

# *L'esperienza dell'Università di Brescia in merito all'applicazione dell'analisi di rischio alle discariche*

MENTORE VACCARI, SILVIA GIBELLINI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BRESCIA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
ARCHITETTURA, TERRITORIO,  
AMBIENTE E DI MATEMATICA



ANALISI DI RISCHIO DEI SITI CONTAMINATI  
Opportunità e Prospettive a 10 anni dai "Criteri Metodologici"

# INQUADRAMENTO NORMATIVO

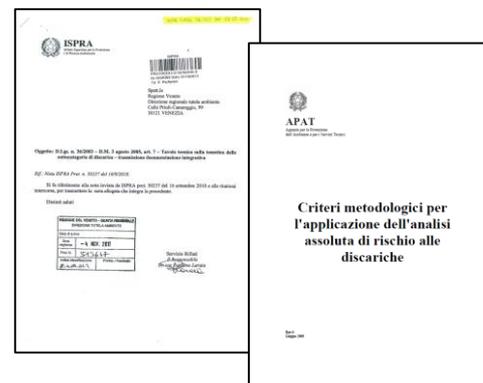
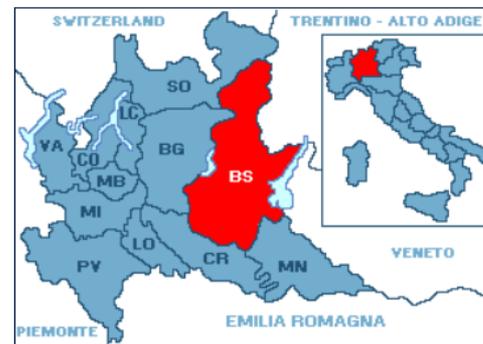
Nella procedura di autorizzazione italiana per la costruzione di una discarica, **l'analisi del rischio (AdR) è obbligatoria in caso di richiesta di deroga** alla normativa vigente (D.M. 27 settembre 2010 e s.m.i.)

In particolare, la valutazione del rischio deve dimostrare che non esistono pericoli per l'ambiente, condizione necessaria per il rilascio dell'autorizzazione:

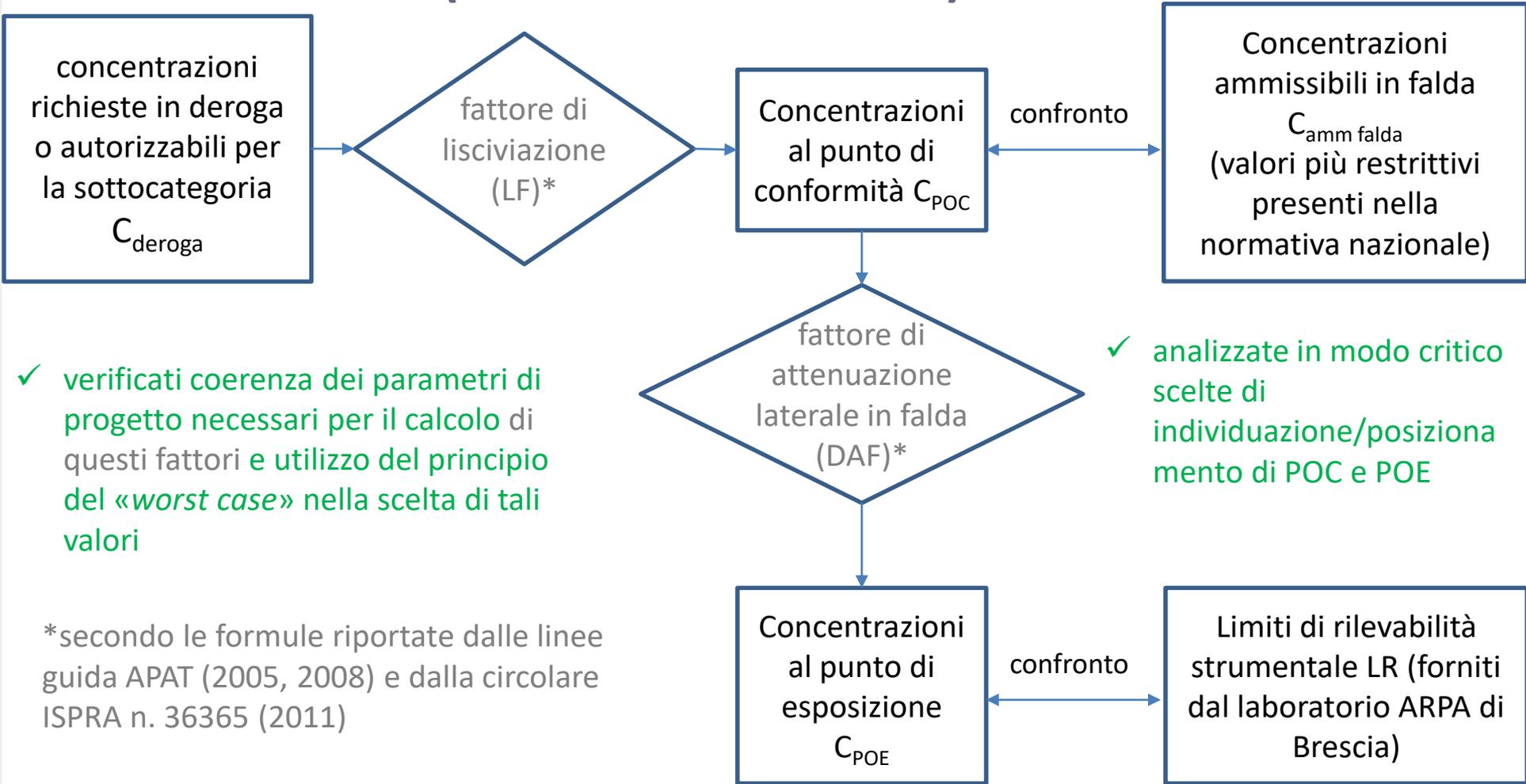
- alle **sottocategorie di discariche** per rifiuti non pericolosi (**articolo 7** del D.M. del 27 settembre 2010 e s.m.i.);
- alle **deroghe ai valori limite** per l'ammissibilità dei rifiuti in discarica (**articolo 10** del D.M. del 27 settembre 2010 e s.m.i.).

