

## APPENDICE L

### **CALCOLO DEL RISCHIO E DELL'INDICE DI PERICOLO**

Nella presente Appendice si riportano le modalità di calcolo per la stima del Rischio e dell'Indice di Pericolo utilizzate dai testi adottati quali riferimento di base e dai software esaminati (paragrafo L.1) in modo da definire una procedura utile per la stima del Rischio e dell'Indice di Pericolo (paragrafo L.2). Nel paragrafo L.3 vengono riportati i criteri di accettabilità del Rischio per la salute umana adottati da diversi paesi e organismi internazionali, quelli proposti dai testi bibliografici utilizzati come riferimento di base e dai software presi in esame ed infine vengono riportati i criteri di accettabilità del rischio adottati sulla base delle indicazioni dell'Istituto Superiore di Sanità (paragrafo L.4).

Il rischio per la salute umana, come riportato nel cap. 4 del testo, viene differenziato tra individuale e cumulativo. Si definisce:

- **Rischio e indice di pericolo individuale (R e HQ):** rischio dovuto ad un singolo contaminante per una o più vie d'esposizione.
- **Rischio e indice di pericolo cumulativo ( $R_{TOT}$  e  $HQ_{TOT}$ ):** rischio dovuto alla cumulazione degli effetti di più sostanze per una o più vie d'esposizione.

#### **L.1 ANALISI DEI TESTI DI RIFERIMENTO E DEI SOFTWARE**

Allo scopo di definire i criteri per il calcolo del rischio e dell'indice di pericolo, sono stati presi come riferimento alcuni documenti che riguardano la stima di valori guida o screening, corrispondenti al livello 1 di analisi di rischio, applicata secondo la procedura di applicazione inversa (*backward*). Tali criteri, applicabili sia nella procedura diretta che in quella inversa di analisi, vengono di seguito riportati come utile riferimento anche per il livello 2 di analisi di rischio sito-specifica

Dalla analisi di tali documenti emerge che per quanto riguarda il calcolo del rischio e dell'indice di pericolo sia individuale che cumulativo per singola via di esposizione tutti propongono, sostanzialmente, lo stesso criterio, descritto nel capitolo 4; mentre i criteri di

calcolo differiscono nel caso di rischio individuale o cumulativo per più vie di esposizione.

Nel seguito si riportano, quindi, i criteri proposti per il calcolo del rischio per più vie di esposizione dai testi adottati come riferimento di base (cap. 2), dai documenti [U.S.EPA 1996 e 2002d] e [EPA-Region09, 2004] e dai quattro software descritti nel capitolo 5.

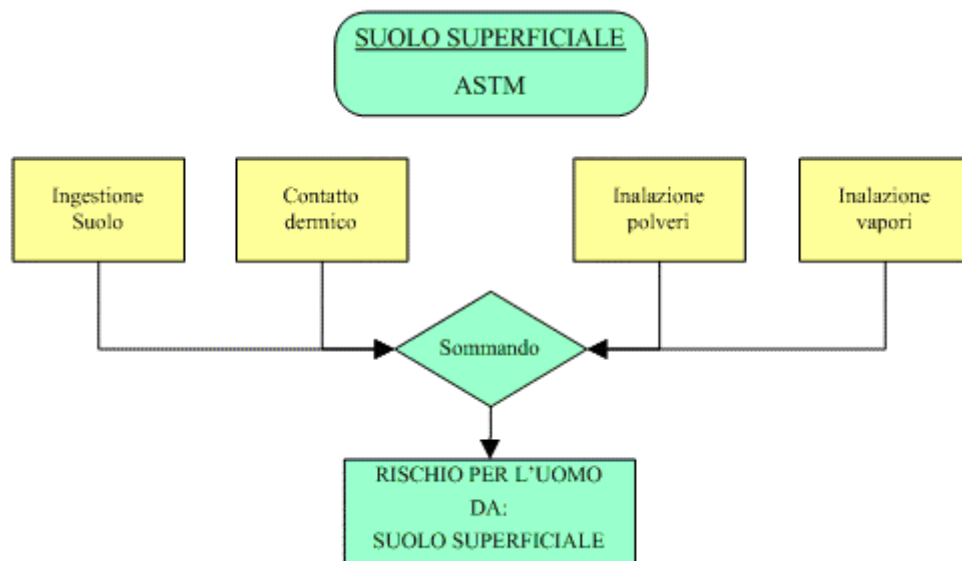
### L.1.1 RBCA (ASTM E 1739, 1995; PS 104, 1998; E 2081, 2000)

I documenti RBCA (ASTM 1995, 1998, 2000) propongono, a titolo di esempio per la derivazione degli RBSL nel livello 1, il calcolo del rischio per più vie di esposizione in funzione della sorgente di contaminazione. Le sorgenti di contaminazione considerate sono suolo superficiale (SS), suolo profondo (SP) e falda (F).

#### SUOLO SUPERFICIALE

Le vie di esposizione attivabili per la sorgente suolo superficiale sono: ingestione di suolo, contatto dermico con il suolo, inalazione di vapori e polveri.

Il rischio derivante dalla contaminazione nel suolo superficiale viene calcolato raggruppando e quindi cumulando gli effetti dovuti alle diverse modalità di esposizione (Figura L.1-1).



**Figura L.1-1: Criterio ASTM per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per il suolo superficiale**

Per il suolo superficiale non si considera la volatilizzazione indoor di particolato e di vapori, in quanto si assume che la volatilizzazione in ambienti indoor avvenga solo per vapori da suolo profondo, pertanto nella figura L.1.1 l'inalazione di polveri e vapori è da intendersi in ambienti outdoor.

### SUOLO PROFONDO

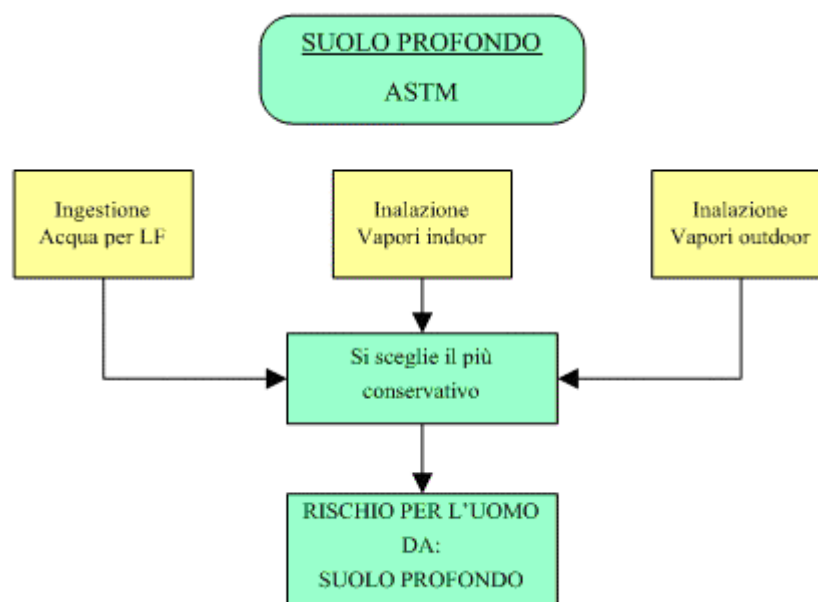
Le vie di esposizione attivabili per la sorgente suolo profondo sono: inalazione di vapori indoor, inalazione di vapori outdoor ed ingestione acqua per LF.

Il rischio derivante dalla sorgente suolo profondo viene calcolato scegliendo il valore più conservativo tra i rischi individuati per singola modalità di esposizione (Figura L.1-2). In questo calcolo i contributi dovuti all'inalazione di vapori e polveri indoor e quelli outdoor non vengono sommati, ma si tiene conto del più conservativo. Questo viene fatto per coerenza di assunzione del tasso di inalazione giornaliera IR. Infatti nei dati di default dei parametri dell'esposizione il tasso di inalazione in ambito residenziale viene assunto:

$IR_{indoor}=15 \text{ m}^3/\text{giorno}$

$IR_{outdoor}=20 \text{ m}^3/\text{giorno}$

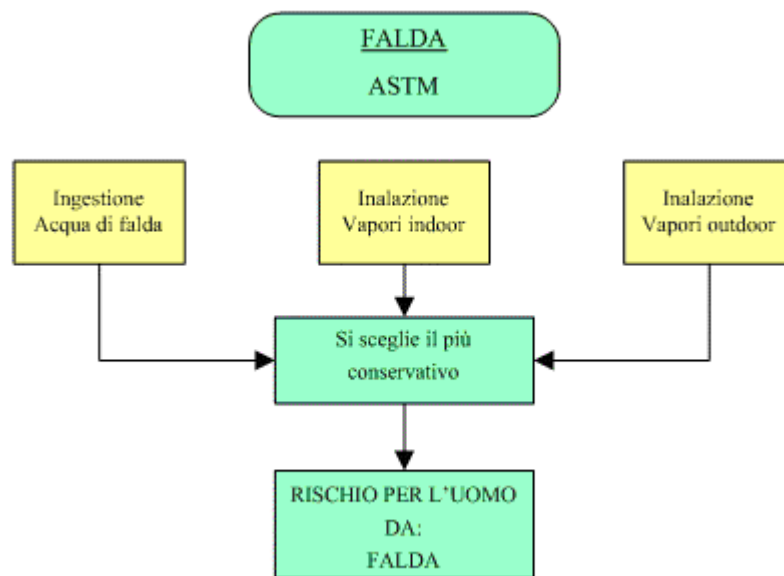
Essendo dei valori di assunzione molto alti, viene analizzata la situazione limite in cui, o si è sempre in ambienti confinati, o si è sempre in ambienti aperti.



**Figura L.1-2: Criterio ASTM per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per il suolo profondo**

### FALDA

Le vie di esposizione attivabili per la sorgente falda sono: inalazione di vapori indoor, inalazione di vapori outdoor ed ingestione di acqua di falda. Il rischio derivante dalla falda, come per il suolo profondo, viene calcolato scegliendo il valore più conservativo tra i rischi individuati per singola modalità di esposizione (Figura L.1-3).



