

# Criteri di Calcolo del Rischio e degli Obiettivi di Bonifica Sito Specifici

**Laura D'Aprile**

ISPRA



## Rischio Individuale e Rischio Cumulato

### – Obiettivo dell'AdR

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

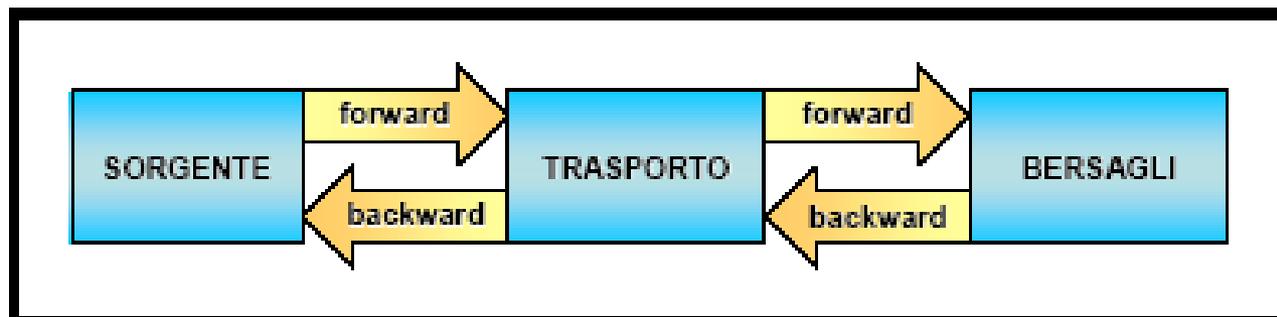
- stimare quantitativamente il rischio per la salute umana connesso ad uno specifico sito, in termini di valutazione delle conseguenze legate alla sua situazione qualitativa;
- individuare dei valori di concentrazione accettabili nel suolo e nella falda vincolati alle condizioni specifiche del singolo sito.

# Rischio Individuale e Rischio Cumulato

## Obiettivo dell'AdR

I due distinti risultati derivano dalla applicazione della procedura secondo due distinte modalità:

1. La modalità diretta (forward mode);
2. La modalità inversa (backward mode).





## Rischio Individuale e Rischio Cumulato

### – Principi della Procedura

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;



## Rischio Individuale e Rischio Cumulato

### – Principi della Procedura

- 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.



# Rischio Individuale e Rischio Cumulato

## Stima del Rischio

Il rischio per la salute umana viene differenziato tra individuale e cumulativo. Si definisce:

**Rischio e indice di pericolo individuale (R e HQ)**: rischio dovuto ad un singolo contaminante per una o più vie d'esposizione.

**Rischio e indice di pericolo cumulativo ( $R_{TOT}$  e  $HQ_{TOT}$ )**: rischio dovuto alla cumolazione degli effetti di più sostanze per una o più vie d'esposizione.



## Calcolo del Rischio

### Rischio Individuale

Il Rischio per la salute umana si definisce **INDIVIDUALE** quando è associato ad una singola specie chimica inquinante e ad una o più modalità di esposizione.

## Calcolo del Rischio

### Rischio Individuale

HQ = Hazard quotient (indice di pericolo)

E = Esposizione Cronica [mg/kg-giorno]

RfD = Reference Dose [mg/kg-giorno]

$$HQ = \frac{E}{RfD}$$

$$R = E \times SF$$

R = Rischio incrementale di tumore

E = Esposizione Cronica [mg/kg-giorno]

SF = Slope Factor [kg-giorno/mg]

## Calcolo del Rischio

### Rischio Cumulativo

Il Rischio cumulativo per la salute umana è associato alla esposizione più specie chimiche inquinanti attraverso una o più modalità di esposizione:

$$R_T = \sum_{i=1}^n R_i \quad ; \quad HQ_T = \sum_{i=1}^n HQ_i$$

dove  $R_T$  e  $HQ_T$  rappresentano il Rischio cancerogeno cumulativo e l'Indice di Pericolo cumulativo.

## Calcolo del Rischio

### **Criteria di calcolo del rischio dovuto a più vie di esposizione**

Criterio di cumulazione delle concentrazioni individuali dovute a più vie d'esposizione: approccio simile a quello adottato nel documento Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites [ASTM ,1995].

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

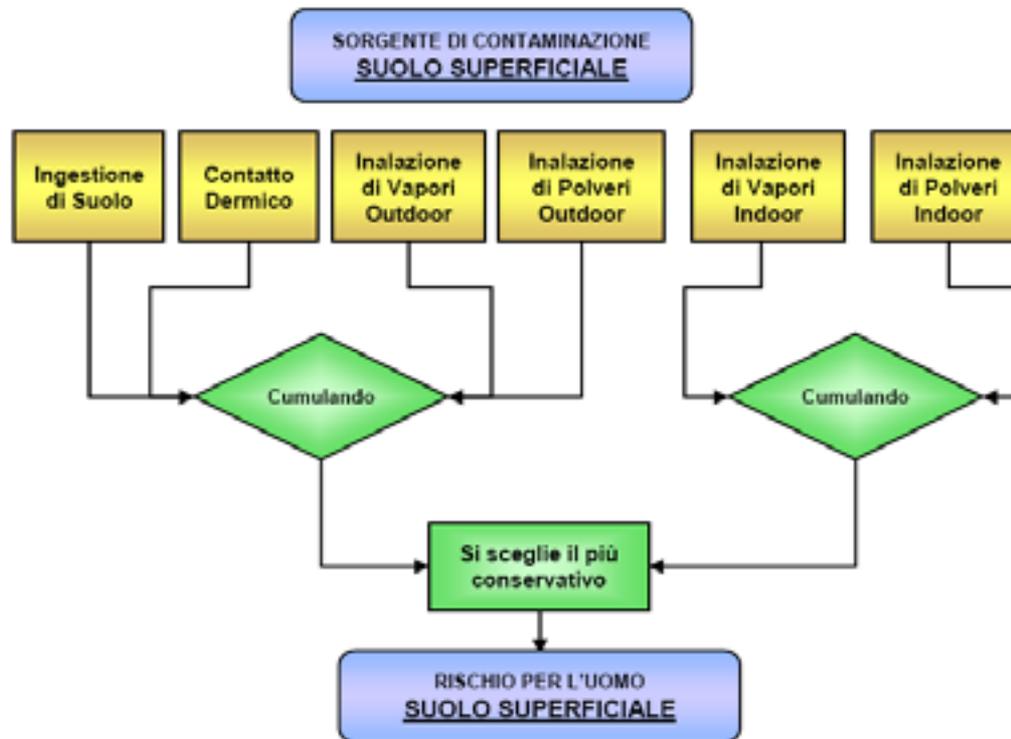
## Criteri di Cumulazione

### Suolo Superficiale

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

# Criteri di Cumulazione

## Suolo Superficiale





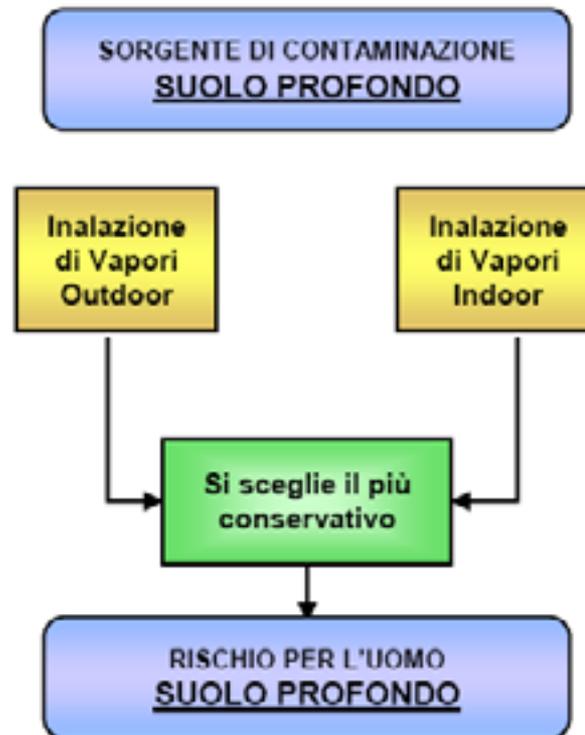
## Criteri di Cumulazione

### Suolo Profondo

Per il **suolo profondo** il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor) e il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor).

