

Studio comparativo di software di analisi di rischio sanitario-ambientale (D.Lgs.152/06 e s.m.i.)

*Febbraio 2013
(Rev. 0)*

Gruppo di lavoro RECONnet:

Simona Berardi, INAIL
Andrea Forni, Libero Professionista
Pamela Marescalco, Politecnico di Torino
Antonio Traversa, ARPA Lazio
Iason Verginelli, Università degli studi di Roma "Tor Vergata"
Igor Villani, Provincia di Ferrara

Coordinamento del GdL:

Simona Berardi, INAIL

RECONnet, Rete nazionale sulla gestione e la bonifica dei siti contaminati
Viale del Politecnico, 1
00133 Roma
www.reconnet.net

SOMMARIO

INTRODUZIONE	3
1 METODOLOGIA ADOTTATA	5
2 CONFRONTO DEGLI OUTPUT	6
2.1 Opzioni di calcolo	6
2.2 Analisi dei risultati.....	9
2.3 Considerazioni conclusive	23
3 CRITERI DI CALCOLO.....	24
3.1 Modello concettuale.....	24
3.1 Parametri sito specifici.....	29
3.2 Fattori di trasporto	29
3.3 Calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica	37
4 Usabilità	43
5 Efficienza.....	43
6 Affidabilità.....	43
BIBLIOGRAFIA.....	48

INTRODUZIONE

L'applicazione della procedura di analisi di rischio (AdR), in modalità diretta per il calcolo del rischio e in modalità inversa per il calcolo di obiettivi di bonifica sito-specifici, è prevista da numerosi strumenti normativi vigenti, primo tra tutti il D.Lgs. 152/06 e s.m.i. Il documento di riferimento, a livello nazionale, per la sua applicazione è il manuale "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio ai siti contaminati" [APAT, 2008].

Il presente documento contiene i risultati derivanti da uno studio comparativo tra i principali software di analisi di rischio sanitario-ambientale attualmente utilizzati in Italia. In particolare, per lo studio sono stati selezionati quei software la cui ultima versione è successiva all'entrata in vigore del D.Lgs 152/06, ed in particolare:

- RISC (Risk-Integrated Software for Cleanups) ver. 5.0, Spence Engineering (2011, USA).
- RBCA (Risk Based Corrective Action) Tool Kit for Chemical Releases ver. 2.5, Groundwater Service, Inc. Houston (2009, USA)
- GIUDITTA (Gestione Informatizzata Di Tollerabilità Ambientale) ver. 3.2, Provincia di Milano e URS Dames & Moore (2008, Italia)
- RACHEL (Risk Analysis Calculation Handbook for Environmental and Living-beings) ver. 1.1.5, Politecnico di Torino e Dream S.r.l. (2012, Italia)
- RISK-NET ver. 1.0, Università degli Studi di Roma Tor Vergata (2012, Italia).

I cinque software sopra elencati permettono di effettuare una analisi di rischio in corrispondenza ad un livello 1 e 2 di analisi. In particolare, in relazione al livello 2 ciascuno di essi prevede:

- l'inserimento delle proprietà sito-specifiche del sito e della sorgente di contaminazione;
- la selezione degli inquinanti indicatori e la definizione delle proprietà chimico-fisiche e tossicologiche;
- l'inserimento della concentrazione rappresentativa alla sorgente, nel caso di applicazione in modalità diretta (forward);
- la definizione dei valori di accettabilità del Rischio e dell'Indice di pericolo, nel caso di applicazione in modalità inversa (backward);
- l'individuazione dei bersagli della contaminazione, delle vie di migrazione e di esposizione in accordo al modello concettuale;
- il calcolo dei fattori di trasporto dei contaminanti per le diverse vie di migrazione;
- il calcolo dell'esposizione, noti i parametri di esposizione e la concentrazione al punto di esposizione;
- il calcolo del Rischio e dell'Indice di pericolo, nel caso di applicazione in modalità diretta (forward);
- il calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) di cui al D.Lgs. 152/06 e s.m.i., nel caso di applicazione in modalità inversa (backward).

Si sottolinea che lo scopo delle analisi e delle valutazioni condotte nel presente lavoro non è quello di incoraggiare l'utilizzo di un software a svantaggio dell'altro, ma piuttosto di evidenziare peculiarità e criticità dei software esaminati rispetto ai vari percorsi di

esposizione, in modo tale da consentire all'utente una migliore comprensione dei risultati derivanti dall'applicazione dei modelli.

Lo studio è stato condotto da un Gruppo di Lavoro costituito da membri appartenenti alla Rete nazionale sulla gestione e la bonifica dei siti contaminati (RECONnet).

1 METODOLOGIA ADOTTATA

Il confronto tra i software è stato effettuato in termini di:

- Confronto degli output: I cinque modelli sono stati applicati a 9 distinti casi studio, estrapolati da casi reali; gli output sono stati poi posti a confronto a mezzo sia di grafici che di tabelle. In quest'ultimo caso la differenza dei risultati è stata riportata in termini di rapporto tra quelli di "RBCA Tool Kit" e quelli dell'"altra soluzione". L'RBCA Tool Kit è stato selezionato quale software di riferimento, in virtù dell'elevato grado di validazione e attendibilità dello stesso.
- Opzioni di calcolo: In tale ambito sono stati posti a confronto il modello concettuale, i fattori di trasporto, i parametri di input adottati come default e i criteri di calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica dei cinque software.
- Usabilità: Con usabilità si intende la facilità d'uso del prodotto da parte dell'utente finale, per tale valutazione sono stati presi in esame diversi aspetti che caratterizzano i software, la documentazione che li accompagna e dell'ambiente operativo richiesto per la loro installazione.
- Efficienza: L'efficienza del sistema è stata valutata in termini di tempi di elaborazione e risposta, richiesta di risorse e di memoria e gestione degli errori.
- Affidabilità: Tale valutazione è stata condotta effettuando test di carico, ossia sottoponendo il sistema ad un carico di lavoro massimo. Lo scopo è stato quello di valutare il comportamento del sistema in condizioni limite, e quindi di individuare malfunzionamenti che non si presentano in condizioni normali (quali difetti nella gestione della memoria, buffer, overflows, etc.) e di garantire un'efficienza base anche in condizioni di massimo carico. In tale ambito è stato inoltre eseguito un "Test di sicurezza", cercando di accedere a dati o a funzionalità che dovrebbero essere riservate, per controllare l'efficacia dei meccanismi di sicurezza del sistema.

2 CONFRONTO DEGLI OUTPUT

2.1 OPZIONI DI CALCOLO

Al fine di rendere possibile la riproduzione delle simulazioni, si riportano in Appendice A le tabelle relative a tutti i parametri di input utilizzati, relativamente a:

- scenari di calcolo dei 9 casi studio;
- valori delle Concentrazioni Rappresentative alla Sorgente (CRS);
- valori dei parametri sito-specifici;
- valori dei fattori di esposizione.

Riguardo le proprietà chimico-fisiche e tossicologiche degli inquinanti indicatori sono stati utilizzati i valori contenuti nella Banca dati ISS-ISPEL (Maggio 2009).

Inoltre, per dare la massima trasparenza all'attività svolta, in allegato al presente documento sono riportati i file delle nove simulazioni per ciascuno dei cinque software utilizzati.

Per permettere il confronto si è proceduto come di seguito indicato:

- Sono stati resi omogenei tutti i parametri di input.
- Non tutti i software esaminati rispecchiano esattamente quanto riportato nel doc. APAT (2008), non solo in termini di parametri di input proposti quali default, ma anche riguardo le equazioni analitiche e le formule adottate per i calcoli. Quindi per rendere possibile il confronto sono state attivate per alcuni software specifiche opzioni in modo che per il confronto fossero utilizzati gli stessi criteri di calcolo. Nelle tabelle 2.a – 2.d sono quindi esplicitate tali opzioni di calcolo per ogni software.
- Il software RISC4, rispetto alla versione utilizzata nel presente studio, permetteva di attivare due opzioni di calcolo denominate TIER1 e TIER2. Attivando l'opzione TIER1 le equazioni per la stima dei fattori di trasporto (FT) erano quelle contenute nello standard ASTM E1739-95, in tal caso era possibile utilizzare dei parametri di input sia sito-generici che sito specifici. Il software RISC5, diversamente dalla precedente versione, prevede solamente l'elaborazione di un'analisi di rischio di livello 2 (TIER 2). In tal modo, i FT vengono calcolati a mezzo di modelli di fate&transport, analitici o numerici a seconda dei casi, spesso diversi da quelli proposti dal doc. APAT (2008).

Tab. 2.a - Opzioni di calcolo utilizzati per il confronto tra RBCA Tool Kit e RISC

Via di esposizione	Sorgente di contaminazione	RBCA toolkit	RISC
Volatilizzazione Outdoor	Suolo superficiale (SS) e Suolo profondo (SP)	Attivata opzione "Esaurimento in sorgente"	Utilizzato "Vapor Emission Model" (modello transitorio) con diminuzione della sorgente nel tempo in combinazione con "Outdoor Air Model".
		Attivata opzione modello: "Combination surface soil/Johnson & Ettinger"	Biodegradazione nella zona insatura non attivata
	Falda (GW)	(Impostazioni di default)	Utilizzato "Vapor Emission Model" (stazionario) con sorgente costante nel tempo in combinazione con "Outdoor Air Model". Biodegradazione nella zona insatura non attivata
Volatilizzazione Indoor	Suolo superficiale (SS) e Suolo profondo (SP)	Attivato esaurimento in sorgente	Utilizzato "Vapor Emission Model" con Johnson and Ettinger (stazionario) con sorgente costante nel tempo
		Attivata opzione modello: "Johnson & Ettinger model for soil and groundwater volatilization"	Biodegradazione nella zona insatura non attivata
	Falda (GW)	Attivata opzione modello: "Johnson & Ettinger model for soil and groundwater volatilization"	Utilizzato "Vapor Emission Model" con Biodegradazione nella zona insatura non attivata
Lisciviazione in falda	Suolo superficiale (SS) e Suolo profondo (SP)	Attivato calcolo "SAM" Utilizzato "ASTM Model"	Utilizzato "Unsaturated zone model" (modello transitorio) con diminuzione della sorgente nel tempo Biodegradazione nella zona insatura non attivata
Trasporto in falda	Falda (GW)	Attivata opzione modello: "Domenico equation with dispersion only (no biodegradation)"	Utilizzato "Groundwater Model" Biodegradazione nella zona insatura non attivata

Tab. 2.b - Opzioni di calcolo utilizzati per il confronto tra RBCA Tool Kit e GIUDITTA.

Via di esposizione	Sorgente di contaminazione	RBCA toolkit	GIUDITTA
Volatilizzazione Outdoor	Suolo superficiale (SS) e Suolo profondo (SP)	Attivata opzione "Esaurimento in sorgente"	(Impostazioni di default)
		Attivata opzione modello: "Combination surface soil/Johnson & Ettinger"	
	Falda (GW)	(Impostazioni di default)	(Impostazioni di default)
Volatilizzazione Indoor	Suolo superficiale (SS) e Suolo profondo (SP)	Attivato esaurimento in sorgente	(Impostazioni di default)
		Attivata opzione modello: "Johnson & Ettinger model for soil and groundwater volatilization"	
	Falda (GW)	Attivata opzione modello: "Johnson & Ettinger model for soil and groundwater volatilization"	(Impostazioni di default)
Lisciviazione in falda	Suolo superficiale (SS) e Suolo profondo (SP)	Attivato calcolo "SAM" Utilizzato "ASTM Model"	Attivato calcolo "SAM"
Trasporto in falda	Falda (GW)	Attivata opzione modello: "Domenico equation with dispersion only (no biodegradation)"	(Impostazioni di default)

Tab. 2.c - Opzioni di calcolo utilizzati per il confronto tra RBCA Tool Kit e RACHEL.

Via di esposizione	Sorgente di contaminazione	RBCA toolkit	RACHEL
Volatilizzazione Outdoor	Suolo superficiale (SS) e Suolo profondo (SP)	Attivata opzione "Esaurimento in sorgente"	Attivato esaurimento in sorgente (default per la volatilizzazione)
		Attivata opzione modello: "Combination surface soil/Johnson & Ettinger"	
	Falda (GW)	(Impostazioni di default)	Impostata assenza di prodotto libero
Volatilizzazione Indoor	Suolo superficiale (SS) e Suolo profondo (SP)	Attivato esaurimento in sorgente	Attivato esaurimento in sorgente (default per la volatilizzazione)
		Attivata opzione modello: "Johnson & Ettinger model for soil and groundwater volatilization"	
	Falda (GW)	Attivata opzione modello: "Johnson & Ettinger model for soil and groundwater volatilization"	Impostata assenza di prodotto libero
Lisciviazione in falda	Suolo superficiale (SS) e Suolo profondo (SP)	Attivato calcolo "SAM"	Attivato calcolo "SAM"
		Utilizzato "ASTM Model"	Impostata assenza di prodotto libero Disattivata opzione "Esaurimento sorgente"
Trasporto in falda	Falda (GW)	Attivata opzione modello: "Domenico equation with dispersion only (no biodegradation)"	Dispersione in falda: DAF2 Impostata assenza di prodotto libero

Tab. 2.d - Opzioni di calcolo utilizzati per il confronto tra RBCA Tool Kit e RISK-NET.

Via di esposizione	Sorgente di contaminazione	RBCA toolkit	RISK-NET
Volatilizzazione Outdoor	Suolo superficiale (SS) e Suolo profondo (SP)	Attivata opzione "Esaurimento in sorgente"	Attivata opzione "Esaurimento in sorgente"
		Attivata opzione modello: "Combination surface soil/Johnson & Ettinger"	Disattivata opzione "Limita CRS a Csat"
	Falda (GW)	(Impostazioni di default)	Disattivata opzione "Limita CRS a Csat"
Volatilizzazione Indoor	Suolo superficiale (SS) e Suolo profondo (SP)	Attivato esaurimento in sorgente	Attivata opzione "Esaurimento in sorgente"
		Attivata opzione modello: "Johnson & Ettinger model for soil and groundwater"	Disattivata opzione "Limita CRS a Csat"
	Falda (GW)	Attivata opzione modello: "Johnson & Ettinger model for soil and groundwater"	Disattivata opzione "Limita CRS a Csat"
Lisciviazione in falda	Suolo superficiale (SS) e Suolo profondo (SP)	Attivato calcolo "SAM"	Attivato calcolo "SAM"
		Utilizzato "ASTM Model"	Disattivata opzione "Limita CRS a Csat" Disattivata opzione "Esaurimento sorgente"
Trasporto in falda	Falda (GW)	Attivata opzione modello: "Domenico equation with dispersion only (no biodegradation)"	Dispersione in falda: DAF2
			Disattivata opzione "Limita CRS a Csat"

2.2 ANALISI DEI RISULTATI

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati ottenuti da confronto con gli output dei modelli. Come detto in precedenza, i risultati del confronto sono stati riportati a mezzo sia di grafici che di tabelle. In quest'ultimo caso la differenza dei risultati è stata effettuata in termini di rapporto tra quelli di "RBCA Tool Kit" e quelli dell'"altra soluzione". L'RBCA Tool Kit è stato selezionato quale software di riferimento, in virtù dell'elevato grado di validazione e attendibilità dello stesso.

Risultati "Caso studio 1"

Tab. 2.1.a - OUTPUT: Rischio
(Caso1 - INGESTIONE DI SUOLO, Suolo Superficiale Industriale)

Inquinante indicatore	Rischio					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Fenolo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Piombo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tricloroetilene	5.77E-08	5.77E-08	5.77E-08	5.77E-08	5.77E-08	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Etilbenzene	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alifatici C9-18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Crisene	1.83E-07	1.83E-07	1.83E-07	1.83E-07	1.83E-07	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00

Tab. 2.1.b - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso1 - INGESTIONE DI SUOLO, Suolo Superficiale Industriale)

Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Fenolo	2,94E-04	2,94E-04	2,94E-04	2,94E-04	2,94E-04	9,98E-01	1,00E+00	9,98E-01	1,00E+00
Piombo	4,19E-01	4,19E-01	4,19E-01	4,19E-01	4,19E-01	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Tricloroetilene	2,45E-03	2,45E-03	2,45E-03	2,45E-03	2,45E-03	9,98E-01	1,00E+00	9,98E-01	1,00E+00
Etilbenzene	7,34E-04	7,34E-04	7,34E-04	7,34E-04	7,34E-04	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Alifatici C9-18	1,10E-02	1,10E-02	1,10E-02	1,10E-02	1,10E-02	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Crisene	2,45E-03	2,45E-03	2,45E-03	2,45E-03	2,45E-03	9,98E-01	1,00E+00	9,98E-01	1,00E+00

Tab.2.1.c - OUTPUT: Rischio
(Caso1 - CONTATTO DERMICO, Suolo Superficiale Industriale)

Inquinante indicatore	Rischio					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Fenolo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Piombo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tricloroetilene	7,61E-08	7,61E-08	7,61E-08	7,61E-08	7,61E-08	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Etilbenzene	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alifatici C9-18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Crisene	3,15E-07	3,15E-07	3,15E-07	3,15E-07	3,15E-07	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

**Tab. 2.1.d - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso1 - CONTATTO DERMICO, Suolo Superficiale Industriale)**

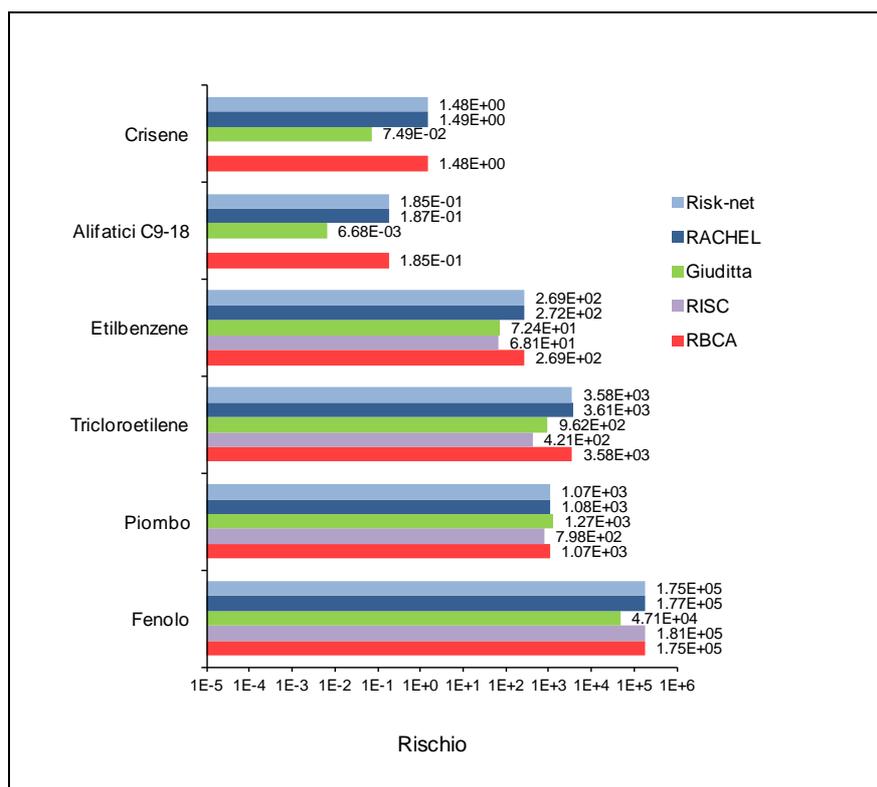
Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Fenolo	3,87E-04	3,87E-04	3,87E-04	3,87E-04	3,87E-04	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Piombo	5,54E-02	5,54E-02	5,54E-02	5,54E-02	5,54E-02	9,99E-01	1,00E+00	9,99E-01	1,00E+00
Tricloroetilene	3,23E-03	3,23E-03	3,23E-03	3,23E-03	3,23E-03	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Etilbenzene	9,69E-04	9,69E-04	9,69E-04	9,69E-04	9,69E-04	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Alifatici C9-18	1,45E-02	1,45E-02	1,45E-02	1,45E-02	1,45E-02	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Crisene	4,20E-03	4,20E-03	4,20E-03	4,20E-03	4,20E-03	9,99E-01	1,00E+00	9,99E-01	1,00E+00

Riguardo le modalità di esposizione “contatto dermico” e “ingestione di suolo”, dall’esame delle tabelle 2.1.a – 2.1.d, è possibile constatare che i risultati dei cinque software sono praticamente coincidenti. In tale ambito è opportuno sottolineare che essendo modalità di esposizione dirette, per la stima del rischio (e dell’indice di pericolo) ad esse associato, non entra in gioco alcun fattore di trasporto (FT).

