

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



ISPRA
Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura degli Ambienti



ISPRA
Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura degli Ambienti

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

INQUADRAMENTO NORMATIVO

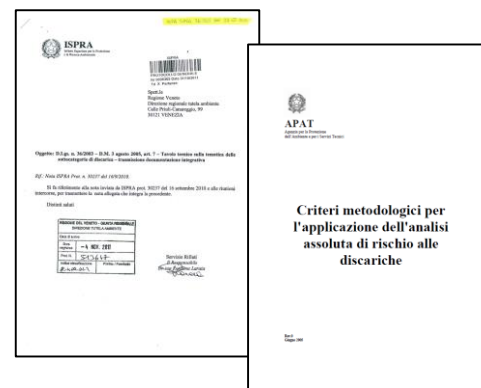
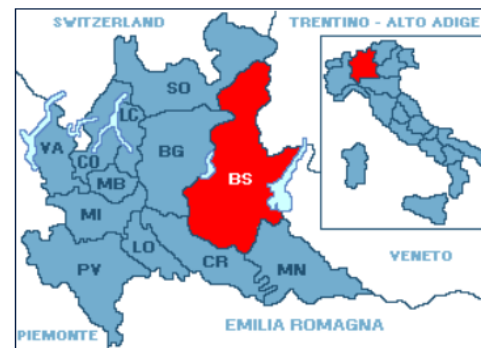
Nella procedura di autorizzazione italiana per la costruzione di una discarica, **l'analisi del rischio (AdR) è obbligatoria in caso di richiesta di deroga** alla normativa vigente (D.M. 27 settembre 2010 e s.m.i.)

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

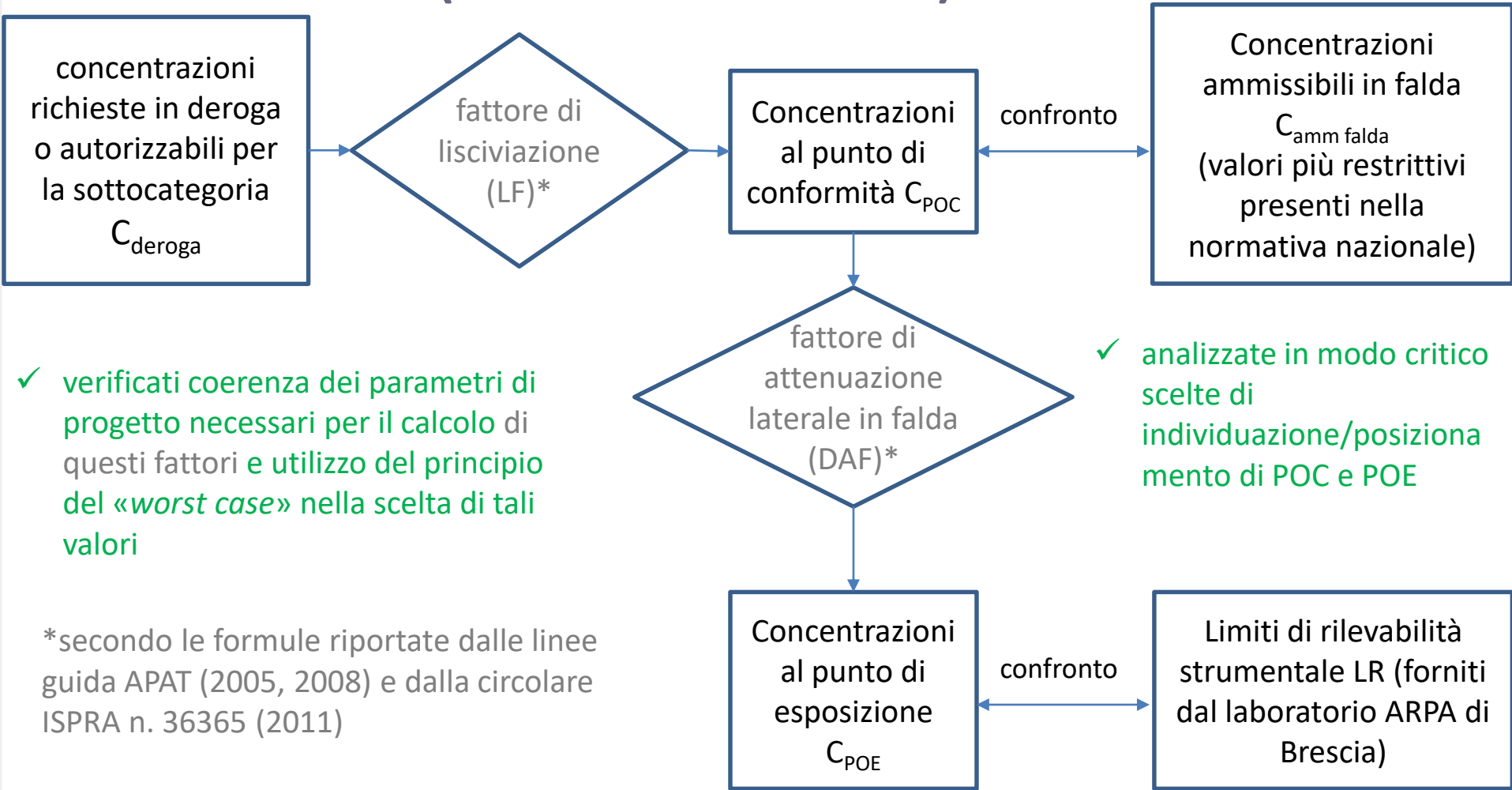
- alle **sottocategorie di discariche** per rifiuti non pericolosi (**articolo 7** del D.M. del 27 settembre 2010 e s.m.i.);
- alle **deroghe ai valori limite** per l'ammissibilità dei rifiuti in discarica (**articolo 10** del D.M. del 27 settembre 2010 e s.m.i.).

