

# Aspetti ambientali dell'analisi di rischio

Discussant: Renato Baciocchi  
Università degli Studi di Roma  
«Tor Vergata»



# Breve storia della AdR

- 1999: AdR nella normativa con il 471/99
- 2005: Prima versione Criteri metodologici
- 2006: AdR diventa centrale con il 152/06
- 2008: Seconda versione Criteri metodologici



# Criteri nazionali AdR

Assunzioni cautelative:

- Approccio ASTM – Tier 2
- Sorgente: stazionaria
- Trasporto: soluzioni analitiche/stato stazionario
- No biodegradazione
- Esposizione: intake = uptake



# Criticità applicative

## Volatilizzazione outdoor-indoor:

I modelli di volatilizzazione sono troppo conservativi, non tenendo conto dei fenomeni di attenuazione naturale; Anche i criteri ISPRA richiamano la necessità di campagne di indagini dirette.

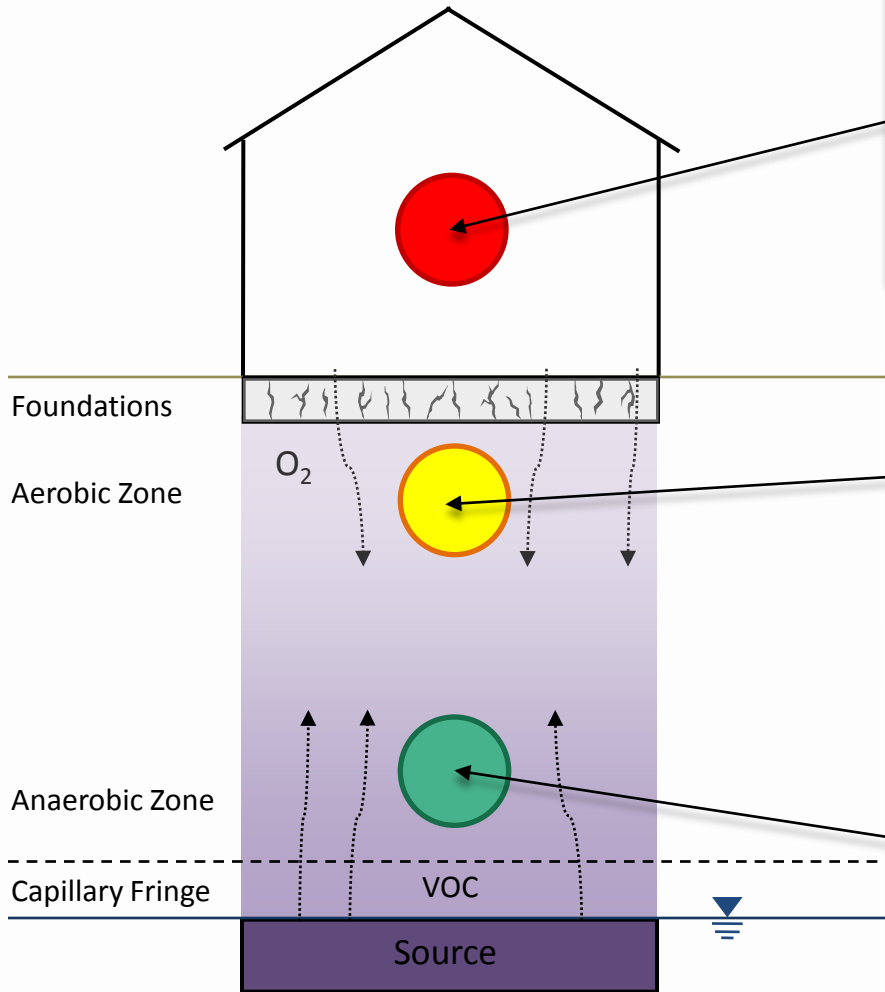
Soluzione già adottata in molti siti: soil gas survey per stima rischio

## Criticità:

- nei siti produttivi interazione 152/06 e 81/08
- criteri di utilizzo dei dati di soil gas per ricalcolo CSR



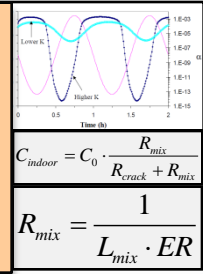
# Misure: dove campionare



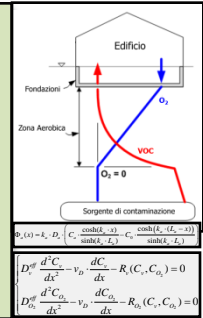
**1. Misure Indoor**  
**Pro:** valutazione dell'effettiva  $C_{\text{indoor}}$   
**Contro:** Difficoltà nel valutare contributo di contaminante proveniente dal suolo (Background); Fortemente influenzato dalle condizioni al contorno (variabilità temporali)



**2. Misure sotto l'edificio (sub-slab)**  
**Pro:** valutazione dell'effettiva attenuazione dei VOC nel trasporto nell'insaturo  
**Contro:** Forti oscillazioni temporali; si deve usare un modello per stimare  $C_{\text{indoor}}$



