

**ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI CROTONE
e FONDAZIONE MEDITERRANEA PER L'INGEGNERIA
Siti contaminati: Tecniche di bonifica e normativa vigente
Crotona, 19 Dicembre 2008**

Concetti generali e applicazioni dell'Analisi di rischio

Ing. Andrea Forni

andreafori@mirasoleconsulting.191.it

a.forni@sgm-ingegneria.it

L'analisi di rischio applicata ai siti contaminati

In generale, l'analisi o valutazione del rischio (*risk assessment*) è la caratterizzazione dei potenziali effetti avversi nei confronti degli individui o delle popolazioni in conseguenza dell'esposizione ad agenti inquinanti provenienti da determinate attività umane

La metodologia dell'analisi di rischio applicata al comparto ambientale suoli e falde contaminati permette di:

- giudicare la gravità dello stato di contaminazione di un suolo (o della falda);
- fissare gli obiettivi di un'eventuale azione di bonifica.

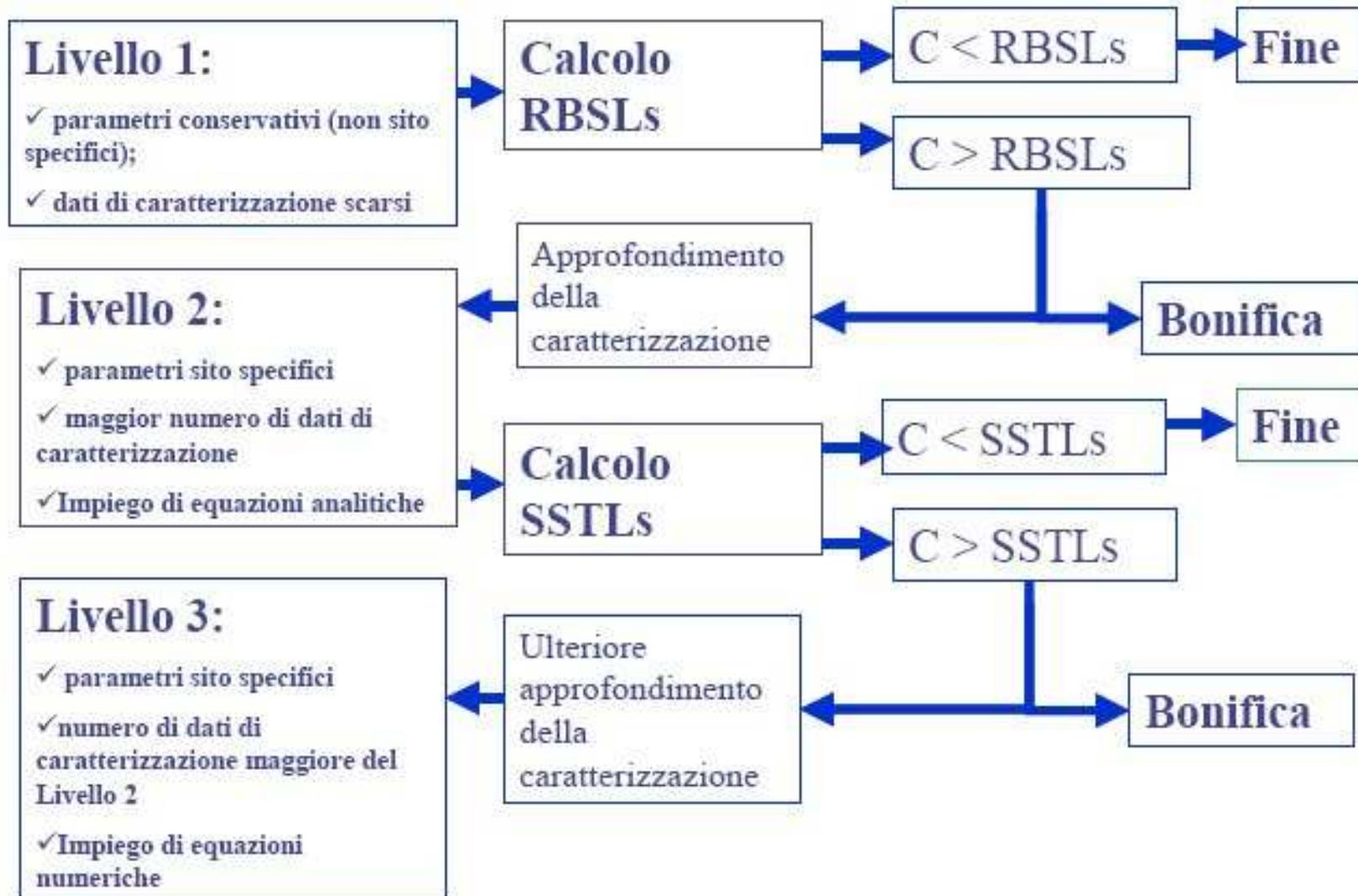
L'analisi di rischio: procedura RBCA

La procedura utilizzata nell'analisi di rischio è quella denominata RBCA (*Risk Based Corrective Actions*) che rappresenta il criterio decisionale più noto a livello internazionale.

In sostanza, quindi, viene affrontato un percorso graduale, dal livello 1 (più semplice) al livello 3 (più complesso), dove sono considerati i seguenti aspetti:

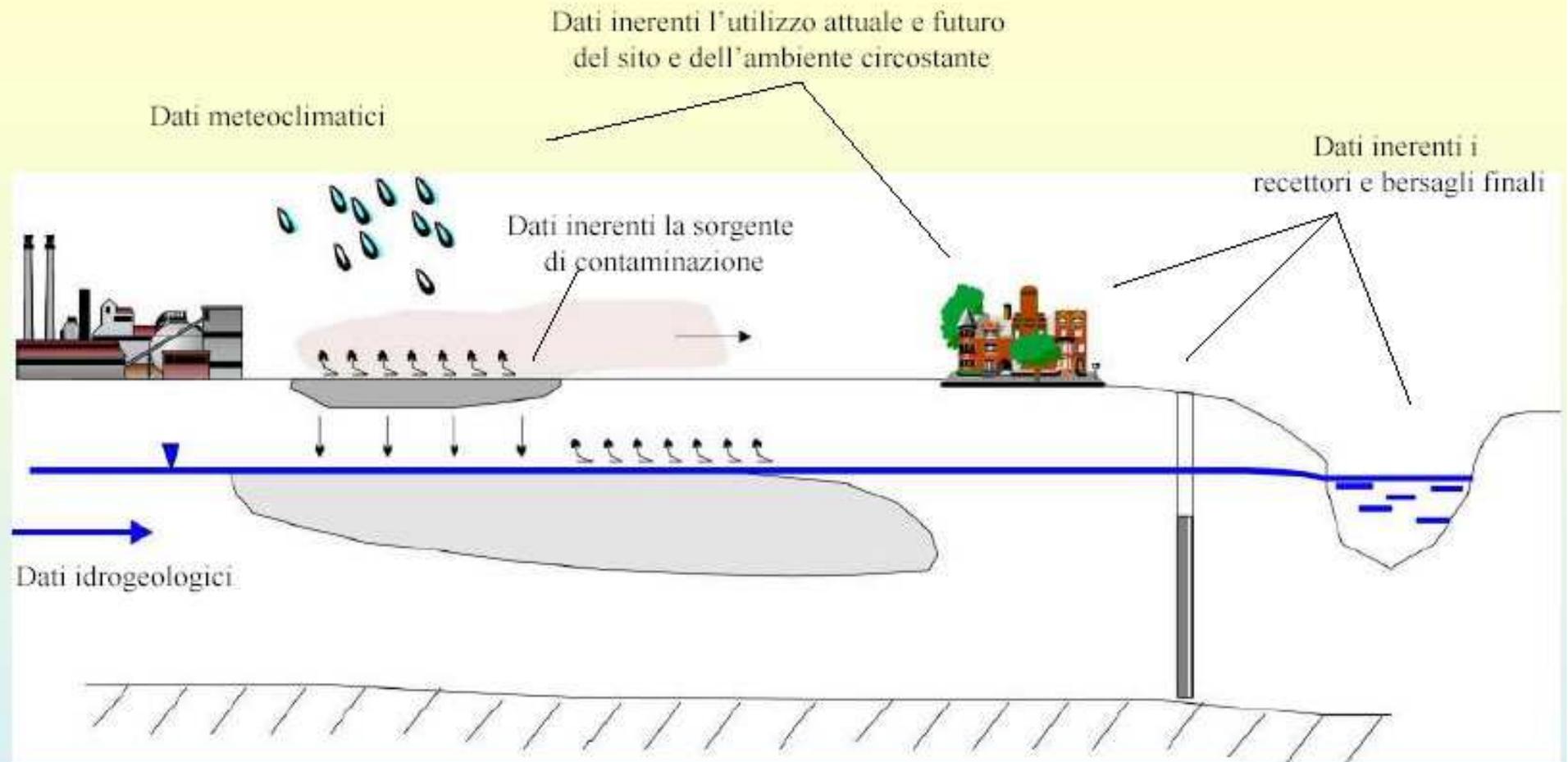
- il numero e la qualità dei dati necessari per le elaborazioni aumenta;
- le risorse da impiegare aumentano;
- i tempi di realizzazione dell'analisi aumentano;
- le assunzioni conservative introdotte nei calcoli diminuiscono;
- l'efficacia degli interventi di risanamento aumenta, in quanto si effettuano valutazioni più specifiche e mirate

L'analisi di rischio: procedura RBCA

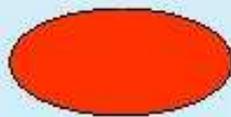


Schema esemplificativo dei vari passaggi presenti in una elaborazione dell'AR di livello 2		
Schema esemplificativo	N.	Descrizione
<pre> graph TD 1[1] --> 2.1[2.1] 1 --> 2.2[2.2] 1 --> 2.3[2.3] 2.1 --> 3[3] 2.2 --> 3 2.3 --> 3 3 --> 4[4] 4 --> 5[5] 2.2 --> 5 5 --> 6((6)) </pre>	1	Definizione del Modello Concettuale
	2.1	Parametri di input: parametri di caratterizzazione del sito e della fonte di inquinamento
	2.2	Parametri di input: parametri relativi all'esposizione umana
	2.3	Parametri di input: parametri chimico fisici e tossicologici degli inquinanti
	3	Modelli di previsione del destino e trasporto degli inquinanti scelti sulla base del Modello concettuale specifico per il sito
	4	Dati di output (concentrazioni dell'inquinante presso il ricettore)
5	Calcolo della dose massima assunta giornalmente	
6	Calcolo del rischio: <ol style="list-style-type: none"> 1. HI per sostanze non cancerogene 2. Rischio per sostanze cancerogene 	

MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

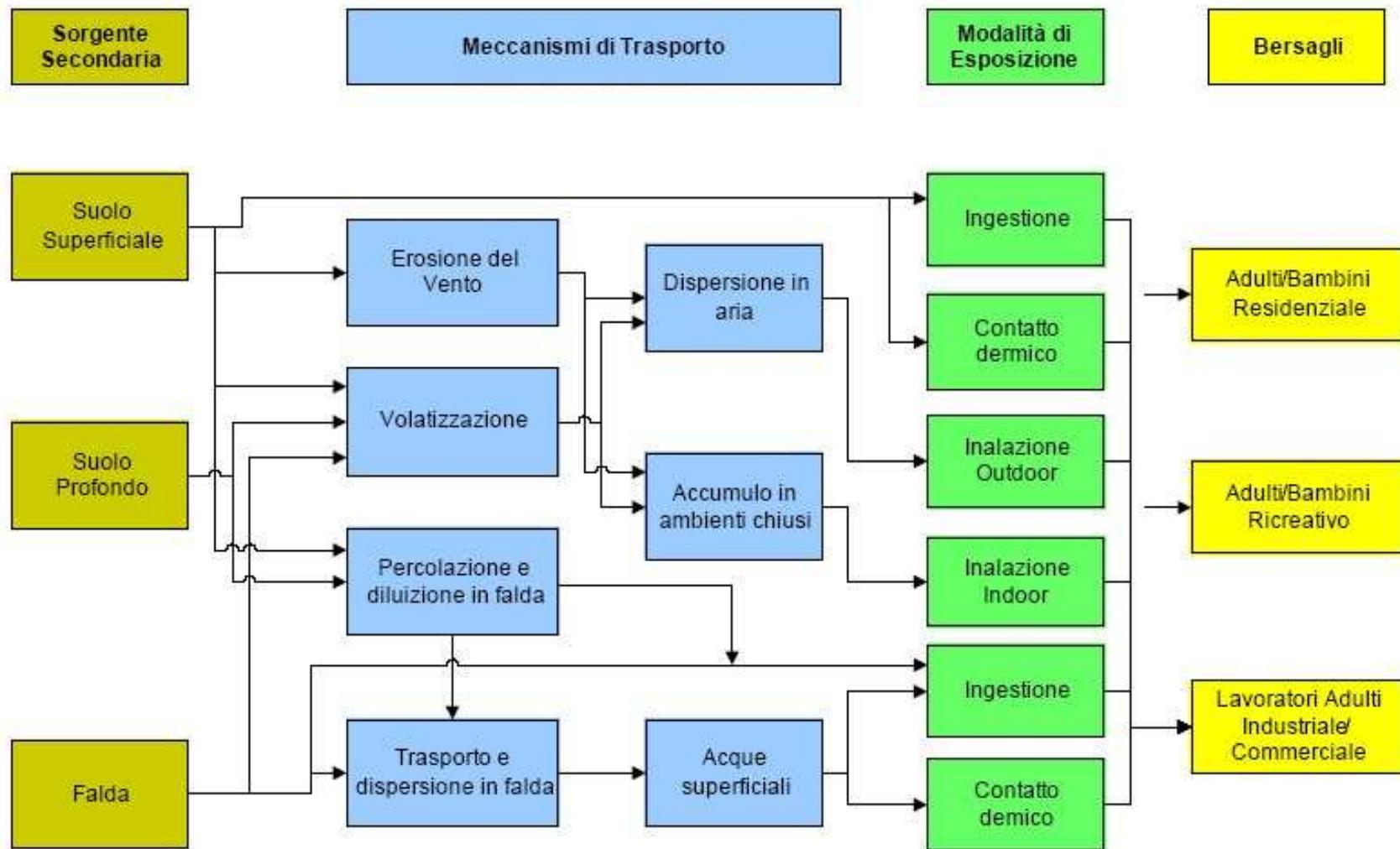


Sorgente



**POE
(Point of Exposure)**

Trasporto



Alcuni parametri sito specifici suolo saturo/falda

SUOLO SATURO/FALDA				
V_{gw}	Velocità di Darcy	cm/anno	2500	SI'
K_{sat}	Conducibilità idraulica del terreno saturo	cm/anno	---	SI'
i	Gradiente idraulico	adim.	---	SI'
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0.001	SI'
pH	pH del suolo saturo	adim.	6.8	SI'
W'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento	cm	4500	SI'
S_w'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione ortogonale a quella principale del vento	cm	4500	SI'
A'	Area della sorgente (rispetto alla direzione prevalente del vento)	cm ²	20250000	SI'
U_{air}	Velocità del vento	cm/s	225	SI**
				*Elaborazione dati storici della stazione meteo più vicina
A_b	Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	cm ²	700000	SI'

Parametri esposizione umana

FATTORI DI ESPOSIZIONE (EF)	Simbolo	Unità di Misura	Residenziale		Ricreativo		Com/Ind	
			Adulto	Bambino	Adulto	Bambino	Adulto	
Fattori comuni a tutte le modalità di esposizione								
Peso corporeo	BW	kg	70	15	70	15	70	
Tempo medio di esposizione per le sostanze cancerogene	ATc	anni	70	70	70	70	70	
Tempo medio di esposizione per le sostanze non cancerogene	ATn	anni	ED	ED	ED	ED	ED	
Inalazione di Aria Outdoor (AO)								
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25	
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250	
Frequenza giornaliera di esposizione outdoor	EFgo	ore/giorno	24	24	3	3	8	
Inalazione outdoor	Bo	m ³ /ora	0,9 (a)	0,7 (a)	3,2	1,9	2,5 (b)	
Frazione di particelle di suolo nella polvere	Fsd	adim.	1	1	1	1	1	
Inalazione di Aria Indoor (AI)								
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	---	---	25	
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	---	---	250	
Frequenza giornaliera di esposizione indoor	EFgi	ore/giorno	24	24	---	---	8	
Inalazione indoor	Bi	m ³ /ora	0,9	0,7	---	---	0,9 (b)	
Frazione indoor di polvere	Fi	adim.	1	1	---	---	1	
Contatto dermico con Suolo (SS)								
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25	
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250	
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²	5700	2800	5700	2800	3300	
Fattore di aderenza dermica del suolo	AF	mg/(cm ² giorno)	0,07	0,2	0,07	0,2	0,2	
Fattore di assorbimento dermico	ABS	adim.	0,1 / 0,01(*)					
Ingestione di Suolo (SS)								
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25	
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250	
Frazione di suolo ingerita	FI	adim.	1	1	1	1	1	
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno	100	200	100	200	50	

(a) In caso di intensa attività fisica, in ambienti residenziali outdoor, si consiglia l'utilizzo di un valore maggiormente conservativo, pari a 1,5 m³/ora per gli adulti, e di 1,0 m³/ora per i bambini.

(b) Il tasso di inalazione pari a 2,5 m³/ora è da utilizzare nel caso di dura attività fisica; mentre, nel caso di attività moderata e sedentaria è più opportuno utilizzare un valore rispettivamente pari a 1,5 e 0,9 m³/ora.

Parametri tossicologici

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Composti Inorganici	Numero CAS	Cat. Carc. UE	Classe Cancer. EPA	SF Ing. [mg/kg-giorno]-1	Rif.	SF Inal. [mg/kg-giorno]-1	Rif.	RfD Ing. (mg/kg-d)	Rif.	RfD Inal. (mg/kg-d)	Rif.
Alluminio	7429-90-5	-	-	-		-		1,00E+00	23	1,43E-03	23
Antimonio	7440-36-0	-	-	-		-		4,00E-04	I	4,00E-04	R
Argento	7440-22-4	-	D	-		-		5,00E-03	I	5,00E-03	R
Arsenico	7440-38-2	-	A	1,50E+00	I	1,50E+01	I	3,00E-04	I	3,00E-04	R
Berillio	7440-41-7	2	B2	4,30E+00	I	8,40E+00	I	2,00E-03	I	5,70E-06	I
Boro	7440-42-8	-	-	-		-		2,00E-01	I	5,71E-03	H
Cadmio	7440-43-9	2	B1	-		6,30E+00	I	5,00E-04	I	5,70E-05	N
Cianuri (liberi)	57-12-5	-	D	-		-		2,00E-02	I	2,00E-02	R
Cobalto	7440-48-4	2	-	-		-		6,00E-02	N	2,90E-04	E
Cromo totale	16065-83-1	-	-	-		-		1,50E+00	I	1,50E+00	23
Cromo VI	18540-29-2	2	A	7,30E-03		4,20E+01	H	3,00E-03	I	3,00E-05	I
Ferro	7439-89-6	-	-	-		-		8,00E-01	W	8,00E-01	R
Fluoruri	-	-	D	-		-					
Manganese	7439-96-5	-	D	-		-		1,40E-01	I	1,43E-05	I
Mercurio	7439-97-6	-	D	-		-		3,00E-04	I	8,60E-05	I
Nichel	7440-02-0	3	A	2,00E-02	23	8,40E-01	I	2,00E-02	I	2,00E-02	R
Piombo	7439-92-1	1/3 ⁽¹⁾	B2					3,50E-03	W	3,50E-02	R
Piombo Tetraetile		-	-	-		-		1,00E-07		1,00E-07	
Rame	7440-50-8	-	D					4,00E-02	H	4,00E-02	R
Selenio	7782-49-2	-	D					5,00E-03	I	5,00E-03	R
Stagno	7440-31-5	-	-					6,00E-01	H	6,00E-01	R
Tallio	7440-28-0	-	D					8,00E-05	I	8,00E-05	R
Vanadio	7440-62-2	-	-					7,00E-03	H	7,00E-03	R
Zinco	7440-66-6	-	D					3,00E-01	I	3,00E-01	R

Parametri chimico-fisici

	Numero CAS	Peso Molecolare [g/mole]	Solubilità [mg/litro]	Rif.	Pressione di vapore [mm Hg]	Rif.	Costante di Henry [adim.]	Rif.	Koc/Kd [ml/g]	Rif.
Composti Inorganici										
Alluminio	7429-90-5	26,98	5,94E+04	23	8,74E-10	23	-		1500	23
Arsenico	7440-38-2	74,90	4,41E+05	19	trascurabile	23	-		f(pH)	1
Cadmio	7440-43-9	112,40	6,51E+05	19	8,98E-18	23	-		f(pH)	1
Cianuri (liberi)	57-12-5	27,00	1,00E+05	23	7,42E+02	23	1,10E-06	6	9,90E+00	1
Cromo totale	024-017-00-8 ⁽⁵⁾	52,00	1,20E+04	23	-		-		f(pH)	1
Cromo VI	18540-29-9 ⁽⁵⁾	52,00	1,67E+05	19	-		-		f(pH)	1
Ferro	7439-89-6	55,85	6,24E+05	23	4,24E-09	23	-		1,65E+02	24
Mercurio	7439-97-6	200,60	6,00E+02	6	2,00E-03	ps	4,67E-01	1	f(pH)	1
Nichel	7440-02-0	58,69	4,22E+05	23	4,24E-09	23	-		f(pH)	1
Piombo	7439-92-1	207,20	9,58E+03	23	7,28E-11	23	-		5,50E+01	24
Rame	7440-50-8	63,55	2,93E+05	19	2,63E-05	23	-		3,50E+01	25
Selenio	7782-49-2	78,96	3,41E+05	19	1,17E-09	23	-		f(pH)	1
Zinco	7440-66-6	65,39	6,06E+05	19	3,32E-02	23	-		f(pH)	1
Nitriti	14797-65-0	46,00	1,20E+05	23	8,55E-14	23	8,38E-06	23	23,74 ⁽¹⁾	23
Solfati	-	96,00	1,00E+06	23	5,93E-05	23	1,04E-09	23	-	
Aromatici										
Benzene	71-43-2	78,10	1,75E+03	1	9,53E+01	4	2,28E-01	1	6,20E+01	1
Etilbenzene	100-41-4	106,20	1,69E+02	1	1,00E+01	PS	3,23E-01	1	2,04E+02	1
Stirene	100-42-5	104,20	3,10E+02	1	7,30E+00	16	1,13E-01	1	9,12E+02	1
Toluene	108-88-3	92,10	5,26E+02	1	3,00E+01	16	2,72E-01	1	1,40E+02	1
<i>Xileni</i>	1330-20-7	106,20	1,85E+02	1	8,78E+00	4	3,14E-01	1	1,96E+02	1
Aromatici policiclici										
Benzo(a)antracene	56-55-3	228,30	9,40E-03	1	4,55E-06	4	1,37E-04	1	3,58E+05	1
Benzo(a)pirene	50-32-8	252,30	1,62E-03	1	5,68E-04	ps	4,63E-05	1	9,69E+05	1
Benzo(b)fluorantene	205-99-2	252,30	1,50E-03	1	6,67E-07	16	4,55E-03	1	1,23E+06	1
Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2	276,30	7,00E-04	2	1,69E-07	4	3,00E-05	4	1,60E+06	2
Benzo(k)fluorantene	207-08-9	252,30	8,00E-04	1	3,09E-08	4	3,45E-05	1	1,23E+06	1
Crisene	218-01-9	228,30	1,60E-03	1	8,03E-07	4	3,88E-03	1	3,98E+05	1

Alcuni parametri di livello 1

			Destinazione d'uso del suolo
			Residenziale/Industriale
Simbolo	Parametro	Unità	Valore di default (Livello 1) ASTM PS-104-98
Parametri del terreno in zona insatura			
ρ_s	Densità del suolo	g/cm ³	1,7
Parametri dell'aria outdoor			
δ_{air}	Altezza della zona di miscelazione in aria	cm	200
τ	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anno	30
P_e	Portata di particolato per unità di superficie	g/(cm ² -s)	6,90E-14
Caratterizzazione dell'aria indoor			
L_{crack}	Spessore delle fondazioni/muri	cm	15
η	Frazione areale di fratture	adim.	0,01
ER	Tasso di ricambio di aria indoor (Residenziale)	1/giorno	12
ER	Tasso di ricambio di aria indoor (Ind/Comm)	1/giorno	20
Z_{crack}	Profondità delle fondazioni	cm	15
K_v	Permeabilità del suolo al flusso di vapore	cm ²	1,00E-08
Δp	Differenza di pressione tra indoor e outdoor	g/(cm*s ²)	0
μ_{air}	Viscosità del vapore	g/(cm*s)	1,81E-04
τ	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anno	30

