

# Calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica

**Ing. Simona Berardi**

Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro (ISPESL)

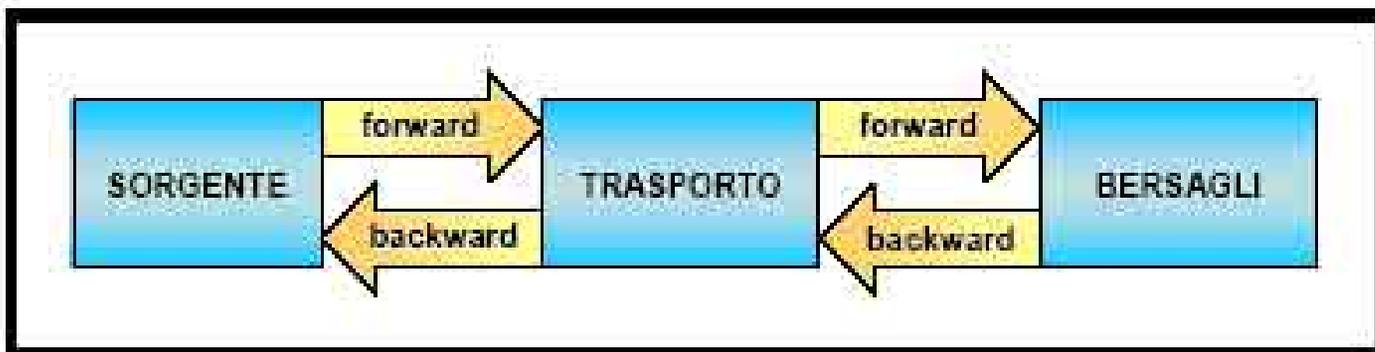
**Ing. Laura D'Aprile**

Servizio Tecnologie del sito e siti contaminati

APAT

## Modalità di Calcolo (1)

La procedura di analisi di rischio assoluta può avere un duplice obiettivo finale: stimare quantitativamente il rischio per la salute umana connesso ad uno specifico sito, in termini di valutazione delle conseguenze legate alla sua situazione qualitativa, ed individuare dei valori di concentrazione accettabili nel suolo e nella falda vincolati alle condizioni specifiche del singolo sito. I due distinti risultati derivano dalla applicazione della procedura secondo due distinte modalità. La modalità diretta (forward mode) permette il calcolo del rischio associato al recettore esposto derivante da una sorgente di contaminazione di concentrazione nota. La modalità inversa (backward mode) permette il calcolo della massima concentrazione ammissibile in sorgente compatibile con il livello di rischio ritenuto accettabile per il recettore esposto.



## Modalità di Calcolo (2)

Modalità diretta  
 (forward)



*Criteri metodologici per  
 l'applicazione dell'analisi  
 assoluta di rischio ai siti  
 contaminati rev 0 (APAT, 2005)*

Modalità inversa  
 (backward)



*Criteri metodologici per  
 l'applicazione dell'analisi  
 assoluta di rischio ai siti  
 contaminati rev 1 (APAT, 2006)  
 – in pubblicazione*

## Principi della Procedura di Calcolo

Si ritiene opportuno ricordare i principi fondamentali su cui si basa la procedura di calcolo, validi in caso di applicazione sia della modalità diretta che inversa:

- principio del caso peggiore (“worste case”) che riguarda in generale tutte le fasi di applicazione della procedura di analisi assoluta di rischio e deve sempre guidare la scelta tra alternative possibili;
- principio della esposizione massima ragionevolmente possibile (RME, ossia ‘Reasonable Maximum Exposure’), che prevede in relazione ai parametri di esposizione l’assunzione di valori ragionevolmente conservativi al fine di pervenire a risultati cautelativi per la tutela della salute umana (paragrafo 3.4.1);

Inoltre, l'analisi di rischio assoluta è rivolta alla valutazione dei rischi cronici o a lungo termine associati ai siti contaminati, piuttosto che rischi in condizioni di esposizione acuta.

# Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati (APAT, 2005)

## Cap. 4. Calcolo del rischio

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

- Rischio e l'Indice di Pericolo individuale e cumulativo per la salute umana
- Rischio per la risorsa idrica sotterranea
- Rischio per la risorsa idrica superficiale

## Rischio individuale per la salute umana

La stima del rischio (R) per la salute umana, connesso alla esposizione ad una specie chimica contaminante, deriva dalla applicazione della seguente relazione:

$$R = E \times T$$

dove E ([mg/kg d]) rappresenta l'assunzione cronica giornaliera del contaminante e T ([mg/kg d]<sup>-1</sup>) la tossicità dello stesso.