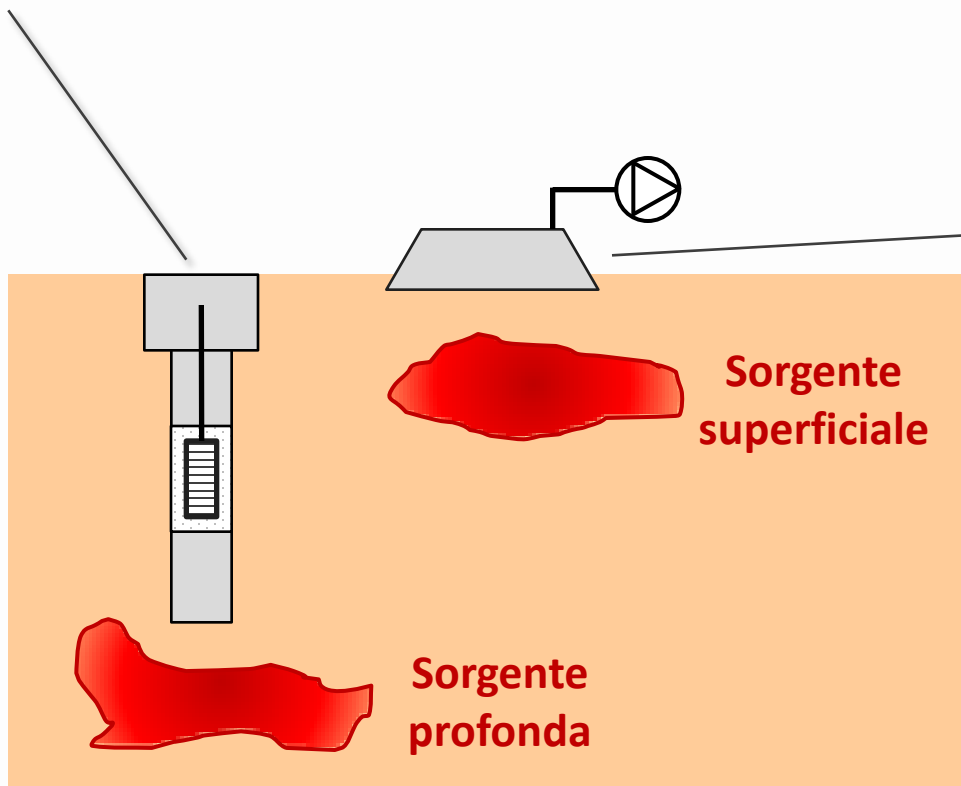
**3. Misure di soil-gas in profondità**  
**Pro:** valutazione dell'effettiva volatilizzazione dei VOC, valore meno influenzato da condizioni al contorno  
**Contro:** Si deve usare un modello che per stimare  $C_{\text{indoor}}$



**Opzione 3 dati più significativi ma richiede ancora utilizzo di modelli di trasporto**

# Come misurare il soil-gas?

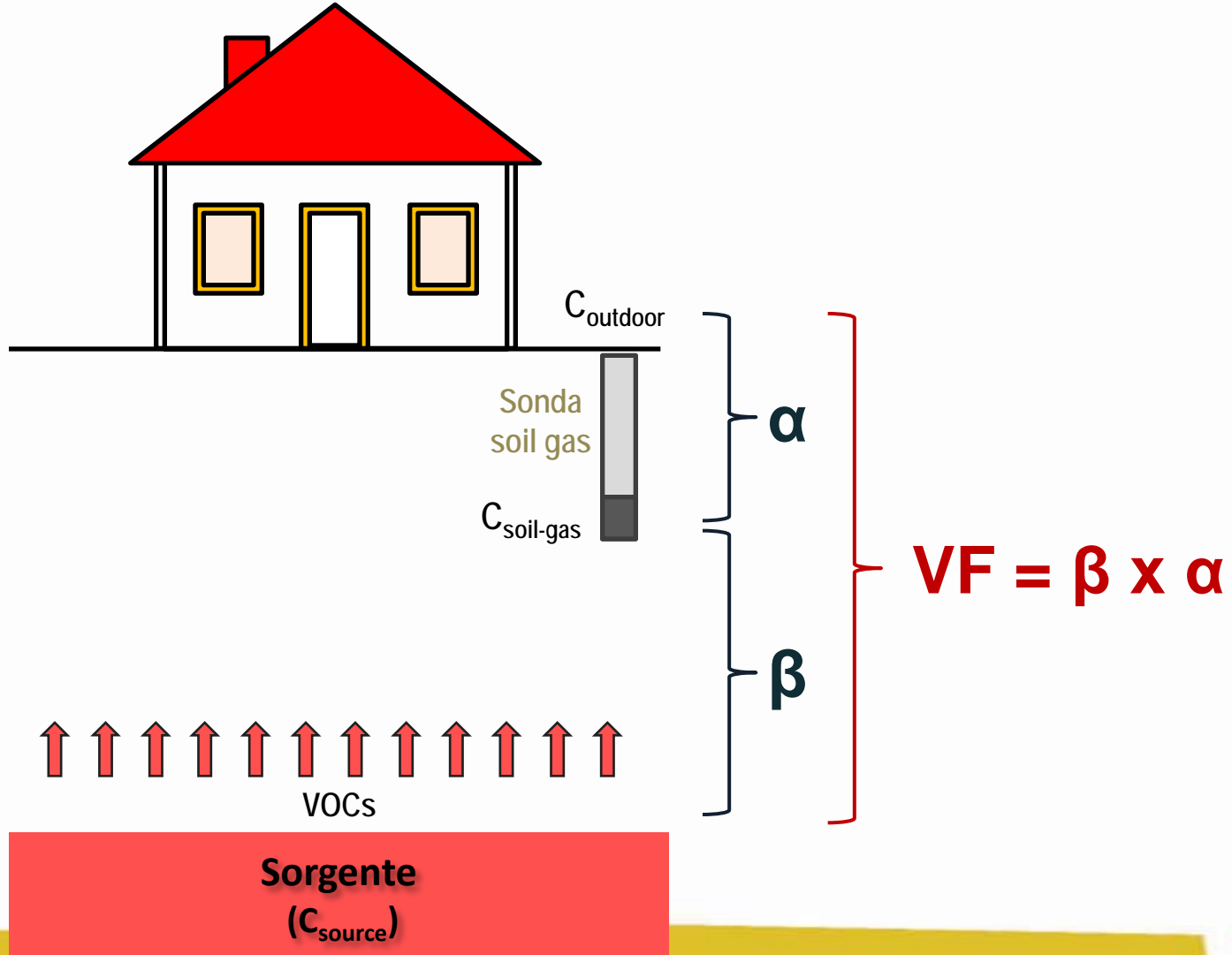
Campionamento con sondaggio e installazione sonda soil-gas  
(indicato per contaminazioni nel suolo profondo e in falda)