**Tab. 2.1.e - OUTPUT: Rischio
(Caso1 - RISCHIO RISORSA IDRICA, Suolo Superficiale Industriale)**

Inquinante indicatore	Rischio Risorsa Idrica					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Fenolo	1,75E+05	1,81E+05	4,71E+04	1,77E+05	1,75E+05	9,71E-01	3,72E+00	9,90E-01	1,00E+00
Piombo	1,07E+03	7,98E+02	1,27E+03	1,08E+03	1,07E+03	1,33E+00	8,39E-01	9,87E-01	1,00E+00
Tricloroetilene	3,58E+03	4,21E+02	9,62E+02	3,61E+03	3,58E+03	8,50E+00	3,72E+00	9,91E-01	1,00E+00
Etilbenzene	2,69E+02	6,81E+01	7,24E+01	2,72E+02	2,69E+02	3,95E+00	3,72E+00	9,89E-01	1,00E+00
Alifatici C9-18	1,85E-01	2,08E-43	6,68E-03	1,87E-01	1,85E-01	8,88E+41	2,77E+01	9,89E-01	1,00E+00
Crisene	1,48E+00	1,29E-08	7,49E-02	1,49E+00	1,48E+00	1,14E+08	1,97E+01	9,90E-01	1,00E+00

Fig. 2.1.a - OUTPUT: Rischio
(Caso1 - RISCHIO RISORSA IDRICA, Suolo Superficiale Industriale)



Riguardo il rischio per la risorsa idrica sotterranea (tabella 2.1.e e figura 2.1.a), risulta che:

- I risultati di RBCA Tool Kit, RACHEL e RISK-NET sono perfettamente coincidenti.
- Giuditta, rispetto ai precedenti tre, invece evidenzia delle differenze che, in termini di rapporto tra fattori, oscillano tra 0,9 e 28. Tali differenze presumibilmente sono parzialmente riconducibili al fatto che in Giuditta per il percorso di lisciviazione si tiene conto, a differenza degli altri software, dell'esaurimento della sorgente. Tuttavia questo risulta difficilmente identificabile, principalmente a causa dell'impossibilità di visionare gli output intermedi di Giuditta.
- Anche RISC5 evidenzia delle differenze di risultati. Tali differenze sono sostanzialmente imputabili all'utilizzo di un diverso modello di trasporto per la lisciviazione in falda (Unsaturated Zone Model) e per il trasporto al POC (Groundwater Model). In particolare, il primo è un modello abbastanza complesso che tiene conto, tra l'altro, della diminuzione nel tempo della sorgente, calcolando anche le perdite per volatilizzazione del composto oltre che la biodegradazione nel tempo (opzionale). Tale modellistica, di livello, fornisce quindi in termini di rischio dei valori inferiori, quindi meno cautelativi, rispetto agli altri software. In particolare, le discrepanze maggiori sono relative alle specie chimiche con alti valori di Koc e/o di Costante di Henry (Crisene e Alifatici C9-18, rispettivamente).

Risultati “Caso studio 2” e “Caso studio 3”

**Tab. 2.2.a - OUTPUT: Rischio
(Caso2 - INALAZIONE DI VAPORI OUTDOOR, Suolo Profondo Residenziale)**

Inquinante indicatore	Rischio					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Cloruro di vinile	3,64E-09	3,74E-09	4,40E-09	3,64E-09	3,64E-09	9,73E-01	8,27E-01	1,00E+00	1,00E+00
Benzene	3,23E-08	1,88E-08	3,90E-08	3,23E-08	3,23E-08	1,72E+00	8,27E-01	9,99E-01	1,00E+00
Mercurio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Clorofenolo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PCB	1,31E-10	8,42E-11	1,58E-10	1,31E-10	1,31E-10	1,55E+00	8,28E-01	9,99E-01	1,00E+00

**Tab. 2.2.b - OUTPUT: indice di pericolo
(Caso2 - INALAZIONE DI VAPORI OUTDOOR, Suolo Profondo Residenziale)**

Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Cloruro di vinile	1,20E-05	3,86E-05	1,20E-05	1,20E-05	1,20E-05	3,12E-01	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Benzene	4,03E-04	4,87E-04	4,03E-04	4,03E-04	4,03E-04	8,28E-01	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Mercurio	1,28E-02	8,44E-03	1,28E-02	1,28E-02	1,28E-02	1,51E+00	9,96E-01	9,96E-01	1,00E+00
2-Clorofenolo	8,83E-05	5,31E-05	8,83E-05	8,83E-05	8,83E-05	1,66E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
PCB	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tab. 2.3.a - OUTPUT: Rischio
(Caso3 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Residenziale)**

Inquinante indicatore	Rischio					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Cloruro di vinile	2,39E-10	2,36E-10	2,85E-10	2,48E-10	2,38E-10	1,01E+00	8,39E-01	9,64E-01	1,01E+00
Benzene	1,14E-09	1,57E-09	1,37E-09	1,19E-09	1,14E-09	7,26E-01	8,32E-01	9,58E-01	1,00E+00
Mercurio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Clorofenolo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PCB	7,13E-10	9,88E-10	8,91E-10	7,73E-10	7,13E-10	7,22E-01	8,00E-01	9,23E-01	1,00E+00

**Tab. 2.3.b - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso3 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Residenziale)**

Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Cloruro di vinile	7,92E-07	7,83E-07	7,55E-07	8,22E-07	7,87E-07	1,01E+00	1,05E+00	9,63E-01	1,01E+00
Benzene	1,42E-05	1,96E-05	1,37E-05	1,49E-05	1,42E-05	7,26E-01	1,04E+00	9,56E-01	1,00E+00
Mercurio	9,19E-04	1,26E-03	8,84E-04	9,62E-04	9,19E-04	7,29E-01	1,04E+00	9,55E-01	1,00E+00
2-Clorofenolo	3,42E-03	4,68E-03	3,46E-03	3,75E-03	3,42E-03	7,31E-01	9,88E-01	9,12E-01	1,00E+00
PCB	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig. 2.2.a - OUTPUT: Rischio
(Caso2 - INALAZIONE DI VAPORI OUTDOOR, Suolo Profondo Residenziale)

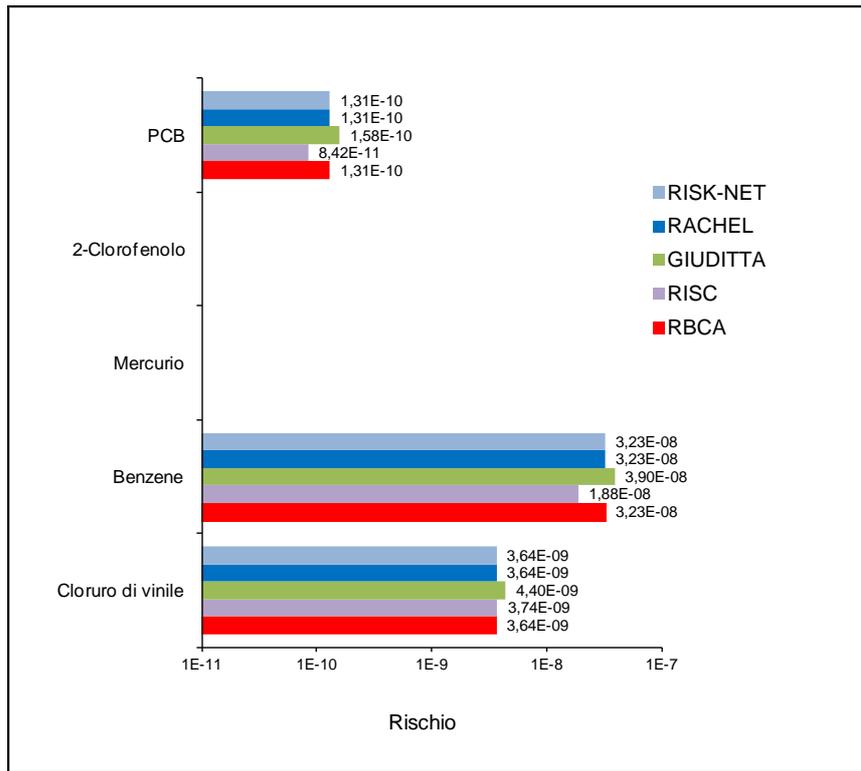


Fig. 2.2.b - OUTPUT: indice di pericolo
(Caso2 - INALAZIONE DI VAPORI OUTDOOR, Suolo Profondo Residenziale)

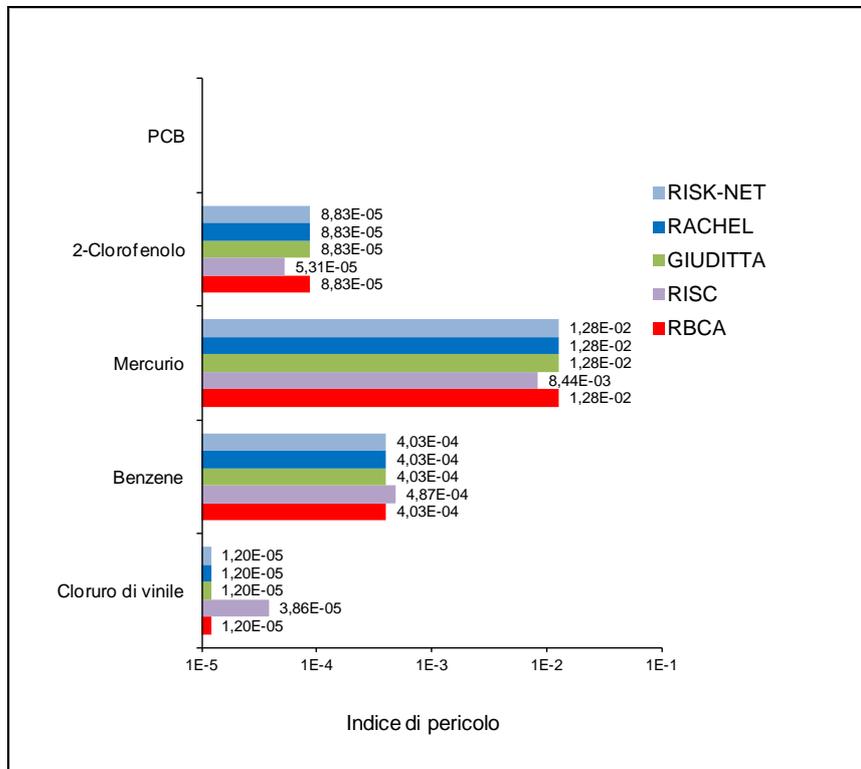


Fig. 2.3.a - OUTPUT: Rischio
(Caso3 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Residenziale)

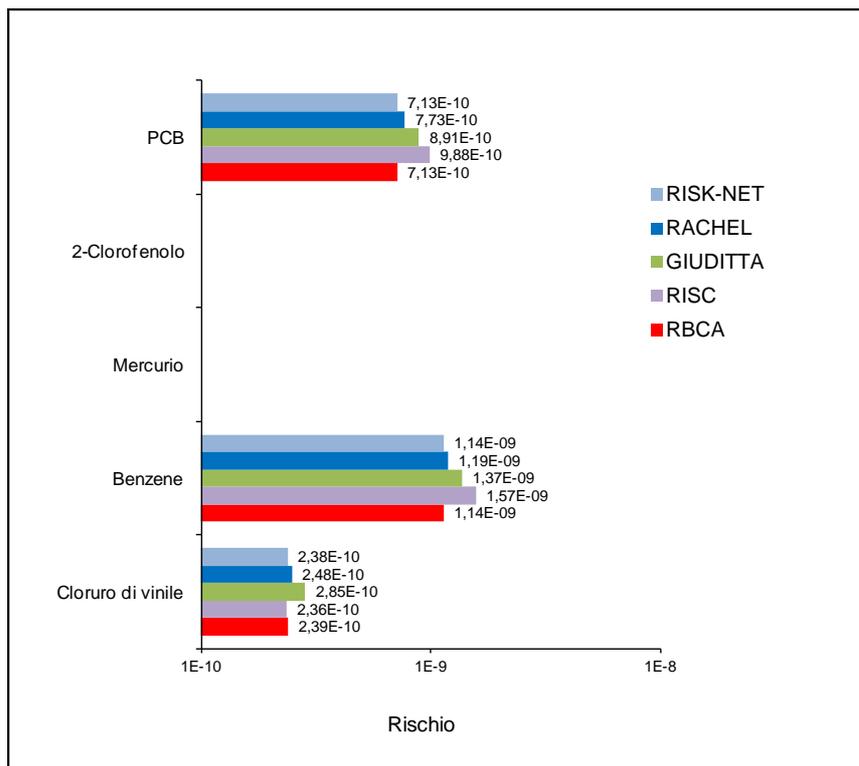
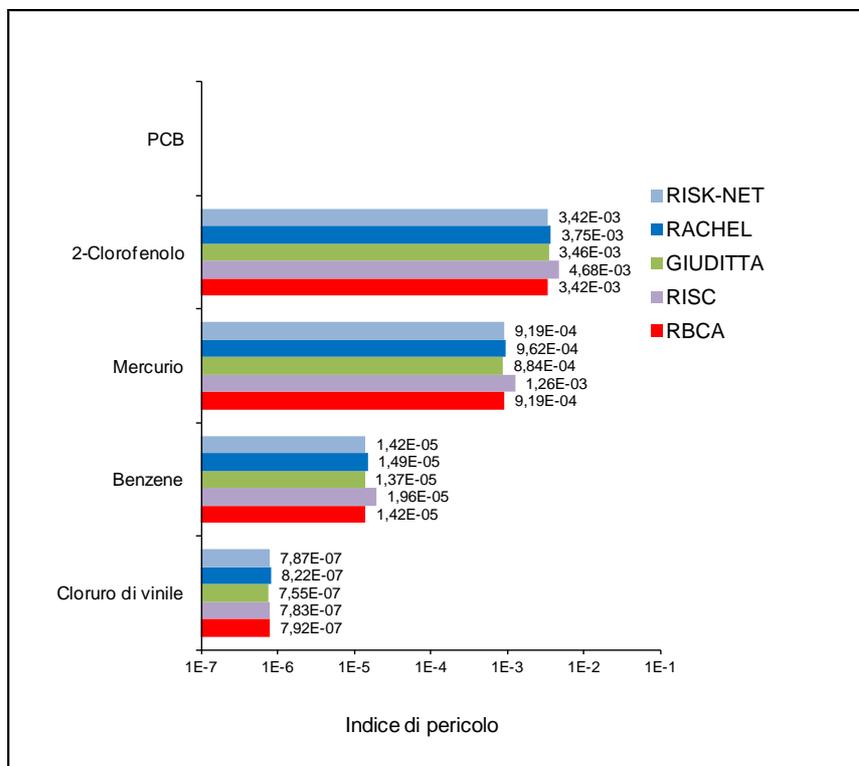


Fig. 2.3.b - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso3 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Residenziale)



Riguardo le modalità di esposizione inalazione outdoor da suolo profondo (Caso 2) e inalazione indoor da falda (Caso 3), dall'esame delle tabelle e dei grafici è possibile constatare che:

- I risultati dei software RBCA Tool Kit, RACHEL e RISK-NET risultano estremamente allineati.
- Le differenze tra gli output di RBCA Tool Kit e Giuditta sono comprese tra 0,8 e 1.
- Le differenze tra gli output di RBCA Tool Kit e RISC sono comprese tra 0,3 e 1,7 nel caso di inalazione outdoor da suolo profondo (Caso 2), e tra 0.7 e 1 nel caso di inalazione indoor da falda (Caso 3).