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
 δ_{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

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

α_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

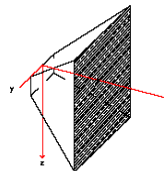
Modello analitico di Domenico di trasporto del soluto

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

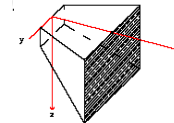
dove:

- $C(x, y, z) = C_{POE}$ dove il POE ha coordinate (x, y, z)
- $C_0 = C_{gw}$
- α_x , α_y and α_z sono le dispersività nelle direzioni degli assi principali.
- λ_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, ρ_s è la densità del suolo e θ_e la porosità effettiva del terreno
- v_e è la velocità media effettiva dell'acqua di falda, data da : $v_e = \frac{v_{gw}}{\theta_e}$

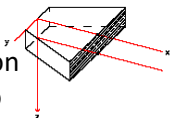
Con $y = z = 0$
DAF (1)



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)

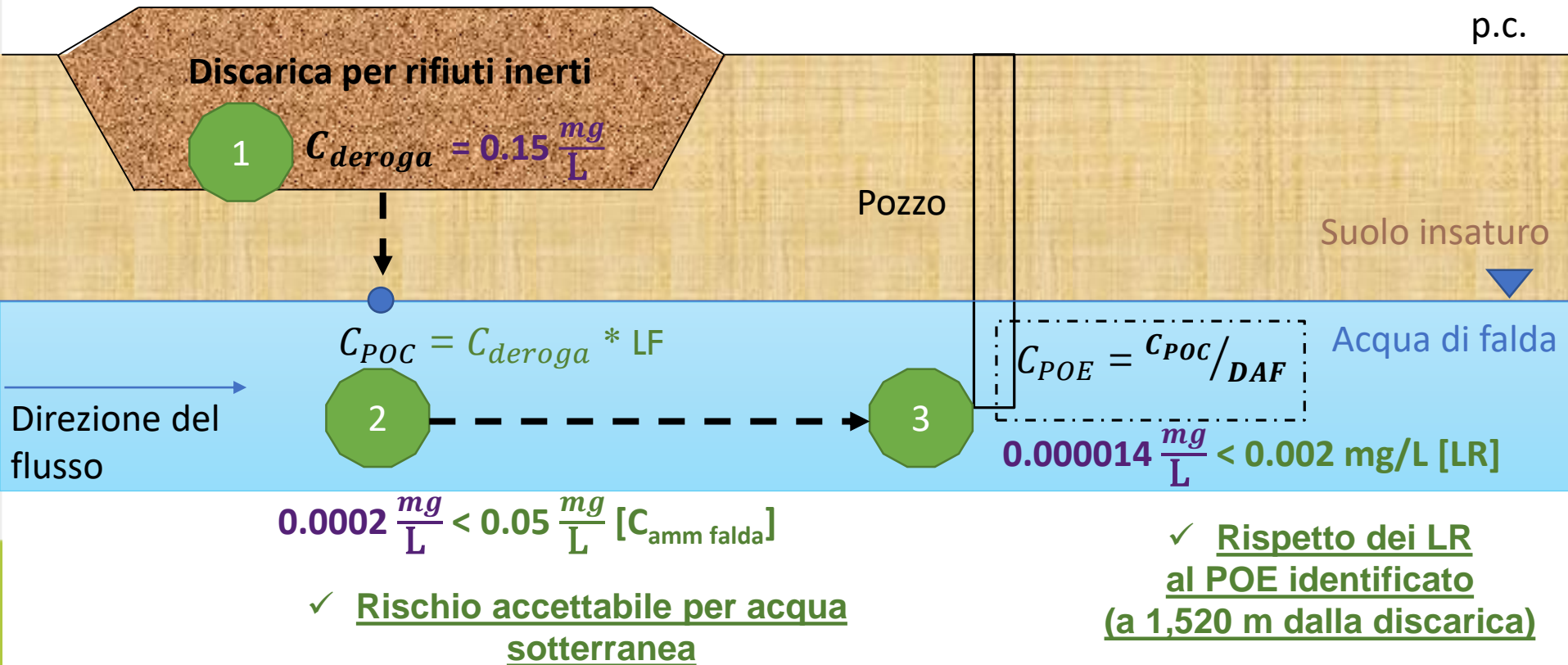
- UN ESEMPIO DALL'ESPERIENZA DI BRESCIA

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)