Camera di flusso  
dinamica o statica  
(indicato per  
contaminazioni  
superficiali)



# Come usare dati di soil-gas?



# Calcolo del Rischio da soil gas

I valori misurati nel soil-gas possono essere utilizzati per valutare l'effettivo rischio legato al percorso di volatilizzazione outdoor e per il calcolo delle nuove CSR sulla base dell'attenuazione sito-specifica.

## Calcolo Rischio

$$R_{SP.InaO} = CRS_{sg} \cdot SF_{Ina} \cdot \alpha_{samb} \cdot EM_{InaO}$$

## Calcolo Indice di Pericolo

$$HI_{SP.InaO} = CRS_{sg} \cdot \frac{\alpha_{samb} \cdot EM_{InaO}}{RfD_{Ina}}$$

$CRS_{sg}$  = Concentrazione nel soil-gas  
 $SF_{Ina}$  = Slope factor - inalazione  
 $RfD_{Ina}$  = Reference dose - inalazione  
 $EM_{InaO}$  = Fattore di inalazione outdoor  
 $\alpha_{samb}$  = Volatilizzazione outdoor da soil-gas

**Calcolo FT soil-gas per volatilizzazione outdoor** (corrisponde a equazione ISPRA senza coeff. di ripartizione)

$$\alpha_{samb} \left[ \frac{mg / m^3_{aria}}{mg / m^3_{soil-gas}} \right] = \frac{1}{1 + \frac{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot L_{sg}}{D_s^{eff} \cdot W'}}$$

$L_{sg}$  = Profondità campionamento soil-gas  
 $D_s^{eff}$  = Coefficiente di diffusione  
 $W'$  = Estensione della sorgente di contaminazione  
 $\delta_{air}$  = Altezza della zona di miscelazione in aria  
 $U_{air}$  = Velocità del vento

Tali equazioni sono implementate ad es. nei software RISC 5.0 e Risk-net 1.0.



# Calcolo CSR da dati soil gas

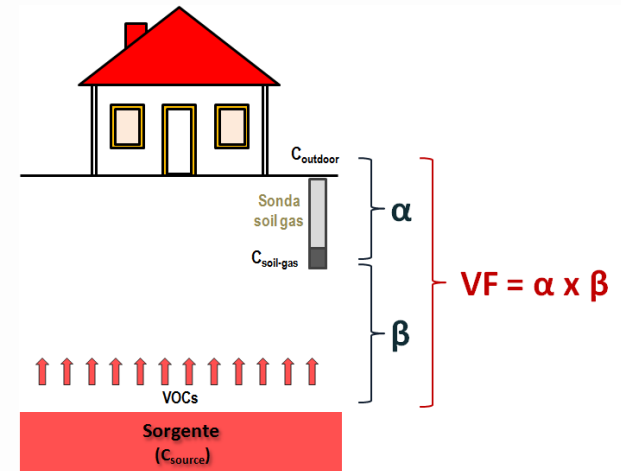
Stima delle CSR in falda basandosi sul fattore di attenuazione sito-specifico.

Calcolo fattore di attenuazione sito-specifico

$$\beta \left[ \frac{\text{mg} / \text{m}^3_{\text{soil-gas}}}{\text{mg} / \text{L}} \right] = \frac{\text{CRS}_{\text{sg}}}{\text{CRS}_{\text{falda}}}$$

Calcolo attenuazione soil-gas

$$\alpha_{\text{samb}} \left[ \frac{\text{mg} / \text{m}^3_{\text{aria}}}{\text{mg} / \text{m}^3_{\text{soil-gas}}} \right] = \frac{1}{1 + \frac{U_{\text{air}} \cdot \delta_{\text{air}} \cdot L_{\text{sg}}}{D_s^{\text{eff}} \cdot W'}}$$



Calcolo FT soil-gas sito-specifico

$$VF_{\text{sito-specifico}} = \alpha \cdot \beta$$

$\text{CRS}_{\text{sg}}$  = Concentrazione nel soil-gas  
 $\text{CRS}_{\text{falda}}$  = Concentrazione in falda

