considerate.

Per derivare i LAG dei suoli a protezione del recettore uomo si è assunto che, sia per il suolo superficiale che per quello profondo, siano attivi contemporaneamente tutti i percorsi di esposizione. Questa rappresenta un'assunzione conservativa che consente di derivare LAG riferiti alla destinazione d'uso del sito (CONCAWE, 1997), piuttosto che a ciascuna via di esposizione (ASTM RBCA, 1995).

Per derivare i LAG dei suoli a protezione della risorsa idrica sotterranea si è considerato il dilavamento che il terreno contaminato subisce da parte delle acque di infiltrazione e la diluizione del flusso idrico contaminato in arrivo dalla zona non satura con il flusso della falda.

I LAG del suolo a protezione della falda sono stati calcolati utilizzando l'equazione teorica di partizione di un contaminante tra le varie fasi (**Appendice 1**), che permette il calcolo di una concentrazione analoga a quella ottenibile con dei test sperimentali di eluizione. In questo modo si risparmiano tempi e risorse, ma si ottiene un valore di concentrazione che è molto più conservativo di quello che si otterrebbe con la prova sperimentale.

Lo scenario descritto risulta spesso molto conservativo ed un'analisi più dettagliata di quelli che sono i rischi reali viene effettuata passando al Livello 2.

I LAG del suolo per la destinazione d'uso residenziale/ricreativa e industriale/commerciale sono riportati nella **Tabelle 5** del testo.

ALLEGATO 2: METODOLOGIA PER LA DEFINIZIONE DEI LAS

In questo allegato viene descritta da un punto di vista pratico la procedura e le assunzioni da adottare per la stima del rischio e la definizione del LAS – limiti di accettabilità specifici della contaminazione del suolo e della falda attraverso l'analisi di rischio di Livello 2.

Le attività fondamentali dell'analisi di rischio di Livello 2 sono quattro:

- la ricostruzione del Modello Concettuale Specifico del sito - MCS;
- l'individuazione dei parametri del modello concettuale;
- la stima e caratterizzazione del rischio ed il calcolo dei LAS;
- la scelta degli interventi correttivi dei rischi individuati.

AL2.1 Ricostruzione del modello concettuale specifico del sito

Nell'analisi di rischio di Livello 2 il modello concettuale è specifico del sito. Per la sua ricostruzione è quindi necessario acquisire informazioni e caratterizzare tutti gli elementi che lo compongono e quindi:

- le sorgenti di contaminazione, ossia le aree all'interno delle quali sono stati ritrovati contaminanti in concentrazioni eccedenti le CL del D.M. 471/99, e le matrici ambientali interessate;
- le potenziali vie di migrazione della contaminazione ed i percorsi di esposizione ai contaminanti per le sorgenti e le matrici ambientali individuate al punto precedente: questi percorsi di esposizione sono ad esempio le vie di contatto diretto con il suolo contaminato, l'inalazione di vapori originatisi dal suolo e dalle acque sotterranee, il drenaggio di acque sotterranee contaminate da parte di corsi idrici superficiali presenti in vicinanza del sito;
- i recettori potenzialmente esposti alla contaminazione: tra questi potenziali recettori vi sono gli esseri umani, le acque sotterranee e le acque superficiali, ma anche tutti i recettori ecologici (questi ultimi non inseriti in ROME ver.2.1).

A seconda delle caratteristiche specifiche e della completezza delle informazioni sul sito, per la caratterizzazione dei punti di cui sopra potrà essere necessario fare precedere una campagna di acquisizione dati a quella di caratterizzazione del rischio e di calcolo dei LAS.

La ricostruzione del modello concettuale specifico del sito è il passo fondamentale del Livello 2 e viene effettuata attraverso due attività complementari:

- un approfondito studio a tavolino di tutta la documentazione riguardante il sito;
- un sopralluogo del sito.

Le attività complementari e le informazioni di interesse per la ricostruzione del modello concettuale specifico del sito sono illustrate nei prossimi paragrafi; le potenziali destinazioni d'uso del suolo sono conformi a quelle previste dal D.M. 471/99:

- uso residenziale/ricreativo;
- uso industriale/commerciale.

Nei siti di grandi dimensioni un solo modello concettuale non è in grado di descrivere l'eterogeneità e la complessità della contaminazione, dei percorsi di esposizione e dei recettori, o le molteplici destinazioni d'uso. In questi casi, in aggiunta al MCS complessivo, è opportuno suddividere il sito in aree discrete ed elaborare per ciascuna di esse un sotto-modello concettuale di dettaglio. Per descrivere l'interazione tra i sotto-modelli ed il modello complessivo è consigliabile predisporre un diagramma di flusso o uno schema a blocchi.

AL2.1.1 Sostanze chimiche da valutare

Le sostanze chimiche da valutare per ogni matrice ambientale sono quelle ritrovate in concentrazioni superiori alle CL del D.M. 471/99. Tuttavia ROME ver.2.1 consente di stimare sia il rischio che i LAS per le altre sostanze osservate. L'ubicazione dei punti nei quali viene riscontrata l'eccedenza rispetto a detti limiti di accettabilità permette di definire le dimensioni della contaminazione nelle tre dimensioni e di individuare le cosiddette "aree sorgente" e gli "hot spots".

In un sito potrebbero essere rilevate altre sostanze, potenzialmente dannose per la salute dell'uomo e per l'ambiente ma non incluse nelle tabelle del D.M. 471/99. Per queste sostanze potrà essere effettuata l'analisi di rischio purché siano disponibili nella letteratura scientifica i parametri tossicologici e le caratteristiche chimico-fisiche e di mobilità della singola sostanza nell'ambiente.

AL2.1.2 Matrici ambientali

Le matrici ambientali considerate nel Livello 2 sono:

- a) il suolo superficiale (tra la superficie topografica e un metro di profondità);
- b) il suolo profondo (oltre un metro di profondità);
- c) le acque sotterranee;
- d) il prodotto libero (fase separata "LNAPL – Light Non-Aqueous Phase Liquid").

Per le acque sotterranee l'analisi viene effettuata tutte le volte che nel sottosuolo sia stata rilevata, o sia ragionevole supporre, la presenza di una risorsa idrica sotterranea. Infatti, qualora la qualità delle acque sotterranee rispetti le CL, occorre valutare la possibilità che la contaminazione del suolo possa impattare la qualità della risorsa idrica sotterranea.

Di norma, come assunzione cautelativa, la presenza di una risorsa idrica sotterranea deve essere presa in considerazione in tutti i siti a meno che non sia dimostrato con studi di tipo idrogeologico che l'infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo sia nulla e/o che non vi siano ragionevoli possibilità che eventuali acque di infiltrazione contaminate provenienti dalla superficie possano venire a contatto con una risorsa idrica sotterranea.

Inoltre, nel caso in cui si riscontri nel sito la presenza di prodotto puro, questo dovrà essere considerato nell'analisi di rischio. In particolare dovrà essere effettuata un'analisi non solo per quanto riguarda la fase di contaminante disciolta nelle acque sotterranee, ma anche per la fase vapore che si libera dal prodotto. In particolare, con ROME ver.2.1, è possibile valutare in modo automatico il rischio derivante dai prodotti petroliferi che, avendo una fase non acquosa più leggera dell'acqua ("LNAPL - Light Non-Aqueous Phase Liquid"), galleggiano sulla superficie della falda andando a costituire il cosiddetto prodotto libero in galleggiamento o "surnatante".

AL2.1.3 Recettori della contaminazione

I recettori potenzialmente esposti alla contaminazione possono essere i seguenti:

- 1. gli essere umani (adulti per la destinazione d'uso industriale e commerciale, adulti e bambini nella destinazione d'uso residenziale ed in quelle ad essa riconducibili);
- 2. la risorsa idrica sotterranea;
- 3. la risorsa idrica superficiale;
- 4. altri recettori ambientali ("ecological end points").

Per gli esseri umani è necessario valutare la loro presenza sul sito, la frequenza e la durata della possibile esposizione ai contaminanti.

Per le risorse idriche sotterranee è necessario in primo luogo valutare la presenza di opere di approvvigionamento idropotabile, o di qualsiasi altro utilizzo, nell'intorno del sito con particolare riferimento alle zone poste a valle, nel senso del deflusso idrico sotterraneo.

In principio, qualsiasi risorsa idrica sotterranea di natura perenne è da considerarsi una risorsa da proteggere, tuttavia considerazioni relative ai costi e tempi per la bonifica, alla disponibilità di tecnologie adeguate, all'uso del sito e della risorsa stessa, possono portare ad obiettivi di qualità diversificati nel caso di siti industriali in esercizio, a falde stagionali e/o sospese.

Per la risorsa idrica sotterranea, l'analisi di rischio sito specifica consente di stimare il rispetto della qualità della risorsa idrica sotterranea in un punto detto "punto di conformità" che può essere posto a distanza rispetto alla sorgente di contaminazione. Questo è in genere un punto ubicato tra la zona di massima contaminazione della falda (sorgente) ed il primo recettore che si rinviene a valle, nel senso del deflusso idrico sotterraneo, e dipende dalla pianificazione della destinazione d'uso del territorio.

L'ubicazione del punto di conformità viene effettuata sulla base delle caratteristiche specifiche del sito e del territorio circostante. Si rimanda al Manuale Unichim 196/1 per ulteriori indicazioni.

Per le risorse idriche superficiali sarà necessario verificarne la loro presenza intorno al sito e gli eventuali usi delle acque. Per questo recettore l'analisi di rischio viene effettuata per le acque superficiali tutte le volte in cui sia stata rilevata, o sia ragionevole supporre, una possibile migrazione della contaminazione delle acque sotterranee presenti in sito verso il corpo idrico superficiale. Per la stima del rischio si tratta di calcolare il rapporto di diluizione dovuto alla differenza tra la portata contaminata in arrivo e quella del corpo idrico superficiale. Anche per le acque superficiali gli obiettivi di qualità coincidono con gli standard disciplinati dalla normativa in vigore.

Da ultimo, dove si riscontri la presenza di altri recettori ambientali ("ecological end points"), per particolari destinazioni d'uso del sito, presenti all'interno del sito o comunque posti ad una distanza dal sito tale per cui possano subire un impatto dalla contaminazione del sito stesso, occorre effettuare una specifica analisi di ri-

schio ecologica ("Ecological Risk Assessment") che non è inclusa in ROME ver.2.1 (ad esclusione delle risorse idriche superficiali). L'analisi di rischio ecologica è un processo mediante il quale si valutano le probabilità che si verifichino per determinati recettori e/o per l'ecosistema degli effetti di tipo nocivo. In particolare per il suolo, l'analisi di rischio ecologica è volta a garantire che mantenga o recuperi funzioni ecologiche per l'uso al quale è destinato ("fitness for use"). Nella letteratura internazionale sono disponibili valori di screening per varie destinazioni d'uso del suolo basati su criteri ecotossicologici, e guide all'uso di test di tossicità sito-specifici.

E' ragionevole comunque ritenere che l'approccio conservativo adottato da ROME ver. 2.1 per la stima dei rischi e dei LAS, sia protettivo per la maggioranza degli inquinanti e delle destinazioni d'uso del suolo, pur essendo limitato alla stima dei rischi sanitari e alla protezione delle risorse idriche.

AL2.1.4 Percorsi di esposizione potenzialmente attivi

I percorsi di esposizione potenzialmente attivi associati ad ogni matrice ambientale, compreso il prodotto libero LNAPL, distinti per il tipo di recettore potenzialmente esposto, sono i seguenti:

1. recettore uomo:

- 1.a: associati al suolo superficiale:
 - ingestione di suolo;
 - contatto dermico con il suolo;
 - inalazione outdoor di polveri provenienti dal suolo;
 - inalazione indoor di polveri provenienti dal suolo;
 - inalazione outdoor di vapori provenienti dal suolo;
 - inalazione indoor di vapori provenienti dal suolo;
- 1.b: associati al suolo profondo:
 - inalazione outdoor di vapori provenienti dal suolo;
 - inalazione indoor di vapori provenienti dal suolo;
- 1.c: associati alle acque sotterranee:
 - inalazione outdoor di vapori provenienti dalle acque sotterranee;
 - inalazione indoor di vapori provenienti dalle acque sotterranee;
- 1.d: associati al prodotto puro:
 - inalazione outdoor di vapori provenienti dal prodotto puro;
 - inalazione indoor di vapori provenienti dal prodotto puro.