## Criteri di Cumulazione

### Suolo Profondo





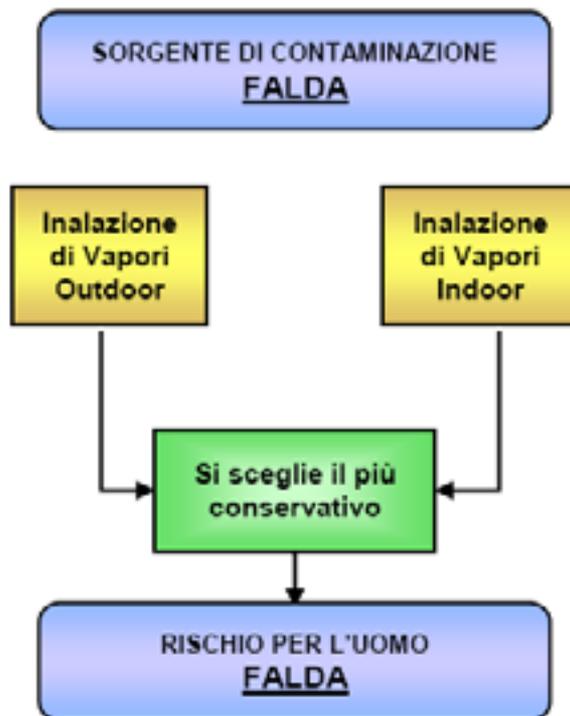
## Criteri di Cumulazione

### Falda

Per la **falda** il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor) e il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor).

## Criteri di Cumulazione

### Falda



## Rischio per la risorsa idrica

### Definizione

Si definisce Rischio per la risorsa idrica il rapporto tra la concentrazione in falda del generico inquinante misurata al punto di conformità e la corrispondente CSC.

$$R_{GW} = \frac{C_{POE}^{GW}}{CSC_{GW}}$$

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

## Rischio per la risorsa idrica

### Definizione

Il punto di conformità è definito come il punto “teorico” o “reale” di valle idrologico in corrispondenza del quale l’Ente di Controllo deve richiedere il rispetto degli obiettivi di qualità delle acque sotterranee.

Tale punto deve essere posto coincidente con il più vicino pozzo ad uso idropotabile o, qualora all’interno del sito non siano presenti pozzi ad uso idropotabile, in corrispondenza del limite di proprietà dell’area, o nel caso di siti di grandi dimensioni, in corrispondenza dei limiti della subarea.

## Rischio per la risorsa idrica

### Procedura di calcolo

Il calcolo del rischio per la risorsa idrica si differenzia in funzione della possibile sorgente di contaminazione e le stime di rischio non vengono cumulate.



## Calcolo del Rischio

### Criteri di accettabilità del rischio

Ai fini della stesura del presente manuale, così come proposto da ISS e riportato nel DLgs 04/08, i valori di rischio considerati tollerabili per le sostanze cancerogene sono:

sostanze cancerogene:  $TR = 10^{-6}$  (valore di rischio individuale)

sostanze cancerogene  $TR_{CUM} = 10^{-5}$  (valore di rischio cumulativo)



## Calcolo del Rischio

### Criteri di accettabilità del rischio

(....)

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



# **Criteri di Calcolo degli Obiettivi di Bonifica Sito-Specifici**

## Obiettivi di Bonifica

### Calcolo degli Obiettivi Sito-Specifici

L'applicazione della procedura di analisi assoluta di rischio secondo la modalità inversa (*backward mode*) permette il calcolo per ogni specie chimica contaminate degli obiettivi di bonifica sito-specifici per ciascuna sorgente di contaminazione, ossia del valore di concentrazione massimo ammissibile, in corrispondenza ad ogni sorgente secondaria di contaminazione (Concentrazione Soglia di Rischio, CSR), compatibile con il livello di rischio ritenuto tollerabile per il recettore esposto.



# Obiettivi di Bonifica

## Calcolo degli Obiettivi Sito-Specifici

È opportuno sottolineare che le concentrazioni rappresentative alla sorgente (CRS) per il suolo sono espresse in riferimento al peso secco, mentre i valori delle concentrazioni soglia di rischio (CSR), derivanti dall'applicazione delle procedura, sono da riferirsi al tal quale.

Quindi per confrontare le CSR con le CSC tabellari o con i valori di concentrazioni sito-specifici è necessario effettuare una conversione.



## Obiettivi di Bonifica

### Calcolo dell'Esposizione Accettabile

Il primo step per il calcolo degli obiettivi sito-specifici consiste nel calcolo dell'esposizione accettabile.

Questa è il rapporto tra il rischio ritenuto accettabile e la tossicità dell'inquinante.

$$E_{acc} = \frac{TR}{SF} \text{ sostanze cancerogene}$$

$$E_{acc} = THQ \cdot RfD \text{ sostanze non cancerogene (tossiche)}$$

## Obiettivi di Bonifica

### Calcolo della Concentrazione al Punto di Esposizione

Definita l'esposizione accettabile è possibile ricavare la concentrazione accettabile nel punto di esposizione ( $C_{poe}$ ) mediante l'applicazione dell'equazione:

$$C_{poe,acc} = \frac{E_{acc}}{EM}$$

EM è la portata effettiva di esposizione.

## Obiettivi di Bonifica

### Modalità di Esposizione per tipo di Sorgente

Tabella 4.1 – Modalità di esposizione per ciascuna sorgente di contaminazione

SORGENTE DI CONTAMINAZIONE	TIPO DI ESPOSIZIONE
SUOLO SUPERFICIALE	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contatto dermico</li><li>• Ingestione di suolo</li><li>• Inalazione di vapori outdoor e indoor</li><li>• Inalazione di polveri outdoor e indoor</li></ul>
SUOLO PROFONDO	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inalazione di vapori outdoor e indoor</li></ul>
FALDA(*)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inalazione di vapori outdoor e indoor</li></ul>

(\*) Per la falda la  $C_{poe, acc}$  deve essere necessariamente posta pari alla corrispondente CSC o al corrispondente limite proposto da ISS.



## Obiettivi di Bonifica

### Calcolo degli Obiettivi di Bonifica

Stabilita l'esposizione accettabile e la concentrazione nel punto di esposizione è quindi possibile individuare il valore dell'obiettivo di bonifica nella matrice ambientale sorgente di contaminazione (Concentrazione Soglia di Rischio, CSR) a mezzo della seguente relazione:

$$CSR = \frac{C_{poe,acc}}{FT}$$

## Obiettivi di Bonifica

### Calcolo degli Obiettivi di Bonifica

Unendo le formule dei tre step della procedura illustrata si può arrivare a definire la concentrazione soglia di rischio (CSR) come:

$$CSR = \frac{C_{\text{pos,acc}}}{FT} = \frac{E_{\text{acc}}}{EM \cdot FT} = \frac{TR}{SF \cdot EM \cdot FT}$$

per sostanze cancerogene

$$CSR = \frac{C_{\text{pos,acc}}}{FT} = \frac{E_{\text{acc}}}{EM \cdot FT} = \frac{THQ \cdot RfD}{EM \cdot FT}$$

per sostanze non cancerogene

## Obiettivi di Bonifica

Tabella 4.4 – Formule per il calcolo delle CSR per singole vie d'esposizione per sostanze cancerogene per l'ambito residenziale e ricreativo (rischio per l'uomo)

