

# PROCEDURA OPERATIVA PER LA VALUTAZIONE E L'UTILIZZO DEI DATI DERIVANTI DA MISURE DI GAS INTERSTIZIALI NELL'ANALISI DI RISCHIO DEI SITI CONTAMINATI

Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 03.10.18. Doc. n. 41/18





**INAIL**

ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE  
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO

# PROCEDURA OPERATIVA PER LA VALUTAZIONE E L'UTILIZZO DEI DATI DERIVANTI DA MISURE DI GAS INTERSTIZIALI NELL'ANALISI DI RISCHIO DEI SITI CONTAMINATI

Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 03.10.18. Doc. n. 41/18

---

LINEE GUIDA SNPA | **17** 2018

ISBN 978-88-448-0924-9 - Roma, Novembre 2018

---

## **Informazioni legali**

Il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) è operativo dal 14 gennaio 2017, data di entrata in vigore della Legge 28 giugno 2016, n.132 "Istituzione del Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente e disciplina dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale".

Esso costituisce un vero e proprio Sistema a rete che fonde in una nuova identità quelle che erano le singole componenti del preesistente Sistema delle Agenzie Ambientali, che coinvolgeva le 21 Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA), oltre all'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Attraverso il Consiglio dell'SNPA, il Sistema esprime il proprio parere vincolante sui provvedimenti del Governo di natura tecnica in materia ambientale e segnala al MATTM e alla Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e Bolzano l'opportunità di interventi, anche legislativi, ai fini del perseguimento degli obiettivi istituzionali.

Tale attività si esplica anche attraverso la produzione di documenti, prevalentemente linee guida o rapporti, che diffondono tali pareri, tramite la pubblicazione nell'ambito delle rispettive Collane Editoriali, a cura delle singole Agenzie o dell'ISPRA.

L'ISPRA, le ARPA, le APPA e le persone che agiscono per loro conto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

ISBN 978-88-448-0924-9

© Linee Guida SNPA, 17/2018

Riproduzione autorizzata citando la fonte

## **Elaborazione grafica**

*Grafica di copertina:* Franco Iozzoli

*Foto di copertina:* Elio Vittonetto - Forme e colori della vecchia Torino industriale - Titolo del dipinto: GLI SHED, olio su masonite, cm 50x60 Editore: ELEDE Editrice s.r.l., Torino, 1999 (per gentile concessione dell'autore)

ISPRA

## **Coordinamento pubblicazione on line:**

Daria Mazzella

ISPRA – Area Comunicazione

**Novembre 2018**

---

## **Autori**

Antonella Vecchio (ISPRA - Coordinamento del documento)  
Marco Falconi (ISPRA)

### *Gruppo di Lavoro 9 Bis – Sottogruppo 4 “Utilizzo del dato”*

Marco Fontana (ARPA Piemonte - Coordinatore del Gruppo di Lavoro 9 bis)  
Lucina Luchetti (ARTA Abruzzo)  
Gianluca Ragone, Valentina Sammartino (ARPA Campania)  
Laura Schiozzi (ARPA Friuli Venezia Giulia)  
Fabrizio Cacciari, Adele Lo Monaco, Maria Grazia Scialoja (ARPAE Emilia Romagna)  
Elisa Colangeli, Alessandro Grillo (ARPA Lazio)  
Lucrezia Belsanti, Daniela Fanutza, Maurizio Garbarino, Chiara Olivieri (ARPA Liguria)  
Sara Puricelli, Madela Torretta (ARPA Lombardia)  
Elisabetta Ballarini (ARPA Marche)  
Chiara Ariotti, Paola Boschetti, Maurizio Di Tonno (ARPA Piemonte)  
Fulvio Simonetto (ARPA Valle D’Aosta)  
Federico Fuin (ARPA Veneto)

### *Con il contributo di:*

Eleonora Beccaloni, Federica Scaini (ISS)  
Simona Berardi, Elisabetta Bemporad (INAIL)

## **Ringraziamenti**

Laura D’Aprile (MATTM)  
Maurizio Guerra (ISPRA)  
Giuseppe Del Carlo (ARPAE Emilia Romagna),  
Luisa Rivara (ARPA Liguria),  
Laura Clerici, Antonietta De Gregorio, Mauro Scaglia (ARPA Lombardia)  
Cristina Bertello, Maria Radeschi, Paolo Fornetti (ARPA Piemonte)  
Gianni Formenton, Giorgia Giraldo (ARPA Veneto)

---

# INDICE

<b>GLOSSARIO</b> .....	<b>4</b>
<b>PREMESSA</b> .....	<b>6</b>
<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>7</b>
<b>1 APPROCCIO GRADUALE PER LA VALUTAZIONE DEI DATI NEI GAS INTERSTIZIALI NELL'ANALISI DI RISCHIO</b> .....	<b>8</b>
1.1 Sostanze di interesse per il percorso di volatilizzazione .....	8
1.2 Criteri per l'esclusione del percorso di volatilizzazione .....	8
1.3 Criteri per la determinazione delle necessità di intervento.....	9
1.4 Criteri per la definizione delle CSR nel suolo e nelle acque sotterranee .....	10
<b>2 DEFINIZIONE DEI VALORI SOGLIA NEI GAS DEL SUOLO</b> .....	<b>13</b>
2.1 Modello concettuale e criteri di derivazione dei valori soglia nei gas del suolo (esposizione umana).....	13
2.2 Parametri di esposizione umana e derivazione delle portate di esposizione .....	14
2.2.1 Scenario residenziale/ricreativo .....	14
2.2.2 Scenario commerciale/industriale .....	16
<b>3 CRITERI PER L'ANALISI DI RISCHIO APPLICATA AI GAS INTERSTIZIALI</b> .....	<b>18</b>
3.1 Stima dei fattori di attenuazione soil-gas .....	19
3.1.1 Stima dei fattori di attenuazione specifici .....	19
3.1.2 Valutazione dei fenomeni di biodegradazione .....	21
3.2 Stima della concentrazione rappresentativa nei gas interstiziali .....	24
<b>4 CRITERI PER LA VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI SUI GAS INTERSTIZIALI</b> .....	<b>26</b>
4.1 Indicazioni sul numero di campagne di misura .....	26
4.2 Confronto tra i dati di campo e i valori di riferimento .....	27
<b>5 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI</b> .....	<b>32</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>33</b>
<b>ALLEGATO A – DERIVAZIONE DEI PARAMETRI DI ESPOSIZIONE PER L'INALAZIONE DI VAPORI</b> .....	<b>36</b>
<b>ALLEGATO B – STIMA DEI FATTORI DI ATTENUAZIONE SOIL-GAS</b> .....	<b>44</b>
<b>ALLEGATO C – TEST DELLA PROCEDURA SU CASI REALI</b> .....	<b>55</b>
<b>APPENDICE 1 – CONCENTRAZIONI SOGLIA NEI GAS INTERSTIZIALI E LIMITI DI QUANTIFICAZIONE DELLE METODICHE DI CAMPIONAMENTO ED ANALISI</b> .....	<b>65</b>

---

## GLOSSARIO

**Analisi di Rischio (AdR):** analisi di rischio dei siti contaminati ai sensi dell'Allegato 1 alla Parte IV, Titolo V del D.Lgs.152/06 e s.m.i. ed in conformità alle indicazioni tecniche del Manuale APAT (ora ISPRA) "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" del 2008 (APAT, 2008) e del Documento MATTM "Linee Guida per l'applicazione dell'Analisi di Rischio sito-specifica" del 2014 con integrazione del gennaio 2015 (MATTM, 2014-2015).

**Valutazione di Rischio (VdR) soil gas:** valutazione in modalità diretta del rischio associato alle concentrazioni di inquinanti volatili ritrovate nei gas interstiziali secondo le indicazioni del presente documento. Per tale valutazione saranno utilizzati i fattori di attenuazione soil-gas ( $\alpha$ ) riportati nel § 3.1 del presente documento. Dovranno essere inoltre selezionati i parametri di esposizione relativi ai recettori interessati nel caso indoor e outdoor in base alle indicazioni riportate al § 2.2 del presente documento.

**Valore soglia ( $C_{soglia}$ ) [ $mg/m^3$ ]:** valore di riferimento nei gas interstiziali nel caso outdoor e indoor basato su uno scenario di cautela e definito per tre scenari di esposizione (residenziale, ricreativo, commerciale/industriale), secondo quanto indicato nel § 2.1. Tale valore viene utilizzato ai fini della verifica dell'esclusione del percorso di volatilizzazione.

**Valore accettabile ( $C_{accettabile}$ ) [ $mg/m^3$ ]:** massimo valore di concentrazione nei gas interstiziali al quale corrisponde un rischio accettabile. Tale valore è derivato a partire dalla VdR soil gas utilizzando lo stesso scenario di esposizione e gli stessi fattori di attenuazione già impiegati in modalità diretta. Può essere selezionato come valore obiettivo nei gas interstiziali qualora la VdR soil gas determini la necessità di intervento.

**Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) [ $mg/kg$  s.s.] o [ $\mu g/l$ ]:** concentrazioni obiettivo nei terreni e nelle acque di falda ai sensi della Parte IV, Titolo V del D.Lgs.152/06 e s.m.i.

**Concentrazioni Soglia di Rischio per il percorso di volatilizzazione (CSRvol) [ $mg/kg$  s.s.] o [ $\mu g/L$ ]:** concentrazioni obiettivo nei terreni e nelle acque di falda relative al percorso di volatilizzazione e determinate secondo le indicazioni del presente documento.

**Fattore di attenuazione soil gas ( $\alpha$ ):** rapporto tra la concentrazione attesa in aria ambiente al punto di esposizione ( $C_{aria\ ambiente}$ ) e la concentrazione rappresentativa nei gas interstiziali ( $C_{soil\ gas}$ ). Nel presente documento i fattori di attenuazione sono stimati a partire da dati sperimentali secondo quanto indicato nel § 3.1.

**Concentrazione rappresentativa nei gas interstiziali ( $C_{soil\ gas}$  o  $C$ ) [ $mg/m^3$ ]:** valore rappresentativo di concentrazione nei gas interstiziali relativo ad una singola campagna e determinato sulla base dei valori di concentrazione riscontrati nei punti di campionamento della rete di monitoraggio.

**Concentrazione attesa in aria ambiente ( $C_{aria\ ambiente}$ ) [ $mg/m^3$ ]:** concentrazione attesa in aria indoor o outdoor al punto di esposizione e stimata a partire dalle concentrazioni rappresentative nei gas interstiziali ( $C_{soil\ gas}$ ).

**Rischio da VdR soil gas (R):** rischio cancerogeno ( $R_{canc}$ ) e/o indice di pericolo (HI) determinato per ciascuna sostanza indice dalla VdR soil gas condotta in conformità al presente documento.

---

**Rischio accettabile da AdR soil gas ( $R_{\text{accettabile}}$ ):** criterio di accettabilità del rischio cancerogeno ( $TR_{\text{canc}} = 1E-06$ ) e dell'indice di pericolo ( $THI = 1$ ) per ciascuna sostanza indice oggetto della VdR soil gas in conformità al presente documento.

**Portata di esposizione inalatoria (EM):** valore specifico dello scenario di esposizione a lungo termine selezionato per l'inalazione vapori e calcolato a partire dai parametri di esposizione secondo quanto indicato nel § 2.2. Tale valore si differenzia a seconda dell'esposizione a sostanze cancerogene ( $EM_{\text{canc}}$ ) o non cancerogene ( $EM_{\text{non\_canc}}$ ).

**Inhalation Unit Risk Factor (IUR) [ $1/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ ]:** parametro di tossicità inalatoria per gli effetti cancerogeni da selezionare per ciascuna sostanza cancerogena secondo quanto indicato nella Banca Dati ISS-INAIL nella sua versione più aggiornata.

**Reference Concentration (RfC) [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]:** parametro di tossicità inalatoria per gli effetti non cancerogeni da selezionare per ciascuna sostanza non cancerogena secondo quanto indicato nella Banca Dati ISS-INAIL nella sua versione più aggiornata.

**Soil gas survey:** tecnica di monitoraggio dei gas interstiziali effettuata mediante sonde posizionate nella zona insatura del terreno.

---

## PREMESSA

Il presente documento è stato sviluppato da ISPRA e dalle ARPA all'interno delle attività del Gruppo di Lavoro 9 bis del Sistema Nazionale Protezione Ambiente (SNPA) che ha come finalità la definizione di una "Procedura per la validazione da parte degli Enti di controllo dei dati derivanti dalle misure dirette di aeriformi nell'ambito di siti sottoposti a procedura di bonifica".

Alla stesura di tale documento hanno contribuito ISS e INAIL per gli aspetti di propria competenza.

Lo scopo del documento è quello di definire una procedura operativa condivisa a livello nazionale per l'utilizzo dei dati derivanti da misure di soil gas all'interno dell'Analisi di Rischio (AdR) dei siti contaminati. Tale procedura operativa si basa su un approccio graduale di valutazione dei dati nei gas interstiziali, in analogia a quanto indicato dai documenti USEPA (USEPA, 1996) e ASTM (ASTM, 2001), nonché dalla normativa di riferimento, D.Lgs. 152/06, Parte IV, Titolo V e s.m.i.

Il presente documento illustra quindi i seguenti elementi:

1. approccio graduale per la valutazione dei dati di soil gas nell'AdR
2. criteri alla base della definizione dei valori di riferimento nei gas del suolo
3. criteri per la valutazione del rischio a partire dai dati di concentrazione nei gas
4. criteri di valutazione delle indagini sui gas interstiziali

Si ricorda che i valori di riferimento nei gas del suolo riportati nel presente documento sono finalizzati esclusivamente alla valutazione del percorso di "volatilizzazione" all'interno dell'AdR dei siti contaminati così come definita dall'Allegato 1 alla Parte IV, Titolo V del D.Lgs. 152/06 ed in conformità alle indicazioni tecniche del Manuale APAT (ora ISPRA) "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" del 2008 (APAT, 2008) e del Documento MATTM "Linee Guida per l'applicazione dell'Analisi di Rischio sito-specifica" del 2014 e successiva integrazione del 2015 (MATTM, 2014-2015).

---

## INTRODUZIONE

Il Manuale APAT (ora ISPRA) “Criteri metodologici” (APAT, 2008), il Documento MATTM “Linee Guida Analisi di Rischio” (MATTM 2014-2015) e il D.M. 31/2015 prevedono l’utilizzo dei risultati delle campagne di monitoraggio del soil gas all’interno dell’AdR per le seguenti finalità:

- esclusione del percorso di volatilizzazione all’interno del modello concettuale alla base dell’AdR,
- verifica dei risultati dei modelli di calcolo utilizzati all’interno della procedura di AdR.

Tuttavia né il Manuale APAT né le Linee Guida del MATTM chiariscono come possano essere utilizzati dati di campo per le finalità indicate, rimandando a specifiche indicazioni tecniche da parte degli Enti di Controllo.

L’approccio proposto nel presente documento nasce dalla necessità di definire criteri comuni all’interno del Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente per gestire le risultanze delle campagne di monitoraggio dei gas interstiziali, partendo dalle esperienze già maturate da ISPRA e dalle ARPA all’interno del Sistema.

Tra le diverse tipologie di monitoraggio di aeriformi, si è deciso di focalizzare l’attenzione sul “*soil gas survey*” perché attualmente è la tecnica più utilizzata e consolidata nell’ambito della gestione dei siti contaminati.

Il documento è stato sviluppato con le seguenti finalità:

- rivedere i parametri di esposizione per il percorso di “inalazione di vapori” sulla base di studi più recenti disponibili a livello nazionale;
- includere i nuovi sviluppi ed aggiornamenti della Banca Dati ISS-INAIL di marzo 2018 (ISS, INAIL 2018), con particolare riferimento alla classificazione delle sostanze volatili ed ai parametri tossicologici relativi alla via di esposizione inalatoria;
- facilitare la gestione dei dati di campo, fissando criteri semplificati per l’esclusione del percorso di volatilizzazione;
- superare alcune criticità applicative degli attuali software di AdR relativi ai dati di gas del suolo che, in alcuni casi, possono determinare risultati non coerenti con il modello concettuale di sito (es. risultati contrastanti tra misure di gas interstiziali e misure di flusso/aria ambiente ovvero talvolta assenza di rischi associati anche a valori elevati di concentrazione nei gas del suolo).

La procedura di valutazione dei dati dei gas interstiziali ai fini dell’AdR descritta nel documento prevede un approccio di tipo graduale: dapprima di confronto con i valori di riferimento (concentrazioni soglia) per verificare l’esclusione del percorso di volatilizzazione e, in seconda battuta, la VdR soil gas al fine di stabilire le eventuali necessità di intervento.

---

# 1 APPROCCIO GRADUALE PER LA VALUTAZIONE DEI DATI NEI GAS INTERSTIZIALI NELL'ANALISI DI RISCHIO

Le indagini di *soil gas survey* vengono di norma proposte quando la valutazione di AdR a partire da dati di concentrazione in terreno/falda dà non conformità ai valori massimi di rischio definiti per legge.

L'approccio graduale per la valutazione dei dati nei gas interstiziali e il loro utilizzo all'interno dell'AdR sito-specifica prevede la definizione dei seguenti criteri:

- criterio per la definizione delle sostanze di interesse per il percorso di volatilizzazione;
- criterio per l'esclusione del percorso di volatilizzazione;
- criterio per la determinazione delle necessità di intervento;
- criterio per la definizione delle CSR nel suolo e nelle acque sotterranee.

## 1.1 Sostanze di interesse per il percorso di volatilizzazione

Le sostanze per le quali si ritiene opportuno attivare il percorso di "inalazione di vapori" sono quelle di interesse per il monitoraggio dei vapori riportate nell'Allegato 1 al documento "Progettazione del monitoraggio di composti volatili" in accordo con i criteri stabiliti dalla Banca Dati ISS-INAIL del marzo 2018 (ISS-INAIL, 2018).

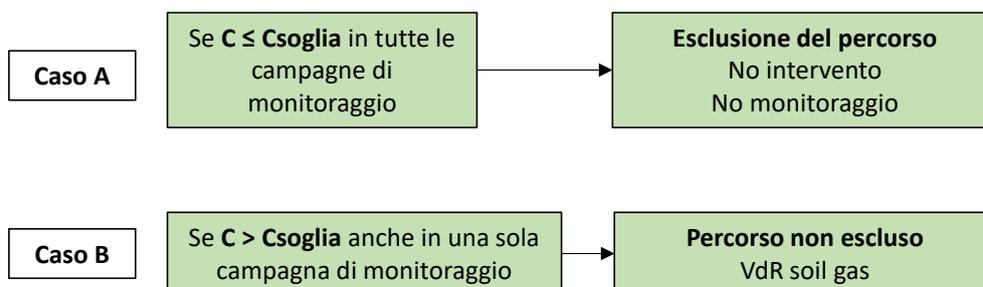
## 1.2 Criteri per l'esclusione del percorso di volatilizzazione

Ai fini dell'esclusione del percorso di volatilizzazione, sono stati definiti per le sostanze di interesse i valori soglia ( $C_{soglia}$ ), ovvero i valori di riferimento di tipo "sito generico" basati su uno scenario di cautela e differenziati sulla base della destinazione d'uso dell'area e della tipologia di esposizione indoor/outdoor (Livello 1 di Analisi). I criteri per la derivazione dei valori soglia sono riportati nel capitolo 2 e l'elenco dei valori soglia per le sostanze di interesse è riportato nell'Allegato 1.