2. recettore risorsa idrica sotterranea:

- 2.a.b: associati al suolo (sia superficiale che profondo):
 - infiltrazione dal suolo di acque contaminate;
- 2.c: associati alle acque sotterranee:
 - migrazione verso valle (nel senso del deflusso idrico sotterraneo) di soluti;
- 2.d: associati al prodotto puro:
 - formazione e migrazione verso valle (nel senso del deflusso idrico sotterraneo) di soluti;

3. recettore risorsa idrica superficiale:

- 3.a.b: associati al suolo (sia superficiale che profondo):
 - infiltrazione dal suolo e drenaggio di soluti dalle acque di falda;
- 3.c: associati alle acque sotterranee:
 - drenaggio di soluti dalle acque di falda.
- 3.d: associati al prodotto puro:
 - formazione e drenaggio di soluti dalle acque di falda.

In ogni passo dell'analisi di rischio, in assenza di informazioni specifiche e certe, è opportuno assicurare la maggiore cautela ragionevolmente possibile. Le assunzioni effettuate in assenza di dati certi potranno così condurre a sovrastimare i rischi calcolati piuttosto che a sottostimare le situazioni critiche.

Poiché, anche a parità di destinazione d'uso, ogni situazione può essere differente da un'altra, è necessario che le vie di esposizione attive siano valutate in modo accurato nel corso della caratterizzazione del sito. Per l'analisi di rischio si dovranno prevedere i percorsi di esposizione applicabili alla prevista destinazione d'uso del sito.

Alcune delle principali caratteristiche del sito utili a fornire indicazioni sulla possibilità che alcuni percorsi siano attivi o meno sono le seguenti:

- affinché si attivino i contatti diretti con il suolo, inclusa l'inalazione di polveri, occorre verificare che l'area dove è stata rilevata la contaminazione non sia pavimentata, cementata o coperta da edifici e altre strutture;
- per l'inalazione di vapori e polveri indoor è necessario che nel sito siano presenti degli ambienti chiusi all'interno dei quali la presenza umana non sia occasionale; inoltre è importante segnalare la presenza di locali interrati e quindi potenzialmente più prossimi alla zona contaminata;
- per l'infiltrazione di acque contaminate verso la falda è necessario che queste acque attraversino l'area contaminata solubilizzando i contaminanti e raggiungendo le acque sotterranee; per ragioni di cautela, la presenza di una copertura del suolo, a meno che non sia stata appositamente progettata allo scopo, viene considerata per ridurre, in modo più o meno significativo, il quantitativo di acqua che si infila, ma non per annullare completamente il percorso di esposizione;
- per l'inalazione di vapori in ambienti aperti vale lo stesso discorso fatto per l'infiltrazione di acqua verso la falda: una copertura, a meno che non sia appositamente progettata, non viene in genere considerata sufficiente ad interrompere il percorso di esposizione.

Per la protezione della risorsa idrica sotterranea il percorso di esposizione per infiltrazione di acque contaminate verso la falda è molto importante. Nel calcolo del rischio nel Livello 2 è possibile e consigliabile utilizzare i test di eluizione del suolo in sostituzione del calcolo teorico dell'eluato effettuato nel Livello 1. Infatti, come riconosciuto nella letteratura scientifica, questo calcolo teorico è eccessivamente conservativo e produce degli obiettivi di bonifica dei suoli a protezione della risorsa idrica sotterranea particolarmente ristretti.

I percorsi di esposizione potenzialmente attivi associati ad ogni matrice ambientale e al prodotto puro sono esposti in **Figura 1** per il recettore uomo e in **Figura 2** per il recettore risorsa idrica sotterranea.

Nel corso della fase di indagini è importante appurare quali percorsi siano effettivamente attivi. Inoltre, nel caso siano previste destinazioni d'uso differenti da quella attuale, si dovrà calcolare il rischio per ogni scenario previsto.

FIGURA 1: Percorsi di esposizione potenzialmente attivi associati al recettore uomo

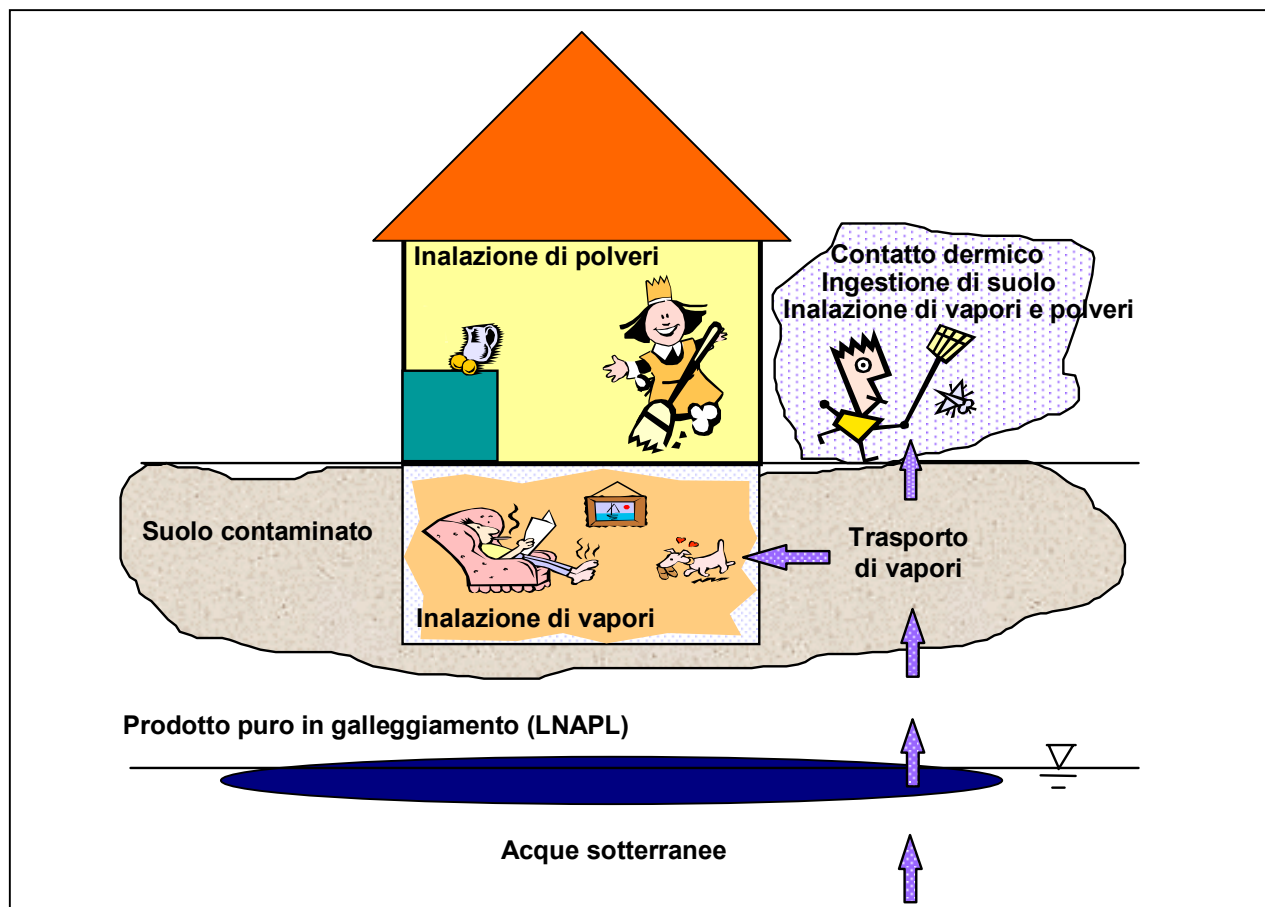
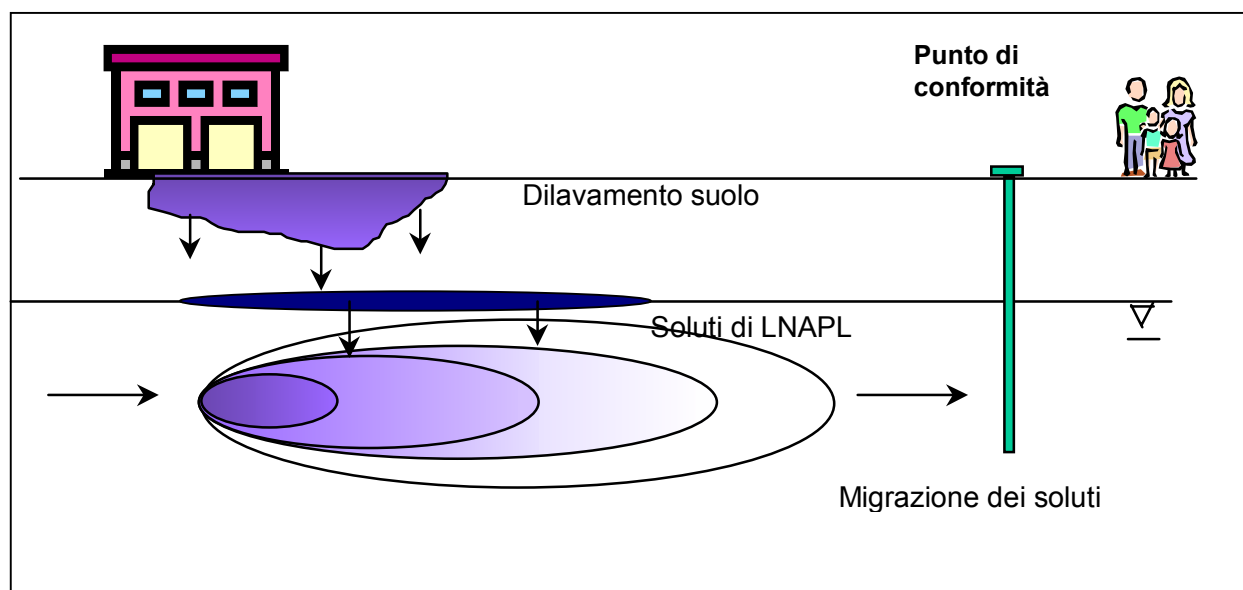


FIGURA 2: Percorsi di esposizione potenzialmente attivi associati alle risorse idriche

AL2.2 Individuazione dei parametri del modello concettuale

Per quanto riguarda la scelta dei parametri specifici del sito l'utente può decidere tra le seguenti soluzioni:

- effettuare il Livello 2 eliminando i percorsi di esposizione non attivi ed utilizzando tutti i parametri di default previsti nel modello concettuale generico: in questo caso non si utilizza nessun parametro specifico del sito, oppure
- effettuare il Livello 2 eliminando i percorsi di esposizione non attivi ed utilizzando il valore specifico del sito per tutti i parametri che compaiono nelle equazioni delle esposizioni attive: in questo caso si utilizzano solo parametri specifici del sito.

E' evidente che qualora all'interno di ROME si selezionassero tutti i percorsi di esposizione potenzialmente attivi e tutti i parametri di default rimanessero invariati, i LAS calcolati da ROME coinciderebbero esattamente con i LAG del Livello 1.

Nel caso in cui si abbia un ragionevole dubbio sul numero e/o sulla qualità dei risultati delle indagini di caratterizzazione del sito, ai fini del calcolo del rischio si suggerisce di utilizzare i parametri di default, non specifici del sito. Questi parametri di default si riferiscono al peggiore scenario di rischio ragionevolmente possibile e sono quindi protettivi della salute dell'uomo e dell'ambiente.

La scelta del numero di parametri sito specifici da acquisire dipende da una valutazione costi-benefici, ossia tra i costi necessari ad acquisire i parametri sul campo ed i benefici che si possono trarre in termine di risultati dal vantaggio che i rischi calcolati, aumentando la specificità dei parametri, si avvicinano progressivamente a quelli reali.