CSR PER IL RICETTORE UMANO – SOSTANZE CANCEROGENE AMBITO RESIDENZIALE E RICREATIVO		
SORGENTE	TIPO DI ESPOSIZIONE	ON-SITE <sup>(*)</sup> E OFF-SITE
SUOLO SUPERFICIALE	Ingestione suolo	$CSR_{IngestioneSuolo} \left[ \frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{ing} \cdot 10^{-6} \cdot \frac{kg}{mg} \cdot EM_{ingSuolo}}$
	Contatto dermico	$CSR_{ContattoDermico} \left[ \frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{ing} \cdot 10^{-6} \cdot \frac{kg}{mg} \cdot EM_{ContDerm}}$
	Inalazione di vapori outdoor	$CSR_{InalazioneVaporiOutdoor} \left[ \frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InalOutdoor} \cdot VF_{Ina} \cdot ADF}$
	Inalazione di vapori indoor	$CSR_{InalazioneVaporiIndoor} \left[ \frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InalIndoor} \cdot VF_{Ina} \cdot ADF}$
	Inalazione particolato outdoor	$CSR_{InalazioneParticolatoOutdoor} \left[ \frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InalOutdoor} \cdot PEF \cdot ADF}$
SUOLO PROFONDO	Inalazione di vapori outdoor	$CSR_{InalazioneVaporiOutdoor} \left[ \frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot VF_{Ina} \cdot EM_{InalOutdoor} \cdot ADF}$
	Inalazione di vapori indoor	$CSR_{InalazioneVaporiIndoor} \left[ \frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot VF_{Ina} \cdot EM_{InalIndoor} \cdot ADF}$
FALDA	Inalazione di vapori indoor	$CSR_{InalazioneVaporiIndoor} \left[ \frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InalIndoor} \cdot VF_{Ina} \cdot ADF}$
	Inalazione di vapori outdoor	$CSR_{InalazioneVaporiOutdoor} \left[ \frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InalOutdoor} \cdot VF_{Ina} \cdot ADF}$

# Obiettivi di Bonifica

Tabella 4.8 - Formule per il calcolo delle CSR a protezione della risorsa idrica sotterranea

CSR PER LA PROTEZIONE DELLA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA			
RICETTORE	SORGENTE	VIA DI MIGRAZIONE	ON-SITE <sup>(*)</sup> E OFF-SITE
RISORSA IDRICA SOTTERRANEA	SUOLO SUPERFICIALE	Lisciviazione in falda	$CSR_{SuoloSupL.F} \left[ \frac{mg}{kg \cdot suolo} \right] = \frac{CSC_{Falda} \times DAF}{LF_{ss}} \times 10^{-3} \frac{mg}{kg}$
	SUOLO PROFONDO	Lisciviazione in falda	$CSR_{SuoloProfL.F} \left[ \frac{mg}{kg \cdot suolo} \right] = \frac{CSC_{Falda} \times DAF}{LF_{sp}} \times 10^{-3} \frac{mg}{kg}$
	FALDA	Trasporto in falda	$CSR_{FaldaInqV} \left[ \frac{mg}{L-H_2O} \right] = CSC_{Falda} \times DAF \times 10^{-3} \frac{mg}{kg}$

(\*) per ricettori on-site si assume DAF=1



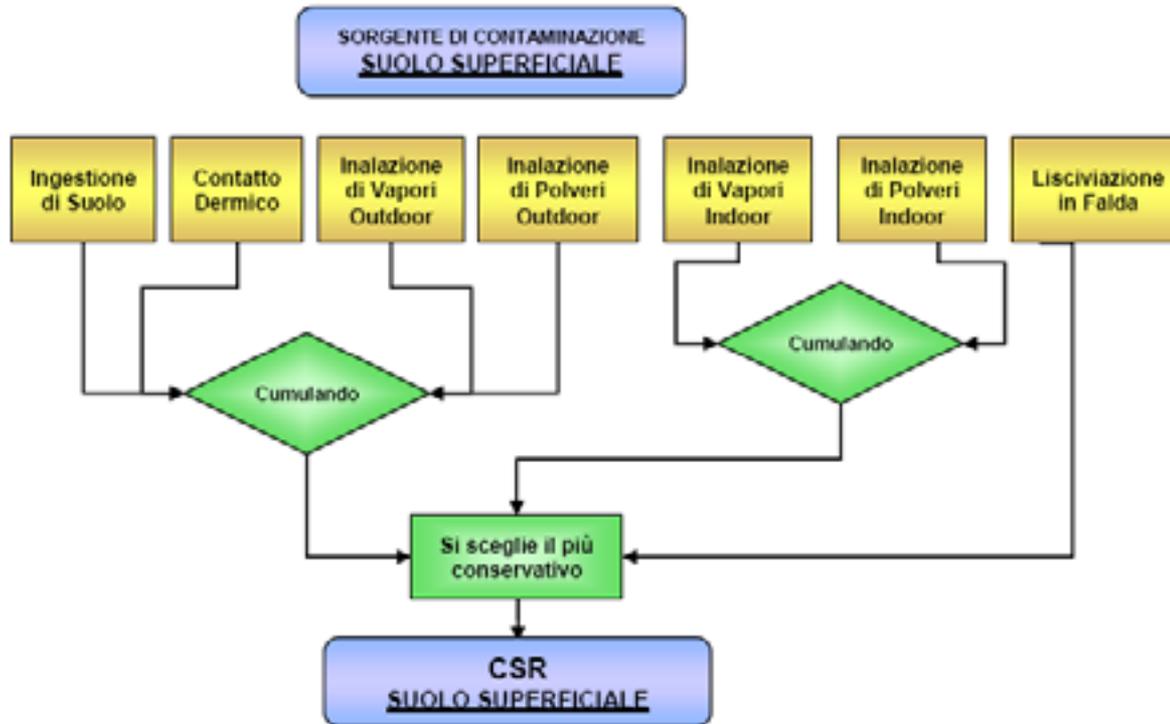
## CSR per più vie di Esposizione

### Suolo Superficiale

Per il **suolo superficiale** la concentrazione soglia di rischio viene stimata scegliendo il valore più conservativo tra le CSR derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor), le CSR derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor) e le CSR per lisciviazione da suolo superficiale in falda

# CSR per più vie di Esposizione

## Suolo Superficiale



## CSR per più vie di Esposizione

### Suolo Profondo

Per il **suolo profondo** la concentrazione soglia di rischio viene stimata scegliendo il valore più conservativo tra le CSR derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor), le CSR derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor) e le CSR per lisciviazione da suolo profondo in falda.



# CSR per più vie di Esposizione

**Suolo Profondo**

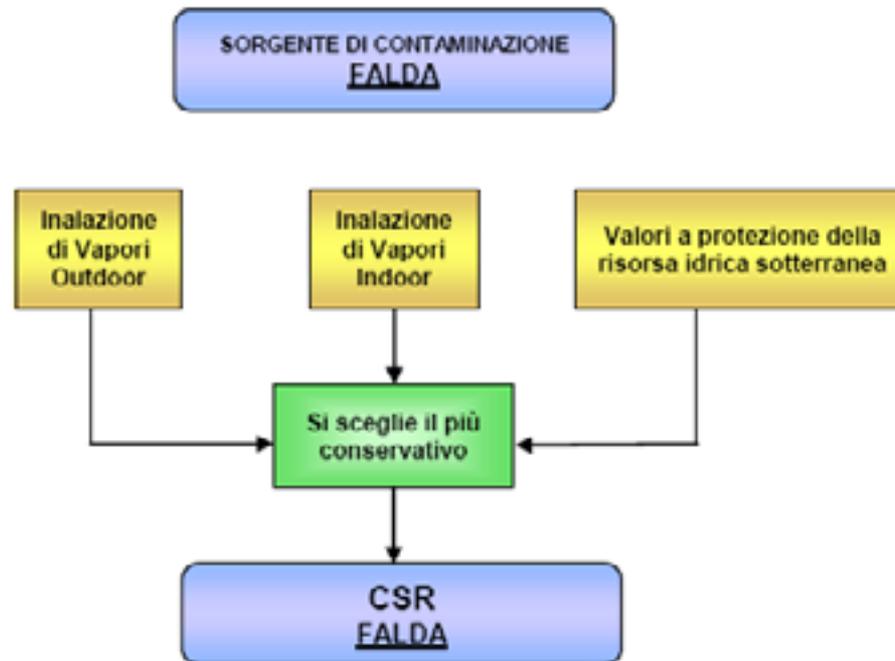
## CSR per più vie di Esposizione

### Falda

Per la **falda** la concentrazione soglia di rischio viene stimata scegliendo il valore più conservativo tra le CSR derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor), le CSR derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor) e le CSR a protezione della risorsa idrica sotterranea (obiettivi di qualità ai sensi del Dlgs 30/2009 o CSC)

# CSR per più vie di Esposizione

## Falda



# CSR per più vie di Esposizione

## Considerazioni

Tale approccio tecnico, che è stato condiviso dai componenti del gruppo di lavoro per la revisione 1 dei "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", e che è conforme a quanto riportato nel Dlgs 04/08, è scaturito dalle seguenti considerazioni.