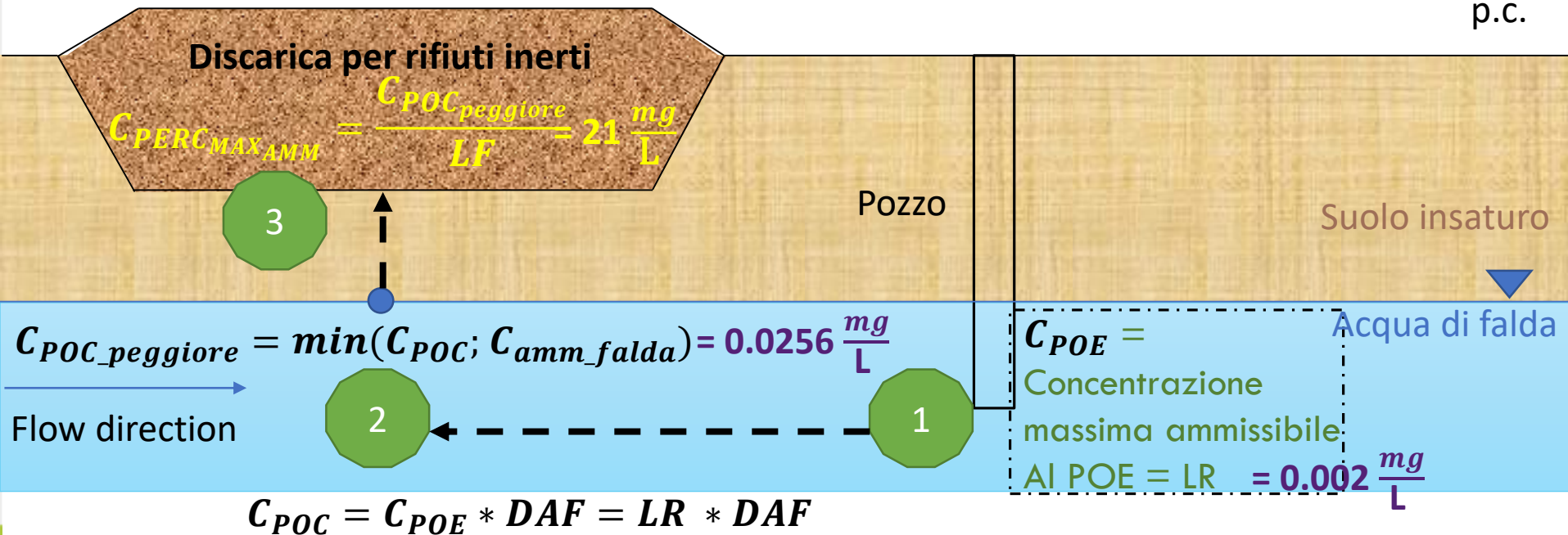
- UN ESEMPIO DALL'ESPERIENZA DI BRESCIA

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