La scelta può essere orientata dalle seguenti operazioni:

1. elencare tutti i parametri relativi alle equazioni dei percorsi di esposizione attivi;
2. verificare a quali di questi parametri le equazioni di calcolo sono più sensibili: a questo proposito, la **Tabella 6** del testo può essere di grande aiuto;
3. stimare quale possa essere il risultato della determinazione del valore di ogni parametro specifico del sito e confrontarlo con i valori conservativi di default.

L'acquisizione di parametri specifici del sito può essere fatta anche a passi successivi ed analizzando volta per volta i risultati ottenuti. In questo modo, posto che il fattore tempo non abbia un ruolo determinante, è possibile ottimizzare le risorse necessarie per la caratterizzazione del sito.

L'acquisizione di nuovi dati per l'effettuazione del Livello 2 riguarderebbe i seguenti aspetti:

- la delimitazione dello stato di contaminazione nelle diverse matrici ambientali;

- la definizione dei parametri che compaiono nelle equazioni per il calcolo delle esposizioni presenti nel sito (ad esempio: dimensioni della zona sorgente, dati strutturali del sito, meteo-climatici, geologia e idrogeologia locale e regionale, parametri della zona non satura, parametri della zona satura).

Per la caratterizzazione dello stato di contaminazione delle matrici ambientali, durante la raccolta dei campioni per il Livello 2, si dovrebbe compiere ogni sforzo affinché questi siano prelevati non solo nelle aree che si presumono maggiormente contaminate, ma anche in corrispondenza dei punti d'esposizione o di conformità, in quanto tali ubicazioni costituiscono di fatto i punti nei quali i recettori sono potenzialmente esposti.

Per la stima della concentrazione rappresentativa della sorgente contaminata, si rimanda al Manuale Unichim 196/1.

I parametri relativi all'esposizione umana hanno in generale un'influenza direttamente proporzionale sul calcolo della dose assunta dal recettore uomo e quindi del rischio. La modifica dei valori di default con dati sito-specifici deve essere dettagliatamente motivata.

I valori numerici dei parametri relativi alle proprietà chimico-fisiche ed alla tossicità delle sostanze chimiche non sono generalmente sito-specifici e non dovrebbero essere cambiati, a meno di revisioni introdotte dagli Enti ed Istituti che gestiscono le relative banche dati, dalle quali sono stati attinti i dati presenti nel database di ROME ver.2.1. Può fare eccezione il coefficiente di distribuzione (K_d) dei metalli che può essere più facilmente sito specifico.

La **Tabella 6** riporta i campi di variabilità dei singoli parametri e le vie di esposizione maggiormente influenzate. Questa tabella, derivata da una analisi di sensibilità, è inoltre di utilità anche per l'ente di controllo che con essa può valutare su quali parametri occorre concentrare maggiore attenzione.

Le equazioni relative a ciascun percorso di esposizione sono riportate in **Appendice 1**.

AL2.3 Calcolo del rischio e dei LAS

ROME ver.2.1, analogamente modelli simili che si utilizzano per l'analisi di rischio di Livello 2, ha le seguenti caratteristiche:

- gli algoritmi di calcolo sono relativamente semplici, spesso costituiti da espressioni algebriche o analitiche che descrivono i principali processi fisico-chimici e di esposizione ai contaminanti; alla mancata considerazione di altri eventuali processi si supplisce attraverso assunzioni e previsioni conservative;
- i dati necessari a predisporre l'input sono è praticamente limitati a quelli caratteristici del sito rilevabili nel corso delle indagini o stimati dalla letteratura (ad esempio la porosità e la densità del suolo);
- non occorrono studi di validazione/calibrazione specifici per il sito, a condizione che i parametri di input si basino su assunzioni relative al caso ragionevolmente peggiore;
- non si tiene conto dell'esaurimento della sorgente causato da meccanismi di rimozione fisica (come ad esempio la lisciviazione);
- non si tiene conto dei processi di biodegradazione dei contaminanti.

Per il recettore umano l'approccio e le equazioni per il calcolo dei rischi e dei LAS sono le stesse di quelle utilizzate per la derivazione dei LAG (**Allegato 1**).

Per il recettore risorsa idrica, il calcolo dei rischi è effettuato presso un "punto di conformità", posto a valle idrogeologica del sito. Sarà quindi necessario calcolare l'attenuazione che le sostanze chimiche subiranno nella loro migrazione dalla sorgente a tale punto. A tal fine ROME ver.2.1 utilizza il modello matematico analitico prodotto da Domenico (1987) che risolve il flusso e trasporto di contaminanti in falda in condizioni stazionarie. Il modello Domenico viene anche utilizzato per il calcolo dei rischi per le acque superficiali.

I livelli di accettabilità del rischio sono gli stessi di quelli utilizzati per la derivazione dei LAG, ossia:

1. recettore uomo:
 - sostanze cancerogene: rischio accettabile suggerito = 1×10^{-5} (ossia una probabilità incrementale su centomila di assumere cancro nel corso della vita); in ROME ver.2.1 il valore può essere tuttavia cambiato in 1×10^{-4} o 1×10^{-6} ;
 - sostanze non cancerogene: "HI – Hazard Index" = 1, dove HI è definito come il rapporto tra la dose massima assunta giornalmente ("MDI-Maximum Daily Intake") e quella massima giornaliera tollerabile ("TDI-Tolerable Daily Intake").
2. recettore acque sotterranee:
 - rispetto della CL della falda previste del D.M. 471/99 al punto di conformità;
3. recettore acque superficiali:
 - rispetto della CL delle acque superficiali previste del D.Lgs. 152/99.

Quando le concentrazioni ritrovate nel sito stimano – con il calcolo diretto – un rischio superiore ai livelli accettabili, ROME ver.2.1 segnala che la contaminazione del sito non è accettabile e occorre intervenire per

diminuire i rischi ad essa associati. Per procedere all'intervento di bonifica, occorre stimare i LAS – con il calcolo inverso - ossia le concentrazioni residue per le matrici ambientali che soddisfano i requisiti di accettabilità del rischio.

Nel caso del prodotto libero non è possibile calcolare i LAS, ma solamente valutare se la sua presenza pone dei rischi non accettabili o meno e, sulla base di questa verifica, procedere alla sua completa rimozione dal sottosuolo.

Poiché il calcolo dei rischi, e quindi dei LAS, utilizza tecniche di modellazione matematica di tipo analitico, il rigore insieme alla relativa semplicità di calcolo, rendono il processo trasparente ed i risultati riproducibili da parte delle Autorità di controllo.

AL2.3.1 Confronto con altri criteri rilevanti

La valutazione della concentrazioni residuali accettabili in un sito contaminato potrà essere fatta anche sulla base di altri criteri, detti "altri criteri rilevanti": i principali sono quelli estetici, l'odore, il sapore ed anche il colore. In taluni casi, sulla base di questi altri criteri rilevanti, può essere consigliato un intervento correttivo nonostante i rischi posti dal sito siano tutti al di sotto dei limiti di accettabilità.

AL2.3 Scelta degli interventi correttivi dei rischi individuati

Laddove le matrici ambientali non rispettano i LAS, è necessario intraprendere delle azioni correttive del rischio, a meno che si dimostri che le concentrazioni eccedenti i LAS siano dovute al fondo naturale.

La conoscenza delle sorgenti di contaminazione, dei percorsi di esposizione e dei recettori individuati come critici dall'analisi di Livello 2, consente di valutare in modo scientifico e razionale gli interventi correttivi più opportuni.

Poiché solo i percorsi espositivi completi comportano un rischio, sono possibili interventi correttivi su ognuno degli elementi che costituiscono un percorso espositivo completo:

- interventi sulla sorgente: la riduzione delle concentrazioni ritrovate in sito all'interno dei LAS (intervento di bonifica tradizionale);
- interventi sul percorso: l'interruzione delle vie di migrazione ed esposizione (ad esempio attraverso interventi di "capping") (intervento di "messa in sicurezza");
- interventi sui recettori: limitazioni sull'uso del territorio, quali ad esempio per la realizzazione di nuovi pozzi per l'utilizzo delle acque sotterranee a scopo idropotabile, o cambiamenti nella destinazione d'uso (intervento di "limitazione d'uso/gestione del territorio").

Ai fini dell'analisi di rischio, tutte queste tipologie di intervento sono egualmente efficaci in quanto intervengono spezzando il collegamento tra la sorgente ed i recettori, permettendo così di fare rientrare i rischi posti da un sito all'interno di margini ritenuti accettabili.

Alle tipologie di intervento alternative appartiene il monitoraggio della biodegradazione naturale.

Al termine dell'analisi di Livello 2, per casi complessi, è possibile approfondire l'analisi di rischio introducendo una modellazione più sofisticata, passando al Livello 3. Si precisa che il Livello 3 non è codificato in ROME ver.2.1.

APPENDICE 1: FORMULE PER IL CALCOLO DEI LAG

Questa appendice tecnica fornisce le equazioni matematiche usate per il calcolo dei LAG del suolo superficiale a protezione dei recettori umani e delle risorse idriche sotterranee.

Le equazioni utilizzate derivano da modelli di trasferimento e di esposizione semplificati che rappresentano una schematizzazione conservativa del problema.

Tutte le equazioni per il calcolo dei LAG derivano dall'inversione dell'equazione per il calcolo del rischio R, dalla stima dell'esposizione E e della tossicità T dei contaminati, la cui espressione più generica è $R = E \times T$. L'esposizione E è calcolata combinando la concentrazione del contaminante osservata per i parametri di esposizione. I LAG, limiti di accettabilità generici della contaminazione, si ottengono invertendo queste equazioni ed imponendo che il rischio R sia pari al valore accettabile.

Per approfondimenti circa le equazioni per il calcolo dell'esposizione e del rischio si rimanda al Manuale Unichim 196/1. Di seguito, per brevità, si riportano solamente le equazioni di calcolo dei LAG.

Le equazioni riportate contengono numerosi fattori di conversione (specialmente multipli di 10), per permettere la consistenza delle unità di misura.

AP1.1 Calcolo dei LAG per i recettori umani

La formula di carattere generale per la derivazione dei LAG dei suoli per le sostanze cancerogene è la seguente:

$$\text{LAG} = \frac{0,00001}{\sum \text{CDI}_I * \text{SF}_I + \sum \text{CDI}_O * \text{SF}_O}$$

Quella per la derivazione dei LAG dei suoli per le sostanze non cancerogene è la seguente:

$$\text{LAG} = \frac{1}{\frac{\sum \text{MDI}_I}{\text{TDI}_I} + \frac{\sum \text{MDI}_O}{\text{TDI}_O}}$$

dove:

- 0,00001 = valore di accettabilità del rischio per le sostanze cancerogene (1×10^{-5});
 $\sum \text{CDI}_{I/O}$ = somma delle assunzioni croniche giornaliere per concentrazione unitaria di contaminante cancerogeno per inalazione/ingestione (I/O) dai percorsi di esposizione attivi;
 $\text{MDI}_{I/O}$ = assunzione massima giornaliera per concentrazione di contaminante unitaria;
1 = valore di accettabilità dell'HI per le sostanze non cancerogene;
 $\sum \text{MDI}_{I/O}$ = sommatoria delle assunzioni croniche giornaliere per concentrazione unitaria di un contaminante non cancerogeno per inalazione/ingestione (I/O) dai percorsi di esposizione attivi;
 $\text{SF}_I, \text{SF}_O, \text{TDI}_I, \text{TDI}_O$ = parametri tossicologici delle singole sostanze chimiche.