Calcolo dell'esposizione

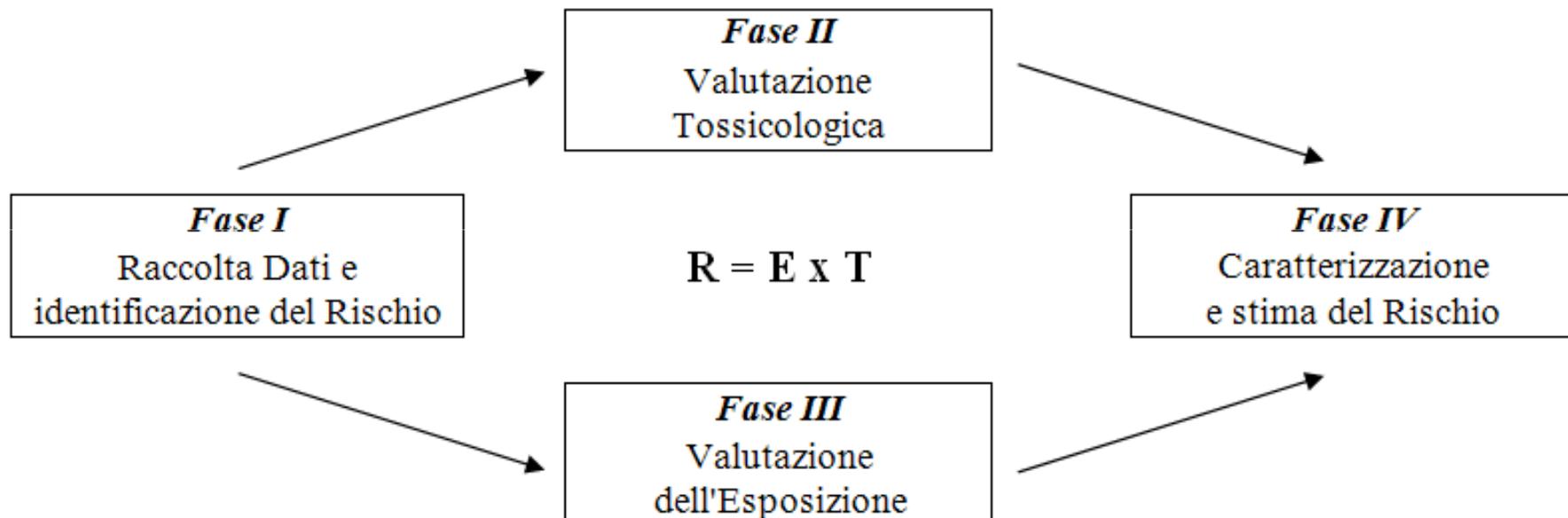
Sulla base:

- della concentrazione stimata dal modello (o dai modelli) presso il ricettore,
 - dell'esposizione del ricettore considerato a tale concentrazione,
- si calcola la dose massima assunta giornalmente (MDI "*Maximun Daily Intake*") da un recettore umano presente nel sito in esame.

$$\text{MDI} = \frac{C_{\text{POE}} \times B_o \times \text{EF}}{\text{BW} \times 365}$$

MDI	Dose massima giornaliera (mg/kg/giorno)
B_o	Tasso di inalazione <i>outdoor</i> (m ³ /giorno)
EF	Frequenza di esposizione (giorni)
BW	Peso corporeo (kg)
C_{POE}	Concentrazione di vapori <i>outdoor</i> dal suolo al punto di esposizione (mg/m ³) – valore di <i>output</i> del modello utilizzato.

Calcolo del rischio (forward)



Calcolo del rischio per sostanze non cancerogene

Sulla base della dose massima assunta giornalmente possiamo calcolare il rischio per le sostanze non cancerogene che viene espresso come HI ("Hazard Index"):

$$\text{HI} = \text{MDI} / \text{TDI}$$

MDI	dose massima assunta giornalmente (<u>"Maximun Daily Intake"</u>) da un recettore umano presente in sito
TDI	costituisce il parametro tossicologico per le sostanze non cancerogene e sta per dose tollerabile giornaliera (<u>"Tolerable Daily Intake"</u> indicato anche con la sigla <u>RfD Reference Dose</u> ed espresso in mg/kg/giorno

•A livello internazionale, si è assunto come livello massimo di rischio accettabile per le sostanze non cancerogene la condizione in cui **HI = 1**.

Tale condizione (HI = 1) è quella indicata:

- dal Manuale APAT ;
- dall'allegato 1 *Criteria generali per l'analisi di rischio sanitario ambientale sito-specifica* al Titolo V del decreto legislativo n. 152/06 *Norme in materia ambientale*.

Calcolo del rischio per sostanze cancerogene

Per le sostanze cancerogene il rischio rappresenta la probabilità di assumere forme di cancro nel corso della durata di una vita e viene calcolato tramite la relazione:

$$R = CDI * Sf$$

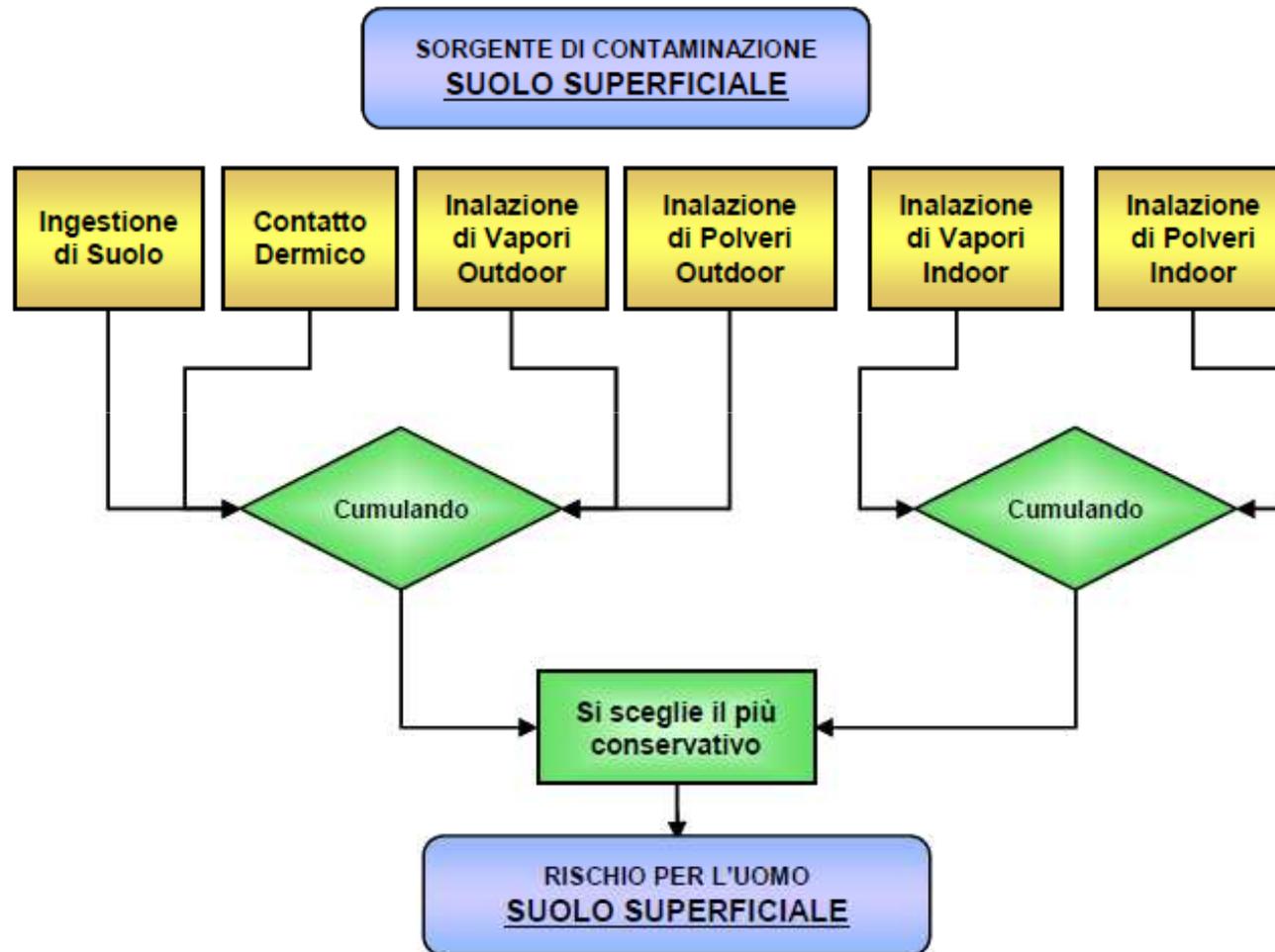
CDI	Dose cronica assunta giornalmente (“ <i>Chronical Daily Intake</i> ”) da un recettore umano presente in sito. Tale valore viene ricavato dal MDI (v. par. precedente): ad esempio, per lo scenario industriale si utilizza la formula $CDI = (MDI * ED) / L$ Dove: ED = durata dell’esposizione (anni); L = durata media della vita (anni)
Sf	“ <i>Slope Factor</i> ” o fattore di pendenza (mg/kg/giorno) ⁻¹ : costituisce il parametro tossicologico per le sostanze cancerogene e rappresenta il coefficiente angolare della retta che interpola, nella zona delle basse dosi, i risultati derivanti dai test effettuati in laboratorio.

In sostanza, il numero calcolato finale che rappresenta il *Rischio* dovuto alle sostanze cancerogene è espresso come LA PROBABILITÀ CHE UN INDIVIDUO CONTRAGGA IL CANCRO IN SEGUITO AD UNA ESPOSIZIONE CRONICA ALLA SOSTANZA CONSIDERATA.

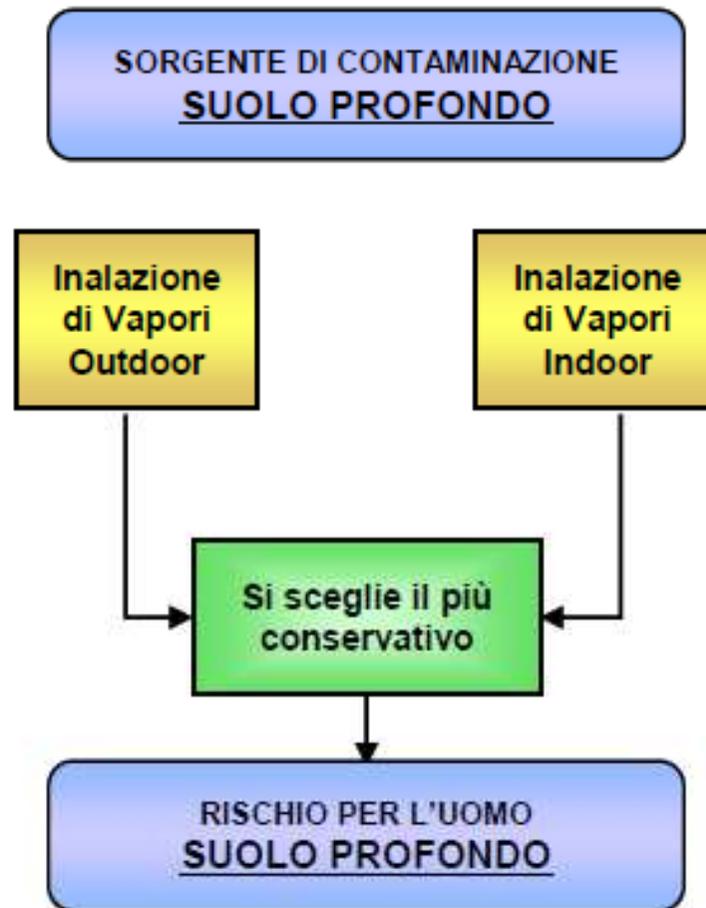
La **condizione indicata dal Manuale APAT** (e dal D.Lgs. N. 152/06, così come modificato dal Decreto Legislativo n. 04/2008, il cd. “*Correttivo unificato*”) è che il **valore del Rischio**:

- **individuale** debba essere **inferiore o uguale a 10⁻⁶**;
- **cumulativo** debba essere **inferiore o uguale a 10⁻⁵**