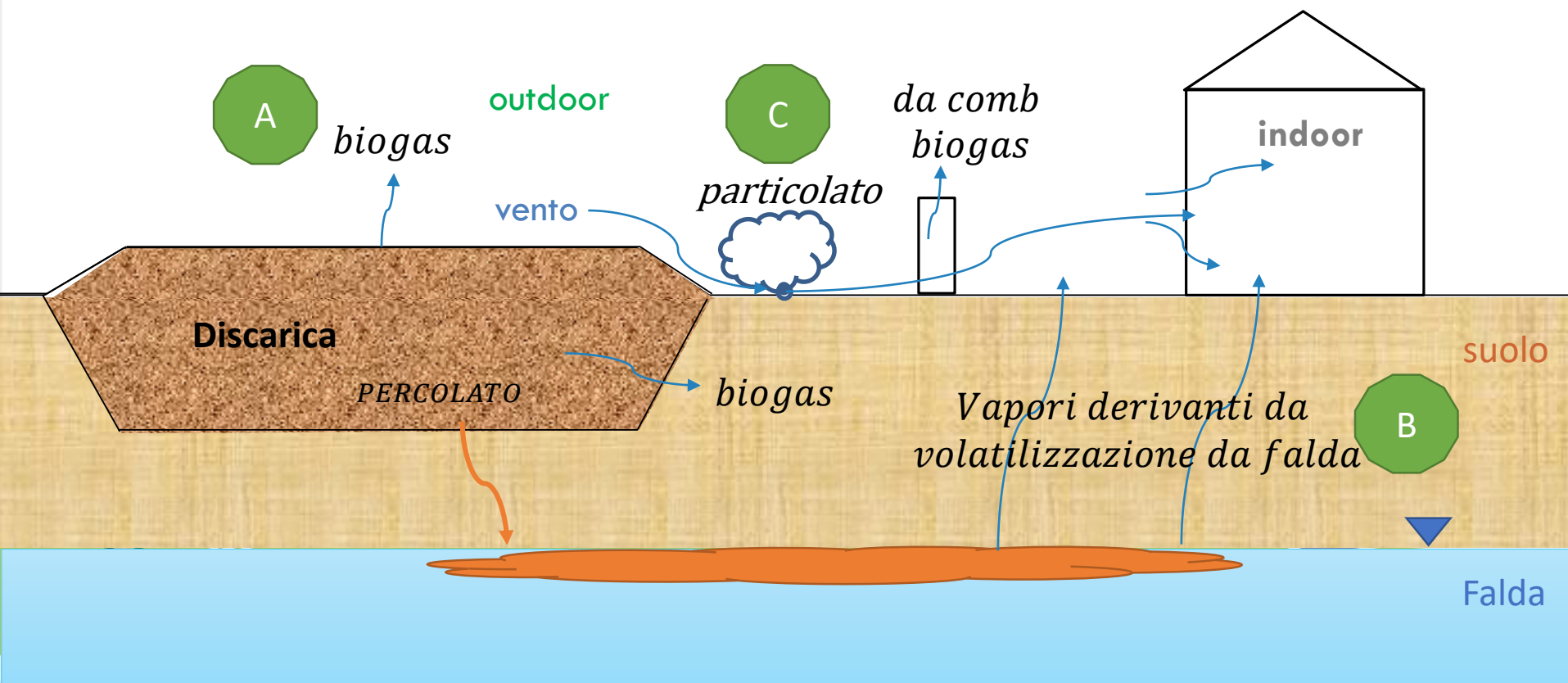
Possibilità in discussione al Tavolo Regionale