Questo fattore sito-specifico può essere utilizzato nelle equazioni standard riportate nelle linee guida per il calcolo delle CSR:

$$CSR = \frac{TR}{SF \cdot VF_{\text{sito-specifico}} \cdot EM}$$

$$CSR = \frac{THQ \cdot RfD}{VF_{\text{sito-specifico}} \cdot EM}$$

# Criticità

## Biodisponibilità / Bioaccessibilità

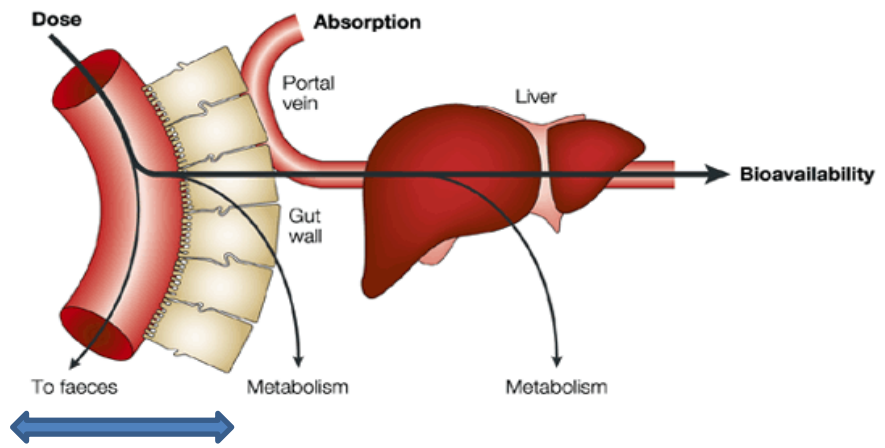
I modelli di AdR prevedono che tutto l'inquinante assunto sia effettivamente assorbito dall'organismo. Tenere conto dell'effettiva bioaccessibilità del contaminante potrebbe consentire valutazioni più realistiche delle vie dirette di esposizione.



# Biodisponibilità/ Bioaccessibilità



**Bioaccessibilità**



**Biodisponibilità**



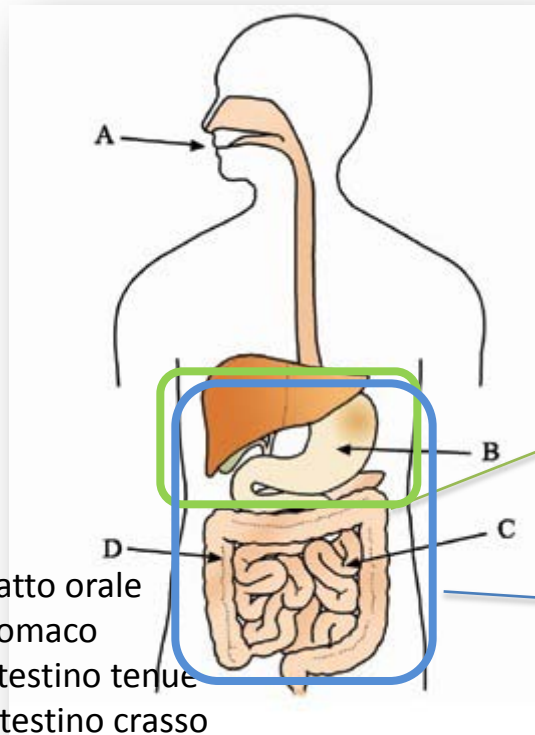
- **Bioaccessibilità** : frazione di contaminante solubilizzata nel tratto gastro-intestinale
- **Biodisponibilità** : frazione del contaminante in grado di arrivare alla circolazione sistemica

# Test in vitro

I test in vitro imitano i processi che avvengono nel tratto gastrointestinale

Tre aree :

- ✓ Bocca (pH 6,5) : masticazione
- ✓ Stomaco (pH 1-5) :
  - Dissoluzione di ossidi di minerali labili, solfuri e carbonati → rilascio di metalli.
  - Presenza di pepsina ( enzima proteasi) → rompe le proteine.
- ✓ Intestino (pH 4-7,5) : l'azione dei succhi intestinali ed azione enzimatica ( pancreatina, tripsina e lipasi).



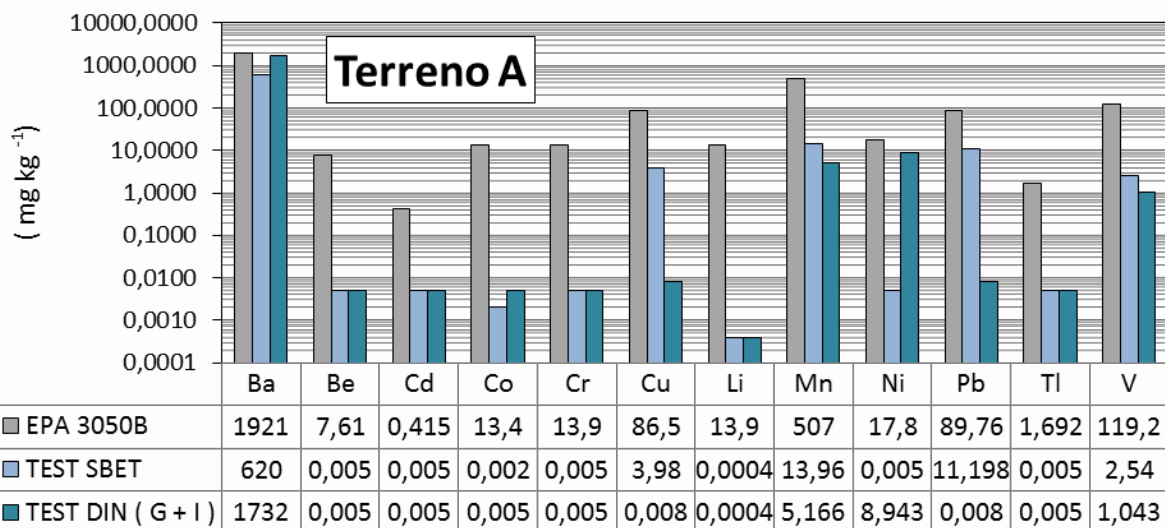
A: tratto orale  
B: stomaco  
C: intestino tenue  
D: intestino crasso