Risultati "Caso studio 4"

**Tab. 2.4.a - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso 4 - INGESTIONE DI SUOLO, Suolo Superficiale Industriale)**

Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Alifatici C5-C8	9,17E-03	9,17E-03	9,17E-03	9,17E-03	9,17E-03	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Alifatici C9-C18	1,10E-02	1,10E-02	1,10E-02	1,10E-02	1,10E-02	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Alifatici C19-C36	5,50E-04	5,50E-04	5,50E-04	5,50E-04	5,50E-04	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Aromatici C9-C10	1,22E-02	1,22E-02	1,22E-02	1,22E-02	1,22E-02	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Aromatici C11-C22	3,67E-02	3,67E-02	3,67E-02	3,67E-02	3,67E-02	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

**Tab. 2.4.b - OUTPUT:Indice di pericolo
(Caso 4 - CONTATTO DERMICO, Suolo Superficiale Industriale)**

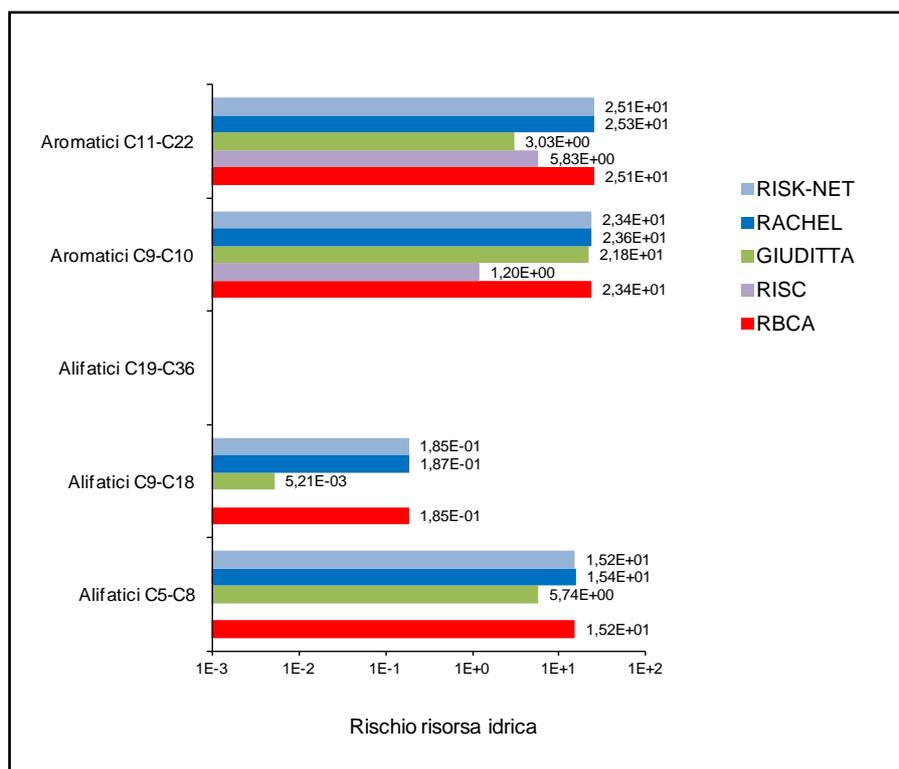
Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Alifatici C5-C8	6,05E-02	6,05E-02	6,05E-02	6,05E-02	6,05E-02	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Alifatici C9-C18	7,27E-02	7,27E-02	7,27E-02	7,27E-02	7,27E-02	9,99E-01	1,00E+00	9,99E-01	1,00E+00
Alifatici C19-C36	3,63E-03	3,63E-03	3,63E-03	3,63E-03	3,63E-03	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Aromatici C9-C10	8,07E-02	8,07E-02	8,07E-02	8,07E-02	8,07E-02	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Aromatici C11-C22	2,42E-01	2,42E-01	2,42E-01	2,42E-01	2,42E-01	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

**Tab. 2.4.c - OUTPUT: Rischio
(Caso 4 - RISCHIO RISORSA IDRICA, Suolo Superficiale Industriale)**

Inquinante indicatore	Rischio Risorsa Idrica					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Alifatici C5-C8	1,52E+01	-	5,74E+00	1,54E+01	1,52E+01	-	2,65E+00	9,88E-01	1,00E+00
Alifatici C9-C18	1,85E-01	-	5,21E-03	1,87E-01	1,85E-01	-	3,55E+01	9,89E-01	1,00E+00
Alifatici C19-C36	-	-	3030 (*)	-	-	-	-	-	-
Aromatici C9-C10	2,34E+01	1,20E+00	2,18E+01	2,36E+01	2,34E+01	1,96E+01	1,07E+00	9,92E-01	1,00E+00
Aromatici C11-C22	2,51E+01	5,83E+00	3,03E+00	2,53E+01	2,51E+01	4,31E+00	8,29E+00	9,93E-01	1,00E+00

(*) Per gli Alifatici C19-C36 che risultano immobili (Banca Dati ISS-ISPEL non definisce Koc) sembrerebbe che Giuditta considera Koc = 0 (che corrisponde alla condizione in cui il contaminante è tutto in soluzione) mentre si dovrebbe considerare Koc infinito (che corrisponde invece alla condizione in cui tutto il contaminante è adsorbito al suolo).

Fig. 2.4.a - OUTPUT: Rischio
(Caso 4 - RISCHIO RISORSA IDRICA, Suolo Superficiale Industriale)



Come per il caso studio 1, riguardo le modalità di esposizione “contatto dermico” e “ingestione di suolo” i risultati dei cinque software sono praticamente coincidenti.

Riguardo il rischio per la risorsa idrica sotterranea, anche per il presente caso studio, è possibile osservare che:

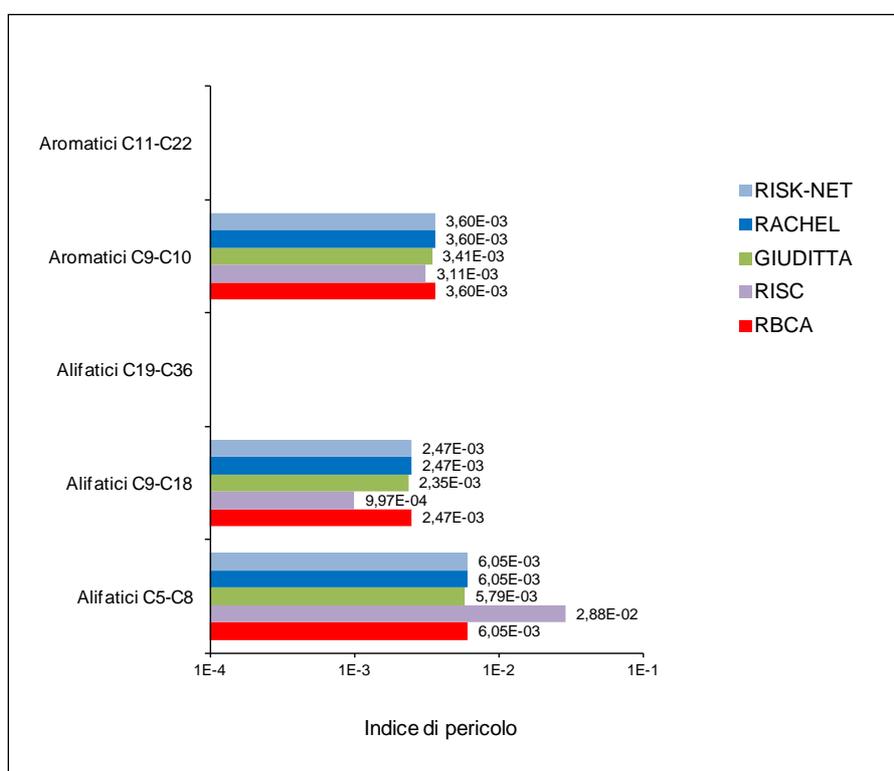
- I risultati di RBCA Tool Kit, RACHEL e RISK-NET sono perfettamente coincidenti.
- Giuditta, rispetto ai precedenti tre, invece evidenzia delle differenze che, in termini di rapporto tra fattori, oscillano tra 1 e 35. Tali differenze presumibilmente sono parzialmente riconducibili al fatto che in Giuditta per il percorso di lisciviazione si tiene conto, a differenza degli altri software, dell'esaurimento della sorgente. Tuttavia questo risulta difficilmente identificabile, principalmente a causa dell'impossibilità di visionare gli output intermedi di Giuditta.
- Anche RISC5 evidenzia delle differenze di risultati comprese tra 19 e 4,3 in termini di rapporto tra output. Come detto nel caso 1 tali differenze sono sostanzialmente imputabili all'utilizzo di un diverso modello di trasporto per la lisciviazione in falda e per il trasporto al POC. In particolare, elevati valori di Costante di Henry e di Koc (come ad esempio per gli Alifatici C5-C8 e Alifatici C9-C18) con il modello utilizzato dal RISC5, impediscono, di fatto, una lisciviazione verso la falda in quanto il composto o volatilizza (soprattutto nel caso dei C5-C8) o rimane adsorbito al terreno (Alifatici C9-C18).

Risultati “Caso studio 5”

**Tab. 2.5.a - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso 5 - INALAZIONE DI VAPORI OUTDOOR, Suolo Profondo Residenziale)**

Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Alifatici C5-C8	6,05E-03	2,88E-02	5,79E-03	6,05E-03	6,05E-03	2,10E-01	1,04E+00	9,99E-01	1,00E+00
Alifatici C9-C18	2,47E-03	9,97E-04	2,35E-03	2,47E-03	2,47E-03	2,48E+00	1,05E+00	1,00E+00	1,00E+00
Alifatici C19-C36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aromatici C9-C10	3,60E-03	3,11E-03	3,41E-03	3,60E-03	3,60E-03	1,16E+00	1,06E+00	1,00E+00	1,00E+00
Aromatici C11-C22	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Fig. 2.5.a - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso 5 - INALAZIONE DI VAPORI OUTDOOR, Suolo Profondo Residenziale)**

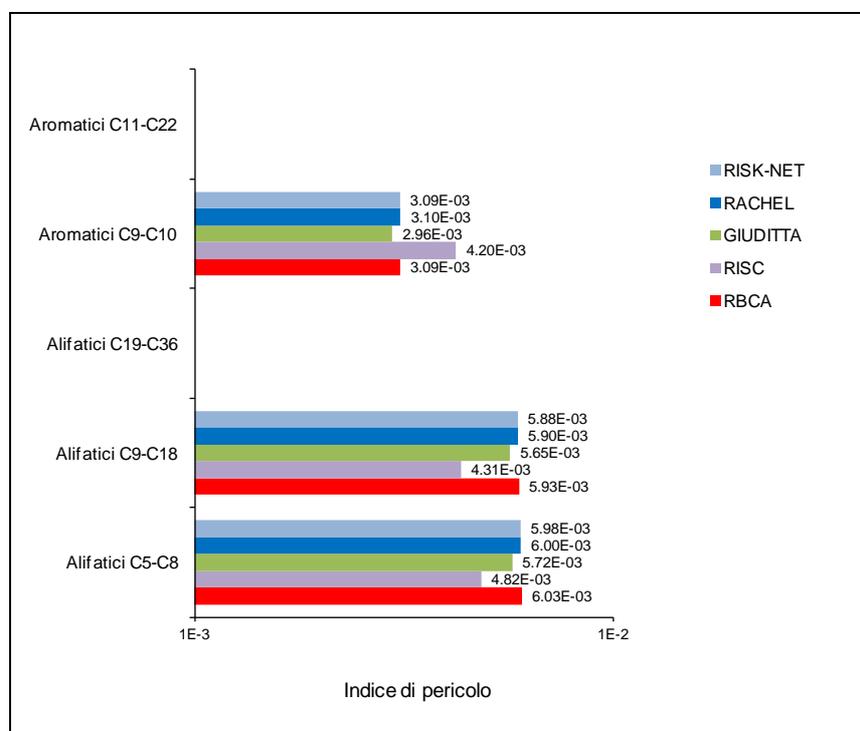


Risultati “Caso studio 6”

**Tab. 2.6.a - OUTPUT: Indice di pericolo
Caso 6 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Residenziale)**

Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Alifatici C5-C8	6.03E-03	4.82E-03	5.72E-03	6.00E-03	5.98E-03	1.25E+00	1.05E+00	1.01E+00	1.01E+00
Alifatici C9-C18	5.93E-03	4.31E-03	5.65E-03	5.90E-03	5.88E-03	1.38E+00	1.05E+00	1.01E+00	1.01E+00
Alifatici C19-C36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aromatici C9-C10	3.09E-03	4.20E-03	2.96E-03	3.10E-03	3.09E-03	7.35E-01	1.04E+00	9.95E-01	1.00E+00
Aromatici C11-C22	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Fig. 2.6.a - OUTPUT: Indice di pericolo
Caso 6 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Residenziale)**



Risultati “Caso studio 7”

Tab. 2.7.a - OUTPUT: Rischio
(Caso 7 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Industriale)

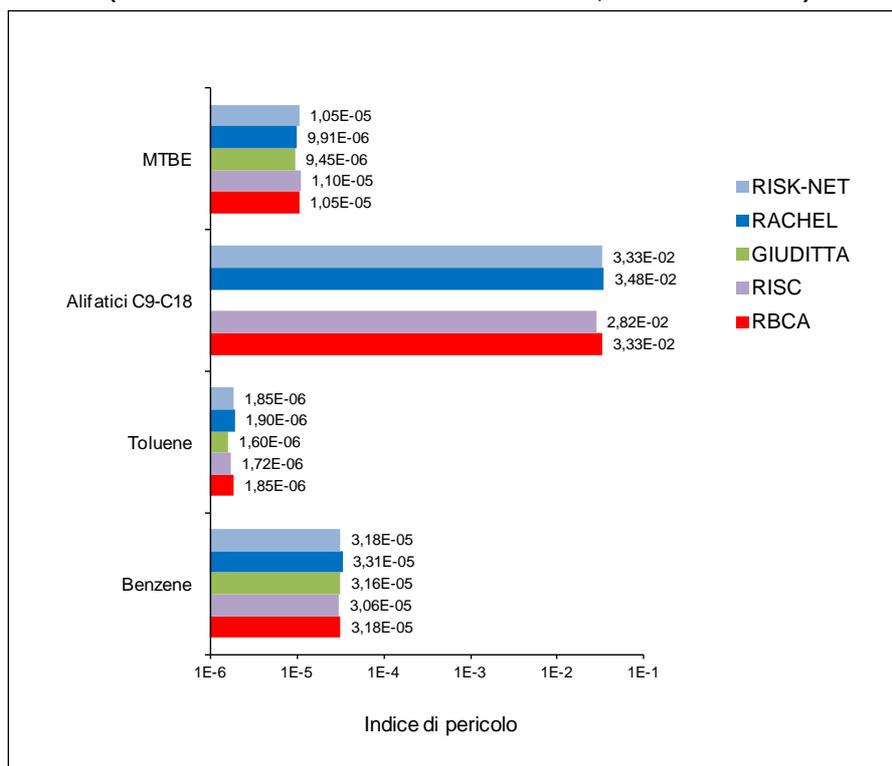
Inquinante indicatore	Rischio					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Benzene	2,65E-09	2,55E-09	2,63E-09	2,76E-09	2,65E-09	1,04E+00	1,01E+00	9,62E-01	1,00E+00
Toluene	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alifatici C9-C18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MTBE	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 2.7.b - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso 7 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Industriale)

Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Benzene	3.18E-05	3.06E-05	3.16E-05	3.31E-05	3.18E-05	1.04E+00	1.01E+00	9.62E-01	1.00E+00
Toluene	1.85E-06	1.72E-06	1.60E-06	1.90E-06	1.85E-06	1.07E+00	1.16E+00	9.73E-01	1.00E+00
Alifatici C9-C18	3.33E-02	2.82E-02	NC (*)	3.48E-02	3.33E-02	1.18E+00	-	9.57E-01	1.00E+00
MTBE	1.05E-05	1.10E-05	9.45E-06	9.91E-06	1.05E-05	9.55E-01	1.11E+00	1.06E+00	1.00E+00

(*) Non calcolato in quanto per le CRS < CSC Giuditta non permette il calcolo del rischio

Fig. 2.7.a - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso 7 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Industriale)



Risultati “Caso studio 8”

**Tab. 2.8.a - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso 8 - INGESTIONE E CONTATTO DERMICO SUOLO, Suolo Superficiale Industriale)**

Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Mercurio	9,60E-02	9,60E-02	9,60E-02	9,60E-02	9,60E-02	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

**Tab. 2.8.b - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso 8 - INALAZIONE DI VAPORI OUTDOOR, Suolo Superficiale Industriale)**

Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Mercurio	2,55E+00	4,62E+00	2,04E+00	2,55E+00	2,55E+00	5,52E-01	1,25E+00	1,00E+00	1,00E+00

**Tab. 2.8.c - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso 8 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Suolo Superficiale Industriale)**

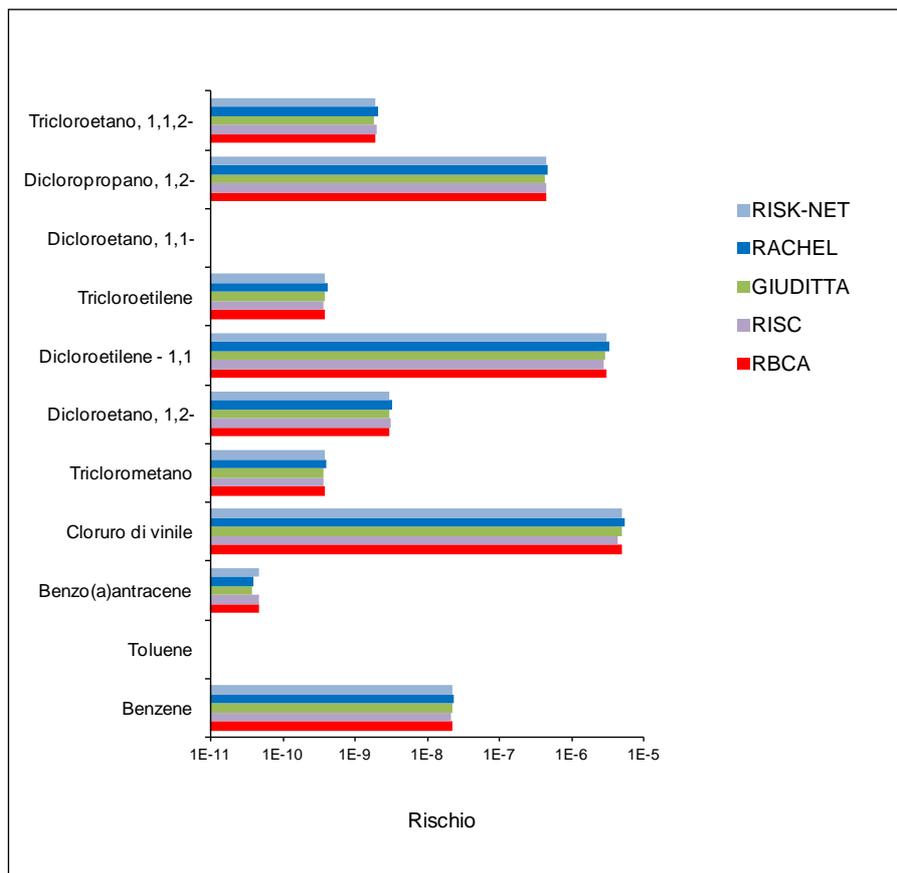
Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Mercurio	2,43E+01	2,42E+01	2,09E+01	2,38E+01	2,45E+01	1,00E+00	1,16E+00	1,02E+00	9,90E-01

Risultati "Caso studio 9"

Tab. 2.9.a - OUTPUT: Rischio
(Caso 9 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Industriale)