- ❖ 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



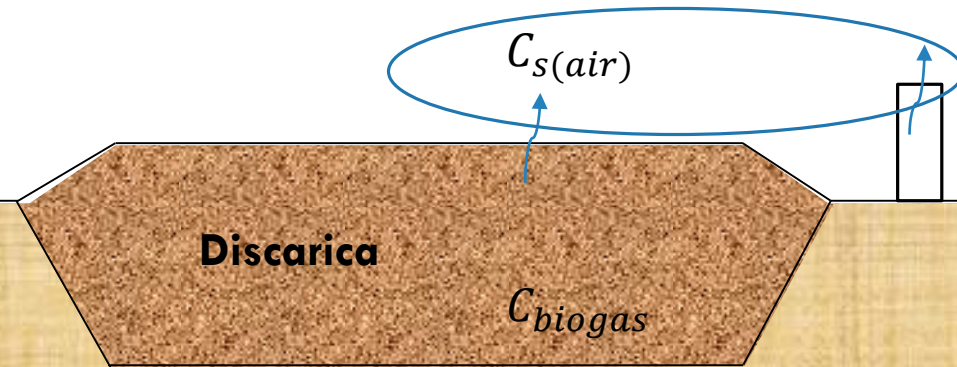
ADR PER EMISSIONI GASSOSE CORRELATE AL BIOGAS – ESPOSIZIONE OUTDOOR

3-outdoor

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

C_3

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



1- suolo

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
- δ_{air}: altezza della zona di miscelazione
- σ_y, σ_z: coefficiente di dispersione trasversale e verticale
- z: altezza del recettore