# COMPETENZA AMMINISTRATIVA DELLE PROVINCE E QUADRO TECNICO

- In **regione Lombardia**, le **autorità competenti** per il rilascio di questo tipo di autorizzazioni/deroghe sono principalmente le **province** e la **Provincia di Brescia** è una di queste.
- Al fine di ottemperare a tale competenza, la **provincia di Brescia ha sviluppato una propria procedura metodologica**, basata su diverse linee guida, interpretazioni e circolari da parte di diversi enti nazionali e locali.
- Da diversi anni la provincia di Brescia ha una collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e Matematica dell'**Università di Brescia** per avere un **supporto tecnico-scientifico** nella valutazione dei documenti di analisi di rischio.



# PROCEDURA METODOLOGICA – AdR PER ACQUE SOTTERRANEE (MODALITÀ DIRETTA)



\*secondo le formule riportate dalle linee guida APAT (2005, 2008) e dalla circolare ISPRA n. 36365 (2011)

# MODELLO ANALITICO PRECAUZIONALE - PRINCIPALI EQUAZIONI PER LE ACQUE SOTTERRANEE

- È possibile utilizzare modelli numerici per F&T di contaminanti, ma richiedono molti dati, pertanto utilizziamo **modelli analitici precauzionali**.
- Le formule principali per il calcolo del **Fattore di Lisciviazione (LF)** sono le seguenti:

$$LF = \frac{SAM}{LDF}$$

$$SAM = \frac{d_d}{L_{GW}} \quad (\text{Soil Attenuation Model})$$

$d_d$  = profondità di piano di posa della discarica (punto di emissione del percolato) rispetto al piano campagna  
 $L_{GW}$  = soggiacenza della falda rispetto al piano campagna

$$LDF = \left( 1 + \frac{v_{GW} * \delta_{GW} * S_W}{L_f} \right) \quad (\text{Leachate Dilution Factor})$$

$v_{GW}$  = velocità darciana dell'acquifero  
 $\delta_{GW}$  = spessore zona di miscelazione dell'acquifero  
 $S_W$  = dimensione della discarica nella direzione ortogonale al flusso di falda  
 $L_f$  = flusso di percolato

$$L_f = K_i * i_f * A_f$$

$K_i$  = permeabilità verticale equivalente del pacchetto di of a landfill

$A_f$  = area di fondo della discarica

$$i_f = \text{gradiente idraulico verticale} \quad i_f = \frac{h_{leach} + d_i}{d_i}$$

$h_{perc}$  = livello percolato sul fondo della discarica

$d_i$  = spessore dello strato attraversato

$$\delta_{GW} = \min \left\{ d_a; (2 * \alpha_z * W)^{0.5} + d_a * \left( 1 - \exp \left[ - \frac{W * I_{ef}}{K_{sat} * i * d_a} \right] \right) \right\}$$

$d_a$  = spessore della falda

$K_{sat}$  = conducibilità idraulica vertical a saturazione

$i$  = gradiente idraulico verticale

$$\alpha_z = \text{dispersività verticale} \quad \alpha_z = \frac{\alpha_x}{20} = \frac{0.1 * L}{20}$$

$\alpha_x$  = dispersività longitudinale

$L$  = distanza longitudinale tra POC e sorgente

$I_{ef}$  = infiltrazione del percolato che raggiunge la falda superficiale  $I_{ef} = \frac{L_f}{A_f}$

# MODELLO ANALITICO PRECAUZIONALE - PRINCIPALI EQUAZIONI PER LE ACQUE SOTTERRANEE

- Le formule principali per il calcolo del **Fattore di Attenuazione laterale in falda (DAF)** sono le seguenti:

$$DAF = \frac{C_{GW}}{C_{POE}}$$

$C_{GW}$  = concentrazione del contaminante presente in falda  
 $C_{POE}$  = concentrazione del contaminante al punto di esposizione