Inquinante indicatore	Rischio					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Benzene	2,19E-08	2,14E-08	2,18E-08	2,36E-08	2,19E-08	1,02E+00	1,01E+00	9,29E-01	1,00E+00
Toluene	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Benzo(a)antracene	4,62E-11	4,66E-11	3,74E-11	3,88E-11	4,62E-11	9,91E-01	1,23E+00	1,19E+00	1,00E+00
Cloruro di vinile	4,99E-06	4,38E-06	4,96E-06	5,44E-06	4,99E-06	1,14E+00	1,01E+00	9,17E-01	1,00E+00
Triclorometano	3,74E-10	3,67E-10	3,70E-10	3,98E-10	3,74E-10	1,02E+00	1,01E+00	9,41E-01	1,00E+00
Dicloroetano, 1,2-	3,00E-09	3,15E-09	2,94E-09	3,23E-09	3,00E-09	9,51E-01	1,02E+00	9,28E-01	1,00E+00
Dicloroetilene - 1,1	3,01E-06	2,73E-06	2,93E-06	3,26E-06	3,01E-06	1,10E+00	1,03E+00	9,23E-01	1,00E+00
Tricloroetilene	3,87E-10	3,58E-10	3,84E-10	4,10E-10	3,87E-10	1,08E+00	1,01E+00	9,43E-01	1,00E+00
Dicloroetano, 1,1-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dicloropropano, 1,2-	4,33E-07	4,39E-07	4,28E-07	4,64E-07	4,33E-07	9,86E-01	1,01E+00	9,33E-01	1,00E+00
Tricloroetano, 1,1,2-	1,88E-09	2,00E-09	1,84E-09	2,04E-09	1,88E-09	9,42E-01	1,02E+00	9,23E-01	1,00E+00

Fig. 2.9.a - OUTPUT: Rischio
(Caso 9 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Industriale)

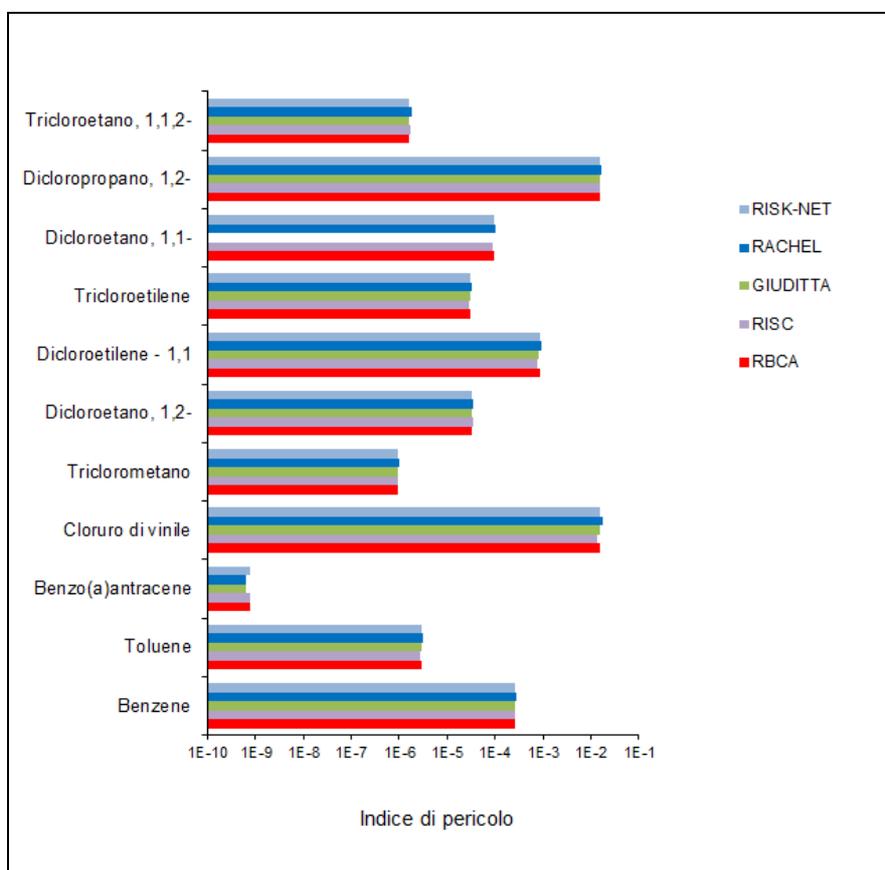


**Tab. 2.9.b - OUTPUT: Indice di Pericolo
(Caso 9 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Industriale)**

Inquinante indicatore	Indice di pericolo					Rapporto RBCA con			
	RBCA	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET	RISC	GIUDITTA	RACHEL	RISK-NET
Benzene	2.63E-04	2.57E-04	2.61E-04	2.83E-04	2.63E-04	1.02E+00	1.01E+00	9.29E-01	1.00E+00
Toluene	2.93E-06	2.76E-06	2.91E-06	3.10E-06	2.93E-06	1.06E+00	1.01E+00	9.45E-01	1.00E+00
Benzo(a)antracene	7.56E-10	7.64E-10	6.13E-10	6.36E-10	7.56E-10	9.89E-01	1.23E+00	1.19E+00	1.00E+00
Cloruro di vinile	1.59E-02	1.39E-02	1.58E-02	1.73E-02	1.59E-02	1.14E+00	1.00E+00	9.16E-01	1.00E+00
Triclorometano	9.30E-07	9.12E-07	9.22E-07	9.89E-07	9.30E-07	1.02E+00	1.01E+00	9.41E-01	1.00E+00
Dicloroetano, 1,2-	3.23E-05	3.40E-05	3.18E-05	3.49E-05	3.23E-05	9.51E-01	1.02E+00	9.27E-01	1.00E+00
Dicloroetilene - 1,1	8.43E-04	7.64E-04	8.39E-04	9.13E-04	8.43E-04	1.10E+00	1.00E+00	9.23E-01	1.00E+00
Tricloroetilene	3.01E-05	2.79E-05	2.99E-05	3.19E-05	3.01E-05	1.08E+00	1.01E+00	9.43E-01	1.00E+00
Dicloroetano, 1,1-	9.52E-05	9.19E-05	NC (*)	9.99E-05	9.52E-05	1.04E+00	-	9.53E-01	1.00E+00
Dicloropropano, 1,2-	1.56E-02	1.58E-02	1.55E-02	1.68E-02	1.56E-02	9.90E-01	1.01E+00	9.31E-01	1.00E+00
Tricloroetano, 1,1,2-	1.65E-06	1.75E-06	1.62E-06	1.79E-06	1.65E-06	9.44E-01	1.02E+00	9.23E-01	1.00E+00

(*) Non calcolato in quanto per le CRS < CSC Giuditta non permette il calcolo del rischio

**Fig. 2.9.b - OUTPUT: Indice di pericolo
(Caso 9 - INALAZIONE DI VAPORI INDOOR, Falda Industriale)**



I casi studio da 5 a 9 riguardano la volatilizzazione di vapori indoor o outdoor da suolo superficiale (SS), suolo profondo (SP) o falda (GW). Esaminando le tabelle ed i grafici di sintesi degli output è possibile evidenziare che:

- Riguardo l'inalazione di vapori indoor da falda (casi 6, 7 e 9), tutti i software forniscono risultati pressoché coincidenti, ad eccezione del caso studio 6 in corrispondenza del quale RISC evidenzia delle lievi differenze comprese tra 0,7 e 1,4.
- Riguardo l'inalazione di vapori outdoor da suolo profondo (casi 2 e 5), i software RBCA Tool Kit, RACHEL e RISK-NET forniscono risultati pressoché coincidenti, mentre RISC e Giuditta evidenziano delle differenze comprese rispettivamente tra 0,3 e 2,5 e tra 0,8 e 1,1.
- Riguardo l'inalazione di vapori outdoor da suolo superficiale (caso 8), i software RBCA Tool Kit, RACHEL e RISK-NET forniscono risultati pressoché coincidenti, mentre RISC e Giuditta evidenziano delle differenze pari rispettivamente a 0,5 e 1,2.
- Riguardo l'inalazione di vapori indoor da suolo superficiale (caso 8), i cinque software forniscono risultati pressoché coincidenti.

2.3 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

A conclusione di questa fase di confronto tra gli output dei cinque software esaminati, è possibile effettuare le seguenti considerazioni:

- Per le modalità di esposizione contatto dermico e ingestione tutti i cinque software forniscono output perfettamente coincidenti.
- Per tutte le altre modalità di esposizione esaminate i software RBCA Tool Kit, RACHEL e RISK-NET forniscono risultati pressoché coincidenti.
- Per la volatilizzazione in/outdoor da SS, SP e GW risulta che RISC5 e Giuditta evidenziano delle differenze comprese rispettivamente tra 0,3 e 2,5 e tra 0,8 e 1,1.
- Per il rischio per la risorsa idrica RISC5 e Giuditta evidenziano differenze degli output, in alcuni casi anche molto significative. Per quanto riguarda RISC5 tali differenze sono sostanzialmente imputabili all'utilizzo di un diverso modello di trasporto per la lisciviazione in falda (Unsaturated Zone Model) e per il trasporto al POC (AT123D Model). Per Giuditta tali differenze presumibilmente sono parzialmente riconducibili al fatto che in Giuditta per il percorso di lisciviazione si tiene conto, a differenza degli altri software, dell'esaurimento della sorgente. Tuttavia questo risulta difficilmente identificabile, principalmente a causa dell'impossibilità di visionare gli output intermedi di Giuditta.

3 CRITERI DI CALCOLO

Il confronto tra i modelli concettuali proposti dai cinque software esaminati è stato condotto, sempre tenendo conto di quanto contenuto Doc. APAT (2008), in termini di:

- modello concettuale;
- parametri sito-specifici;
- fattori di trasporto;
- calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica.

Per quanto riguarda il modello concettuale, il confronto ha riguardato:

- sorgenti di contaminazione;
- vie di esposizione;
- modalità di esposizione;
- bersagli.

Infine, per i cinque software sono stati posti a confronto i criteri adottati per il calcolo sia del rischio e dell'indice di pericolo, individuale e cumulativo, che degli obiettivi di bonifica.

3.1 MODELLO CONCETTUALE

Nel presente paragrafo sono evidenziate le sorgenti di contaminazione, le vie di esposizione, le modalità di esposizione e i bersagli presi in considerazione dai software esaminati. Nel seguito sono riportati i principali elementi che differenziano i software stessi.

Sorgenti di contaminazione

Nella tabella 3.1 sono riportate le sorgenti di contaminazione prese in considerazione dai 5 software. E' possibile osservare che tutti i software prevedono, come sorgente secondaria, il suolo superficiale (SS), il suolo profondo (SP) e la falda (GW). I due software RISC e RISK-NET considerano anche il soli gas, mentre solo GIUDITTA considera come sorgente anche l'eluato.

Tab. 3.1 - Modello concettuale: Sorgenti di contaminazione.

SORGENTE DI CONTAMINAZIONE	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
Suolo superficiale	X	X	X	X	X	X
Suolo profondo	X	X	X	X	X	X
Falda	X	X	X	X	X	X
Soil gas	---	---	X	---	---	X
Eluato	---	---	---	X	---	---

Per l'inserimento della concentrazione rappresentativa alla sorgente, l'RBCA Tool Kit e RISC5 non differenziano tra suolo superficiale e suolo profondo. L'RBCA Tool Kit prevede l'utilizzo della legge di Raoult nel caso di presenza, accertata o presunta, di prodotto

libero (NAPLs).

Per quanto riguarda il RISC5, inoltre, in sede di inserimento delle CRS del terreno (per percorso volatilizzazione indoor) permette due opzioni in merito a tale sorgente: costante e in diminuzione. Per volatilizzazione outdoor da terreno, invece, la sorgente è considerata sempre in diminuzione mentre la volatilizzazione indoor/outdoor da falda la sorgente è sempre costante.

Nel caso in cui siano stati effettuati test di cessione, Giuditta permette di inserire in input, come concentrazione rappresentativa alla sorgente, la concentrazione nell'eluato. In alternativa, il software permette di calcolare l'eluato teorico a partire dalla concentrazione sul tal quale. Il software permette nella stessa simulazione di differenziare le dimensioni della sorgente di contaminazione in funzione sia della tipologia di comparto ambientale contaminato (SS, SP, GW) che della specie chimica contaminante.

Per quel che riguarda la volatilizzazione, RACHEL consente di inserire in input direttamente le concentrazioni misurate in aria in corrispondenza del bersaglio, in aggiunta a quanto proposto dal doc. APAT 2008. In tal caso non si ha trasporto.

RACHEL dà la possibilità di inserire dimensioni diverse per sorgenti secondarie in suolo insaturo/saturo, di inserire parametri diversi per suolo insaturo/saturo qualora abbiano differenti caratteristiche litologiche, di inserire sia il Lower Confidential Limit al 95% (LCL 95%) sia l'Upper Confidential Limit al 95% (UCL 95%) e utilizza l'uno o l'altro secondo l'approccio conservativo suggerito dal "*Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06*". RACHEL inoltre, oltre alle classi idrocarburiche presenti nella banca dati ISS ISPESL del Maggio 2009, consente all'utente di selezionare e inserire le classi MADEP.

In Risk-net qualora disponibili, è possibile inserire le concentrazioni del soil-gas (esprese come mg/m^3) che vengono utilizzate per il calcolo dei percorsi di volatilizzazione indoor ed outdoor (opzione aggiuntiva rispetto a quanto previsto nelle linee guida APAT, 2008). Nel caso in cui non vengano inseriti valori per il soil-gas, per tali vie di migrazione, vengono utilizzati i dati di concentrazione totali, applicando i modelli di ripartizione previsti dal documento APAT (2008). Inoltre, nel caso di contaminazione da Idrocarburi, Risk-net permette di stimare le concentrazioni nelle diverse classi MADEP in funzione delle concentrazioni misurate per le diverse classi di idrocarburi. In particolare in tale contesto è possibile definire, in maniera distinta per suolo (superficiale e profondo) e falda, le concentrazioni nelle diverse frazioni di idrocarburi. Tali concentrazioni vengono utilizzate per calcolare le concentrazioni in sorgente (CRS) e le frazioni per le diverse classi MADEP che vengono utilizzate per il calcolo delle CSR per gli Idrocarburi Totali, Idrocarburi C<12 e Idrocarburi C>12 (in accordo con quanto definito dalla normativa vigente).

Vie di esposizione

Nella tabella 3.2 sono riportate le vie di esposizione prese in considerazione dai 5 software. Tutti prevedono i contatti diretti per il suolo superficiale (SS), l'aria outdoor on-site, l'aria indoor on-site e la falda (GW). Solo GIUDITTA non contempla l'aria indoor off-site, mentre RBCA, RACHEL e RISK-NET considerano anche l'aria outdoor off-site. RBCA e RISC tengono conto della catena alimentare.

Tab. 3.2 - Modello concettuale: Vie di esposizione.

VIA DI ESPOSIZIONE	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
Suolo superficiale	X	X	X	X	X	X
Aria outdoor on-site	X	X	X	X	X	X
Aria outdoor off-site	X	X	---	---	X	X
Aria indoor on-site	X	X	X	X	X	X
Aria indoor off-site	---	X	X	---	X	X
Falda	X	X	X	X	X	X
Acqua superficiale	---	X	X	---	---	---
Catena alimentare	---	X	X	---	---	---

Modalità di esposizione

Nella tabella 3.3 sono riportate le modalità di esposizione prese in considerazione dai 5 software. Tutti i software comprendono:

- l'ingestione e il contatto dermico con suolo per bersagli on-site;
- l'inalazione di polveri outdoor da SS per bersagli on-site;
- l'inalazione di polveri indoor da SS per bersagli on-site (ad eccezione di RBCA e RISC);
- l'inalazione di vapori outdoor da SS, SP e GW per bersagli on e off-site (in tal caso fa eccezione GIUDITTA che considera solo il bersaglio on-site),
- l'inalazione di vapori indoor da SS, SP e GW per bersagli on e off-site (ad eccezione di GIUDITTA che considera solo il bersaglio on-site per i valori da falda);
- l'ingestione di acqua di falda ad uso umano (ad eccezione di GIUDITTA).

Inoltre, tutti i software, ad eccezione di RISC permettono di stimare il rischio per la falda al punto di conformità.

Solo il software RISC prevede, come modalità di esposizione il contatto dermico e l'inalazione durante la doccia, l'ingestione, il contatto dermico e l'inalazione di vapori da acqua ad uso irrigazione.

Riguardo il confronto con valori limite di riferimento, tale opzione è attivabile solo con RBCA nei casi di inalazione outdoor e indoor, e nel caso di acque superficiali ad uso ricreativo.

RBCA, RISC e RACHEL comprendono anche l'ingestione e il contatto dermico con acqua durante il bagno in acque superficiali.

Infine riguardo la catena alimentare, RBCA e RISC prevedono l'ingestione di vegetali che crescono su terreno contaminato; RBCA comprende anche il consumo di pesce, mentre RISC l'ingestione di vegetali irrigati con acque contaminate.

Tab. 3.3 - Modello concettuale: Modalità di esposizione.

MODALITA' DI ESPOSIZIONE		APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
CONTATTO DIRETTO CON SUOLO							
Ingestione di suolo	on-site	X	X	X	X	X	X
Contatto dermico	on-site	X	X	X	X	X	X
ESPOSIZIONE OUTDOOR							
Inalazione di polveri da SS	on-site	X	X	X	X	X	X
Inalazione di vapori da SS	on e off-site	X	X	X	X (no off-site)	X	X
Inalazione di vapori da SP	on e off-site	X	X	X	X (no off-site)	X	X
Inalazione di vapori da GW	on e off-site	X	X	X	X (no off-site)	X	X
Confronto con valore limite di riferimento	on e off-site	---	X	---	---	---	---
ESPOSIZIONE INDOOR							
Inalazione di polveri da SS	on-site	X	---	---	X	X	X
Inalazione di vapori da SS	on-site	X	X	X	X	X	X
Inalazione di vapori da SP	on-site	X	X	X	X	X	X
Inalazione di vapori da GW	on e off-site	X (no off-site)	X	X	X (no off-site)	X	X
Confronto con valore limite di riferimento	on-site	---	X	---	---	---	---
ACQUA DI FALDA AD USO UMANO							
Ingestione	on e off-site	---	X	X	---	X	X
Rischio per la falda al punto di conformità	on e off-site	X	X	---	X	X	X
Contatto dermico durante la doccia	on e off-site	---	---	X	---	---	---
Inalazione durante la doccia	on e off-site	---	---	X	---	---	---
ACQUA SUPERFICIALE AD USO RICREAZIONALE							
Ingestione durante il bagno	on e off-site	---	X	X	---	X	---
Contatto dermico durante il bagno	on e off-site	---	X	X	---	X	---
Confronto con valore limite di riferimento	on e off-site	---	X	---	---	---	---
ACQUA AD USO IRRIGAZIONE (DA FALDA SOTTERRANEA)							
Ingestione accidentale	on e off-site	---	---	X	---	---	---
Contatto dermico	on e off-site	---	---	X	---	---	---
Inalazione di vapori	on e off-site	---	---	X	---	---	---
CATENA ALIMENTARE							
Consumo di pesce	on e off-site	---	X	---	---	---	---
Ingestione di vegetali che crescono su terreno contaminato	on e off-site	---	X	X	---	---	---
Ingestione di vegetali irrigati con acque contaminate	on e off-site	---	---	X	---	---	---

L'RBCA Tool Kit, Giuditta, RISK-NET e RACHEL permettono di confrontare la concentrazione in falda al punto di conformità con una concentrazione limite di riferimento, il cui valore può essere inserito dall'utente.