L'applicazione dell'analisi di rischio sanitario-ambientale (rischio per l'uomo) per il calcolo degli obiettivi di bonifica relativi alle acque sotterranee potrebbe risultare in contrasto con il perseguimento degli obiettivi di qualità stabiliti dalla Direttiva 2000/60, in quanto l'assunzione di CSR per le acque sotterranee potrebbe comportare l'ammissione di aree con acque di qualità non conforme con il principio di multifunzionalità, anche al di fuori del sito contaminato.

Si demanda comunque agli Enti di Controllo competenti la verifica con i Piani di Tutela Regionali anche effettuando valutazioni diverse sulla base delle conoscenze specifiche e delle informazioni disponibili, secondo il principio di cautela.

# CSR per più vie di Esposizione

AMBITO RESIDENZIALE - RICETTORI ON-SITE <sup>(s)</sup> E OFF-SITE	
SUOLO SUPERFICIALE	SOSTANZE NON CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)
	$CSR_{\text{suolo}} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{anno}} \right] = \frac{THQ}{\frac{(EM_{\text{ing}} + EM_{\text{inhal}}) \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mg}}}{RfD_{\text{ing}}} + \frac{EM_{\text{inhal}}(VF_{\text{in}} + PEF)}{RfD_{\text{in}}}} \cdot ADF$
	$CSR_{\text{suolo}} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{anno}} \right] = \frac{THQ \cdot RfD_{\text{in}}}{EM_{\text{inhal}} \cdot (VF_{\text{in}} + PEF) \cdot ADF}$
	$CSR_{\text{suolo}} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{anno}} \right] = \frac{CSC_{\text{valle}} \cdot DAF}{LF_{\text{in}}} \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{kg}}$
	SOSTANZE CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)
	$CSR_{\text{suolo}} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{anno}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{ing}} \cdot (EM_{\text{ing}} + EM_{\text{inhal}}) \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mg}} + [SF_{\text{in}} \cdot EM_{\text{inhal}}(VF_{\text{in}} + PEF)] \cdot ADF}$
$CSR_{\text{suolo}} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{anno}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{in}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot (VF_{\text{in}} + PEF) \cdot ADF}$	
$CSR_{\text{suolo}} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{anno}} \right] = \frac{CSC_{\text{valle}} \cdot DAF}{LF_{\text{in}}} \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{kg}}$	

## CSR per Additività di Sostanze

### Calcolo degli Obiettivi

Le CSR individuali calcolate non rispettano necessariamente la condizione di rischio cumulativo tollerabile. Ad esempio, la presenza di più contaminanti ciascuno caratterizzato da una CSR individuale che determina un  $HQ=1$ , fornirebbe un rischio cumulato non accettabile ( $HQ_{CUM}>1$ ).

In questi casi è necessario tenere conto degli effetti di cumulazione del rischio, riducendo ulteriormente le concentrazioni delle specie presenti rispetto ai valori definiti dalle CSR individuali

## CSR per Additività di Sostanze

### Calcolo degli Obiettivi

Tale riduzione, a giudizio degli Enti di Controllo e sulla base delle suddette indicazioni, potrà essere estesa a tutti i contaminanti presenti, adottando le seguenti equazioni:

$$CSR_{CUM} = CSR \frac{TR_{CUM}}{TR_{IND}^{TOT}}$$

$$CSR_{CUM} = CSR \frac{HQ_{CUM}}{HQ_{IND}^{TOT}}$$

# CSR per Additività di Sostanze

## Calcolo degli Obiettivi

$$CSR_{CUM} = CSR \frac{TR_{CUM}}{TR_{IND}^{TOT}}$$

$CSR$  = Concentrazione soglia di rischio individuale del generico inquinante;

$TR_{CUM}$  = Target risk per più sostanze ovvero il rischio individuale accettabile ( $TR_{CUM}=10^{-5}$ )

$TR_{IND}^{TOT}$  = Rischio cumulativo risultante dai contaminanti presenti nel sito in concentrazione pari alla CSR individuale.

$$TR_{IND}^{TOT} = \sum SF \cdot EM \cdot FT \cdot CSR$$

## CSR per Additività di Sostanze

### Calcolo degli Obiettivi

$$CSR_{CUM} = CSR \frac{HQ_{CUM}}{HQ_{IND}^{TOT}}$$

$CSR$  = Concentrazione soglia di rischio individuale del generico inquinante;

$HQ_{CUM}$  = Hazard quotient per esposizione a più sostanze

$HQ_{IND}^{TOT}$  = Rischio cumulativo risultante dai contaminanti presenti nel sito in concentrazione pari alla CSR individuale.

$$HQ_{IND}^{TOT} = \dot{a} \frac{EM \times FT \times CSR}{RfD}$$



	<i>RBCA Tool Kit</i> v.2.0	<i>BP-RISC v.4.0</i> (Livello 1)	<i>ROME</i> v.2.1	<i>GIUDITTA</i> v.3.1
<i>Fattore di lisciviazione (LF)</i>	ALTA	MEDIA	MEDIA	ALTA
<i>Fattore di attenuazione laterale in falda (DAF)</i>	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
<i>Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo superficiale (VF<sub>ss</sub>)</i>	ALTA	ALTA	MEDIO/BASSA	ALTA
<i>Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo profondo (VF<sub>Samb</sub>)</i>	ALTA	MEDIA	MEDIO/BASSA	ALTA
<i>Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da falda (VF<sub>wamb</sub>)</i>	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
<i>Fattore di emissione di particolato outdoor da suolo superficiale (PEF)</i>	ALTA	ALTA	MEDIA	ALTA
<i>Fattore di emissione di particolato indoor da suolo superficiale (PEF<sub>in</sub>)</i>	-	-	MEDIA	MEDIA
<i>Fattore di dispersione in atmosfera (ADF)</i>	ALTA	ALTA	-	-
<i>Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da suolo (VF<sub>seps</sub>)</i>	MEDIO/ALTA	MEDIO/BASSA	MEDIO/BASSA	MEDIO/ALTA
<i>Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da falda (VF<sub>wesp</sub>)</i>	MEDIO/ALTA	ALTA	ALTA	MEDIO/ALTA



# **PROBLEMATICHE RELATIVE AL “VAPOR INTRUSION” E AI RELATIVI MONITORAGGI**

### 3.3 **Fattori di trasporto**

Si evidenzia che le equazioni per il **calcolo dei fattori di volatilizzazione, in ambienti aperti (outdoor) e chiusi (indoor)** rappresentano la capacità attuale di descrizione matematica dei fenomeni nell'ambito di applicazione di un Livello 2 di Analisi di Rischio. Laddove l'applicazione di tali equazioni determini un valore di rischio non accettabile per la via di esposizione inalazione di vapori outdoor e/o indoor, dovranno essere eventualmente previste campagne di indagini (misure di soil-gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) allo scopo di verificare i risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello di analisi di rischio; il piano delle indagini e dei monitoraggi dovrà essere concordato con le Autorità di Controllo. Tale approccio risulta in accordo con le più recenti indicazioni tecnico-scientifiche elaborate da organismi di controllo statunitensi sulla base di una consolidata esperienza applicativa. Tra i documenti di riferimento è opportuno citare il riferimento CalEPA (2005).

*CalEPA (2005), Guidance for the evaluation and mitigation of subsurface vapour intrusion to indoor air, Department of Toxic Substances Control, California Environmental Protection Agency, USA.*

## APPENDICE S (APAT, 2008)

### ü S.1 – INTRODUZIONE

### üS.2 - LINEE-GUIDA E DOCUMENTI TECNICI SVILUPPATI NEGLI U.S.A

### üS.3 - VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE PROFESSIONALE

### üS.4 - I TLVs DELL'ACGIH

### üS.5 - UTILIZZO DI VALORI DI TLV/TWA NELL'ANALISI DI RISCHIO SANITARIOAMBIENTALE

### üS.6 - MODALITA' DI MISURA DELLE CONCENTRAZIONI DI INQUINANTI NEGLI AMBIENTI INDOOR

APPENDICE S

Intrusione di vapori nei luoghi di lavoro.