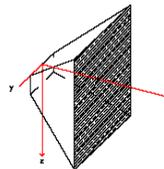
**Modello analitico di Domenico di trasporto del soluto**

$$\frac{C(x, y, z)}{C_0} = \frac{1}{4} * \exp \left[ \frac{x}{2\alpha_x} * \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda_i \alpha_x R_i}{v_e}} \right) \right] * \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{y + 0,5S_W}{2\sqrt{\alpha_y x}} \right) - \operatorname{erf} \left( \frac{y - 0,5S_W}{2\sqrt{\alpha_y x}} \right) \right] * \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{z + S_d}{2\sqrt{\alpha_z x}} \right) - \operatorname{erf} \left( \frac{z - S_d}{2\sqrt{\alpha_z x}} \right) \right]$$

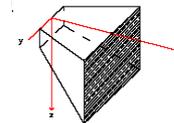
dove:

- $C(x, y, z) = C_{POE}$  dove il POE ha coordinate (x, y, z)
- $C_0 = C_{gw}$
- $\alpha_x$ ,  $\alpha_y$  and  $\alpha_z$  sono le dispersività nelle direzioni degli assi principali.
- $\lambda_i$  è il coefficiente di biodegradazione del primo ordine
- $R_i$  è il fattore di ritardo dovuto all'assorbimento del contaminante su matrice solida, calcolato come:  $R = 1 + k_S * \frac{\rho_s}{\theta_e}$  dove  $k_S$  è il coefficiente di ripartizione suolo/acqua,  $\rho_s$  è la densità del suolo e  $\theta_e$  la porosità effettiva del terreno
- $v_e$  è la velocità media effettiva dell'acqua di falda, data da :  $v_e = \frac{v_{gw}}{\theta_e}$

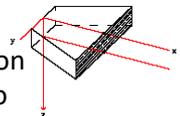
Con  $y = z = 0$   
DAF (1)



Dispersione lungo l'asse z  
solo nella direzione positiva  
DAF (2)



L'acquifero è interessato  
dalla contaminazione per  
tutta la sua profondità, non  
avviene dispersione lungo  
l'asse z  
DAF(3)



# ADR PER LE ACQUE SOTTERRANEE (MODALITÀ DIRETTA)

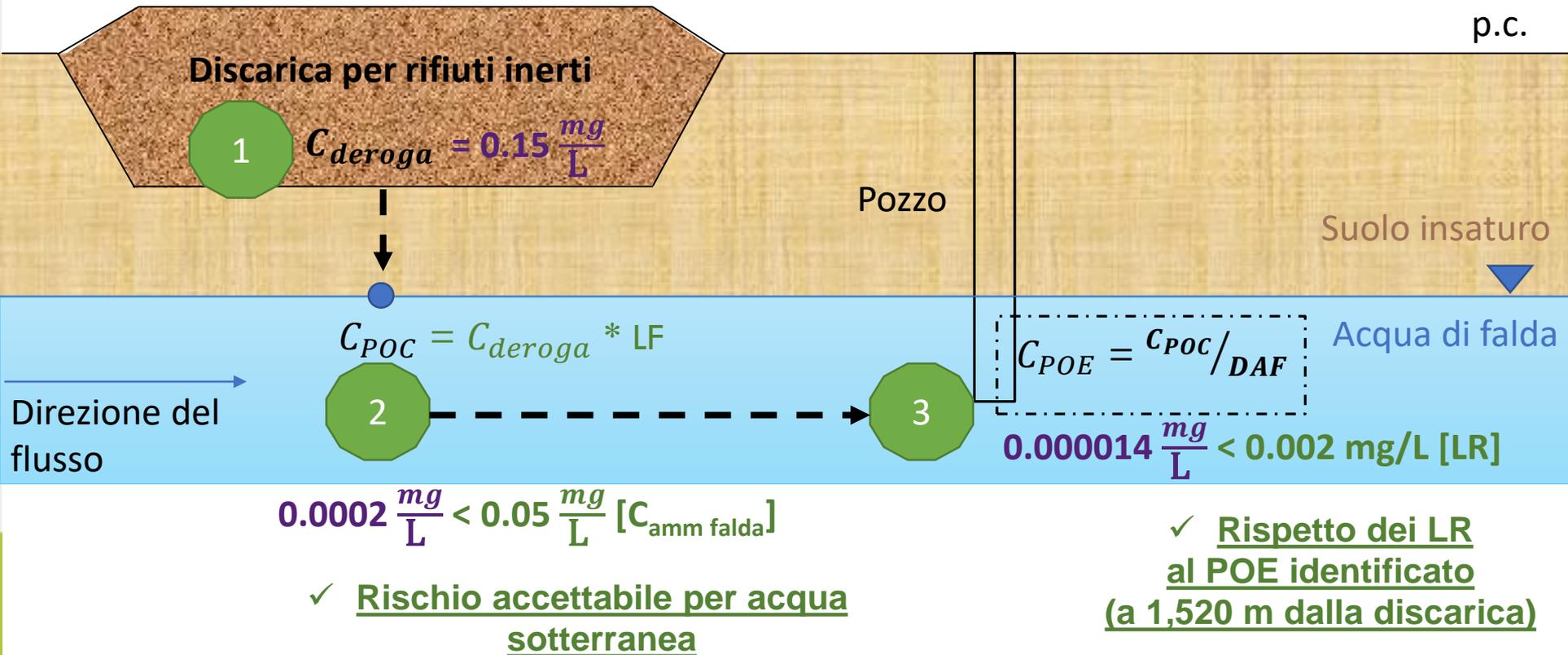
## - UN ESEMPIO DALL'ESPERIENZA DI BRESCIA