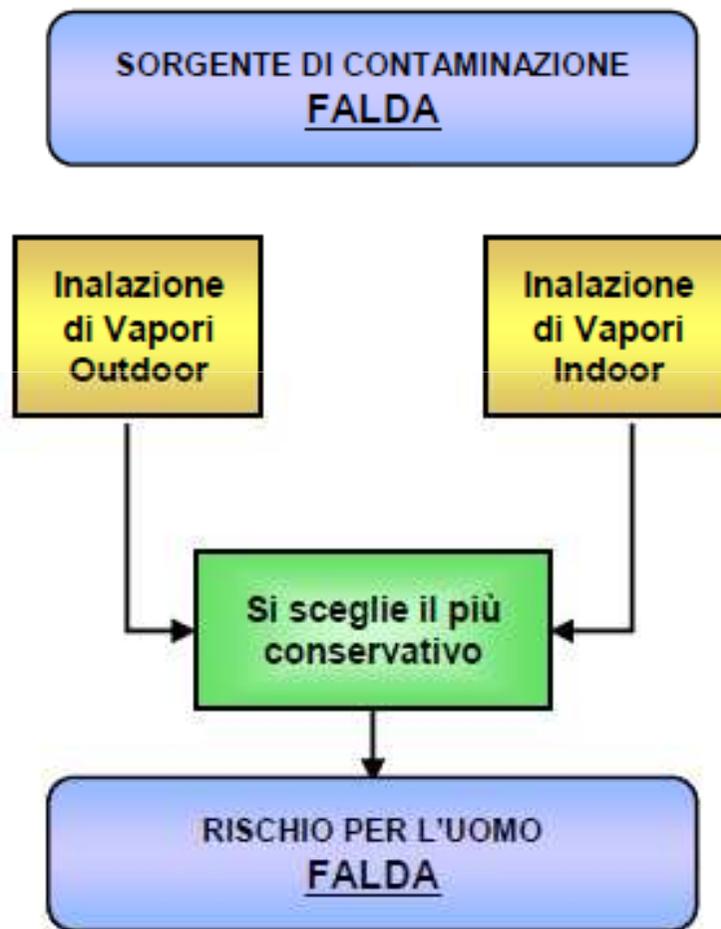
Calcolo del rischio per ricettore uomo - sorgente SS



Calcolo del rischio per ricettore uomo - sorgente SP



Calcolo del rischio per ricettore uomo - sorgente GW



Calcolo del rischio per la risorsa idrica sotterranea

Come si legge dal Manuale APAT, 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 Concentrazione Soglia di Contaminazione della falda (CSC) previste dal D.Lgs. n. 152/06 e quelli per le acque per uso umano previste dal D.Lgs. 31/2001, IN CORRISPONDENZA DEL PUNTO DI CONFORMITÀ (POC).

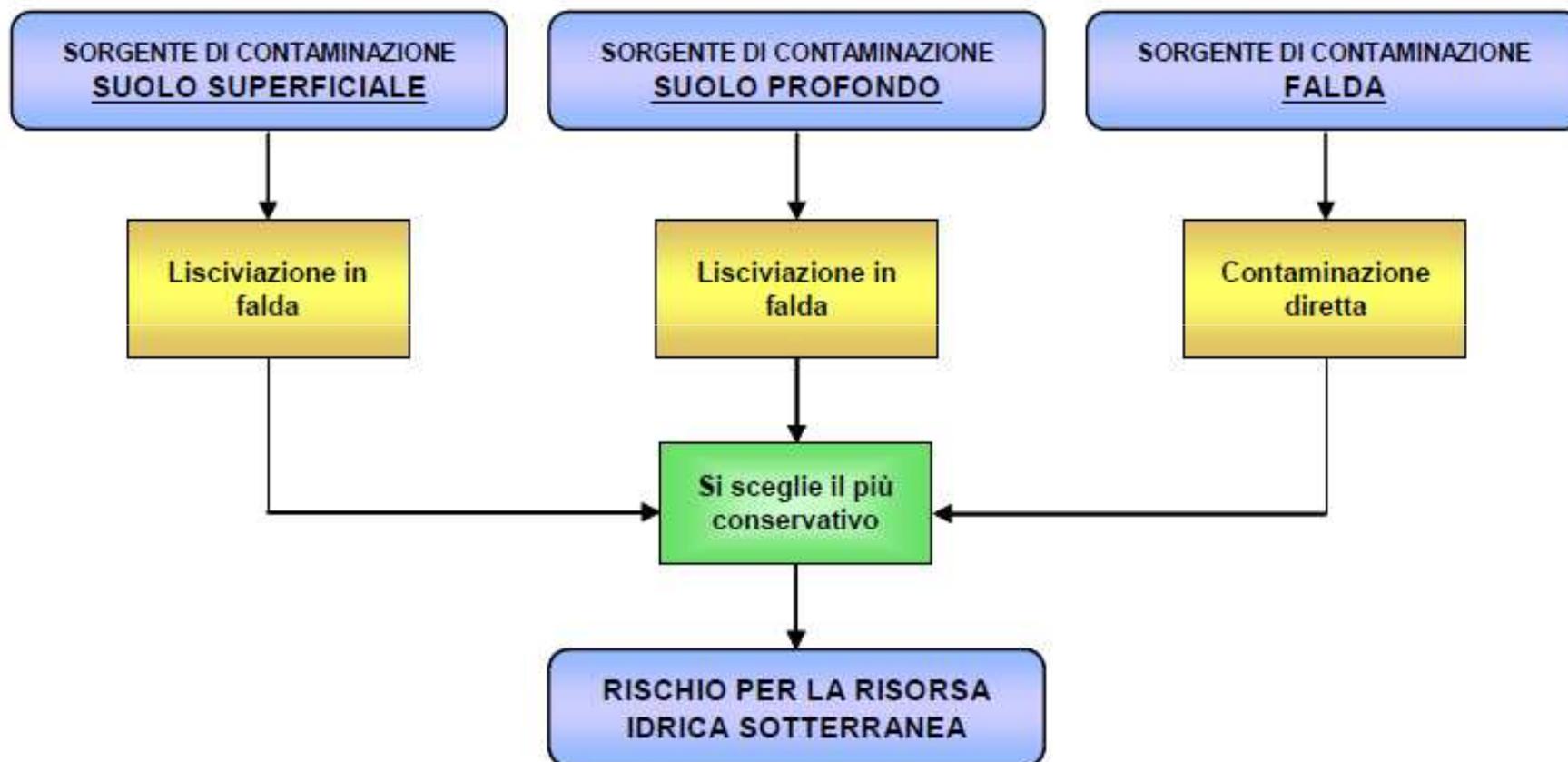
Il RAPPORTO TRA LA CONCENTRAZIONE DEL CONTAMINANTE IN FALDA (C_{GW}) e LA CONCENTRAZIONE LIMITE PREVISTA DALLA NORMATIVA (CSC) DEFINISCE NUMERICAMENTE IL RISCHIO PER LA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA (R_{GW}) e per essere ACCETTABILE DEVE ASSUMERE VALORI PARI O INFERIORI ALL'UNITÀ:

$$R_{GW} = C_{GW}/CSC \quad \text{con } R_{GW} \text{ accettabile se } \leq 1$$

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 CL_{GW} nel punto di conformità.

Il recente D.Lgs. n. 04/2008, il cd. "*Correttivo unificato*" al Dlgs 3 aprile 2006, n. 152, entrato in vigore il 13 febbraio 2008, HA DI FATTO UNIFORMATO IL D.LGS 152/06 AL MANUALE APAT IMPONENDO IL RISPETTO DELLE CSC DI LEGGE AL POC CHE DEVE ESSERE POSIZIONATO NON OLTRE IL CONFINE DEL SITO LUNGO LA DIREZIONE DI SCORRIMENTO DELLA FALDA.

Calcolo del rischio per risorsa idrica sotterranea – sorgenti SS, SP, GW



Posizionamento del Punto di Conformità (POC o POE)

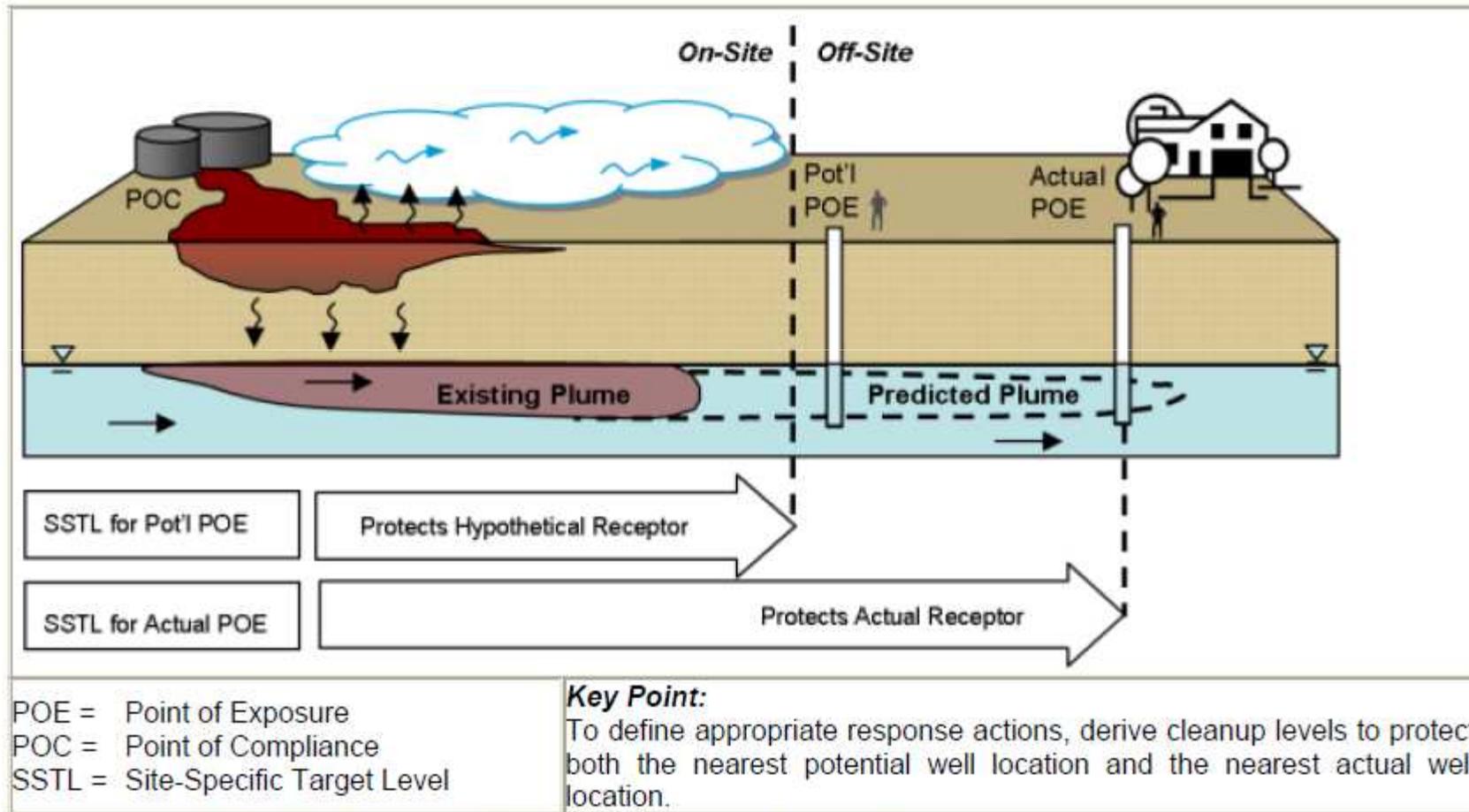


Figure A.3: SSTL Analyses for Both Potential and Actual Receptors

Modalità di sviluppo dell'AR diretta/inversa

La procedura di analisi di rischio assoluta può avere un duplice obiettivo finale :

- stimare quantitativamente il rischio per la salute umana connesso ad uno specifico sito,
- individuare dei valori di concentrazione accettabili nel suolo e nella falda vincolati alle condizioni specifiche del singolo sito. Tali valori accettabili sono indicati anche con il termine SSTL (*Site Specific Target Limit*) o, sulla base della normativa vigente, CSR (*Concentrazioni soglia di rischio*).