**SBET**  
(Simplified Bioaccessibility Extraction Test)

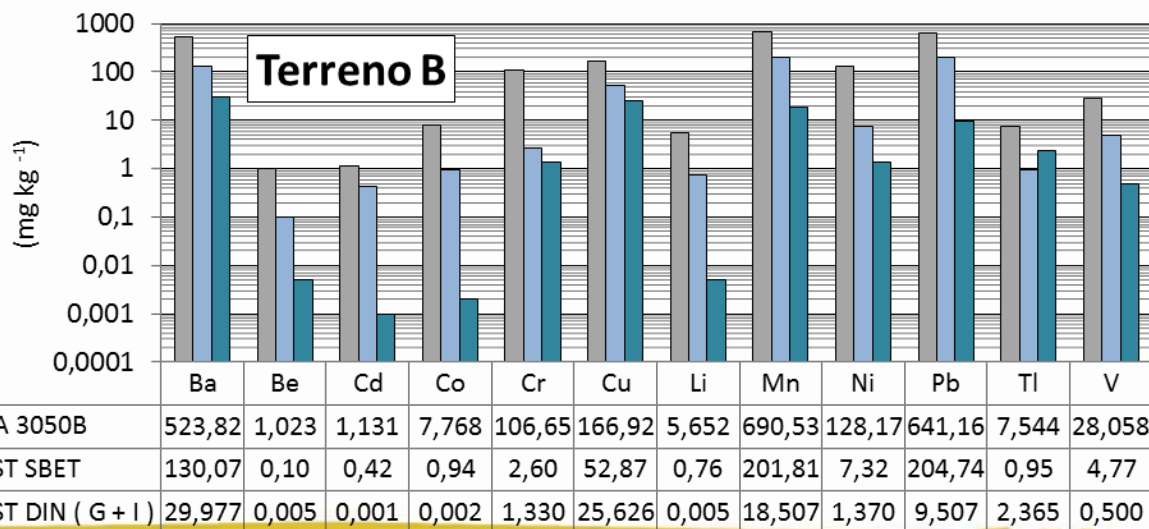
German standard DIN 19 738

da Barreca (2014)

# Confronto EPA 3050B/ Test in vitro



n=3



## Condizioni operative

- EPA 3050B pH ≈ 1/1.5
- SBET pH 2
- DIN pH 7

da Barreca (2014)

# Criticità

## Concentrazione di saturazione (CSAT).

In alcuni casi la CSR calcolata con i modelli di analisi di rischio risulta superiore alla Csat, che rappresenta la massima concentrazione alla quale un inquinante può essere presente in un suolo in equilibrio con acqua e vapori saturi.



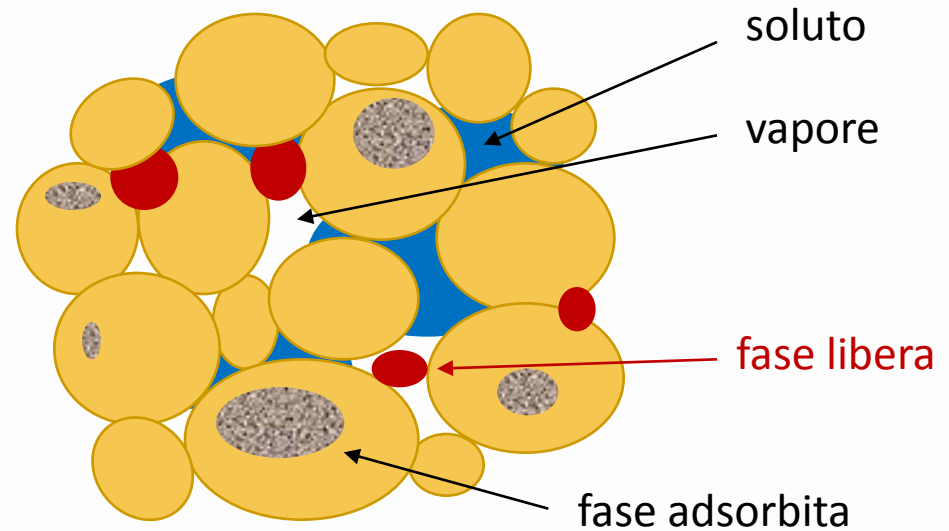
# Ripartizione dei contaminanti

- ❑ Soluti, nell'acqua interstiziale
- ❑ Vapore, nell'aria dei pori del suolo
- ❑ Adsorbito al carbonio organico del suolo
- ❑ Come fase separata (solo a  $C > C_{sat}$ )