VALORI PER  
CROMO TOTALE

(valori di esempio da una  
recente valutazione)

- OBIETTIVI:**
- verifica di rischio accettabile al POC
  - verifica del rispetto dei limiti di rilevabilità strumentale (LR) nel punto di esposizione (POE)

in caso di presenza nel percolato della massima concentrazione in deroga



# ADR PER LE ACQUE SOTTERRANEE (MODALITÀ INVERSA)

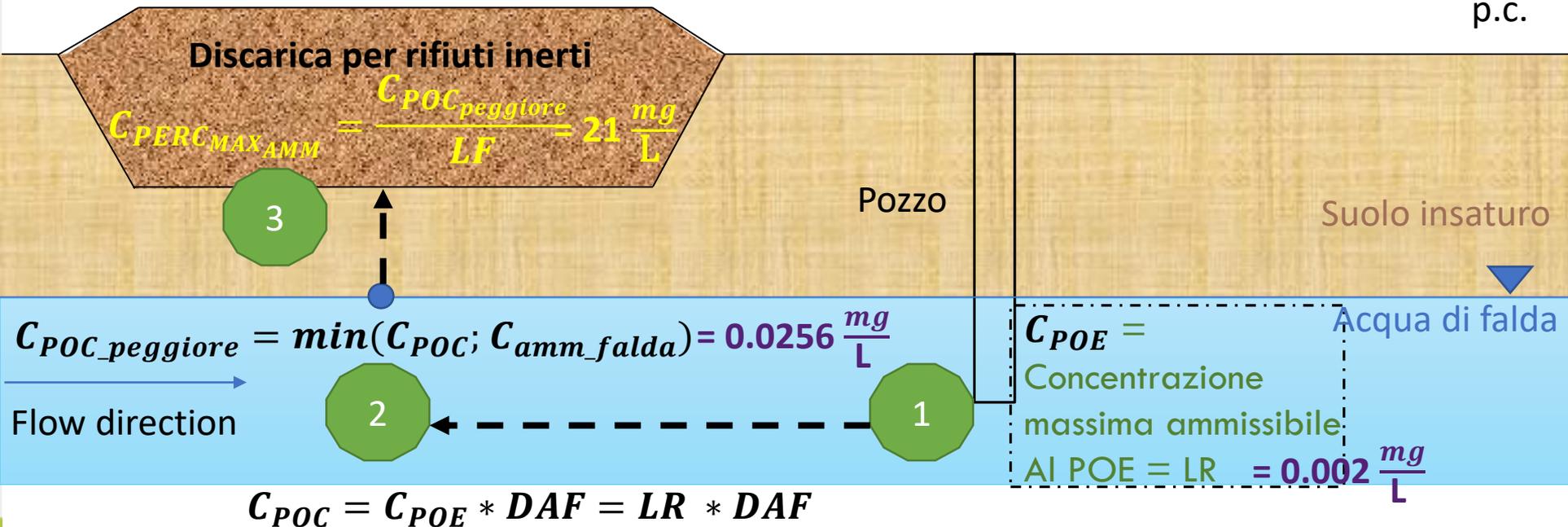
## - UN ESEMPIO DALL'ESPERIENZA DI BRESCIA

**VALORI PER CROMO TOTALE**

(valori di esempio da una recente valutazione)

**OBIETTIVI:** Calcolo delle concentrazioni massime ammissibili di contaminanti nel percolato  
(il percolato viene monitorato per tutta la vita della discarica)

p.c.



# PUNTI CHIAVE NELLA PROCEDURA METODOLOGICA SU ADR PER LE ACQUE SOTTERRANEE

## **Circolare ISPRA**

- ✓ ha chiarito errore su LDF (e quindi su LF)
- ✓ ha definito posizione POC
- ✓ ha chiarito possibilità di limitare AdR a valutazione matrici ambientali (rischio sulla salute umana solo se rischi non accettabili in una delle componenti ambientali)

Provincia di Brescia l'ha **recepita**

## **Scelte principali della Provincia di Brescia in mancanza di riferimenti:**

- + Adozione di LR forniti da laboratorio di ARPA Brescia per confronto concentrazioni al POE
- + Altezza battente percolato di progetto pari a 1 m per necessità di codificazione di tale parametro in sede di contenziosi amministrativi
- + Scelta di accettare ipotesi cautelativa per il calcolo del flusso di percolato  $L_f$  e altre ipotesi cautelative in mancanza di dati
- + Validità di AdR finché non variano elementi, altrimenti va ripresentata