#### **APPENDICE S**

#### **INTRUSIONE DI VAPORI NEI LUOGHI DI LAVORO**

##### **S.1. INTRODUZIONE**

Al paragrafo 3.3 (Fumari di trasporto) del presente manuale è riportato:

*"Si evidenzia che le equazioni per il calcolo dei fattori di volatilizzazione, in ambienti aperti (outdoor) e chiusi (indoor) rappresentano la capacità attuale di descrizione sistematica dei fenomeni nell'ambito di applicazione di un Livello 2 di Analisi di Rischio. Laddove l'applicazione di tali equazioni denoterebbe un valore di rischio non accettabile per la via di esposizione inalazione di vapori outdoor e/o indoor, dovranno essere eventualmente previste campagne di indagini (misure di soil-gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) allo scopo di verificare i risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello di analisi di rischio; il piano delle indagini e dei monitoraggi dovrà essere concordato con le Autorità di Controllo. Tale approccio risulta in accordo con le più recenti indicazioni tecnico-scientifiche elaborate da organismi di controllo statunitensi sulla base di una consolidata esperienza applicativa."*

La presente appendice riporta i principali riferimenti bibliografici internazionali inerenti la valutazione del fenomeno dell'intrusione di vapori nei siti contaminati nei luoghi di lavoro, descrive le modalità di valutazione dell'esposizione professionale in siti industriali interessati da fenomeni di contaminazione e i metodi di misura delle concentrazioni di contaminanti nell'aria indoor e outdoor.

Il fenomeno dell'intrusione di vapori può essere definito come la migrazione di sostanze chimiche volatili dal sottosuolo agli edifici sovrastanti (USEPA 2002)

## Aree Residenziali /Aree Industriali

Contaminante	C / NC	Valori di Screening Generici dell'EPA(ppb)	OSHA PEL TWA (ppb)	ACGIH TLV/TWA (ppb)
Tetracloroetilene	C	12	100,000	25,000
Tricloroetilene	C	0.41	100,000	50,000
Cloruro di Vinile	C	11	100,000	5,000
Benzene	C	9.8	10,000	500
Tetracloruro di Carbonio	C	2.6	10,000	5,000
Cloroformio	C	2.2	--	10,000
1,1,1-Tricloroetano	NC	400	350,000	350,000
1,2-Dicloroetilene (cis)	NC	8.8	200,000	200,000
1,2-Dicloroetilene (trans)	NC	18	200,000	200,000
Naftalene	NC	0.57	10,000	10,000

Da R. De Mott, 2006

I Valori Limite Indoor Industriali (VLin(IND)) sono stati calcolati applicando la procedura di analisi di rischio riportata nel presente manuale in modalità *backward*, per cui:

per effetti cancerogeni 
$$VL_{in}(IND) = \frac{TR}{EM \cdot SF}$$

per effetti tossici 
$$VL_{in}(IND) = \frac{HQ \cdot RfD}{EM}$$

dove:

- TR [adim.] e HQ [adim.] rappresentano rispettivamente i valori di accettabilità del rischio e dell'indice di pericolo individuale e per essi sono stati assunti i valori pari a  $10^{-6}$  e 1 (paragrafo 4.4);
- SF [mg/kg-giorno]<sup>-1</sup> e RfD [mg/kg-giorno] sono rispettivamente i parametri tossicologici delle specie chimiche in esame;
- EM [m<sup>3</sup>/kg-giorno] rappresenta la portata effettiva di esposizione, ossia la quantità di aria inalata in ambienti confinati per unità di peso corporeo al giorno, per il calcolo di EM si è fatto riferimento a quanto contenuto nel paragrafo 3.4.2 del presente documento. Si precisa che il tasso di inalazione assunto è quello proposto come default nel caso di inalazione indoor. (Bi = 0,9 m<sup>3</sup>/ora).

E' evidente, dalla analisi delle equazioni sopra riportate, che i Valori Limite così identificati siano validi sia nel caso di inalazione di vapori che nel caso di inalazione di polveri.

## APPENDICE S: Calcolo dei Valori Limite Indoor (IND)

**Tabella 4 (1/3) - AMBIENTI DI LAVORO - Valori limite stabiliti dal D.M. 26/02/2004, TLV-TWA dell'ACGIH e valori limite derivati dalla procedura di analisi di rischio**

Specie chimiche	Numero CAS	D.M. 26/02/2004 (mg/mc)	TLV-TWA (mg/mc)	VLin(IND) Cancerogeno (mg/mc)	VLin(IND) Tossico (mg/mc)
<b>Composti inorganici</b>					
Alluminio e composti (come Al)	7429-90-3	-	2,00E+00	-	2,03E-02
Antimonio e composti (come Sb)	7440-36-0	-	5,00E-01	-	5,69E-03
Argento metallo	7440-33-4	1,00E-01	1,00E-02	-	7,10E-02
Arsenio e composti inorganici (come As)	7440-35-2	-	1,50E-02	2,65E-06	4,26E-03
Berillio e composti (come Be)	7440-41-7	-	2,00E-02	4,73E-06	5,09E-05
Boro	7440-42-8	-	2,00E+00	-	8,11E-02
Cadmio composti (come Cd)	7440-43-9	-	2,00E-03	6,31E-06	8,09E-04
Ciururi (stcn)	57-12-5	-	-	-	2,84E-01
Cobalto e composti inorganici (come Co)	7440-48-4	-	2,00E-02	4,06E-06	8,11E-05
Cromo totale	024-017-00-6 <sup>1)</sup>	-	5,00E-04	-	2,13E+01
Cromo VI	10340-28-9 <sup>2)</sup>	-	1,00E-02	9,46E-07	4,26E-04
Ferro	7439-89-6	-	2,30E-01	-	-
Fluoruri (come F)	-	2,50E+00	1,90E+00	-	-
Manganese elemento e composti inorganici (come Mn)	7439-96-5	-	1,00E-01	-	2,03E-04
Mercurio (come Hg)	7439-97-6	-	1,00E-02	-	1,22E-03
Nichel	7440-50-0	-	1,00E-01	4,73E-06	2,84E-01
Piombo elemento e composti inorganici (come Pb)	7439-92-1	1,50E-01	8,00E-02	-	4,97E-01
Piombo Tetraetile (come Pb)	78-02-2	-	1,00E-01	-	1,42E-06
Rame	7440-50-8	-	2,00E-01	-	5,69E-01
Selenio e composti (come Se)	7783-46-3	-	2,50E-01	-	7,16E-03
Stagno metallo	7440-31-3	-	2,00E+00	-	8,52E+00
Talio elemento e composti solubili (come Tl)	7440-28-0	-	1,00E-01	-	1,14E-03
Vanadio	7440-52-2	-	8,00E-02	-	9,94E-02
Zinco	7440-66-6	-	-	-	4,26E+00
Nitriti	-	-	-	-	1,42E+00
Solfati	-	-	-	-	-
<b>Aromatici</b>					
Benzene (Benzolo)	71-43-2	-	1,60E+00	1,37E-03	1,21E-01
Etilbenzene	100-41-4	4,42E+02	4,34E+02	-	4,05E+00
Stirene monomero (Vinil benzene)	100-42-5	-	8,50E+01	-	4,05E+00
Toluene (Toluolo)	105-55-3	-	1,80E+02	-	1,62E+00
m-Xilene	105-38-3	2,21E+02	4,34E+02	-	2,84E+00
o-Xilene	95-47-5	2,21E+02	4,34E+02	-	2,84E+00
p-Xilene	105-42-3	2,21E+02	4,34E+02	-	2,84E+00
Xileni	1330-20-7	2,21E+02	4,34E+02	-	2,84E+00
<b>Aromatici policiclici</b>					
Benzo(a)antracene	56-55-3	-	-	6,62E-06	4,05E+00
Benzo(a)pirene	50-32-6	-	-	5,43E-06	4,45E+01
Benzo(b)fluorantene	205-99-2	-	-	6,52E-06	4,05E+00
Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2	-	-	-	4,26E-01
Benzo(k)fluorantene	207-08-9	-	-	1,26E-03	4,05E-01
Crisene	215-01-6	-	-	6,52E-03	4,26E-01
Dibenzo(a,e)pirene	192-65-4	-	-	-	-
Dibenzo(a,h)pirene	109-64-0	-	-	-	-
Dibenzo(a,i)pirene	191-30-0	-	-	-	-
Dibenzopireni	-	-	-	-	-
Dibenzo(a,h)antracene	53-70-3	-	-	5,44E-06	-
Indenopirene	193-39-5	-	-	6,62E-06	4,46E+01
Pirene	129-00-0	-	-	-	4,26E-01
Idrocarburi policiclici aromatici adsorbiti su particolato (PPAH) - Catrame e pece di carbone prodotti volatili (aerosol soluzione in Benzene)	65996-93-2	-	2,00E-01	-	-