Le modalità di confronto dei dati di campo con i valori soglia sono riportate nel § 4.2 e sintetizzate nella Fig.1.

Nel caso in cui i dati di campo risultino conformi ai "valori soglia" ( $C \leq C_{soglia}$ ), è possibile escludere la presenza di un percorso attivo di volatilizzazione con effetti significativi verso gli ambienti indoor/outdoor a partire dalle matrici ambientali contaminate. In questo caso, se le campagne effettuate hanno dimostrato la permanenza e stazionarietà nel tempo di tale condizione, non saranno necessari ulteriori monitoraggi dei gas del suolo (Caso A).

Figura 1 – Schema di confronto con i valori soglia



C = concentrazione rappresentativa nel soil gas per la singola campagna di monitoraggio.

---

### 1.3 Criteri per la determinazione delle necessità di intervento

Qualora i dati di campo non risultino conformi ai valori soglia (Caso B di Fig.1), anche in una sola campagna di monitoraggio, il percorso di volatilizzazione verso gli ambienti indoor/outdoor non può ritenersi escluso ed è pertanto necessaria l'applicazione della VdR soil gas in modalità diretta tenendo conto dello scenario di esposizione sito-specifico e dei fattori di attenuazione definiti secondo quanto indicato al § 3.1.

Nel caso in cui la VdR soil gas dia valori di rischio accettabile non sono richiesti specifici interventi sulle fonti di contaminazione da sostanze volatili, ma a giudizio degli Enti di Controllo potrà essere richiesto il prosieguo dei monitoraggi.

Nel caso in cui, invece, la VdR soil gas dia valori di rischio non accettabile, l'Ente di Controllo potrà richiedere ulteriori monitoraggi e considerare la necessità di interventi sulle fonti di contaminazione da sostanze volatili. Dovrà essere inoltre valutata la possibilità di mettere in atto misure di mitigazione a protezione dei bersagli.

I criteri di determinazione del numero minimo di campagne necessarie alla verifica dell'accettabilità/non accettabilità dei rischi derivanti dalla VdR soil gas sono indicati nel § 4.2

Nei casi di contaminazione e/o scenari di esposizione complessi, a giudizio degli Enti di controllo, potrà essere valutata la possibilità di utilizzare ulteriori tecniche di monitoraggio degli aeriformi, secondo l'approccio per "linee di evidenza" (MATTM, 2014-2015).

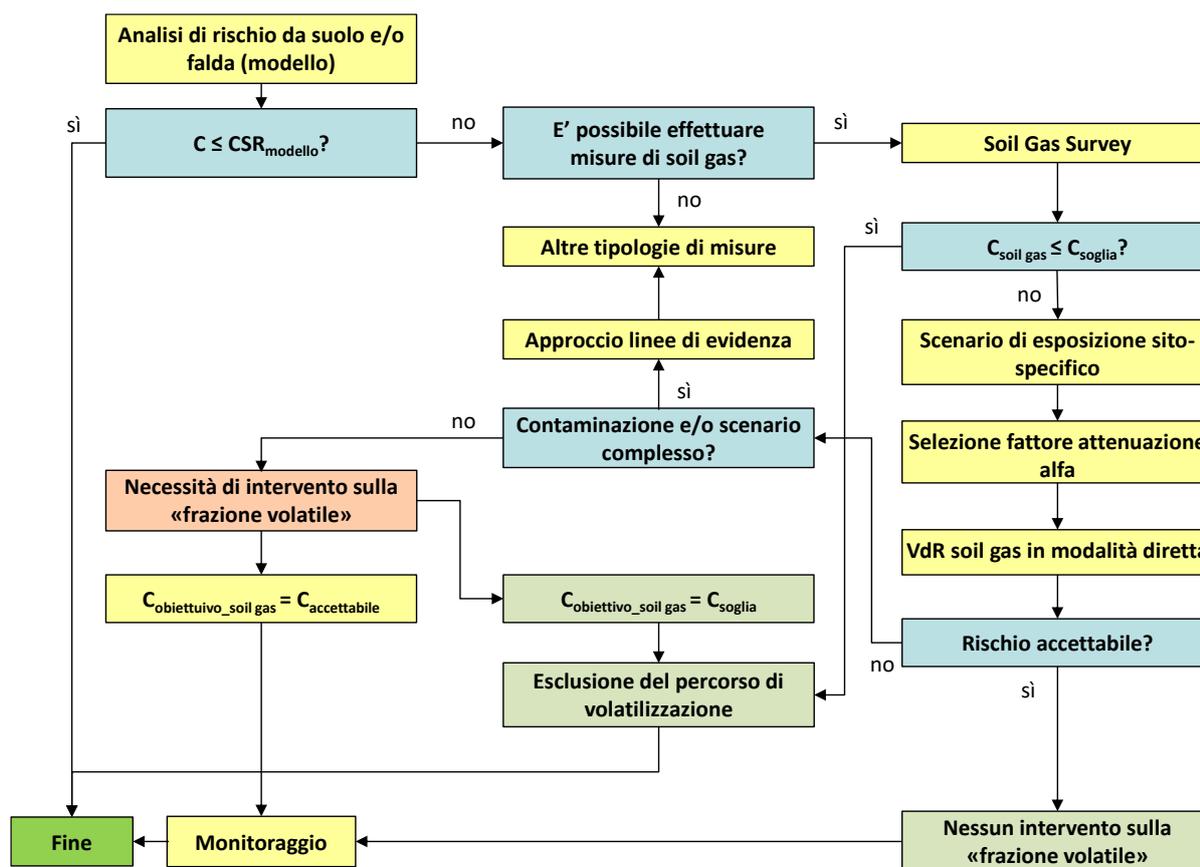
Gli obiettivi degli interventi riferiti alla matrice gas del suolo possono essere fissati:

- entro i valori soglia ( $C \leq C_{\text{soglia}}$ ) con conseguente esclusione del percorso di volatilizzazione
- entro i valori accettabili ( $C \leq C_{\text{accettabile}}$ ) derivati dalla VdR soil gas, secondo le indicazioni del § 3, utilizzando lo stesso scenario di esposizione e gli stessi fattori di attenuazione già impiegati in modalità diretta per la valutazione del rischio.

Le verifiche di raggiungimento degli obiettivi andranno effettuate attraverso la stessa tipologia di monitoraggio di *soil gas survey* utilizzata per la VdR soil gas e i criteri di confronto con i valori di riferimento sono indicati nel § 4.2.

Nella Fig. 2 è indicata schematicamente la procedura operativa.

**Figura 2** – Schema generale della procedura operativa di valutazione dei dati di soil gas ai fini dell'analisi di rischio



## 1.4 Criteri per la definizione delle CSR nel suolo e nelle acque sotterranee

Le CSR obiettivo per il suolo e/o le acque di falda sono definite in funzione degli esiti della procedura e del confronto tra le concentrazioni rappresentative nei gas interstiziali (definite nel § 3.2) con i valori di riferimento, secondo i criteri indicati nel § 4.2. Le indicazioni fornite permettono di garantire un approccio metodologico univoco tra la definizione del modello concettuale, la gestione dei dati e la verifica di avvenuta bonifica, in quanto ad oggi i vapori interstiziali non sono considerati come matrice ambientale ai sensi del D.Lgs. 152/06.

Potranno essere quindi previsti i casi descritti di seguito:

1. *Le concentrazioni rappresentative sono conformi ai “valori soglia” ( $C \leq C_{soglia}$ ).*
  - Nel caso in cui l'unico percorso attivo sia la volatilizzazione indoor e/o outdoor, allora le CSR potranno essere pari ai valori massimi di concentrazione per le sorgenti identificate in fase di caratterizzazione del sito.
  - Nel caso di presenza di altri percorsi di esposizione attivi, le CSR potranno essere rideterminate utilizzando le equazioni indicate dal Manuale APAT (ora ISPRA) “Criteri metodologici” (APAT, 2008) escludendo il percorso di volatilizzazione. In ogni caso il valore di CSR obiettivo nel suolo e/o nelle acque di falda non potrà essere superiore al valore massimo riscontrato in fase di caratterizzazione del sito.
2. *I “valori soglia” risultano superati ( $C > C_{soglia}$ ), ma la VdR soil gas ha determinato valori di rischio accettabili o, in alternativa, le concentrazioni riscontrate in sito rientrano nei “valori accettabili” ( $C \leq C_{accettabile}$ ).*

- 
- Nel caso in cui l'unico percorso attivo sia la volatilizzazione indoor e/o outdoor, le CSR potranno essere poste pari ai valori massimi di concentrazione per le sorgenti identificate in fase di caratterizzazione del sito.
  - Nel caso di presenza di altri percorsi di esposizione attivi, per questi ultimi saranno determinate le relative CSR, secondo le modalità indicate nel Manuale APAT (ora ISPRA) "Criteri Metodologici" (APAT, 2008), e confrontate con il valore obiettivo per i percorsi di volatilizzazione ( $CSR_{vol}$  = valore massimo per la sorgente). La CSR finale sarà definita come il valore minimo per tutti i percorsi attivi.
3. *La VdR soil gas ha determinato valori di rischio non accettabili o, in alternativa, le concentrazioni riscontrate in sito risultano superiori ai "valori accettabili" ( $C > C_{accettabile}$ ).*
- Scenario pre-intervento: in attesa dell'esecuzione degli interventi, le CSR saranno poste pari ai valori ottenuti dall'AdR eseguita a partire dalle concentrazioni misurate nei suoli/acque di falda.
  - Scenario post-intervento:
    - se gli obiettivi ottenuti nei gas interstiziali sono conformi ai valori soglia ( $C \leq C_{soglia}$ ) allora le CSR potranno essere rideterminate secondo quanto indicato nel punto 1.
    - se gli obiettivi ottenuti nei gas interstiziali sono conformi ai "valori accettabili" ( $C \leq C_{accettabile}$ ) allora le CSR potranno essere rideterminate secondo quanto indicato nel punto 2.

Le CSR post intervento nelle matrici terreno/acque sotterranee potranno essere poste uguali ai valori massimi di concentrazione per le sorgenti identificate in fase di caratterizzazione senza necessariamente procedere ad un nuovo campionamento delle matrici terreno e/o acque di falda<sup>1</sup>. Tuttavia nel caso di nuove indagini o monitoraggi sul sito, dovrà essere verificato sia il rispetto delle CSR per i terreni/acque di falda, mediante opportuni campionamenti delle matrici ambientali, sia il rispetto dei valori obiettivo nella frazione volatile mediante campagne di *soil gas survey*.

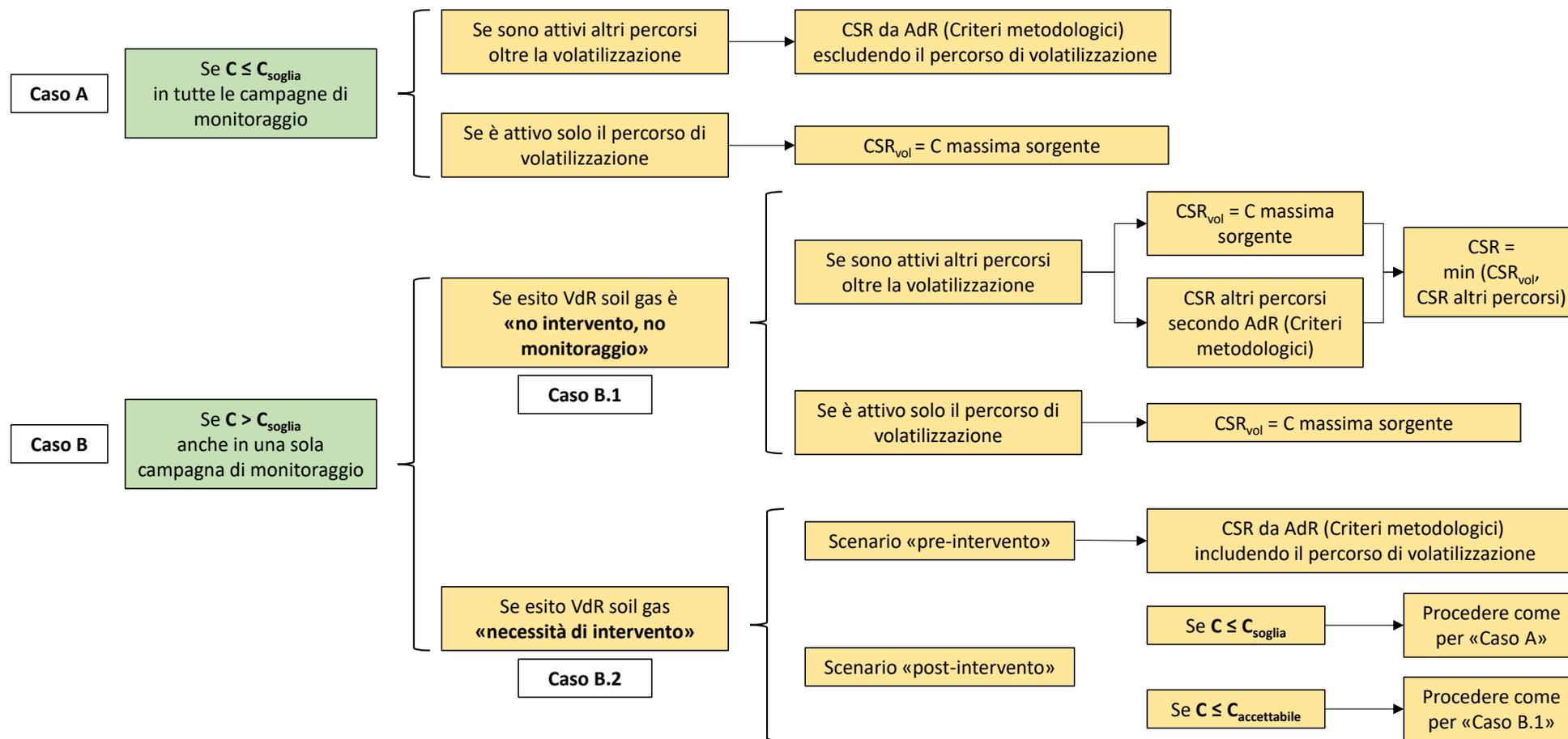
In ogni caso il valore di CSR obiettivo nel suolo e/o nelle acque di falda non potrà essere superiore al valore massimo riscontrato in fase di caratterizzazione del sito.

La procedura per la definizione delle CSR è indicata schematicamente nella Fig. 3.

---

<sup>1</sup> Si riconosce che le concentrazioni nell'insaturo e nel saturo possono essere state modificate dagli interventi attuati, ma non si ritiene coerente, dal punto di vista tecnico, chiedere una nuova caratterizzazione del sito post intervento, in quanto l'efficacia degli stessi è garantita dalla verifica tramite misure di soil gas survey.

**Figura 3** – Schema della procedura di determinazione delle CSR nei suoli e nelle acque sotterranee



C = concentrazione rappresentativa nel soil gas per la singola campagna di monitoraggio  
 Esito VdR soil gas = esito complessivo delle campagne secondo quanto indicato nel § 4.2

---

## 2 DEFINIZIONE DEI VALORI SOGLIA NEI GAS DEL SUOLO

L'approccio di derivazione dei valori soglia tiene conto di quanto disponibile e ritenuto sufficientemente affidabile nelle linee guida internazionali (in particolare USA e Canada) relativamente alla definizione dei valori di screening nei gas del suolo secondo l'approccio "risk based".

La definizione dei valori di riferimento si basa sulla condizione di accettabilità dei rischi ad essi associati utilizzando il principio di "Reasonable Maximum Exposure" per la definizione della conservatività delle ipotesi di base.

Di seguito sono illustrati i criteri e i parametri di input utilizzati per la derivazione dei valori di riferimento nei gas del suolo riportati nell'Appendice 1 al presente documento.

Si fa presente che i valori soglia hanno tenuto conto anche dei limiti di quantificazione (LOQ)<sup>2</sup> riportati anch'essi nell'Appendice 1. Per alcune sostanze i limiti di quantificazione risultano non compatibili con i valori soglia in particolare per lo scenario residenziale, pertanto per tali sostanze si consiglia eventualmente di adeguare i parametri di campionamento al caso specifico (con particolare riferimento a tempi e portate di campionamento) oppure di utilizzare altre tipologie di campionamento diverse dal *soil gas survey* (ad esempio camere di flusso/accumulo e misure di aria ambiente) da concordarsi con gli Enti di controllo, tali da consentire comunque una valutazione della presenza/assenza del percorso di volatilizzazione.

L'eventuale modifica dei valori di riferimento potrà essere effettuata in casi particolari, qualora, ad esempio, le condizioni di esposizione in sito non rientrino nelle tre casistiche (residenziale, industriale, ricreativo) considerate per l'elaborazione degli stessi. La ridefinizione dei valori di riferimento in tali casi è effettuata di concerto con l'Ente di Controllo.

L'aggiornamento dei valori di riferimento dovrà essere effettuato a cura degli Istituti centrali, qualora vi siano evoluzioni delle conoscenze tecnico scientifiche in materia (es. nuova classificazione tossicologica delle sostanze).

### 2.1 Modello concettuale e criteri di derivazione dei valori soglia nei gas del suolo (esposizione umana)

Il modello concettuale per la derivazione dei valori soglia tiene conto esclusivamente delle differenti modalità di esposizione dei recettori umani definite sulla base della destinazione d'uso dell'area e delle peculiarità degli ambienti indoor ed outdoor relativamente alle caratteristiche di esposizione.

Per quel che concerne le modalità di esposizione si deve evidenziare che, a differenza di altri percorsi considerati nell'AdR, l'esposizione inalatoria è strettamente legata ai tempi medi di permanenza nei diversi ambienti (indoor/outdoor) per ciascuno specifico scenario di esposizione (residenziale, ricreativo, commerciale/industriale) (EFH, 2011). Pertanto per la definizione dei valori soglia sono stati considerati gli scenari più cautelativi, in termini di tempi di permanenza, tenendo conto delle caratteristiche di fruizione degli ambienti indoor e outdoor.

La derivazione dei valori soglia per le sostanze tossiche e cancerogene è stata effettuata imponendo che l'esposizione alle concentrazioni attese in aria (indoor o outdoor), derivanti dai gas presenti nel suolo, determini valori di rischio o indice di pericolo entro la soglia di accettabilità.

---

<sup>2</sup> I Limiti di Quantificazione (LOQ) sono stati definiti sulla base di portate e tempi di campionamento indicativi, che possono tuttavia variare in funzione delle esigenze operative. Essi potranno inoltre essere periodicamente aggiornati in base al progresso tecnologico.

---

Le formule di calcolo sono le seguenti e per la simbologia si rimanda al glossario iniziale:

$$C_{\text{soglia}} = \frac{TR_{\text{canc}}}{\alpha_c \cdot EM_{\text{canc}} \cdot IUR \cdot 10^3} \quad (1) \quad \text{sostanze cancerogene}$$

$$C_{\text{soglia}} = \frac{THI \cdot RfC}{\alpha_c \cdot EM_{\text{non canc}}} \quad (2) \quad \text{sostanze non cancerogene}$$

In particolare, in analogia con quanto proposto dalle linee guida USEPA sul “vapour intrusion” (USEPA, 2015, 2015b) i fattori di attenuazione  $\alpha$  sono così definiti:

$$\alpha = \frac{C_{\text{aria ambiente}}}{C_{\text{soil gas}}} \quad (3)$$

Per la definizione dei valori soglia, sulla base di quanto indicato al § 3.1, è stato considerato un unico valore cautelativo del fattore di attenuazione soil gas  $\alpha_c = 0,1$ .

