

18-20.09.2019
F E R R A R A F I E R E
REMTECH EXPO
*International Networking,
Exhibition, Conferences and Training*

Modelli per la valutazione preliminare del rischio durante le attività di scavo di terreno contaminato

Dott. Ing. Iason Verginelli, Prof. Ing. Renato Baciocchi





D.Lgs 81/2008
(Salute e Sicurezza sul lavoro)

D.Lgs 152/2006
(Normativa ambientale)

**D.Lgs
81/2008**

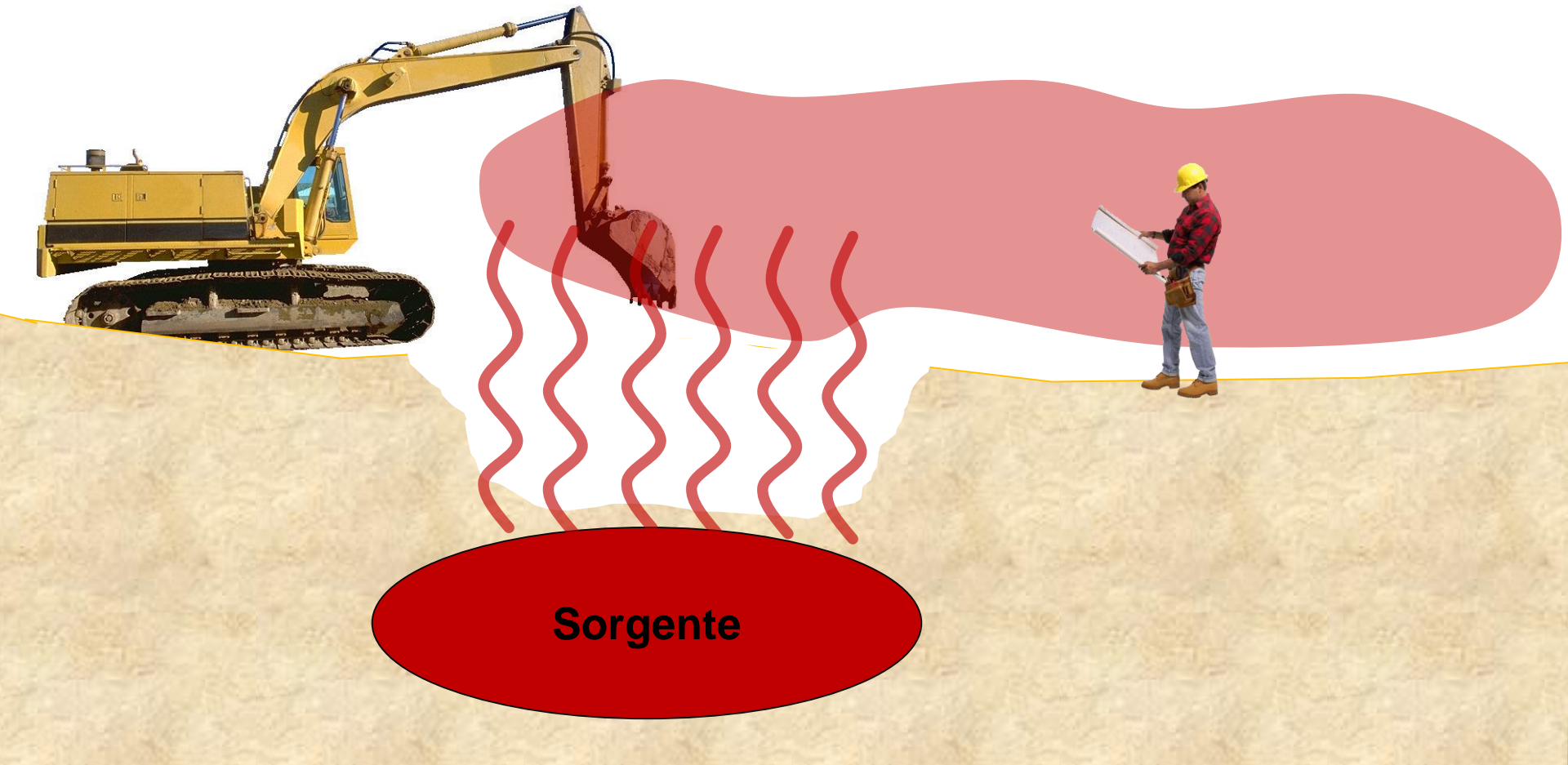


**D.Lgs
152/2006**

Nel caso di un sito contaminato è necessario adottare una procedura che tenga conto di entrambi gli strumenti legislativi

Rischio chimico durante lo scavo di terreni contaminati

Nel caso di scavo di terreno in siti contaminati, come applicare D.Lgs 81/08 e D.Lgs 152/06?