L'RBCA Tool Kit permette inoltre di confrontare la concentrazione, stimata dal software, nelle acque superficiali e nell'aria (outdoor e indoor) con una concentrazione limite di riferimento, il cui valore può essere inserito dall'utente.

Nel caso di inalazione di vapori, l'RBCA Tool Kit non richiede l'inserimento in input del tasso di inalazione indoor e outdoor poiché nella sua banca dati anziché lo SF Inal. e la RfD Inal. sono richiesti i valori di UCR (Unit Cancer Risk) e di RfC Inal (Reference Concentration). Quindi nel caso in cui fosse necessario modificare il tasso di inalazione si deve intervenire su tali parametri tossicologici.

In RACHEL entrano gli SF e RfD presenti nella banca dati ISS ISPESL del Maggio 2009 senza necessità di conversione alcuna.

In Risk-net, in accordo con le linee guida APAT, i parametri tossicologici richiesti nel caso

di inalazione di vapori sono le Reference dose (RfD) e gli Slope Factor (SF). Tuttavia, qualora si volessero utilizzare i parametri definiti nell'RBCA ToolKit in Risk-net è implementato un modulo che permette di convertire le Reference dose (RfD) e gli Slope Factor (SF) rispettivamente in Reference Concentration (RfC) e Unit Risk factor (URF) e viceversa.

Nell'ambito residenziale/ricreativo per le sostanze cancerogene, la portata effettiva di esposizione viene calcolata:

- da RBCA Tool Kit mediando tra esposizione bambino/adolescente/adulto;
- da Giuditta, RISK-NET, RISC5 e RACHEL mediando tra esposizione bambino/adulto.

Riguardo l'ingestione di vegetali il RISC5 differenzia tra vegetali coltivati su terreno contaminato e vegetali irrigati con acque contaminate, mentre l'RBCA tiene conto soltanto della prima opzione. Inoltre, riguardo all'acqua contaminata da falda il RISC5 calcola anche il rischio per contatto dermico da acqua nella doccia e per inalazione di vapori d'acqua nella doccia.

RACHEL prevede tra le modalità di esposizione anche il contatto dermico e l'ingestione di acqua nuotando per la destinazione d'uso ricreativa e l'ingestione di acqua potabile (come da criteri metodologici nella prima revisione del 2006).

Bersagli

Nella tabella 3.4 sono riportati i bersagli presi in considerazione dai 5 software. Tutti prevedono un uso del suolo residenziale (bambino e/o adulto) e industriale/commerciale (adulto). Solo l'RBCA contempla anche un bersaglio residenziale adolescente. RBCA e RISC considerano anche l'operaio (construction worker). Infine, il bersaglio "risorsa idrica al punto di conformità" può essere attivato in tutti i software, ad eccezione di RISC.

Tab. 3.4 - Modello concettuale: Bersagli.

BERSAGLIO	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
Residenziale Bambino	X	X	X	X	X	X
Residenziale Adolescente	---	X	---	---	---	---
Residenziale Adulto	X	X	X	X	X	X
Industriale/Commerciale Adulto	X	X	X	X	X	X
Operaio edile (Construction worker)	---	X	X	---	---	---
Risorsa idrica al punto di conformità	X	X	---	X	X	X

L'RBCA ToolKit prevede due ulteriori tipologie di bersaglio rispetto a quanto descritto nel doc. APAT (2008):

- Residenziale Adolescente: In tal modo, nel caso di uso del suolo residenziale, si tiene conto di un bersaglio avente valori della durata di esposizione (12 anni), del peso corporeo (35 kg) e della superficie della pelle (8100 cm²) intermedi tra quelli assunti come default per il bambino e l'adulto.
- Operaio edile (Construction worker): Questa opzione permette la stima del rischio per un operaio edile sulla base di una esposizione a breve termine (Durata di

esposizione = 1 anno, Frequenza di esposizione = 180 giorni), in relazione alle modalità espositive: contatto dermico e ingestione di suolo e inalazione di vapori e polveri outdoor, durante le attività di scavo. Tale tipologia di ricettore la si ritrova anche nel RISC5 (durata di esposizione 6 mesi).

Il RISC5 oltre a permettere l'inserimento di profili personalizzati (anche più di uno) di recettori (ma lo stesso si può fare sia con il database delle sostanze ma anche con il database dei suoli) presenta per tutte le tipologie di ricettori di default (residenziale, ricreativo, lavoratore, costruttore edile) la possibilità di scegliere tra due opzioni: esposizione media "mean" ed esposizione "upper percentile" (di fatto assimilabile alla RME del RISC4).

3.2 PARAMETRI SITO SPECIFICI

Come noto, i software esaminati consentono di inserire valori sito-specifici per quanto attiene la geometria e le proprietà del sito e della sorgente, ma propongono anche un data-set di valori di default. In tabella 3.5, che rappresenta un aggiornamento della tabella 5.1 del doc. APAT (2008), è riportata una sintesi di tali parametri. Poiché non tutti i software utilizzano la medesima definizione o il medesimo simbolo per lo stesso parametri la Tabella 3.5 dà la possibilità per ogni parametro di input di confrontare non solo i valori proposti quali default, ma anche la definizione utilizzata dai diversi software.

Nel seguito sono riportati alcuni elementi che caratterizzano i software stessi.

Il parametro definito da Giuditta "Altezza degli edifici (residenziali o industriali)" dovrebbe essere più correttamente definito "Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione", difatti tale parametro coincide con l'altezza dell'edificio solo nel caso di ambiente indoor fuori terra, e non nel caso di locale seminterrato o interrato.

In Risk-net sono pre-caricati i dati di default definiti nel documento APAT (2008). Vengono inoltre evidenziati i valori che vengono modificati rispetto alle impostazioni di default. Inoltre per velocizzare il processo di compilazione, vengono richiesti solo i parametri effettivamente utilizzati per il caso specifico in funzione delle vie di esposizione attive e dei bersagli selezionati.

In RACHEL sono già inseriti molti dei dati di default definiti nel documento APAT (2008). Inoltre per velocizzare il processo di compilazione, vengono richiesti solo i parametri effettivamente utilizzati per il caso specifico in funzione delle vie di esposizione attive e dei bersagli selezionati. Peraltro le formule suggerite dal documento APAT 2008 per il calcolo di parametri sito specifici a partire da parametri di default o inseriti dall'utente sono già tutte implementate e il software propone un simbolino accanto a ciascun parametro per segnalare se può essere inserito di default, calcolato o se su tale parametro c'è un messaggio/warning di suggerimento sul valore da inserire.

A differenza degli altri software, il RISC5, come il RISC4, permette di inserire una lente di terreno nella zona insatura del terreno avente caratteristiche differenti rispetto alla litologia prevalente.

3.3 FATTORI DI TRASPORTO

Nel presente paragrafo sono riportati in forma sintetica i criteri di calcolo, ossia i modelli di fate & transport, implementati in ciascun software per la stima dei fattori di trasporto. Per approfondimenti riguardo tali modelli è possibile fare riferimento a quanto contenuto nel doc. APAT (2008) o ai manuali dei diversi software.

Nelle tabelle 3.6.a – 3.6.l sono posti a confronto i modelli di fate & transport adottati dai cinque software analizzati. A valle di ogni tabella sono inoltre riportati i principali elementi

che differenziano i software stessi.

Come detto in precedenza il software RISC5, diversamente dalla precedente versione, non permette di attivare le due opzioni TIER1 e TIER2, ma solamente il TIER 2. In tal modo, i FT vengono calcolati a mezzo di modelli di trasporto, analitici o numerici a seconda dei casi, spesso diversi da quelli proposti dal doc. APAT (2008).

I software RACHEL e RISK-NET sono stati sviluppati sulla base di quanto contenuto nel doc. APAT (2008), a parte alcune eccezioni che saranno poste in evidenza di caso in caso.

Fattore di lisciviazione in falda da suolo (LF)

Tab. 3.6.a - Fattore di lisciviazione (LF).

FATTORE DI TRASPORTO	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
k_{sw}	X	X	---	X	X	X
LDF	X	X	---	X	X	X
SAM	X	X	---	X	X	X
BDF	---	---	---	---	---	---
TAF	---	---	---	---	---	---
Unsaturated zone model (numerico)	---	---	X	---	---	---

Il doc. APAT (2008) propone di calcolare tale fattore di trasporto a mezzo di tre termini:

- Coefficiente di partizione suolo-acqua (k_{sw})
- Coefficiente di attenuazione del suolo (Soil Attenuation Model - SAM)
- Fattore di diluizione in falda (Leachate Dilution Factor - LDF)

L'RBCA Tool Kit, Giuditta, RISK-NET ricalcano quanto contenuto nel doc. APAT (2008), con attivazione del termine SAM opzionale.

In RACHEL il SAM è parte integrante dell'equazione calcolata. Non è opzionale.

Per la stima del fattore di lisciviazione in falda, nell'RBCA Tool Kit, RISK-NET e RACHEL sono implementati algoritmi che permettono di abbandonare l'ipotesi di sorgente a massa infinita, e quindi di tener conto dell'esaurimento della stessa nel tempo.

Per la lisciviazione in falda il RISC5 utilizza un modello numerico (Unsaturated Zone Model) che tiene conto, tra l'altro, della diminuzione nel tempo della sorgente, calcolando anche le perdite per volatilizzazione del composto oltre che la biodegradazione nel tempo (opzionale).

RACHEL effettua in modo automatico un controllo della presenza del prodotto libero che avviene nel seguente modo: le concentrazioni rappresentative inserite dall'utente vengono confrontate con le concentrazioni di saturazione C_{sat} [mg/kg] nel caso di suolo insaturo, e con la solubilità [mg/l] nel caso di suolo saturo. Tuttavia, qualora la presenza di prodotto libero non sia selezionata manualmente dall'utente, il software procede al calcolo del

rischio seguendo il documento master dei criteri metodologici. Se invece l'utente seleziona la presenza di prodotto libero, il software implementa quanto suggerito dall'appendice P dei criteri metodologici e ne segue l'approccio a saturazione. In ogni caso laddove le C_{sat} o la solubilità vengano superate il software lo segnala nella schermata riassuntiva degli output, nello specifico nel tab "warnings". Nel caso di suolo saturo viene effettuato un ulteriore controllo basato sul valore di densità liquida per verificare che si tratti di LNAPL o DNAPL. Questo perché le linee guida in appendice P trattano le due situazioni in maniera distinta e con diverse formule per il trasporto. I dati relativi alle densità liquide (non presenti in banca dati ISS) servono esclusivamente per discriminare i NAPL più/meno densi dell'acqua. Sono dati indicativi e qualora l'utente abbia a disposizione dati più precisi può ad ogni modo editarli. In caso di presenza di prodotto libero (selezionata dall'utente in fase di impostazione del progetto) RACHEL calcola le concentrazioni in fase liquida C_w come proposto dall'Appendice P del doc. APAT (2008) e utilizza tale concentrazione nel successivo calcolo dei fattori di trasporto per lisciviazione e attenuazione laterale e conseguentemente della C_{poe} .

In Risk-net per il calcolo del rischio nel caso di condizioni di saturazione ($CRS > C_{sat}$) si utilizzano le solite equazioni con l'unica differenza che per i contatti non diretti (volatilizzazione e lisciviazione) le CRS (Concentrazioni Rappresentative alla sorgente) vengono sostituite con la C_{sat} che corrisponde alla condizione per cui si raggiungono nell'acqua e nell'aria dei pori la solubilità e la tensione di vapore della sostanza. Per i contatti diretti (ad es. ingestione e contatto) tali concentrazioni, seppur superiori alla saturazione sono implementate tal quali nel software, in quanto il recettore può venire a contatto con il contaminante anche in fase separata. In Risk-net è inoltre implementato il modello proposto nello standard ASTM E2081-00 che permette di stimare le concentrazioni di screening per la zona satura ed insatura, oltre le quali è atteso che la fase separata presente diventi mobile. Infatti, in accordo con quanto descritto nello standard ASTM E2081, la fase separata che si forma al di sopra della C_{sat} , risulta immobile fino al raggiungimento della capacità di assorbimento meccanica del suolo (saturazione residua), oltre la quale può aver luogo la percolazione diretta come prodotto libero. Tale verifica risulta particolarmente utile soprattutto per quei contaminanti in cui il calcolo degli obiettivi di bonifica ha messo in evidenza il raggiungimento delle condizioni di saturazione (C_{sat}).

In RACHEL, per il calcolo del rischio nel caso di condizioni di saturazione ($CRS > C_{sat}$), le CRS non vengono sostituite con la C_{sat} . Tuttavia RACHEL calcola quest'ultima, lasciando all'utente la possibilità di inserire la CRS o la C_{sat} .

Fattore di attenuazione in falda (DAF)

Tab. 3.6.b - Fattore di attenuazione laterale in falda (DAF).

FATTORE DI TRASPORTO	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
DAF(1)	---	X	---	X	---	X
DAF(2)	X	---	---	---	X	X
DAF(3)	X	X (*)	---	X (*)	X	X (*)
AT123D model (numerico)	---	---	X	---	---	---
Saturated Soil Model	---	---	X	---	---	---

(*) Lo spessore della zona di miscelazione si pone coincidente con lo spessore dell'acquifero.

Il doc. APAT (2008) propone di utilizzare due delle tre equazioni analitiche ricavate dal modello di Domenico in condizioni stazionarie, e in particolare:

- DAF(2) quando l'altezza della sorgente di contaminazione in falda è inferiore allo spessore della falda (tale equazione considera la dispersione lungo gli assi x, y e solo nella direzione positiva dell'asse z);
- DAF(3) quando tutto lo spessore dell'acquifero è interessato dalla contaminazione (tale equazione considera la dispersione solo lungo gli assi x e y)

RACHEL ricalca quanto suggerito dal doc. APAT 2008 e implementa le suddette due equazioni (DAF(2) e DAF(3)).

L'RBCA Tool Kit e RISK-NET hanno implementata l'equazione di Domenico anche in condizione non stazionaria, dando la possibilità di visualizzare l'andamento della concentrazione in funzione del tempo e dello spazio.

Anche per la stima del fattore di attenuazione in falda, nell'RBCA Tool Kit sono implementati algoritmi che permettono di abbandonare l'ipotesi di sorgente a massa infinita, e quindi di tener conto dell'esaurimento della stessa nel tempo.

IL RISC5 utilizza un'equazione monodimensionale con dispersione nelle tre direzioni x,y,z (AT123 Model) con fattore di ritardo e biodegradazione (opzionale). L'equazione è in stato transitorio e i valori al POC variano in funzione del tempo (sorgente finita). Diversamente dall'RBCA Tool Kit, il RISC richiede il numero di punti nei quali calcolare la concentrazione del contaminante nel piezometro (n. minimo 2, max 10) per poi fare una media dei valori trovati.

Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo superficiale (VF_{ss})

Tab. 3.6.c - Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo superficiale (VF_{ss}).

FATTORE DI TRASPORTO	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
VF _{ss} (1)	X	X	X (*)	X	X	X
VF _{ss} (2)	X	X	X (*)	X	X	X
VF _{ss} (3)	---	---	----	----	---	----
VF _{ss} (4)	---	---	----	----	---	----
US EPA Q/C Model	---	X	---	----	---	----

(*) Combinato con Unsaturated zone model.

Il doc. APAT (2008) propone di calcolare tale fattore di trasporto selezionando il valore minore tra:

- VF_{ss}(1): modello di Jury, modello a sorgente semi-infinita;
- VF_{ss}(2): modello a sorgente finita.

L'RBCA Tool Kit permette di selezionare rispetto a due opzioni:

- "Surface Soil Volatilization Only": In tal caso l'utente può scegliere se usare il "USEPA Q/C model", non previsto dal doc. APAT (2008), oppure le equazioni proposte dallo

standard ASTM E1739-95, ossia $VF_{ss}(1)$ e $VF_{ss}(2)$. In entrambe i casi le equazioni vengono applicate sia al SS che al SP.

- "Combination Surface Soil/Johnson-Ettinger Models": In tal caso per il SS sono selezionabili le due modalità di calcolo sopra esposte, mentre per il SP si utilizza il modello di Johnson-Ettinger.

I software Giuditta, RACHEL e RISK-NET ricalcano quanto contenuto nel doc. APAT (2008).

Inoltre in caso di presenza di prodotto libero (selezionata dall'utente in fase di impostazione del progetto) RACHEL calcola le concentrazioni in fase gassosa, $C_{a,pori}$, come suggerito dall'Appendice P del doc. APAT (2008), e calcola poi $\alpha_{outdoor}$ e di conseguenza la volatilizzazione di vapori outdoor da prodotto libero nella zona insatura.

Il RISC5 utilizza la combinazione del *Unsaturated zone model* (modello numerico sopra brevemente descritto con le due equazioni sopra viste (VF_{ss})).

Come noto per le specie chimiche volatili, può verificarsi la circostanza per cui, a parità di condizioni, risulti l'assurdo che $VF_{samb} > VF_{ss}$. In tale circostanza il doc. APAT (2008) propone di porre $VF_{samb} = VF_{ss}$. Per ovviare a tale inconveniente i software operano nel seguente modo:

- Con l'RBCA Tool Kit è necessario attivare la prima tra le due opzioni sopra esposte.
- RISK-NET e Giuditta fanno in modo automatico quanto proposto dal doc. APAT (2008).
- In RISC5 non è possibile attivare tale opzione in quanto l'equazione utilizzata è una sola.

Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo profondo (VF_{samb})

Tab. 3.6.d - Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo profondo (VF_{samb}).