**APPENDICE S:**  
**TLV/TWA e**  
**Valori basati**  
**su AdR (1)**

Tabella 4 (2/3) – AMBIENTI DI LAVORO - Valori limite stabiliti dal D.M. 26/02/2004, TLV-TWA dell'ACGIH e valori limite derivati dalla procedura di analisi di rischio

Specie chimiche	Numero CAS	D.M. 26/02/2004 [mg/mc]	TVL-TWA [mg/mc]	VLin(IND) Cancerogeno [mg/mc]	VLin(IND) Tossico [mg/mc]
<b>Aromatici clorurati cancerogeni</b>					
1,1,2,2-Tetracloroetano	79-34-5		6,00E+00	1,90E-04	2,81E+00
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5		6,60E+01	7,10E-04	8,00E-01
1,1-Dicloroetilene (Cloruro di vinilidene)	75-35-4		2,00E+01	2,27E-04	1,28E-01
1,2,3-Tricloropropano	96-18-4		6,00E+01	6,68E-06	8,52E-02
1,2-Dicloroetano (Dicloruro di etilene)	107-06-2		4,00E+01	4,37E-04	4,00E-02
1,2-Dicloropropano (Dicloruro di propilene)	70-07-5		-	5,84E-04	1,62E-02
Clorometano	74-07-3		-	6,31E-03	6,90E-02
Cloruro di vinile (Cloroetilene)	75-01-4		2,60E+00	1,29E-03	4,06E-01
Diclorometano (Cloruro di metilene)	75-09-2		-	2,34E-02	1,22E+01
Tetracloroetilene (PCE)	127-18-4		1,74E+02	1,99E-03	1,42E-01
Tricloroetilene	79-01-6		2,69E+02	6,52E-03	6,52E-02
Triclorometano (Cloroformio)	67-66-3	1,00E+01	4,90E+01	4,94E-04	1,99E-01
Esaclorobutadiene	67-66-3		2,10E-01	5,10E-04	2,84E-03
<b>Aromatici clorurati non cancerogeni</b>					
1,1,1-Triclorometano (Metilcloroformio)	71-55-6	5,50E+02	1,91E+03	-	4,05E+00
1,1-Dicloroetano (Cloruro di etilidene)	75-34-3	4,15E+02	4,05E+02	-	1,90E+00
cis-1,2-Dicloroetilene	156-59-2		7,93E+02	-	1,42E-01
trans-1,2-Dicloroetilene	156-60-5		7,93E+02	-	2,81E-01
1,2-dicloroetilene	540-59-0		7,93E+02	-	1,42E-01
<b>Aromatici alogenati cancerogeni</b>					
1,2-Dibromoetano (Dibromuro di etilene)	106-93-4		-	5,16E-05	3,65E-02
Bromodiclorometano	75-27-4		-	6,41E-04	2,84E-01
Dibromodiorometano	124-48-1		-	4,73E-04	2,84E-01
Tribromometano (bromoformio)	75-26-2		6,20E+00	1,03E-02	2,84E-01
<b>Nitrobenzeni</b>					
1,2-Dinitrobenzene	520-29-0		1,00E+00	-	5,60E-03
1,3-Dinitrobenzene	99-05-0		1,00E+00	-	1,42E-02
Cloronitrobenzeni	100-00-0		-	1,09E-03	-
Nitrobenzene	90-95-2		5,00E+00	-	6,09E-03
<b>Clorobenzeni</b>					
1,2,4,5-Tetraclorobenzene	90-94-3		-	-	4,20E-03
1,2,4-Triclorobenzene	120-52-1	1,51E+01	-	-	6,09E-01
1,2-Diclorobenzene (o-Diclorobenzene)	95-50-1	1,22E+02	1,50E+02	-	6,09E-01
1,4-Diclorobenzene (p-Diclorobenzene)	105-46-7	1,22E+02	6,00E+01	1,60E-03	3,25E+00
Esaclorobenzene	118-74-1		2,00E-03	2,40E-06	1,14E-02
Monoclorobenzene	108-90-7	4,70E+01	4,80E+01	-	6,52E-02
Pentaclorobenzene	618-93-5		-	-	1,14E-02
<b>Fenoli non clorurati</b>					
Fenolo	108-95-2	7,80E+00	1,90E+01	-	6,52E+00
m-Metilfenolo	108-39-4		-	-	7,10E-01
o-Metilfenolo	95-25-7		-	-	7,10E-01
p-Metilfenolo	106-44-5		-	-	7,10E-02
Metilfenoli	-		-	-	7,10E-02
<b>Fenoli clorurati</b>					
2,4,6-Triclorofenolo	88-06-2		-	3,97E-03	-
2,4-Diclorofenolo	120-83-2		-	-	4,26E-02
2-Clorofenolo	95-67-8		-	-	7,10E-02
Pentaclorofenolo	07-06-5		5,00E-01	3,31E-04	4,26E-01

APPENDICE S:  
TLV/TWA e Valori  
basati su AdR (2)

Tabella 4 (3/3) – AMBIENTI DI LAVORO - Valori limite stabiliti dal D.M. 26/02/2004, TLV-TWA dell'ACGIH e valori limite derivati dalla procedura di analisi di rischio