Procedura generalmente applicata nei siti in bonifica (D.Lgs 152/06 vs. D.Lgs 81/08)

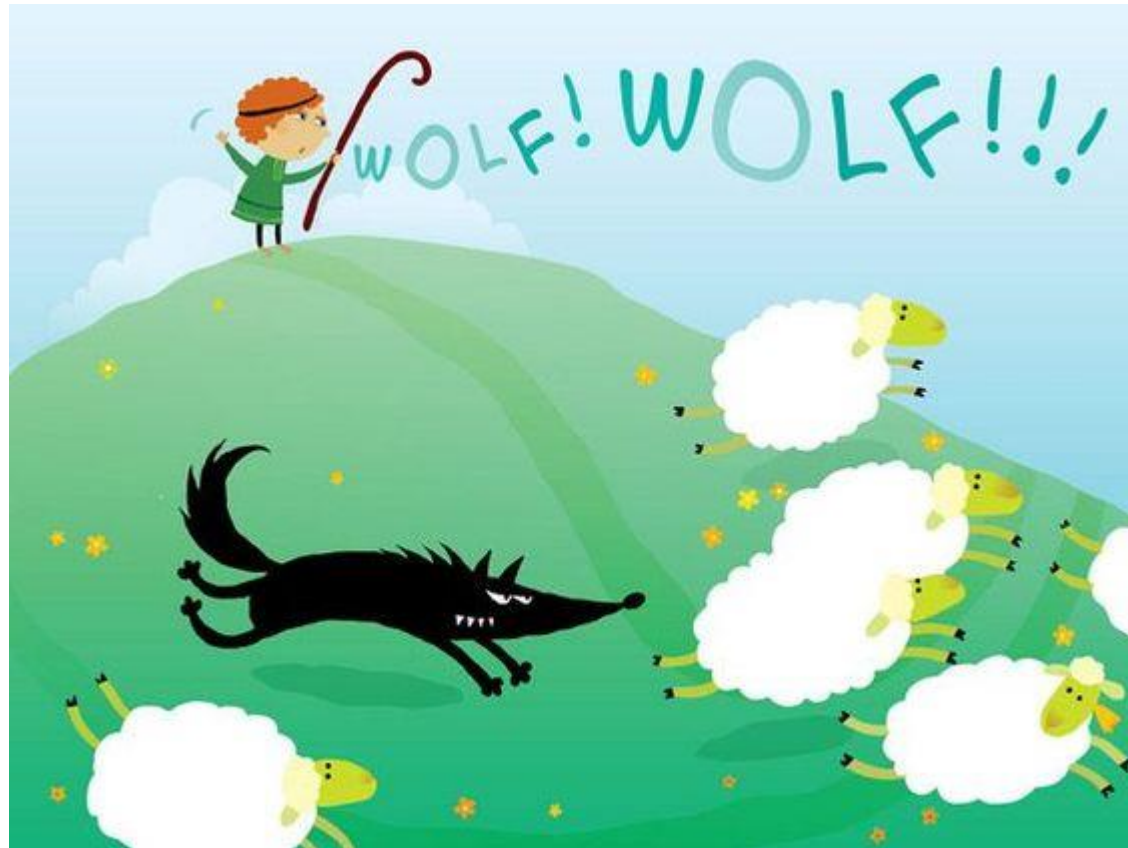
D.Lgs 152/2006

Individuazione contaminanti
con superamento delle CSC
nei terreni



D.Lgs 81/2008

Monitoraggio con
campionatori personali e/o in
aria con postazioni fisse e
confronto con valori di
riferimento (VLEP...)



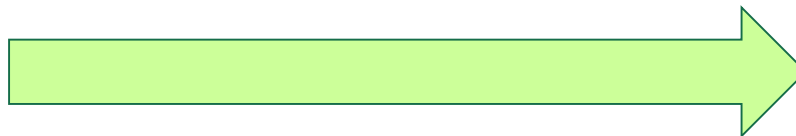
Identificare i contaminanti da monitorare in aria sulla base dei superamenti delle CSC può condurre a falsi allarmi in quanto non si tiene conto dello scenario espositivo sito-specifico → spreco di risorse o non centrare il focus sugli effettivi fattori di rischio.