Caso applicativo

- Area industriale
- Contaminazione da metalli pesanti e IPA nel suolo superficiale (SS) e acque di falda (GW)
- Futuro utilizzo: piazzale per ricovero automezzi (ricettore lavoratore outdoor)

Caso applicativo: modello concettuale

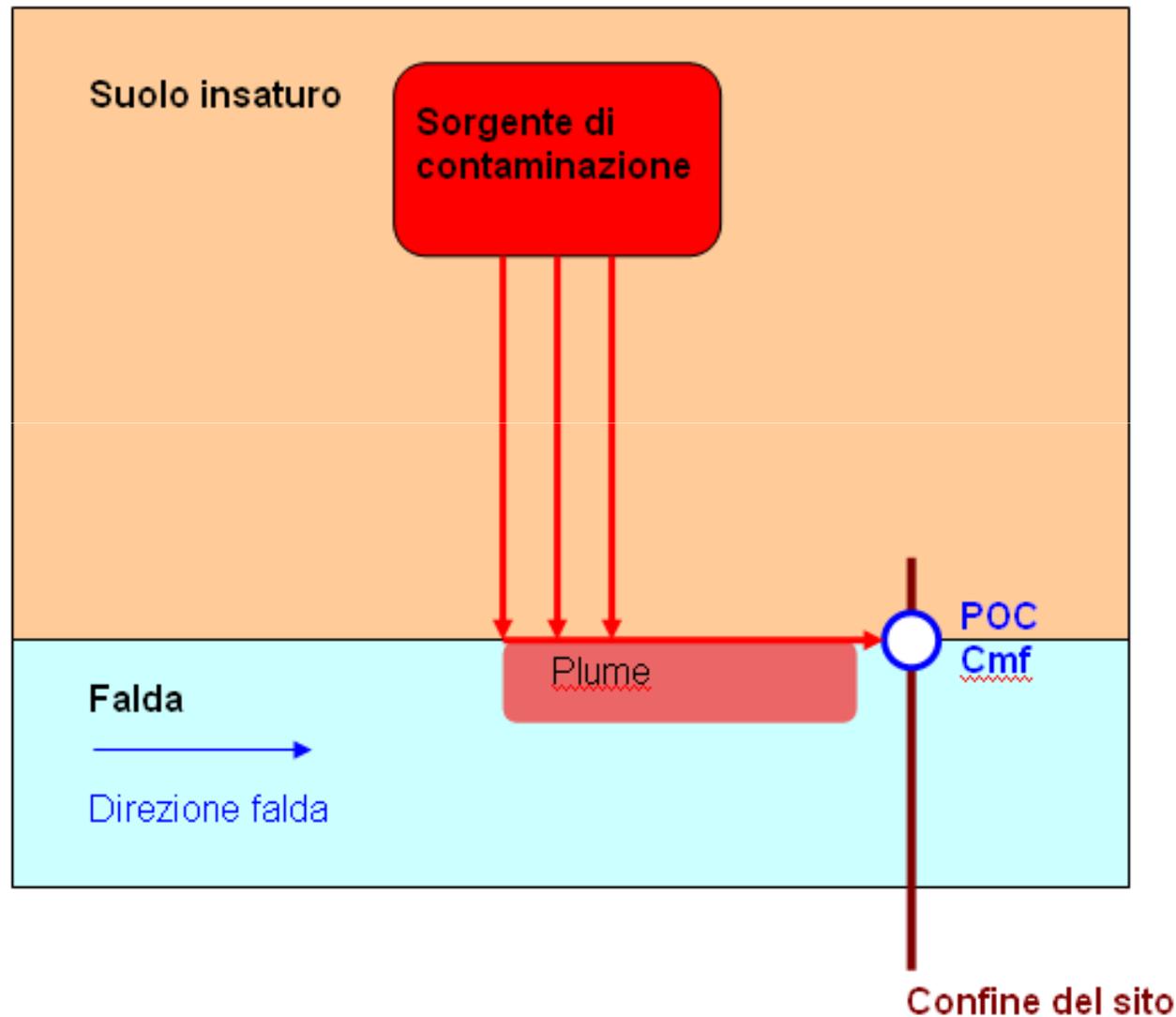
Tab. 3.1 – Modello Concettuale specifico per il sito

Sorgente	Vie di contaminazione	Modalità di esposizione	Bersaglio	Valutazione qualitativa dei possibili scenari di esposizione	AR?
Suolo superficiale contaminato	/ (esposizione <i>diretta</i> [†])	Contatto dermico e/o ingestione di terreno contaminato	Ricettore uomo lavoratore all'interno dell'area (<i>on-site</i>)	Si ritiene che il percorso in oggetto possa essere considerato interrotto (profondità di contaminazione >30 cm dal p.c.)	NO
	Aria <i>outdoor</i> (erosione del vento e dispersione)	Ingestione di polveri <i>outdoor</i>		Sulla base delle indagini effettuate, si evidenzia il permanere in sito di concentrazioni superiori alla col. B della tabella 1 dell'Allegato 5 alla Parte Quarta del Titolo V del D.Lgs. 152/01.	SI
	Lisciviazione verso la falda	/	Falda al POC	Per quanto sopra detto, si ritiene che per tali modalità di esposizione possa prodursi un rischio significativo per i bersagli considerati. Si procede pertanto con l'implementazione dell'analisi di rischio e con il calcolo delle CSR per ogni matrice considerata.	SI
Sottosuolo contaminato	Aria <i>outdoor</i> (Volatilizzazione e dispersione)	Inalazione di vapori <i>outdoor</i> provenienti dal sottosuolo	Ricettore uomo lavoratore all'interno dell'area (<i>on-site</i>)	Sulla base delle indagini effettuate, non sono state riscontrate concentrazioni superiori alla col. B della tabella 1 dell'Allegato 5 alla Parte Quarta del Titolo V del D.Lgs. 152/01.	NO
	Lisciviazione verso la falda	/	Falda al POC		NO
Falda	Aria <i>outdoor</i> (Volatilizzazione e dispersione)	Inalazione di vapori <i>outdoor</i> provenienti dal sottosuolo	Ricettore lavoratore all'interno dell'area (<i>on-site</i>)	Sulla base delle indagini effettuate, si evidenzia il permanere in sito di concentrazioni superiori a quelle riportate nella Tabella "Acque sotterranee" dell'Allegato 5 alla Parte Quarta del Titolo V del D.Lgs. 152/06.	SI
	Trasporto in falda	/	Falda al POC	Per quanto sopra detto, si ritiene che per tali modalità di esposizione possa prodursi un rischio significativo per i bersagli considerati. Si procede pertanto con l'implementazione dell'analisi di rischio e con il calcolo delle CSR per ogni matrice considerata.	SI

Schematizzazione del sito contaminato



Lisciviazione in falda e POC



AR ricercatore falda sorgente SS: software RBCA

RBCA Tool Kit for Chemical Releases
Main Screen

RBCA Tool Kit for Chemical Releases
Version 1.3b © 2000

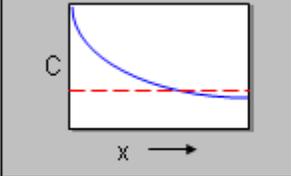
1. Project Information

Site Name: xx
Location: xy
Compl. By: Ing. Andrea Forni
Date: 01-giu-08 Job ID: CSR terreni (POC)

2. Which Type of RBCA Analysis?

Tier 1
Generic Values
On-Site Exposure

Tier 2
Site-Specific Values
On- or Off-Site Exposure



3. Calculation Options

Affects which input data are required

- Baseline Risks (Forward mode)**
- RBCA Cleanup Standards (Backward mode)**

4. RBCA Evaluation Process

Prepare Input Data
Data Complete? (= yes, = no)

- Exposure Pathways
- Constituents of Concern (COCs)
- Transport Models
- Soil Parameters
- GW Parameters
- Air Parameters

Review Output

- Exposure Flowchart
- COC Chem. Parameters
- Input Data Summary
- User-Spec. COC Data...
- Transient Domenico Analysis...
- Baseline Risks...
- Cleanup Standards...

5. Commands and Options

- New Site
- Load Data...
- Save Data As...
- Quit
- Print Sheet
- Set Units
- Custom Chem. Data...
- Help

AR ricettore falda sorgente SS: percorsi di esposizione

RBCA Tool Kit for Chemical Releases

Exposure Pathway Identification

Site Name: xx
Location: xy
Compl. By: Ing. Andrea Forni
Job ID: CSR terreni (POC) Date: d-giu-yy

1. Groundwater Exposure

Groundwater Ingestion/ Surface Water Impact

Receptor: MCL MCL None
Type: On-site Off-site1 Off-site2

Source Media:

Affected Groundwater

Affected Soils Leaching to Groundwater

Distance to GW receptors (m)

	On-site	Off-site1	Off-site2
<input type="checkbox"/> Affected Groundwater	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> Affected Soils Leaching to Groundwater	0	70	0

GW Discharge to Surface Water Exposure

Swimming
 Fish Consumption
 Aquatic Life Protection

2. Surface Soil Exposure

Direct Ingestion and Dermal Contact

Receptor: None
Type: On-site No off-site receptors

Construction Worker

3. Air Exposure

Volatilization and Particulates to Outdoor Air Inhalation

Receptor: None None None
Type: On-site Off-site1 Off-site2 (m)

0 0 0

Construction worker

Affected Soils-Volatilization to Ambient Outdoor Air
 Affected Groundwater-Volatilization to Ambient Outdoor Air
 Affected Surface-Soils-Particulates to Ambient Outdoor Air

Volatilization to Indoor Air Inhalation

Receptor: None
Type: On-site No off-site receptors

Affected Soils-Volatilization to Enclosed Space
 Affected Groundwater-Volatilization to Enclosed Space

4. Commands and Options

Exposure Factors & Target Risks Exposure Flowchart

AR ricettore falda sorgente SS: contaminanti presenti

RBCA Tool Kit for Chemical Releases

Site Name: xx Job ID: CSR terreni (POC) Date: d-giu-yy
 Location: xy
 Compl. By: Ing. Andrea Forni

Commands and Options
 Main Screen Print Sheet Help

Source Media Constituents of Concern (COCs)

Selected COCs

COC Select: Add/Insert Delete Sort List: Top Bottom MoveUp MoveDown

Arsenic*
 Copper*
 Lead*
 Zinc*
 Benzo(a)Pyrene*

* = Chemical with user-specified data

Representative COC Concentration

Groundwater Source Zone		Soil Source Zone	
(mg/L)	note	(mg/kg)	note
		7,4E+1	
		7,6E+2	
		1,1E+3	
		2,0E+3	
		1,2E+1	

Apply Raoult's Law Mole Fraction in Source Material (-)

AR ricettore falda sorgente SS: modelli di trasporto

RBCA Tool Kit for Chemical Releases

Transport Modeling Options

Site Name: xx Job ID: CSR terreni (POC)
Location: xy Date: d-giu-yy
Compl. By: Ing. Andrea Forni

1. Vertical Transport, Surface Soil Column

Outdoor Air Volatilization Factors ?

Surface soil volatilization model only
 Combination surface soil/Johnson & Ettinger models
Thickness of surface soil zone: 1 (m)
 User-specified VF from other model

Indoor Air Volatilization Factors ?

Johnson & Ettinger model
 User-specified VF from other model

Soil-to-Groundwater Leaching Factor ?

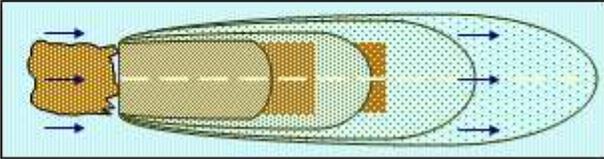
ASTM Model
 Apply Soil Attenuation Model (SAM)
 Allow first-order biodecay
 User-specified LF from other model

2. Lateral Air Dispersion Factor

wind  ?

3-D Gaussian dispersion model Off-site 1: 1,00E+0 Off-site 2: 1,00E+0 (-)
 User-Specified ADF

3. Groundwater Dilution Attenuation Factor



Calculate DAF using Domenico Model ?