**Figura L.1-3: Criterio ASTM per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione in falda**

### **L.1.2 SOIL SCREENING GUIDANCE (U.S. EPA, 1996)**

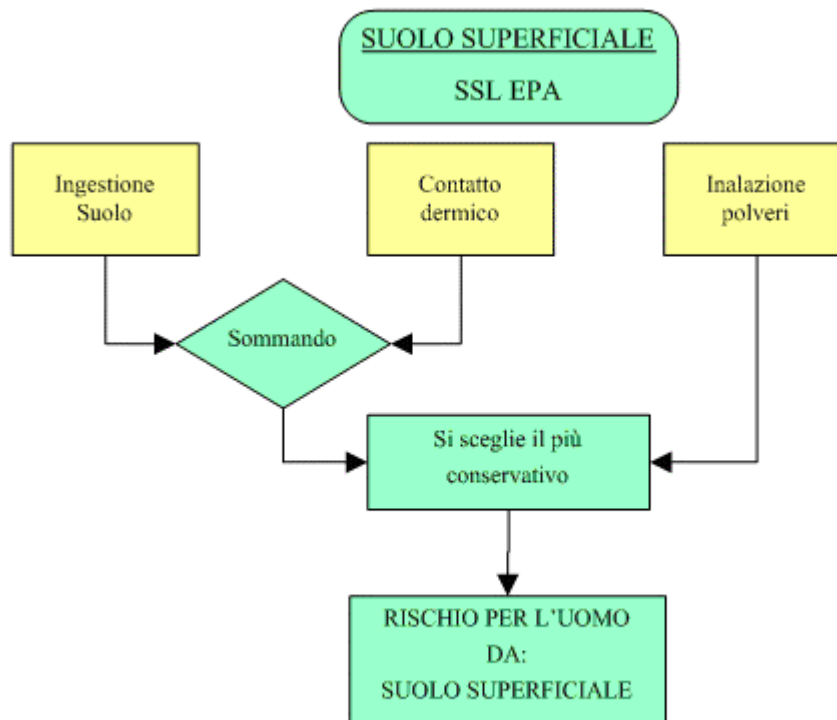
Il documento Soil Screening Guidance (U.S. EPA, 1996) con le modifiche e le integrazioni del documento Supplemental Guidance For Developing Soil Screening Levels For Superfund Sites (U.S. EPA, 12/2002) propone il calcolo del rischio per più vie d'esposizione in funzione della sorgente di contaminazione. Le sorgenti di contaminazione considerate sono suolo superficiale e suolo profondo.

### SUOLO SUPERFICIALE

I tipi di esposizione che intervengono da suolo superficiale sono: ingestione di suolo, contatto dermico con il suolo ed inalazione di polveri.

Rispetto alla versione del '96, il nuovo aggiornamento considera separatamente la volatilizzazione di particolato e la volatilizzazione di vapori, considerando quest'ultima solo nel suolo profondo.

Il rischio derivante dal suolo superficiale viene calcolato cumulando gli effetti dovuti a ingestione di suolo e contatto dermico e scegliendo il più conservativo tra queste ultime e la volatilizzazione di polveri (Figura L.1-4)



**Figura L.1-4: Criterio SSL(EPA) per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per il suolo superficiale**

### SUOLO PROFONDO

Le vie di esposizione attivabili da suolo profondo sono: inalazione di vapori indoor, inalazione di vapori outdoor ed ingestione acqua per lisciviazione verso la falda.

Il calcolo del rischio da suolo profondo viene fatto scegliendo il valore più conservativo tra i rischi individuati per singola modalità di esposizione (Figura L.1-5).



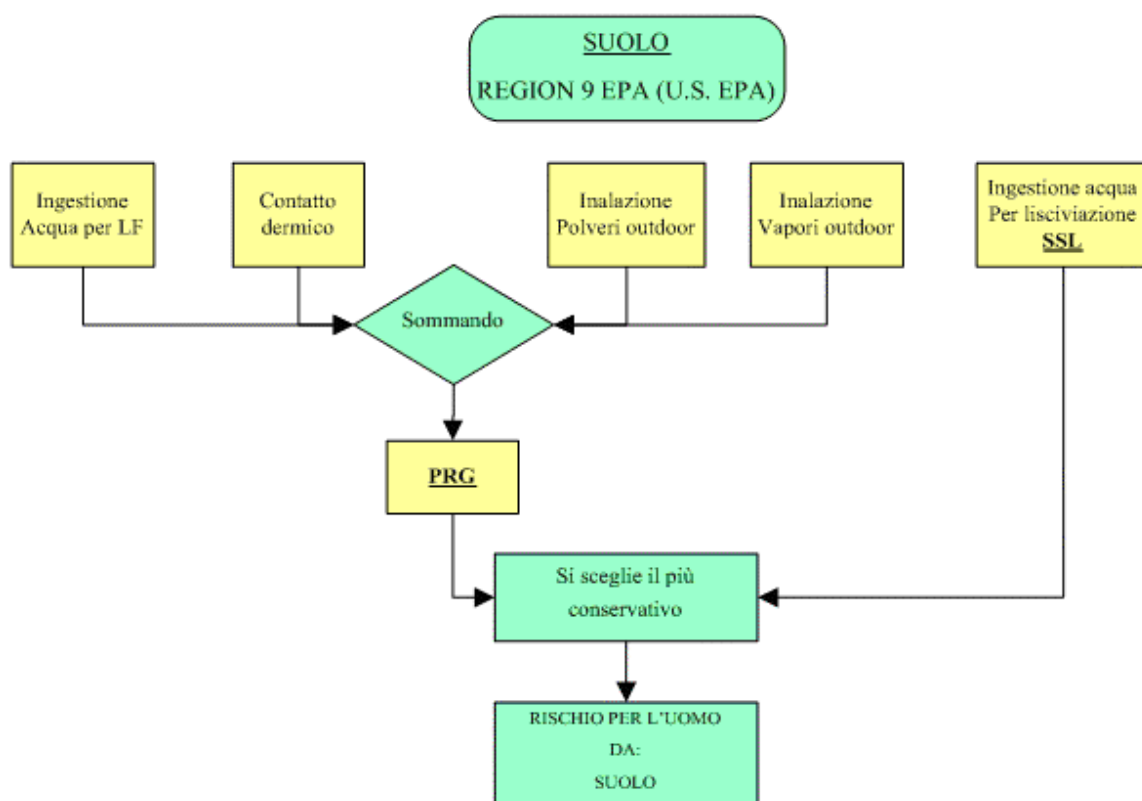
**Figura L.1-5: Criterio SSL(EPA) per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per il suolo profondo**

### **L.1.3 USERS' GUIDE AND BACKGROUND TECHNICAL DOCUMENT FOR USEPA REGION 9'S PRELIMINARY REMEDIATION GOALS (PRG) TABLE [EPA 2004]**

Il documento Users' guide and background technical document for USEPA Region 9's Preliminary Remediation Goals (PRG) table [EPA-Region 9, 2004] stima il rischio in funzione della sorgente di contaminazione (SS, SP, F). A differenza dei testi precedentemente descritti il PRG [Region 9-US.EPA] non distingue tra suolo superficiale e suolo profondo ma considera il suolo in maniera generale, come matrice unica. Le sorgenti di contaminazione sono quindi il suolo e la falda.

#### **SUOLO**

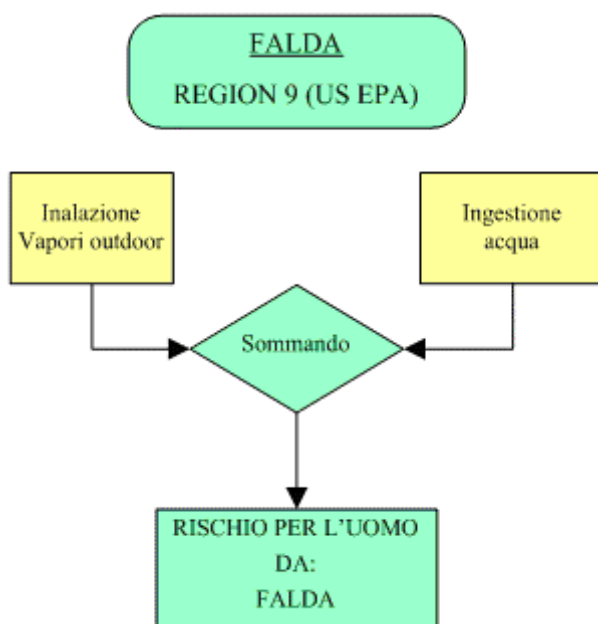
Le vie di esposizione attivabili per la matrice suolo sono: ingestione di suolo, contatto dermico con il suolo, ingestione d'acqua per lisciviazione a falda ed inalazione di polveri e vapori. Il rischio dalla sorgente suolo viene calcolato raggruppando e quindi cumulando gli effetti dovuti ai vari tipi di esposizione escludendo l'ingestione d'acqua dovuto a lisciviazione (Figura L.1-6)



**Figura L.1-6 :Criterio Region 9 (EPA) per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per il suolo.**

### FALDA

Le vie di esposizione attivabili per la sorgente falda sono: inalazione di vapori ed ingestione di acqua di falda. Il rischio da falda, viene calcolato sommando gli effetti dovuti ai vari tipi di esposizione (Figura L.1-7).



**Figura L.1-7: Criterio Region 9 (EPA) per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per la falda**

### L.1.4 CONCAWE (Report NO 2/97)

Il documento CONCAWE propone il calcolo del rischio per più vie d'esposizione in funzione della sorgente di contaminazione. Le sorgenti di contaminazione considerate sono suolo superficiale, suolo profondo e falda..

Non vengono specificati i cumulativi per le varie sorgenti di contaminazione ma viene definito in maniera generica.