Il fattore E è dato dal prodotto tra la concentrazione, calcolata in corrispondenza del punto di esposizione C<sub>poe</sub>, es. [mg/m<sup>3</sup>], e la portata effettiva di esposizione EM, es. [m<sup>3</sup> /kg d] (il cui calcolo è descritto nel paragrafo 3.3.4), che può rappresentare la quantità di aria inalata al giorno per unità di peso corporeo:

$$R = E \times SF \quad (\text{Effetti cancerogeni})$$

$$HQ = E / RfD \quad (\text{Effetti tossici non cancerogeni})$$

SF (Slope Factor) e RfD (Reference Dose) da Banca Dati

$$E (\text{Esposizione}) = EM \times C_{poe}$$

## Rischio cumulativo per la salute umana

Rischio determinato da più sostanze per la stessa modalità di esposizione (inalazione, ingestione o contatto dermico):

$$R_{Tj} = \sum_{i=1}^n R_{ij} \quad ; \quad HQ_{Tj} = \sum_{i=1}^n HQ_{ij} \quad (4.1.6)$$

dove  $R_{Tj}$  e  $HQ_{Tj}$  rappresentano il Rischio cumulativo e l'Indice di Pericolo cumulativo causati dall'esposizione contemporanea alle  $n$  sostanze inquinanti in corrispondenza alla modalità di esposizione  $j$ .

Rischio determinato da un'unica sostanza per le tre diverse modalità di esposizione (inalazione, ingestione e contatto dermico):

$$R_{iT} = \sum_{j=1}^m R_{ij} \quad ; \quad HQ_{iT} = \sum_{j=1}^m HQ_{ij} \quad (4.1.7)$$

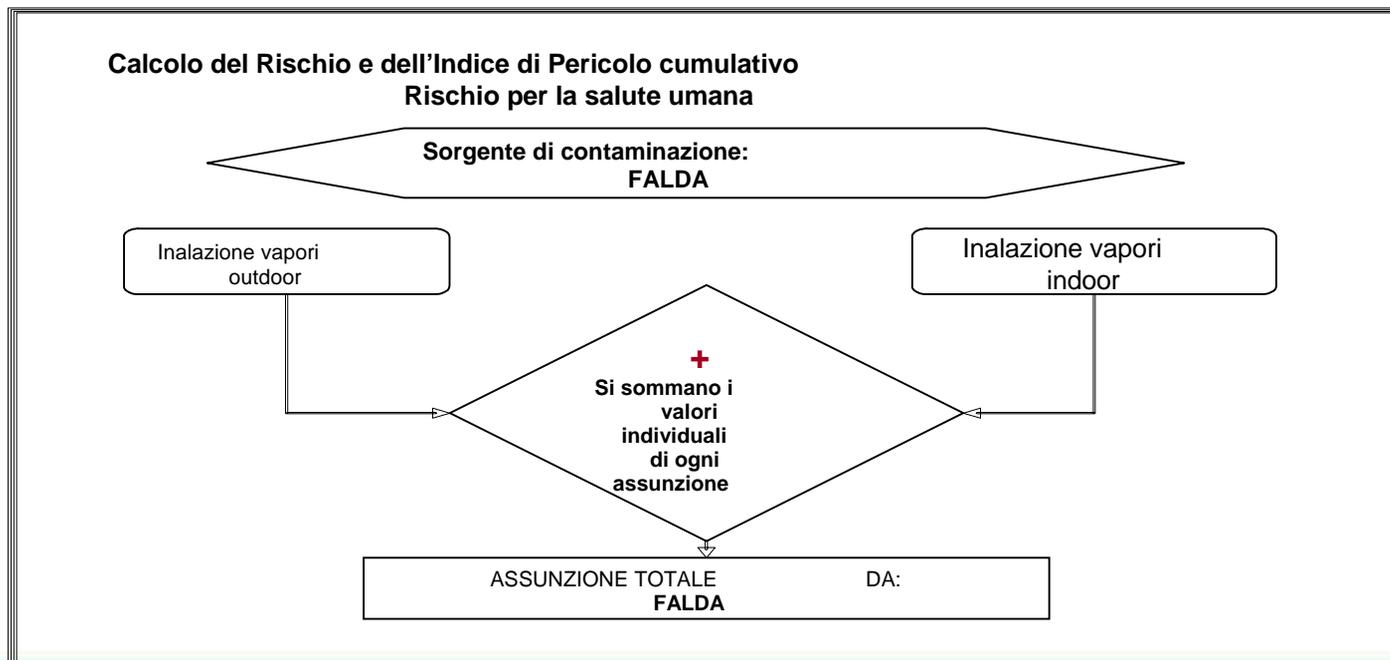
dove  $R_{iT}$  e  $HQ_{iT}$  rappresentano il Rischio cumulativo e l'Indice di Pericolo cumulativo causati dall'esposizione alla singola sostanza  $i$  per tutte le  $m$  modalità di esposizione.