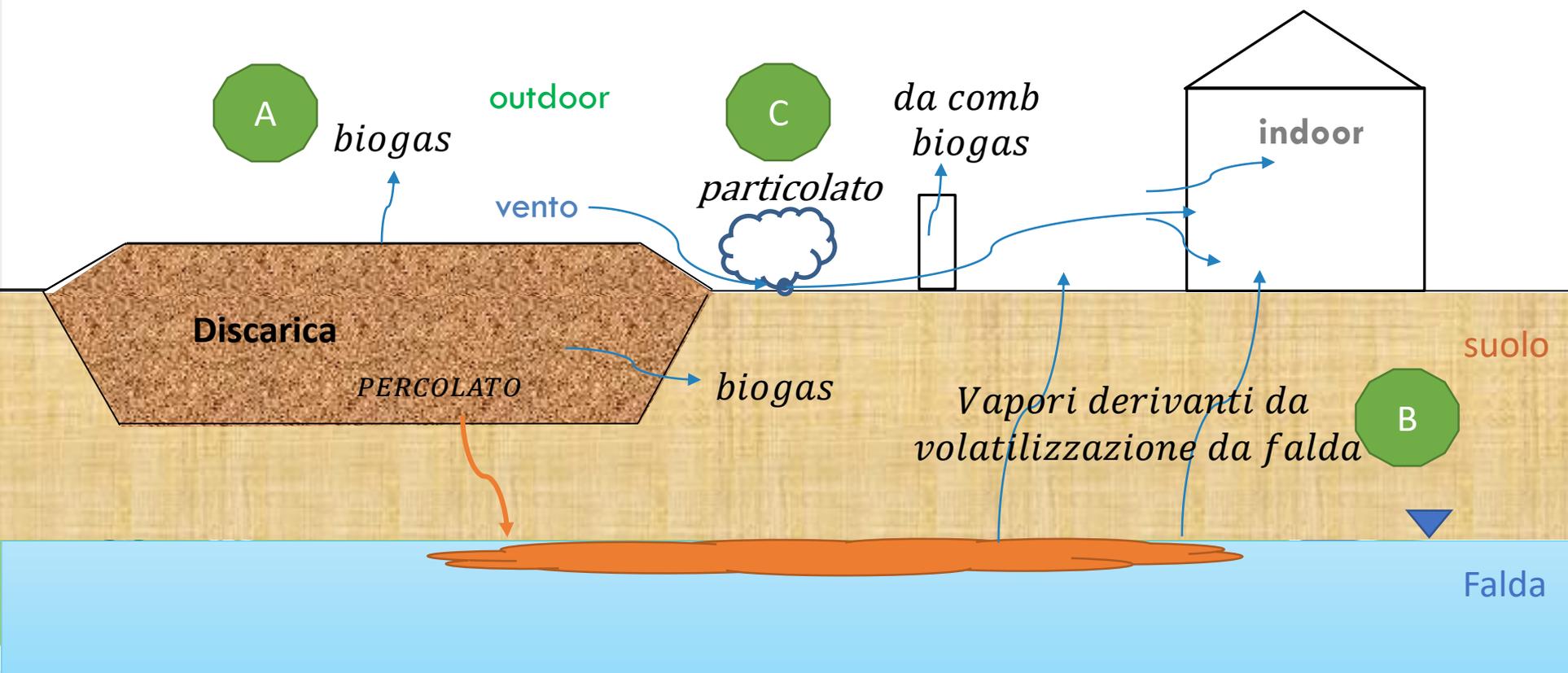
## **Possibilità in discussione al Tavolo Regionale**

- ❖ Eseguire l'analisi di rischio relativa alle acque sotterranee solo al Punto di Conformità (POC)

# PROCEDURA METODOLOGICA – AdR PER EMISSIONI GASSOSE

Nel caso delle discariche l'AdR dovrebbe valutare, quando rilevanti, le emissioni gassose.

I punti di esposizione da considerare sono sia outdoor che indoor



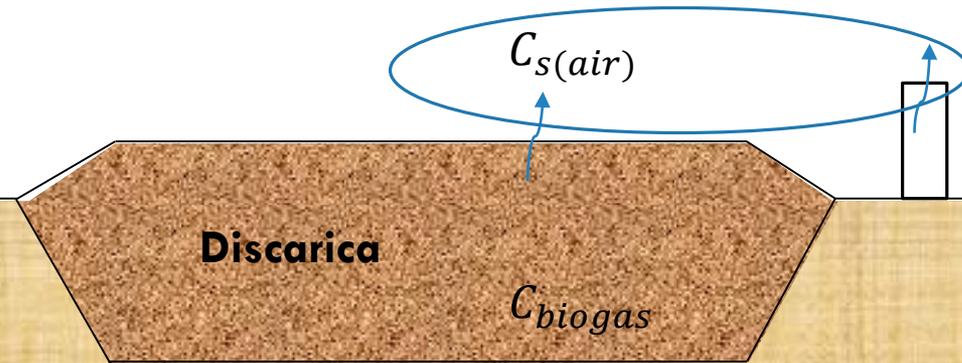
# ADR PER EMISSIONI GASSOSE CORRELATE AL BIOGAS – ESPOSIZIONE OUTDOOR

3-outdoor

$$C_3 = C_{POE (air)} = ADF * C_{S(air)}$$

$C_3$

*Formule da LG APAT  
per determinazione  
concentrazioni delle  
singole specie gassose*