In analogia con gli approcci europei ed internazionali di derivazione di valori guida o di “screening” (JRC, 2007, USEPA, 1996) non si è tenuto conto degli effetti cumulati di più sostanze per la determinazione dei valori soglia. Tale scelta è anche giustificata dal fatto che si fa riferimento ad un singolo percorso di esposizione e che l’approccio selezionato include già numerosi elementi di cautela.

## **2.2 Parametri di esposizione umana e derivazione delle portate di esposizione**

Per la stima dell’esposizione a sostanze volatili ai fini della determinazione dei valori di riferimento per il soil gas si è deciso di rivedere i valori rappresentativi dei parametri di esposizione utilizzando studi disponibili a livello nazionale per rendere l’approccio più coerente con la realtà nazionale. Inoltre la procedura per la stima dell’esposizione per inalazione di vapori è stata armonizzata con le indicazioni presenti nel Documento di supporto alla Banca Dati ISS-INAIL di marzo 2018 (ISS-INAIL, 2018).

E’ opportuno che i valori dei parametri di esposizione siano il più possibile aderenti alla realtà oggetto di analisi e quindi definiti su base sito-specifica. E’ comunque possibile, in assenza di dati sito-specifici, assumere i valori di default utilizzati per la derivazione delle concentrazioni soglia. Vengono distinti scenario residenziale/ricreativo (cfr § 2.2.1) e scenario commerciale/industriale (cfr § 2.2.2).

### **2.2.1 Scenario residenziale/ricreativo**

Per la stima dell’esposizione, nel caso dello scenario residenziale e ricreativo, sono state prese in considerazione le seguenti classi di età:

- bambino (0-6 anni)
- adolescente (7-16 anni)
- adulto (17-65)
- anziano (> 65)

Tali classi di età presentano caratteristiche ed abitudini di vita diverse che si ritiene utile considerare al fine di tener conto il più possibile della variabilità della popolazione esposta.

Si riportano di seguito le equazioni generiche del calcolo delle portate di esposizione per la modalità di esposizione da “inalazione di vapori” nello scenario residenziale/ricreativo. Per la simbologia si rimanda alla Tabella 1 in cui sono definiti i valori di default caratteristici dei parametri di esposizione.

Per la stima dell’esposizione a sostanze cancerogene, in conformità alle indicazioni della Banca Dati ISS-INAIL di marzo 2018 (ISS-INAIL, 2018), si è deciso di distinguere le sostanze cancerogene da quelle cancerogene e mutagene che presentano un incremento dell’incidenza di effetti cancerogeni per esposizione in età infantile, mediante l’utilizzo dell’Age Dependent Adjustment Factor (ADAF) ovvero il fattore di incremento dell’incidenza di effetti cancerogeni dovuto all’esposizione alla sostanza in età infantile.

*Sostanze cancerogene e mutagene:*

$$EM_{\text{canc}} = \frac{(EF \cdot EF_g \cdot ED)_{0-6} \cdot ADAF_{0-6} + (EF \cdot EF_g \cdot ED)_{7-16} \cdot ADAF_{7-16}}{AT_{\text{canc}} \cdot 365 \cdot 24} + \frac{(EF \cdot EF_g \cdot ED)_{17-65} \cdot ADAF_{17-65} + (EF \cdot EF_g \cdot ED)_{>65} \cdot ADAF_{>65}}{AT_{\text{canc}} \cdot 365 \cdot 24} \quad (4)$$

*Sostanze cancerogene:*

$$EM_{\text{canc}} = \frac{(EF \cdot EF_g \cdot ED)_{0-6} + (EF \cdot EF_g \cdot ED)_{7-16} + (EF \cdot EF_g \cdot ED)_{17-65} + (EF \cdot EF_g \cdot ED)_{>65}}{AT_{\text{canc}} \cdot 365 \cdot 24} \quad (5)$$

*Sostanze non cancerogene:*

$$EM_{\text{non canc}} = \max \left\{ \frac{(EF \cdot EF_g \cdot ED)_{0-6}}{AT_{\text{non canc}} \cdot 365 \cdot 24}, \frac{(EF \cdot EF_g \cdot ED)_{7-16}}{AT_{\text{non canc}} \cdot 365 \cdot 24}, \frac{(EF \cdot EF_g \cdot ED)_{17-65}}{AT_{\text{non canc}} \cdot 365 \cdot 24}, \frac{(EF \cdot EF_g \cdot ED)_{>65}}{AT_{\text{non canc}} \cdot 365 \cdot 24} \right\} \quad (6)$$

Per la definizione dei valori caratteristici dei parametri di esposizione si è fatto riferimento a studi sulla popolazione nazionale, avvalendosi di indagini specifiche effettuate da ISTAT (ISTAT, 2012). In particolare, rispetto ai default proposti nel Manuale APAT “Criteri Metodologici” (APAT, 2008) è stato rivisto il parametro “frequenza giornaliera di esposizione ( $EF_g$ )” in funzione delle classi di età considerate.

Anche per la definizione del parametro “durata di esposizione (ED)” si è tenuto conto delle classi di età definite in precedenza. La derivazione di tali valori è dettagliata nell’Allegato A.

Per tutti gli altri parametri di esposizione sono stati selezionati i valori di default del Manuale APAT “Criteri Metodologici” (APAT, 2008). I criteri con cui si selezionano i parametri di esposizione sono i medesimi descritti dal manuale.

**Tabella 1** – Sintesi dei valori rappresentativi dei parametri di esposizione - Uso residenziale/ricreativo

Parametri di esposizione – Uso Residenziale/Ricreativo								
Parametri di Esposizione	Residenziale				Ricreativo			
	Bambino (0-6 anni)	Adolescente (7-16 anni)	Adulto (17-65 anni)	Anziano (>65)	Bambino (0-6 anni)	Adolescente (7-16 anni)	Adulto (17-65 anni)	Anziano (>65)
Frequenza di Esposizione (giorni/anno) – EF	350	350	350	350	350	350	350	350
Frequenza giornaliera di Esposizione Indoor (ore/giorno) – EF <sub>g_indoor</sub>	19,8	19,6	18,0	22,4	0,4	0,6	1,4	1,4
Frequenza giornaliera di Esposizione Outdoor (ore/giorno) – EF <sub>g_outdoor</sub>	0,7	0,5	0,9	1,9	0,6	0,9	0,8	0,6
Durata di Esposizione (anni) – ED	6	10	14	5	6	10	14	5
Tempo di mediazione sostanze non cancerogene (anni) – AT <sub>non_canc</sub>	6	10	14	5	6	10	14	5
Tempo di mediazione sostanze cancerogene (anni) – AT <sub>canc</sub>	70	70	70	70	70	70	70	70
ADAF (adim)	5	3	1	1	5	3	1	1

### 2.2.2 Scenario commerciale/industriale

Relativamente ai lavoratori, e quindi all’uso commerciale/industriale, si riportano di seguito le equazioni per il calcolo della portata di esposizione (EM) nel caso di inalazione di vapori outdoor e indoor.

*Sostanze cancerogene:*

$$EM_{\text{canc}} = \frac{EF \cdot EF_g \cdot ED}{AT_{\text{canc}} \cdot 365 \cdot 24} \quad (7)$$

*Sostanze non cancerogene:*

$$EM_{\text{non_canc}} = \frac{EF \cdot EF_g \cdot ED}{AT_{\text{non_canc}} \cdot 365 \cdot 24} \quad (8)$$

Nel caso dello scenario commerciale/industriale per tutti i parametri di esposizione sono stati selezionati quali valori di default quelli riportati nel Manuale APAT “Criteri Metodologici” (APAT 2008), (Tabella 2) ai fini del calcolo dei valori soglia.

**Tabella 2 – Valori di default dei parametri di esposizione - Uso commerciale/industriale**

<b>Parametri di esposizione – Uso Commerciale/Industriale</b>	
Parametri di Esposizione	Commerciale/Industriale
Frequenza di Esposizione (giorni/anno) – EF	250
Frequenza giornaliera di Esposizione Indoor (ore/giorno) – $EF_{g\_indoor}$	8
Frequenza giornaliera di Esposizione Outdoor (ore/giorno) – $EF_{g\_outdoor}$	8
Durata di Esposizione (anni) – ED	25
Tempo di mediazione sostanze non cancerogene (anni) – $AT_{non\_canc}$	25
Tempo di mediazione sostanze cancerogene (anni) – $AT_{canc}$	70

Per quanto riguarda la frequenza giornaliera di esposizione indoor e outdoor ( $EF_{g\_indoor}$  e  $EF_{g\_outdoor}$ ) si ritiene possibile, ad eccezione di casi specifici, attribuire valori differenziati in funzione dell'ambiente (indoor e/o outdoor) in cui solitamente si svolge la corrispondente attività lavorativa (Tabella 3), distinguendo in:

- a) attività che in genere si svolgono in ambienti chiusi (indoor);
- b) attività che possono essere svolte in ambienti aperti (outdoor) e/o in ambienti chiusi (indoor);
- c) attività che in genere si svolgono in ambienti aperti (outdoor).

Il valore pari a 1,5 ore/giorno rappresenta una stima cautelativa della somma delle pause lavorative e della pausa pranzo di un generico lavoratore.

**Tabella 3 – Valori di  $EF_g$  in funzione dell'ambiente di lavoro (indoor e/o outdoor)**

Attività indoor/outdoor	Frequenza giornaliera di Esposizione (ore/giorno)	
	Indoor	Outdoor
(a) Attività che in genere si svolgono in ambienti chiusi (indoor)	8	1,5
(b) Attività che possono essere svolte in ambienti aperti (outdoor) e/o in ambienti chiusi (indoor)	8	8
(c) Attività che in genere si svolgono in ambienti aperti (outdoor)	1,5	8

In Tabella A7 (Allegato A) è riportata una possibile corrispondenza tra le classi di professione ISTAT 2017 e le suddette tipologie di attività lavorativa (a, b, c).

E' evidente che qualora la valutazione sia condotta utilizzando parametri espositivi sito-specifici, non di default, nel caso di futura modifica delle condizioni espositive, come anche della tipologia di attività lavorativa, è opportuno che la suddetta valutazione venga adeguata a tali modifiche.

---

### 3 CRITERI PER L'ANALISI DI RISCHIO APPLICATA AI GAS INTERSTIZIALI

Qualora le concentrazioni nei gas interstiziali rilevate in sito non siano conformi ai “valori soglia” allora, secondo l’approccio graduale proposto, si procede con la VdR soil gas in modalità diretta al fine di determinare i valori di rischio associati ai dati di campo.

Per la VdR soil gas si tiene conto non solo delle peculiarità specifiche delle condizioni di esposizione per le differenti destinazioni d’uso, selezionando i recettori più appropriati ed i relativi parametri di esposizione, ma anche di alcune caratteristiche specifiche del sito mediante la selezione dei “fattori di attenuazione specifici”  $\alpha_s$  secondo quanto indicato al § 3.1.

I fattori di attenuazione specifici  $\alpha_s$  sono stati determinati a partire dal database dello studio USEPA del 2012 sulla base della tessitura prevalente dei terreni insaturi e delle profondità di campionamento dei gas interstiziali (intese come profondità della sorgente di contaminazione in fase vapore). Per i composti idrocarburici si è tenuto conto anche della presenza di fenomeni di biodegradazione.

Le equazioni generiche di calcolo del rischio per la singola sostanza associato alle concentrazioni nei gas interstiziali sono riportate di seguito e per le indicazioni sulla simbologia si rimanda al glossario.

$$R_{\text{canc}} = C_{\text{aria ambiente}} \cdot EM_{\text{canc}} \cdot IUR \cdot 10^3 \quad (9) \quad \text{sostanze cancerogene}$$

$$HI = \frac{C_{\text{aria ambiente}} \cdot EM_{\text{non canc}}}{RfC} \quad (10) \quad \text{sostanze non cancerogene}$$

$$R_{\text{canc}} = C_{\text{soil gas}} \cdot \alpha_s \cdot EM_{\text{canc}} \cdot IUR \cdot 10^3 \quad (11) \quad \text{sostanze cancerogene}$$

$$HI = \frac{C_{\text{soil gas}} \cdot \alpha_s \cdot EM_{\text{non canc}}}{RfC} \quad (12) \quad \text{sostanze non cancerogene}$$

In analogia a quanto indicato anche al § 2.1 relativamente alla derivazione dei valori soglia, nella VdR soil gas non è prevista per la modalità di esposizione “inalazione vapori” la valutazione degli effetti cumulati di più sostanze stimate in aria ambiente. Questa scelta è in linea con la normativa relativa alla qualità dell’aria (D.Lgs. 155/2010) e con quanto previsto nelle Linee Guida OMS (WHO 2000, WHO 2010) che non prevedono questo tipo di valutazione per l’esposizione ad inquinanti in aria. Tale scelta è anche giustificata dal fatto che si fa riferimento ad un singolo percorso di esposizione e che l’approccio selezionato include già numerosi elementi di cautela.

In conformità alla normativa vigente (D.Lgs. 152/06, Parte IV, Titolo V) la valutazione degli effetti cumulati di più sostanze sarà considerata per la definizione delle CSR nei terreni e/o acque sotterranee tenendo conto di tutti i percorsi di esposizione attivi per il sito e, relativamente all’inalazione di vapori, di quanto indicato al § 1.4.

Qualora la VdR soil gas dia valori di rischio non accettabile e siano richiesti interventi in sito, è possibile determinare i valori obiettivo nei gas interstiziali applicando la procedura di VdR soil gas in modalità inversa utilizzando lo stesso scenario di esposizione e gli stessi fattori di attenuazione sito-specifici già impiegati in modalità diretta.

I valori obiettivo in questo caso sono i valori accettabili ( $C_{\text{accettabile}}$ ) e di seguito si riportano le equazioni di riferimento:

$$C_{\text{accettabile}} = \frac{TR_{\text{canc}}}{\alpha_s \cdot EM_{\text{canc}} \cdot IUR \cdot 10^3} \quad (13) \quad \text{sostanze cancerogene}$$

$$C_{\text{accettabile}} = \frac{THI \cdot RfC}{\alpha_s \cdot EM_{\text{non canc}}} \quad (14) \quad \text{sostanze non cancerogene}$$

Le equazioni di calcolo delle portate di esposizione sono quelle riportate nel § 2.2

### 3.1 Stima dei fattori di attenuazione soil-gas

#### 3.1.1 Stima dei fattori di attenuazione specifici

Per la stima dei fattori di attenuazione soil-gas si è fatto riferimento ai documenti USEPA “Assessing and Mitigating the Vapor Intrusion Pathway from Subsurface Vapor Sources to Indoor Air” (USEPA, 2015) e “EPA’s Vapor Intrusion Database” (USEPA, 2012).

Il documento USEPA del 2012 presenta lo studio della correlazione tra le concentrazioni registrate in aria indoor e le concentrazioni misurate nei gas interstiziali su un numero considerevole di siti in contesto residenziale. Le sostanze investigate sono prevalentemente composti clorurati presenti nei suoli insaturi e/o nelle acque sotterranee, anche se il database contiene alcuni casi di contaminazione da idrocarburi.

L’analisi del database USEPA è stata adattata da ISPRA al contesto nazionale per la definizione sia del fattore di attenuazione per il calcolo dei valori soglia sia delle correlazioni del fattore di attenuazione in funzione della tipologia di suolo e della profondità della contaminazione (vedi Allegato B).

Si è ritenuto opportuno estendere tali valutazioni anche agli ambienti aperti, in attesa di specifici studi in merito, anche alla luce del fatto che i fattori di attenuazione derivati dagli attuali modelli in ambiente indoor possono risultare in alcuni casi confrontabili se non addirittura inferiori a quelli derivati dai modelli relativi agli ambienti outdoor (vedi Allegato C).

Per la derivazione dei valori soglia, secondo le peculiarità del Livello 1 dell’AdR che definisce i “valori di screening” sito-generici, si è fatto riferimento ad un unico valore ragionevolmente cautelativo del fattore di attenuazione, tenendo conto del 95° percentile sia degli alfa derivati da soil gas misurati sotto soletta (sub-slab), sia degli alfa derivati da soil gas misurati all’esterno dell’edificio.

$$\alpha_c = 0,1$$

Per la derivazione degli alfa specifici, secondo le peculiarità del Livello 2 dell’AdR che prevede una maggiore specificità della valutazione e la rimozione progressiva di ipotesi conservative, si è invece deciso di privilegiare un indicatore statistico della tendenza centrale della distribuzione dei fattori di attenuazione. In particolare si è deciso di adottare come statistica rappresentativa, il limite superiore di confidenza della media (UCL 95 - Upper Confidence Limit al 95%). Tale scelta è motivata sia dai trend di correlazione (vedi Allegato B), sia per coerenza con gli attuali indicatori statistici utilizzati nell’applicazione dell’AdR sito-specifica.

Tenendo conto delle analisi di correlazione rispettivamente con la profondità e la tipologia di suolo sono stati determinati i valori dei fattori di attenuazione specifici, riportati nelle tabelle seguenti.

**Tabella 4** – *Fattore di attenuazione specifico ( $\alpha_s$ ) funzione della profondità di campionamento*

<b>Profondità</b>	<b>alfa (suolo)</b>
< 2,5m da p.c.	5,93E-02
2,5-4 m da p.c.	3,11E-03
4-9 m da p.c.	1,97E-03
$\geq$ 9 m da p.c	1,89E-03

**Tabella 5** – *Fattore di attenuazione specifico( $\alpha_s$ ) funzione della tipologia di suolo*

<b>Tipo di suolo</b>	<b>alfa (sub-slab indoor)</b>	<b>alfa (suolo)</b>
Molto grossolano	1,53E-02	5,31E-02
Grossolano	1,25E-02	1,23E-02
Fine	1,02E-02	2,86E-03

Il fattore “alfa (suolo)” si riferisce a campionamenti di soil gas effettuati in ambiente outdoor anche in prossimità di edifici e pertanto può essere utilizzato per la VdR relativa sia all’inalazione indoor sia all’inalazione outdoor.

Il fattore “alfa (sub-slab indoor)” si riferisce esclusivamente a campionamenti effettuati al di sotto della soletta dell’edificio e quindi può essere utilizzato per la VdR relativa all’inalazione indoor. E’ da ricordare inoltre che i campionamenti sotto soletta sono effettuati negli orizzonti di terreno più superficiali e rientrano quindi tutti nella prima classe di profondità individuata. Pertanto per il fattore “alfa (sub-slab indoor)” è riportata esclusivamente la correlazione con la tipologia di suolo.

Al fine di individuare il fattore “alfa” più opportuno tra quello correlato alla profondità di campionamento oppure alla tipologia di suolo, occorre valutare su base sito-specifica quale delle due correlazioni sia più aderente alle condizioni del sito.

Nella tabella seguente sono indicati alcuni criteri di massima per la selezione della correlazione più appropriata in funzione della tessitura del comparto insaturo, posto tra la sorgente in cui sono stati campionati i gas e il piano campagna, e della profondità di campionamento.

**Tabella 6** – *Criteri di massima per la selezione del tipo di correlazione più appropriata alla scelta del fattore di attenuazione*

<b>Tessitura insaturo</b>	<i>Molto Grossolano</i>	<i>Grossolano</i>	<i>Fine</i>
<b>Profondità</b>			
< 2,5 m da p.c.	Tessitura	Tessitura	Tessitura
2,5-4 m da p.c.	Tessitura	Tessitura	Tessitura
4-9 m da p.c.	Profondità	Profondità	Profondità
$\geq$ 9 m da p.c	Profondità	Profondità	Profondità

I criteri proposti sono puramente indicativi e, qualora le condizioni sito-specifiche non siano aderenti a quanto proposto (es. disomogeneità nella tessitura dell’insaturo, presenza di lenti di materiale fine tra la sorgente e il p.c.) se ne dovrà tener conto ai fini di una idonea valutazione del fattore di attenuazione.