#### SUOLO

Il calcolo del rischio non viene distinto per suolo superficiale e suolo profondo ma viene definito in maniera generica:

$$R_{TOT}=R_{ingestione}+R_{contattodermico}+R_{inalazione} \text{ (Figura L.1-8)}$$

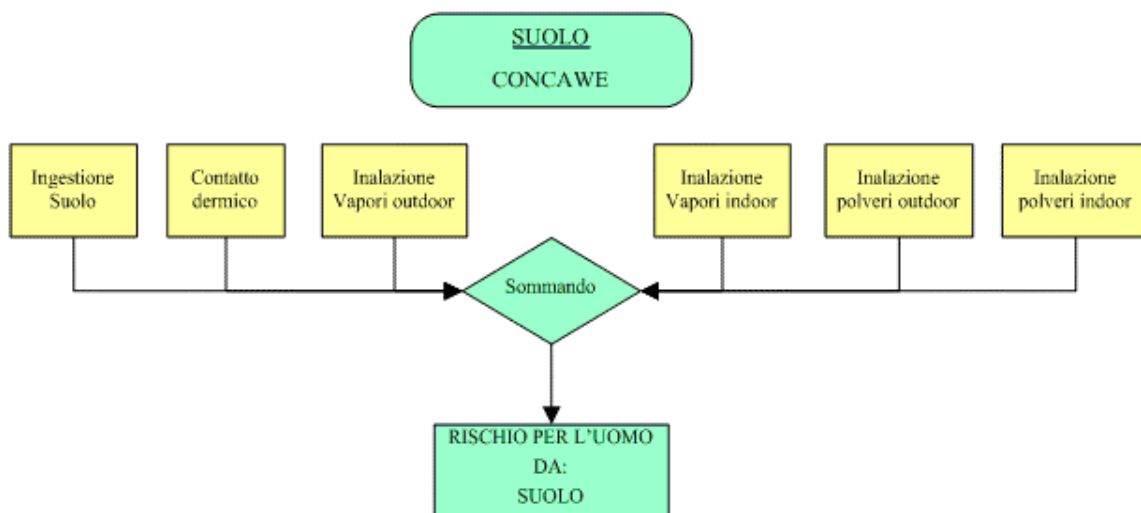


Figura L.1-8: Criterio Concawe per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per il suolo

#### FALDA

A differenza dell'RBCA(ASTM 95) il contributo dovuto a lisciviazione in falda da suolo profondo viene considerato e quindi cumulato in falda e non nel suolo (Figura L.1-9).



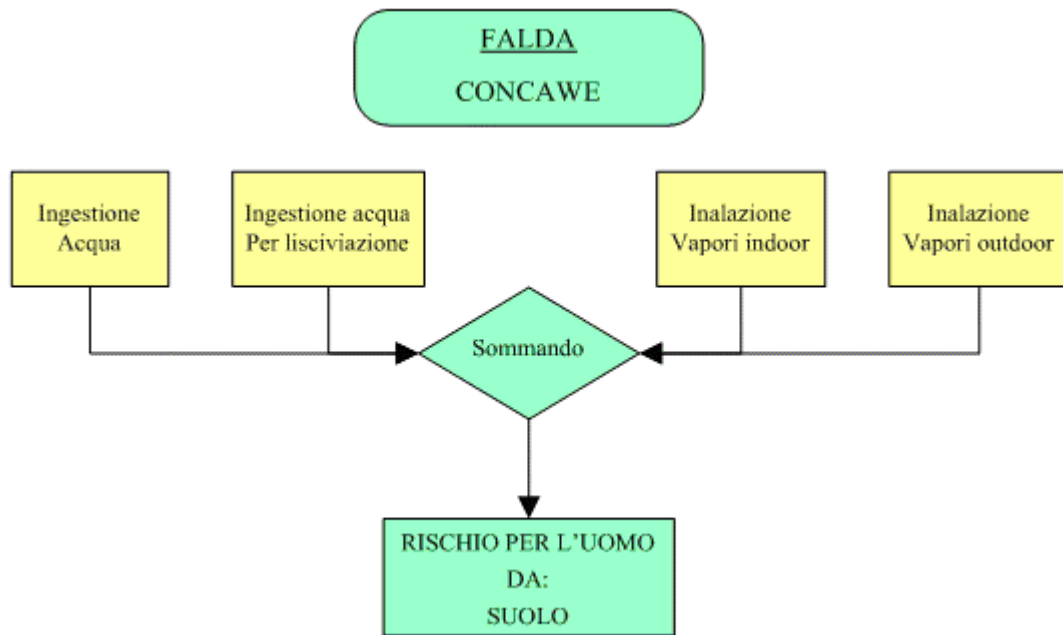


Figura L.1-9: Criterio Concave per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per la falda

### L.1.5 RBCA Tool Kit ver. 1.2

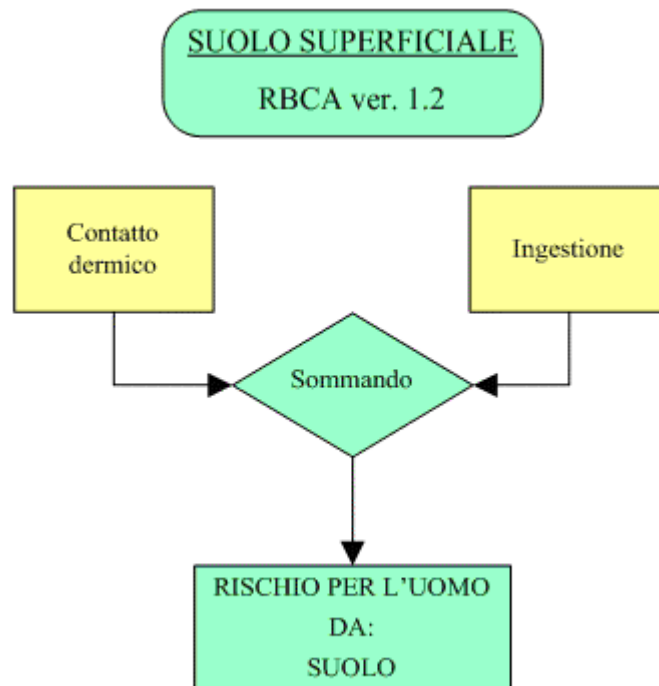
Il software RBCA Tool Kit ver. 1.2 propone il calcolo del rischio, a differenza dei test precedentemente analizzati, raggruppando in funzione della via di esposizione e non della sorgente di contaminazione. Le vie d'esposizione considerate sono: suolo superficiale, aria, falda e acqua superficiale.

Nel software il calcolo del rischio riguarda solo il recettore umano.

Si sottolinea che il software richiede in input un solo valore di concentrazione rappresentativo per il suolo insaturo. Lo stesso non differenzia quindi tra concentrazione rappresentativa alla sorgente per il suolo superficiale e per il suolo profondo e attribuisce lo stesso valore di concentrazione ad entrambe le sorgenti di contaminazione.

### SUOLO

Per la sorgente suolo, i tipi di esposizione considerati sono: contatto dermico ed ingestione di suolo. Il calcolo del rischio viene fatto cumulando gli effetti dovuti a contatto dermico ed ingestione di suolo (Figura L.1-10).

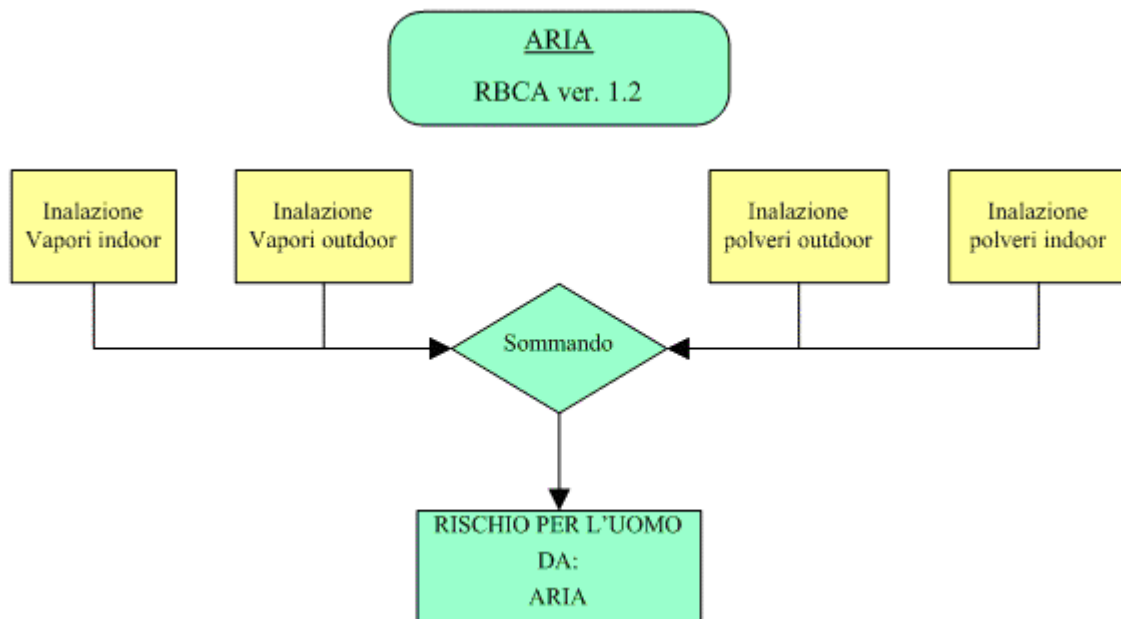


**Figura L.1-10: Criterio RBCA ToolKit ver.1.2 per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per il suolo superficiale**

### ARIA

Per la sorgente aria intervengono la volatilizzazione di vapori e particolato da suolo superficiale e la volatilizzazione di vapori da suolo profondo.

Il calcolo del rischio viene fatto cumulando gli effetti dovuti all'inalazione di vapori indoor e particolato da suolo superficiale e la volatilizzazione di vapori da suolo profondo e falda (Figura L.1-11).

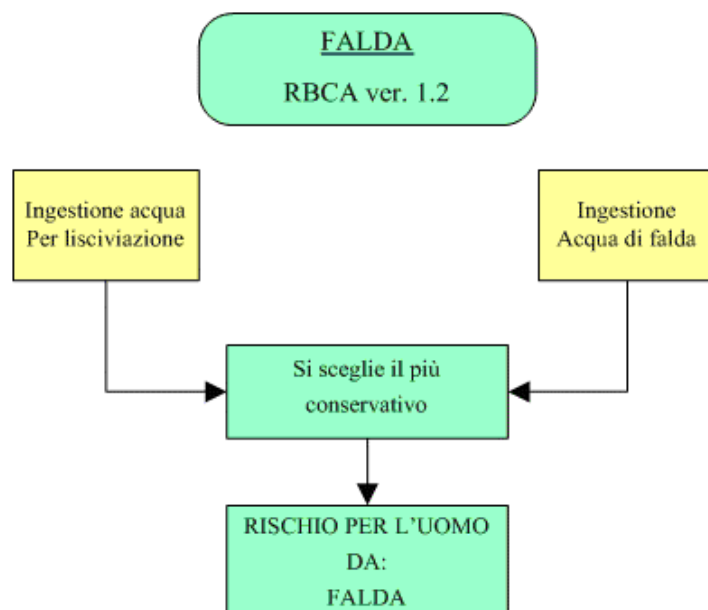


**Figura L.1-11: Criterio RBCA ToolKit ver.1.2 per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per l'aria**

### FALDA

Per la sorgente falda, la via di esposizione considerata è l'ingestione d'acqua dovuta alla contaminazione della falda e la lisciviazione in quest'ultima di sostanze contaminate da suolo profondo.