La formula per il fattore di dispersione del contaminante in atmosfera è:

$$ADF = \frac{Q}{2\pi * U_{air} * \sigma_y * \sigma_z} * \left[ \exp\left(-\frac{(z - \delta_{air})^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + \delta_{air})^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

- Q: quantità di contaminante emesso per unità di tempo
- $U_{air}$ : velocità del vento
- $\delta_{air}$ : altezza della zona di miscelazione
- $\sigma_y, \sigma_z$ : coefficiente di dispersione trasversale e verticale
- z: altezza del recettore



# INCONGRUENZE NELLE LINEE GUIDA APAT (2005) NELLO SCENARIO INDOOR DELLA COMPONENTE BIOGAS

A. formulazione parametro  $\beta$  non corretta dal punto di vista dimensionale

LG APAT 2005	Manuale GasSim	Ferguson et al., 1995
$\beta = \frac{D_{23(w)}(A_{wa} - A_{wd})}{A D_{23(c)} + E_X h}$ <p style="text-align: center;"> <math>\downarrow</math>   <math>\downarrow</math>   <math>\downarrow</math>   <math>\downarrow</math>  <math>m^2</math>   <math>m/h</math>   <math>h^{-1}</math>   <math>m</math> </p>	$\beta = \frac{D_{23(w)}(A_{wa} - A_{wd})}{A + D_{23(c)} + E_X h}$ <p style="text-align: center;"> <math>\downarrow</math>   <math>\downarrow</math>   <math>\downarrow</math>   <math>\downarrow</math>  <math>m^2</math>   <math>m/h</math>   <math>m</math>   <math>h^{-1}</math> </p>	$\beta = \frac{D_{23(w)}(A_{wa} - A_{wd})}{A} + D_{23(c)} + E_X h$ <p style="text-align: center;"> <math>\downarrow</math>  <math>m/h</math> </p> <div style="text-align: right;">  </div>

$D_{23(w)}$  (m/h) è la diffusività attraverso le mura laterali (walls) dell'edificio;  
 $D_{23(c)}$  (m/h) è la diffusività attraverso il soffitto (ceiling) dell'edificio;  
 $A$  ( $m^2$ ) è l'area dell'edificio;  $A_{wa}$  ( $m^2$ ) è l'area delle mura laterali dell'edificio;  
 $A_{wd}$  ( $m^2$ ) è l'area delle aperture (finestre e porte) dell'edificio;  
 $h$  (m) è l'altezza dell'edificio;  
 $E_X$  ( $h^{-1}$ ) è il tasso di ricambio d'aria.

B. formulazione del parametro  $D_{12}$  (m/h), diffusività attraverso il pavimento non corretta

Ferguson C.C., Krylov V.V. and McGrath P.T. (1995).  
*Contamination of indoor air by toxic soil vapours: a screening risk assessment model.*  
*Building and Environment*, 30 (3), pp. 375 - 383.

# INCONGRUENZE NELLE LINEE GUIDA APAT (2005) NELLO SCENARIO INDOOR DELLA COMPONENTE BIOGAS

- A. formulazione parametro  $\beta$  non corretta dal punto di vista dimensionale
- B. formulazione del parametro  $D_{12}$  (m/h), diffusività attraverso il pavimento non corretta

## LG APAT 2005

$$D_{12} = D_{soil} \frac{S_{a1}^{10/3}}{S_{t1}^2} + D_{air} \frac{S_{a2}^{10/3}}{S_{t2}^2}$$

- La struttura della formula riportata da **LG APAT 2005** non rispecchia la struttura della formula riportata dalle **fonti bibliografiche (somma dei reciproci, che necessita di minimo comun denominatore)**
- Lo spessore dello strato i-esimo  $d(i)$  non viene esplicitato e non è chiarito dove reperire i valori di coefficiente di diffusione del gas ( $D_{soil}$ ,  $D_{air}$ ) in cm/s (nel database ISS ci sono valori  $D_a$  in cm<sup>2</sup>/s)

## Manuale GasSim & Ferguson et al., 1995

$$\frac{1}{D_{12}} = \frac{1}{\frac{1}{d(1)} D_a \frac{S_{a1}^{10/3}}{S_{t1}^2}} + \frac{1}{\frac{1}{d(2)} D_a \frac{S_{a2}^{10/3}}{S_{t2}^2}} + \dots + \frac{1}{\frac{1}{d(n)} D_a \frac{S_{an}^{10/3}}{S_{tn}^2}}$$