L'esposizione è stata stimata quantitativamente in termini di dose massima giornaliera (MDI). Limitatamente alle sostanze cancerogene, per le quali l'esposizione deve essere mediata sul cosiddetto "tempo di mediazione" (assunto pari alla lunghezza della vita media di una persona), il valore MDI viene utilizzato per calcolare la dose cronica giornaliera (CDI). Il passaggio da MDI a CDI per ogni percorso di esposizione viene effettuato utilizzando la seguente formula:

$$\text{CDI} = \frac{(\text{MDI}_{\text{bambini}} * \text{ED}_{\text{bambini}}) + (\text{MDI}_{\text{adulti}} * \text{ED}_{\text{adulti}})}{\text{AT}}$$

dove:

- $\text{MDI}_{\text{bambini}}$ = dose giornaliera calcolata per i bambini;
 $\text{MDI}_{\text{adulti}}$ = dose giornaliera calcolata per gli adulti;
 $\text{ED}_{\text{bambini}}$ = durata dell'esposizione per i bambini;
 $\text{ED}_{\text{adulti}}$ = durata dell'esposizione per gli adulti;
AT = tempo di mediazione.

A titolo esemplificativo, viene di seguito illustrata la formula per il calcolo del LAG del Toluene (sostanza non cancerogena) per il suolo superficiale e la destinazione d'uso industriale. Per questo caso la formula di carattere generale viene così riscritta:

$$\text{LAG (Toluene}_{\text{suolo superficiale uso industriale}}) = \frac{\text{MDI}_{\text{I (polveri ind.)}} + \text{MDI}_{\text{I (polveri out.)}} + \text{MDI}_{\text{I (vapori ind.)}} + \text{MDI}_{\text{I (vapori out.)}}}{\text{TDI}_{\text{I}}} + \frac{\text{MDI}_{\text{O (ingestione)}} + \text{MDI}_{\text{O (contatto dermico)}}}{\text{TDI}_{\text{O}}}$$

Come si evince da questa equazione TDI_{O} è valido sia per il contatto dermico che per l'ingestione e pertanto i due tipi di assunzione possono essere sommati.

Di seguito si riportano le equazioni per il calcolo delle MDI per tutti i percorsi di esposizione di interesse per il calcolo dei LAG del suolo. Nella maggior parte dei casi queste equazioni sono tratte da "RBCA" (ASTM, 1995) o dall'USEPA (USEPA, 1996).

Come detto, per il calcolo dei LAG, le MDI si riferiscono a concentrazioni unitarie di contaminante e pertanto, in tutte le formule seguenti, al parametro C_s – Concentrazione del suolo, viene sostituito il valore di "1".

AP1.1.1 MDI da ingestione di suolo

L'equazione per la stima della dose giornaliera massima (MDI) assunta attraverso ingestione del terreno si basa essenzialmente sul quantitativo di suolo ingerito giornalmente. L'equazione contiene anche un fattore di biodisponibilità orale inteso a riflettere la differenza tra l'assunzione e l'assorbimento dei composti chimici dal terreno. Per la derivazione dei LAG si è utilizzato il criterio conservativo di porre questo fattore uguale a 1 (si assume che tutto il contaminante sia biodisponibile). La stima della MDI attraverso l'ingestione di suolo viene effettuata attraverso la seguente equazione, comprensiva dei parametri di default:

Ingestione di suolo superficiale			
Assunzioni dell'esposizione umana			
	Scenario Residenziale		Industriale
	Adulti	Bambini	Lavoratori
Peso corporeo (kg)	70	15	70
Tasso di ingestione di suolo (mg/giorno)	100	200	50
Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	350	350	240
Durata dell'esposizione (anni)	24	6	25

Formula	
$\text{MDI} = \frac{C_s * \text{IR} * 0.000001 * \text{EF} * \text{ED}}{\text{BW} * 365 * \text{AT}}$	
MDI = Dose Massima Giornaliera (mg/kg/giorno)	
C_s = Concentrazione nel suolo (mg/kg)	
IR = Ingestione di suolo (mg/giorno)	
EF = Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	
BW = Peso corporeo (kg)	
ED = durata dell'esposizione (anni)	
AT = tempo di mediazione (anni) *	
Rif: (ASTM, 1995)	
(*) Per i cancerogeni: AT = 70 anni	
Per i non cancerogeni: AT = ED	

AP1.1.2 MDI da contatto dermico con suolo

L'equazione per la stima della MDI assunta attraverso il contatto dermico è basata su assunzioni relative alla superficie di pelle esposta, alla quantità di suolo che viene a contatto con la pelle ed alla valutazione di quanto questi composti siano assorbiti dalla pelle.

La stima della MDI attraverso il contatto dermico con il suolo viene effettuata attraverso la seguente equazione, comprensiva dei parametri di default:

Contatto dermico con suolo superficiale

Assunzioni dell'esposizione umana

Scenario: **residenziale** (Adulti, Bambini) **industriale** (Lavoratori)

Peso corporeo (kg)	70	15	70
Superficie della pelle (cm²/giorno)	17938	6381	17938
Frazione di pelle esposta (adim.)	0,2	0,5	0,2
Fattore di aderenza (mg/cm²)	1		
Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	350	350	240
Durata dell'esposizione (anni)	24	6	25

Formula

$$MDI = \frac{C_s * S_A * F_s * S_L * J * 0,0000001 * EF * ED}{BW * 365 * AT}$$

MDI = Dose Massima Giornaliera (mg/kg/giorno)
 Cs = Concentrazione nel suolo (mg/kg)
 SL = Fattore di aderenza (mg/cm²)
 EF = Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)
 J = Fattore di assorbimento (%)
 ED = durata dell'esposizione (anni)
 BW = Peso corporeo (kg)
 SA = Superficie della pelle esposta (cm²/giorno)
 AT = tempo di mediazione (anni)

(*) Per i cancerogeni: AT = 70 anni
 Per i non cancerogeni: AT = ED

Rif: (ASTM, 1995)

Nascondi formula

Il valore per la superficie di pelle (SA) è derivato dal peso corporeo (BW) attraverso la seguente espressione:

$$SA = \frac{(4 \times BW) + 7}{BW + 90}$$

AP1.1.3 MDI da inalazione indoor di polvere proveniente dal suolo

La stima della MDI per l'inalazione indoor di polvere dal suolo viene effettuata attraverso la seguente equazione, comprensiva dei parametri di default:

Inalazione indoor di polveri dal suolo superficiale

Assunzioni dell'esposizione umana

Scenario: **Residenziale** (Adulti, Bambini) **Industriale** (Lavoratori)

Peso corporeo (kg)	70	15	70
Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	350	350	240
Tasso di inalazione indoor (m³/giorno)	15	6	8
Frazione di tempo spesa in sito (adim.)	1	1	1
Durata dell'esposizione (anni)	24	6	25

Parametri ambientali

Particelle di suolo nella polvere (adim.) 1
 Concentrazione di polvere all'aperto (mg/m³) 0,07
 Frazione di polvere indoor (adim.) 1

Formula

$$MDI = \frac{C_{id} * B_i * EF * ED}{BW * 365 * AT}$$

MDI = Dose Massima Giornaliera (mg/kg/giorno)
 BW = Peso corporeo (kg)
 EF = Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)
 Bi = Tasso di inalazione indoor (m³/giorno)
 AT = tempo di mediazione (anni)
 ED = durata dell'esposizione (anni)
 Cid = Concentrazione di particelle di suolo nella polvere indoor (mg/m³) (Cid = Cs (mg/kg) * PMi (mg/m³) * Fsd * 10⁻⁶) (Rif. USEPA, 1996)
 Fsd = Frazione di particelle di suolo nella polvere (adim.)
 PMi = Livello di polvere indoor (= PMo (mg/m³) * Fi)
 Cs = Concentrazione nel suolo (mg/kg)
 Fi = Frazione di polvere indoor (adim.)

(*) Per i cancerogeni: AT = 70 anni
 Per i non cancerogeni: AT = ED

Rif: (ASTM, 1995)

Nascondi formula

AP1.1.4 MDI da inalazione outdoor di polvere proveniente dal suolo

La stima della MDI per l'inalazione outdoor di polvere dal suolo viene effettuata attraverso la seguente equazione, comprensiva dei parametri di default:

Inalazione outdoor di polveri dal suolo superficiale

Assunzioni dell'esposizione umana

Scenario: **Residenziale** (Adulti, Bambini) **Industriale** (Lavoratori)

Peso corporeo (kg)	70	15	70
Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	350	350	240
Concentrazione di polvere all'aperto (mg/m³)	0,07		
Tasso di inalazione outdoor (m³/giorno)	5	3	2
Frazione di tempo spesa in sito (adim.)	1	1	1
Durata dell'esposizione (anni)	24	6	25

Parametri ambientali

Particelle di suolo nella polvere (adim.) 1

Formula

$$MDI = \frac{C_{od} * B_o * EF * ED}{BW * 365 * AT}$$

MDI = Dose Massima Giornaliera (mg/kg/giorno)
 BW = Peso corporeo (kg)
 EF = Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)
 ED = durata dell'esposizione (anni)
 AT = tempo di mediazione (anni)
 Cod = Concentrazione di particelle di suolo nella polvere outdoor (mg/m³) (Cod = Cs (mg/kg) * PMo (mg/m³) * Fsd * 10⁻⁶) (Rif. USEPA, 1996)
 Fsd = Frazione di particelle di suolo nella polvere (adim.)
 Cs = Concentrazione nel suolo (mg/kg)
 PMo = Concentrazione di polvere all'aperto (mg/m³)

(*) Per i cancerogeni: AT = 70 anni
 Per i non cancerogeni: AT = ED

Rif: (ASTM, 1995)

Nascondi formula

AP1.1.5 MDI da inalazione indoor di vapori dal suolo

La modellazione della migrazione del vapore dal suolo agli edifici ed altri spazi chiusi, di carattere semplificato e conservativo, quasi sempre fornisce concentrazioni di vapori superiori a quelle realmente misurate. I metodi usati per il calcolo si basano su quelli riportati in "RBCA" (ASTM, 1995) che prevedono le seguenti ipotesi di calcolo:

- la partizione nella matrice del terreno tra le fasi adsorbita, dissolta e vapore è lineare all'equilibrio ed è funzione sia di parametri chimici costanti per le sostanze sia di parametri specifici del terreno;
- le concentrazioni nel suolo non decrescono e la diffusione di vapori avviene in regime stazionario attraverso la zona insatura e le fessure nelle opere murarie e senza decremento delle concentrazioni durante il processo diffusivo verso la superficie, a causa di processi di degradazione chimica o biologica;
- la miscelazione dei vapori nell'atmosfera all'interno di spazi chiusi è buona.

La stima della MDI attraverso l'inalazione indoor di vapori dal suolo viene effettuata attraverso la seguente equazione, comprensiva dei parametri di default:

Inalazione indoor di vapori dal suolo superficiale			
Assunzioni dell'esposizione umana			
Scenario	Residenziale		Industriale
	Adulti	Bambini	Lavoratori
Peso corporeo (kg)	70	15	70
Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	350	350	240
Tasso di inalazione indoor (m³/giorno)	15	6	8
Frazione di tempo spesa in sito (adim.)	1	1	1
Durata dell'esposizione (anni)	24	6	25

Parametri della zona non satura			
Densità secca (g/cm³)	1,7	Contenuto d'aria nel suolo (adim.)	0,26
Frazione di Carbonio organico (adim.)	0,01	Contenuto d'acqua nel suolo (adim.)	0,12
Profondità della contaminazione (cm)	50	[<100cm]	

Parametri degli edifici			
Contenuto d'aria nelle fratture (adim.)	0,26	Tasso di ricambio d'aria (1/h) uso res.	0,504
Contenuto d'acqua nelle fratture (adim.)	0,12	Tasso di ricambio d'aria (1/h) uso ind.	0,828
Frazione areale di fratture (adim.)	0,01	Altezza degli edifici residenziali (cm)	200
Spessore di fondazioni/pareti (cm)	15	Altezza degli edifici industriali (cm)	300

Formula	
$MDI = \frac{V_{si} * B_i * EF * ED}{BW * 365 * AT}$	
MDI =	Dose Massima Giornaliera (mg/kg/giorno)
V _{si} =	Concentrazione indoor di vapori dal suolo (mg/m³)
B _i =	Tasso di inalazione indoor (m³/giorno)
EF =	Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)
BW =	Peso corporeo (kg)
ED =	durata dell'esposizione (anni)
AT =	tempo di mediazione (anni) *
R/r: (ASTM, 1995)	
(*): Per i cancerogeni: AT = 70 anni Per i non cancerogeni: AT = ED	