Il calcolo del rischio viene fatto selezionando il più critico tra gli effetti dovuti a ingestione d'acqua di falda direttamente contaminata e contaminata per lisciviazione da suolo (Figura L.1-12).

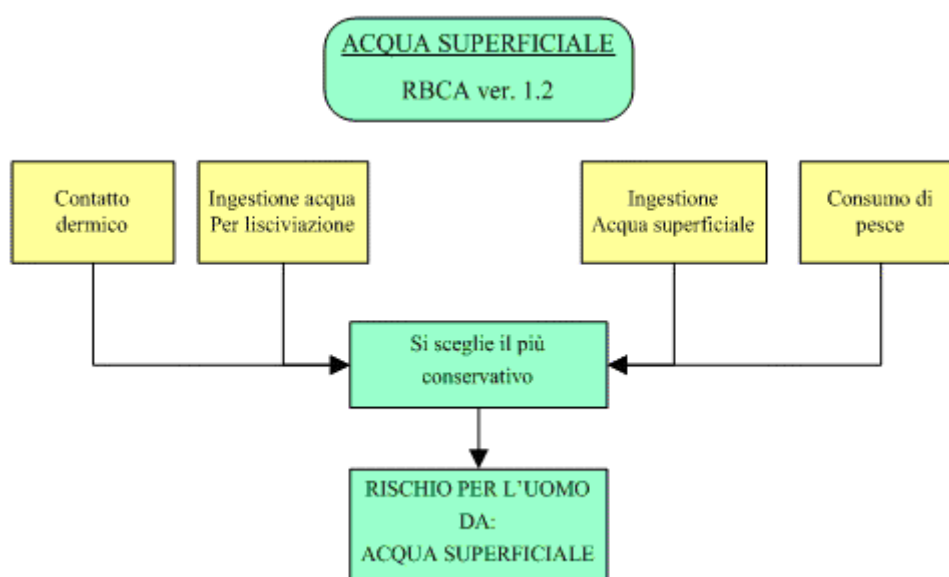


**Figura L.1-12 : Criterio RBCA ToolKit ver.1.2 per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per la falda**

#### ACQUA SUPERFICIALE

Per l'acqua superficiale le vie di esposizione considerate sono il contatto dermico, l'ingestione d'acqua superficiale contaminata dall'immissione di acque di falda, a loro volta contaminate per lisciviazione da suolo profondo e il consumo di pesce.

Il calcolo del rischio viene fatto selezionando il valore più critico tra gli effetti stimati da queste vie di esposizione (Figura L.1-13).



**Figura L.1-13: Criterio RBCA ToolKit ver.1.2 per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per la falda**

**L.1.6 ROME ver. 2.1 e GIUDITTA ver. 3.0**

I due software ROME ver. 2.1 e GIUDITTA ver. 3.0 calcolano il rischio in funzione della sorgente di contaminazione, anziché della via di esposizione. Quindi adottano un criterio di calcolo del rischio differente da quello del software RBCA Tool Kit ver. 1.2.

Il calcolo del rischio è differenziato in:

- Rischio per la salute umana (ROME e GIUDITTA);
- Rischio per la risorsa idrica sotterranea (ROME e GIUDITTA);
- Rischio per la risorsa idrica superficiale (ROME).

Quindi, a differenza del software RBCA, i software ROME e GIUDITTA non calcolano il rischio per la salute umana derivante da ingestione di acqua di falda contaminata e il rischio derivante da contatto dermico e ingestione accidentale di acqua superficiale.

Il rischio per la risorsa idrica sotterranea viene stimato, da entrambe i software, ponendo a confronto il valore di concentrazione del contaminante in falda con i valori di concentrazione limite della falda ( $CL_{GW}$ ) previste dal D.M. 471/99 e per le acque destinate ad uso umano dal D. Lgs. 31/2001, in corrispondenza del punto di conformità, che può trovarsi on-site oppure off-site. Il rapporto tra questi due valori definisce numericamente il “rischio” per la risorsa idrica sotterranea, che ha una valenza diversa rispetto al rischio stimato per l'uomo, in quanto non rappresenta un rischio di carattere sanitario, bensì una stima del superamento della  $CL_{GW}$  nel punto di conformità. Il calcolo del rischio sanitario da ingestione di acqua potabile viene svolto da ROME solo per la stima dei  $CL_{GW}$  per le sostanze le cui concentrazione limite non sono normate (limiti del DM 471 “surrogati”):

Analogamente, nel software ROME il rischio per la risorsa idrica superficiale viene calcolato ponendo a confronto il valore di concentrazione del contaminante nell'acqua superficiale con i valori di concentrazione limite delle acque superficiali ( $CL_{SW}$ ) previste nel D.Lgs. 152/99 (Tabella L.1-1).

**Tabella L.1-1 : Concentrazioni accettabili per le acque superficiali ( 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	0,05	1

*Legenda*

1 = Valore guida;

2 = Valore imperativo.

Per quanto riguarda il calcolo del rischio, i software individuano diverse sorgenti di contaminazione in funzione del bersaglio considerato, come mostrato in tabella L.3.

**Tabella L.1-2 : Calcolo del rischio in funzione della sorgente di contaminazione (software ROME ver. 2.1 e GIUDITTA ver. 3.0)**

RECETTORE	SORGENTE DI CONTAMINAZIONE	MODALITA' DI ESPOSIZIONE
<b>UOMO</b>  (ROME e GIUDITTA)	SUOLO SUPERFICIALE	Ingestione e contatto dermico di suolo Inalazione di aria indoor e outdoor
	SUOLO PROFONDO	Inalazione di aria indoor e outdoor
	FALDA	Inalazione di aria indoor e outdoor
	PRODOTTO LIBERO	Inalazione di aria indoor e outdoor
<b>RISORSA IDRICA SOTTERRANEA</b>  (ROME e GIUDITTA)	SUOLO INSATURO (superficiale e profondo)	$R = C_{GW}/CL_{GW}$  Rischio accettabile: $R \leq 1$
	FALDA	
	PRODOTTO LIBERO	
<b>RISORSA IDRICA SUPERFICIALE</b>  (ROME)	SUOLO INSATURO (superficiale e profondo)	$R = C_{SW}/CL_{SW}$  Rischio accettabile: $R \leq 1$
	FALDA	
	PRODOTTO LIBERO	

Il software GIUDITTA ver. 3.0 dà la possibilità all'interno di uno stesso progetto di discriminare tra suolo profondo e superficiale a seconda della profondità  $z$  di campionamento. Qualora utilizzato in modalità semplice possono essere unicamente inseriti tre punti di campionamento corrispondenti a suolo superficiale, suolo profondo e

falda. Qualora utilizzato in modalità complessa, ogni punto di campionamento inserito viene riconosciuto dal software come appartenente alla matrice suolo superficiale se la profondità di campionamento è inferiore o uguale ad 1,5 m da p.c.m, altrimenti viene attribuito al suolo profondo.

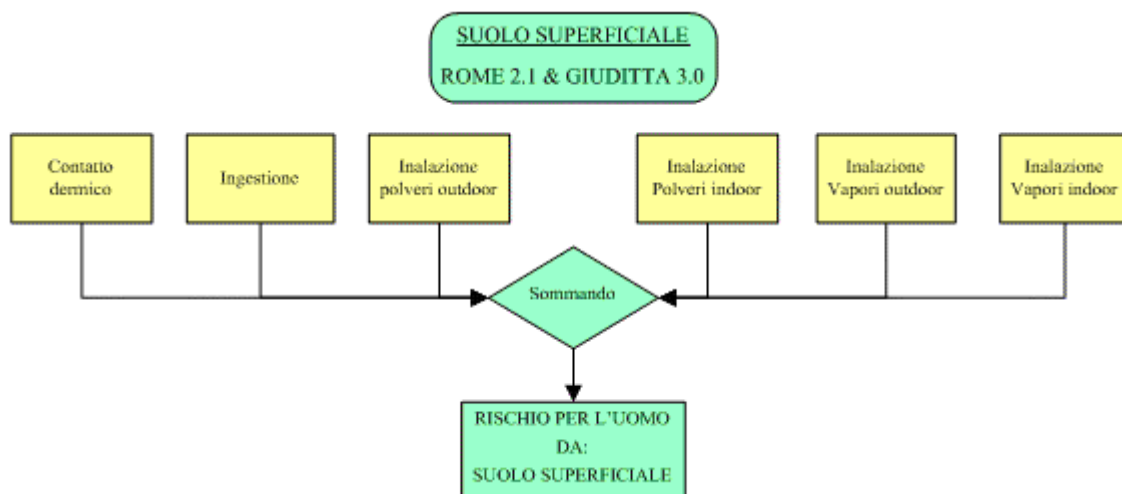
A differenza del software GIUDITTA, il software RBCA non dà la possibilità all'interno di uno stesso progetto di discriminare tra suolo profondo e superficiale, ma la scelta delle equazioni da applicarsi nel caso di contaminazione da suolo superficiale o profondo è effettuata una volta inserite le profondità corrispondenti al top e al bottom della contaminazione nel suolo.

Il software ROME permette l'inserimento in input di due valori di concentrazione differenziati in funzione della sorgente di contaminazione, suolo superficiale e suolo profondo.

### SUOLO SUPERFICIALE

Le vie di esposizione attivabili per la sorgente suolo superficiale sono: ingestione di suolo, contatto dermico con il suolo, inalazione di vapori indoor, inalazione di vapori outdoor, inalazione di polveri indoor e inalazione di polveri outdoor.