Domenico equation with dispersion only (no biodegradation)
 Domenico equation first-order decay
 Modified Domenico equation using electron acceptor superposition
 Biodegradation Capacity: NC (mg/L)

— or —

User-Specified DAF Values

DAF values from other model or site data

4. Commands and Options

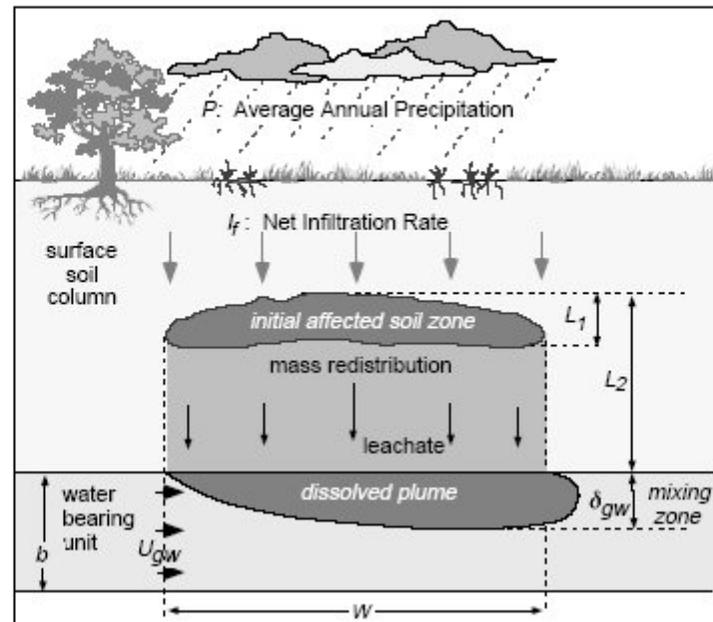
AR ricettore falda sorgente SS: modelli di trasporto/2

Il SAM rientra nella formula per il calcolo della concentrazione in falda al POC.

$$C_{mf} = C_s \cdot \frac{K_{sw} \cdot SAM \cdot BDF}{LDF} = C_s \cdot NAF$$

In particolare, il SAM, come si legge nel Manuale del Software RBCA ToolKit che sostanzialmente coincide con quanto riportato nei Manuali Unichim 196/1 e APAT (Rev. 2), è pari al rapporto tra lo spessore della sorgente di contaminazione L_1 e la distanza del top della contaminazione dalla tavola d'acqua L_2 (v. fig. seguente).

$$SAM = \frac{L_1}{L_2} \leq 1$$



AR ricettore falda sorgente SS: zona insatura

RBCA Tool Kit for Chemical Releases

Site Name: xx Job ID: CSR terreni (POC)
 Location: xy Date: d-giu-yy
 Compl. By: Ing. Andrea Forni

Site-Specific Soil Parameters

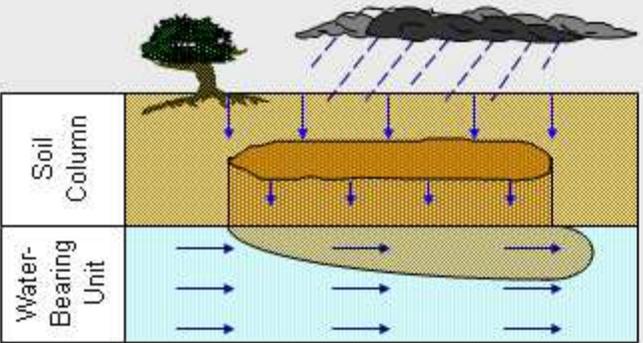
1. Soil Source Zone Characteristics

Hydrogeology General Case Construction

Depth to water-bearing unit: 6,6 (m)
 Capillary zone thickness: 0,1 (m)
 Soil column thickness: 6,5 (m)

Affected Soil Zone

Depth to top of affected soils: 0,5 (m)
 Depth to base of affected soils: 1 (m)
 Affected soil area: 3000 3000 (m²)
 Length of affected soil parallel to assumed wind direction: (m)
 Length of affected soil parallel to assumed GW flow direction: 60 (m)



2. Surface Soil Column

Predominant USCS Soil Type: [Dropdown] Units: [Dropdown] ?

or Calculate

Total porosity: 0,385 (-)
 Volumetric water content: 0,068 0,33 (-)
 Volumetric air content: 0,317 0,055 (-)
 Dry bulk density: 1,7 (kg/L)
 Vertical hydraulic conductivity: 6,8E+2 (cm/d)
 Vapor permeability: 1,0E-11 (m²)
 Capillary zone thickness: 1,0E-1 (m)

Net Rainfall Infiltration

Net infiltration estimate: 41,2 (cm/yr)
 or Calculate

Average annual precipitation: 0 (cm/yr)

Partitioning Parameters

Fraction organic carbon: 0,008 (-)
 Soil/water pH: 7 (-)

3. Commands and Options

Main Screen Use Default Values Print Sheet
 Set Units Help

AR ricettore falda sorgente SS: zona satura

RBCA Tool Kit for Chemical Releases

Site-Specific Groundwater Parameters

Site Name: xx Job ID: CSR terreni (POC)
 Location: xy Date: d-giu-yy
 Compl. By: Ing. Andrea Forni

1. Water-Bearing Unit

Hydrogeology

Groundwater Darcy velocity: 6,1E-1 (cm/d)
 Groundwater seepage velocity: 1,6E+0 (cm/d)
 or or

Hydraulic conductivity: 6,8E+2 (cm/d)
 Hydraulic gradient: 9,0E-4 (-)
 Effective porosity: 0,39 (-)

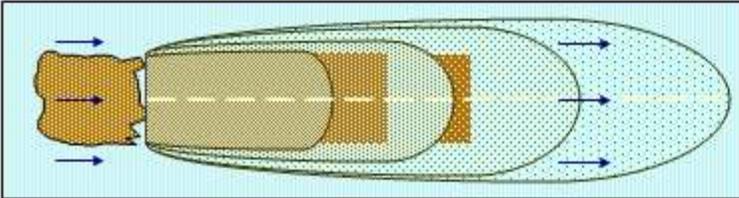
Sorption

Fraction organic carbon--saturated zone: 0,002 (-)
 Groundwater pH: 6,80 (-)

2. Groundwater Source Zone

Groundwater plume width at source: 50 (m)
 Plume (mixing zone) thickness at source: 2 (m)
 or or

Saturated thickness: 304,8 (m)
 Length of source zone: (m)



3. Groundwater Dispersion

Model: GW Ingestion Soil Leaching to GW

	Off-site 1	Off-site 2	Off-site 1	Off-site 2
Distance to GW receptors	0	0	70	0
or <input type="button" value="Enter Directly"/>	↓	or ↓	↓	or ↓
Longitudinal dispersivity	0	0	3,641	0
Transverse dispersivity	0	0	0,364	0
Vertical dispersivity	0	0	0,036	0

4. Groundwater Discharge to Surface Water

Distance to GW/SW discharge point: (m) Off-site 2

Plume width at GW/SW discharge: (m)

Plume thickness at GW/SW discharge: (m)

Surface water flowrate at GW/SW discharge: (m³/s)

5. Commands and Options

AR ricettore falda sorgente SS: calcolo del rischio

RBCA Tool Kit for Chemical Releases

Return Print Sheet **RBCA SITE ASSESSMENT**

T1E2 EXPOSURE CONCENTRATION AND INTAKE CALCULATION

GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS (CHECKED IF PATHWAY IS ACTIVE)

SOILS (0,5 - 1 m): LEACHING TO GROUNDWATER INGESTION

Constituents of Concern	1) Source Medium	2) NAF Value (L/kg) Receptor			3) Exposure Medium Groundwater: POE Conc. (mg/L) (1)/(2)		
	Soil Conc. (mg/kg)	On-site (0 m)	Off-site 1 (70 m)	Off-site 2 (0 m)	On-site (0 m)	Off-site 1 (70 m)	Off-site (0 m)
		MCL	MCL	None	MCL	MCL	None
Arsenic*	7,4E+1	4,2E+2	6,7E+2		1,8E-1	1,1E-1	
Copper*	7,6E+2	5,0E+2	8,0E+2		1,5E+0	9,5E-1	
Lead*	1,1E+3	7,9E+2	1,3E+3		1,4E+0	8,7E-1	
Zinc*	2,0E+3	8,9E+2	1,4E+3		2,3E+0	1,4E+0	
Benzo(a)Pyrene*	1,2E+1	1,1E+5	1,8E+5		1,1E-4	6,7E-5	

* = Chemical with user-specified d

NOTE: NAF = Natural attenuation factor POE = Point of exposure

Site Name: xx Date Completed: d-giu-yy
 Site Location: xy Job ID: CSR terreni (POC)
 Completed By: Ing. Andrea Forni

AR ricettore falda sorgente SS: calcolo delle CSR

Constituents of Concern	1) Source Medium	2) NAF Value (L/kg) Receptor		3) Exposure Medium Groundwater: POC Conc. (ug/L) (1)/(2)*1000		4) CSC tab. 2 D.Lgs. N.152/06	Calcolo CSR nel SS (mg/kg) (4)/(3)*(1)	
	Soil Conc. (mg/kg)	On-site (0 m) MCL	Off-site 1 (70 m) MCL	On-site (0 m) MCL	Off-site 1 (70 m) MCL	(ug/l)	On-site (0 m)	Off-site 1 (70 m)
Arsenic*	74,00	418,36	670,46	176,88	110,37	10	4,18	6,70
Copper*	758,00	500,10	801,45	1515,70	945,78	1000	500,10	801,45
Lead*	1102,00	792,27	1269,67	1390,95	867,94	10	7,92	12,70
Zinc*	2012,00	888,87	1424,48	2263,56	1412,44	3000	2666,60	4273,45
Benzo(a)Pyrene*	12,10	112628,29	180496,31	0,11	0,07	0,01	1,13	1,80

CSR inferiore alla concentrazione in sito

Constituents of Concern	Source Medium	CSC tab. 1 col. A D.Lgs. N.152/06	CSC tab. 1 col. B D.Lgs. N.152/06	CSR nel SS (mg/kg)
	Soil Conc. (mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	Off-site 1 (70 m)
Arsenic*	74,00	20	50	6,70
Copper*	758,00	120	600	801,45
Lead*	1102,00	100	1000	12,70
Zinc*	2012,00	150	1500	4273,45
Benzo(a)Pyrene*	12,10	0,10	10	1,80

CSR compresa tra col. A e col. B
CSR minore della col. A

AR ricettore falda sorgente SS: verifica (input CSR)

Site Name: xx Job ID: CSR terreni (POC) **Commands and Options**
 Location: xy Date: d-giu-yy **Main Screen** **Print Sheet** **Help**
 Compl. By: Ing. Andrea Forni

Source Media Constituents of Concern (COCs)

Apply Raoult's Law ?

Selected COCs *Sort List*

<input type="button" value="Add/Insert"/>	<input type="button" value="Top"/>	<input type="button" value="MoveUp"/>
<input type="button" value="Delete"/>	<input type="button" value="Bottom"/>	<input type="button" value="MoveDown"/>

Arsenic*
Copper*
Lead*
Zinc*
Benzo(a)Pyrene*

* = Chemical with user-specified data

Representative COC Concentration

Groundwater Source Zone		Soil Source Zone	
<input type="button" value="Calculate"/>	<input type="button" value="Enter Site Data"/>	<input type="button" value="Calculate"/>	<input type="button" value="Enter Site Data"/>
(mg/L)	note	(mg/kg)	note
		6,70	
		801,45	
		12,70	
		4273,45	
		1,80	

Mole Fraction in Source Material

AR ricettore falda sorgente SS: risultati

Return		Print Sheet		RBCA SITE ASSESSMENT			
							1 OF 5
TIER 2 EXPOSURE CONCENTRATION AND INTAKE CALCULATION							
GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS				■ (CHECKED IF PATHWAY IS ACTIVE)			
SOILS (0,5 - 1 m): LEACHING TO GROUNDWATER INGESTION							
Constituents of Concern	1) Source Medium	2) NAF Value (L/kg) Receptor			3) Exposure Medium Groundwater: POE Conc. (mg/L) (1)/(2)		
	Soil Conc. (mg/kg)	On-site (0 m) MCL	Off-site 1 (70 m) MCL	Off-site 2 (0 m) None	On-site (0 m) MCL	Off-site 1 (70 m) MCL	Off-site 2 (0 m) None
Arsenic*	6,7E+0	4,2E+2	6,7E+2		1,6E-2	1,0E-2	
Copper*	8,0E+2	5,0E+2	8,0E+2		1,6E+0	1,0E+0	
Lead*	1,3E+1	7,9E+2	1,3E+3		1,6E-2	1,0E-2	
Zinc*	4,3E+3	8,9E+2	1,4E+3		4,8E+0	3,0E+0	
Benzo(a)Pyrene*	1,8E+0	1,1E+5	1,8E+5		1,6E-5	1,0E-5	
* = Chemical with user-specified data							
NOTE: NAF = Natural attenuation factor POE = Point of exposure							
Site Name: xx				Date Completed: d-giu-yy			
Site Location: xy				Job ID: CSR terreni (POC)			
Completed By: Ing. Andrea Forni							

AR ricettore uomo sorgente SS: software RBCA

RBCA Tool Kit for Chemical Releases

Exposure Pathway Identification

1. Groundwater Exposure ?

*Groundwater Ingestion/
Surface Water Impact*

Receptor: None None None
 Type: On-site Off-site1 Off-site2

Source Media: Distance to GW receptors

<input type="checkbox"/> Affected Groundwater	0	0	0	(m)
	On-site	Off-site1	Off-site2	
<input type="checkbox"/> Affected Soils Leaching to Groundwater	0	70	0	(m)

GW Discharge to Surface Water Exposure

Swimming
 Fish Consumption
 Aquatic Life Protection

2. Surface Soil Exposure ?

*Direct Ingestion
and Dermal Contact*

Receptor: None
 Type: On-site No off-site receptors

Construction Worker

Site Name: xx
 Location: xy
 Compl. By: Ing. Andrea Forni
 Job ID: Sorgente SS ric. Lavoratore Date: d-giu-yy

3. Air Exposure ?

*Volatilization and Particulates
to Outdoor Air Inhalation*

Receptor: Com. None None
 Type: On-site Off-site1 Off-site2
 0 (m)