FATTORE DI TRASPORTO	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
$VF_{samb}(1)$	X	X	X (*)	X	X	X
$VF_{samb}(2)$	X	X	----	X	X	X
$VF_{samb}(3)$	----	---	----	---	----	---

(*) Combinato con *Unsaturated zone model*

Il doc. APAT (2008) propone di calcolare tale fattore di trasporto selezionando il valore minore tra:

- $VF_{samb}(1)$: modello di Farmer, modello a sorgente semi-infinita;
- $VF_{samb}(2)$: modello a sorgente finita.

I software RBCA Tool Kit, Giuditta, RACHEL e RISK-NET ricalcano quanto contenuto nel doc. APAT (2008).

Inoltre in caso di presenza di prodotto libero (selezionata dall'utente in fase di impostazione del progetto) RACHEL calcola le concentrazioni in fase gassosa come

descritto in precedenza per il SS.

Il RISC5 utilizza la combinazione del Unsaturated zone model con la sola equazione $VF_{samb}(1)$ (con possibile sovrastima del rischio per composti molto volatili).

Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da falda (VF_{wamb})

Tab. 3.6.e - Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da falda (VF_{wamb}).

FATTORE DI TRASPORTO	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
VF_{wamb}	X	X	X	X	X	X

Riguardo tale fattore di trasporto tutti i software ricalcano quanto contenuto nel doc. APAT (2008).

In caso di presenza di prodotto libero (selezionata dall'utente in fase di impostazione del progetto) RACHEL calcola le concentrazioni in fase gassosa come descritto in precedenza per il SS.

Emissione di particolato outdoor da suolo superficiale (PEF)

Tab. 3.6.f - Fattore di emissione di particolato outdoor (PEF).

FATTORE DI TRASPORTO	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
PEF(1)	X	X	---	X	X	X
PEF(2)	---	---	---	---	---	---
PEF(3)	---	---	---	---	---	---
US EPA Q/C Model	---	X	X	---	---	---

Il doc. APAT (2008) propone l'utilizzo di PEF(1).

L'RBCA Tool Kit permette di selezionare tra due equazioni, e in particolare PEF(1) e il "USEPA Q/C model", non previsto dal doc. APAT (2008).

Il RISC5 presenta solamente il "USEPA Q/C model".

RISK-NET, RACHEL e Giuditta ricalcano quanto contenuto nel doc. APAT (2008).

Emissione di particolato indoor da suolo superficiale (PEF_{in})

Tab. 3.6.g - Fattore di emissione di particolato indoor (PEF_{in}).

FATTORE DI TRASPORTO	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
$PEF(1) \times F_i$	X	---	---	X	X	X

Il doc. APAT (2008) propone l'utilizzo di PEF(1) moltiplicato per la frazione di polveri indoor (F_i).

Giuditta, RACHEL e RISK-NET ricalca quanto contenuto nel doc. APAT (2008).

L'RBCA Took Kit e il RISC5 non prevedono il calcolo di tale fattore di trasporto.

Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da suolo ($VF_{se\text{sp}}$)

Tab. 3.6.h - Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da suolo ($VF_{se\text{sp}}$).

FATTORE DI TRASPORTO	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
$VF_{se\text{sp}}(1)$	X	X	X (*), (**)	X	X	X
$VF_{se\text{sp}}(2)$	---	X	X (*), (**)	X	---	X
$VF_{se\text{sp}}(3)$	X	X	---	X	X	X
$VF_{se\text{sp}}(4)$	---	---	---	---	---	---
Dominant Layer model	---	---	X (*), (**)	---	---	---
Oxygen-Limited model	---	---	X (*), (**)	---	---	---

(*) Combinato con *Unsaturated zone model*

(**) Possibilità di scegliere tra utilizzo $VF_{se\text{sp}}$, *Dominant Layer* o *Oxygen-Limited model*

Il doc. APAT (2008) propone di calcolare tale fattore di trasporto selezionando il valore minore tra:

- $VF_{se\text{sp}}(1)$: modello di Johnson-Ettinger, modello a sorgente semi-infinita che tiene conto del solo contributo diffusivo;
- $VF_{se\text{sp}}(3)$: modello a sorgente finita;

escludendo l'utilizzo di $VF_{se\text{sp}}(2)$, ossia il modello di Johnson-Ettinger, modello a sorgente semi-infinita che tiene conto del contributo diffusivo e convettivo.

I software RBCA Tool Kit, Giuditta e RISK-NET hanno implementate le tre equazioni, tra le quali $VF_{se\text{sp}}(2)$ è attivabile a discrezione dell'utente.

Il software RISC5 ha implementato le due equazioni $VF_{se\text{sp}}(1)$ e (2), più altri due modelli (già presenti nel RISC4) chiamati *Dominant Layer* e *Oxygen-Limited model*.

RACHEL ricalca quanto contenuto nel doc. APAT (2008) e implementa $VF_{se\text{sp}}(1)$ e $VF_{se\text{sp}}(3)$.

Inoltre in caso di presenza di prodotto libero (selezionata dall'utente in fase di impostazione del progetto) RACHEL calcola le concentrazioni in fase gassosa come descritto in precedenza per il SS.

Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da falda (VF_{wesp})

Tab. 3.6.i - Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da falda (VF_{wesp}).

FATTORE DI TRASPORTO	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
$VF_{wesp}(1)$	X	X	X (*)	X	X	X
$VF_{wesp}(2)$	---	X	X (*)	---	---	X
Dominant Layer model	---	---	X (*)	---	---	---
Oxygen-Limited model	---	---	X (*)	---	---	---

(*) Possibilità di scegliere tra utilizzo VF_{wesp} , Dominant Layer o Oxygen-Limited model

Il doc. APAT (2008) propone di calcolare tale fattore di trasporto a mezzo dell'equazione $VF_{wesp}(1)$, ossia il modello di Johnson-Ettinger, modello a sorgente semi-infinita che tiene conto del solo contributo diffusivo. Escludendo quindi l'utilizzo di $VF_{wesp}(2)$, che tiene conto del contributo diffusivo e convettivo.

Giuditta, RACHEL e RISC5 ricalcano quanto contenuto nel doc. APAT (2008). In più (novità del RISC5 rispetto alla versione precedente) è possibile scegliere anche l'utilizzo dei modelli *Dominant Layer* e *Oxygen-Limited model*

I software RBCA Tool Kit e RISK-NET hanno implementate le due equazioni, tra le quali $VF_{wesp}(2)$ è attivabile a discrezione dell'utente. Inoltre in caso di presenza di prodotto libero (selezionata dall'utente in fase di impostazione del progetto) RACHEL calcola le concentrazioni in fase gassosa come descritto in precedenza per il SS.

Inoltre, RBCA Tool Kit permette di selezionare una ulteriore equazione (Mass Flux Model), modello a sorgente finita ad oggi non contemplato nel doc. APAT (2008).

Fattore di dispersione in atmosfera (ADF)

Tab. 3.6.I - Fattore di dispersione in atmosfera (ADF).

FATTORE DI TRASPORTO	APAT (rev. 2)	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
ADF	X	X	---	---	X	X

Il doc. APAT (2008) propone di calcolare tale fattore di trasporto a mezzo dell'equazione ADF, modello analitico gaussiano.

RBCA Tool Kit, RISK-NET, RACHEL e RISC5 ricalcano quanto contenuto nel doc. APAT (2008).

Giuditta e RISC5 non contemplano tale via di migrazione.

Altri modelli e fattori di trasporto implementati nei software

L'RBCA Tool Kit prevede la stima del Fattore di migrazione dall'acqua di falda all'acqua superficiale.

In Giuditta sono implementate equazioni analitiche per la stima dei seguenti fattori di trasporto:

- Fattore di volatilizzazione gas/aria indoor (VF_{gi}), nel caso di vapori indoor da prodotto libero;
- Fattore di volatilizzazione gas/aria outdoor (VF_{gi}), nel caso di vapori outdoor da prodotto libero.

Risk-net implementa delle equazioni, contenute nel documento ASTM-E2081 (2000), che permettono di verificare la mobilità del prodotto libero in zona satura ed insatura. In Risk-net sono inoltre implementati dei moduli che permettono di effettuare delle analisi integrative al fine di descrivere il comportamento dei contaminanti nelle diverse matrici ambientali. Nello specifico nel software è implementato il modello di Domenico in condizioni non stazionarie, per valutare l'evoluzione temporale della contaminazione in falda, il modello di Green & Ampt, per valutare la velocità di infiltrazione dei contaminanti nel suolo e la possibile influenza della biodegradazione sull'attenuazione dei contaminanti durante la lisciviazione da suolo in falda, e un modello per valutare la ripartizione dei contaminanti nelle diverse fasi del suolo.

IL RISC5 prevede la lisciviazione in falda, il trasporto in falda e la successiva volatilizzazione indoor/outdoor off-site. Si evidenzia che nella nuova versione del software, è disponibile un modulo per l'analisi di rischio ecologica.

RACHEL consente di inserire direttamente dei valori di concentrazione misurate in aria in corrispondenza del bersaglio e di evitare così l'utilizzo dei modelli per la volatilizzazione, in aggiunta rispetto a quanto proposto dal documento APAT 2008.

3.4 CALCOLO DEL RISCHIO E DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA

Tutti i software permettono di applicare la procedura di analisi di rischio in modalità "forward" e "backward" e quindi di stimare sia il rischio associato ad un determinato livello di contaminazione, che le concentrazioni limite in sorgente (CSR) in corrispondenza ad una soglia definita di rischio accettabile.

In tabella 3.7 sono riassunte tutte le sorgenti di contaminazione, le vie e le modalità di esposizione prese in considerazione dai cinque software. Inoltre è esplicitato il criterio di calcolo del rischio, ossia se questo viene effettuato in relazione alla sorgente di contaminazione oppure alla via di esposizione.

Nella stima del Rischio (e Indice di pericolo) individuale l'RBCA Tool Kit e RISC5 raggruppano i rischi in funzione della modalità di esposizione, mentre RISK-NET, Giuditta e RACHEL, in accordo con quanto proposto dal doc. APAT (2008), li raggruppano in funzione della sorgente di contaminazione.

I software RBCA, RISK-NET e RISC5 calcolano in modo automatico le CSR tali da garantire l'accettabilità anche del rischio cumulativo, mentre in GIUDITTA e RACHEL resta a discrezione dell'utente come verificare l'accettabilità del rischio cumulativo.

In Risk-net per i contatti non diretti (lisciviazione e volatilizzazione), nel caso in cui la CSR (teorica) risulti maggiore della saturazione, la concentrazione massima (alla saturazione) che può volatilizzare o lisciviare garantisce rischi accettabili e pertanto non esiste un valore soglia di rischio (CSR). In questi casi il rischio calcolato dal software si riferisce alla saturazione (C_{sat}). Al fine di valutare quanto la CSR risulti superiore alla saturazione viene data la possibilità di visualizzare la CSR (teorica).

Tab. 3.7 - Calcolo del Rischio e dell'Indice di pericolo.

Sorgente di contaminazione	Via di esposizione	Modalità di esposizione	RISCHIO (INDICE DI PERICOLO) DA ...				
			RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
Suolo superficiale	Suolo superficiale	Ingestione di suolo	SS	SS	SS	SS	SS
Suolo superficiale	Suolo superficiale	Contatto dermico	SS	SS	SS	SS	SS
Suolo superficiale	Aria outdoor	Inalazione di polveri	OUTDOOR	OUTDOOR	SS	SS	SS
Suolo superficiale	Aria outdoor	Inalazione di vapori	OUTDOOR	OUTDOOR	SS	SS	SS
Suolo profondo	Aria outdoor	Inalazione di vapori	OUTDOOR	OUTDOOR	SP	SP	SP
Falda	Aria outdoor	Inalazione di vapori	OUTDOOR	OUTDOOR	GW	GW	GW
Suolo superficiale	Aria indoor	Inalazione di polveri	---	---	SS	SS	SS
Suolo superficiale	Aria indoor	Inalazione di vapori	INDOOR	INDOOR	SS	SS	SS
Suolo profondo	Aria indoor	Inalazione di vapori	INDOOR	INDOOR	SP	SP	SP
Falda	Aria indoor	Inalazione di vapori	INDOOR	INDOOR	GW	GW	GW
Suolo superficiale	Falda	Ingestione / rischio risorsa idrica	GW	GW	SS	SS	SS
Suolo profondo			GW	GW	SP	SP	SP
Falda			GW	GW	GW	GW	GW
Suolo superficiale	Acqua superficiale	Ingestione e contatto dermico nuotando	SW	SW	---	SS	---
Suolo profondo			SW	SW	---	SP	---
Falda			SW	SW	---	GW	---
Suolo superficiale	Acqua sotterranea	Contatto dermico durante doccia	---	GW	---	---	---
Suolo profondo		Ingestione accidentale durante doccia	---	GW	---	---	---
Falda		Inalazione di vapori durante doccia	---	GW	---	---	---
Suolo superficiale	Acqua superficiale	Consumo di pesce	SW	---	---	---	---
Suolo profondo			SW	---	---	---	---
Falda			SW	---	---	---	---
Suolo superficiale	Vegetali	Ingestione di vegetali	SS	SS	---	---	---

Tab. 3.5.a – Valori di default dei principali parametri caratteristici del sito (Tipo di terreno: Loamy Sand)

Documento APAT (2008)				RBCA Tool Kit ver. 2.5			BP-RISC ver.5.0 (*)		GIUDITTA ver. 3.2		RACHEL ver. 1.1.4		RISK-NET ver. 1.0	
SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	Valore di default	Simbolo	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default
Geometria della zona insatura														
L _{GW}	Livello piezometrico dell'acquifero	cm	300	L _{GW}	Depth to groundwater	300	Depth to groundwater	300	Soggiacenza della falda	400			Livello piezometrico dell'acquifero	300
h _{cap}	Spessore frangia capillare	cm	18,8	h _{cap}	Capillary zone thickness	5	Thickness of capillary fringe	5	Spessore della frangia capillare	5	Spessore frangia capillare	18,8	Spessore frangia capillare	18,8
h _v	Spessore della zona insatura	cm	281,2	h _v	Vadose zone thickness	295	Thickness of vadose zone	295	Spessore della zona non satura	395	calcolata sulla base dei dati inseriti		Spessore della zona insatura	281,2
D	Spessore del suolo superficiale	cm	100				Lower depth of surficial soil	100					Spessore del suolo superficiale	100
h _{out}	Frazione areale di fratture nel pavimento outdoor	adim.	1								Frazione areale di fratture nel pavimento outdoor	1	Frazione areale di fratture nel	1
Geometria della sorgente di contaminazione in zona insatura														
L _s (SS)	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	cm	0	L _s	Depth to top of affected soils	0			Profondità sorgente nel suolo sup.	50			Profondità del top della sorgente nel	0
L _s (SP)	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm	100				Depth to subsurface soil sources	100	Profondità sorgente nel suolo prof.	100			Profondità del top della sorgente nel	100
L _b (SS)	Profondità della base della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	cm	100										Profondità della base della sorgente nel	100
L _b (SP)	Profondità della base della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm	300	L _{base}	Depth to base of affected soils	300							Profondità della base della sorgente	300
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	cm	100	L _{ss}	Thickness of affected surface soils	100							Spessore della sorgente nel suolo	100
d _i	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	cm	200										Spessore della sorgente nel suolo	200
	Spessore della sorgente nel suolo insaturo	cm	300	L _{sub}	Thickness of affected soils	300							Spessore della sorgente nel suolo	300
L _F	Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente	cm	300										Soggiacenza della falda rispetto al top	300
Caratteristiche fisiche del terreno in zona insatura														
r _s	Densità del suolo	g/cm ³	1,7	r _s	Soil bulk density	2	Soil bulk density	1,70	Densità secca	1,8	Densità del suolo	1,7	Densità del suolo	1,7
q _r	Porosità totale del terreno in zona insatura	adim.	0,41	q _r	Soil total porosity	0,38	Total soil porosity vadose zone	0,44	Porosità totale del non saturo	0,38	Porosità totale del terreno in zona insatura	0,41	Porosità totale del terreno in zona	0,41
q _e	Porosità effettiva del terreno in zona insatura		0,353								Porosità effettiva del terreno in zona insatura	0,353	Porosità effettiva del terreno in zona	0,353
q _w	Contenuto volumetrico di acqua	adim.	0,103			0,12	Volumetric water content in vadose zone	0,19	Contenuto d'acqua nel non saturo	0,12	Contenuto volumetrico di acqua	0,103	Contenuto volumetrico di acqua	0,103
q _a	Contenuto volumetrico di aria	adim.	0,250			0,26	Volumetric air content in vadose zone soils	0,25	Contenuto d'aria nel non saturo	0,26	Contenuto volumetrico di aria	0,25	Contenuto volumetrico di aria	0,250
q _{wcap}	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.	0,318	q _w	Volumetric water content (capillary)	0,342	Volumetric water content in capillary fringe	0,396	Contenuto d'acqua in frangia capillare	0,342	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia	0,318	Contenuto volumetrico di acqua	0,318
q _{acap}	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.	0,035	q _a	Volumetric air content (capillary)	0,038	Volumetric air content in capillary fringe soils	0,044	Contenuto d'aria in frangia capillare	0,038	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	0,035	Contenuto volumetrico di aria	0,035
f _{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo	g-C/g-suolo	0,01	f _{oc}	Fraction organic carbon	0,01	Fraction organic carbon	0,01	Foc nella zona non satura	0,01			Frazione di carbonio organico nel suolo	0,01
I _{ef}	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	I _r	Net groundwater infiltration rate	30	Infiltration rate	30	Infiltrazione efficace	30	calcolata sulla base del tipo di terreno		Infiltrazione efficace	30
		cm/d		K _{vs}	Vertical hydraulic conductivity	864	Vertical seepage velocity	327,38						
pH	pH del suolo insaturo	adim.	6,8	pH	Soil/groundwater pH	7							pH del suolo insaturo	6,8

Tab. 3.5.b – Valori di default dei principali parametri caratteristici del sito (Tipo di terreno: Loamy Sand)