Approccio tradizionale vs. Approccio Proposto

Approccio tradizionale



**Individuazione
contaminanti nei terreni
non conformi alle CSC**

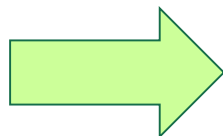


**Monitoraggio con
campionatori personali e/o
in aria con postazioni fisse**

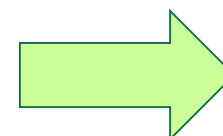
Approccio proposto



**Individuazione
contaminanti nei terreni
non conformi alle CSC**



**Utilizzo di modelli per una
valutazione preliminare
dell'esposizione**



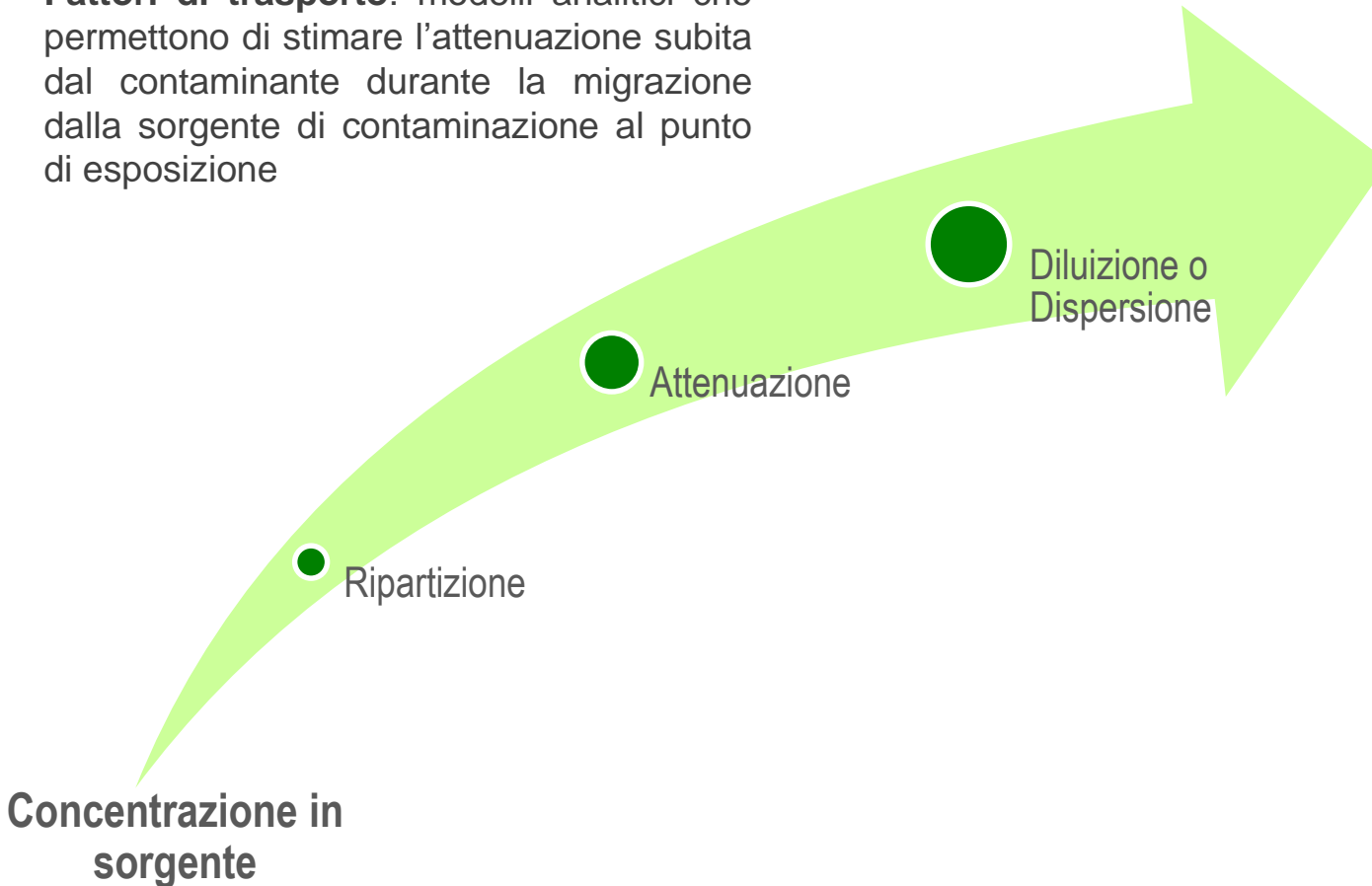
**Monitoraggio con
campionatori personali e/o
in aria con postazioni fisse**