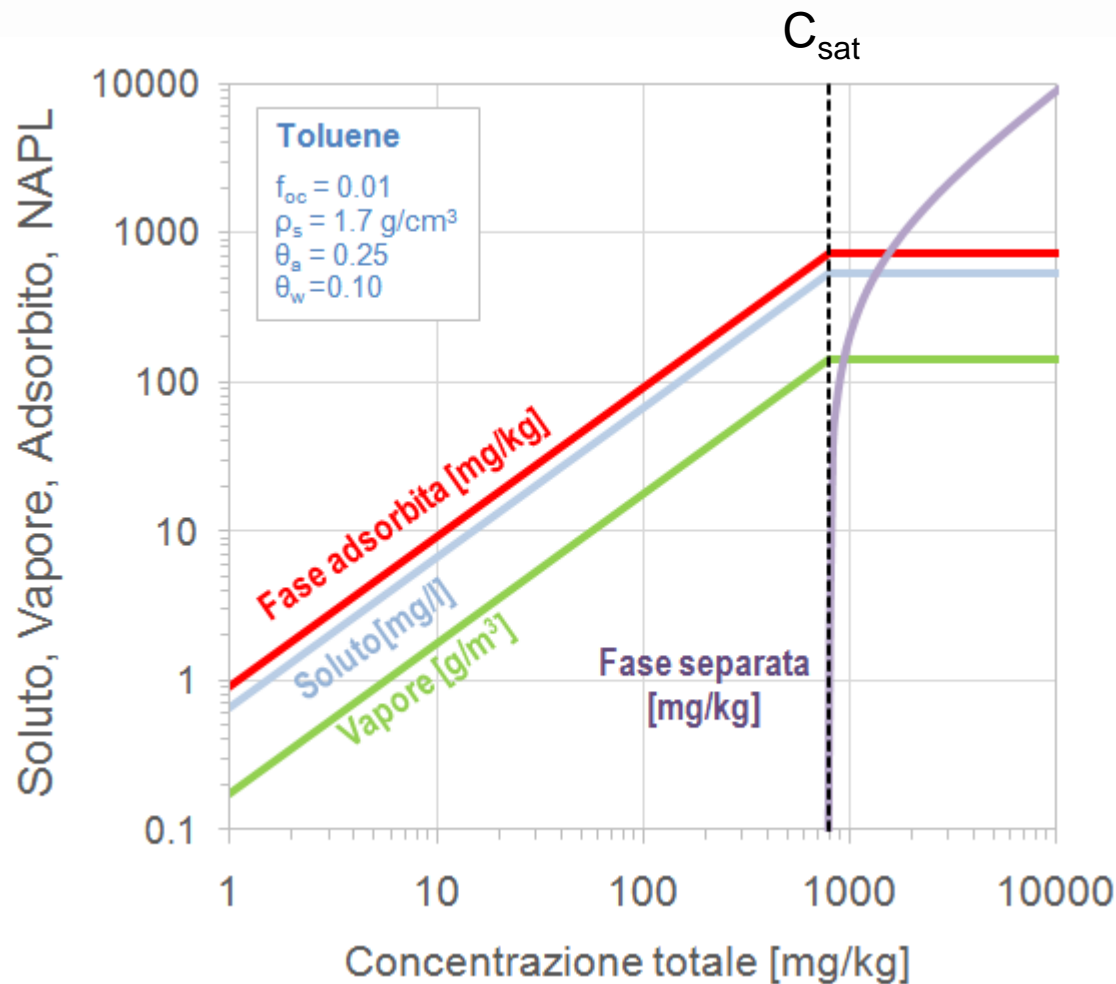
Ripartizione lineare fissata dalle costanti di ripartizione specifiche del contaminante

Alla concentrazione di saturazione ( $C_{sat}$ ), il soluto raggiunge la solubilità nell'acqua e il vapore raggiunge la tensione di vapore nell'aria dei pori e inizia a formarsi la fase libera.

Al di sopra della  $C_{sat}$  → Soluti, vapore e fase adsorbita non aumentano più.



# Ripartizione dei contaminanti



$$C_{tot} < C_{sat}$$

- Ripartizione Lineare
- No fase separata (NAPL)