Specie chimiche	Numero CAS	D.M. 26/02/2004 [mg/m <sup>3</sup> ]	TLV-TWA [mg/m <sup>3</sup> ]	VLin(INI) Cancerogeno [mg/m <sup>3</sup> ]	VLin(INI) Tossico [mg/m <sup>3</sup> ]
<b>Ammine aromatiche</b>					
Anilina	63-53-3	-	7,60E+00	6,97E-03	4,26E-03
Difenilammina	123-39-4	-	1,00E+01	-	3,55E-01
m,p-Anisidina	536-90-3	-	8,00E-01	-	9,94E-02
o-Anisidina	90-06-0	-	8,00E-01	2,84E-04	8,52E-04
p-Toluidina	106-49-0	-	8,80E+00	2,09E-04	-
<b>Fitoramici</b>					
Aralop	15972-60-8	-	-	4,97E-04	1,42E-01
Alonil	309-00-2	-	2,50E-01	2,32E-06	4,26E-04
Atrazina	1912-24-9	-	8,00E+00	1,81E-04	4,97E-01
Cloridano	87-74-9	-	8,00E-01	1,14E-04	2,84E-03
DDD	72-84-8	-	-	1,66E-04	7,10E-03
DDE	72-85-9	-	-	1,17E-04	7,10E-03
DDT	50-29-3	-	1,00E+00	1,17E-04	7,10E-03
Dieldrin	60-57-1	-	2,50E-01	2,48E-06	7,10E-04
Endrin	72-20-8	-	1,00E-01	-	4,26E-03
γ-esadecloesano	312-34-6	-	-	6,21E-06	7,10E-03
β-esadecloesano	319-35-7	-	-	2,14E-06	2,04E-03
γ-esadibromocloesano (Lindano)	58-89-9	-	8,00E-01	3,06E-06	4,26E-03
<b>Diossine</b>					
2,3,7,8-TCDF <sup>1)</sup>	1745018	-	-	3,43E-10	-
1,2,3,7,8-PeCDF	40321784	-	-	-	-
1,2,3,4,7,8-HxCDF	30992908	-	-	-	-
1,2,3,6,7,8-HxCDF	87652027	-	-	-	-
1,2,3,7,8,9-HxCDF	19400743	-	-	-	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	30922469	-	-	-	-
OCDF	3260079	-	-	-	-
<b>Furani</b>					
2,3,7,8-TCDF	61207319	-	-	-	-
2,3,4,7,8-PeCDF	87117314	-	-	-	-
1,2,3,7,8-PeCDF	87117418	-	-	-	-
1,2,3,6,7,8-HxCDF	87117449	-	-	-	-
1,2,3,4,7,8-HxCDF	70849209	-	-	-	-
1,2,3,7,8,9-HxCDF	72918219	-	-	-	-
2,3,4,6,7,8-HxCDF	60881345	-	-	-	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	67562394	-	-	-	-
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	85873887	-	-	-	-
OCDF	39001020	-	-	-	-
<b>PCBs</b>					
PCB <sup>1)</sup>	1336-30-3	-	8,00E-01	1,99E-08	-
<b>Idrocarburi</b>					
Idrocarburi leggeri C=12	-	-	-	-	-
Idrocarburi pesanti C=12	-	-	-	-	-
Alifati C5-C8	-	-	-	-	8,09E-01
Aromatici C9 - C10	-	-	-	-	2,02E-01
Alifati C9 - C15	-	-	-	-	8,09E-01
Alifati C15 - C26	-	-	-	-	-
Aromatici C11 - C22	-	-	-	-	-
<b>Altre sostanze</b>					
Amianto (Fibre libere)	12001-20-4	-	-	-	-
Asbesto (tutte le forme)	1332-21-4	-	0,1 fibre/lit	-	-
Esteri dell'acido ftalico (ognuno)	-	-	-	-	-
Acilammide (ammide acrilica)	79-06-1	-	3,00E-02	8,83E-06	2,04E-03
metilano	110-54-3	-	1,76E+02	-	2,02E-01
Acido para-ftalico (acido tereftalico)	100-21-0	-	1,00E+01	-	1,42E+01
MIBP - Metil-ter-butilfenolo (Fenolo metil-ter-butilico terziario)	1634-04-4	-	1,80E+02	-	1,22E+01

APPENDICE S:  
TLV/TWA e  
Valori basati su  
AdR (3)

## APPENDICE S: Valori Limite Indoor (IND)- Osservazioni

Dalla analisi dei dati riportati in Tabella 4 emerge che:

- i “VLin(IND) Cancerogeno” risultano inferiori ai “VLin(IND) Tossico”, anche di cinque ordini di grandezza;
- i “VLin(IND) Tossico” risultano, per la maggioranza dei casi, inferiori ai valori limite stabiliti dal D.M. 26/02/2004 e ai (TLV/TWA) dell’ACGIH mediamente di due, tre ordini di grandezza.



I limiti TLV/TWA non sono, in generale, confrontabili con le concentrazioni derivate dall’applicazione modellistica, sono pertanto necessarie misure dirette (monitoraggi).

## Influenza delle condizioni climatiche

A seguito di eventi meteorici significativi i VOCs, a seguito del riempimento delle porosità del suolo da parte dell'acqua, possono essere spostati al di sotto delle fondazioni/pavimentazioni.

Pertanto i campionamenti di soil-gas (sotto le pavimentazioni o fondazioni) e di aria indoor effettuati nelle 48 ore che seguono un evento meteorico significativo, sono maggiormente rappresentativi.



## Campionamento delle acque sotterranee

- ü Verificare i dati disponibili e reperire nuove informazioni
- ü Reperire le informazioni sulle caratteristiche dell'acquifero
- ü Stabilire in modo esatto ubicazione e modalità costruttive dei pozzi
- ü Studiare i profili verticali di contaminazione
- ü Delimitare il plume



## Campionamento del suolo

ü I dati relativi ai campioni di suolo sono generalmente poco significativi per la valutazione del percorso di Vapor Intrusion;

ü I dati del suolo costituiscono una linea di evidenza e consentono di evidenziare la necessità di ulteriori indagini, tuttavia non consentono di escludere la presenza di criticità per il percorso VI;

ü I dati relativi al suolo possono essere convertiti in dati di Soil Gas attraverso equazioni di partizione

ü Durante il campionamento devono essere minimizzate le perdite di VOCs



## Campionamento del soil-gas

### Metodi attivi

ü Estrazione di soil-gas attraverso fori ad infissione/rotazione

### Metodi passivi

ü Utilizzo di materiali assorbenti

ü Campionamento per diffusione

### Considerazioni

ü Controllo dei volumi di spurgo e di pompaggio

ü Controllo della velocità di flusso, del volume di vuoto, delle perdite

ü I contenitori dei campioni devono garantire la massima tenuta

ü Il tempo tra campionamento ed analisi deve essere ridotto al minimo



## Campionamento del soil-gas (sub-slab)

- ü Consente di misurare le concentrazioni di soil-gas che possono entrare negli edifici
- ü Può essere estratto con sistemi attivi e passivi
- ü Possono essere realizzati punti di campionamento permanenti o temporanei
- ü Fornisce ottime indicazioni se i dati vengono comparati con quelli dell'aria indoor



Campionamento  
passivo



Campionamento  
attivo

## Campionamento dell'aria indoor

- ü Generalmente viene eseguito dopo il campionamento del gas del suolo
- ü Deve essere focalizzato sui contaminanti di interesse
- ü Il tempo di campionamento ha una grande influenza sui dati
- ü Può essere effettuato con metodi attivi e passivi
- ü E' particolarmente importante quando sono presenti spazi chiusi interrati



Canisters per il campionamento dell'aria indoor

## APPENDICE S: Valutazione delle tecniche di campionamento

**APPENDICE S**

## Intrusione di vapori nei luoghi di lavoro

Tecniche campionamento	di	Tecniche analitiche	Sostanze campionabili/analizzabili	Limite di rivelabilità	Vantaggi	Svantaggi
Misure dirette		FID	Idrocarburi	ppm	Detector universale, risposta simile per gli idrocarburi con lo stesso numero di atomi di carbonio ed idrogeno	Scarsa risposta per sostanze alogenate; necessità di H <sub>2</sub> come combustibile, risposta non selettiva
Misure dirette		PID	Sostanze fotoionizzabili	ppm	Elevata sensibilità per specie aromatiche o insature, non necessità di gas per il suo funzionamento	Risposta non selettiva, differente risposta a sostanze differenti, scarsa risposta ad alcune sostanze
Misure dirette		microGC, GC portatile	Tutte le sostanze organiche volatili	ppm ppb con preconcentratore	Possibilità di risposta selettiva, uso di differenti detector (più comune TCD). Tempi di risposta di alcuni minuti.	necessità di accurata taratura dello strumento, costi elevati, poca maneggevolezza, necessità di gas per il suo funzionamento. Usualmente considerato metodo di screening se non si usa MS come detector
Fiale Colorimetriche		Analisi colorimetrica su scala graduata		ppm o superiore	Praticità ed economicità, specificità nella risposta	Elevato limite di rivelabilità, necessità di possedere fiale differenti per sostanze diverse
Sacche in tedar		GC	La maggior parte delle sostanze organiche volatili	Funzione della tecnica analitica anche ppb	Economicità del mezzo di campionamento	Difficile conservazione del campione, presenza di siti attivi di campionamento, possibilità di effetto memoria
Canister		GC	La maggior parte delle sostanze organiche volatili e semivolatili	Funzione della tecnica analitica ppb o frazione di ppb	Possibilità di conservare il campione per alcune settimane, assenza di effetto memoria	Elevato costo del campionatore, necessità di avere un laboratorio attrezzato per l'analisi e pulizia
Fiale adsorbenti attive		GC/HPLC	La maggior parte delle sostanze organiche volatili e semivolatili	Funzione della tecnica analitica ppb o frazione di ppb	Possibilità di conservare il campione per alcune settimane, economicità e praticità del campionatore	Specificità del mezzo adsorbente ad alcune classi di sostanze, necessarie differenti tecniche di analisi a seconda del supporto, rischio breakthrough
Campionatori adsorbenti passivi		GC/HPLC	La maggior parte delle sostanze organiche volatili e semivolatili		Economicità del mezzo, possibilità di campionamenti per lunghi periodi	Specificità del mezzo adsorbente ad alcune classi di sostanze, differenti tecniche di analisi, soggette a breakthrough? ed a retrodiffusione, interferenza tra composti e con elevata umidità
Gorgogliatori		GC/HPLC/ colorimetria	Classi specifiche di sostanze	Funzione della tecnica analitica	Economicità del mezzo	Specificità del mezzo adsorbente ad alcune classi di sostanze, differenti tecniche di analisi, poca maneggevolezza