Concentrazione al punto di esposizione

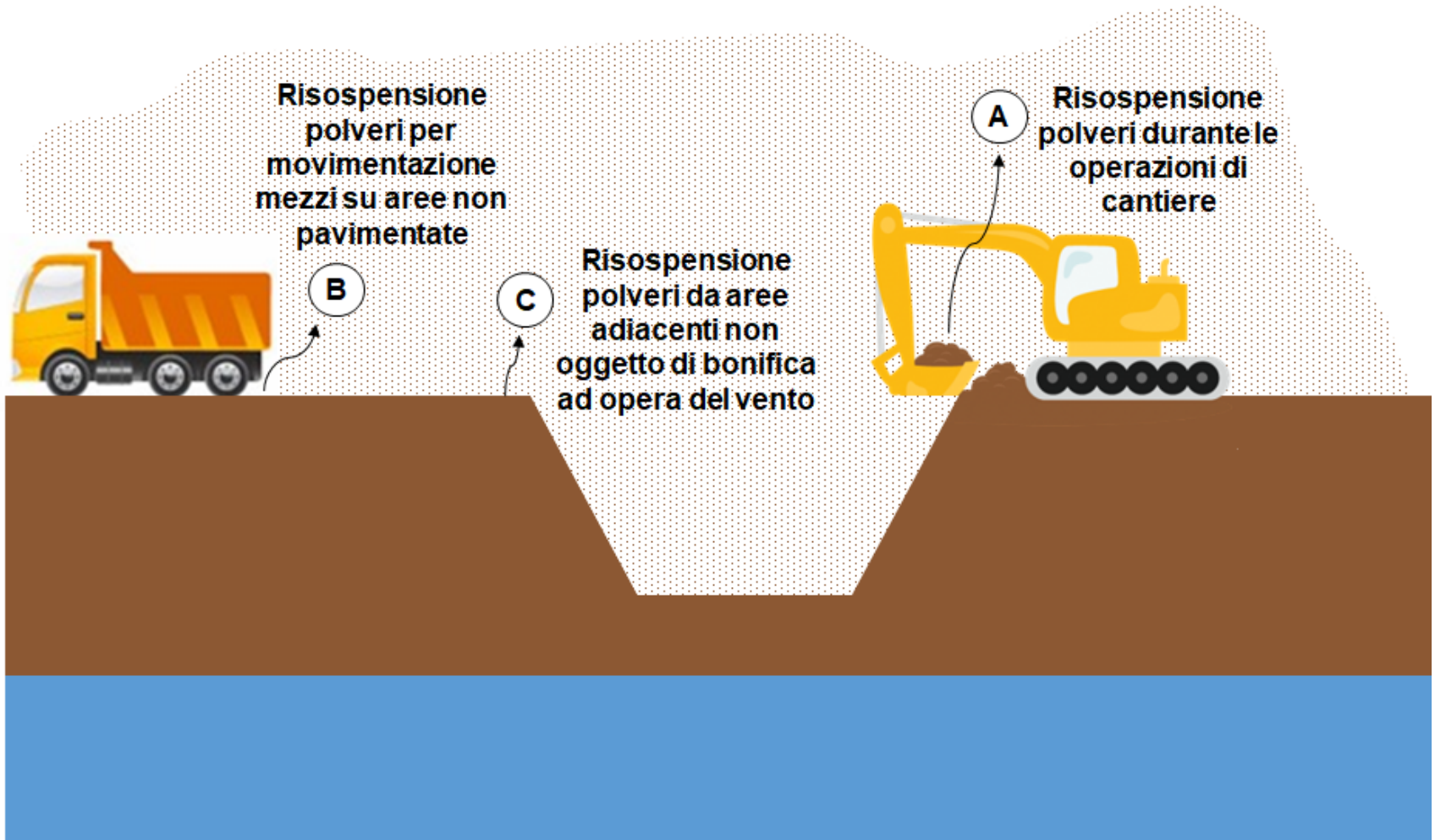
$$\text{Concentrazione al punto di esposizione} = \text{Concentrazione in sorgente} \times \text{Fattore di Trasporto}$$

Fattori di trasporto: modelli analitici che permettono di stimare l'attenuazione subita dal contaminante durante la migrazione dalla sorgente di contaminazione al punto di esposizione