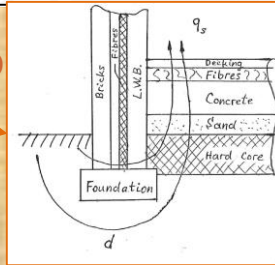
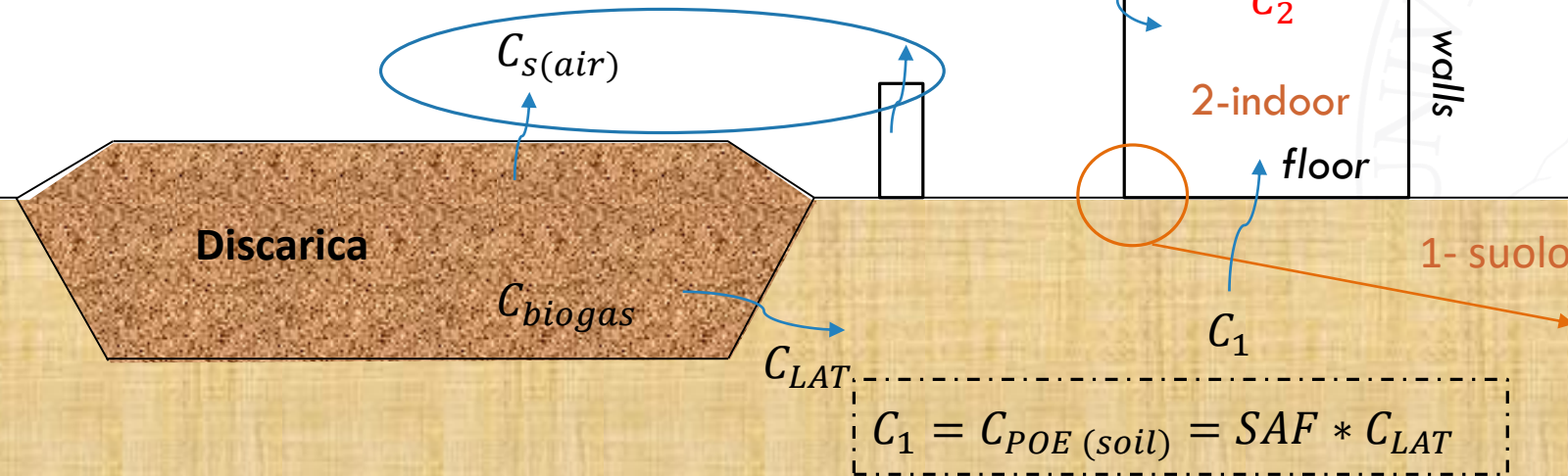
ADR PER EMISSIONI GASSOSE CORRELATE AL BIOGAS

ESPOSIZIONE INDOOR

3-outdoor

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

$$C_2 = \frac{(D_{12} + \alpha)C_1 + \beta C_3}{D_{12} + \beta}$$




- La formula per il fattore di migrazione laterale del biogas nel suolo insaturo superficiale è:

$$\frac{1}{SAF} = \exp \left[\frac{x}{2\alpha_x} * \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda_i \alpha_x}{v_{gs}}} \right) \right] * \left[\operatorname{erf} \left(\frac{h_{r_unsat}}{4\sqrt{\alpha_y x}} \right) \right]$$

- σ_x, σ_y : coefficiente di dispersività longitudinale e trasversale
- h_{r_unsat} spessore della zona non satura di rifiuti all'interno della discarica misurato rispetto al piano campagna
- v_{gs} velocità media del flusso (Er) relative alla quantità di gas (Fb_{lat}) che fuoriesce dalla superficie laterale della discarica (A_{lat})

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

A. formulazione parametro β non corretta dal punto di vista dimensionale

LG APAT 2005	Manuale GasSim	Ferguson et al., 1995
$\beta = \frac{D_{23(w)}(A_{wa} - A_{wd})}{A D_{23(c)} + E_X h}$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> \downarrow m^2 </div> <div style="text-align: center;"> \downarrow m/h </div> <div style="text-align: center;"> \downarrow h^{-1} </div> <div style="text-align: center;"> \downarrow m </div> </div>	$\beta = \frac{D_{23(w)}(A_{wa} - A_{wd})}{A + D_{23(c)} + E_X h}$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> \downarrow m^2 </div> <div style="text-align: center;"> \downarrow m/h </div> <div style="text-align: center;"> \downarrow m </div> <div style="text-align: center;"> \downarrow h^{-1} </div> </div>	$\beta = \frac{D_{23(w)}(A_{wa} - A_{wd})}{A} + D_{23(c)} + E_X h$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> \downarrow m/h </div> <div style="text-align: center;">  </div> </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 β 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 cm²/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 (m²/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 β 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: CH₄, CO₂, mercaptani, NH₃, H₂S (Principali costituenti del biogas da discarica)
 - Da motori/torce: CO₂, NO₂, CO, SO₂, 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)
→ CO₂, NH₃, 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)
→ NO₂, 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 NH_3 il database IRIS (EPA 2016) fornisce la Reference Concentration (RfC*);
 - Per le sostanze inquinanti legate a motori/torche: per NO_2 , CO e 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