Il rischio da suolo superficiale viene calcolato raggruppando gli effetti dovuti ai vari percorsi di esposizione (Figura L.1-14)



**Figura L.1-14 : Criterio ROME 2.1 e GIUDITTA 3.0 per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per il suolo superficiale**

Il “rischio” da suolo superficiale per l’eventuale contaminazione della falda da lisciviazione, è stimato separatamente attraverso il confronto con le  $CL_{GW}$  come sopra ricordato.

### SUOLO PROFONDO

A differenza dei testi e dei software precedentemente analizzati il ROME ed il GIUDITTA non considerano la modalità ingestione di acqua di falda contaminata a partire dalla lisciviazione dal suolo. I tipi di esposizione considerati sono: inalazione di vapori indoor ed inalazione di vapori outdoor (Figura L.1-15).

Il “rischio” da suolo profondo per l’eventuale contaminazione della falda da lisciviazione, è stimato separatamente attraverso il confronto con le  $CL_{GW}$  come sopra ricordato.



**Figura L.1-15: Criterio ROME 2.1 e GIUDITTA 3.0 per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per il suolo profondo**

### FALDA

Le vie di esposizione attivabili per la falda, nell’ambito del calcolo del rischio sanitario-ambientale, sono inalazione indoor ed outdoor di vapori. Il calcolo del rischio sanitario-ambientale per l’uomo derivante dalla falda viene fatto sommando gli effetti dovuti all’inalazione indoor ed outdoor di vapori (Figura L.1-16). Viceversa il “rischio” per la



falda è stimato attraverso il confronto con le  $CL_{GW}$  nel punto di conformità come sopra ricordato. il grafico deve risultare nel rischio da falda.



**Figura L.1-16 : Criterio ROME 2.1 e GIUDITTA 3.0 per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per la falda**

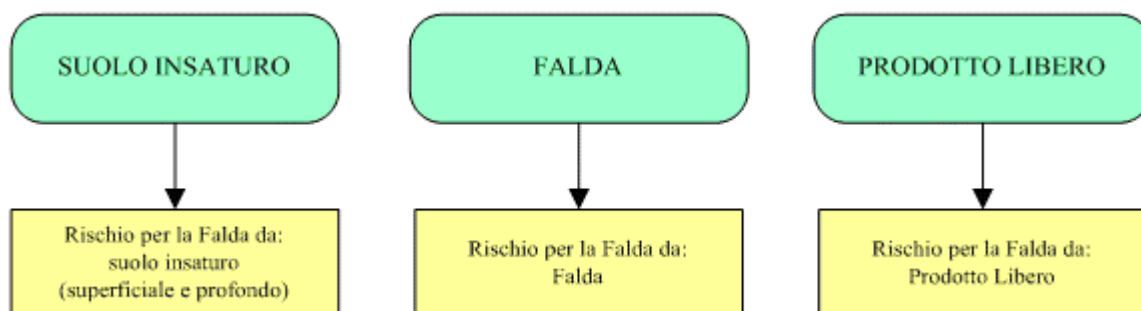
### PRODOTTO LIBERO

Le vie di esposizione attivabili dal prodotto libero sono inalazione di vapori outdoor e indoor. Il rischio da prodotto libero viene calcolato sommando gli effetti dovuti ai due tipi di esposizione (Figura L.1-17).



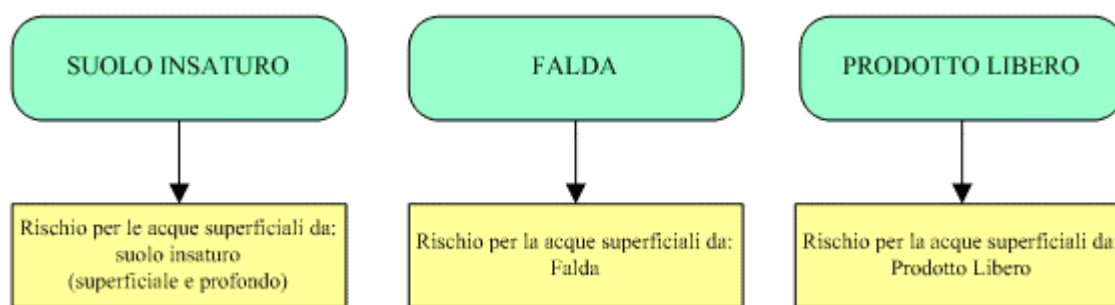
**Figura L.1-17 : Criterio ROME 2.1 e GIUDITTA 3.0 per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per la falda**

Il rischio per la risorsa idrica sotterranea viene differenziato in funzione della possibile sorgente di contaminazione (suolo insaturo, falda, prodotto libero) e le tre stime di rischio non vengono cumulate (Figura L.1-18). In tale ambito, il ROME, ad esempio, seleziona il maggiore dei valori individuati.



**Figura L.1-18 : ROME 2.1 e GIUDITTA 3.0 per calcolo del rischio per la falda**

Il rischio per la risorsa idrica superficiale viene differenziato in funzione della possibile sorgente di contaminazione (suolo insaturo, falda, prodotto libero) e le tre stime di rischio non vengono cumulate (Figura L.1-19). In tale ambito, il ROME, ad esempio, seleziona il maggiore dei valori individuati.



**Figura L.1-19 : ROME 2.1 e GIUDITTA 3.0 per calcolo del rischio per la falda**

### **L.1.7 BP-RISC ver. 4.0**

Il software BP-RISC ver. 4.0 calcola il rischio in funzione solo di alcune vie di esposizione, come sarà più chiaramente esplicitato nel seguito.

Nel software il calcolo del rischio riguarda solo il recettore umano.

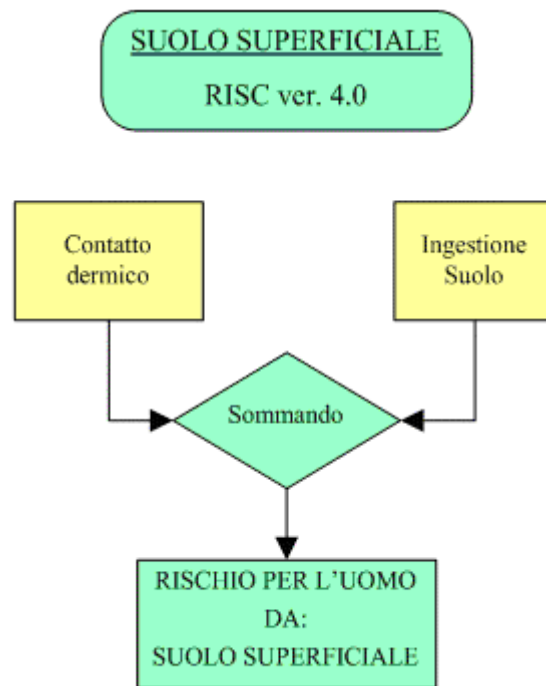
Per quanto riguarda il rischio determinato da diverse vie di esposizione il software RISC permette il calcolo solo in corrispondenza ad alcune di esse. In particolare, alcune distinte modalità di esposizione, come ad esempio inalazione di vapori indoor e inalazione di vapori outdoor, non possono essere attivate nell'ambito di una unica simulazione, quindi i rischi corrispondenti possono essere sommati solo manualmente dall'utente del software. Anche il calcolo del rischio dovuto alla presenza di distinte sorgenti di contaminazione (ad esempio suolo insaturo e falda entrambe contaminati) collegate ad una stessa modalità di esposizione (ad esempio ingestione di acqua di falda) richiede l'applicazione di due distinte simulazioni.

Come per il software RBCA, il software RISC richiede in input un solo valore di concentrazione rappresentativo per il suolo insaturo. Lo stesso non differenzia quindi tra concentrazione rappresentativa alla sorgente per il suolo superficiale e per il suolo profondo e attribuisce lo stesso valore di concentrazione ad entrambe le sorgenti di contaminazione.

Il software RISC calcola il rischio in funzione della sorgente di contaminazione secondo i criteri di seguito riportati:

#### SUOLO SUPERFICIALE

I valori di rischio derivanti da una esposizione relativa al contatto dermico e alla ingestione di suolo superficiale contaminato vengono sommati, per calcolare il rischio (o Indice di Pericolo) relativo alla via di esposizione suolo superficiale (Figura L.1-20).

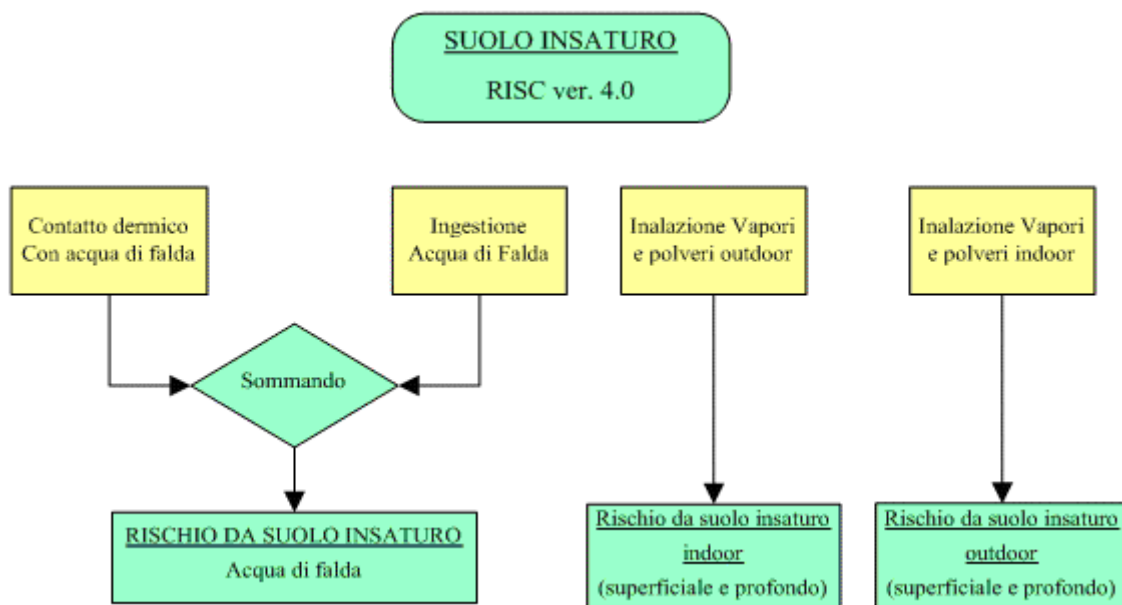


**Figura L.1-20 : Criterio RISC 4.0 per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per la falda**

Le sorgenti di contaminazione suolo insaturo e falda vengono considerate separatamente e, come già detto i corrispondenti rischi, anche se relativi alla stessa modalità di esposizione, non vengono sommati.