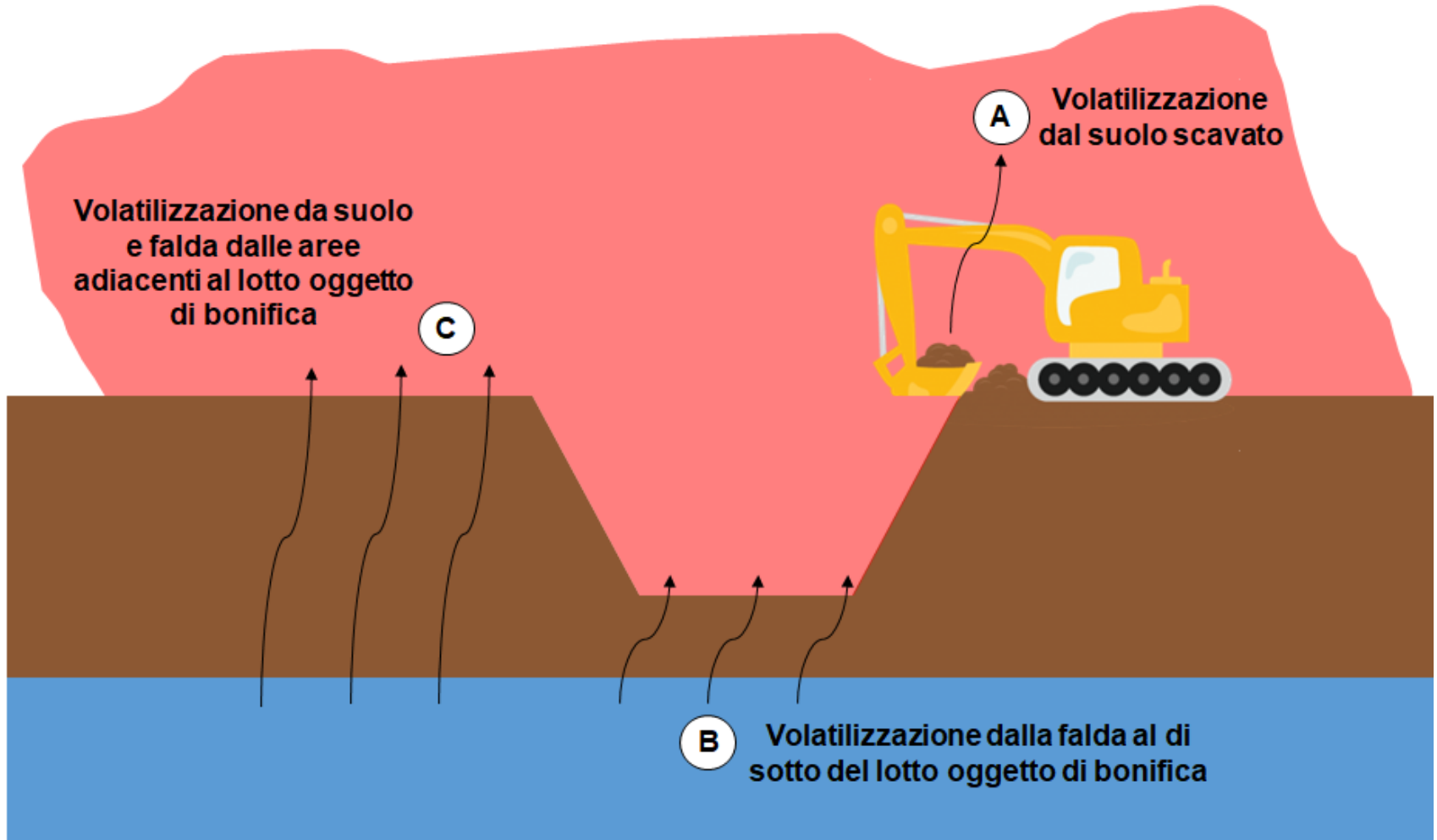
Concentrazione al punto di esposizione



Fonti di emissione di particolato durante le operazioni di bonifica



Fonti di emissione di vapori durante le operazioni di bonifica



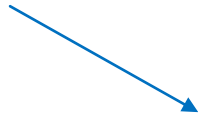
Modelli selezionati

Sorgente di contaminazione	Vapori		Polveri	
Suolo superficiale e suolo profondo oggetto di intervento (Lotto e/o Cella)	Volatilizzazione durante le attività di scavo	Modello U.S.EPA (2002)	Tassi di emissione durante le attività di scavo, livellamento e movimentazione di terreno	Modello U.S.EPA (2002, 2006)
Falda al di sotto del lotto di intervento	Volatilizzazione dalla falda	Modello ISPRA (2008)	Percorso Non Attivo	
Suolo Superficiale nelle aree adiacenti al lotto di intervento	Volatilizzazione da suolo superficiale	Modello ISPRA (2008)	Tassi di emissione ad opera del vento e per la movimentazione di mezzi su strade non pavimentate	Modello U.S.EPA (2002, 2006)
Suolo Profondo nelle aree adiacenti al lotto di intervento	Volatilizzazione da suolo profondo	Modello ISPRA (2008)	Percorso Non Attivo	
Falda nelle aree adiacenti al lotto di intervento	Volatilizzazione dalla falda	Modello ISPRA (2008)	Percorso Non Attivo	

- *ISPRA (2008). Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati. rev. 2.*
- *U.S.EPA (2002). Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites. OSWER 9355.4-24.*
- *U.S.EPA (2006). AP-42: Compilation of Air Emissions Factors. Disponibile su: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>*

Dati di Input richiesti nei modelli (alcuni semplici da stimare)

**Concentrazione
contaminanti
nel suolo**

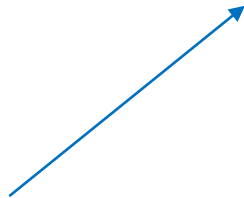


**Dati di Input
richiesti nei
modelli**

**Estensione
dell'area oggetto
di bonifica**



**Durata attività di
bonifica**



Dati di Input richiesti nei modelli (altri più complicati da identificare)



Dati di Input richiesti nei modelli (altri ancora molto difficili da stimare)



Utilizzo del metodo di Monte Carlo

Tenendo conto che alcuni **dati di input sono difficile da stimare con certezza** è possibile applicare il metodo di Monte Carlo.

Il metodo di **Monte Carlo** consiste nell'effettuare un **numero elevato di simulazioni** (ad es. 5.000-10.000 simulazioni) variando i parametri di input richiesti dal modello in **maniera casuale** all'interno di range prefissati.



Nel caso in esame, gli output delle diverse simulazioni possono essere elaborati in termini di **probabilità di eccedere il valore limite di riferimento in aria** adottando la seguente classificazione (**work in progress**):

- Trascurabile – Percentuale di simulazioni con superamento del limite: <1%
- Molto Bassa – Percentuale di simulazioni con superamento del limite: 1-5%
- Bassa – Percentuale di simulazioni con superamento del limite: 5-25%
- Media – Percentuale di simulazioni con superamento del limite: 25-50%
- Alta – Percentuale di simulazioni con superamento del limite: >50%