In via cautelativa potrà comunque essere selezionata la correlazione che restituisce il valore massimo tra i due fattori di trasporto.

Per quel che riguarda la correlazione con la tipologia di suolo si faccia riferimento alle correlazioni riportate in Tabella 7<sup>3</sup>

**Tabella 7** – Assimilazione delle Classi dello US Department of Agriculture USDA alle tipologie di suolo indicate da USEPA

Tipo di suolo USEPA	Classi USDA	Note
Molto grossolano	Sand (*), Loamy Sand (*)	Le classi Sand e Loamy Sand sono incluse in questa classificazione se la % ghiaia è superiore al 10% <sup>4</sup>
Grossolano	Sand (*), Loamy Sand (*), Sandy Loam, Sandy Clay Loam, Sandy Clay	Le classi Sand e Loamy Sand sono incluse in questa classificazione se la % ghiaia è inferiore al 10%
Fine	Loam, Silt Loam, Silt, Clay Loam, Silty Clay Loam, Silty Clay, Clay	Qualora vi siano percentuali di ghiaia superiori al 25% <sup>5</sup> dovrà essere adottata la classificazione superiore (grossolano)

### 3.1.2 Valutazione dei fenomeni di biodegradazione

Per quel che concerne gli idrocarburi, i documenti di riferimento indicano che tali fattori di attenuazione potrebbero risultare eccessivamente cautelativi in quanto non tengono conto di eventuali fenomeni di biodegradazione (USEPA, 2015b).

Sono stati quindi derivati dei fattori di attenuazione specifici che valutassero gli effetti della biodegradazione come descritto nell'Allegato B.

In particolare si è tenuto conto dei risultati dei modelli tridimensionali disponibili in letteratura (Abreu and Johnson, 2005) e presi a riferimento da USEPA per la valutazione dei dati di campo (USEPA, 2013).

Sono stati ottenuti dei fattori di attenuazione con biodegradazione a partire da quelli relativi al Vapour Intrusion Database considerando la correlazione con la profondità. Tuttavia, poiché il modello preso a riferimento considera gli effetti della biodegradazione aerobica, si è ritenuto opportuno limitare l'analisi di correlazione a profondità inferiori a 4 m da p.c., ritenendo che al di sotto di tale limite si inneschino meccanismi di degradazione diversi vista la probabile minore disponibilità di ossigeno. Pertanto per profondità superiori a 4 m da p.c. si è utilizzato lo stesso grado di riduzione del fattore di attenuazione relativo alla classe 2,5 – 4 m da p.c.

**Tabella 8** – Fattori di attenuazione ( $\alpha_s$ ) per contaminazione da Idrocarburi in presenza di biodegradazione

Profondità	alfa (suolo) senza biodegr.	alfa (suolo) con biodegr.	alfa (sub-slab) senza biodegr.	alfa (sub-slab) con biodegr.
< 2,5m da p.c.	5,93E-02	1,68E-02	1,12E-02	3,17E-03
2,5-4 m da p.c.	3,11E-03	3,56E-05	-	-
4-9 m da p.c.	1,97E-03	2,25E-05	-	-
≥ 9 m da p.c.	1,89E-03	2,16E-05	-	-

<sup>3</sup> Le definizioni sono tratte dallo Unified Soil Classification System (UCS) che classifica i terreni come segue:

- terreni grossolani (coarse): terreni con % sabbia  $\geq 50\%$
- terreni fini (fine): terreni con % sabbia  $< 50\%$

I terreni grossolani sono a loro volta suddivisi in: ghiaie (% ghiaia  $\geq 50\%$ ) e sabbie (% ghiaia  $< 50\%$ ).

Poiché la classificazione dello USDA utilizzata nei "Criteri Metodologici" (APAT, 2008) considera la frazione ghiaiosa nella classe "sand" (rappresentante la frazione  $> 0,075$  mm) si è deciso di adottare l'assimilazione tra USDA e UCS riportata nella tabella 7

<sup>4</sup> Il valore di 10% nella classificazione granulometrica secondo AGI e UCS rappresenta il valore minimo per individuare la terza frazione granulometrica più abbondante

<sup>5</sup> Il valore di 25% nella classificazione granulometrica secondo AGI e UCS rappresenta il valore minimo per individuare la seconda frazione granulometrica più abbondante

---

I fattori di attenuazione con biodegradazione possono essere applicati nei seguenti casi:

- contaminazione da BTEXS ed Idrocarburi C<sub>≤12</sub>;
- percentuali di ossigeno misurate nei gas superiori al 4%; in presenza di pavimentazione in ambiente outdoor ed in particolare nell'intorno dell'edificio dovrà essere valutata la presenza di ossigeno anche al di sotto della pavimentazione per verificare il rispetto di tale condizione;
- edifici con superficie inferiore a 140 m<sup>2</sup> (New Jersey, 2013); per edifici di superficie superiore a quella indicata, occorrerà effettuare campionamenti dei gas all'interno degli edifici (sub-slab samples) per verificare l'applicabilità del fattore di attenuazione con biodegradazione.

In tutti gli altri casi occorrerà determinare su base sito-specifica il fattore di trasporto più opportuno che tenga conto, se adeguatamente dimostrati, dei fenomeni di biodegradazione, ad esempio attraverso la realizzazione di profili di concentrazione in funzione della profondità.

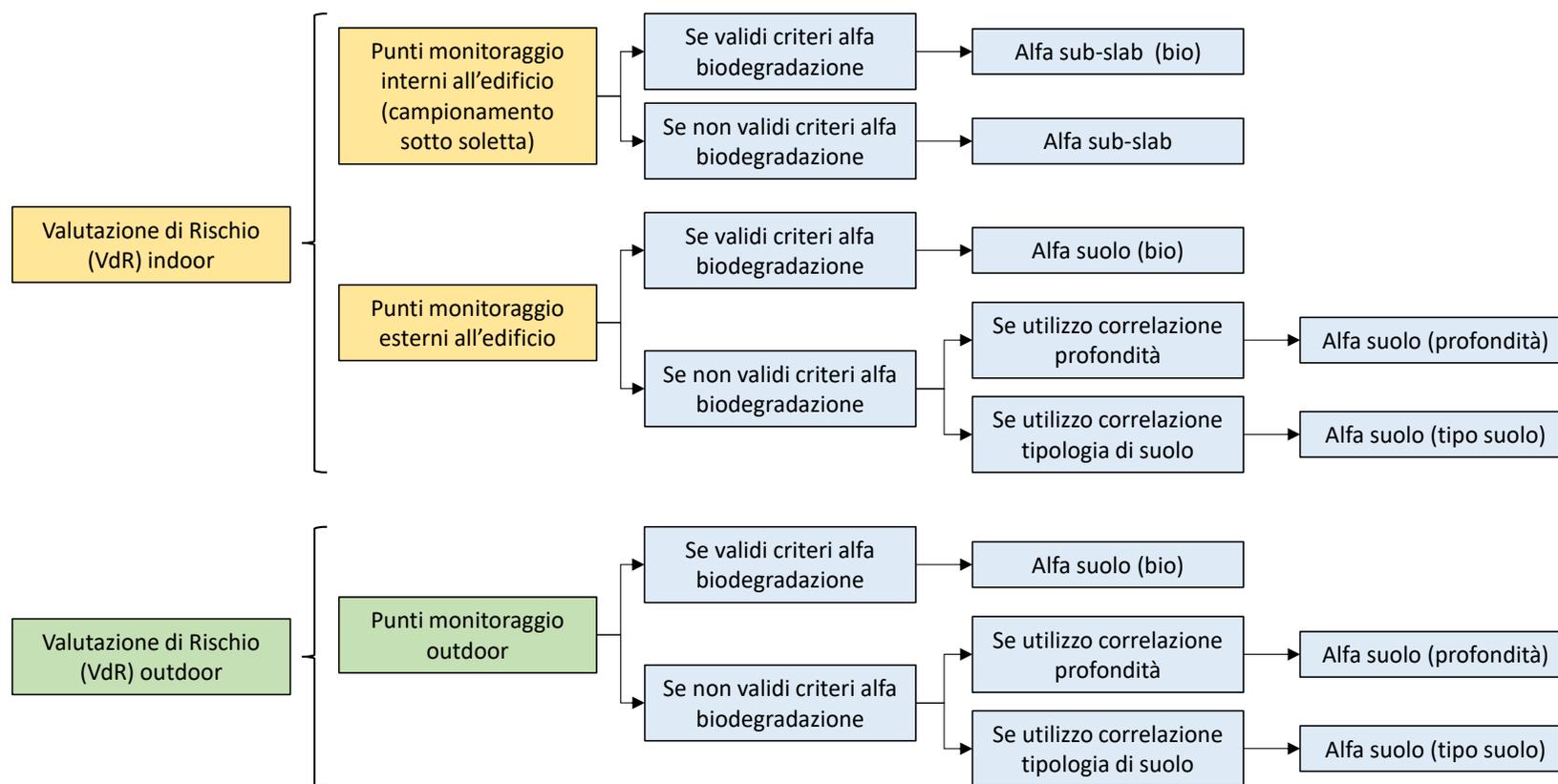
Per quel che concerne la contaminazione da altri composti potenzialmente biodegradabili in ambiente aerobico diversi da quelli indicati in precedenza, potranno essere applicati i fattori di attenuazione di Tabella 8 qualora si dimostri l'applicabilità, previa presentazione di documentazione sulla base di bibliografia accreditata o di robusti studi in campo, di tassi di biodegradazione equivalenti a quelli indicati nell'Allegato B.

Eventuali modifiche ai fattori di attenuazione proposti devono essere supportate da opportune indagini mirate a determinare la sussistenza e l'entità di eventuali fenomeni di biodegradazione. La pianificazione e l'esecuzione delle indagini mirate alla stima della biodegradazione e l'utilizzo dei risultati per la stima dei fattori di attenuazione devono essere effettuate in accordo con gli Enti di Controllo.

In ogni caso il nuovo valore del fattore di attenuazione applicabile al caso sito-specifico dovrà essere fissato in accordo con gli Enti di Controllo.

Lo schema della procedura di selezione dei fattori di attenuazione alfa è riportato nella Fig. 4.

**Figura 4** – Schema della procedura di selezione del fattore di attenuazione alfa specifico



---

## 3.2 Stima della concentrazione rappresentativa nei gas interstiziali

Il calcolo del rischio dovrà essere effettuato per ciascuna campagna di monitoraggio.

Il valore di concentrazione rappresentativa deve tener conto sia dell'andamento delle concentrazioni nel tempo nel singolo punto di campionamento (stazionarietà del fenomeno), sia della variabilità spaziale sui diversi punti di campionamento ai fini della valutazione dell'esposizione.

In generale nella singola campagna a ciascun punto di monitoraggio è associato un unico valore di concentrazione. Tale valore di concentrazione, per le modalità di campionamento dei gas interstiziali attualmente in uso, rappresenta un valore medio sulla durata di campionamento ipotizzata in fase di progettazione.

Qualora sia richiesta la valutazione della variabilità nel breve periodo dei dati e quindi per un certo numero di punti di monitoraggio siano state effettuate più misure in giorni diversi nell'arco della stessa campagna (vedi § 4.1), la concentrazione rappresentativa per ciascun punto di monitoraggio, per omogeneità, dovrà essere data da un indicatore statistico della tendenza centrale dei dati. In questi casi, data l'esiguità dei dati, è possibile utilizzare la media in caso di stazionarietà (gaussianità) del dataset (es. media e mediana sono molto vicine). In caso di dataset non stazionario (distribuzione fortemente asimmetrica) è consigliabile usare la mediana. Qualora, in accordo degli Enti di Controllo, sulla base dei dati disponibili e del modello concettuale del sito, gli indicatori della tendenza centrale (media o mediana) non si ritengano sufficientemente rappresentativi allora sarà opportuno, in via cautelativa, utilizzare il valore massimo riscontrato.

Per la valutazione della concentrazione rappresentativa su diversi punti di monitoraggio (Fig.5):

- nel caso di un numero di punti di monitoraggio inferiore a 10 sarà utilizzato il valore massimo (in analogia al manuale ISPRA);
- nel caso di un numero di punti di monitoraggio superiore a 10 si utilizzerà una stima conservativa della media mediante l'utilizzo dell'UCL 95% (in analogia al manuale ISPRA);
- nel caso in cui la media non rappresenti un indicatore statistico robusto, ovvero nei due seguenti casi, si procederà come segue:
  - qualora la distribuzione dei dati risulti “non parametrica”<sup>6</sup>, si utilizzerà l'80° percentile del dataset<sup>7</sup>;
  - qualora l'UCL95% risulti, maggiore del valore massimo, si utilizzerà il 90° percentile del dataset<sup>8</sup>.

Si evidenzia comunque che nei casi in cui l'UCL 95% è superiore al valore massimo o la distribuzione dei dati è “non parametrica” risulta necessario valutare criticamente i dati in termini di disomogeneità, presenza di trend, ecc. ed eventualmente considerare la possibilità di modificare il modello concettuale in funzione dei rilievi effettuati (se più di una campagna

---

<sup>6</sup> Non riconducibile a una distribuzione nota (es. normale, lognormale, gamma). Tale valutazione può essere effettuata mediante il software ProUCL dell'USEPA.

<sup>7</sup> Si sono prese a riferimento le indicazioni in merito alla valutazione spaziale dei punti di monitoraggio delle acque per la verifica del “buono stato chimico” dei corpi idrici sotterranei ai sensi della Direttiva 2006/118/EC. In tale contesto si stabilisce che lo stato chimico può essere definito ancora “buono” anche in presenza di non conformità con i valori di riferimento (standard di qualità e valori soglia) purché queste ultime non rappresentino più del 20% dell'area totale o del volume del corpo idrico. In analogia il valore rappresentativo di concentrazione, posto pari all'80° percentile è superato su base spaziale nel 20% dei casi. Tale scelta è “ragionevolmente cautelativa” nell'ottica della stima della tendenza dei dati su base spaziale.

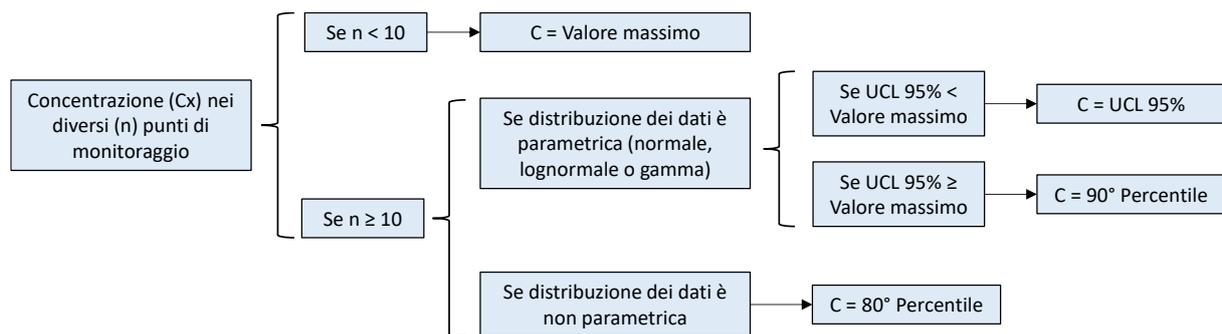
<sup>8</sup> In luogo del valore massimo stabilito dai “Criteri Metodologici” (APAT, 2008) per questo tipo di casi, si è deciso di utilizzare un valore “ragionevolmente cautelativo”, poiché si sta comunque effettuando una stima della tendenza centrale dei dati su base spaziale.

evidenzia risultati analoghi), ridefinendo l'area critica per il soil gas o suddividendo i punti di monitoraggio in data-set differenti dovuti probabilmente a sorgenti diverse.

Per quanto riguarda invece le misure di gas interstiziali finalizzate a valutare l'esposizione indoor (sub-slab o near slab), queste saranno valutate considerando i dati di sonde rappresentative di un medesimo edificio.

Nel caso in cui per ciascun edificio sia presente più di una sonda di *soil gas survey*, allora per la definizione della concentrazione rappresentativa si farà riferimento alle indicazioni di cui sopra.

**Figura 5** – Procedura per la determinazione della concentrazione rappresentativa nei gas interstiziali



---

## **4 CRITERI PER LA VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI SUI GAS INTERSTIZIALI**

L'approccio graduale previsto dal presente documento deve essere basato su un dataset adeguato e tale da garantire la rappresentatività dei dati di campo sia ai fini del confronto con i valori soglia sia per la VdR soil gas.

Infatti, a differenza del suolo e delle acque sotterranee per i quali la singola campagna di campionamento è considerata sufficientemente rappresentativa di una condizione stazionaria per un intervallo di tempo significativamente lungo (anni per quel che concerne il suolo, una stagione per quel che concerne le acque di falda), i gas interstiziali e gli aeriformi in generale non sono una matrice stazionaria ma possono subire variazioni repentine in tempi relativamente brevi (anche nell'arco della stessa giornata).

D'altra parte, a differenza della matrice aria ambiente (indoor o outdoor) che può essere campionata per periodi lunghi o monitorata in continuo, la matrice gas del suolo che è generalmente campionata con sistemi di tipo attivo (ovvero mediante pompaggio) non si presta a campionamenti eccessivamente lunghi che possono alterare le condizioni di equilibrio dei gas interstiziali e risultare di conseguenza poco rappresentativi.

Infine occorre sottolineare che l'utilizzo delle misure di gas interstiziali e più in generale delle misure di aeriformi all'interno dell'AdR presuppone che esse siano idonee a consentire valutazioni di esposizione a "lungo termine", ovvero 30 anni nel caso dello scenario residenziale e 25 anni nel caso dello scenario commerciale/industriale.

Nel presente paragrafo vengono indicati alcuni criteri di massima per individuare il numero di campagne di misura necessario all'applicazione dell'approccio graduale.

Inoltre, sempre tenendo conto delle potenziali oscillazioni dei valori di concentrazione misurate nei gas interstiziali, vengono proposti i criteri di confronto dei dati di campo sia con i valori soglia (screening) sia con i criteri di accettabilità del rischio valutato mediante la VdR soil gas.

### **4.1 Indicazioni sul numero di campagne di misura**

La definizione delle campagne di misura necessarie per una valutazione di rischio deve tener conto di due esigenze contrastanti. Infatti se da un lato un numero cospicuo di dati rende sicuramente più robusto ed affidabile il dataset, dall'altro può richiedere un dispendio di risorse eccessivo sia da parte del proponente che da parte dell'Ente di controllo. E' da tener presente comunque che nel principio della procedura Risk Based Corrective Action (RBCA), alla base dell'approccio graduale dell'AdR sito-specifica (ASTM, 2001), l'abbandono di ipotesi cautelative e il conseguente approfondimento delle indagini (maggiori costi di caratterizzazione) risulta generalmente in una riduzione dei costi di bonifica/messa in sicurezza (minori costi degli interventi).

Nel documento "Progettazione del monitoraggio di composti volatili" sono riportate le indicazioni sul numero minimo di campagne di soil gas in grado di garantire una sufficiente rappresentatività del set di dati senza un aggravio eccessivo di risorse.