Construction worker

Affected Soils--Volatilization to Ambient Outdoor Air
 Affected Groundwater--Volatilization to Ambient Outdoor Air
 Affected Surface Soils--Particulates to Ambient Outdoor Air

*Volatilization to
Indoor Air Inhalation*

Receptor: None
 Type: On-site No off-site receptors

Affected Soils--Volatilization to Enclosed Space
 Affected Groundwater--Volatilization to Enclosed Space

4. Commands and Options

Exposure Factors & Target Risks Exposure Flowchart

AR ricettore uomo sorgente SS: dati di input

RBCA Tool Kit for Chemical Releases

Site-Specific Air Parameters

Site Name: xx Job ID: Sorgente SS ric. Lavoratore
 Location: xy Date: d-giu-yy
 Compl. By: Ing. Andrea Forni

1. Outdoor Air Pathway

Dispersion in Air

Distance to offsite air receptor Off-site 1 Off-site 2 (m)
 or **NA** or

Horizontal dispersivity (m)
 Vertical dispersivity (m)

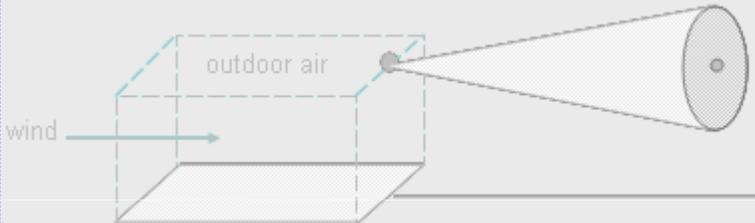
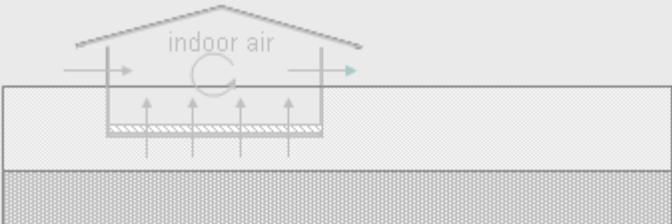
Air Source Zone

Air mixing zone height (m)
 Ambient air velocity in mixing zone (m/s)
 Areal particulate emission flux (g/cm²/s)

2. Indoor Air Pathway

Building Parameters

	Residential	Commercial	
Building volume/area ratio	2	3	(m)
Foundation area	70	70	(m ²)
Foundation perimeter	34	34	(m)
Building air exchange rate	1,4E-4	2,3E-4	(1/s)
Depth to bottom of foundation slab	0,15	0,15	(m)
Convective air flow through cracks	0,0E+0	0,0E+0	(m ³ /s)
Foundation thickness		0,15	(m)
Foundation crack fraction		0,01	(-)
Volumetric water content of cracks		0,12	(-)
Volumetric air content of cracks		0,26	(-)
Indoor/Outdoor differential pressure		0	(g/cm ² /s ²)

3. Commands and Options

Main Screen **Use Default Values** **Print Sheet**
Set Units **Help**

AR ricettore uomo sorgente SS: velocità del vento

$$\frac{U_{air}(z_1)}{U_{air}(z_2)} = \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^p \quad (3.2.14)$$

dove “p” è funzione della classe di stabilità atmosferica e della rugosità del suolo. In Tabella 3.2-13 si riportano i valori di “p” per 2 tipi di rugosità, area urbana e rurale, e per le sei classi di stabilità atmosferica, secondo la classificazione di Pasquill-Gifford.

Tabella 3.2-13: Valori del parametro “p”

p	A	B	C	D	E	F
Suolo urbano	0,15	0,15	0,20	0,25	0,40	0,60
Suolo rurale	0,07	0,07	0,10	0,15	0,35	0,55

- Fonte APAT, 2008

AR ricettore uomo sorgente SS: calcolo del rischio cancerogeno

Return		Print Sheet		RBCA SITE ASSESSMENT						
1 OF 10										
TIER 2 PATHWAY RISK CALCULATION										
OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS <input checked="" type="checkbox"/> (CHECKED IF PATHWAYS ARE ACTIVE)										
SURFACE SOILS (0,5 - 1 m):		CARCINOGENIC RISK								
VAPOR INHALATION		(1) EPA Carcinogenic Classification		(2) Total Carcinogenic Exposure (mg/m ³)			(3) Inhalation Unit Risk Factor (µg/m ³) ⁻¹	(4) Individual COC Risk (2) x (3) x 1000		
Constituents of Concern		On-site (0 m)		Off-site 1 (0 m)	Off-site 2 (0 m)	Factor (µg/m ³) ⁻¹	On-site (0 m)		Off-site 1 (0 m)	Off-site 2 (0 m)
		Commercial	Construction Worker	None	None		Commercial	Construction Worker	None	None
Arsenic*		A				4,3E-3				
Copper*		D								
Lead*		B2								
Zinc*		D								
Benzo(a)Pyrene*		B2		1,6E-7		2,1E-3	3,3E-7			
Total Pathway Carcinogenic Risk =							3,3E-7			
NOTE										
Site Name: xx Site Location: xy Completed By: Ing. Andrea Forni				Completed By: Ing. Andrea Forni Date Completed: d-giu-yy			Job ID: Sorgente SS ric. Lavoratore			

AR ricettore uomo sorgente SS: calcolo del rischio non cancerogeno

RBCA SITE ASSESSMENT

TIER 2 PATHWAY RISK CALCULATION

OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS

(CHECKED IF PATHWAYS ARE A

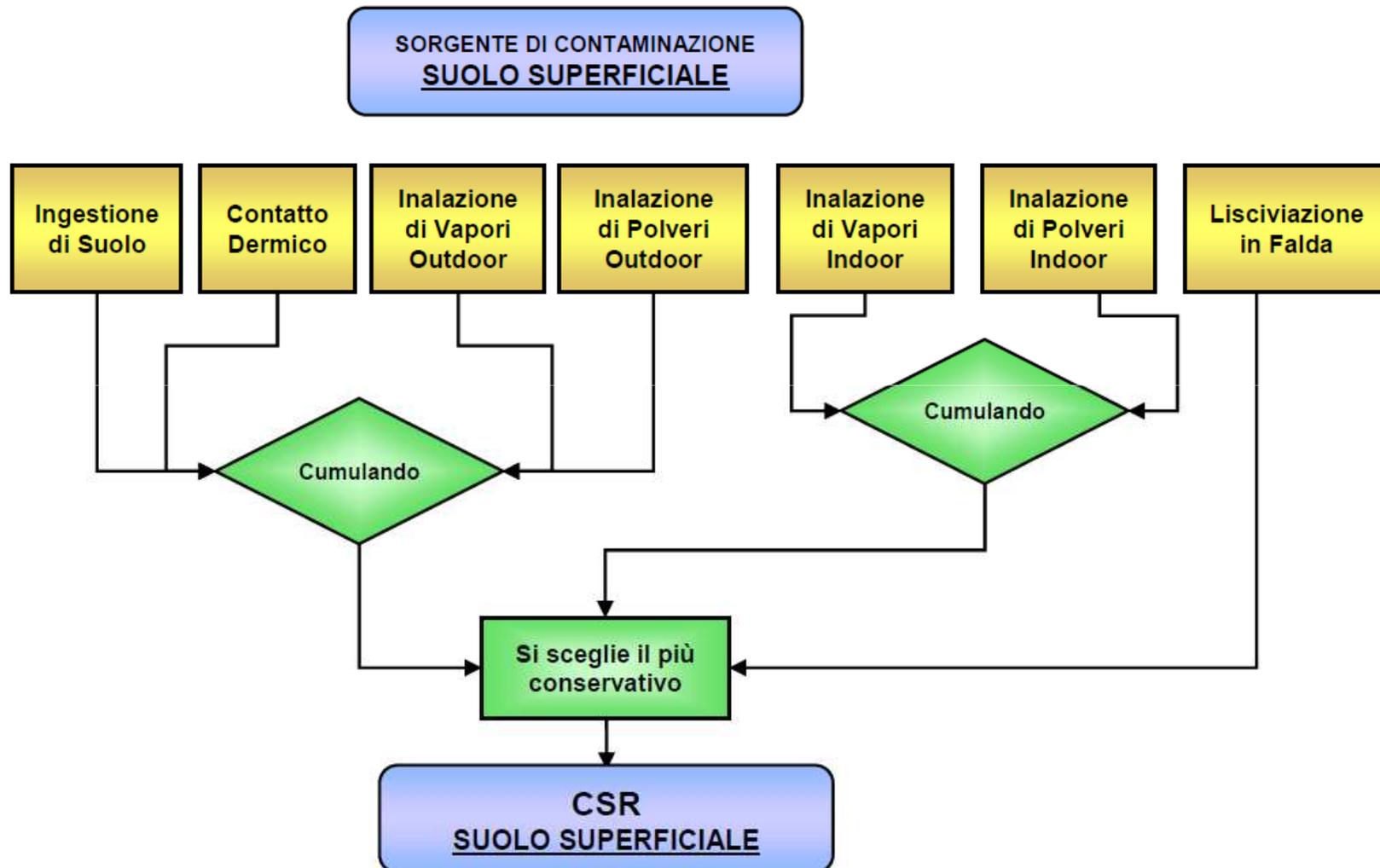
Constituents of Concern	(5) Total Toxicant Exposure (mg/m ³)				TOXIC EFFECTS	
	On-site (0 m)		Off-site 1 (0 m)	Off-site 2 (0 m)	(6) Inhalation Reference Conc. (mg/m ³)	On-site
	Commercial	Construction Worker	None	None		Commercial
Arsenic*	0,0E+0				1,1E-3	0,0E+0
Copper*					1,4E-1	
Lead*					1,2E-1	
Zinc*					1,1E+0	
Benzo(a)Pyrene*	4,4E-7				1,1E+1	4,0E-8

Total Pathway Hazard Index = 4,0E-8

Site Name: xx
Site Location: xy

Completed By: Ing. Andrea Forni
Date Completed: d-giu-yy

AR sorgente SS: scelta delle CSR



AR sorgente SS: scelta delle CSR

CSRg SINGOLA VIA D'ESPOSIZIONE – SUOLO SUPERFICIALE

COMPOSTI	CSRg CONTATTO DERMICO		CSRg INGESTIONE SUOLO		CSRg INALAZIONE VAPORI INDOOR		CSRg INALAZIONE VAPORI OUTDOOR		CSRg LISCIVIAZIONE IN FALDA
	Residenziale [mg/Kg]	Industriale [mg/Kg]	Residenziale [mg/Kg]	Industriale [mg/Kg]	Residenziale [mg/Kg]	Industriale [mg/Kg]	Residenziale [mg/Kg]	Industriale [mg/Kg]	[mg/Kg]
Composti Inorganici									
Alluminio	1,96E+06	NC	5,94E+06	NC	7,82E+04	NC	2,04E+06	NC	1,41E+03
Antimonio	7,82E+02	NC	2,38E+03	NC	3,13E+01	NC	8,18E+02	NC	1,06E+00
Argento	9,78E+03	NC	2,97E+04	NC	3,91E+02	NC	1,02E+04	NC	3,93E-01
Arsenico	3,08E+00	C	3,70E+00	C	4,26E-01	C	3,82E+00	C	1,37E+00
Piombo	6,84E+03	NC	2,08E+04	NC	2,74E+02	NC	7,15E+03	NC	2,59E+00
Piombo Tetraetile	1,96E-01	NC	5,94E-01	NC	7,82E-03	NC	2,04E-01	NC	4,03E-06
Rame	7,82E+04	NC	2,38E+05	NC	3,13E+03	NC	8,18E+04	NC	1,51E-04
Selenio	9,78E+03	NC	2,97E+04	NC	3,91E+02	NC	1,02E+04	NC	4,32E-03
Stagno	1,17E+06	NC	3,57E+06	NC	4,69E+04	NC	1,23E+06	NC	2,37E-02
Tallio	1,56E+02	NC	4,75E+02	NC	6,26E+00	NC	1,64E+02	NC	
Vanadio	1,37E+04	NC	4,16E+04	NC	5,48E+02	NC	1,43E+04	NC	
Zinco	5,87E+05	NC	1,78E+06	NC	2,35E+04	NC	6,13E+05	NC	