L'equazione di calcolo di V_{si} è la seguente:

Formula concentrazione indoor di vapori dal suolo superficiale

$$V_{si} = \frac{H \rho_s}{\theta_{ws} + (K_{oc} F_{oc}) \rho_s + H \theta_{as}} \left[\frac{D_s^{eff} / L_s}{ER L_B} \right] \times 10^3 \times C_s$$

dove: $D_s^{eff} = D^{air} \frac{\theta_{as}^{3.33}}{\theta_T^2} + D^{wat} \frac{1}{H} \frac{\theta_{ws}^{3.33}}{\theta_T^2}$

dove: $D_{crack}^{eff} = D^{air} \frac{\theta_{crack}^{3.33}}{\theta_T^2} + D^{wat} \frac{1}{H} \frac{\theta_{wcrack}^{3.33}}{\theta_T^2}$

Rif: (ASTM, 1995)

V_{si} = Concentrazione indoor di vapori dal suolo (mg/m ³)	D^{wat} = Coefficiente di diffusione in acqua (cm ² /s)
θ_{ws} = Contenuto d'acqua nel suolo (adim.)	θ_{crack} = Contenuto di aria nelle fratture di fondazioni/pareti (adim.)
ρ_s = Densità secca del suolo (kg/l)	θ_{wcrack} = Contenuto d'acqua nelle fratture di fondazioni/pareti (adim.)
θ_{as} = Contenuto di aria nel suolo (adim.)	L_s = Profondità della contaminazione (cm)
D_s^{eff} = Coefficiente di diffusione effettiva nel suolo sulla base della concentrazione della fase vapore (cm ² /s)	L_B = Altezza degli edifici (cm)
D_{crack}^{eff} = Coefficiente di diffusione effettiva nelle fratture di fondazioni/pareti (cm ² /s)	ER = Tasso di ricambio di aria negli edifici (1/s)
L_{crack} = Spessore di fondazioni/pareti degli edifici (cm)	K_{oc} = Coefficiente di partizione Carbonio organico (adim.)
η = Frazione areale di fratture in fondazioni/pareti (cm ² /cm ²)	F_{oc} = Frazione di Carbonio organico nel suolo (adim.)
D^{air} = Coefficiente di diffusione in aria (cm ² /s)	H = Costante della legge di Henry (adim.)
θ_T = Porosità totale del suolo (adim.)	C_s = Concentrazione nel suolo (mg/kg)

AP1.1.6 MDI da inalazione outdoor di vapori dal suolo

Il metodo usato per calcolare la concentrazione di vapori provenienti dal suolo in spazi aperti assume che, una volta che la fase volatile raggiunge la superficie, vi sia una diluizione dei vapori e che questa avvenga all'interno di una immaginaria "scatola". Il grado di diluizione è una funzione della dimensione di questa ipotetica scatola e della velocità del vento. Le ipotesi di calcolo sono le seguenti:

- le concentrazioni chimiche rimangono costanti;
- la partizione nella matrice del terreno tra le fasi adsorbita, dissolta e vapore è lineare all'equilibrio e funzione sia di parametri chimici costanti per le sostanze sia di parametri specifici del terreno;
- la diffusione di vapori avviene in regime stazionario attraverso la zona vadosa e le fessure nelle opere murarie;
- le concentrazioni non si abbassano durante il processo diffusivo verso la superficie per processi di degradazione chimica o biologica;
- la dispersione atmosferica avviene in regime stazionario ed in condizioni di buona miscelazione.

La stima della MDI per l'inalazione outdoor di vapori dal suolo viene effettuata attraverso la seguente equazione, comprensiva dei parametri di default:

Inalazione outdoor di vapori dal suolo superficiale			
Assunzioni dell'esposizione umana			
Scenario: Residenziale Industriale			
Peso corporeo (kg)	Adulti: 70	Bambini: 15	Lavoratori: 70
Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	350	350	240
Tasso di inalazione outdoor (m³/giorno)	5	3	2
Frazione di tempo spesa in sito (adim.)	1	1	1
Durata dell'esposizione (anni)	24	6	25
Parametri ambientali			
Velocità del vento (cm/s)		225	
Altezza della zona di miscelazione (cm)		200	
Parametri della zona non satura			
Densità secca (g/cm³)	1,7	Contenuto d'acqua nel suolo (adim.)	0,12
Frazione di Carbonio organico (adim.)	0,01	Lunghezza della sorgente parallela alla direzione del flusso del vento (m)	1000
Profondità della contaminazione (cm)	50 [≤ 100 cm]	Larghezza della sorgente perpendicolare alla direzione del flusso del vento (m)	1000
Contenuto d'aria nel suolo (adim.)	0,26		
Formula $MDI = \frac{V_{so} \times B_o \times EF}{BW \times 365}$ <p>MDI = Dose Massima Giornaliera (mg/kg/giorno) Vso = Concentrazione all'aperto di vapori dal suolo (mg/m³) Bo = Tasso di inalazione outdoor (m³/giorno) EF = Frequenza dell'esposizione (giorni/anno) BW = peso corporeo (kg) ED = durata dell'esposizione (anni) AT = tempo di mediazione (anni) *</p> <p>Rif: (ASTM, 1995) (*) Per i cancerogeni: AT = 70 anni Per i non cancerogeni: AT = ED</p>			

L'equazione di calcolo di V_{so} è la seguente:

Formula concentrazione outdoor di vapori dal suolo superficiale	
$V_{so} = \frac{10^{-9} \times E_i}{U_{air} \times W \times \delta_{air}}$	e:
$E_i = \frac{C_s \times \rho_s \times H}{1 \times 10^6 \times \left((\theta_{as} \times H) + \theta_{ws} + (\rho_s \times K_{oc} \times F_{oc}) \right)} \times A \times D_s^{eff} \times \frac{1}{L_s}$	
U_{air} = Velocità del vento nella zona di miscelazione (cm/s) δ_{air} = Altezza della zona di miscelazione all'aperto (cm) H = Costante della legge di Henry (adim.) θ_{ws} = Contenuto d'acqua nel suolo (adim.) θ_{as} = Contenuto di aria nel suolo (adim.) D_s^{eff} = Coefficiente di diffusione effettiva nel suolo sulla base della concentrazione della fase vapore (cm²/s) ρ_s = Densità secca del suolo (kg/l)	W = Larghezza della sorgente perpendicolare alla direzione del flusso del vento (cm) E_i = Tasso di emissione di vapori dal suolo (g/s) L_s = Profondità della contaminazione (cm) K_{oc} = Coefficiente di partizione Carbonio organico (adim.) F_{oc} = Frazione di Carbonio organico nel suolo (adim.) A = Area del sito (cm²) C_s = Concentrazione nel suolo (mg/kg) V_{so} = Concentrazione all'aperto di vapori dal suolo (mg/m³)
Rif. (Farmer et al. 1978, 1980)	

AP1.2 Calcolo dei LAG per il recettore falda

Per il calcolo del LAG del suolo (sia per il suolo superficiale che per quello profondo) a protezione della risorsa idrica sotterranea si considera che il punto di conformità nell'acquifero sia situato sotto la sorgente di suolo contaminato. Il suolo contaminato viene dilavato dalle acque meteoriche e la soluzione che raggiunge la falda è diluita dal flusso idrico sotterraneo. Il LAG_{suolo} è la concentrazione del contaminante nel suolo tale che la concentrazione dello stesso nell'acquifero coincida con le $CL_{\text{acque sotterranee}}$ in vigore. Questo modello è rappresentato dalla seguente formulazione (ASTM, 1995):

$$LAG_{\text{suolo}} = CL_{\text{acquesotterranee}} \div \left[\frac{\rho_s}{(\theta_{ws} + (K_{oc} \times F_{oc} \times \rho_s) + H \times \theta_{as}) \left(1 + \frac{U_{gw} \times d}{I \times L} \right)} \right]$$

dove:

CL	=	concentrazione limite per le acque sotterranee fissata dal D.M. 471/99;
ρ_s	=	densità secca;
θ_{ws}	=	contenuto di acqua nel suolo;
K_{oc}	=	coefficiente di partizione carbonio organico;
F_{oc}	=	frazione di carbonio organico;
H	=	costante di Henry;
θ_{as}	=	contenuto di aria nel suolo;
U_{gw}	=	coefficiente di partizione carbonio organico;
d_a	=	spessore della zona di miscelazione in falda;
I	=	infiltrazione efficace;
L	=	lunghezza della sorgente parallela alla direzione del flusso della falda.

Lo spessore della zona di miscelazione in falda è inferiore allo spessore saturo dell'acquifero e viene calcolato con l'equazione seguente (UKDoE, 1994):

$$d_a = (0,0112 L^2)^{0.5} + d * \{1 - \exp[(-L * I)/(K * i * d)]\}$$

dove:

d	=	spessore dell'acquifero;
k	=	conducibilità idraulica;
i	=	gradiente idraulico.

AP1.3 Confronto dei LAG con il limite di saturazione del suolo

Il valore del LAG prescelto, prima di poter essere utilizzato, dovrà essere confrontato con il limite di saturazione per ogni sostanza organica nei suoli. Il limite, o concentrazione, di saturazione, è la concentrazione limite al di sopra della quale il contaminante si trova in fase separata ed è quindi presente come prodotto libero.

Il limite di saturazione C_{sat} viene calcolato come segue (ASTM, 1995):

$$C_{sat} = \frac{S}{\rho_s} \left((H \times \theta_{as}) + \theta_{ws} + (K_{oc} \times F_{oc} \times \rho_s) \right),$$

dove:

S	=	solubilità in acqua;
ρ_s	=	densità secca;
H	=	costante di Henry;
θ_{as}	=	contenuto di aria nel suolo;
θ_{ws}	=	contenuto di acqua nel suolo;
K_{oc}	=	coefficiente di partizione carbonio organico;
F_{oc}	=	frazione di carbonio organico.

Qualora si abbia la condizione $LAG > C_{sat}$ nel sottosuolo si determinano le condizioni per la presenza di prodotto libero. In questi casi il LAG viene ridotto e posto uguale alla concentrazione limite di saturazione del suolo ed il valore è riportato in corsivo in **Tabella 5**.

AP1.4 Trasformazione dei LAG da "tal quale" a "s.s." (sostanza secca)

L'ultima operazione da effettuarsi prima di poter utilizzare il LAG per la tipologia di destinazione d'uso e recettore individuati nel sito, è una trasformazione. Questa trasformazione si rende necessaria per poter con-

frontare i LAG calcolato con l'analisi di rischio e le CL del D.M. 471/99, confronto che avviene nella fase di confronto tabellare.

Infatti, poiché le formule dell'analisi di rischio presuppongono che la concentrazione del suolo sia inserita come "tal quale", i LAG calcolati si riferiscono anch'essi alla concentrazione "tal quale". La trasformazione dei LAG è quindi da "tal quale" a "sostanza secca (s.s.)".

La trasformazione viene effettuata con la seguente formula:

$$LAG_{s.s.} = LAG_{tal\ quale} * (1 + \theta_{ws})$$

dove:

θ_{ws} = contenuto di acqua nel suolo (valore di default).

APPENDICE 2: FORMULE PER IL CALCOLO DEI LAS

In questa appendice verranno prese in considerazione le formule per il calcolo dell'MDI relativa alle vie di esposizione che possono essere attivate solo su base sito-specifica. Tali formule valgono sia per l'analisi di rischio – calcolo diretto - che per la stima dei LAS – calcolo inverso . Per la stima del rischio sito-specifico – calcolo diretto - vale quanto già sottolineato nell' per i LAG. Si rimanda alla [Appendice 1](#) per le formule di calcolo delle vie di esposizione in comune con quelle usate per i LAG.

Le formule di seguito presentate descrivono pertanto processi e vie di esposizione che possono essere attivi in determinate condizioni sulla base del modello concettuale sito-specifico MCS delineato. Tali vie di esposizione non sono state considerate nel modello concettuale generico MCG.