Esempio di applicazione

Dati di Input per Analisi di Montecarlo

Parametro	Simbolo	Unità di Misura	Minimo	Massimo	Distribuzione
Operazioni di cantiere					
Generali					
Durata delle attività di bonifica	T_{bon}	d	60	180	Uniforme
Estensione del sito contaminato	A_c	ha	1	2	Uniforme
Fattore di dispersione atmosferica	Q_{Csr}	-	50	100	Uniforme
Movimentazione di mezzi su strade non asfaltate					
Lunghezza del tratto di strada contaminato	L_R	m	50	500	Uniforme
Larghezza del tratto di strada contaminato	W_R	m	5	10	Uniforme
Peso medio dei veicoli a pieno carico	W_{camion}	tons	1	5	Uniforme
Chilometri totali percorsi dai veicoli nelle aree non pavimentate	SK_{camion}	km	500	5000	Uniforme
Contenuto di limo nella strada non pavimentata	S_{siltR}	%	5	10	Uniforme
Umidità della strada non pavimentata in condizioni asciutte	M_{dry}	%	0.1	2	Uniforme
N° di giorni all'anno con precipitazione superiore a 1 mm di pioggia	$p_{Pioggia}$	#	5	10	Uniforme
Operazioni di lavorazione del terreno					
Chilometri totali percorsi dalle ruspe	SK_{ruspe}	km	100	200	Uniforme
Velocità media delle ruspe	S_{ruspe}	km/h	10	20	Uniforme
Contenuto di limo nel suolo	S_{silt}	%	5	10	Uniforme
Operazioni di livellamento del terreno					
Chilometri totali percorsi dalle macchine livellatrici	SK_{liv}	km	100	200	Uniforme
Velocità media delle macchine livellatrici	S_{liv}	km/h	10	20	Uniforme
Operazioni di scavo					
Generali					
Velocità media del vento durante le operazioni di cantiere	U_m	m/s	3	5	Uniforme
Altezza della zona di miscelazione in aria	d_{air}	m	2	10	Uniforme
Densità del suolo	ρ_s	kg/l	1	2	Uniforme
Contenuto d'acqua gravimetrica nel suolo	W_{Grav}	%	5	15	Uniforme
Scavo di suolo contaminato					
Estensione del suolo scavato nella direzione del vento	W_{exacav}	m	20	50	Uniforme
Estensione del suolo scavato nella direzione ortogonale al vento	$S_{wexacav}$	m	20	50	Uniforme
Profondità media dello scavo	de_{xacav}	m	1	5	Uniforme
Durata delle attività di scavo	t_{mov}	d	60	90	Uniforme
N° di volte che il suolo scavato viene scaricato	N_{exacav}	-	1	4	Uniforme

Confronto con dati sperimentali (prima validazione)

Confronto con alcune campagne sperimentali condotte da ULSS 3 Serenissima

Contaminante	ID Hotspot	Concentrazione nel suolo (mg/kg)	Modelli di Trasporto (Analisi Monte Carlo): Probabilità di superamento del limite di esposizione	Concentrazione misurata in aria mediante campionamento sottovento (mg/m ³)	Valore limite considerato (mg/m ³)	Riferimento
Arsenico	A	130,0	Trascurabile	4,99E-05	0,00083	Germania
Arsenico	G	1038,0	Molto Bassa	4,99E-05	0,00083	Germania
Arsenico	I	84,0	Trascurabile	4,99E-05	0,00083	Germania
Arsenico	T	77,0	Trascurabile	4,99E-05	0,00083	Germania
Arsenico	T	65,0	Trascurabile	4,99E-04	0,00083	Germania
Cadmio	A	16,0	Trascurabile	4,99E-05	0,001	UE
Cadmio	I	51,7	Trascurabile	4,90E-05	0,001	UE
Mercurio	G	5,0	Trascurabile	3,29E-04	0,02	Italia
Mercurio	P	5,9	Trascurabile	1,98E-03	0,02	Italia
Mercurio	P	5,9	Trascurabile	1,98E-03	0,02	Italia
Mercurio	AB	71,6	Molto Bassa	4,99E-03	0,02	Italia
Benzene	R	3,7	Trascurabile	1,60E-01	3,25	Italia
Cloruro di Vinile	S	2,6	Trascurabile	6,50E-02	7,77	Italia
Cloruro di Vinile	S	2,6	Trascurabile	6,54E-02	7,77	Italia
Cloruro di Vinile	S	2,6	Trascurabile	6,44E-02	7,77	Italia
Cloruro di Vinile	S	2,6	Trascurabile	6,44E-02	7,77	Italia
Cloruro di Vinile	S	2,6	Trascurabile	5,99E-02	7,77	Italia

Dall'applicazione del modello in 15 sui 17 casi studio considerati, la probabilità attesa di superare il valore limite di esposizione risulta trascurabile. Questo risultato è confermato dalle concentrazioni effettivamente misurate in aria che risultano essere ampiamente inferiori al valore limite di esposizione considerato.