Documento APAT (2008)				RBCA Tool Kit ver. 2.5			BP-RISC ver.5.0 (*)		GIUDITTA ver. 3.2		RACHEL ver. 1.1.4		RISK-NET ver. 1.0	
SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	Valore di default	Simbolo	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default
Geometria della zona satura														
d_s	Spessore della falda	cm	---						Spessore dell'acquifero	1000			Spessore della falda	---
Geometria della sorgente di contaminazione in zona satura														
W	Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione del flusso di falda	cm	4500	W_{gw}	Length of source-zone area parallel to GW flow	4500	Width of source area parallel to wind or groundwater flow direction	1500	Lunghezza della sorgente	1000			Estensione della sorgente in direzione parallela alla	4500
S_w	Estensione della sorgente in direzione ortogonale alla direzione del flusso di falda	cm	4500	S_w	Width of groundwater source zone	4500	Width of source plane in groundwater perpendicular to groundwater flow	1500	Larghezza della sorgente	1000			Estensione della sorgente in direzione ortogonale alla	4500
A	Area della sorgente rispetto alla direzione del flusso di falda	cm ²	20250000	A	Source zone area	20250000							Area della sorgente rispetto alla	20250000
d_{gw}	Spessore della zona di miscelazione in falda	cm	200	d_{gw}	Groundwater mixing zone depth	200	Groundwater mixing zone thickness	200			calcolata sulla base dei dati inseriti		Spessore della zona di miscelazione in	200
				S_d	Depth of groundwater source zone	200	Thickness of source in groundwater (= groundwater mixing zone thickness)	200	Spessore di acquifero contaminato	250				
Caratteristiche fisiche del terreno in zona satura														
v_{gw}	Velocità di Darcy	cm/anno	2500	U_{gw}	Groundwater Darcy velocity	2500	Groundwater Darcy Velocity	2500		2500	calcolata in base ai dati inseriti dall'utente		Velocità di Darcy	2500
K_{sat}	Conducibilità idraulica del terreno saturo	cm/anno	---	K_s	Saturated hydraulic conductivity	250000			Conducibilità idraulica	500050	Conducibilità idraulica del terreno saturo	da tabella linee guida sulla base del tipo di	Conducibilità idraulica del terreno	---
i	Gradiente idraulico	adim.	---	i	Groundwater gradient	0,01			Gradiente idraulico	0,005			Gradiente idraulico	---
v_e	Velocità media effettiva nella falda	cm/anno	7082	V_{gw}	Groundwater seepage velocity	6579					calcolata in base ai dati inseriti dall'utente		Velocità media effettiva nella falda	7082
q_T	Porosità totale del terreno in zona satura	adim.	0,41								Porosità totale del terreno in zona satura	0,41	Porosità totale del terreno in zona	0,41
q_e	Porosità efficace del terreno in zona satura	adim.	0,353	q_{eff}	Effective porosity in water-bearing unit	0,38	Effective porosity	0,25	Porosità efficace	0,15	Porosità efficace del terreno in zona satura	0,353	Porosità efficace del terreno in zona	0,353
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0,001	f_{oc-sat}	Fraction organic carbon in water-bearing unit	0,001			Foc nella zona satura	0,005			Frazione di carbonio organico nel suolo	0,001
a_x	Dispersività longitudinale	cm	10	a_x	Longitudinal dispersivity	10	Longitudinal dispersivity (alphaX) (= 0.10*X)	10	Dispersività longitudinale	10	Dispersività longitudinale	(Pickens & Grisak, 1981)	Dispersività longitudinale	10
a_y	Dispersività trasversale	cm	3,3	a_y	Transverse dispersivity	3,3	Transverse dispersivity (= alphaX/3)	3,3	Dispersività trasversale	3,3	Dispersività trasversale	= $a_x/3$	Dispersività trasversale	3,3
a_z	Dispersività verticale	cm	0,5	a_z	Vertical dispersivity	0,5	Vertical dispersivity (= alphaX/20)	0,5	Dispersività verticale	0,5	Dispersività verticale	= $a_x/20$	Dispersività verticale	0,5
	SE: Distanza dal punto di conformità	cm	100		SE: Distanza dal punto di conformità	100	se: Distance downgradient (X)	100	Distanza dal punto di conformità	0,0			SE: Distanza dal punto di conformità	100
		g/cm ³							Densità secca dell'acquifero	1,8				
		cm							Profondità del prodotto	400				
		m												
		m												
		m												
pH	pH del suolo saturo	adim.	6,8	pH_{sat}	Groundwater pH	6,2							pH del suolo saturo	6,8

Tab. 3.5.c – Valori di default dei principali parametri caratteristici del sito (Tipo di terreno: Loamy Sand)

Documento APAT (2008)				RBCA Tool Kit ver. 2.5			BP-RISC ver.5.0 (*)		GIUDITTA ver. 3.2		RACHEL ver. 1.1.4		RISK-NET ver. 1.0	
SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	Valore di default	Simbolo	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default
Caratteristiche dell'aria outdoor														
d_{air}	Altezza della zona di miscelazione	cm	200	d_{air}	Air mixing zone height	200	Ambient air mixing zone height	200	Altezza della zona di miscelazione	200	Altezza della zona di miscelazione	200	Altezza della zona di miscelazione	200
W'	Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione prevalente del vento	cm	4500	W	Length of source-zone area parallel to wind	4500	Width of source area parallel to wind or groundwater flow direction	1500	Lunghezza della sorgente	1000			Estensione della sorgente in direzione parallela alla	4500
S_w'	Estensione della sorgente in direzione ortogonale alla direzione prevalente del vento	cm	4500						Larghezza della sorgente	1000			Estensione della sorgente in direzione ortogonale alla	4500
A'	Area della sorgente rispetto alla direzione prevalente del vento	cm ²	20250000	A	Source zone area	20250000							Area della sorgente rispetto alla	20250000
U_{air}	Velocità del vento	cm/s	225	U_{air}	Ambient air velocity in mixing zone	225	Wind speed above ground surface in ambient mixing zone	225	Velocità del vento	225	calcolata con classi di stabilità e coefficiente p	in funzione del tipo di suolo e della classe di stabilità	Velocità del vento	225
s_y	Coefficiente di dispersione trasversale	cm	---	s_y	Transverse dispersion coefficient	---							Coefficiente di dispersione	---
s_z	Coefficiente di dispersione verticale	cm	---	s_z	Vertical dispersion coefficient	---							Coefficiente di dispersione verticale	---
t	Tempo medio di durata del flusso di vapore (RES.)	anno	30				Averaging time for vapor flux (RES.) (Assumed to equal exposure duration)	30					Tempo medio di durata del flusso di vapore (RES.)	30
t	Tempo medio di durata del flusso di vapore (IND.)	anno	25				Averaging time for vapor flux (IND.) (Assumed to equal exposure duration)	25			Tempo medio di durata del flusso di vapore (IND.)	25	Tempo medio di durata del flusso di vapore (IND.)	25
P_e	Portata di particolato per unità di superficie	g/(cm ² -s)	6,90E-14	P_a	Areal particulate emission rate	6,9E-14	Particulate emission rate	6,90E-14			Portata di particolato per unità di superficie	6,9E-14	Portata di particolato per unità di	6,90E-14

Tab. 3.5.d – Valori di default dei principali parametri caratteristici del sito (Tipo di terreno: Loamy Sand)

Documento APAT (2008)				RBCA Tool Kit ver. 2.5			BP-RISC ver.5.0 (*)		GIUDITTA ver. 3.2		RACHEL ver. 1.1.4		RISK-NET ver. 1.0	
SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	Valore di default	Simbolo	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default	Parametro	Valore di default
Caratteristiche dell'aria indoor														
A _b	Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	cm ²	700000	A _b	Foundation area	700000	Total building area (RES.)	740000					Superficie totale coinvolta	700000
							Total building area (IND.)	1160000						
L _{crack}	Spessore delle fondazioni/muri	cm	15	L _{crk}	Foundation thickness	15	Enclosed-space foundation or wall thickness	15	Spessore di fondazioni/pareti degli edifici	15	Spessore delle fondazioni/muri	15	Spessore delle fondazioni/muri	15
				X _{crk}	Foundation perimeter	3400	Total floor-wall seam perimeter distance (RES.)	3700						
							Total floor-wall seam perimeter distance (IND.)	4600						
L _b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (RES.)	cm	200	L _b	Building volume/area ratio (RES.)	200	Enclosed-space volume/infiltration area ratio (RES.)	488	Altezza degli edifici residenziali (**)	200			Rapporto tra volume indoor ed area di	200
L _b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (IND.)	cm	300	L _b	Building volume/area ratio (COM.)	300	Enclosed-space volume/infiltration area ratio (IND.)	488	Altezza degli edifici industriali (**)	300			Rapporto tra volume indoor ed area di	300
		cm ³					Building volume including basement of crawl space (res.)	3,60E+08						
		cm ³					Building volume including basement of crawl space (ind.)	5,60E+08						
h	Frazione areale di fratture	adim.	0,01	h	Foundation crack fraction	0,01	Areal fraction of cracks in foundations/walls	0,01	Frazione areale di fratture	0,01	Frazione areale di fratture	0,01	Frazione areale di fratture	0,01
q _{wcrack}	Contenuto volumetrico di acqua nelle fratture	adim.	0,12	q _w	Volumetric water content (foundation)	0,12	Volumetric water content in foundation/wall cracks	0,19	Contenuto d'acqua nelle fratture	0,12	Contenuto volumetrico di acqua nelle fratture	0,12	Contenuto volumetrico di acqua	0,12
q _{acrack}	Contenuto volumetrico di aria nelle fratture	adim.	0,26	q _a	Volumetric air content (foundation)	0,26	Volumetric air content in foundation/wall cracks	0,25	Contenuto d'aria nelle fratture	0,26	Contenuto volumetrico di aria nelle fratture	0,26	Contenuto volumetrico di aria	0,26
ER	Tasso di ricambio di aria indoor (RES.)	1/s	0,00014	ER	Building air exchange rate (RES.)	0,00014	Enclosed-space air exchange rate (RES.)	0,00014	Tasso di ricambio di aria residenziale	0,00014			Tasso di ricambio di aria indoor (RES.)	0,00014
ER	Tasso di ricambio di aria indoor (IND.)	1/s	0,00023	ER	Building air exchange rate (COM.)	0,00023	Enclosed-space air exchange rate (IND.)	0,00023	Tasso di ricambio di aria industriale	0,00023			Tasso di ricambio di aria indoor (IND.)	0,00023
L _T	Distanza tra il top della sorgente nel suolo insaturo (in falda) e la base	cm	0 (285)										Distanza tra il top della sorgente nel	0 (285)
Z _{crack}	Profondità delle fondazioni	cm	15	Z _{crk}	Depth to bottom of foundation slab	15							Profondità delle fondazioni	15
K _v	Permeabilità del suolo al flusso di vapore	cm ²	1,00E-08	k _v	Vapor permeability	1,00E-08	Soil air permeability	1,00E-06			Permeabilità del suolo al flusso di vapore	in base al tipo di terreno	Permeabilità del suolo al flusso di	1,00E-08
Dp	Differenza di pressione tra indoor e outdoor	g/(cm*s ²)	0	dP	Indoor/outdoor differential pressure	0	Pressure differential between soil and the building (basement)	10			Differenza di pressione tra indoor e outdoor	40	Differenza di pressione tra indoor	0
m _{air}	Viscosità del vapore	g/(cm*s)	1,81E-04				Air viscosity	1,80E-04			Viscosità del vapore	0,000181	Viscosità del vapore	1,81E-04
t	Tempo medio di durata del flusso di vapore (IND.)	anni	25						Tempo medio per l'emissione di flusso di vapori -res	25	Tempo medio di durata del flusso di vapore (IND.)	25	Tempo medio di durata del flusso di vapore (IND.)	25
t	Tempo medio di durata del flusso di vapore (RES.)	anni	30						Tempo medio per l'emissione di flusso di vapori -ind	30			Tempo medio di durata del flusso di vapore (RES.)	30
		(cm ³ /s)		Q _s	Convective air flow through slab	0,00E+0								

(*) per il software RISC sono riportati solo i valori richiesti per l'applicazione di un livello 1 di analisi

(**) L'altezza dell'edificio coincide con il rapporto tra volume indoor e area di infiltrazione solo nel caso di ambiente indoor fuori terra, quindi non nel caso di locale seminterrato

4 USABILITÀ

Come detto in precedenza, con usabilità si intende la facilità d'uso del prodotto da parte dell'utente finale. Per tale valutazione sono stati presi in esame diversi aspetti che caratterizzano i software, ed in particolare:

- tipologia di documentazione di supporto;
- qualità dell'interfaccia utente;
- ambiente operativo richiesto per la loro installazione.

In tabella 4 si riportano gli aspetti presi in considerazione per eseguire tale valutazione e i corrispondenti esiti.

5 EFFICIENZA

Il controllo dell'efficienza è mirato a valutare l'efficienza del sistema rispetto: ai tempi di elaborazione e di risposta; alla richiesta di risorse e di memoria, in particolare durante il funzionamento; alla gestione degli errori.

In tabella 5 si riportano le valutazioni riguardanti gli aspetti presi in considerazione.

6 AFFIDABILITÀ

Tale controllo viene condotto effettuando test di carico, ossia sottoponendo il sistema ad un carico di lavoro massimo. Lo scopo è quello di valutare il comportamento del sistema in condizioni limite, e quindi di individuare malfunzionamenti che non si presentano in condizioni normali (quali difetti nella gestione della memoria, buffer, overflows, etc.) e di garantire un'efficienza base anche in condizioni di massimo carico.

In tale ambito è stato inoltre eseguito un "Test di sicurezza", cercando di accedere a dati o a funzionalità che dovrebbero essere riservate, per controllare l'efficacia dei meccanismi di sicurezza del sistema.

In tabella 6 si riportano gli esiti di tali valutazioni.

Tab. 4 - Usabilità dei software.

ANALISI	ESITO				
	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
Tipologia di documentazione di supporto					
Presenza del "Manuale d'uso"	SI	SI	SI	SI	SI
Presenza della funzione di supporto "Help"	SI	SI	SI	SI	SI
Qualità dell'interfaccia utente					
Possibilità di inserimento automatico dei parametri stimabili con metodi indiretti, in funzione della granulometria del suolo, in particolare in riferimento a:	SI	SI (occorre inserire le tipologie di suolo nel DB Soil)	NO	SI	SI
§ Spessore della frangia capillare	SI		NO	SI	SI
§ Contenuto volumetrico d'acqua e di aria nel suolo insauro, saturo e nella frangia capillare	SI		NO	SI	SI
§ Dispersività longitudinale, trasversale e verticale in suolo saturo	SI		NO	SI	SI
Possibilità di assegnare valori diversi ai parametri per suolo insauro e saturo	SI	SI	SI	SI	SI
Possibilità di assegnare dimensioni diverse alle sorgenti secondarie	SI	SI	SI	SI	SI
Possibilità di inserire sia UCL sia LCL (il software usa il più conservativo tra i due sulla base del doc. "Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06".	NO	NO	NO	SI	NO
Possibilità di selezione automatica del valore di K_d in funzione del pH, secondo documento [APAT, 2008]	NO	NO	NO	Possibilità di assegnare K_d in funzione del pH	SI
Possibilità di calcolo automatico dello spessore della zona di miscelazione in falda (δ_{ew})	SI	NO	NO	SI	SI
Possibilità di eseguire analisi statistiche dei dati di concentrazione o sito specifici, per identificazione del valore rappresentativo.	SI	NO	SI	NO	NO
Possibilità di passaggio da concentrazioni sul secco a concentrazioni sul tale quale.	NO	NO	SI	SI	SI
Possibilità di modificare i parametri chimico/fisici e tossicologici degli inquinanti rispetto a quelli della banca dati di default.	SI	SI	SI (*)	SI	SI
Possibilità di salvataggio delle modifiche della banca dati dei parametri chimico/fisici e tossicologici su file.	SI	SI	NO	Solo su progetto in corso	SI
Possibilità di sostituire la banca dati di default dei parametri chimico/fisici e tossicologici.	SI	NO	NO	Solo su progetto in corso	SI
Visualizzazione degli output, in termini di:					
§ Fattori di trasporto	SI	NO	NO	SI	SI
§ Concentrazioni ai punti di esposizione	SI	SI	NO	SI	SI

ANALISI	ESITO				
	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
§ Portata di esposizione	SI	NO	NO	SI	SI
§ Rischio e Indice di pericolo, individuale (anche per singola modalità di esposizione) e Cumulativo	SI	SI	SI	SI	SI
§ Obiettivi di bonifica (CSR)	SI	SI	SI	SI	SI
Possibilità di stampa e di esportazione degli input	SI	SI (formato xls)	SI	SI	SI
Possibilità di stampa e di esportazione degli output intermedi	SI		NO	SI	SI
Possibilità di stampa e di esportazione degli output finali	SI		SI	SI	SI
Possibilità di inserire in input, come concentrazione rappresentativa alla sorgente, la concentrazione nel soil-gas.	NO	SI	NO	NO	SI
Possibilità di inserire in input, come concentrazione rappresentativa alla sorgente, la concentrazione nell'eluato	NO	NO	SI	NO	NO
Possibilità di inserire in input direttamente le concentrazioni misurate in aria	NO	SI	NO	SI	NO
Possibilità di calcolo delle CSR oltre la concentrazione di saturazione (C_{sat})	SI (non per il calcolo del rischio)	NO	SI	SI	SI
Possibilità di cambiare le unità di misura dei parametri di input	SI	NO	NO	NO	SI
Possibilità di inserire valori dei fattori di trasporto, calcolati utilizzando altri modelli/software	SI	NO	NO	NO	NO
Presenza di un sistema che evidenzia le variazioni effettuate dall'utente sui valori di default dei parametri di input.	NO (solo nel riepilogo degli input)	NO	NO	NO	SI
Possibilità di funzionare in contemporanea con altri programmi di calcolo (software).	SI	SI	SI	SI	SI
Possibilità di utilizzare il modello di Domenico, per il trasporto in falda, anche in condizioni non stazionarie.	SI	Utilizza AT123D model	NO	NO	SI
Riguardo il modello di Domenico in condizioni non stazionarie, possibilità di rappresentare graficamente l'andamento spaziale e temporale della concentrazione.	SI	Utilizza AT123D model	NO	NO	SI
Per contaminanti liquidi, possibilità di stimare la capacità residua del suolo (saturo ed insaturo), nei casi in cui risulta $CSR > C_{sat}$ (così come definito nell'ASTM-E2081).	NO	NO	NO	NO	SI
Per contaminanti solidi (es. IPA o Fitofarmaci), possibilità di stimare la capacità residua del suolo (saturo ed insaturo), nei casi in cui risulta $CSR > C_{sat}$ o $CSR > Solubilità$ (trasporto in fase colloidale).	NO	NO	NO	NO	NO
Per contaminanti organici e TPH, possibilità di implementazione dell'appendice P e di calcolare il rischio in presenza di prodotto libero	SI	SI	SI	SI	SI
Ambiente operativo richiesto per l'installazione	Windows XP / Vista / Seven	Windows XP / Vista / Seven	Windows XP	Windows XP / Seven	Windows XP / Vista / Seven

Tab. 5 - Controllo dell'efficienza.