Anche per i LAS, poiché tutte le formule dell'analisi di rischio presuppongono che la concentrazione del suolo sia inserita come "tal quale", tutti i valori numerici dei LAS vengono calcolati per la concentrazione "tal quale". ROME ver.2.1 esegue automaticamente la trasformazione da "tal quale" a "sostanza secca (s.s.)" usando il valore di contenuto d'acqua del suolo sito-specifico immesso dall'utente, oppure il valore di default. La trasformazione viene effettuata con la formula già presentata nell'[Appendice 1](#).

AP2.1 Calcolo dei LAS per i recettori umani

Le equazioni utilizzate per il calcolo dell'esposizione, del rischio sito-specifico e dei LAS, di seguito illustrate, contengono numerosi fattori di conversione per permettere la consistenza delle unità di misura.

AP2.1.1 MDI da inalazione indoor di vapori provenienti dalle acque sotterranee

Il metodo usato per calcolare le concentrazioni in ambienti chiusi di vapori provenienti dalla falda giacente ad una certa profondità dalla superficie del terreno, considera le seguenti ipotesi:

- le concentrazioni chimiche dissolte nelle acque sotterranee rimangono costanti;
- la partizione in falda tra la fase dissolta e vapore è lineare all'equilibrio;
- la diffusione di vapori e fase liquida avviene in regime stazionario attraverso la frangia capillare e la zona insatura;
- le concentrazioni non si abbassano durante il processo diffusivo verso la superficie per processi di degradazione chimica o biologica;
- la dispersione di vapori nell'atmosfera modellata come una scatola avviene in regime stazionario e la miscelazione è buona.

La stima della MDI attraverso l'inalazione indoor di vapori dalle acque sotterranee viene effettuata attraverso la seguente equazione, comprensiva dei parametri di default:

Inalazione indoor di vapori dalla falda			
Assunzioni dell'esposizione umana			
Scenario: Residenziale / Industriale			
	Adulti	Bambini	Lavoratori
Peso corporeo (kg)	70	15	70
Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	350	350	240
Tasso di inalazione indoor (m³/giorno)	15	6	8
Frazione di tempo spesa in sito (adim.)	1	1	1
Durata dell'esposizione (anni)	24	6	25
Parametri della zona non satura			
Soggiacenza della falda (cm)	300	Contenuto d'acqua nel suolo (adim.)	0,12
Spessore della frangia capillare (cm)	5	Contenuto d'aria in frangia capillare (adim.)	0,038
Contenuto d'aria nel suolo (adim.)	0,26	Contenuto d'acqua in frangia capillare (adim.)	0,342
Parametri degli edifici			
Contenuto d'aria nelle fratture (adim.)	0,26	Tasso di ricambio d'aria (1/h) uso res.	0,504
Contenuto d'acqua nelle fratture (adim.)	0,12	Tasso di ricambio d'aria (1/h) uso ind.	0,828
Frazione areale di fratture (adim.)	0,01	Altezza degli edifici residenziali (cm)	200
Spessore di fondazioni/pareti (cm)	15	Altezza degli edifici industriali (cm)	300
Formula $MDI = \frac{Vg \cdot Bi \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot 365 \cdot AT}$ <p>MDI = Dose Massima Giornaliera (mg/kg/giorno)</p> <p>Vgi = Concentrazione di vapori indoor dalla falda (mg/m³)</p> <p>Bi = Tasso di inalazione indoor (m³/giorno)</p> <p>EF = Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)</p> <p>BW = Peso corporeo (kg)</p> <p>ED = durata dell'esposizione (anni)</p> <p>AT = tempo di mediazione (anni) *</p> <p>Rif.: (ASTM, 1995)</p> <p>(*): Per i cancerogeni: AT = 70 anni Per i non cancerogeni: AT = ED</p>			
Nascondi formula			

L'equazione di calcolo di V_{gi} è la seguente:

Formula concentrazione indoor di vapori dalla falda

$$V_{gi} = \frac{H \left[\frac{D_{ws}^{eff} / L_{GW}}{ER \cdot L_B} \right]}{1 + \left[\frac{D_{ws}^{eff} / L_{GW}}{ER \cdot L_B} \right] + \left[\frac{D_{crack}^{eff} / L_{crack}}{(D_{crack}^{eff} / L_{crack}) \cdot \eta} \right]} \times 10^3 \times C_{gw}$$

dove: $D_{ws}^{eff} = (h_{cap} + h_v) \left[\frac{h_{cap}}{D_{cap}^{eff}} + \frac{h_v}{D_s^{eff}} \right]^{-1}$

dove:

$$D_{cap}^{eff} = D^{air} \frac{\theta_{cap}^{3.33}}{\theta_T^2} + D^{wat} \frac{1}{H} \frac{\theta_{wcap}^{3.33}}{\theta_T^2}$$

Rif: (ASTM, 1995)

D_{ws}^{eff} = Coefficiente di diffusione efficace tra la falda e la superficie (cm^2/s)	ER = Tasso di ricambio di aria negli edifici (1/s)
L_{GW} = Soggiacenza della falda (cm)	D_{crack}^{eff} = Coefficiente di diffusione effettivo nelle fratture (cm^2/s)
h_{cap} = Spessore della frangia capillare (cm)	L_{crack} = Spessore di fondazioni/pareti negli edifici (cm)
h_v = Spessore della zona non satura (cm)	η = Frazione areale di fratture in fondazioni/pareti (cm^2/cm^2)
θ_{cap} = Contenuto di aria nel suolo in frangia capillare (cm^3/cm^3)	D_s^{eff} = Coefficiente di diffusione effettivo nel suolo basato sulla concentrazione della fase vapore (cm^2/s)
θ_{wcap} = Contenuto di acqua nel suolo in frangia capillare (cm^3/cm^3)	D_{cap}^{eff} = Coefficiente di diffusione effettivo nella frangia capillare (cm^2/s)
L_B = Altezza degli edifici (cm)	D^{air} = Coefficiente di diffusione in aria (cm^2/s)
D^{wat} = Coefficiente di diffusione in acqua (cm^2/s)	H = Costante della legge di Henry (adim.)
θ_T = Porosità totale del suolo (adim.)	
C_{gw} = Concentrazione in falda (mg/l)	

AP2.1.2 MDI da inalazione outdoor di vapori provenienti dalle acque sotterranee

Il metodo usato per calcolare le concentrazioni in ambienti aperti di vapori provenienti dalla falda acquifera giacente ad una certa profondità dalla superficie del terreno è basato su quello fornito nell'ASTM (1995) con le seguenti considerazioni:

- le concentrazioni di composti chimici dissolti nella falda acquifera rimangono costanti;
- la partizione tra composti chimici dissolti nella falda acquifera ed i relativi vapori all'equilibrio è lineare;
- la diffusione di vapori e fase liquida avviene in regime stazionario attraverso la frangia capillare e la zona insatura;
- le concentrazioni non si abbassano durante il processo diffusivo verso la superficie per processi di degradazione chimica o biologica;
- la dispersione di vapori nell'atmosfera modellata come una scatola avviene in regime stazionario e la miscelazione è buona.

La stima dell'MDI per l'inalazione outdoor di vapori dalle acque sotterranee viene effettuata attraverso la seguente equazione, comprensiva dei parametri di default:

Inalazione outdoor di vapori dalla falda

Assunzioni dell'esposizione umana Scenario: Residenziale (Adulti, Bambini) / Industriale (Lavoratori)			Parametri ambientali Velocità del vento (cm/s): 225 Altezza della zona di miscelazione (cm): 200	Formula $MDI = V_{go} * B_o * EF * ED$ $BW * 365 * AT$ MDI = Dose Massima Giornaliera (mg/kg/giorno) Vgo = Concentrazione di vapori outdoor dalla falda (mg/m³) Bo = Tasso di inalazione outdoor (m³/giorno) EF = Frequenza dell'esposizione (giorni/anno) BW = Peso corporeo (kg) ED = durata dell'esposizione (anni) AT = tempo di mediazione (anni) Rif: (ASTM, 1995) (*): Per i cancerogeni: AT = 70 anni Per i non cancerogeni: AT = ED
Peso corporeo (kg): 70 (Adulti), 15 (Bambini) Frequenza dell'esposizione (giorni/anno): 350 (Adulti), 350 (Bambini), 240 (Lavoratori) Tasso di inalazione outdoor (m³/giorno): 5 (Adulti), 3 (Bambini), 2 (Lavoratori) Frazione di tempo spesa in sito (adim.): 1 (Adulti), 1 (Bambini), 1 (Lavoratori) Durata dell'esposizione (anni): 24 (Adulti), 6 (Bambini), 25 (Lavoratori)	Parametri della zona non satura Soggiacenza della falda (cm): 300 Spessore della frangia capillare (cm): 5 Contenuto d'aria nel suolo (adim.): 0,26 Contenuto d'aria in frangia capillare (adim.): 0,038 Contenuto d'acqua nel suolo (adim.): 0,12 Contenuto d'acqua in frangia capillare (adim.): 0,342 Larghezza della sorgente perpendicolare alla direz. di flusso della falda (cm): 15			

Nascondi formula

L'equazione di calcolo di V_{go} è la seguente:

Formula concentrazione outdoor di vapori dalla falda

$$V_{go} = \frac{H * 10^3 C_{gw}}{1 + \left(\frac{U_{air} * \delta_{air} * L_{gw}}{S_{wp} * D_{ws}^{eff}} \right)}$$

Rif: (ASTM, 1995)

H = Costante della legge di Henry (adim.)	L _{gw} = Soggiacenza dalla falda (cm)
C _{gw} = Concentrazione in falda (mg/l)	D _{ws} ^{eff} = Coefficiente di diffusione efficace tra la falda e la superficie (cm ² /s)
U _{air} = Velocità media del vento nella zona di miscelazione (cm/s)	S _{wp} = Larghezza della sorgente (cm)
δ _{air} = Altezza della zona di miscelazione dell'aria all'aperto (cm)	V _{go} = Concentrazione di vapori outdoor dalla falda (mg/m ³)

AP2.1.3 MDI da inalazione indoor di vapori provenienti dal prodotto libero LNAPL

Il metodo usato per calcolare le concentrazioni in ambienti aperti di vapori provenienti dal prodotto libero in galleggiamento sulla falda è basato su quello fornito nell'ASTM (1995).

La stima della MDI per l'inalazione indoor di vapori dal prodotto libero viene effettuata attraverso la seguente equazione, comprensiva dei parametri di default:

Inalazione indoor di vapori dal prodotto libero

Assunzioni dell'esposizione umana

Scenario: **Residenziale** (Adulti, Bambini) **Industriale** (Lavoratori)

Peso corporeo (kg)	70	15	70
Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	350	350	240
Tasso di inalazione indoor (m ³ /giorno)	15	6	8
Frazione di tempo spesa in sito (adim.)	1	1	1
Durata dell'esposizione (anni)	24	6	25

Parametri della zona non satura

Profondità del prodotto libero (cm): 400 Contenuto d'acqua nel suolo (adim.): 0,12
 Contenuto d'aria nel suolo (adim.): 0,26

Parametri degli edifici

Contenuto d'aria nelle fratture (adim.)	0,26	Tasso di ricambio d'aria (1/h) uso res.	0,504
Contenuto d'acqua nelle fratture (adim.)	0,12	Tasso di ricambio d'aria (1/h) uso ind.	0,828
Frazione areale di fratture (adim.)	0,01	Altezza degli edifici residenziali (cm)	200
Spessore di fondazioni/pareti (cm)	15	Altezza degli edifici industriali (cm)	300

Formula

$$MDI = \frac{V_{pi} * B_i * EF * ED}{BW * 365 * AT}$$

MDI = Dose Massima Giornaliera (mg/kg/giorno)
 V_{pi} = Concentrazione di vapori indoor dal prodotto (mg/m³)
 B_i = Tasso di inalazione indoor (m³/giorno)
 EF = Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)
 BW = Peso corporeo (kg)
 ED = durata dell'esposizione (anni)
 AT = tempo di mediazione (anni)

Rif: (ASTM, 1995)

(*) Per i cancerogeni: AT = 70 anni
 Per i non cancerogeni: AT = ED

L'equazione di calcolo di V_{pi} è la seguente:

Formula della concentrazione indoor di vapori dal prodotto libero

$$V_{pi} = \frac{C_{si} \times \left(\frac{D_s^{eff}}{L_s \times ER \times L_B} \right) \times 1 \times 10^9}{1 + \left(\frac{D_s^{eff}}{L_s \times ER \times L_B} \right) + \left(\frac{L_{crack}}{L_s \times \eta} \right)}$$

dove: $D_s^{eff} = D^{air} \frac{\theta_{as}^{333}}{\theta_T^2} + D^{wat} \frac{1}{H} \frac{\theta_{ws}^{333}}{\theta_T^2}$

e: $C_{si} = \frac{X \times \rho \times MW}{R \times T}$

Rif: (ASTM, 1995)

V_{pi} = Concentrazione di vapori indoor dal prodotto (mg/m ³)	ER = Tasso di ricambio di aria negli edifici (1/s)
C_{si} = Concentrazione di vapore alla saturazione (g/cm ³)	L_{crack} = Spessore di fondazioni/pareti degli edifici (cm)
ρ = Pressione di vapore (mm Hg)	η = Frazione areale di fratture in fondazioni/pareti (cm ² /cm ²)
MW = Peso molecolare (g/mole)	D_s^{eff} = Coefficiente di diffusione effettivo nel suolo basato sulla concentrazione della fase vapore (cm ² /s)
R = Costante molare dei gas (62,361 cm ³ mm Hg·cm ³ /mole·°K)	D^{wat} = Coefficiente di diffusione in acqua (cm ² /s)
T = Temperatura assoluta (293°K all'aperto)	D^{air} = Coefficiente di diffusione in aria (cm ² /s)
X = Frazione molare della componente tossica nel materiale = 1 (valore fisso) (adim.)	θ_T = Porosità totale del suolo (adim.)
L_B = Altezza degli edifici (cm)	H = Costante della legge di Henry (adim.)
L_s = Profondità del prodotto libero (cm)	θ_{as} = Contenuto di aria nel suolo (adim.)
	θ_{ws} = Contenuto di acqua nel suolo (adim.)

AP2.1.4 MDI da inalazione outdoor di vapori provenienti dal prodotto libero LNAPL

La stima della MDI per l'inalazione outdoor di vapori dal prodotto libero viene effettuata attraverso la seguente equazione, comprensiva dei parametri di default:

Inalazione outdoor di vapori dal prodotto libero

Assunzioni dell'esposizione umana

Scenario: **Residenziale** (Adulti, Bambini) **Industriale** (Lavoratori)

Peso corporeo (kg)	Adulti: 70	Bambini: 15	Lavoratori: 70
Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)	Adulti: 350	Bambini: 350	Lavoratori: 240
Tasso di inalazione outdoor (m ³ /giorno)	Adulti: 5	Bambini: 3	Lavoratori: 2
Frazione di tempo spesa in sito (adim.)	Adulti: 1	Bambini: 1	Lavoratori: 1
Durata dell'esposizione (anni)	Adulti: 24	Bambini: 6	Lavoratori: 25

Parametri della zona non satura

Profondità del prodotto libero (cm): 400

Contenuto d'aria nel suolo (adim.): 0,26

Contenuto d'acqua nel suolo (adim.): 0,12

Parametri degli edifici

Velocità del vento (cm/s): 225

Altezza della zona di miscelazione (cm): 200

Larghezza della zona con prodotto (m): 10

Formula

$$MDI = \frac{V_{po} \times Bo \times EF \times ED}{BW \times 365 \times AT}$$

MDI = Dose Massima Giornaliera (mg/kg/giorno)

V_{po} = Concentrazione di vapori outdoor dal prodotto (mg/m³)

Bo = Tasso di inalazione outdoor (m³/giorno)

EF = Frequenza dell'esposizione (giorni/anno)

BW = Peso corporeo (kg)

ED = durata dell'esposizione (anni)

AT = tempo di mediazione (anni) *

Rif: (ASTM, 1995)

(*): Per i cancerogeni: AT = 70 anni
Per i non cancerogeni: AT = ED

Nascondi formula

L'equazione di calcolo di V_{po} è la seguente:

Formola Concentrazione outdoor di vapori dal prodotto libero

$$V_{po} = C_{si} \cdot \frac{D_s^{eff} \cdot W_p}{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot L_s} \cdot 10^9$$

dove:

$$C_{si} = \frac{X \cdot \rho \cdot MW}{R \cdot T}$$

<p>D_s^{eff} = Coefficiente di diffusione effettiva nel suolo sulla base della concentrazione della fase vapore (cm^2/s)</p> <p>W_p = Larghezza della sorgente perpendicolare alla direzione del flusso del vento (cm)</p> <p>U_{air} = Velocità del vento nella zona di miscelazione (cm/s)</p> <p>δ_{air} = Altezza della zona di miscelazione all'aperto (cm)</p> <p>L_s = Profondità del prodotto libero (cm)</p> <p>C_{si} = Concentrazione di vapore alla saturazione (g/cm^3)</p>	<p>X = Frazione molare della componente tossica nel materiale = 1 (valore fisso) (adim.)</p> <p>ρ = Pressione di vapore (mm Hg)</p> <p>MW = Peso molecolare (g/mole)</p> <p>R = Costante molare dei gas ($62,361 \text{ cm}^3 \text{ mm Hg-cm}^2/\text{mole-}^\circ\text{K}$)</p> <p>$T$ = Temperatura assoluta (293°K all'aperto)</p> <p>V_{po} = Concentrazione di vapori outdoor dal prodotto (mg/m^3)</p>
--	---

AP2.2 Calcolo dei LAS per il recettore falda

AP2.2.1 Calcolo della concentrazione "D.M. 471 surrogato"

Per quelle sostanze per le quali il D.M. 471/99 non prevede una CL per le acque sotterranee, il software ROME utilizzata per l'analisi dei rischi per la falda una concentrazione ottenuta dal calcolo risk-based e denominata concentrazione "D.M. 471 surrogato". Per ogni contaminante, questa concentrazione (mg/l) deriva dal criterio di accettabilità del rischio sanitario considerando l'ingestione giornaliera di 2 l di acqua da parte di un adulto e per una durata pari a quella prevista dalla destinazione d'uso residenziale.

Per una sostanza non cancerogena la formulazione è la seguente:

$$C_{(D.M. 471 \text{ surrogato})} = TDI_o \cdot \frac{BW \cdot 365}{IR_w \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot EF}$$

dove:

TDI_o	=	"Tolerable Daily Intake" per l'ingestione ($mg/kg/giorno$);
BW	=	peso corporeo di un adulto (kg);
IR_w	=	ingestione giornaliera di acqua ($ml/giorno$);
EF	=	frequenza d'esposizione (giorni/anno).

Nella formula è implicito il rispetto della condizione $HI = 1$.

Per le sostanze cancerogene si utilizzano gli stessi criteri di esposizione e di accettabilità del rischio adottati per i LAG (vedi [Appendice 1](#)).

AP2.2.2 Dilavamento del suolo e migrazione verso il punto di conformità

La modellazione di questo percorso viene suddivisa in tre fasi distinte:

- nella prima fase si calcola la concentrazione dell'eluato teorico (C_w), a partire dalla concentrazione "tal quale" del suolo;
- nella seconda fase si calcola la concentrazione che assume la falda (C_{source}) al di sotto della sorgente di contaminazione del suolo una volta che viene raggiunta dal flusso di infiltrazione contaminato e con concentrazione pari a quella calcolata alla fase precedente;
- nella terza fase si calcola la concentrazione della falda al punto di conformità (C_x), posto a distanza dalla sorgente contaminata, ed in questa fase si utilizza il modello di Domenico.

I calcoli previsti nella prima e seconda fase coincidono con quelli eseguiti per il calcolo dei LAG del suolo a protezione della risorsa idrica sotterranea (**Appendice 1**).

Il modello proposto da Domenico (1987) risolve in modo analitico l'equazione advettivo-dispersiva del trasporto di contaminanti in falda, prendendo atto sia del fattore di ritardo, dato da fenomeni di adsorbimento/desorbimento tra il contaminante disciolto e la matrice solida del terreno, che di reazioni di decadimento del primo ordine (biodegradazione del contaminante). Considerando la direzione di massima propagazione della contaminazione, il modello fornisce la massima concentrazione del contaminante ad una certa distanza a valle idrogeologica della sorgente, per una data concentrazione di partenza.

Le principali assunzioni del modello sono le seguenti:

- la concentrazione della sorgente è costante e la contaminazione è omogeneamente distribuita in tutto lo spessore saturo;
- l'acquifero è poroso, omogeneo e isotropo;
- il flusso idrico sotterraneo avviene in regime stazionario;
- il gradiente idraulico è uniforme;
- il moto può essere descritto dalla legge di Darcy;
- l'adsorbimento è lineare, istantaneo e reversibile;
- la dispersione è tridimensionale;
- il decadimento può essere descritto dalla legge del primo ordine;
- il recettore si trova lungo la massima direzione di propagazione (condizione cautelativa);
- come condizione cautelativa, il recettore si trova lungo la massima direzione di propagazione che corrisponde alla linea centrale di propagazione ($y = z = 0$).

Formula dilavamento suolo superficiale e concentrazione al punto di conformità		
Fase 1: Partizione delle fasi nel suolo (USEPA, 1994)		
$C_T = C_w (K_d + (\theta_w + \theta_a H) / \rho_s)$	C_T = Concentrazione nel suolo (mg/kg) C_w = Concentrazione nell'acqua interstiziale (mg/l) K_d = Coefficiente di partizione suolo/acqua (adim.) H = Costante della legge di Henry (adim.)	ρ_s = Densità secca del suolo (kg/l) θ_w = Contenuto d'acqua nella zona non satura (adim.) θ_a = Contenuto d'aria nella zona non satura (adim.)
Fase 2: Miscelazione in falda delle acque di infiltrazione		
$C_{source} = \frac{C_w}{DF} * 10^{-6}$ dove: $DF = 1 + \frac{(k_i d)}{(I L)}$ Spessore della zona di miscelazione (DoE, 1994): $d = (0.0112 L^2)^{0.5} + d_a \{1 - \exp[(-L I) / (k_i d_a)]\}$	DF = Fattore di diluizione (adim.) k = Conducibilità idraulica (m/anno) L = Lunghezza della sorgente parallela al flusso di falda (m)	d = Spessore della zona di miscelazione (m) i = Gradiente idraulico (adim.) I = Infiltrazione efficace (m/anno) d_a = Spessore dell'acquifero (m)
Fase 3: Modello Domenico (Domenico, 1987)		
$C(x) = C_{source} \exp \left\{ \frac{x}{2\alpha_x} \left[1 - \left(1 + \frac{4\lambda\alpha_x}{u} \right)^{1/2} \right] \right\} \cdot \left(\operatorname{erf} \left[\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_y x}} \right] \right) \cdot \left(\operatorname{erf} \left[\frac{S_d}{4\sqrt{\alpha_z x}} \right] \right)$		
Per tener conto del ritardo per adsorbimento il seguente u sostituisce la u dell'equazione sopra (Fase 3): Dove il Fattore di ritardo: Ritardo per assorbimento (U_d):	$u_d = \frac{k_s i}{\theta_s R_c}$ $R_c = \left[1 + \frac{K_d \rho_s}{\theta_s} \right]$	
α'_x = Dispersività longitudinale ($x/10$) (ASTM, 1995) α'_y = Dispersività trasversale ($ax/3$) (ASTM, 1995) α'_z = Dispersività verticale ($ax/20$) (ASTM, 1995) λ = Costante di degradazione del primo ordine	$C(x)$ = Concentrazione al punto di conformità (g/cm ³) u = $k_s i / \theta_s$ k_s = Conducibilità idraulica (cm/giorno) X = Distanza lungo l'asse centrale dal bordo sotto gradiente della sorgente del pennacchio (cm) C_{source} = Concentrazione alla sorgente (g/cm ³)	S_w = Larghezza della sorgente (cm) S_d = Profondità della sorgente (cm) erf = Funzione errore θ_s = Porosità efficace (adim.)