Nello specifico dovranno essere previste:

- almeno 4 campagne (rappresentative delle stagionalità di un anno) per l'esclusione del percorso di volatilizzazione (confronto con i valori soglia);
- da 4 a 6 campagne (rappresentative delle stagionalità di uno o due anni) per la verifica di accettabilità del rischio (VdR soil gas).

---

## 4.2 Confronto tra i dati di campo e i valori di riferimento

Il confronto tra i dati di campo ed i valori di riferimento può essere effettuato per:

- verificare la conformità ai valori soglia per l'esclusione del percorso di volatilizzazione, sia in fase di redazione della VdR soil gas, sia in fase di monitoraggio degli interventi qualora si sia deciso fissare gli obiettivi pari agli stessi valori soglia;
- verificare la conformità ai valori accettabili.

In generale il confronto deve essere effettuato con i valori di concentrazione rappresentativa, determinata secondo quanto indicato al § 3.2, anche se, in base alle specificità del sito e alla tipologia dei punti di campionamento, a giudizio degli Enti di Controllo, si potrà anche effettuare un confronto puntuale.

La conformità ai valori soglia deve essere verificata in tutte le campagne effettuate. Nel caso in cui le concentrazioni rappresentative siano inferiori ai valori soglia, ma in alcuni punti si registrino delle non conformità in base all'entità delle eccedenze ed alle condizioni sito-specifiche (contaminanti riscontrati, recettori coinvolti, ecc.) gli Enti di Controllo potranno richiedere:

- l'esecuzione di ulteriori monitoraggi;
- l'applicazione della VdR soil gas o in alternativa la verifica di conformità alle  $C_{\text{accettabili}}$  limitatamente alle aree in cui i valori soglia risultino superati.

Ai fini valutazione del rischio e/o del confronto con le  $C_{\text{accettabili}}$ , si è fissato per il primo anno di monitoraggio (4 campagne) una incertezza legata alla rappresentatività del dato del 10%<sup>9</sup>. Per le campagne successive al primo anno, tenendo conto degli esiti dei monitoraggi già eseguiti, si ritiene che il dataset sia sufficientemente robusto e rappresentativo da non necessitare più della valutazione di incertezza. La definizione della necessità di ulteriori monitoraggi dipende dai risultati, in termini di rischio, ottenuti nelle prime 4 campagne eseguite tenendo conto del range di incertezza.

Per quel che concerne la VdR soil gas si possono presentare i seguenti casi:

1.  $R \leq R_{\text{accettabile}}$  o in alternativa  $C \leq C_{\text{accettabile}}$  in tutte le campagne eseguite (Caso B.1 - Fig.6):
  - se i valori di rischio (R) o in alternativa le concentrazioni rappresentative (C) in tutte le campagne risultano inferiori al 90% del criterio di accettabilità ( $R \leq 0,9 R_{\text{accettabile}}$  o  $C \leq 0,9 C_{\text{accettabile}}$ ), allora non saranno necessari ulteriori monitoraggi;
  - se i valori di rischio (R) o in alternativa le concentrazioni rappresentative (C) in una o più campagne risultano superiori al 90% del criterio di accettabilità, ma comunque inferiori al medesimo criterio ( $0,9 R_{\text{accettabile}} < R \leq R_{\text{accettabile}}$  o  $0,9 C_{\text{accettabile}} < C \leq C_{\text{accettabile}}$ ), allora dovrà essere ripetuta la campagna di monitoraggio più critica (per entità di superamento e/o condizioni sito specifiche) in tutti i punti di monitoraggio;
  - se gli esiti della nuova campagna restituiscono  $R \leq R_{\text{accettabile}}$  o in alternativa  $C \leq C_{\text{accettabile}}$  allora non saranno necessari interventi o monitoraggi, altrimenti si procederà secondo quanto indicato al punto 2.

---

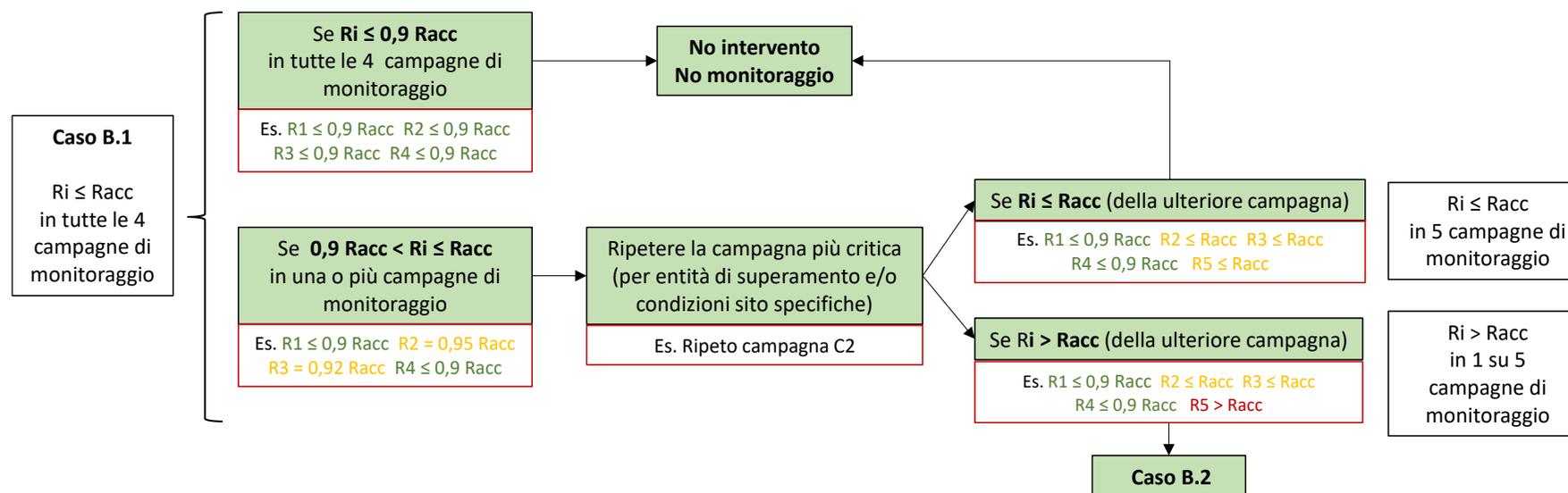
<sup>9</sup> L'incertezza relativa al primo anno di monitoraggio tiene conto della rappresentatività della singola campagna rispetto alla stagione a cui si riferisce. Qualora nel primo anno di monitoraggio si registrino situazioni anomale (es. rischio da non accettabile) esse andranno rivalutate al fine di verificare se tali anomalie siano dovute ad una reale situazione di criticità ambientale, oppure possano essere gestite nell'ambito della variabilità del dato. Per i monitoraggi successivi al primo anno si ritiene che la ripetizione di una o più campagne nella stessa stagione sia sufficientemente rappresentativa da non richiedere più l'adozione di range di incertezza.

- 
2.  $R > R_{\text{accettabile}}$  o in alternativa  $C > C_{\text{accettabile}}$  in **una campagna di monitoraggio** (Caso B.2 - Fig.7):
- se i valori di rischio (R) o in alternativa le concentrazioni rappresentative (C) eccedono i criteri di accettabilità di una percentuale inferiore al 10% ( $R_{\text{accettabile}} < R \leq 1,1 R_{\text{accettabile}}$  o  $C_{\text{accettabile}} < C \leq 1,1 C_{\text{accettabile}}$ ), allora si potrà ripetere la campagna in tutti i punti di monitoraggio e nelle medesime condizioni o, se ciò non è possibile, nelle condizioni più critiche;
    - se gli esiti della nuova campagna restituiscono  $R \leq R_{\text{accettabile}}$  o in alternativa  $C \leq C_{\text{accettabile}}$  allora non saranno necessari interventi o monitoraggi;
    - se gli esiti della nuova campagna eccedono i criteri di accettabilità di una percentuale inferiore al 10% ( $R_{\text{accettabile}} < R \leq 1,1 R_{\text{accettabile}}$  o  $C_{\text{accettabile}} < C \leq 1,1 C_{\text{accettabile}}$ ), allora sarà possibile ripetere nuovamente la campagna in tutti i punti di monitoraggio e nelle medesime condizioni o, se ciò non è possibile, nelle condizioni più critiche; in questo caso, per non attivare interventi la nuova campagna dovrà dare  $R \leq R_{\text{accettabile}}$  o in alternativa  $C \leq C_{\text{accettabile}}$ ;
    - se gli esiti della nuova campagna eccedono i criteri di accettabilità di una percentuale superiore al 10% ( $R > 1,1 R_{\text{accettabile}}$  o  $C > 1,1 C_{\text{accettabile}}$ ), allora dovranno essere predisposti opportuni interventi;
  - se i valori di rischio (R) o in alternativa le concentrazioni rappresentative (C) eccedono i criteri di accettabilità di una percentuale superiore al 10% ( $R > 1,1 R_{\text{accettabile}}$  o  $C > 1,1 C_{\text{accettabile}}$ ), si potrà comunque consentire la ripetizione della campagna due volte in tutti i punti di monitoraggio e nelle medesime condizioni o, se ciò non è possibile, nelle condizioni più critiche; qualora gli esiti di entrambe le nuove campagne restituiscono  $R \leq R_{\text{accettabile}}$  o in alternativa  $C \leq C_{\text{accettabile}}$  allora non saranno necessari interventi o monitoraggi, altrimenti dovranno essere predisposti opportuni interventi.
3.  $R > R_{\text{accettabile}}$  o in alternativa  $C > C_{\text{accettabile}}$  in **due campagne di monitoraggio** (Caso B.3 - Fig.8):
- se in entrambi i casi i valori di rischio (R) o in alternativa le concentrazioni rappresentative (C) eccedono i criteri di accettabilità di una percentuale inferiore al 10% ( $R_{\text{accettabile}} < R \leq 1,1 R_{\text{accettabile}}$  o  $C_{\text{accettabile}} < C \leq 1,1 C_{\text{accettabile}}$ ) è possibile consentire la ripetizione di entrambe le campagne in tutti i punti di monitoraggio e nelle medesime condizioni o, se ciò non è possibile, nelle condizioni più critiche;
    - qualora la ripetizione di entrambe le campagne restituisca  $R \leq R_{\text{accettabile}}$  o in alternativa  $C \leq C_{\text{accettabile}}$  allora non saranno necessari interventi o monitoraggi;
    - qualora la ripetizione anche di una sola delle campagne restituisca  $R > R_{\text{accettabile}}$  o in alternativa  $C > C_{\text{accettabile}}$ , allora dovranno essere previsti opportuni interventi;
  - se in uno o in entrambi i casi i valori di rischio (R) o in alternativa le concentrazioni rappresentative (C) eccedono i criteri di accettabilità di una percentuale superiore al 10% ( $R > 1,1 R_{\text{accettabile}}$  o  $C > 1,1 C_{\text{accettabile}}$ ) allora dovranno essere previsti opportuni interventi.

In generale, gli Enti di Controllo sulla base delle condizioni specifiche del sito e dei risultati delle prime 4 campagne effettuate hanno facoltà di:

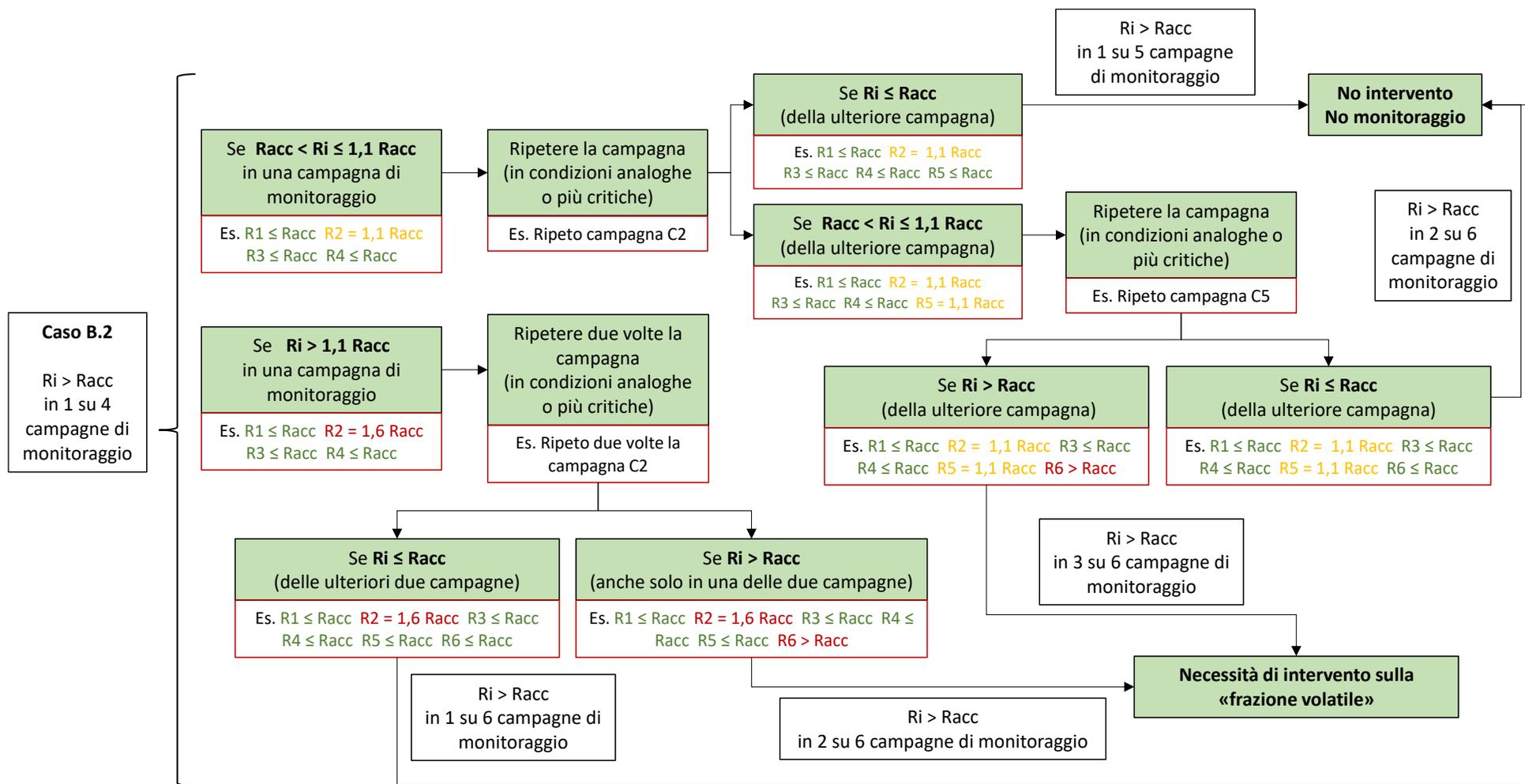
- limitare il numero di campagne necessarie ad esprimere un giudizio (ad esempio non consentendo la ripetizione delle campagne in cui  $R > 1,1 R_{\text{accettabile}}$  o  $C > 1,1 C_{\text{accettabile}}$ );
- richiedere ulteriori campagne di monitoraggio rispetto a quelle previste dalla presente procedura, qualora gli esiti delle campagne condotte non consentano di definire in maniera univoca la necessità di interventi di messa in sicurezza e/o bonifica.

**Figura 6** – Confronto con i criteri di accettabilità VdR soil gas (Caso B.1)



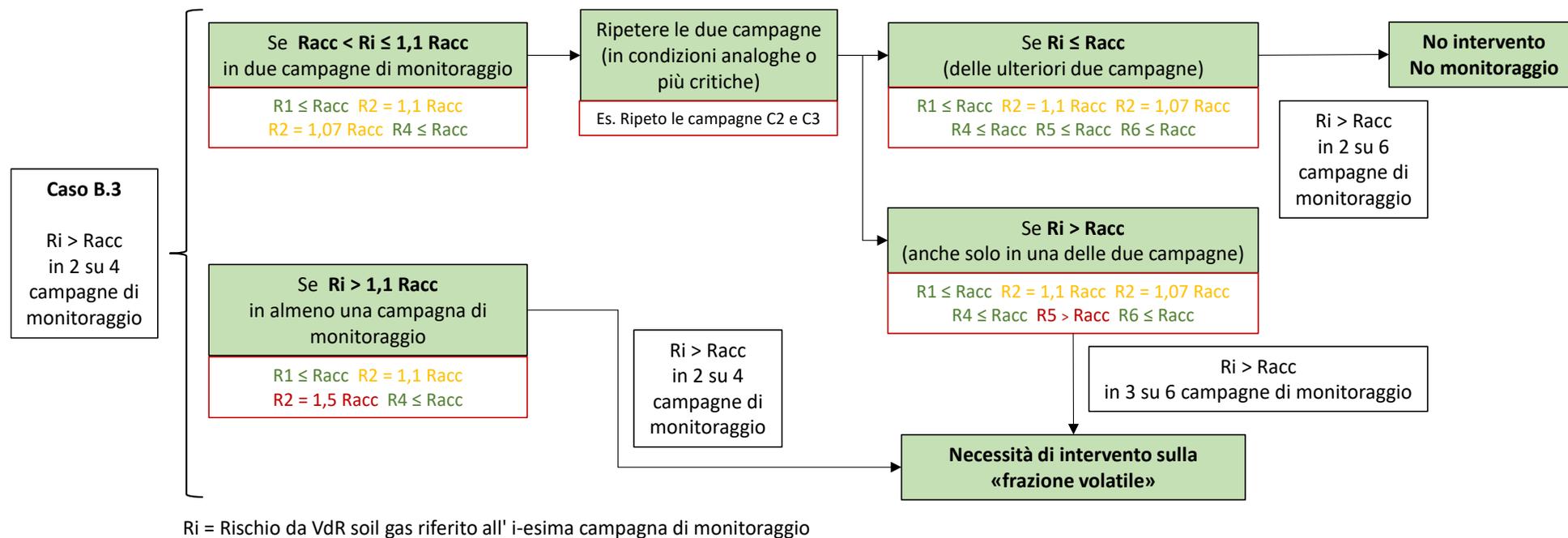
Ri = Rischio da VdR soil gas riferito all' i-esima campagna di monitoraggio

Figura 7 – Confronto con i criteri di accettabilità VdR soil gas (Caso B.2)



$R_i$  = Rischio da VdR soil gas riferito all' i-esima campagna di monitoraggio

**Figura 8** – Confronto con i criteri di accettabilità VdR soil gas (Caso B.3)



---

## 5 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

La procedura descritta nel presente documento consente di superare molte criticità nella gestione dei dati dei gas interstiziali all'interno dell'AdR dei siti contaminati, delineando un approccio condiviso a livello nazionale.

I criteri proposti infatti prevedono un approccio graduale per step di approfondimento che può, in molti casi, semplificare la gestione del percorso "inalazione di vapori" sia per i proponenti che per gli Enti di Controllo, consentendo di prendere decisioni in tempi ragionevoli e limitare eventuali approfondimenti di caratterizzazione ai casi più complessi.

Come evidenziato in precedenza i modelli elaborati per l'applicazione dell'AdR non garantiscono una sufficiente affidabilità delle elaborazioni ottenute a partire dai dati di *soil gas survey* e non sono al momento disponibili modelli consolidati, di facile fruibilità e comprensione, tali da essere usati per scopi pratici e non solo di ricerca, e quindi da proporre in alternativa a quelli ad oggi adottati.