#### SUOLO INSATURO

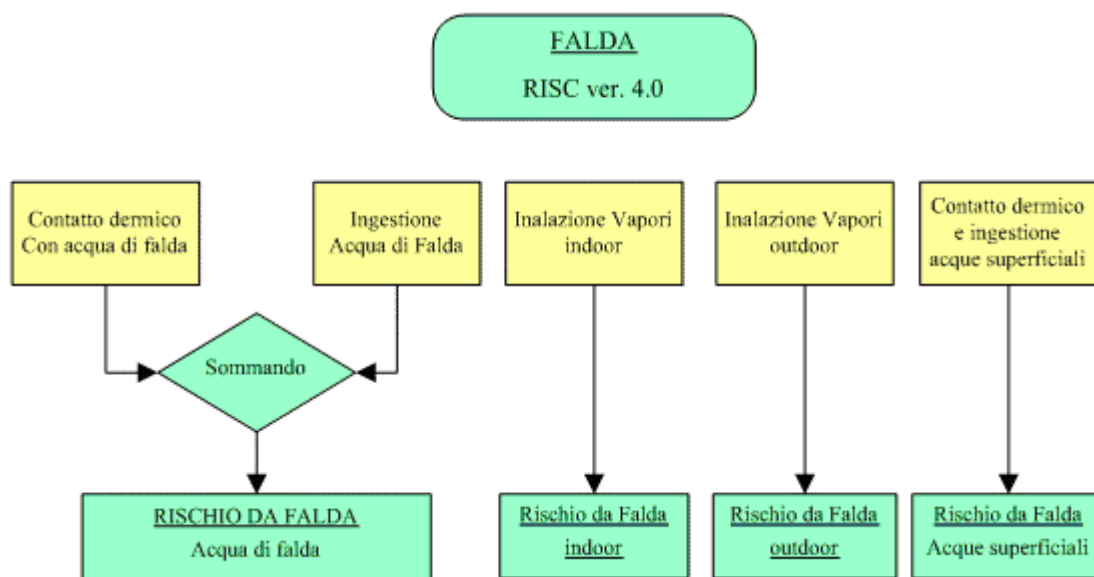
I valori di rischio derivanti da una esposizione relativa alla ingestione e al contatto dermico con acqua di falda contaminata da lisciviazione dall'insaturo, vengono sommati se la sorgente di contaminazione è comune; i rischi derivanti da inalazione indoor e outdoor di vapori dall'insaturo non vengono sommati ed il suo calcolo richiede due distinte simulazioni (Figura L.1-21).



**Figura L.1-21 : Criterio RISC 4.0 per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per il suolo insaturo**

### FALDA

I valori di rischio derivanti da una esposizione relativa alla ingestione e al contatto dermico con acqua di falda vengono sommati solo se la sorgente di contaminazione è comune; i rischi derivanti da inalazione indoor e outdoor di vapori dalla falda non vengono sommati ed il calcolo richiede due distinte simulazioni. Il rischio dovuto a contatto dermico e ingestione accidentale di acqua superficiale viene calcolato solo se la sorgente di contaminazione è in falda (Figura L.1-22).



**Figura L.1-22 : Criterio RISC 4.0 per calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione per la falda**

Infine, si ritiene opportuno sottolineare che il software RISC prende in considerazione ulteriori vie e modalità di esposizione (come, ad esempio, inalazione, ingestione e contatto dermico di acqua di falda usata per l'irrigazione; inalazione di acqua di falda durante la doccia; ingestione di vegetali contaminati) di cui non si è tenuto conto poiché non previste dalla procedura descritta nel presente documento.

## L.2 CALCOLO DEL RISCHIO DOVUTO A PIÙ VIE DI ESPOSIZIONE

Il criterio proposto di calcolo del rischio dovuto a più vie d'esposizione ha un approccio simile a quello adottato dal documento *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites [ASTM, 1995]*.

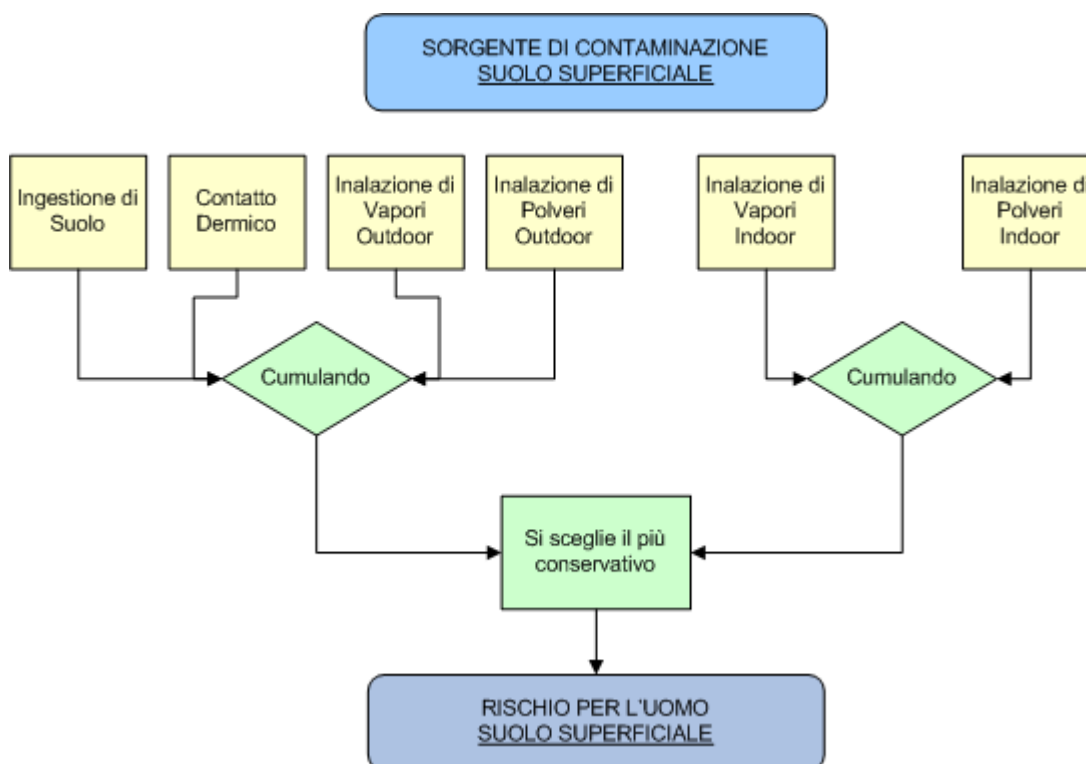
Il calcolo del rischio si differenzia in funzione del recettore della contaminazione, quindi è necessario stimare il:

1. Rischio e l'Indice di Pericolo individuale e cumulativo per la salute umana
2. Rischio per la risorsa idrica sotterranea

### L.2.1 Rischio per la salute umana

Il calcolo del rischio per la salute umana viene svolto in funzione delle sorgenti di contaminazione considerate, che sono: suolo superficiale, suolo profondo, falda, prodotto libero.

Per il **suolo superficiale** il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor) e il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor). In Figura L.2-1 vengono riportati i criteri di calcolo del rischio da suolo superficiale derivante da più vie d'esposizione per l'ambito residenziale ed industriale.



**Figura L.2-1: Criterio di calcolo del rischio individuale dovuto a più vie di esposizione per suolo superficiale**

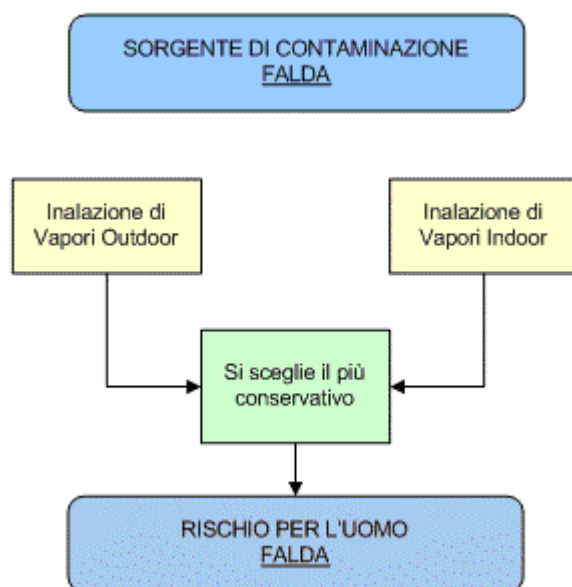
Per il **suolo profondo** il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor) e il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor). In Figura L.2-2 vengono riportati i criteri di calcolo del rischio da suolo profondo derivante da più vie d'esposizione per l'ambito residenziale ed industriale.



**Figura L.2-2 : Criterio di calcolo del rischio individuale dovuto a più vie di esposizione per suolo profondo**



Per la **falda** il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor) e il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor). In Figura L.2-3 vengono riportati i criteri di calcolo del rischio da suolo profondo derivante da più vie d'esposizione per l'ambito residenziale ed industriale.



**Figura L.2-3:** *Criterio di calcolo del rischio individuale dovuto a più vie di esposizione per la falda*

Per il **prodotto libero** il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor) e il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor). In Figura L.2-4 vengono riportati i criteri di calcolo del rischio da suolo profondo derivante da più vie d'esposizione per l'ambito residenziale ed industriale.