## Rischio cumulativo per la salute umana

Rischio determinato da diverse modalità di esposizione e diverse sostanze:

$$R_T = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n R_{ij} \quad ; \quad HI = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n HQ_{ij} \quad (4.1.8)$$

dove  $R_T$  e  $HI$  rappresentano il Rischio cumulativo e l'Indice di Pericolo cumulativo causati dall'esposizione contemporanea alle  $n$  sostanze inquinanti per tutte le  $m$  modalità di esposizione.



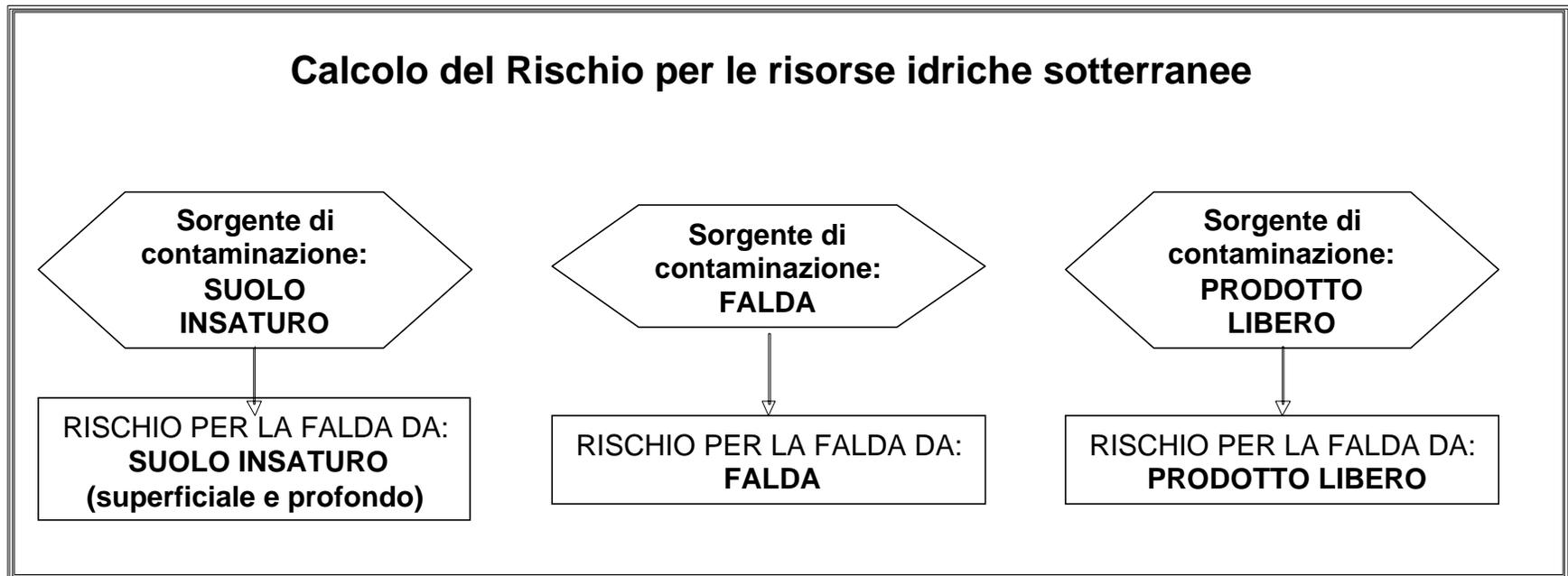
## Rischio per la risorsa idrica sotterranea