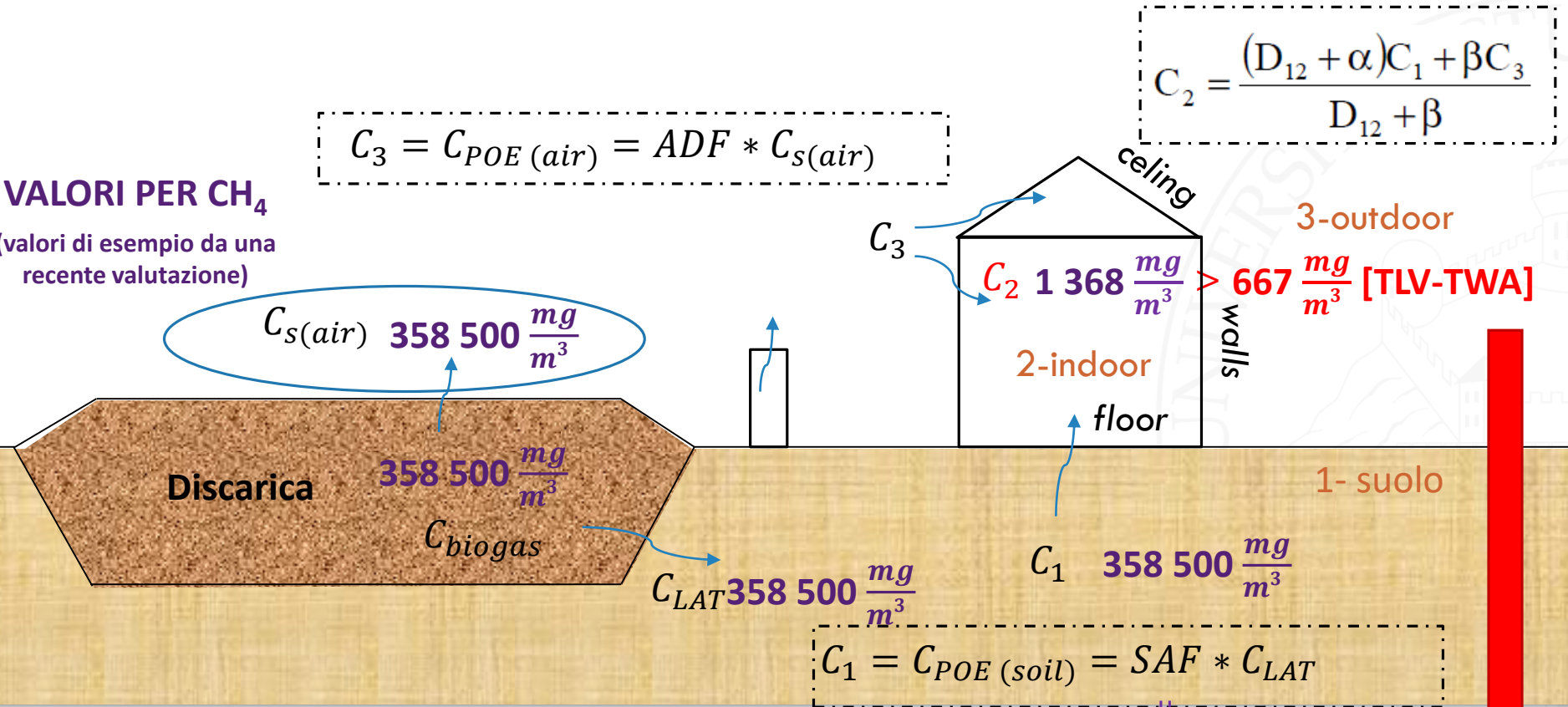
*la RfD si ottiene dividendo RfC per 3,57 come indicato da L. Musmesi dell'ISS in “Nozioni base di tossicologia”

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 CH₄
(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 H₂S)

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

s.gibellini@unibs.it



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Certificazione
dell'Qualità Ambientale

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