AP2.2.3 Migrazione della contaminazione in falda verso il punto di conformità

In questo caso la contaminazione è già presente in falda e la modellazione viene effettuata con la sola terza fase, di quelle viste in precedenza, ossia attraverso il modello di Domenico, di seguito riportato. Questa equazione si utilizza nel caso in cui venga inserita direttamente nell'input, la concentrazione del contaminante osservata nell'acquifero presso la sorgente.

Formula migrazione della fase dissolta in falda verso punto di conformità
Modello Domenico (Domenico, 1987)

$$C(x) = C_{source} \exp \left\{ \frac{x}{2\alpha_x} \left[1 - \left(1 + \frac{4\lambda\alpha_x}{u} \right)^{1/2} \right] \right\} \cdot \left(\operatorname{erf} \left[\frac{S_{wp}}{4\sqrt{\alpha_y x}} \right] \right) \cdot \left(\operatorname{erf} \left[\frac{S_d}{4\sqrt{\alpha_z x}} \right] \right)$$

Per tener conto del ritardo per adsorbimento il seguente u_d sostituisce la u nell'equazione soprastante:


Ritardo per assorbimento (u_d): $u_d = \frac{k_s i}{\theta_s R_c}$

Dove il fattore di ritardo:

$$R_c = \left[1 + \frac{K_d \rho_s}{\theta_s} \right]$$

$C(x)$ = Concentrazione al punto di conformità (g/cm³)
 u = ks/θ_s
 i = Gradiente idraulico (adim.)
 λ = Costante di degradazione del primo ordine
 α_x = Dispersività longitudinale ($x/10$) (ASTM, 1995)
 α_y = Dispersività trasversale ($ax/3$) (ASTM, 1995)
 α_z = Dispersività verticale ($ax/20$) (ASTM, 1995)
 θ_s = Porosità efficace (adim.)

x = Distanza lungo l'asse centrale dal bordo sotto gradiente della sorgente del pennacchio (cm)
 K_s = Conducibilità idraulica (cm/giorno)
 C_{source} = Concentrazione alla sorgente (g/cm³)
 S_{wp} = Larghezza della sorgente (cm)
 S_d = Profondità della sorgente (cm)
 erf = Funzione errore



AP2.2.4 Migrazione della fase di prodotto dissolta in falda verso il punto di conformità

Anche in questo caso la contaminazione è già presente in falda e la modellazione viene effettuata per la sola terza fase, di quelle viste in precedenza, ossia attraverso il modello di Domenico, qui riportato. Trattandosi di migrazione verso il punto di conformità della fase dissolta di prodotto libero, per definizione la concentrazione in falda presso la sorgente (C_{source}) è pari alla solubilità della sostanza costituente il prodotto libero LNAPL.

Formula migrazione della fase dissolta in falda verso punto di conformità
Modello Domenico (Domenico, 1987)

$$C(x) = C_{source} \exp \left\{ \frac{x}{2\alpha_x} \left[1 - \left(1 + \frac{4\lambda\alpha_x}{u} \right)^{1/2} \right] \right\} \cdot \left(\operatorname{erf} \left[\frac{S_{wp}}{4\sqrt{\alpha_y x}} \right] \right) \cdot \left(\operatorname{erf} \left[\frac{S_d}{4\sqrt{\alpha_z x}} \right] \right)$$

Per tener conto del ritardo per adsorbimento il seguente u_d sostituisce la u nell'equazione soprastante:


Ritardo per assorbimento (u_d): $u_d = \frac{k_s i}{\theta_s R_c}$

Dove il fattore di ritardo:

$$R_c = \left[1 + \frac{K_d \rho_s}{\theta_s} \right]$$

$C(x)$ = Concentrazione al punto di conformità (g/cm³)
 u = ks/θ_s
 i = Gradiente idraulico (adim.)
 λ = Costante di degradazione del primo ordine
 α_x = Dispersività longitudinale ($x/10$) (ASTM, 1995)
 α_y = Dispersività trasversale ($ax/3$) (ASTM, 1995)
 α_z = Dispersività verticale ($ax/20$) (ASTM, 1995)
 θ_s = Porosità efficace (adim.)

x = Distanza lungo l'asse centrale dal bordo sotto gradiente della sorgente del pennacchio (cm)
 K_s = Conducibilità idraulica (cm/giorno)
 C_{source} = Concentrazione alla sorgente (g/cm³)
 S_{wp} = Larghezza della sorgente (cm)
 S_d = Profondità della sorgente (cm)
 erf = Funzione errore



AP2.3 Calcolo dei LAS per il recettore acque superficiali

AP2.3.1 Dilavamento del suolo e migrazione verso il punto di conformità

La modellazione di questo percorso viene suddivisa in quattro fasi distinte:

- la prima, la seconda e la terza sono le stesse viste al paragrafo 2.1 “Dilavamento dal suolo e migrazione verso il punto di conformità”, al quale si rimanda;
- nella quarta fase si calcola la concentrazione che assume la risorsa idrica superficiale (C_{source}) dopo aver drenato le acque di falda contaminate provenienti dal sito in esame.

Anche in questo caso, come per la fase di diluizione che ha luogo in falda quando questa è raggiunta dal flusso di infiltrazione verticale contaminato, il calcolo viene effettuato attraverso un coefficiente di diluizione - DF2 o fattore di diluizione della risorsa idrica superficiale.

Le equazioni ed i parametri utilizzati sono illustrati di seguito:

Formula dilavamento suolo superficiale e fattore di diluizione della risorsa idrica superficiale			
Fase 1: Partizione delle fasi nel suolo (USEPA, 1994)			
$C_T = C_w (K_d + (\theta_w + \theta_a H) / \rho_s)$	C_T = Concentrazione nel suolo (mg/kg) C_w = Concentrazione nell'acqua interstiziale (mg/l) K_d = Coefficiente di partizione suolo/acqua (adim.)	ρ_s = Densità secca del suolo (kg/l) θ_w = Contenuto d'acqua nella zona non satura (adim.) θ_a = Contenuto d'aria nella zona non satura (adim.) H = Costante della legge di Henry (adim.)	
Fase 2: Miscelazione in falda delle acque di infiltrazione			
$C_{source} = \frac{C_w}{DF} \cdot 10^{-6} \quad \text{dove:} \quad DF = 1 + \frac{(k \cdot d)}{(I \cdot L)}$ <p>Spessore della zona di miscelazione (DoE, 1994):</p> $d = (0.0112L^2)^{0.5} + d_a \{1 - \exp[(-LI) / (ki d_a)]\}$	DF = Fattore di diluizione (adim.) k = Conducibilità idraulica (m/anno) L = Lunghezza della sorgente parallela al flusso di falda (m)	d = Spessore della zona di miscelazione (m) i = Gradiente idraulico (adim.) I = Infiltrazione efficace (m/anno) d_a = Spessore dell'acquifero (m)	
Fase 3: Modello Domenico (Domenico, 1987)			
$C(x) = C_{source} \exp \left\{ \frac{x}{2\alpha_x} \left[1 - \left(1 + \frac{4\lambda\alpha_x}{u} \right)^{1/2} \right] \right\} \cdot \left(\operatorname{erf} \left[\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_y x}} \right] \right) \cdot \left(\operatorname{erf} \left[\frac{S_d}{4\sqrt{\alpha_z x}} \right] \right)$ <p>Per tener conto del ritardo per adsorbimento il seguente u sostituisce la u dell'equazione sopra (Fase 3):</p> <p>Dove il Fattore di ritardo:</p> $R_c = \left[1 + \frac{K_d \rho_s}{\theta_s} \right]$ <p>Ritardo per assorbimento (Ud):</p> $u_d = \frac{k_s i}{\theta_s R_c}$	α_y = Dispersività trasversale ($\alpha_x/3$) (ASTM, 1995) λ = Costante di degradazione del primo ordine u = ks / θ_s ks = Conducibilità idraulica (cm/giorno) x = Distanza lungo l'asse centrale dal bordo sotto gradiente della sorgente del pennacchio (cm) erf = Funzione errore α_z = Porosità efficace (adim.)	α_x = Dispersività longitudinale ($\alpha_x/10$) (ASTM, 1995) α_z = Dispersività verticale ($\alpha_x/20$) (ASTM, 1995) $C(x)$ = Concentrazione al punto di conformità (g/cm ³) S_w = Larghezza della sorgente (cm) S_d = Profondità della sorgente (cm) C_{source} = Concentrazione alla sorgente (g/cm ³)	
Fase 4: Fattore di diluizione della risorsa idrica superficiale (NRA,1994)			
$DF2 = \frac{C_t(Q_a + Q_u)}{C_t \cdot Q_a + C_u \cdot Q_u}$	$DF2$ = fattore di diluizione della risorsa idrica superficiale (adim.) C_t = concentrazione target della risorsa idrica superficiale (mg/l) C_u = concentrazione della risorsa idrica superficiale a monte del sito (mg/l) Q_a = portata della falda drenata dalla risorsa idrica superficiale (m ³ /s) Q_u = portata della risorsa idrica superficiale a monte del sito (m ³ /s)		

AP2.3.2 Migrazione della contaminazione della falda verso la risorsa idrica superficiale

In questo caso la contaminazione è già presente in falda e la modellazione viene effettuata solo per la terza e la quarta fase (diluizione nelle acque superficiali).

AP2.3.3 Migrazione della fase di prodotto disciolta in falda verso la risorsa idrica superficiale

Anche in questo caso la contaminazione è già presente in falda sotto forma di prodotto libero in galleggiamento sulla falda – LNAPL - e la modellazione viene effettuata con le sole terza e quarta fase. Trattandosi di migrazione verso il punto di conformità della fase disciolta di prodotto libero, per definizione la concentrazione in falda presso la sorgente (C_{source}) è pari alla solubilità della sostanza costituente il prodotto libero LNAPL.

Formula migrazione della fase dissolta in falda verso risorsa idrica superficiale		
Fase 1: Modello Domenico (Domenico, 1987)		
$C(x) = C_{source} \exp \left\{ \frac{x}{2\alpha_x} \left[1 - \left(1 + \frac{4\lambda\alpha_x}{u} \right)^{1/2} \right] \right\} \cdot \left(\operatorname{erf} \left[\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_y x}} \right] \right) \cdot \left(\operatorname{erf} \left[\frac{S_d}{4\sqrt{\alpha_z x}} \right] \right)$		
Per tener conto del ritardo per adsorbimento il seguente u sostituisce la u nell'equazione soprastante:		
Dove il fattore di ritardo: $R_c = \left[1 + \frac{K_d \rho_s}{\theta_s} \right]$		
Ritardo per assorbimento (ud): $u_d = \frac{k_s \cdot 1}{\theta_s R_c}$		
Fase 2 : Fattore di diluizione della risorsa idrica superficiale (NRA,1994)		
$DF2 = \frac{C_t(Q_a + Q_u)}{C_t \cdot Q_a + C_u \cdot Q_u}$		
DF2 = fattore di diluizione della risorsa idrica superficiale (adim.) C _T = concentrazione target della risorsa idrica superficiale (mg/l) C _u = concentrazione della risorsa idrica superficiale a monte del sito (mg/l) Q _a = portata della falda drenata dalla risorsa idrica superficiale (m³/s) Q _u = portata della risorsa idrica superficiale a monte del sito (m³/s)		
$C(x)$ = Concentrazione al punto di conformità (g/cm³) $u = k_s / \theta_s$ i = Gradiente idraulico (adim.) λ = Costante di degradazione del primo ordine α_y = Dispersività trasversale (ax/3) (ASTM, 1995) α_z = Dispersività verticale (ax/20) (ASTM, 1995)	x = Distanza lungo l'asse centrale dal bordo sotto gradiente della sorgente del pennacchio (cm) K_s = Conducibilità idraulica (cm/giorno) C_{source} = Concentrazione alla sorgente (g/cm³) α'_x = Dispersività longitudinale (x/10) (ASTM, 1995)	S_w = Larghezza della sorgente (cm) S_d = Profondità della sorgente (cm) erf = Funzione errore θ_s = Porosità efficace (adim.)