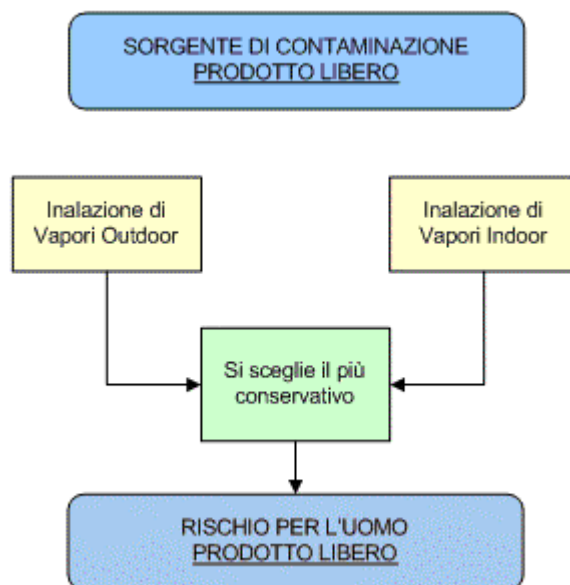


Figura L.2-4 : Criterio di calcolo del Rischio individuale dovuto a più vie di esposizione per prodotto libero

### L.2.2 Rischio per la risorsa idrica sotterranea

Il rischio per la risorsa idrica sotterranea si calcola ponendo a confronto il valore di concentrazione del contaminante in falda ( $C_{GW}$ ) con il più conservativo tra i valori di riferimento per la falda (Concentrazioni Soglia di Contaminazione,  $CSC_{GW}$ ) previsti dalla normativa vigente per i siti contaminati e quelli per le acque per uso umano previsti dal D.Lgs.31/2001, in corrispondenza del punto di conformità.

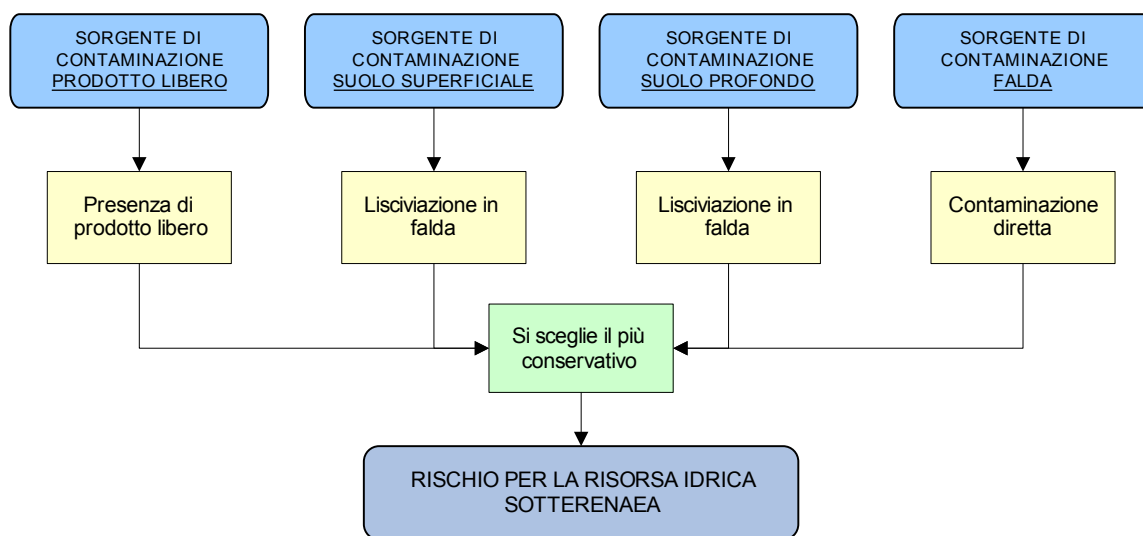
Il punto di conformità può essere definito come il punto “teorico” o “reale” di valle idrogeologico, in corrispondenza del quale l’Ente di Controllo deve richiedere il rispetto degli obiettivi di qualità delle acque sotterranee. Tale punto deve essere posto coincidente con il più vicino pozzo ad uso idropotabile o, qualora all’interno del sito non siano presenti pozzi ad uso idropotabile, in corrispondenza del limite di proprietà dell’area o, nel caso di siti di grandi dimensioni, in corrispondenza del confine della singola subarea identificata sulla base dei criteri di cui al par. 3.1.1b del documento principale.

Qualora sussistano particolari condizioni sito-specifiche, a giudizio dell’Ente di Controllo, potrà essere richiesto il posizionamento del punto di conformità all’interno del limite di proprietà dell’area o, nel caso di siti di grandi dimensioni, all’interno del confine della singola subarea identificata sulla base dei criteri di cui al par. 3.1.1b del presente documento.

Il rapporto tra la concentrazione del contaminante in falda ( $C_{GW}$ ) e valori di riferimento per la falda (Concentrazioni Soglia di Contaminazione,  $CSC_{GW}$ ) previsti dalla normativa vigente definisce numericamente il “rischio per la risorsa idrica sotterranea” ( $R_{GW}$ ) e per essere accettabile deve assumere valori pari o inferiori all'unità:

$$R_{GW} = \frac{C_{GW}}{CSC_{GW}} \quad R_{GW(\text{accettabile})} \leq 1$$

Tale valore di rischio ha una valenza diversa rispetto al rischio stimato per l'uomo, in quanto non rappresenta un rischio di carattere sanitario, bensì una stima del superamento della  $CSC_{GW}$  nel punto di conformità. Il calcolo del rischio per la risorsa idrica sotterranea si differenzia in funzione della possibile sorgente di contaminazione (suolo insaturo, falda, prodotto libero) e le tre stime di rischio non vengono cumulate (Figura L.2-5). In tale ambito, come valore di concentrazione rappresentativa per il suolo insaturo si assume il maggiore dei valori di concentrazione individuati per il suolo superficiale e profondo.



**Figura L.2-5 : Criterio di calcolo del rischio individuale per la risorsa idrica**

### L.3 CRITERI DI ACCETTABILITA' DEL RISCHIO PER LA SALUTE UMANA

Riguardo gli effetti cancerogeni sulla salute umana, nell'ambito della procedura di analisi assoluta di rischio, è necessario definire un criterio di tollerabile del rischio, ossia un valore soglia di rischio al di sotto del quale si ritiene tollerabile la probabilità incrementale di effetti cancerogeni sull'uomo. Tale valore di rischio tollerabile, nel caso di applicazione del metodo *forward*, viene utilizzato, a valle di tutta la procedura, come termine da porre a confronto con il valore di rischio calcolato (R); mentre, nel caso di applicazione del metodo *backward*, viene utilizzato, a monte di tutta la procedura, per derivare da esso i corrispondenti valori degli obiettivi di bonifica sito-specifici o Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR).

In generale, porre il rischio per la salute umana pari a  $10^{-6}$  significa che il rischio incrementale di contrarre il tumore è per 1 individuo su 1.000.000. Se il rischio per la salute umana è uguale o inferiore alla soglia di  $10^{-6}$  lo stesso viene considerato "accettabile" [D. Kofi Asante-Duah, 1993].

La valutazione degli effetti tossici non cancerogeni sulla salute umana, nell'ambito della procedura di analisi assoluta di rischio, prevede il calcolo dell'Indice di Pericolo individuale (HQ) e cumulativo (HQ<sub>TOT</sub>) definito come rapporto tra la quantità giornaliera di contaminante effettivamente assunta (per via orale, inalatoria o dermica) dal recettore e una dose di riferimento (RfD - Reference Dose) che rappresenta la dose quotidiana accettabile o tollerabile (ADI o TDI - Acceptable o Tolerable Daily Intake). L'Indice di Pericolo rappresenta quindi un indicatore che esprime di quanto l'esposizione reale alla sostanza supera la dose tollerabile o di riferimento (TDI o RfD).

Quindi, il criterio di accettabilità riferito a specie chimiche contaminanti che comportano effetti tossici sulla salute umana, si traduce nell'imporre il non superamento della dose di contaminante effettivamente assunta rispetto alla TDI o RfD, da cui ne consegue che **sia nel caso di Indice di Pericolo individuale (HQ) che cumulativo (HQ<sub>TOT</sub>) gli stessi debbono essere inferiori all'unità. L'Indice di Pericolo tollerabile individuale (THQ) e cumulativo (THQ<sub>TOT</sub>) sono quindi pari all'unità.**

Nel presente paragrafo si riportano sinteticamente i principali criteri di accettabilità del rischio cancerogeno incrementale proposti dai testi bibliografici utilizzati come riferimento di base, dai quattro software esaminati, quelli adottati da alcuni paesi ed

organismi internazionali e quelli proposti a livello nazionale, su suggerimento dell'ISS. Ove disponibili saranno riportati i valori relativi sia al rischio individuale sia al rischio cumulativo.

#### REGNO UNITO [CARACAS, 1996]

Nel Regno Unito i livelli di rischio teorico individuale che sono generalmente considerati accettabili ricadono nel range di  $10^{-5} - 10^{-4}$ , tenendo presente che il rischio reale è difficilmente più alto, mentre può essere notevolmente più basso.

#### OLANDA [CARACAS, 1996]

Il criterio olandese per l'elaborazione di valori generici di qualità dei suoli e acque sotterranee si basa su una soglia di rischio cumulativo accettabile pari a  $10^{-4}$ .

#### GERMANIA [CARACAS, 1996]

I valori di screening per i suoli, che indicano la necessità di approfondire le indagini, derivano da una soglia di rischio individuale di  $10^{-5}$ ; mentre il valore limite per il rischio cumulativo (dovuto all'effetto combinato di tutti i contaminanti cancerogeni) è dato da  $5 \times 10^{-5}$ .

#### BELGIO [CARACAS, 1996]

Il decreto per le bonifiche delle Fiandre contiene degli standard di qualità del suolo per diversi usi del territorio, che sono stati definiti adottando un criterio di accettabilità del rischio di  $10^{-5}$  per le sostanze cancerogene.

#### FRANCIA [CARACAS, 1996]

Per quanto riguarda la stima del rischio accettabile per la salute umana, questo valore è ancora in fase di discussione; comunque è stato dato intanto un valore teorico di  $10^{-5}$  che può rappresentare la soglia.

#### SVEZIA [CARACAS, 1996]

Il valore  $10^{-5}$  viene usato per la determinazione dei valori guida della contaminazione di sostanze cancerogene nei suoli considerando la sommatoria dei percorsi di esposizione.