Sviluppo di un software (eRisk): modello concettuale

eRisk tool

eRisk

eRisk tool File Esempio (Lotto 5) [Info] [Settings]

Input

- Descrizione del sito**
- Contaminanti
- Concentrazioni
- Parametri del sito

Output

- Emissione di Vapori
- Emissione di Polveri





Descrizione del sito

Nome del sito:

Nome/ID lotto/cella:

Note:

Tipologia di Intervento

	<input checked="" type="checkbox"/> Movimentazione di mezzi su strade non asfaltate
	<input checked="" type="checkbox"/> Scavo di suolo contaminato
	<input checked="" type="checkbox"/> Operazioni di lavorazione del terreno
	<input checked="" type="checkbox"/> Operazioni di livellamento del terreno

Sviluppo di un software (eRisk): contaminanti target

The screenshot shows the 'eRisk tool' interface. The main window title is 'eRisk tool' and the application name is 'eRisk'. The interface is divided into several sections:

- Input:** Includes 'Descrizione del sito', 'Contaminanti' (highlighted), 'Concentrazioni', and 'Parametri del sito'.
- Output:** Includes 'Emissione di Vapori' and 'Emissione di Polveri'.
- Seleziona Contaminanti:** Features a search bar with the placeholder 'Cerca un contaminante o una classe' and a table of contaminants.
- Contaminanti inseriti:** A list of selected contaminants with a red box highlighting the 'Rimuovi tutti' button and individual removal buttons.

Inserisci	Nome contaminante	Numero C.A.S.
+	Alluminio	7429-90-5
+	Antimonio	7440-36-0
+	Argento	7440-22-4
+	Arsenico	7440-38-2
+	Berillio	7440-41-7
+	Boro	7440-42-8
+	Cadmio	7440-43-9
+	Cianuri	57-12-5
+	Cobalto	7440-48-4
+	Cromo totale	16065-83-1
+	Cromo VI	18540-29-9
+	Ferro	7439-89-6

Contaminanti inseriti	Rimuovi
Benzene	X
Stirene	X
Etilbenzene	X
Piombo	X
Tallio	X
Vanadio	X

Sviluppo di un software (eRisk): concentrazioni nel sottosuolo

eRisk tool
— □ ×

eRisk

eRisk tool
File
Esempio (Lotto 5)
?

Input

Descrizione del sito

Contaminanti

Concentrazioni

Parametri del sito

Output

Emissione di Vapori

Emissione di Polveri

Concentrazioni nel sottosuolo ?

Copia tabella

Contaminante	Limiti			Lotto o Cella		Aree adiacenti		
	Col. A	Col. B	GW	SS e SP	GW	SS	SP	GW
	(mg/kg)	(mg/kg)	(µg/L)		<input type="checkbox"/> <CSC	<input checked="" type="checkbox"/> <CSC	<input checked="" type="checkbox"/> <CSC	<input checked="" type="checkbox"/> <CSC
				(mg/kg)	(µg/L)	(mg/kg)	(mg/kg)	(µg/L)
Benzene	0.1	2	1	2	1000	-	-	-
Stirene	0.5	50	25	4	200	-	-	-
Etilbenzene	0.5	50	50	3	50q	-	-	-
Piombo	100	1000	10	14	-	-	-	-
Tallio	1	10	2	22	-	-	-	-
Vanadio	90	250		14	-	-	-	-

Legenda: SS = Suolo Superficiale, SP = Suolo Profondo, GW = Falda, Col. A = CSC suoli residenziali, Col. B = CSC suoli industriali.

Sviluppo di un software (eRisk): parametri del sito (analisi deterministica)

eRisk tool

eRisk

eRisk tool File Esempio (Lotto 5) ?

Input

- Descrizione del sito
- Contaminanti
- Concentrazioni
- Parametri del sito**

Output

- Emissione di Vapori
- Emissione di Polveri

Parametri del sito ?

Generale Movimentazione mezzi Attività di scavo Sottosuolo Meteo

Parametri del sito ★ Default 📄 Copia tabella

Descrizione	Simbolo	Valore	
		<input type="checkbox"/> Analisi di Monte Carlo	
Parametro		Sito-Specifico	UM
Superficie totale dell'area contaminata	Ac	10000	m ²
Estensione massima dell'area contaminata	W	100	m
Superficie totale del lotto di intervento	Alotto	2500	m ²
Estensione massima dell'area contaminata	Wlotto	50	m
Frazione di copertura vegetativa dell'area	V	0,5	-
Durata delle attività di bonifica	Tc	180	d
Turno settimanale	-	5	d/week
Turno giornaliero	-	8	h/d
Durata effettiva della bonifica	calc	42,9	d

Sviluppo di un software (eRisk): parametri del sito (analisi Monte Carlo)

The screenshot shows the eRisk tool interface. The main window is titled "eRisk tool" and "eRisk". The top bar includes a "File" menu and a tab labeled "Esempio (Lotto 5)". The left sidebar has sections for "Input" and "Output". The "Input" section includes "Descrizione del sito", "Contaminanti", "Concentrazioni", and "Parametri del sito" (which is highlighted). The "Output" section includes "Emissione di Vapori" and "Emissione di Polveri". The main content area is titled "Parametri del sito" and has a help icon. Below the title are tabs for "Generale", "Movimentazione mezzi", "Attività di scavo", "Sottosuolo", and "Meteo". The "Generale" tab is active. The "Parametri del sito" section has a "Default" button and a "Copia tabella" button. A table lists parameters with columns for "Descrizione", "Simbolo", "Sito-Specifico", "Min", "Max", and "UM". A red box highlights the "Analisi di Monte Carlo" checkbox and the numerical values in the "Sito-Specifico", "Min", and "Max" columns. The table data is as follows:

Descrizione	Parametro	Simbolo	Valore			UM
			Sito-Specifico	Min	Max	
Superficie totale dell'area contaminata	Ac		10000	1000	20000	m ²
Estensione massima dell'area contaminata	W		100	50	200	m
Superficie totale del lotto di intervento	Alotto		2500	500	5000	m ²
Estensione massima dell'area contaminata	Wlotto		50	25	100	m
Frazione di copertura vegetativa dell'area	V		0,5	0	0,75	-
Durata delle attività di bonifica	Tc		180	60	365	d
Turno settimanale	-		5	-	-	d/week
Turno giornaliero	-		8	-	-	h/d
Durata effettiva della bonifica	calc		42,9	14,3	86,9	d

Sviluppo di un software (eRisk): output vapori

The screenshot shows the eRisk tool interface. On the left, there is a sidebar with 'Input' and 'Output' sections. The 'Output' section is active, showing 'Emissione di Vapori' selected. The main area displays a table titled 'Emissione di Vapori' with a red border. The table has five columns: 'Contaminante', 'Concentrazione Outdoor (µg/m³)', 'VLEP (µg/m³)', 'CRaria (µg/m³)', and 'Probabilità di superamento 0.1xVLEP'. The rows list Benzene, Stirene, and Etilbenzene. Below the table, there is a summary row for 'Indice di esposizione cumulata (Ie = ΣCoutdoor/VLEP)' and two rows for 'Ie (Vapori)' and 'Ie (Vapori e Polveri)'. A red button 'Esegui Analisi MC' is visible in the table's header area. A checkbox at the bottom indicates 'Mostra le tabelle con i risultati dettagliati'.

Contaminante	Concentrazione Outdoor (µg/m³)	VLEP (µg/m³)	CRaria (µg/m³)	Probabilità di superamento 0.1xVLEP
Benzene	13.8	3250	5	Nulla
Stirene	27.5	86000	-	Nulla
Etilbenzene	20.6	442000	-	Nulla
Indice di esposizione cumulata (Ie = ΣCoutdoor/VLEP)				
Ie (Vapori)	0.0046		-	-
Ie (Vapori e Polveri)	0.0046		-	-

Sviluppo di un software (eRisk): output polveri

The screenshot shows the eRisk tool interface. The main window title is 'eRisk tool'. The top navigation bar includes 'eRisk tool', a 'File' menu, and a project name 'Esempio (Lotto 5)'. On the left, there are 'Input' and 'Output' sections. The 'Output' section has 'Emissione di Polveri' selected. The main content area is titled 'Risospensione Polveri' with a help icon. Below the title is a table titled 'Emissione di Polveri' with a 'Copia tabella' button. The table has five columns: 'Contaminante', 'Concentrazione Outdoor (µg/m³)', 'VLEP (µg/m³)', 'CRaria (µg/m³)', and 'Probabilità di superamento 0.1xVLEP'. A red button 'Esegui Analisi MC' is located in the 'Probabilità di superamento' column. The table data is as follows:

Contaminante	Concentrazione Outdoor (µg/m³)	VLEP (µg/m³)	CRaria (µg/m³)	Probabilità di superamento 0.1xVLEP
PMtot	1024.5	-	-	-
PM10	269.8	-	-	-
PM4	77.2	-	-	-
PM2.5	27.6	-	-	-
Piombo	0.0002	1270	=	Nulla
Tallio	0.0003	100	=	Nulla
Vanadio	0.0002	100	=	Nulla
Indice di esposizione cumulata ($I_e = \sum \text{Outdoor} / \text{VLEP}$)				
Ie (Polveri)	4.7e-6	-	-	-
Ie (Vapori e Polveri)	0.0046	-	-	-

Below the table is a checkbox labeled 'Mostra le tabelle con i risultati dettagliati' which is currently unchecked.

Conclusioni

- ❑ I **modelli** possono essere dei semplici ma immediati **strumenti di supporto** che permettono di:
 - Valutare il rischio per gli operatori della bonifica in funzione delle attività svolte;
 - Calcolare le concentrazioni in aria outdoor e indoor attesa nel sito da utilizzare per valutazioni di screening.

- ❑ I **modelli semplificati** che sono stati selezionati si basano sulle seguenti assunzioni semplificate:
 - Stato stazionario;
 - Contaminazione nel suolo omogenea;
 - Suolo omogeneo ed isotropo;
 - Ripartizione lineare;
 - Diluizione completa e istantanea (approccio box model);
 - ...

- ❑ L'utilizzo di modelli semplici combinati con il Metodo di **Monte Carlo** permettono di effettuare delle valutazioni preliminari in maniera semplice al fine di **individuare i contaminanti effettivamente critici** sui quali procedere con il monitoraggio con i campionatori personali e/o in aria con postazioni fisse.