Per consentire l'adozione di nuovi modelli e/o nuovi fattori di trasporto per l'AdR sito-specifica calati nel contesto nazionale sono emerse da parte del Gruppo di Lavoro le seguenti proposte di approfondimento tecnico/scientifico:

- raccogliere i casi studio di monitoraggio di aeriformi disponibili nell'ambito del SNPA al fine di predisporre un database nazionale che consenta di effettuare sia le correlazioni suolo/falda/soil gas/flusso che le correlazioni soil gas/flusso/aria ambiente in analogia al lavoro effettuato da USEPA;
- validare sui casi studio disponibili nuovi modelli di trasporto da suolo/falda, che superino le criticità di quelli proposti dal Manuale ISPRA e consentano di evitare il ricorso massiccio a misure di aeriformi nei siti contaminati;
- validare, sulla scorta delle informazioni raccolte nel database nazionale, nuovi modelli di trasporto dei gas interstiziali, che superino le criticità di quelli proposti dagli attuali software di AdR.

Sulla scorta degli approfondimenti sopra citati la procedura indicata potrà, se necessario, essere rivista.

---

## BIBLIOGRAFIA

Auer LH, Rosemberg ND, Birdsell KH, Withney EM, 1996 – The effects of barometric pumping on contaminant transport – *Journal of Contaminant Hydrology* 2002 24(2)

APAT, 2008 – Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati – <http://www.isprambiente.gov.it/files/temi/siti-contaminati-02marzo08.pdf>

BCME, 2010 – Technical Guidance on Contaminated Sites. Vapour Investigation and Remediation – <http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/site-remediation/docs/technical-guidance/tg04.pdf>

CCME, 2007 – Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. CCME Soil Quality Index 1.0 Technical Report – [http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/soqi\\_tech\\_report\\_e\\_1.1.pdf](http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/soqi_tech_report_e_1.1.pdf)

CCME, 2014 – A Protocol for the Derivation of Soil Vapour Quality Guidelines for Protection of Human Exposures via Inhalation of Vapours – <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/347>

CCME, 2010 – Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada, Part VII: Guidance For Soil Vapour Intrusion Assessment At Contaminated Sites – [www.healthcanada.gc.ca](http://www.healthcanada.gc.ca)

Chen C, Green RE, Thomas DM, Knuteson JA, 1995 – Modeling 1,3-D fumigant volatilization with vapor-phase advection in the soil profile – *Environmental Science and Technology*, 29, 1816–1821

Chiodini G, Cioni R, Guidi M, Raco B, 1998 – Soil CO<sub>2</sub> flux measurements in volcanic and geothermal areas - *Applied Geochemistry* 1998 13(5)

Choi JW, Tillman FD, Smith JA, 2002 – Relative Importance of Gas-Phase Diffusive and Advective Trichloroethene (TCE) Fluxes in the Unsaturated Zone under Natural Conditions – *Environmental Science and Technology* 2002 36 (14)

CRC CARE, 2013 – Cooperative Research Centre for Contamination Assessment and Remediation of the Environment. Technical Report series, n. 23. Petroleum hydrocarbon vapour intrusion assessment: Australian guidance

De Jong E, 1973 – Evidence for significance of other-than-normal diffusion transport in soil gas exchange – a discussion – *Geoderma* 1973 10

Etiopè G, 1999 – Subsoil CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> and their advective transfer from faulted grassland to the atmosphere – *Journal of Geophysical Research* 1999 104 (14)

Etiopè G, Martinelli G, 2002 – Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview – *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 2002 129

Harkov R., 1989 – Semivolatile Organic Compounds in the Atmosphere – Volume 4 / 4B, *The Handbook of Environmental Chemistry* 1989

INAIL, 2014 – Manuale operativo: Il rischio chimico per i lavoratori nei siti contaminati

---

ISTAT, 2017 – Nomenclatura e classificazione delle Unità Professionali – <http://professioni.istat.it/sistemainformativoprofessionioni/cp2011/>

ISS, INAIL, AULSS 12, ARPAV, 2014 – Protocollo per il monitoraggio dell'aria indoor/outdoor ai fini della valutazione dell'esposizione inalatoria nei siti contaminati Sito di Venezia Porto Marghera (Protocollo attuativo dell'Accordo di Programma per il SIN Venezia-Porto Marghera) – settembre 2014

ISS-INAIL, 2018 – Banca Dati ISS INAIL, Documento di supporto – marzo 2018  
[http://www.bonifiche.minambiente.it/contenuti/gruppi/ADR/Nota\\_6919.zip](http://www.bonifiche.minambiente.it/contenuti/gruppi/ADR/Nota_6919.zip)

ISTAT, 2012 – Uso del tempo – <http://www.istat.it/it/archivio/52079>

ISTAT, 2014 – Tavole di mortalità della popolazione residente – <http://www.istat.it/it/archivio/172643>

ISTAT – Portale I.Stat: Il tuo accesso diretto alla statistica italiana – <http://dati.istat.it/Index.aspx>

Luo Y, Zhou X, 2006 – Soil Respiration and the Environment – Academic Press/Elsevier 2006

MATTM, 2014-2015 – Linee Guida per l'applicazione dell'Analisi di Rischio sito-specifica del 2014 (prot. 29706/STA) con integrazioni del 2015 (prot. 2277/STA) – <http://www.bonifiche.minambiente.it/contenuti%5Cgruppi%5CADR%5CLinee-guida%20AdR.pdf>

MADEP, 2009 – Method for the determination of air-phase petroleum hydrocarbons (APH) – Massachusetts Department of Environmental Protection 2009

Rey A, Belelli-Marchesini L, Were A, Serrano-Ortiz P, Etiope G, Papale D, Domingo F, Pegoraro E, 2012 – Wind as a main driver of the net ecosystem carbon balance of a semiarid Mediterranean steppe in the South East of Spain – Global Change Biology 2012 18

Scanlon BR, Nicot JP, Massmann JW, 2002 – Soil Gas Movement in Unsaturated Systems – Soil Physics Companion edited by A.W. Warric, 2002

Tillman FD, Choi JW, Smith JA, 2002 – A comparison of direct measurement and model simulation of total flux of volatile organic compounds from the subsurface to the atmosphere under natural field conditions – Water Resources Research, 39, 5-11

United States Environmental Protection Agency USEPA, 1996 – Soil Screening Guidance: Technical Background Document – <https://www.epa.gov/superfund/superfund-soil-screening-guidance>

United States Environmental Protection Agency USEPA-EQM, 2003 – User's Guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings – [https://www.lm.doe.gov/cercla/documents/rockyflats\\_docs/SW/SW-A-005690.pdf](https://www.lm.doe.gov/cercla/documents/rockyflats_docs/SW/SW-A-005690.pdf)

---

United States Environmental Protection Agency USEPA, 2011 – Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final) – <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>

United States Environmental Protection Agency USEPA, 2011b – Age Dependent Adjustment Factor (ADAF) application – [https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference\\_id/783747](https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/783747)

United States Environmental Protection Agency USEPA, 2012 – EPA’s Vapor Intrusion Database – [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/oswer\\_2010\\_database\\_report\\_03-16-2012\\_final\\_witherratum\\_508.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/oswer_2010_database_report_03-16-2012_final_witherratum_508.pdf)

United States Environmental Protection Agency USEPA, 2015 – Assessing and Mitigating the Vapor Intrusion Pathway from Subsurface Vapor Sources to Indoor Air – <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/oswer-vapor-intrusion-technical-guide-final.pdf>

United States Environmental Protection Agency USEPA, 2015b – Technical Guide for Addressing Petroleum Vapor Intrusion at Leaking Underground Storage Tank Sites – <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/pvi-guide-final-6-10-15.pdf>

Vecchio A, Falconi M, 2016 – Direct measures for a better management of inhalation risks from contaminated sites – SIDISA 2016

Waitz MFW, Freijer JI, Kreule P, Swartjes FA, 1996 – The VOLASOIL risk assessment model based on CSOIL for soils contaminated with volatile compounds – National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven. Report n. 715810014

World Health Organization WHO, 2000 – Regional Office for Europe Air Quality Guidelines for Europe, 2<sup>o</sup> Edition – WHO Regional Publications, European series n. 91

World Health Organization WHO, 2010 – Guidelines for indoor air quality: selected pollutants – WHO Regional Publications. Copenhagen – [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf)

New Jersey Department of Environmental Protection NJ DEP, 2013 – Vapor Intrusion Technical Guidance. Version 3.1. Site Remediation Division.

Joint Research Centre JRC, 2007 – Derivation methods of Soil Screening Values in Europe. A review and evaluation of National procedures towards harmonization – JRC PUBSY 7123 - Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities – [http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/eusoils\\_docs/other/EUR22805.pdf](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/EUR22805.pdf)

## ALLEGATO A – DERIVAZIONE DEI PARAMETRI DI ESPOSIZIONE PER L'INALAZIONE DI VAPORI

### A.1 Derivazione dei parametri di esposizione per lo scenario residenziale-ricreativo

Per la definizione dei valori caratteristici dei parametri di esposizione si è cercato di far riferimento a studi sulla popolazione nazionale, avvalendosi di indagini specifiche effettuate da ISTAT. In particolare, rispetto ai default proposti nel Manuale APAT “Criteri Metodologici” (APAT, 2008), è stata valutata l’opportunità di rivedere i parametri “frequenza giornaliera di esposizione (EF<sub>g</sub>)” e “tempo di mediazione per le sostanze cancerogene (AT<sub>canc</sub>)”.

Per quel che concerne la “frequenza giornaliera di esposizione (EF<sub>g</sub>)” è stata presa a riferimento l’indagine “Uso del tempo” svolta dall’ISTAT nel periodo 01/02/2008-31/01/2009 su un campione di 18.250 famiglie e pubblicata nel 2012 (ISTAT, 2012). In particolare si riportano nel seguito alcune tavole di interesse per la determinazione del parametro EF<sub>g</sub>.

**Tabella A1** – Attività svolte dalla popolazione anno 2008 (ore e minuti) secondo lo studio ISTAT 2012

Classe di età	Dormire, mangiare e altra cura della persona	Lavoro retr.	Istr. e form.	Lavoro fam.	Volontariato, aiuti, partecip. sociale e religiosa	Tempo libero				Spost.	Tempo non spec.
						Vita sociale, att. culturali e riposo	Sport e att. all'aperto	Arti, passatempi, inform., e giochi	Lettere, tv, radio		
3-5 anni	13,46	-	3,2	0,12	0,03	0,54	0,21	3,12	1,17	0,55	0
6-10 anni	12,49	-	4,24	0,2	0,07	0,48	0,25	2,18	1,49	0,59	0,01
11-14 anni	12,03	-	4,45	0,28	0,07	1,13	0,39	1,22	2,14	1,08	0,02
15-24 anni	11,27	1,28	2,58	1	0,07	2,06	0,42	0,42	1,48	1,41	0,01
25-44 anni	11	4,23	0,11	3,04	0,08	1,19	0,26	0,14	1,4	1,31	0,02
45-64 anni	11,04	3,1	0,01	3,45	0,19	1,23	0,29	0,13	2,17	1,17	0,01
65 anni e più	12,25	0,11	0,01	4,01	0,25	2,03	0,35	0,16	3,14	0,49	0,01

**Tabella A2** – Luoghi frequentati dalla popolazione anno 2008 (ore e minuti) secondo lo studio ISTAT 2012

Classe di età	Casa propria	Casa di altre persone	Scuola, luogo di lavoro	Altri luoghi al chiuso	Luoghi in spazio aperto	Mezzi di spost.	Luogo non spec.
3-5 anni	17,15	1,02	3,26	0,34	0,47	0,55	0,01
6-10 anni	17,02	0,53	3,28	0,5	0,46	0,59	0,03
11-14 anni	16,53	0,47	3,12	0,5	1,04	1,08	0,07
15-24 anni	15,37	0,33	3,05	1,3	1,16	1,42	0,17
25-44 anni	15,24	0,32	4,16	1,15	0,46	1,41	0,07
45-64 anni	16,55	0,31	3,03	1,15	0,49	1,22	0,05
65 anni e più	20,24	0,28	0,1	1,14	0,52	0,49	0,03

I tempi di permanenza nei diversi luoghi ed i tempi dedicati alle differenti attività rappresentano dei valori medi riferiti al “giorno medio settimanale”, ovvero considerando sia i giorni lavorativi che quelli festivi. In particolare il tempo passato in “casa propria” comprende sia gli ambienti chiusi e gli spazi all’aperto (giardini, terrazzi, ecc.) dell’abitazione di residenza sia quelli relativi ad altre abitazioni di proprietà. Pertanto non sarebbe corretto attribuire tale valore alla frequenza giornaliera in ambiente indoor per lo scenario residenziale, per cui devono essere considerati esclusivamente i tempi trascorsi in ambienti chiusi dell’abitazione di residenza.

Al fine di stimare il tempo trascorso in ambiente outdoor per lo scenario residenziale si sono esaminate quindi le attività svolte sulla base delle definizioni ISTAT. In particolare si è considerato che per bambini e adolescenti (fino a 24 anni) una parte delle attività familiari e una parte del tempo libero dedicato al gioco sia svolto in ambiente outdoor. Per gli adulti (da 25 anni in su) si è invece considerato per gli ambienti outdoor una parte del lavoro familiare e una parte delle attività del tempo libero dedicata alla lettura e al riposo.

Per quel che concerne lo scenario ricreativo si è fatto riferimento alle frequentazioni di “altri luoghi al chiuso” per l’indoor e “luoghi in spazio aperto” per l’outdoor.

I valori medi del parametro “frequenza giornaliera di esposizione ( $EF_g$ )” per le classi di età prese in considerazione nel seguente studio, mutate dalle definizioni dell’Exposure Factor Handbook dell’USEPA (EFH, 2011), sono stati quindi desunti a partire dai valori medi per le classi di età definiti da ISTAT ed in particolare:

- bambino (0-6 anni) – classe ISTAT 3-5 anni
- adolescente (7-16 anni) – classi ISTAT 6-10 anni, 11-14 anni
- adulto (17-65) – classi ISTAT 15-24 anni, 25-44 anni, 45-64 anni
- anziano (> 65) – classe ISTAT >65 anni

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa dei valori medi di  $EF_g$

**Tabella A3** – Frequenza Giornaliera di Esposizione  $EF_g$  – valore medio (ore) ricavato dallo studio ISTAT 2012

Classe di età	Residenziale		Ricreativo	
	indoor	outdoor	indoor	outdoor
Bambino (0-6 anni)	16,53	0,62	0,34	0,47
Adolescente (7-16 anni)	16,33	0,44	0,50	0,75
Adulto (17-65 anni)	14,98	0,74	1,20	0,70
Anziano (>65 anni)	18,70	1,54	1,14	0,52

Al fine di effettuare una stima cautelativa dell’esposizione secondo il principio della “Reasonable Maximum Exposure - RME” e per tener conto anche dei segmenti della popolazione potenzialmente più esposte, si è deciso di utilizzare come valore caratteristico del parametro  $EF_g$  la media incrementata del 20%<sup>10</sup>. Si riporta di seguito la tabella riepilogativa dei valori “RME” per il parametro  $EF_g$ .

**Tabella A4** – Frequenza Giornaliera di Esposizione  $EF_g$  – valore cautelativo (ore) approccio RME

Classe di età	Residenziale		Ricreativo	
	indoor	outdoor	indoor	outdoor
Bambino (0-6 anni)	19,8	0,7	0,4	0,6
Adolescente (7-16 anni)	19,6	0,5	0,7	1,0
Adulto (17-65 anni)	18,0	0,9	1,4	0,8
Anziano (>65 anni)	22,4	1,9	1,4	0,6

Inoltre anche per la definizione del parametro “durata di esposizione (ED)” si è tenuto conto delle classi di età definite in precedenza, considerando in generale l’intervallo temporale specifico della singola classe di età. Fa eccezione soltanto il recettore “adulto” per il quale il Manuale APAT “Criteri Metodologici” (APAT, 2008) indica  $ED = 24$  anni, considerando che mediamente un adulto non permane nella stessa abitazione per la durata della vita.

<sup>10</sup> Il valore è derivato dallo scostamento tra il valore medio e il 90mo percentile dei tassi di inalazione giornalieri (espressi in  $m^3/(\text{giorno} * \text{peso corporeo})$ ) nell’EFH 2011 per le classi di età individuate.

Si è deciso quindi di suddividere il valore indicato dai “Criteri Metodologici” per l’adulto residente tra adolescente (10 anni – corrispondente all’intervallo della classe di età) e adulto (14 anni). Per l’anziano (>65 anni) è stata considerata una durata di esposizione di 5 anni tenendo conto del valore selezionato per la durata media della vita (70 anni).

**Tabella A5** – *Durata di esposizione ED (anni) per le classi di età selezionale*

Classe di età	Residenziale/Ricreativo
Bambino (0-6 anni)	6
Adolescente (7-16 anni)	10
Adulto (17-65 anni)	14
Anziano (> 65 anni)	5

Per quel che concerne il “tempo di mediazione per le sostanze cancerogene ( $AT_{canc}$ )”, che coincide con la durata media della vita, si è fatto riferimento ai dati ISTAT 2014 relativi alla “speranza di vita alla nascita” ed all’“età media al decesso” riportati di seguito.

**Tabella A6** – *Dati sulla speranza di vita alla nascita ed età media al decesso ricavati dallo studio ISTAT del 2014*

Dati Italia 2014 (anni)	Valore medio	Valore minimo
Speranza di vita alla nascita	80,3	77,9
Età media al decesso	77,3	73,9

In via cautelativa, secondo il principio di RME, sarebbe opportuno selezionare il valore minimo del dato nazionale relativo all’età media al decesso, corrispondente a circa 74 anni per l’Italia. Pertanto si ritiene rappresentativo il valore di default di 70 anni indicato nel Manuale APAT “Criteri Metodologici”(APAT, 2008).

## ***A.2 Derivazione dei parametri di esposizione per lo scenario commerciale-industriale***

Per la definizione delle classi di professione si è fatto riferimento alla classificazione delle Unità Professionali del sistema informativo dell’ISTAT (2017), secondo cui le professioni sono organizzate in raggruppamenti. Ad ogni grande gruppo (colonna 1, Tabella A7) corrispondono più gruppi. I gruppi sono suddivisi in classi di professioni (colonna 2, Tabella A7), composte a loro volta da più categorie. Ad ogni categoria (colonna 3, Tabella A7) corrispondono delle Unità Professionali contenenti le voci professionali (singole denominazioni di professioni).

In Tabella A7 è riportata una possibile corrispondenza tra le classi di professione (colonna 2, Tabella A7) e la tipologia di attività lavorativa distinta in:

- a) attività che in genere si svolgono in ambienti chiusi (indoor);
- b) attività che possono essere svolte in ambienti aperti (outdoor) e/o in ambienti chiusi (indoor);
- c) attività che in genere si svolgono in ambienti aperti (outdoor).