*Tabella 5 – TECNICHE DI MONITORAGGIO - lista indicativa di metodi che possono essere utilizzati per la ricerca dei COV.*

Inquinante	Tecnica di campionamento	substrato	Limiti di concentrazione	Metodi
COV Composti organici volatili	Tubi assorbenti	Carbone attivo Tenax Zeolite	>0.5ppb <25 ppb	EPA TO-17 1997
COV Composti organici volatili	Tubi assorbenti con desorbimento termico	Carbone attivo Carbone Graftato	Metodo di Screening	NIOSH 2549 1996
COV Composti organici volatili	Canister/sacche in tedlar	/	>0.5 ppb	EPA TO-15 1999 EPA TO14 A 1997
COV Composti organici volatili	Tubi assorbimento passivo	Carbone attivo- carbone Graftato	>1000 µg min/me	Fondazione Maugeri
Idrocarburi clorurati e benzene	Tubi assorbenti con desorbimento termico	Carbone Graftato	>0.3µg/me <160µg/me	M.U.1576-2001
COV da carburanti	Tubi assorbenti con desorbimento termico	Chromosorb 106	> 10 µg/me	M.U.1386-1999
Idrocarburi aromatici	Tubi assorbenti	Carbone attivo	>0.4-1.1µg/campione	NIOSH 1501-2003
MTBE	Tubi assorbenti	Carbone attivo	>0.06 mg/campione	NIOSH 1615-1994
Tricloroetilene	Tubi assorbenti	Carbone attivo	>0.01 mg/campione	NIOSH 1022-1994
Idrocarburi alogenati	Tubi assorbenti	Carbone attivo	>0.6-6 µg/campione	NIOSH 1003-2003
IPA	Filtro+tubo assorbente	PTFE + XAD2	> 0.002-0.2 µg/campione	NIOSH 5506-1998
Fenoli	Gorgogliamento	NaOH 0.1 M	>0.2 mg/me	M.U.504-80
Fenoli	Tubi assorbimento passivo	Tenax	>0.4 µg/me	Fondazione Maugeri
Aldeidi-Chetoni	Tubi assorbimento passivo	Fluorisil attivato con DNPH	>0.1-0.9 µg/me	Fondazione Maugeri
Aldeidi-chetoni	Gorgogliamento	Soluzione di DNPH		EPA TO5
Ammine Aromatiche	Tubo assorbente	Gel di silice	>0.01 mg/campione	NIOSH 2002-1994
Ammine alifatiche	Tubo assorbente	Gel di silice	>0.02 mg/campione	NIOSH 2010-1994
Mercaptani	Filtro assorbente	Filtro in fibra di vetro attivato con acetato di Hg	>4-7 µg/campione	NIOSH 2542-1994
Mercurio	Fiala	Hopealite (ossido di Mn e Cu)	>0.03µg/campione	NIOSH 6009 1994
Mercurio	Fiala	Oro, quarzo rivestite in oro		D.Lgs 152/2007

## APPENDICE S: Metodi per COV

**Fattori di Conversione per Soil Gas**

<b>Fattori di Conversione per misure di Soil Gas (in condizioni standard di T e P)</b>		
<b>Unità di Misura</b>	<b>Converti in:</b>	<b>Moltiplica per:</b>
mg/L	mg/m <sup>3</sup>	1
mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	0.001
ppbv	mg/m <sup>3</sup>	PM/24
mg/m <sup>3</sup>	ppbv	24/PM
ppmv	mg/m <sup>3</sup>	PM/24
ppbv	mg/m <sup>3</sup>	PM/24000
mg/L	mg/m <sup>3</sup>	1000
mg/m <sup>3</sup>	mg/L	0.001
mg/L	ppbv	24000/PM
mg/L	ppmv	24/PM
ppbv	ppmv	0.001
ppmv	ppbv	1000
<b>Simboli:</b>		
mg/L	microgrammi per litro	
mg/m <sup>3</sup>	milligrammi per metro cubo	
mg/m <sup>3</sup>	microgrammi per metro cubo	
ppbv	parti per miliardo in volume	
PM	Peso Molecolare	
ppmv	Parti per milione in volume	

## Influenza di altri parametri

Nella tabella seguente sono riportati i parametri stagionali che influenzano maggiormente le risultanze dei campionamenti effettuati per la valutazione del percorso Vapor Intrusion.

<b>Parametro</b>	<b>Condizioni Maggiormente Conservative</b>	<b>Condizioni Meno Conservative</b>
Stagione	Tardo inverno/inizio primavera	Estate
Temperatura	Interna 10°F>Esterna	Interna<Esterna
Vento	Stazionario > 8 km/h	Calmo
Suolo	Saturato dalla pioggia	Secco
Porte/Finestre	Chiuse	Aperte
Sistemi di riscaldamento	Attivi	Non Attivi
Sistemi di ventilazione	Non attivi	Attivi

MADEP, 2002

<b>Matrice</b>	<b>Metodo di Valutazione</b>	<b>Limiti</b>
Acqua sotterranea	Mediante fattori di attenuazione o mediante l'applicazione di modelli basati su caratteristiche sito-specifiche possono essere calcolate le concentrazioni nell'aria indoor	Assunzioni molto conservative nei modelli e nei fattori di attenuazione. La legge di Henry's deve essere corretta sulla base della temperatura
Vapore del suolo	Mediante fattori di attenuazione o mediante l'applicazione di modelli basati su caratteristiche sito-specifiche possono essere calcolate le concentrazioni nell'aria indoor	Minori assunzioni rispetto alle acque sotterranee, ma l'accuratezza e la rappresentatività delle misure potrebbe essere un problema
Vapore del suolo (sotto pavimentazioni o fondazioni)	Vengono stimati o misurati (ad es: attraverso il radon) I fattori di attenuazione per calcolare le concentrazioni nell'aria indoor	Maggiore sicurezza nei percorsi indagati, ma I fattori di attenuazione stimati potrebbero risultare ancora troppo conservativi per alcuni edifici
Aria Indoor	Concentrazioni nell'aria indoor misurate direttamente	Intrusione e diffusione di vapori da sorgenti diffuse potrebbero portare ad interpretazioni dei dati sbagliate. Le variazioni stagionali possono rivelarsi un fattore limitante.

## Valutazione dei dati

## Osservazioni conclusive (1)

Il manuale “Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio” rappresenta uno dei primi esempi, a livello europeo di standardizzazione di una procedura per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati in modo completo (modalità diretta e modalità inversa) sul modello RBCA dell’ASTM;

Il manuale è il frutto del lavoro congiunto di professionalità ed istituzioni diverse e può quindi rappresentare un punto di riferimento condiviso per gli operatori del settore, tecnici delle pubbliche amministrazioni, ricercatori e professionisti, che si troveranno a redigere o a valutare, progetti di bonifica dei siti contaminati

La revisione 2 dei “Criteri Metodologici” è stata pubblicata il 31 marzo 2008

## Osservazioni conclusive (2)

È auspicabile che le attività scientifiche e di formazione sull'analisi di rischio che l'APAT, congiuntamente all'ISS e all'ISPEL, svolge istituzionalmente, a supporto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e degli altri Enti di Controllo pubblici, contribuiscano a superare le numerosissime difficoltà tecniche che gli stessi Enti di Controllo pubblici si trovano a dover affrontare a seguito dell'entrata in vigore del DLgs 152/06, in attesa dell'emanazione di una eventuale ulteriore revisione dei testi che possa tenere conto delle esperienze maturate dagli Enti di Controllo e dei riferimenti scientifici disponibili a livello nazionale.