- Fonte APAT, 2008

Problematiche

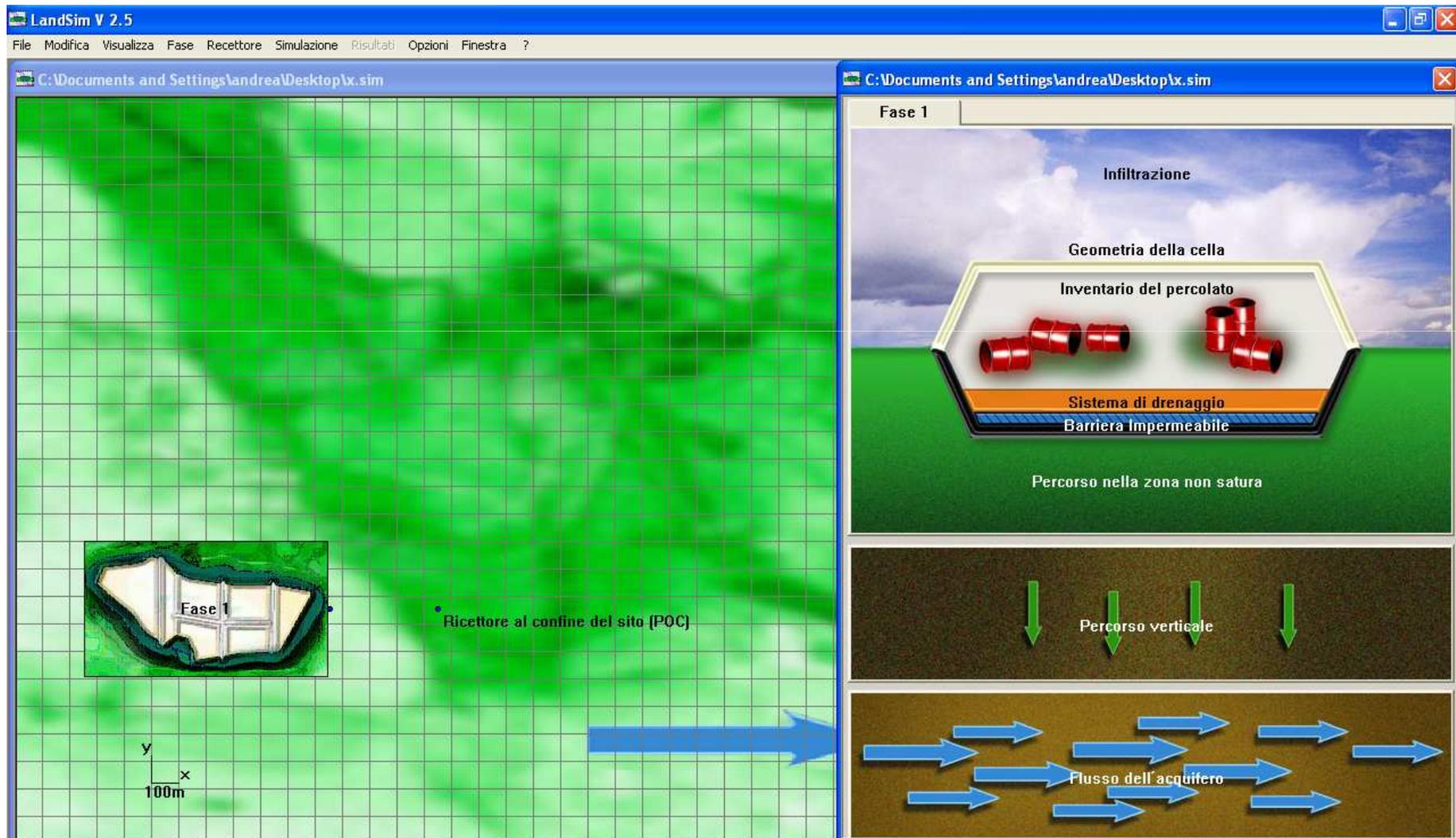
- Sono terreni o rifiuti?

Tutto questo va bene nel caso in cui siano terreni altrimenti occorre cambiare codice di calcolo

- In caso di ricevitore marino?

Non esistono modelli validati per il ricevitore marino (ricevitore infinito, problema delle maree, differente densità dell'acqua)

Analisi di rischio per discariche di rifiuti



Analisi di rischio per discariche di rifiuti: alcuni dati di input

Geometria della cella

Lunghezza cella alla base [m]

Larghezza cella alla base [m]

Numero celle
Tutte uguali

Singola cella [Ha]
Superf. di Base
Superf. superiore

Totale discarica [Ha]
Superf. di Base
Superf. superiore

Spessore finale dei rifiuti [m]

Porosità dei rifiuti [frazione]

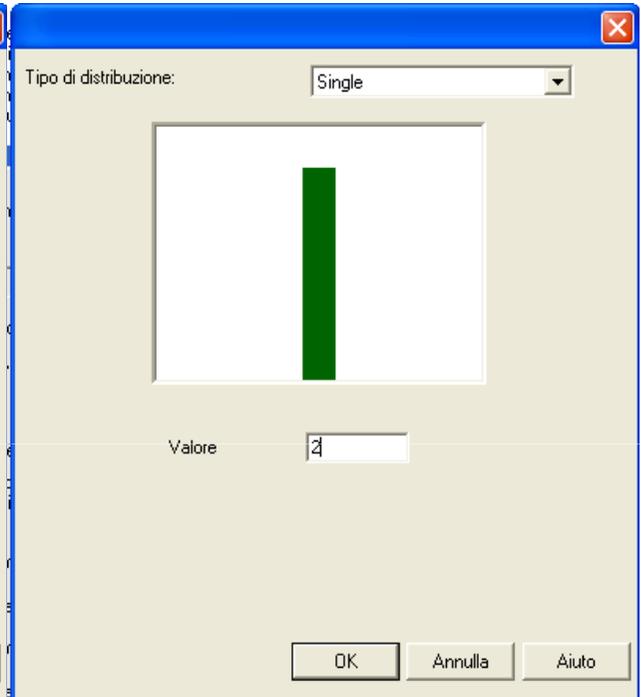
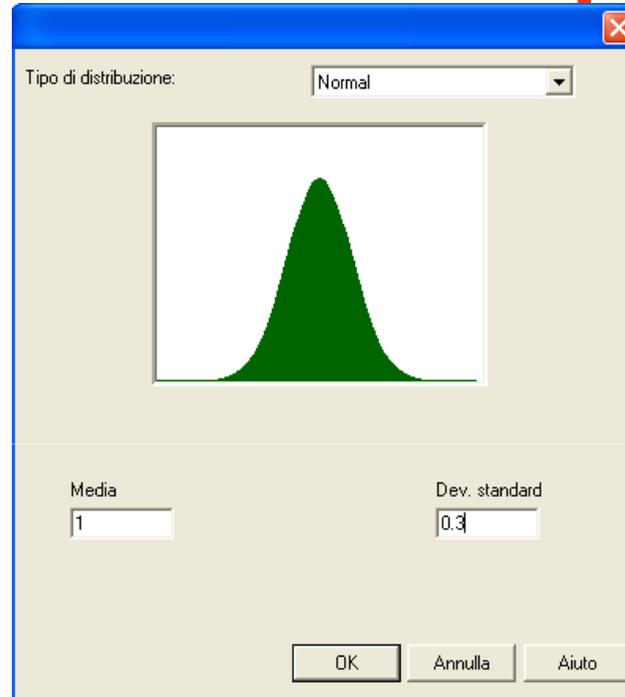
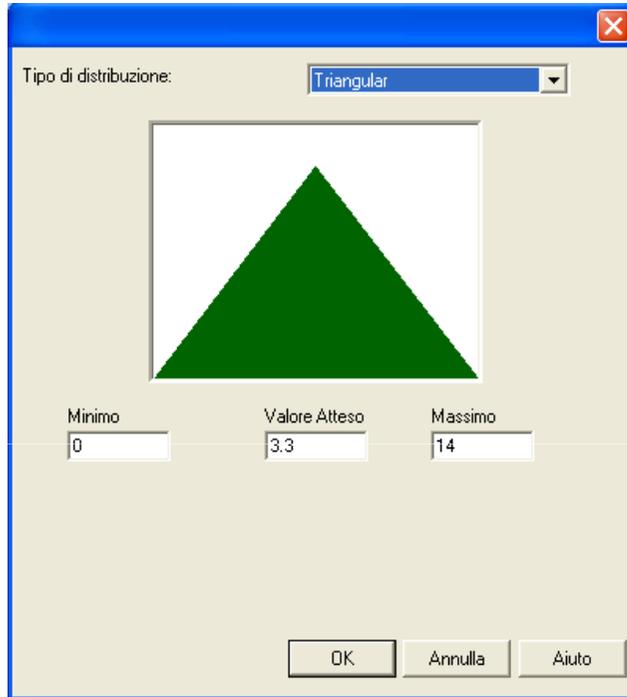
Densità dei rifiuti [kg/l]

Capacità di campo rifiuti [frazione]

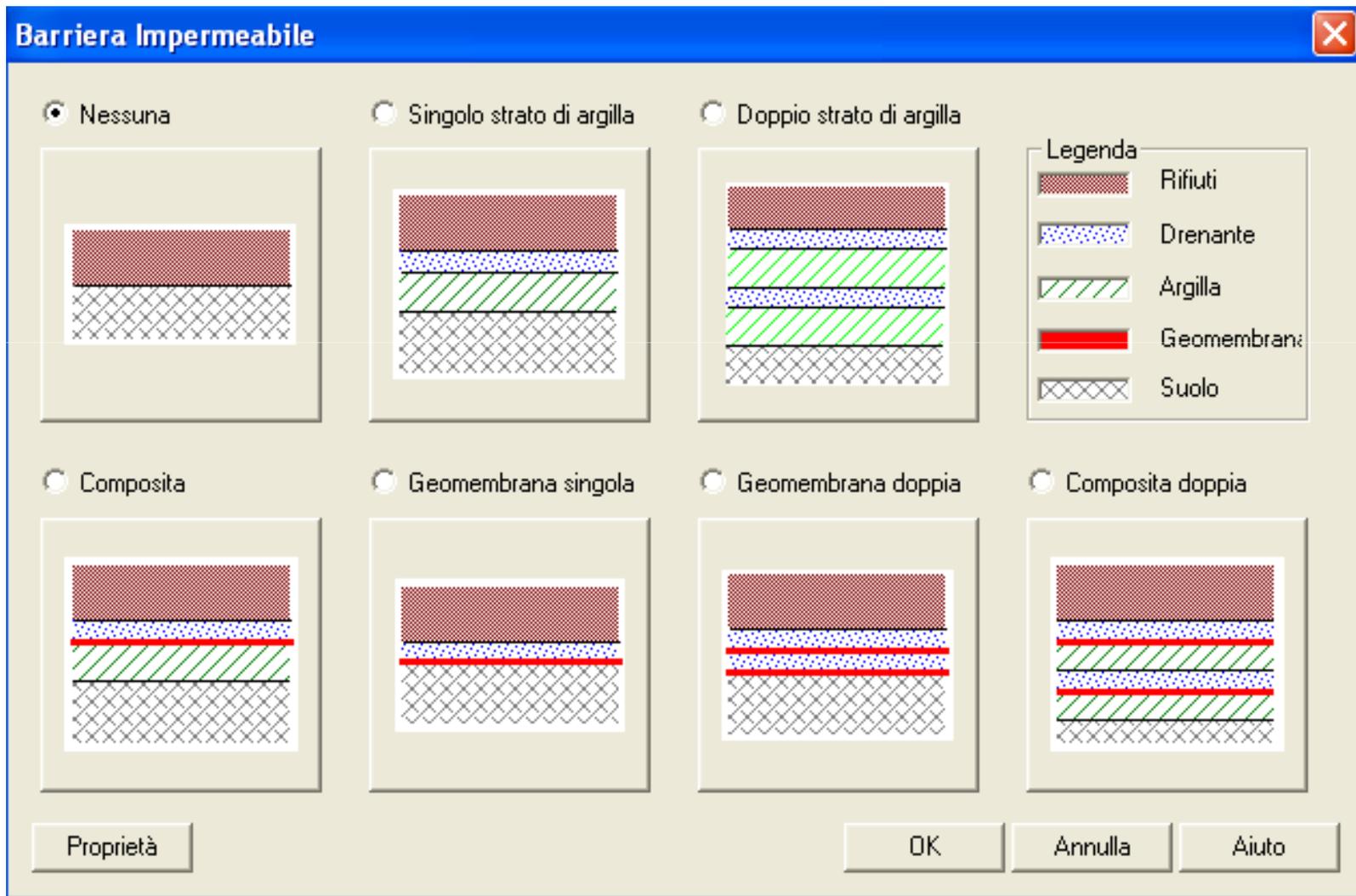
Carico idrostatico del percolato in caso di tracimazione [m]

OK
Annulla
Aiuto

Analisi di rischio per discariche di rifiuti: distribuzioni di probabilità



Analisi di rischio per discariche di rifiuti: alcuni dati di input



Analisi di rischio per discariche di rifiuti: output