**Tabella A7 – Classificazione delle Unità Professionali del sistema informativo ISTAT (2017)**

Classificazione delle Unità Professionali (ISTAT)			Attività indoor/ outdoor
1 - LEGISLATORI, IMPRENDITORI E ALTA DIRIGENZA	1.1 - Membri dei corpi legislativi e di governo, dirigenti ed equiparati dell'amministrazione pubblica, nella magistratura, nei servizi di sanità, istruzione e ricerca e nelle organizzazioni di interesse nazionale e sovranazionale	1.1.1 - Membri di organismi di governo e di assemblee con potestà legislativa e regolamentare 1.1.2 - Direttori, dirigenti ed equiparati dell'amministrazione pubblica e nei servizi di sanità, istruzione e ricerca 1.1.3 - Dirigenti della magistratura 1.1.4 - Dirigenti di organizzazioni di interesse nazionale e sovranazionale	a)
	1.2 - Imprenditori, amministratori e direttori di grandi aziende	1.2.1 - Imprenditori e amministratori di grandi aziende 1.2.2 - Direttori e dirigenti generali di aziende 1.2.3 - Direttori e dirigenti dipartimentali di aziende	
	1.3 - Imprenditori e responsabili di piccole aziende	1.3.1 - Imprenditori e responsabili di piccole aziende	
2 - PROFESSIONI INTELLETTUALI, SCIENTIFICHE E DI ELEVATA SPECIALIZZAZIONE	2.1 - Specialisti in scienze matematiche, informatiche, chimiche, fisiche e naturali	2.1.1 - Specialisti in scienze matematiche, informatiche, chimiche, fisiche e naturali	a)
	2.2 - Ingegneri, architetti e professioni assimilate	2.2.1 - Ingegneri e professioni assimilate 2.2.2 - Architetti, pianificatori, paesaggisti e specialisti del recupero e della conservazione del territorio	
	2.3 - Specialisti nelle scienze della vita	2.3.1 - Specialisti nelle scienze della vita	
	2.4 - Specialisti della salute	2.4.1 - Medici	
	2.5 - Specialisti in scienze umane, sociali, artistiche e gestionali	2.5.1 - Specialisti delle scienze gestionali, commerciali e bancarie 2.5.2 - Specialisti in scienze giuridiche 2.5.3 - Specialisti in scienze sociali 2.5.4 - Specialisti in discipline linguistiche, letterarie e documentali 2.5.5 - Specialisti in discipline artistico-espressive 2.5.6 - Specialisti in discipline religiose e teologiche	
	2.6 - Specialisti della formazione e della ricerca	2.6.1 - Docenti universitari (ordinari e associati) 2.6.2 - Ricercatori e tecnici laureati nell'università 2.6.3 - Professori di scuola secondaria, post-secondaria e professioni assimilate 2.6.4 - Professori di scuola primaria, pre-primaria e professioni assimilate 2.6.5 - Altri specialisti dell'educazione e della formazione	

a) Attività che in genere si svolgono in ambienti chiusi (indoor)

b) Attività che possono essere svolte in ambienti aperti (outdoor) e/o in ambienti chiusi (indoor)

c) Attività che in genere si svolgono in ambienti aperti (outdoor)

3 - PROFESSIONI TECNICHE	3.1 - Professioni tecniche in campo scientifico, ingegneristico e della produzione	3.1.1 - Tecnici delle scienze quantitative, fisiche e chimiche 3.1.2 - Tecnici informatici, telematici e delle telecomunicazioni 3.1.3 - Tecnici in campo ingegneristico 3.1.4 - Tecnici della conduzione di impianti produttivi in continuo e dell'esercizio di reti idriche ed energetiche 3.1.5 - Tecnici della gestione dei processi produttivi di beni e servizi 3.1.6 - Tecnici del trasporto aereo, navale e ferroviario 3.1.7 - Tecnici di apparecchiature ottiche e audio-video 3.1.8 - Tecnici della sicurezza e della protezione ambientale	b)
	3.2 - Professioni tecniche nelle scienze della salute e della vita	3.2.1 - Tecnici della salute 3.2.2 - Tecnici nelle scienze della vita	a)
	3.3 - Professioni tecniche nell'organizzazione, amministrazione e nelle attività finanziarie e commerciali	3.3.1 - Tecnici dell'organizzazione e dell'amministrazione delle attività produttive 3.3.2 - Tecnici delle attività finanziarie ed assicurative 3.3.3 - Tecnici dei rapporti con i mercati 3.3.4 - Tecnici della distribuzione commerciale e professioni assimilate	a)
	3.4 - Professioni tecniche nei servizi pubblici e alle persone	3.4.1 - Professioni tecniche delle attività turistiche, ricettive ed assimilate 3.4.2 - Insegnanti nella formazione professionale, istruttori, allenatori, atleti e professioni assimilate 3.4.3 - Tecnici dei servizi ricreativi 3.4.4 - Tecnici dei servizi culturali 3.4.5 - Tecnici dei servizi sociali 3.4.6 - Tecnici dei servizi pubblici e di sicurezza	b)
4 - PROFESSIONI ESECUTIVE NEL LAVORO D'UFFICIO	4.1 - Impiegati addetti alle funzioni di segreteria e alle macchine da ufficio	4.1.1 - Impiegati addetti alla segreteria e agli affari generali 4.1.2 - Impiegati addetti alle macchine d'ufficio	a)
	4.2 - Impiegati addetti ai movimenti di denaro e all'assistenza clienti	4.2.1 - Impiegati addetti agli sportelli e ai movimenti di denaro 4.2.2 - Impiegati addetti all'accoglienza e all'informazione della clientela	
	4.3 - Impiegati addetti alla gestione amministrativa, contabile e finanziaria	4.3.1 - Impiegati addetti alla gestione amministrativa della logistica 4.3.2 - Impiegati addetti alla gestione economica, contabile e finanziaria	
	4.4 - Impiegati addetti alla raccolta, controllo, conservazione e recapito della documentazione	4.4.1 - Impiegati addetti al controllo di documenti e allo smistamento e recapito della posta 4.4.2 - Impiegati addetti all'archiviazione e conservazione della documentazione	

- a) Attività che in genere si svolgono in ambienti chiusi (indoor)  
b) Attività che possono essere svolte in ambienti aperti (outdoor) e/o in ambienti chiusi (indoor)  
c) Attività che in genere si svolgono in ambienti aperti (outdoor)

5 - PROFESSIONI QUALIFICATE NELLE ATTIVITA' COMMERCIALI E NEI SERVIZI	5.1 - Professioni qualificate nelle attività commerciali	5.1.1 - Esercenti delle vendite 5.1.2 - Addetti alle vendite 5.1.3 - Altre professioni qualificate nelle attività commerciali	a)
	5.2 - Professioni qualificate nelle attività ricettive e della ristorazione	5.2.1 - Esercenti nelle attività ricettive 5.2.2 - Esercenti ed addetti nelle attività di ristorazione 5.2.3 - Assistenti di viaggio e professioni assimilate	b)
	5.3 - Professioni qualificate nei servizi sanitari e sociali	5.3.1 - Professioni qualificate nei servizi sanitari e sociali	a)
	5.4 - Professioni qualificate nei servizi culturali, di sicurezza e alla persona	5.4.1 - Maestri di arti e mestieri 5.4.2 - Professioni qualificate nei servizi ricreativi, culturali ed assimilati 5.4.3 - Operatori della cura estetica 5.4.4 - Professioni qualificate nei servizi personali ed assimilati 5.4.5 - Addestratori e custodi di animali 5.4.6 - Esercenti e addetti di agenzie per il disbrigo di pratiche e professioni assimilate 5.4.7 - Esercenti e addetti di agenzie di pompe funebri 5.4.8 - Professioni qualificate nei servizi di sicurezza, vigilanza e custodia	b)
6 - ARTIGIANI, OPERAI SPECIALIZZATI E AGRICOLTORI	6.1 - Artigiani e operai specializzati dell'industria estrattiva, dell'edilizia e della manutenzione degli edifici	6.1.1 - Brillatori, tagliatori di pietre, coltivatori di saline e professioni assimilate 6.1.2 - Artigiani ed operai specializzati addetti alle costruzioni e al mantenimento di strutture edili 6.1.3 - Artigiani ed operai specializzati addetti alle rifiniture delle costruzioni 6.1.4 - Artigiani ed operai specializzati addetti alla pitturazione ed alla pulizia degli esterni degli edifici ed assimilati 6.1.5 - Artigiani ed operai specializzati addetti alla pulizia ed all'igiene degli edifici	b)
	6.2 - Artigiani ed operai metalmeccanici specializzati e installatori e manutentori di attrezzature elettriche ed elettroniche	6.2.1 - Fonditori, saldatori, lattonieri, calderai, montatori di carpenteria metallica e professioni assimilate 6.2.2 - Fabbri ferrai costruttori di utensili ed assimilati 6.2.3 - Meccanici artigianali, montatori, riparatori e manutentori di macchine fisse e mobili (esclusi gli addetti alle linee di montaggio industriale) 6.2.4 - Artigiani e operai specializzati dell'installazione e della manutenzione di attrezzature elettriche ed elettroniche	b)
	6.3 - Artigiani ed operai specializzati della meccanica di precisione, dell'artigianato artistico, della stampa ed assimilati	6.3.1 - Artigiani ed operai specializzati della meccanica di precisione su metalli e materiali assimilati 6.3.2 - Vasai, soffiatori e formatori di vetriere e professioni assimilate 6.3.3 - Artigiani delle lavorazioni artistiche del legno, del tessuto e del cuoio e dei materiali assimilati 6.3.4 - Artigiani ed operai specializzati delle attività poligrafiche	a)

- a) Attività che in genere si svolgono in ambienti chiusi (indoor)  
b) Attività che possono essere svolte in ambienti aperti (outdoor) e/o in ambienti chiusi (indoor)  
c) Attività che in genere si svolgono in ambienti aperti (outdoor)

6 - ARTIGIANI, OPERAI SPECIALIZZATI E AGRICOLTORI	6.4 - Agricoltori e operai specializzati dell'agricoltura, delle foreste, della zootecnia, della pesca e della caccia	6.4.1 - Agricoltori e operai agricoli specializzati 6.4.2 - Allevatori e operai specializzati della zootecnia 6.4.3 - Allevatori e agricoltori 6.4.4 - Operai forestali specializzati 6.4.5 - Pescatori e cacciatori	<b>c)</b>
	6.5 - Artigiani e operai specializzati delle lavorazioni alimentari, del legno, del tessile, dell'abbigliamento, delle pelli, del cuoio e dell'industria dello spettacolo	6.5.1 - Artigiani ed operai specializzati delle lavorazioni alimentari 6.5.2 - Attrezzisti, operai e artigiani del trattamento del legno ed assimilati 6.5.3 - Artigiani ed operai specializzati del tessile e dell'abbigliamento 6.5.4 - Artigiani ed operai specializzati della lavorazione del cuoio, delle pelli e delle calzature ed assimilati 6.5.5 - Artigiani ed operai specializzati dell'industria dello spettacolo	<b>a)</b>
7 - CONDUTTORI DI IMPIANTI, OPERAI DI MACCHINARI FISSI E MOBILI E CONDUCENTI DI VEICOLI	7.1 - Conduttori di impianti industriali	7.1.1 - Conduttori di impianti e macchinari per l'estrazione e il primo trattamento dei minerali 7.1.2 - Operatori di impianti per la trasformazione e lavorazione a caldo dei metalli 7.1.3 - Conduttori di forni ed altri impianti per la lavorazione del vetro, della ceramica e di materiali assimilati 7.1.4 - Conduttori di impianti per la trasformazione del legno e la fabbricazione della carta 7.1.5 - Operatori di macchinari e di impianti per la raffinazione del gas e dei prodotti petroliferi, per la chimica di base e la chimica fine e per la fabbricazione di prodotti derivati dalla chimica 7.1.6 - Conduttori di impianti per la produzione di energia termica e di vapore, per il recupero dei rifiuti e per il trattamento e la distribuzione delle acque 7.1.7 - Operatori di catene di montaggio automatizzate e di robot industriali 7.1.8 - Conduttori di impianti per la trasformazione dei minerali	<b>b)</b>
	7.2 - Operai semiqualeficati di macchinari fissi per la lavorazione in serie e operai addetti al montaggio	7.2.1 - Operai addetti a macchine automatiche e semiautomatiche per lavorazioni metalliche e per prodotti minerali 7.2.2 - Operai dei rivestimenti metallici, della galvanoplastica e per la fabbricazione di prodotti fotografici 7.2.3 - Conduttori di macchinari per la fabbricazione di articoli in gomma e materie plastiche 7.2.4 - Operai addetti a macchinari in impianti per la produzione in serie di articoli in legno 7.2.5 - Conduttori di macchinari per tipografia e stampa su carta e cartone 7.2.6 - Operai addetti a macchinari dell'industria tessile, delle confezioni ed assimilati 7.2.7 - Operai addetti all'assemblaggio di prodotti industriali 7.2.8 - Operai addetti a macchine confezionatrici di prodotti industriali	<b>b)</b>

a) Attività che in genere si svolgono in ambienti chiusi (indoor)

b) Attività che possono essere svolte in ambienti aperti (outdoor) e/o in ambienti chiusi (indoor)

c) Attività che in genere si svolgono in ambienti aperti (outdoor)

7 - CONDUTTORI DI IMPIANTI, OPERAI DI MACCHINARI FISSI E MOBILI E CONDUCENTI DI VEICOLI	7.3 - Operatori di macchinari fissi in agricoltura e nella industria alimentare	7.3.1 - Operai addetti a macchinari fissi nell'agricoltura e nella prima trasformazione dei prodotti agricoli 7.3.2 - Operai addetti a macchinari fissi per l'industria alimentare	<b>b)</b>
	7.4 - Conducenti di veicoli, di macchinari mobili e di sollevamento	7.4.1 - Conducenti di convogli ferroviari e altri manovratori di veicoli su rotaie e di impianti a fune 7.4.2 - Conducenti di veicoli a motore e a trazione animale 7.4.3 - Conducenti di macchine agricole 7.4.4 - Conducenti di macchine per movimento terra, di macchine di sollevamento e di maneggio dei materiali	<b>c)</b>
8 - PROFESSIONI NON QUALIFICATE	8.1 - Professioni non qualificate nel commercio e nei servizi	8.1.1 - Venditori ambulanti 8.1.2 - Personale non qualificato di ufficio 8.1.3 - Personale non qualificato addetto allo spostamento e alla consegna merci 8.1.4 - Personale non qualificato nei servizi di pulizia di uffici, alberghi, navi, ristoranti, aree pubbliche e veicoli 8.1.5 - Personale non qualificato nei servizi di istruzione e sanitari 8.1.6 - Personale non qualificato addetto ai servizi di custodia di edifici, attrezzature e beni	<b>b)</b>
	8.2 - Professioni non qualificate nelle attività domestiche, ricreative e culturali	8.2.1 - Personale non qualificato nei servizi ricreativi e culturali 8.2.2 - Personale non qualificato addetto ai servizi domestici	<b>b)</b>
	8.3 - Professioni non qualificate nell'agricoltura, nella manutenzione del verde, nell'allevamento, nella silvicoltura e nella pesca	8.3.1 - Personale non qualificato nell'agricoltura e nella manutenzione del verde 8.3.2 - Personale non qualificato addetto alle foreste, alla cura degli animali, alla pesca e alla caccia	<b>c)</b>
	8.4 - Professioni non qualificate nella manifattura, nell'estrazione di minerali e nelle costruzioni	8.4.1 - Personale non qualificato delle miniere e delle cave 8.4.2 - Personale non qualificato delle costruzioni e professioni assimilate 8.4.3 - Personale non qualificato nella manifattura	<b>b)</b>

---

## ALLEGATO B – STIMA DEI FATTORI DI ATTENUAZIONE SOIL-GAS

### *B.1 Considerazioni sui meccanismi di trasporto dei gas nel suolo e sui modelli di stima dei flussi di massa*

Nell'ambito dell'analisi di rischio il monitoraggio del soil gas è una delle linee d'evidenza per verificare le condizioni di trasporto e/o d'accumulo di vapori contaminati; non è tuttavia l'unica.

Infatti, la sola presenza nei gas interstiziali di concentrazioni rilevabili di sostanze volatili non è sufficiente a confermare/escludere un potenziale rischio da inalazione di vapori contaminati per i recettori presenti all'interno del sito. Occorre, infatti, che vi sia anche un trasporto significativo (flusso di massa) di contaminati in fase vapore verso gli ambienti indoor e outdoor.

Per utilizzare quindi in maniera opportuna i dati di soil gas ai fini della valutazione dell'effettiva presenza di un flusso di sostanze volatili dal suolo e/o dalla falda, occorre considerare quali sono i meccanismi di trasporto e i fattori che li influenzano. In sintesi i due meccanismi principali del trasporto di sostanze volatili nel suolo sono l'avvezione (per gradiente di pressione) e la diffusione (per gradiente di concentrazione).

In generale anche gradienti di pressione relativamente piccoli possono generare flussi significativi di tipo avvertivo. Tuttavia al diminuire della pressione, della granulometria (diametro medio dei pori) o della saturazione del gas nei pori (ovvero all'aumento del grado di saturazione dell'acqua) oppure all'approfondirsi della sorgente, il flusso avvertivo si riduce lasciando il posto a quello diffusivo che può diventare predominante (Auer et al., 1996, De Jong, 1973, Chiodini et al. 1998, Etiope et al., 2002, Choi, 2005, Luo et al., 2006, Etiope, 2009, Rey et al., 2012, CRC CARE, 2013).

E' anche noto che le variazioni di pressione sono per loro natura ciclica (alternando gradienti positivi o negativi) e che quindi l'effetto delle stesse può determinare una emissione dal suolo di tipo non continuo (Chen et al., 1995, Tillman et al., 2004, Waitz et al., 1996). Inoltre sia studi di letteratura (Choi et al., 2002), sia studi effettuati da ISPRA (Vecchio et al., 2016), hanno evidenziato che, in alcuni casi, il solo modello di diffusione applicato ai dati di gas interstiziali non sempre è sufficiente a quantificare il flusso globale di inquinanti dal suolo perché la componente avvertiva gioca, in talune condizioni, un ruolo altrettanto rilevante.

Si evidenzia quindi che l'utilizzo delle concentrazioni nel soil gas in input ai modelli di trasporto di tipo "diffusivo" (basati sulla legge di Fick) potrebbe portare a una "sottostima" del fenomeno di trasporto. A tal proposito si riporta di seguito la tabella B.1 (tratta da Scanlon et al., 2002) riepilogativa dei modelli maggiormente appropriati per la stima dei flussi di massa di vapori dal suolo sulla base di presenza di gradiente di pressione, permeabilità del suolo, concentrazione nei gas interstiziali.

**Tabella B1** – Modelli più appropriati per la stima dei flussi di massa di vapori dal suolo (in corsivo i modelli che includono l'avvezione)

<b>Gradiente di pressione</b>	<b>Permeabilità</b>	<b>Basse concentrazioni</b>	<b>Alte concentrazioni</b>
Isobaro	Bassa	Dusty gas model	Dusty gas model
Isobaro	Alta	Legge di Fick	Stefan-Maxwell
Non isobaro	Bassa	<i>Dusty gas model + Legge di Darcy</i>	<i>Dusty gas model + Legge di Darcy</i>
Non isobaro	Alta	<i>Avvezione + Diffusione</i>	Dusty gas model

Si evidenzia infine che nel caso dei modelli in ambiente indoor, in alcuni software di AdR disponibili, è possibile tener conto anche del contributo "avvertivo" sulla base della

---

definizione di un gradiente di pressione suolo-aria indoor. Gli attuali strumenti software non sono invece in grado di tener conto del trasporto “avvettivo” in ambiente outdoor.

## ***B.2 Analisi del Vapour Intrusion Database USEPA***

Alla luce delle criticità evidenziate relativamente all'utilizzo degli attuali modelli di trasporto applicati ai dati derivanti da *soil gas survey*, si è ritenuto opportuno far riferimento agli studi disponibili in letteratura che basano la stima dei fattori di trasporto sulla scorta di dati sperimentali.