#### SPAGNA [Regio Decreto.9/05]

Viene considerato un rischio incrementale cancerogeno accettabile pari a  $10^{-5}$  per singola sostanza. Non è prevista la valutazione del rischio a partire da effetti cumulati di più sostanze. Come riferimento comunque vengono citati i documenti US EPA.

## ITALIA

### *DM 471/99*

In Italia, la gestione dei siti inquinati è stata regolamentata fino al 29 aprile 2006, data di entrata in vigore del DLgs 152/06, dal D.M. n. 471/99. Tale Decreto Ministeriale riporta i criteri, le procedure e le modalità per la messa in sicurezza, la bonifica ed il ripristino ambientali dei siti inquinati.

In riferimento al criterio di rischio accettabile, il D.M. 471/99 fornisce tre distinte fasce di giudizio, non specificando comunque se ci si riferisce ad un rischio individuale o cumulativo:

- Il rischio  $R < 10^{-6}$  viene considerato nullo o insignificante e non viene intrapresa alcuna azione di bonifica;
- il rischio  $R$  compreso tra  $10^{-6}$  e  $10^{-4}$  necessita di azioni di bonifica da valutare caso per caso;
- il rischio  $> 10^{-4}$ , azione di bonifica sicuramente necessaria, per riportare il valore del rischio entro l'intervallo di accettabilità.

### *DLgs 152/06*

Il Decreto Legislativo *n.152 del 2 aprile 2006 recante "Norme in Materia Ambientale"*, pubblicato sulla *GU n.88 del 14 aprile 2006 (S.O. n.96)*, prevede al Titolo V "Bonifica dei Siti Contaminati" una nuova disciplina per le attività di bonifica dei siti contaminati, basata sull'utilizzo dell'analisi di rischio sanitario-ambientale.

L'Allegato 1 al Titolo V recante "Criteri di applicazione dell'analisi di rischio sito-specifica", riporta un valore di riferimento per il rischio incrementale per le sostanze cancerogene pari a  $10^{-5}$ , ma non specifica se tale valore sia da intendersi per il rischio individuale o per quello cumulato. Per le sostanze non cancerogene si propone il valore di 1.

### *Altri riferimenti*

Gli istituti scientifici nazionali che svolgono la propria attività di supporto al Ministero dell'Ambiente per le procedure inerenti i siti di interesse nazionale (APAT, ISS, ISPESL)

a seguito di specifica richiesta da parte della Direzione Qualità della Vita del Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio, sui livelli di rischio tollerabile da adottare, hanno risposto con note APAT del 29/12/05 (Prot. APAT 47009), ISS del 11/01/06 (Prot. ISS 0000181 AMPP/IA), ISPESL del 19/01/06 (Prot. ISPESL DIPIA/00000236). Tali note indicano, su proposta dell'ISS, in  $10^{-6}$  il valore di rischio cancerogeno incrementale tollerabile per la singola sostanza e in  $10^{-5}$  il valore di rischio cancerogeno incrementale tollerabile per la sommatoria di più sostanze.

Per il rischio derivante da sostanze non cancerogene il valore di riferimento è 1.

**Ai fini della stesura presente manuale sono stati presi in considerazione i suddetti riferimenti.**

#### UNIONE EUROPEA – CARACAS [CARACAS, 1996]

Il Topic Group di Caracas “Screening-Guideline Values” ha accertato che il criterio di accettabilità del rischio adottato nell’ambito di 16 paesi europei, varia da  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$ .

Inoltre, il livello di rischio incrementale di tumore nel corso della vita vede la maggioranza dei paesi orientati sul valore di accettabilità pari a  $10^{-5}$ .

US EPA [Manuale Unichim n.196/1, 2002]

La concentrazione accettabile è tale da corrispondere ad un livello di rischio incrementale di tumore nel corso della vita di  $10^{-6}$  (livello di rischio trascurabile) per ciascuna sostanza e ciascun percorso di esposizione. Tuttavia, dato che si riconosce che uno stesso ricettore possa essere contemporaneamente soggetto a più vie di esposizione e, ovviamente, a più sostanze, si può adottare un criterio di elasticità che porta fino a  $10^{-4}$  il rischio cumulativo accettabile.

#### OMS

Nelle “Guidelines for drinking water quality” (2004) i valori guida per le sostanze cancerogene nell’acqua potabile sono calcolati sulla base di un rischio individuale accettabile di  $10^{-5}$ .

#### Manuale UNICHIM n. 196/1 (2002)

Sulla base dei più condivisi approcci europei riflessi nelle normative nazionali e nell’analisi condotta dal Network CARACAS, oltre che sulla base del criterio adottato

dall'OMS nella derivazione degli standard per l'acqua potabile, nel manuale viene suggerito  $10^{-5}$  come valore di rischio incrementale accettabile nel corso della vita, per l'analisi di rischio e valutazione degli obiettivi di bonifica delle sostanze cancerogene.

#### CONCAWE Report n.2/97

In questa procedura viene considerato accettabile un rischio cumulativo di  $10^{-4}$  e questa soglia viene giustificata con 3 motivi in particolare:

1. tale valore di soglia è concorde con quello fissato dal Regno Unito e dalla Germania, che sono i paesi più avanzati in Europa in termini di sviluppo in questa direzione;
2. il limite individuato nel documento WHO "Drinking Water Quality Guidelines" pari a  $10^{-5}$  è stato derivato a seguito di uno studio condotto su intere popolazioni, mentre il numero di persone esposte ad un rischio derivate da un sito contaminato e la corrispondente durata di esposizione risulta essere in genere considerevolmente minore;
3. tale valore di soglia rappresenta, al meglio, il livello per cui il rischio incrementale risulta essere il "*de minimis*" e non degno di preoccupazione.

#### RAGS (Risk Assessment Guidance for Superfund)

La guida RAGS propone, per le sostanze cancerogene, un valore di rischio individuale pari a  $10^{-6}$ , considerando tutti i percorsi di esposizione più significativi per un dato mezzo. Inoltre, viene fornita una soglia, relativa al rischio cumulativo pari a  $10^{-4}$  per le sostanze cancerogene e 1 per le sostanze non cancerogene. Se vengono superati questi limiti il mezzo in questione viene considerato "fonte di preoccupazione".

#### Standards RBCA ASTM E-1739-95 e PS 104-98

Già dal 1970-1980 sia negli Stati Uniti che in altri paesi le agenzie regolatorie di solito adottavano come limite di rischio trascurabile il valore  $10^{-6}$ , considerando il caso generale in cui vaste popolazioni potevano essere esposte a sostanze cancerogene. Questo livello di rischio veniva però spesso male interpretato, soprattutto dalla popolazione. Nella realtà, lo stesso non voleva rappresentare il reale valore di rischio a cui si è esposti, ma piuttosto il valore teorico ("rischio matematico"), basato su ipotesi scientifiche utilizzate nel processo di stima del rischio. Comunque, secondo i due standard, questo



valore di soglia, usato come criterio di accettabilità del rischio, attualmente rappresenta un livello di rischio troppo basso.

Molti regolamenti ambientali e professionali, invece, usano come valore di soglia  $10^{-5}$ .

Recentemente alcuni studiosi (Travis, Richter, Crouch, Wilson) hanno condotto uno studio “retrospettivo” sui livelli di rischio che avevano portato, in diverse situazioni, ad azioni regolatorie. Essi considerarono tre variabili: 1) rischio individuale; 2) rischio della popolazione; 3) dimensioni della popolazione. I risultati furono i seguenti:

- ✓ ogni contaminante con un rischio individuale maggiore di  $4 \times 10^{-3}$  ricevette un regolamento, mentre quelli con rischio minore di  $10^{-6}$  rimasero senza regolamento
- ✓ per piccole popolazioni, non risultarono azioni regolatorie per rischi individuali al di sotto di  $10^{-4}$
- ✓ per gli effetti potenziali risultanti dall'esposizione dell'intera popolazione degli Stati Uniti, un livello di rischio al di sotto di  $10^{-6}$  non portò ad alcuna azione riparatoria, al contrario invece se si era al di sopra di  $3 \times 10^{-4}$ .

Anche altri studiosi fecero degli approfondimenti arrivando a risultati del tutto analoghi.

Recentemente, le revisioni finali del “National Contingency Plan” hanno stabilito un range di rischio accettabile collocato tra  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$ .

#### Software RBCA Tool Kit ver. 1.2

Il software RBCA propone come default un valore di rischio individuale accettabile pari a  $10^{-6}$  per le sostanze cancerogene di classe A e B, e pari a  $10^{-5}$  per le sostanze cancerogene di classe uguale o inferiore a C. Il valore di soglia proposto come default per il rischio cumulativo è, in ogni caso, pari a  $10^{-5}$ .

#### BP-RISC ver. 4.0

Il software RISC propone come default un valore di rischio accettabile pari a  $10^{-5}$  sia nel caso di rischio individuale che cumulativo.

#### ROME ver. 2.1

In questo software la stima del rischio può essere visualizzata in termini di “Accettabile” e “Non Accettabile” o in termini numerici. La soglia di accettabilità del rischio individuale può essere impostata dall'utente scegliendo tra i valori  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  e  $10^{-6}$ . Il valore adottato per la stima dei valori generici di livello 1 (LAG) e per le concentrazioni surrogate nelle acque sotterranee è  $10^{-5}$ .

GIUDITTA ver. 3.0

Nel software GIUDITTA v. 3.0 il valore del limite di accettabilità per le sostanze cancerogene riportato di default è pari a  $10^{-5}$ .

Per quanto riguarda l'Indice di Pericolo, sia individuale che cumulativo, quasi tutti i documenti e i software esaminati concordano nel porre il criterio di accettabilità, pari ad 1 per singola sostanza e, ove considerato, cumulato su più sostanze.

ROME ver. 2.1, come da indicazioni US.EPA SSG 1996, cumula solo l'Indice di Pericolo determinato da sostanze che colpiscono gli stessi organi bersaglio.

SPAGNA [Regio Decreto.9/05]

Viene considerato un Indice di pericolo accettabile sia da singola sostanza variabile a seconda della classe di composti:

0.05 per i prodotti fitosanitari

0.2 per i composti organoclorurati

0.05 per gli idrocarburi policiclici aromatici

0.1 per gli idrocarburi monociclici aromatici

Non si fa riferimento ai rischi derivanti da più sostanze. Come riferimento comunque vengono citati i documenti US EPA.