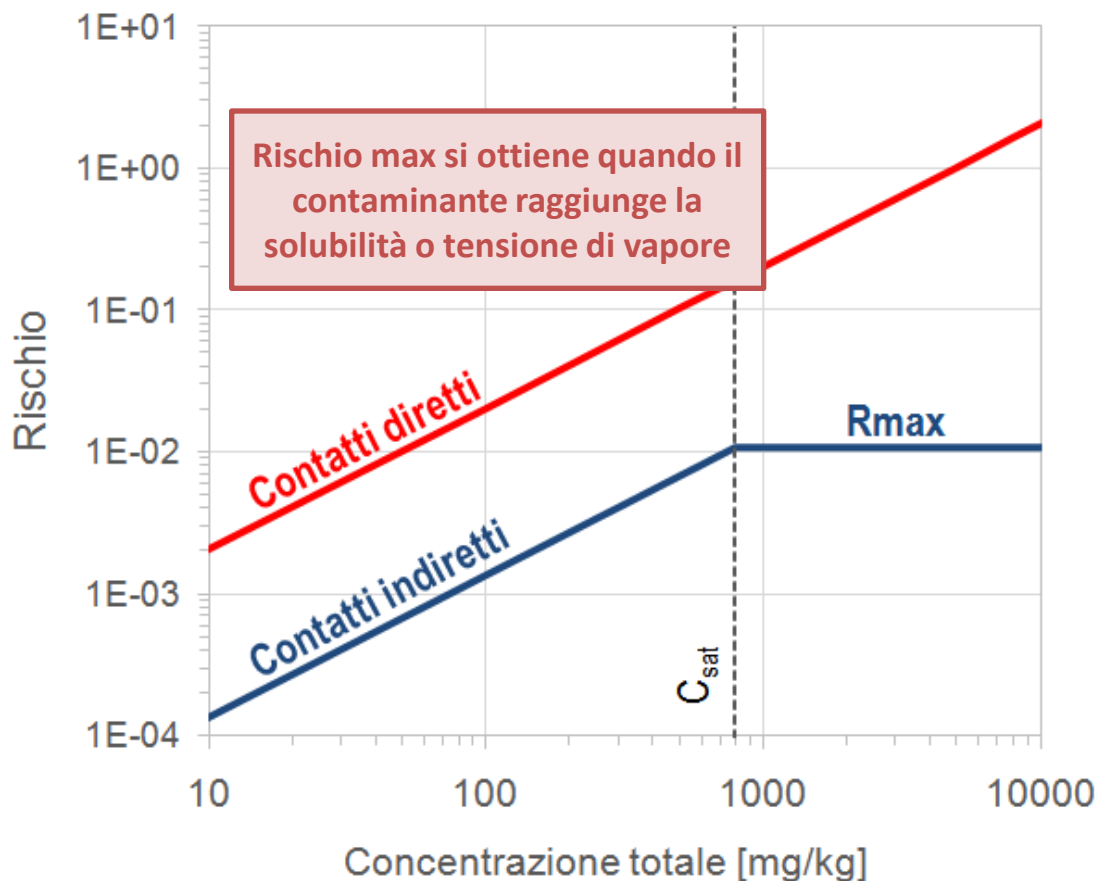
$$C_{tot} > C_{sat}$$

- Crescita esponenziale NAPL
- Altre fasi non aumentano più



# Andamento dei Rischi

Per il calcolo del rischio, nel caso di condizioni di saturazione ( $CRS > C_{sat}$ ) in Risk-net vengono utilizzate le solite equazioni con l'unica differenza che:



## 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.

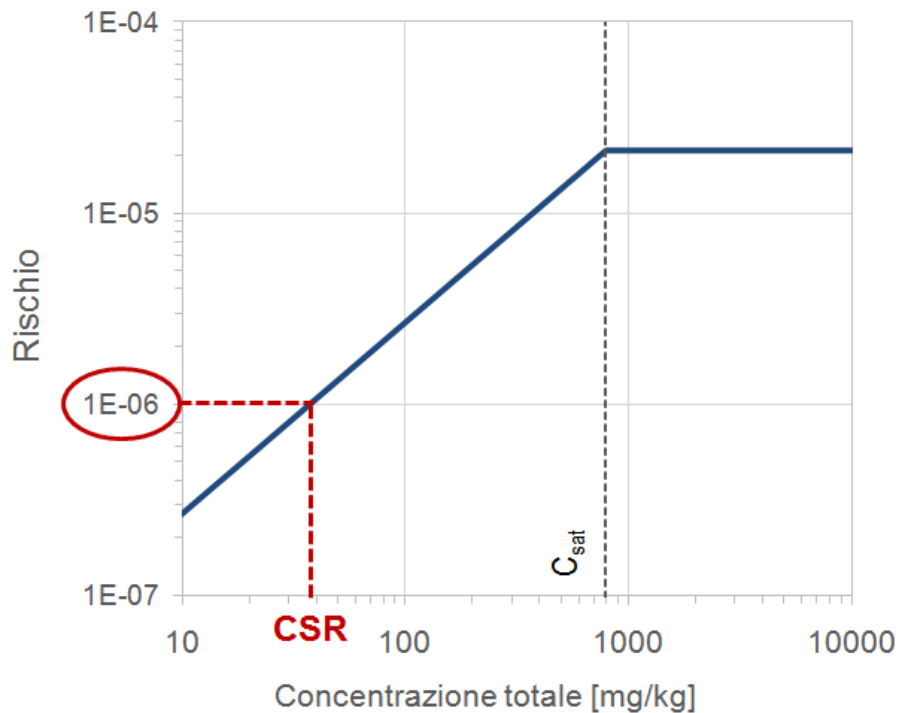
## Contatti indiretti

(volatilizzazione e lisciviazione) al di sopra della  $C_{sat}$  (solubilità e tensione di vapore) il rischio non cresce più.

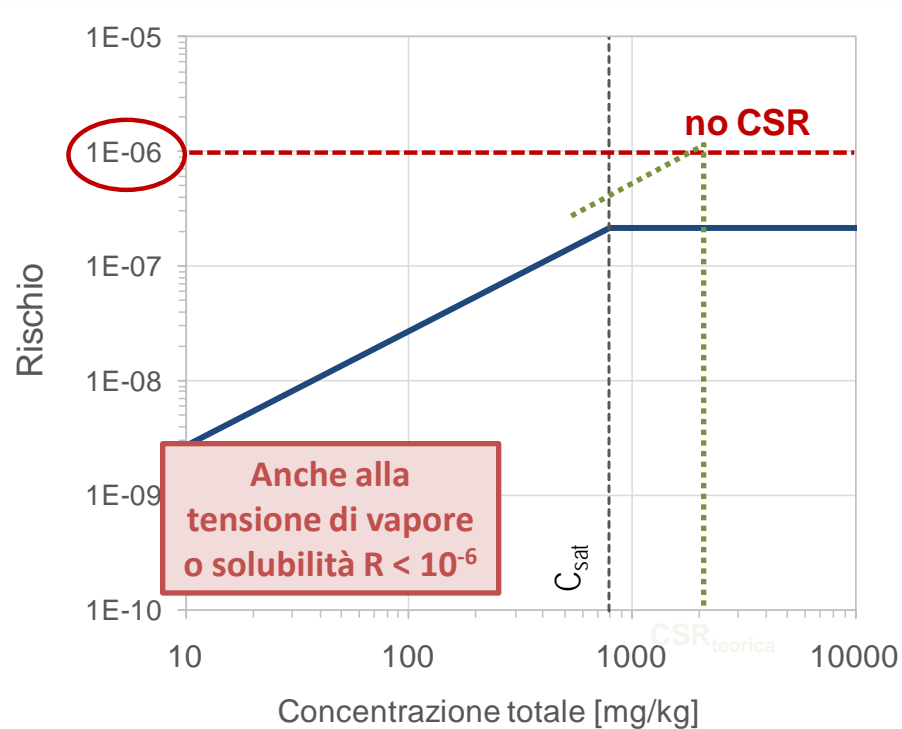
# Calcolo della CSR

CSR = Concentrazione massima ammissibile compatibile con rischio accettabile.