$D_{soil}$ ,  $D_{air}$  = coefficiente di diffusione del gas rispettivamente nel suolo e nell'aria (m/h)

$D_a$  = diffusività del contaminante (m<sup>2</sup>/h)

$S_a$  = air-filled porosity of the medium (-)

$S_t$  = porosità totale del mezzo (-)

$d(i)$  = spessore dello strato (i) (m)

# INCONGRUENZE NELLE LINEE GUIDA APAT (2005) NELLO SCENARIO INDOOR DELLA COMPONENTE BIOGAS

- A. formulazione parametro  $\beta$  non corretta dal punto di vista dimensionale
- B. formulazione del parametro  $D_{12}$  (m/h), diffusività attraverso il pavimento non corretta



In Provincia di Brescia la **prassi** è quindi quella di **far riferimento, per lo scenario indoor della componente biogas, a *Ferguson et al. (1995)***, il quale peraltro **fornisce dei valori di riferimento** per i parametri necessari al calcolo per i singoli strati di un tipico pacchetto di costruzione di pavimentazione, mura e copertura (*questo proposto anche a Tavolo Regionale*).

Inoltre per quanto riguarda la **concentrazione** del contaminante **nel soil gas**, in assenza di dati sito-specifici, si assume per ciascun contaminante il valore pari alla **concentrazione riscontrata nel biogas**.

*Ferguson C.C., Krylov V.V. and McGrath P.T. (1995).  
Contamination of indoor air by toxic soil vapours: a screening risk assessment model.  
Building and Environment, 30 (3), pp. 375 - 383.*

# PROCEDURA METODOLOGICA – ADR PER EMISSIONI GASSOSE DA BIOGAS

Le concentrazioni indoor e outdoor così determinate andrebbero poi confrontate con i valori di riferimento «massimi ammissibili» e, qualora superati, andrebbe calcolato il rischio sanitario.

## Problema 1:

- Quali inquinanti considerare in questa analisi? (Mentre nel caso del percolato abbiamo una correlazione diretta con la richiesta di deroga/sottocategoria, nel caso del biogas questa correlazione diretta viene meno!)

## Proposta di soluzione al problema 1 (in discussione al Tavolo Regione Lombardia)

- *un insieme di parametri essenziali*
  - Da corpo discarica: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, mercaptani, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S (Principali costituenti del biogas da discarica)
  - Da motori/torce: CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, HCl, HF, benzo[a]pirene, PCDD/PCDF (selezione dei parametri indicati dalle prescrizioni tipiche di monitoraggio in fase autorizzativa per tali tipi di emissione)

# PROCEDURA METODOLOGICA – ADR PER EMISSIONI GASSOSE DA BIOGAS

**Le concentrazioni indoor e outdoor così determinate andrebbero poi confrontate con i valori di riferimento «massimi ammissibili» e, qualora superati, andrebbe calcolato il rischio sanitario.**

## **Problema 2:**

- Non sono definiti chiari limiti normativi per le concentrazioni ammissibili di inquinanti in atmosfera per gli inquinanti caratteristici del biogas per esposizione indoor/outdoor

**Proposta di soluzione al problema 2** (elaborata con la collaborazione di ISS e in discussione al Tavolo Regione Lombardia)

### **Outdoor:**

- **D.Lgs. 81/2008** (testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro)  
→ CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, HCl, HF

Per i contaminanti non presenti in tale decreto, in ordine:

1. *Threshold limit values TLV-TWA* fissati dalla *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH)
2. D.Lgs. 155/2010 (Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa)
3. WHO guidelines for outdoor air quality (WHO, 2000; WHO; 2005)

### **Indoor:**

- **WHO guidelines for indoor air quality** (WHO, 2010)  
→ NO<sub>2</sub>, CO, benzo[a]pirene

For contaminants not present in those guidelines:

1. D.Lgs. 155/2010
2. WHO guidelines for outdoor air quality
3. TLV-TWA definite dalla ACGIH

# PROCEDURA METODOLOGICA – ADR PER EMISSIONI GASSOSE DA BIOGAS

Le concentrazioni indoor e outdoor così determinate andrebbero poi confrontate con i valori di riferimento «massimi ammissibili» e, qualora superati, andrebbe calcolato il rischio sanitario.