ANALISI	ESITO				
	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
Tempi di elaborazione	< 5 sec (con 100 contaminanti inseriti)	< 20 sec (con 50 contaminanti inseriti) (*) (**)	< 5 sec (con 100 contaminanti inseriti)	< 1 sec (con tutti i contaminanti della banca dati inseriti)	< 5 sec (con 100 contaminanti inseriti) (*)
Tempi di risposta	< 5 sec (con 100 contaminanti inseriti)	< 5 sec (con 50 contaminanti inseriti) (*)	< 5 sec (con 100 contaminanti inseriti)	< 1 sec (con tutti i contaminanti della banca dati inseriti)	< 5 sec (con 100 contaminanti inseriti) (*)
Richiesta di risorse (memoria) per installazione	spazio disco richiesto per l'installazione 30 MB	Non specificato	spazio disco richiesto per l'installazione 10 MB	spazio disco richiesto per l'installazione 15MB	spazio disco richiesto per l'installazione 10 MB
Gestione degli errori	E' previsto un controllo sugli errori di tipo numerico (ad es. se vengono inseriti valori in un formato non corretto)	E' previsto un controllo sugli errori sia di tipo numerico (ad es. se vengono inseriti valori in un formato non corretto) che concettuale	---	E' previsto un controllo sugli errori sia di tipo numerico (ad es. se vengono inseriti valori in un formato non corretto) che concettuale (presenza di warnings sia durante la compilazione del progetto sia riassuntivi a run effettuata).	E' previsto un controllo sugli errori sia di tipo numerico (ad es. se vengono inseriti valori in un formato non corretto) che concettuale (ad es. se spessore suolo insaturo > del piano di falda).

(*) Testato su Windows 7 (Intel Core i3-330M (2.13 GHz); RAM: 4GB)

(**) Per la lisciviazione in falda nel caso di selezione di un numero di anni (o step) nella sezione di fate and transport (step 3d) vicino al valore massimo (10.000), si raggiunge qualche minuto di attesa

Tab. 6 - Controllo dell'affidabilità.

ANALISI	ESITO				
	RBCA Tool Kit ver. 2.5	RISC ver.5.0	GIUDITTA ver. 3.2	RACHEL ver. 1.1.5	RISK-NET ver. 1.0
Test di carico					
Inserimento come inquinanti indicatori di tutti i contaminati presenti nel data-base	Comportamento regolare conforme al normale funzionamento	Comportamento regolare conforme al normale funzionamento			
Inserimento come inquinanti indicatori di tutti i contaminati presenti nel data-base, più dei contaminati aggiuntivi	Comportamento regolare conforme al normale funzionamento	Comportamento regolare conforme al normale funzionamento	Comportamento regolare conforme al normale funzionamento	non è previsto allo stato attuale l'inserimento di contaminanti aggiuntivi	Comportamento regolare conforme al normale funzionamento
Attivazione di tutte le modalità di esposizione	Comportamento regolare conforme al normale funzionamento	Comportamento regolare conforme al normale funzionamento			
Attivazione di tutti i possibili bersagli di esposizione	Comportamento regolare conforme al normale funzionamento	Comportamento regolare conforme al normale funzionamento			
Attivazione contemporanea di tutte le condizioni sopra riportate	Comportamento regolare conforme al normale funzionamento	Comportamento regolare conforme al normale funzionamento			
Test di sicurezza					
Tentativo di accesso a dati o a funzionalità che dovrebbero essere riservate	Sistematico impedimento a procedere	Sistematico impedimento a procedere			

BIBLIOGRAFIA

APAT-ISS-ISPEL-ARPA/APPA (2008) 'Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati', rev. 2.

ASTM (2000) 'Standard Guide for Risk-Based Corrective Action', Designation: E-2081-00.

D.Lgs 04/08 (2008) 'Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale', Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 24 del 29 Gennaio 2008, Supplemento Ordinario n.24.

D.Lgs 152/06 (2006) 'Norme in materia ambientale', Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale N.88 del 14 Aprile 2006, Supplemento Ordinario n.96.

ISS-ISPEL (2009) 'Banca dati ISS/ISPEL. Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti', aggiornata a maggio del 2009.

APPENDICE A

Confronto tra output:
Parametri di input utilizzati per i 9 casi studio

Tab. A.1 – Controllo con altre soluzioni: Scenari di calcolo dei 9 casi studio

DATI DI INPUT	Caso studio 1	Caso studio 2	Caso studio 3	Caso studio 4	Caso studio 5	Caso studio 6	Caso studio 7	Caso studio 8	Caso studio 9
Destinazione d'uso del sito	Industriale	Residenziale	Residenziale	Industriale	Residenziale	Residenziale	Industriale	Industriale	Industriale
Modalità di applicazione dell'AdR	diretta	diretta	diretta	diretta	diretta	diretta	diretta/inversa	diretta	diretta
Sorgenti di contaminazione	SS	SP	GW	SS	SP	GW	GW	SS	GW
Inquinanti indicatori	Fenolo, Piombo, Tricloroetilene, Etilbenzene, Alifatici C9 - C18, Crisene	Cloruro di vinile, Benzene, Mercurio, 2-Clorofenolo, PCB		Alifatici C5-C8 - Alifatici C9 - C18 - Alifatici C19 - C36, Aromatici C9-C10 - Aromatici C11-C22			Vedere "Tabella 3"		
CRS	CSC x 3			CSC x 3			Vedere "Tabella 3"		
Meccanismi di trasporto	- (Diretto) - Percolazione e trasporto in falda	- Volatilizzazione di vapori outdoor	- Volatilizzazione di vapori indoor	- (Diretto) - Percolazione e trasporto in falda	- Volatilizzazione di vapori outdoor	- Volatilizzazione di vapori indoor	- Volatilizzazione vapori outdoor - Volatilizzazione vapori indoor	- Volatilizzazione vapori - Sospensione particolato	- Volatilizzazione di vapori indoor
Modalità di esposizione	- Ing suolo e contatto dermico (ON-SITE) - Rischio risorsa idrica (OFF-SITE)	- Inalazione di vapori outdoor (ON-SITE)	- Inalazione di vapori indoor (ON-SITE)	- Ing suolo e contatto dermico (ON-SITE) - Rischio risorsa idrica (OFF-SITE)	- Inalazione di vapori outdoor (ON-SITE)	- Inalazione di vapori indoor (ON-SITE)	- Inalazione di vapori outdoor (ON-SITE) - Inalazione di vapori indoor (ON-SITE)	- Ing suolo e contatto dermico (ON-SITE) - Inalazione di vapori outdoor (ON-SITE) - Inalazione di vapori indoor (ON-SITE)	Inalazione di vapori indoor (ON-SITE)
Recettori	Lavoratori (adulti)	Residenti (adulti)	Residenti (adulti)	Lavoratori (adulti)	Residenti (adulti)	Residenti (adulti)	Lavoratori (adulti)	Lavoratori (adulti)	Lavoratori (adulti)
Tessitura terreno insaturo	SANDY LOAM	SILT LOAM	SILTY CLAY	SANDY LOAM	SILT LOAM	SILTY CLAY	SILT	SAND RBCA	SILT
Tessitura terreno saturo									
Parametri caratteristici del sito, diversi da default [SPRA, 2008]	Livello piezometrico dell'acquifero, Spessore frangia capillare, Infiltrazione efficace, Spessore della falda, Geometria della sorgente di contaminazione, Conducibilità idraulica del terreno saturo, Distanza dal punto di conformità, Caratteristiche dell'ambiente indoor			Livello piezometrico dell'acquifero, Spessore frangia capillare, Infiltrazione efficace, Spessore della falda, Geometria della sorgente di contaminazione, Conducibilità idraulica del terreno saturo, Distanza dal punto di conformità, Caratteristiche dell'ambiente indoor			---		
Punto di conformità per la falda	25 metri	---	---	25 metri	---	---	---	---	---

Tab. A.2 – Concentrazioni rappresentative alla sorgente (CRS) per i casi studio 7, 8 e 9

CASO 7		CASO 8		CASO 9	
Inquinante indicatore	CRS (mg/l)	Inquinante indicatore	CRS (mg/kg)	Inquinante indicatore	CRS (mg/l)
Benzene	3.1E-3	Mercurio	5.2E+1	Benzene	2.6E-2
Toluene	2.8E-2			Toluene	4.5E-2
Alifatici C9-C18	1.5E-1			Benzo(a)antracene	2.1E-4
MTBE	7.3E-2			Cloruro di vinile	1.5E+0
				Triclorometano	1.7E-4
				Dicloroetano, 1,2-	2.1E-3
				Dicloroetilene - 1,1	1.7E-1
				Tricloroetilene	1.5E-3
				Dicloroetano, 1,1-	1.6E-1
				Dicloropropano, 1,2-	3.3E-1
				Tricloroetano, 1,1,2-	2.6E-3

Tab. A.3.a – Valori dei parametri sito-specifici per i casi studio da 1 a 6 (*)

Documento [APAT, 2008]				Caso studio 1	Caso studio 2	Caso studio 3	Caso studio 4	Caso studio 5	Caso studio 6
Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore di default	Valore sito specifico					
Geometria della zona insatura									
L_{GW}	Livello piezometrico dell'acquifero	cm	300	200	450	450	200	450	450
h_{cap}	Spessore frangia capillare	cm	18.8	25	68.2	192	25	68.2	192
h_v	Spessore della zona insatura	cm	281.2	175	381.8	258	175	381.8	258
D	Spessore del suolo superficiale	cm	100	100	100	100	100	100	100
η_{out}	Frazione areale di fratture nel pavimento outdoor	adim.	1	1	1	1	1	1	1
Geometria della sorgente di contaminazione in zona insatura									
$L_s(SS)$	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	cm	0	0	---	---	0	---	---
$L_s(SP)$	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm	100	---	100	---	---	100	---
$L_r(SS)$	Profondità della base della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	cm	100	100	---	---	100	---	---
$L_r(SP)$	Profondità della base della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm	300	---	450	---	---	450	---
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	cm	100	100	---	---	100	---	---
d_s	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	cm	200	---	350	---	---	350	---
	<i>Spessore della sorgente nel suolo insaturo</i>	<i>cm</i>	<i>300</i>	100	350	---	100	350	---
L_f	Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente	cm	300	200	---	---	200	---	---
Caratteristiche fisiche del terreno in zona insatura									
ρ_s	Densità del suolo	g/cm ³	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
θ_T	Porosità totale del terreno in zona insatura	adim.	0.41	0.41	0.45	0.36	0.41	0.45	0.36
θ_e	Porosità effettiva del terreno in zona insatura		0.353	0.345	0.383	0.29	0.345	0.383	0.29
θ_w	Contenuto volumetrico di acqua	adim.	0.103	0.194	0.255	0.274	0.194	0.255	0.274
θ_a	Contenuto volumetrico di aria	adim.	0.250	0.151	0.128	0.016	0.151	0.128	0.016
θ_{wcap}	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.	0.318	0.288	0.297	0.282	0.288	0.297	0.282
θ_{acap}	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.	0.035	0.057	0.086	0.008	0.057	0.086	0.008
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo	g-C/g-s	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
I_{ef}	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	45	---	---	45	---	---
pH	pH del suolo insaturo	adim.	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
Geometria della zona satura									
d_a	Spessore della falda	cm	---	500	---	500	500	---	500
Geometria della sorgente di contaminazione in zona satura									
W	Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione del flusso di falda	cm	4500	3000	3000	3000	3000	3000	3000
S_w	Estensione della sorgente in direzione ortogonale alla direzione del flusso di falda	cm	4500	5000	5000	5000	5000	5000	5000
A	Area della sorgente rispetto alla direzione del flusso di falda	cm ²	20250000	1.50E+07	1.50E+07	1.50E+07	1.50E+07	1.50E+07	1.50E+07
δ_{gw}	Spessore della zona di miscelazione in falda	cm	200	da calcolare			da calcolare		

(*) Per i casi studio da 7 a 9, i valori dei parametri sito specifici sono assunti pari a quelli proposti come default dal documento [APAT, 2008].

Tab. A.3.b – Valori dei parametri sito-specifici per i casi studio da 1 a 6 (*)

Documento [APAT, 2008]				Caso studio 1	Caso studio 2	Caso studio 3	Caso studio 4	Caso studio 5	Caso studio 6
Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore di default	Valore sito specifico					
Caratteristiche fisiche del terreno in zona satura									
V_{gw}	Velocità di Darcy	cm/anno	2500	388			388		
K_{sat}	Conducibilità idraulica del terreno saturo	cm/anno	---	38789	---	---	38789	---	---
i	Gradiente idraulico	adim.	---	0.01	---	---	0.01	---	---
V_e	Velocità media effettiva nella falda	cm/anno	7082	1124	---	---	1124	---	---
θ_T	Porosità totale del terreno in zona satura	adim.	0.41	0.41	---	0.36	0.41	---	0.36
θ_e	Porosità efficace del terreno in zona satura	adim.	0.353	0.345	---	0.29	0.345	---	0.29
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-s	0.001	0.001	---	0.001	0.001	---	0.001
α_x	Dispersività longitudinale	cm	10	250	---	---	250	---	---
α_y	Dispersività trasversale	cm	3.3	83.33	---	---	83.33	---	---
α_z	Dispersività verticale	cm	0.5	12.5	---	---	12.5	---	---
	SE: Distanza dal punto di conformità	cm	100	2500	---	---	2500	---	---
pH	pH del suolo saturo	adim.	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
Caratteristiche dell'aria outdoor									
δ_{air}	Altezza della zona di miscelazione	cm	200	200	200	200	200	200	200
W^*	Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione prevalente del vento	cm	4500	---	3000	---	---	3000	---
S_w^*	Estensione della sorgente in direzione ortogonale alla direzione prevalente del vento	cm	4500	---	4000	---	---	4000	---
A^*	Area della sorgente rispetto alla direzione prevalente del vento	cm ²	20250000	---	---	---	---	---	---
U_{air}	Velocità del vento	cm/s	225	---	225	---	---	225	---
σ_y	Coefficiente di dispersione trasversale	cm	---	---	---	---	---	---	---
σ_z	Coefficiente di dispersione verticale	cm	---	---	---	---	---	---	---
τ	Tempo medio di durata del flusso di vapore (RES.)	anno	30	---	30	30	---	30	30
τ	Tempo medio di durata del flusso di vapore (IND.)	anno	25	---	25	25	---	25	25
P_e	Portata di particolato per unità di superficie	g/(cm ² -s)	6.90E-14	---	---	---	---	---	---
Caratteristiche dell'aria indoor									
A_b	Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	cm ²	700000	---	---	6000000	---	---	6000000
L_{crack}	Spessore delle fondazioni/muri	cm	15	---	---	25	---	---	25
L_b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (RES.)	cm	200	---	---	190	---	---	190
L_b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (IND.)	cm	300	---	---	---	---	---	---
η	Frazione areale di fratture	adim.	0.01	---	---	0.01	---	---	0.01
θ_{wcrack}	Contenuto volumetrico di acqua nelle fratture	adim.	0.12	---	---	0.12	---	---	0.12
θ_{acrack}	Contenuto volumetrico di aria nelle fratture	adim.	0.26	---	---	0.26	---	---	0.26
ER	Tasso di ricambio di aria indoor (RES.)	1/s	0.00014	---	---	0.00014	---	---	0.00014
ER	Tasso di ricambio di aria indoor (IND.)	1/s	0.00023	---	---	---	---	---	---
L_T	Distanza tra il top della sorgente nel suolo insaturo (in falda) e la base delle fondazioni	cm	0 (285)	---	---	430	---	---	430
Z_{crack}	Profondità delle fondazioni	cm	15	---	---	20	---	---	20
K_v	Permeabilità del suolo al flusso di vapore	cm ²	1.00E-08	---	---	1.00E-08	---	---	1.00E-08
Δp	Differenza di pressione tra indoor e outdoor	g/(cm ² -s ²)	0	---	---	0	---	---	0
μ_{air}	Viscosità del vapore	g/(cm ² -s)	1.81E-04	---	---	1.81E-04	---	---	1.81E-04
τ	Tempo medio di durata del flusso di vapore (IND.)	anni	25	---	---	25	---	---	25
τ	Tempo medio di durata del flusso di vapore (RES.)	anni	30	---	---	30	---	---	30

(*) Per i casi studio da 7 a 9, i valori dei parametri sito specifici sono assunti pari a quelli proposti come default dal documento [APAT, 2008].

Tab. A.4 - Fattori di esposizione per casi studio da 1 a 6 ()**

FATTORI DI ESPOSIZIONE (EF)	Simbolo	Unità di Misura	Caso studio 1	Caso studio 2	Caso studio 3	Caso studio 4	Caso studio 5	Caso studio 6
			Com/Ind	Residenziale			Com/Ind	Residenziale
			Adulto	Adulto	Adulto	Adulto	Adulto	Adulto
Fattori comuni a tutte le modalità di esposizione								
Peso corporeo	BW	kg	70	70	70	70	70	70
Tempo di esposizione per le sost. cancerogene	ATc	anni	70	70	70	70	70	70
Tempo di esposizione per le sost. non cancerogene	ATn	anni	ED	ED	ED	ED	ED	ED
Inalazione di Aria Outdoor (AO)								
Durata di esposizione	ED	anni	---	24	---	---	24	---
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	---	350	---	---	350	---
Frequenza giornaliera di esposizione outdoor	EFgo	ore/giorno	---	24	---	---	24	---
Inalazione outdoor	Bo	m ³ /ora	---	0.8333	---	---	0.8333	---
Frazione di particelle di suolo nella polvere	Fsd	adim.	---	1	---	---	1	---
Inalazione di Aria Indoor (AI)								
Durata di esposizione	ED	anni	---	---	24	---	---	24
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	---	---	350	---	---	350
Frequenza giornaliera di esposizione indoor	EFgi	ore/giorno	---	---	24	---	---	24
Inalazione indoor	Bi	m ³ /ora	---	---	0.8333	---	---	0.8333
Frazione indoor di polvere all'aperto	Fi	adim.	---	---	1	---	---	1
Contatto dermico con Suolo (SS)								
Durata di esposizione	ED	anni	25	---	---	25	---	---
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	250	---	---	250	---	---
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²	3300	---	---	3300	---	---
Fattore di aderenza dermica del suolo	AF	mg/(cm ² giorno)	1	---	---	1	---	---
Ingestione di Suolo (SS)								
Durata di esposizione	ED	anni	25	---	---	25	---	---
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	250	---	---	250	---	---
Frazione di suolo ingerita	FI	adim.	1	---	---	1	---	---
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno	50	---	---	50	---	---

(**) Per i casi studio da 7 a 9, i valori dei fattori di esposizione sono assunti pari a quelli proposti come default dal documento [APAT, 2008], ad eccezione del "Tasso di inalazione outdoor e indoor" posto pari a 20 m³/d.