$CSR < C_{sat}$



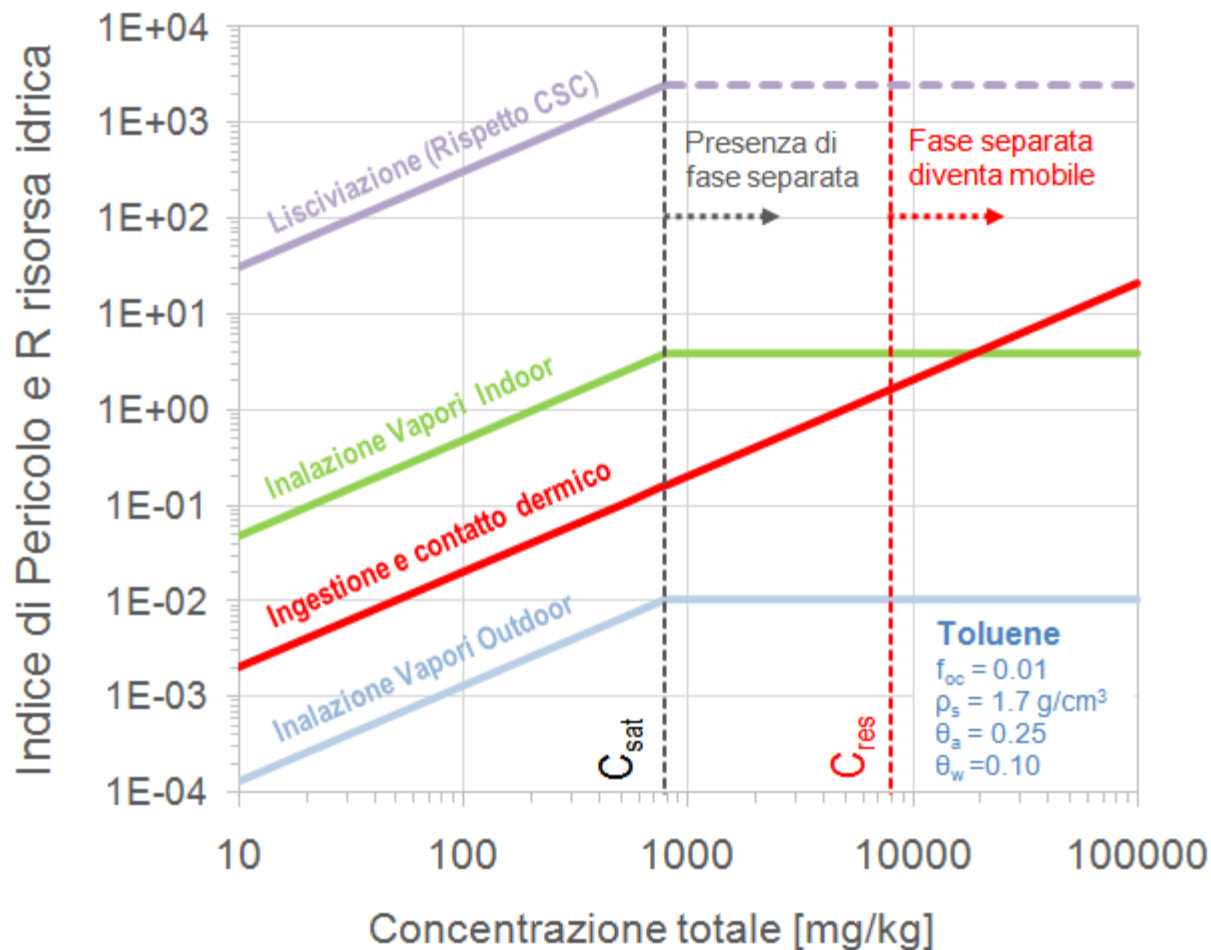
$CSR > C_{sat}$



Nel caso di CSR (teorica)  $> C_{sat}$ , anche per concentrazioni nel suolo molto alte il rischio calcolato è inferiore a quello accettabile. In questo caso non viene definita una CSR.

# Rischio in condizioni di saturazione

Calcolato con Risk-net



$$C_{tot} < C_{sat}$$

R e HI aumentano linearmente con la concentrazione

$$C_{tot} > C_{sat}$$

**Contatti diretti:** rischio continua a crescere (recettore può ingerire anche fase separata)

**Contatti indiretti:** rischio non cresce più (raggiunta solubilità e tensione di vapore)

$$C_{tot} > C_{res}$$

NAPL diventa mobile

# Conclusioni

- AdR secondo molti è una procedura «matura»
- In realtà esiste l'esigenza di renderla più realistica tramite
  - a) introduzione di attenuazione nei modelli di trasporto
  - b) modifica dei modelli di esposizione
  - c) utilizzo di dati di caratterizzazione «non tradizionali»
- Una migliore comprensione e descrizione dei fenomeni alla base dei modelli di AdR consentirà di individuare obiettivi di bonifica più realistici con un minor rapporto costi/benefici.