## Problema 3:

- Non è possibile altresì calcolare il rischio sanitario per la maggior parte delle sostanze inquinanti caratteristiche del biogas e della sua combustione (*non sono definiti né SF, né RfD per le sostanze caratteristiche del biogas e da sua combustione sopracitate*):
  - Tra sostanze caratteristiche da biogas da discarica: solo per  $\text{NH}_3$  il database IRIS (EPA 2016) fornisce la Reference Concentration (RfC\*);
  - Per le sostanze inquinanti legate a motori/torche: per  $\text{NO}_2$ , CO e  $\text{SO}_2$  è disponibile un RfC short term; per HCl, HF, benzo[a]pirene e PCDD/PCDF (per 2,3,7,8 TCDD) è definita una RfC

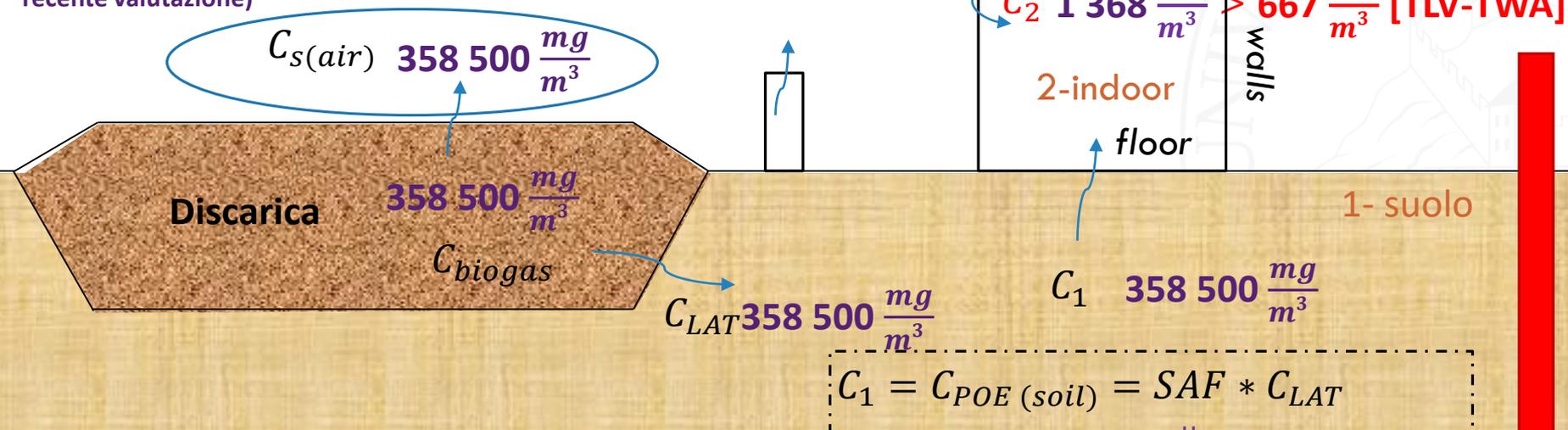
\*la RfD si ottiene dividendo RfC per 3,57 come indicato da L. Musmesi dell'ISS in “Nozioni base di tossicologia”

## Proposta di soluzione al problema 3

- Adottare approccio di confronto tra le concentrazioni descritto nei punti precedenti e, se valori di riferimento non rispettati, procedere con prescrizioni

# ADR PER EMISSIONI GASSOSE CORRELATE AL BIOGAS - UN ESEMPIO DALL'ESPERIENZA DI BRESCIA

**VALORI PER CH<sub>4</sub>**  
(valori di esempio da una recente valutazione)



Le **valutazioni indoor** fatte in corrispondenza della **PALAZZINA UFFICI** (discariche in aperta campagna, no abitazioni nelle immediate vicinanze)

l'AdR è servita **anche** ad elevare la tutela degli operatori, generando una prescrizione a mitigazione di una possibile diffusione indoor del biogas

**Prescrizione:** realizzazione di una idonea barriera impermeabile a gas presenti nel sottosuolo in corrispondenza delle fondazioni dell'edificio (Si ha superamento anche per mercaptani e H<sub>2</sub>S)

# TAVOLO REGIONE LOMBARDIA

- necessità di adottare uno **strumento di semplificazione normativa** al fine di standardizzare i criteri di valutazione per l'analisi del rischio applicata alle discariche **in tutta la regione**
- documento condiviso in discussione
  - Principali punti proposti sull'ADR per le acque sotterranee:
    - Eseguire l'analisi solo al Punto di Conformità (POC)
  - Principali punti proposti sull'ADR per la componente biogas:
    - Applicare la procedura ADR per il biogas solo in caso di richiesta di una sottocategoria di discarica (articolo 7 del D.M. del 27 settembre 2010) con richieste di definizione di criteri di ammissibilità per i parametri organici.
    - Considerare almeno una serie di parametri essenziali per le emissioni in discarica e per le emissioni di motori/torçe
    - Considerare bersagli on-site, ovvero il personale delle discariche, sia per **l'esposizione outdoor\*** (lavoratori in discarica) sia per l'esposizione indoor (lavoratori nella palazzina uffici).
    - Utilizzare formule "corrette" per il calcolo delle concentrazioni nel punto di esposizione (POE)
    - Confrontare le concentrazioni al POE con valori soglia outdoor e indoor

*\* esistono perplessità sulla necessità di considerare questa via di esposizione (controllo valori soglia outdoor), dato che gli operatori sul fronte discarica hanno adeguata formazione al rischio chimico e specifici dispositivi di protezione individuale.*

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

[mentore.vaccari@unibs.it](mailto:mentore.vaccari@unibs.it)

[s.gibellini@unibs.it](mailto:s.gibellini@unibs.it)