Il rischio per la risorsa idrica sotterranea si calcola ponendo a confronto il valore di concentrazione del contaminante in falda ( $C_{GW}$ ) con il più conservativo tra i valori di concentrazione limite della falda ( $CL_{GW}$ ) previste dal D.M. 471/99 e quelli per le acque per uso umano previste dal D Lgs. 31/2001, in corrispondenza del punto di conformità.. Il punto di conformità deve essere posto coincidente con il più vicino pozzo ad uso idropotabile o, qualora all'interno del sito non siano presenti pozzi ad uso idropotabile, deve essere posto in corrispondenza del limite di proprietà dell'area o, nel caso di siti di grandi dimensioni, in corrispondenza del confine della singola subarea. Il rapporto tra la concentrazione del contaminante in falda ( $C_{GW}$ ) e la concentrazione limite prevista dalla normativa ( $CL_{GW}$ ) definisce numericamente il rischio per la risorsa idrica sotterranea ( $R_{GW}$ ) e per essere accettabile deve assumere valori pari o inferiori all'unità:

$$R_{GW} = C_{GW}/CL_{GW}$$

$$R_{GW}(\text{accettabile}) \leq 1$$

## Rischio per la risorsa idrica sotterranea



## Criteria di accettabilità del rischio

RECIETTORE	SORGENTE DI CONTAMINAZIONE	MODALITA' DI ESPOSIZIONE	RISCHIO CUMULATIVO (*)	RISCHIO CUMULATIVO accettabile (*)	INDICE DI PERICOLO CUMULATIVO accettabile (*)	RISCHIO CUMULATIVO TOTALE accettabile	INDICE DI PERICOLO CUMULATIVO TOTALE accettabile
UOMO	SUOLO SUPERFICIALE (Esposizione DIRETTA)	Ingestione di suolo superficiale	Rischio per la salute umana da Suolo Superficiale (Esposizione DIRETTA) $R_{SS-ED}$	1,00E-06	1,00E+00	1,00E-06	1,00E-00
		Contatto dermico con suolo superficiale					
	SUOLO SUPERFICIALE (Esposizione INDIRETTA)	Inalazione di vapori e polveri outdoor	Rischio per la salute umana da Suolo Superficiale (Esposizione INDIRETTA) $R_{SS-EI}$	1,00E-06	1,00E+00		
		Inalazione di vapori e polveri indoor					
	SUOLO PROFONDO	Inalazione di vapori indoor e outdoor	Rischio per la salute umana da Suolo Profondo - $R_{SP}$	1,00E-06	1,00E+00		
FALDA	Inalazione di vapori indoor e outdoor	Rischio per la salute umana da Falda - $R_{GW}$	1,00E-06	1,00E+00			
PRODOTTO LIBERO	Inalazione di vapori indoor e outdoor	Rischio per la salute umana da Prodotto Libero - $R_{PL}$	1,00E-06	1,00E+00			
RISORSA IDRICA SOTTERRANEA	SUOLO INSATURO	---	Rischio per la risorsa idrica sotterranea da Suolo Insaturo - $R'_S$	1,00E+00		1,00E-00	
	FALDA		Rischio per la risorsa idrica sotterranea da Falda - $R'_{GW}$	1,00E+00			
	PRODOTTO LIBERO		Rischio per la risorsa idrica sotterranea da Prodotto Libero - $R'_{PL}$	1,00E+00			
RISORSA IDRICA SUPERFICIALE	SUOLO INSATURO	---	Rischio per la risorsa idrica superficiale da Suolo Insaturo - $R''_S$	1,00E+00		1,00E-00	
	FALDA		Rischio per la risorsa idrica superficiale da Falda - $R''_{GW}$	1,00E+00			
	PRODOTTO LIBERO		Rischio per la risorsa idrica superficiale da Prodotto Libero - $R''_{PL}$	1,00E+00			

(\*) differenziato per sorgente di contaminazione e via di esposizione

Successivamente alla pubblicazione di tale documento ed a seguito di una richiesta chiarificatrice da parte del MATT (Dic 2005); APAT, ISS, ISPEL e ICRAM, al fine di evitare potenziali incongruenze con i limiti imposti dal DM 471/99, hanno unanimemente proposto di adottare come soglia di accettabilità del rischio per la salute umana un valore pari rispettivamente a  $10^{-6}$  nel caso di rischio individuale e  $10^{-5}$  nel caso di rischio cumulativo.