Il “Vapor Intrusion Database” (USEPA, 2012) consente lo studio, sulla base dei monitoraggi disponibili, della correlazione tra le concentrazioni registrate in aria indoor e le concentrazioni misurate nei gas interstiziali su un numero considerevole di siti sia in contesto residenziale che in contesto non residenziale. Le sostanze investigate sono prevalentemente composti clorurati presenti nei suoli insaturi e/o nelle acque sotterranee, anche se il database contiene diversi casi di contaminazione da idrocarburi.

Si osserva tuttavia che le pubblicazioni disponibili in letteratura, riguardano quasi esclusivamente la tematica del “vapour intrusion” e quindi il trasporto di vapori contaminati in ambienti indoor. Non vi sono invece analoghi studi relativi alla migrazione delle sostanze inquinanti in ambiente outdoor, né proposte di derivazione dei relativi fattori di attenuazione sperimentali, ad eccezione del documento della provincia canadese della British Columbia (BCME, 2010). Si è deciso tuttavia di privilegiare i documenti USEPA in quanto si basano su un set di dati corposo e su una approfondita trattazione statistica dei dati, mentre il documento canadese non riporta né i criteri di derivazione dei fattori di attenuazione indoor e outdoor proposti, né il dataset di riferimento su cui sono state effettuate le correlazioni.

Pertanto, pur riconoscendo alcuni limiti del database USEPA (Brewer et al., 2014), ad oggi tale fonte costituisce l'unico riferimento sufficientemente robusto e riconosciuto nel panorama internazionale sulla base del quale si possono fare delle valutazioni in merito a correlazioni tra la concentrazione al punto di esposizione e la concentrazione dei gas interstiziali investigata con i *soil gas survey*.

Il “Vapor Intrusion Database” è stato utilizzato per la stima di fattori di attenuazione soil-gas in contesto residenziale riportati nei documenti USEPA “EPA’s Vapor Intrusion Database: Evaluation and Characterization of Attenuation Factors for Chlorinated Volatile Organic Compounds and Residential Buildings” (USEPA, 2012) e “Assessing and Mitigating the Vapor Intrusion Pathway from Subsurface Vapor Sources to Indoor Air” (USEPA, 2015).

Tuttavia per le finalità del documento in esame l'analisi del “Vapor Intrusion Database” è stata adattata da ISPRA al contesto nazionale. Si riportano nella tabella seguente le assunzioni utilizzate nell'analisi ed il confronto con quelle utilizzate da USEPA per la stima dei valori di riferimento dei fattori di attenuazione (alfa).

**Tabella B2** – Assunzioni utilizzate nell'analisi del Vapour Intrusion Database USEPA

Condizione	Criterio	Conformità LG USEPA	Note
Tipologia di sostanze	Tutte le sostanze (clorurati + idrocarburi)	Non conforme	Nei documenti USEPA sono stati considerati solo i composti clorurati
Tipologia di edificio	Tutte le tipologie (residenziali e non residenziali)	Non conforme	Nei documenti USEPA sono stati considerati solo gli edifici residenziali
Consistenza dei dati	Esclusi gli alfa derivati da valori di soil-gas minori della rilevabilità Esclusi gli alfa $\geq 1$	Conforme	Sono stati esclusi i valori di fattori di attenuazione non realistici
Influenza di background in aria	Esclusi gli alfa derivati da valori di soil gas minori di 50 volte il background in aria ( <i>source strenght</i> ) Non esclusi gli alfa derivati da valori in aria minori della rilevabilità	Conforme	E' stato privilegiato il criterio della rilevanza della sorgente ( <i>source strenght</i> )

Si fa presente che le assunzioni sopra riportate, ed in particolare quella relativa all'influenza del background in aria, limitano molto il dataset. Tuttavia tali assunzioni rendono più robusta l'analisi e restituiscono fattori di attenuazione più realistici.

Sulla base dei criteri sopra indicati si riportano in tabella B.3 le statistiche significative dei fattori di attenuazione determinati a partire dai dati di soil gas misurati all'esterno dell'edificio ed al di sotto della soletta (sub-slab).

**Tabella B3** – Statistiche generali dei fattori di attenuazione (alfa)

Statistiche	alfa	
	soil gas sub-slab (indoor)	soil gas suolo (esterno edificio)
Min	1,97E-04	1,32E-06
5 percentile	6,38E-04	9,29E-06
25 percentile	1,58E-03	3,83E-04
50 percentile	2,94E-03	2,15E-03
75 percentile	6,38E-03	8,57E-03
95 percentile	2,75E-02	1,25E-01
Max	8,82E-02	4,10E-01
Media	7,13E-03	2,38E-02
StdDev	1,42E-02	6,08E-02
UCL95 media	1,12E-02	3,45E-02

E' stata quindi effettuata un'analisi per verificare la correlazione del fattore di attenuazione in funzione di:

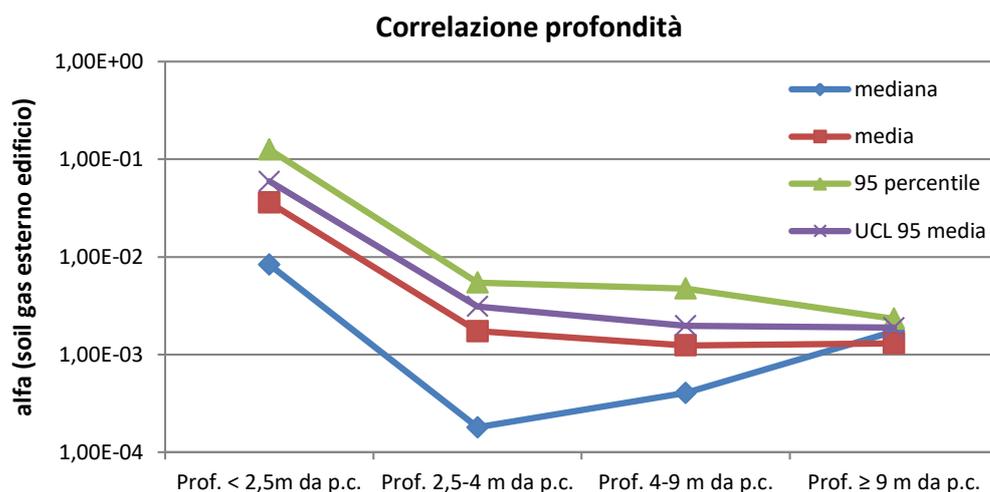
- profondità di campionamento (valida esclusivamente per i dati di soil gas misurati all'esterno dell'edificio) (tabella B.4 e Fig. B.3);
- tipologia di suolo (tabella B.5)

Di seguito sono riportate le statistiche relative alla correlazione del fattore di attenuazione con la profondità di campionamento. Le classi di profondità sono state definite in maniera da avere un dataset omogeneo (stessa numerosità) per ciascuna classe.

**Tabella B4** – Correlazione del fattore di attenuazione con la profondità di campionamento (soil gas misurati all'esterno dell'edificio)

Statistiche	alfa (soil gas esterno edificio)				
	All data	Prof. < 2,5m da p.c.	Prof. 2,5-4 m da p.c.	Prof. 4-9 m da p.c.	Prof. ≥ 9 m da p.c.
Min	1,32E-06	1,32E-06	5,93E-06	3,36E-06	6,81E-05
5 percentile	9,29E-06	6,05E-06	6,20E-06	7,34E-06	7,85E-05
25 percentile	3,83E-04	1,71E-03	1,15E-05	1,26E-04	1,04E-04
50 percentile	2,15E-03	8,34E-03	1,80E-04	4,04E-04	1,73E-03
75 percentile	8,57E-03	3,76E-02	3,88E-03	1,48E-03	2,01E-03
95 percentile	1,25E-01	1,25E-01	5,47E-03	4,75E-03	2,33E-03
Max	4,10E-01	2,50E-01	7,18E-03	7,50E-03	2,46E-03
Media	2,38E-02	3,59E-02	1,74E-03	1,24E-03	1,30E-03
StdDev	6,08E-02	5,83E-02	2,43E-03	1,90E-03	9,86E-04
UCL95 media	3,45E-02	5,93E-02	3,11E-03	1,97E-03	1,89E-03

**Figura B3** – Correlazione del fattore di attenuazione con la profondità di campionamento (statistiche significative)



Come si può vedere il trend di riduzione del fattore di attenuazione con la profondità si osserva per gli indicatori statistici relativi sia alla tendenza centrale (media ed UCL 95% della media) sia alle code della distribuzione (95° percentile). Fa eccezione la mediana che non registra tale trend per le classi di profondità più elevate.

Per quel che concerne la tipologia di suolo, sono riportate in tabella B.5 le statistiche di correlazione del fattore di attenuazione esclusivamente per le classi “very course” e “course” perché per esse esiste un dataset significativo per l’analisi statistica. Per la classe “fine” il dataset, a valle delle assunzioni restituite in Tabella B2, non risulta sufficientemente robusto, ma si ricorda che per tale tipologia, in linea di massima, il monitoraggio di soil gas in modalità attiva non è consigliato (Appendice A).

**Tabella B5** – Correlazione del fattore di attenuazione con la tipologia di suolo (statistiche significative)

Statistiche	alfa (soil gas sub-slab)		alfa (soil gas esterno edificio)	
	<i>very course</i>	<i>course</i>	<i>very course</i>	<i>course</i>
Min	1,97E-04	4,47E-04	4,20E-04	1,32E-06
5 percentile	7,83E-04	6,83E-04	5,19E-04	5,77E-06
25 percentile	3,85E-03	1,48E-03	7,89E-04	1,04E-04
50 percentile	6,56E-03	2,67E-03	4,77E-03	5,91E-04
75 percentile	1,18E-02	5,42E-03	2,07E-02	3,94E-03
95 percentile	2,54E-02	2,15E-02	1,26E-01	3,51E-02
Max	3,18E-02	8,82E-02	2,50E-01	1,27E-01
Media	9,46E-03	7,00E-03	2,71E-02	7,57E-03
StdDev	9,42E-03	1,62E-02	5,94E-02	2,10E-02
UCL95 media	1,53E-02	1,25E-02	5,31E-02	1,23E-02

Anche in questo caso si registra un trend per tutti gli indicatori statistici di aumento del fattore di attenuazione al diminuire della granulometria del terreno.

Alla luce di tale trend si riporta comunque di seguito una stima degli indicatori statistici significativi per la classe “fine” derivata da una correlazione lineare con le altre due classi.

**Tabella B6** – Indicatori statistici del fattore di attenuazione per la classe “fine” derivati dalla correlazione con le altre due classi

Statistiche	alfa (soil gas sub-slab)	alfa (soil gas esterno edificio)
	<i>fine</i>	<i>fine</i>
50 percentile	1,08E-03	7,32E-05
95 percentile	1,82E-02	9,82E-03
Media	5,18E-03	2,12E-03
UCL95 media	1,02E-02	2,86E-03

### B.3 Scelta dei fattori di attenuazione

Sulla base dell’analisi dei fattori di trasporto derivati da dati sperimentali ed in particolare del database USEPA, sono stati selezionati i fattori di attenuazione di riferimento per l’utilizzo dei dati di soil gas all’interno dell’AdR soil gas.

Per la derivazione dei valori soglia, secondo le peculiarità del Livello 1 dell’AdR che definisce i “valori di screening” sito-generici, si è fatto riferimento ad un unico valore ragionevolmente cautelativo ( $\alpha_c$ ) del fattore di attenuazione tenendo conto del 95° percentile sia degli alfa derivati da soil gas misurati sotto soletta (sub-slab), sia degli alfa derivati da soil gas misurati all’esterno dell’edificio.

$$\alpha_c = 0,1$$

Per la derivazione degli alfa specifici, secondo le peculiarità del Livello 2 dell’AdR che prevede una maggiore specificità della valutazione e la rimozione progressiva di ipotesi conservative, si è invece deciso di privilegiare un indicatore statistico della tendenza centrale della distribuzione dei fattori di attenuazione.

Tenendo conto delle analisi di correlazione rispettivamente con la profondità e la tipologia di suolo sono stati determinati i valori dei fattori di attenuazione specifici, riportati nelle tabelle

seguenti. In particolare si è deciso di adottare come statistica rappresentativa, il limite superiore di confidenza della media (UCL 95%). Tale scelta è motivata sia dai trend di correlazione, sia per coerenza con gli attuali indicatori statistici utilizzati nell'applicazione dell'AdR sito-specifica.

**Tabella B7** – *Fattore di attenuazione sito specifico funzione della profondità di campionamento (soil gas outdoor)*

Profondità	alfa (soil gas suolo)
< 2,5m da p.c.	5,93E-02
2,5-4 m da p.c.	3,11E-03
4-9 m da p.c.	1,97E-03
≥ 9 m da p.c.	1,89E-03

**Tabella B8** – *Fattore di attenuazione sito specifico funzione della tipologia di suolo*

Tipo di suolo	alfa (soil gas sub-slab indoor)	alfa (soil gas suolo)
Very course	1,53E-02	5,31E-02
Course	1,25E-02	1,23E-02
Fine	1,02E-02	2,86E-03

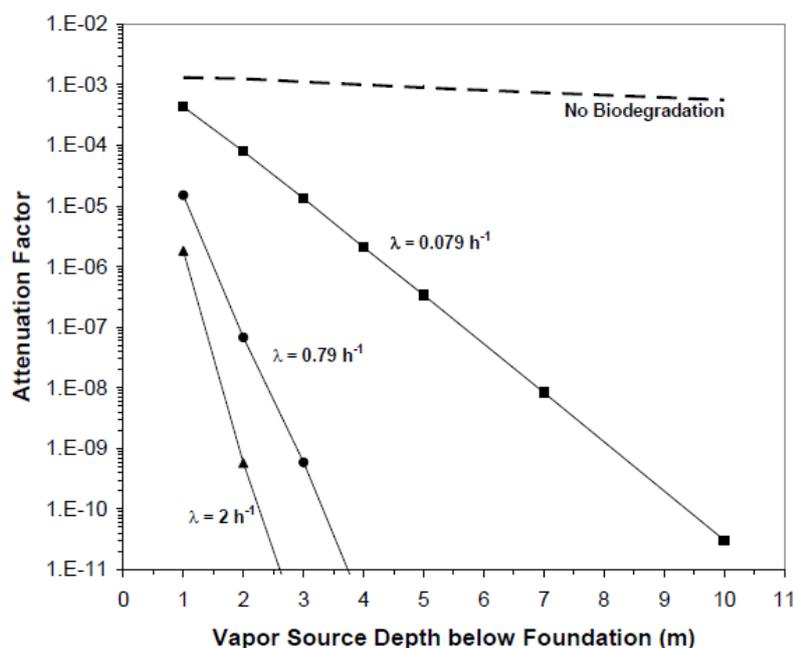
#### ***B.4 Fattori di attenuazione in presenza di biodegradazione***

Gli studi disponibili in letteratura (De Vaull, 2011, Abreu et al., 2005, Abreu et al., 2006) e i documenti di riferimento (USEPA, 2015b) sono concordi nell'affermare che fattori di attenuazione che non tengano conto dei fenomeni di biodegradazione potrebbero risultare, in alcuni casi, eccessivamente cautelativi per gli idrocarburi e quindi poco rappresentativi della realtà.

Pertanto si è deciso di derivare fattori di attenuazione specifici per gli idrocarburi da applicarsi in presenza di condizioni favorevoli alla biodegradazione.

Si è preso a riferimento il documento USEPA del 2013 "Evaluation of empirical data to support Soil Vapor Intrusion Screening Criteria for Petroleum Hydrocarbon Compounds". Tale documento considera i risultati dell'applicazione di modelli tridimensionali per la simulazione del trasporto di vapori di idrocarburi (Abreu et al., 2009) in funzione della profondità in presenza di degradazione aerobica (Fig. B4) e valide per concentrazioni di COV da Idrocarburi (rappresentati principalmente dal Benzene) alla sorgente inferiori a 10 mg/L (ovvero 10 g/m<sup>3</sup>). Sono state considerate diverse cinetiche di biodegradazione, in termini di costanti di degradazione del primo ordine (definita dal parametro  $\lambda$ ).

**Figura B4** – Correlazione del fattore di attenuazione (alfa) per idrocarburi con la profondità di campionamento (modello tridimensionale di Abreu et al., 2009) per concentrazioni inferiori a 10g/m<sup>3</sup>



Sono state prese in considerazione le rette relative ai fattori di attenuazione rispettivamente in assenza di biodegradazione e con biodegradazione descritta, a titolo di cautela, dalla costante di biodegradazione minore  $\lambda = 0,079 \text{ h}^{-1}$  (assunzione conservativa). Tuttavia, poiché il modello preso a riferimento considera gli effetti della biodegradazione aerobica, si è ritenuto opportuno limitare l'analisi a profondità inferiori a 4 m da p.c., ritenendo che al di sotto di tale limite si inneschino meccanismi di degradazione diversi vista la minore disponibilità di ossigeno.

Per rendere la valutazione dei fattori di attenuazione in presenza di biodegradazione aerobica più generale possibile, quindi svincolata dai casi specifici simulati dal modello e coerente con quella effettuata in assenza di biodegradazione, si è deciso di legare gli alfa da biodegradazione a quelli derivati dal Vapour Intrusion Database.

Pertanto sono stati derivati gli UCL 95% della media degli alfa relativi alle due rette considerate (senza e con biodegradazione) per le stesse classi di profondità già identificate fino a 4 m da p.c. Sono stati quindi calcolati i rapporti tra i valori rappresentativi degli alfa.

**Tabella B10** – Valutazione dei fattori di biodegradazione da modello tridimensionale in funzione di profondità di campionamento inferiori a 4 m da p.c.

Profondità	UCL 95 alfa modello senza biodegradazione	UCL 95 alfa modello con biodegradazione	Rapporto
< 2,5m da p.c.	1,47E-03	4,16E-04	2,83E-01
2,5-4 m da p.c.	1,18E-03	1,35E-05	1,14E-02

Sulla base dei rapporti così identificati sono stati derivati i fattori di attenuazione con biodegradazione a partire da quelli relativi al Vapour Intrusion Database considerando la correlazione con la profondità.

Ai fini della valutazione degli effetti della biodegradazione, per profondità superiori a 4 m da p.c. si è utilizzato, lo stesso grado di riduzione del fattore di attenuazione relativo a profondità inferiori, considerando lo stesso rapporto relativo alla classe 2,5 – 4 m da p.c.

**Tabella B11** – Valutazione dei fattori di biodegradazione da modello tridimensionale in funzione della profondità di campionamento

Profondità	alfa (soil gas suolo) senza biodegr.	alfa (soil gas suolo) con biodegr.	alfa (subslab) senza biodegr.	alfa (subslab) con biodegr.e
< 2,5m da p.c.	5,93E-02	1,68E-02	1,12E-02	3,17E-03
2,5-4 m da p.c.	3,11E-03	3,56E-05		
4-9 m da p.c.	1,97E-03	2,25E-05		
≥ 9 m da p.c	1,89E-03	2,16E-05		

Infine occorre precisare alcune considerazioni circa l'applicabilità dei fattori di attenuazione con biodegradazione derivati nel presente documento.

Il modello di biodegradazione utilizzato prevede cinetiche di biodegradazione in ambiente aerobico e pertanto non può essere applicato nei casi in cui i fenomeni biodegradativi sono di tipo anaerobico. E' da ricordare tuttavia che per gli idrocarburi i fenomeni biodegradativi anaerobici, benché non specificatamente considerati dal modello, possono essere rilevanti tanto quanto quelli aerobici, dipendendo dalle condizioni specifiche del sito.

Il modello di biodegradazione utilizzato è valido per concentrazioni di idrocarburi totali nei vapori inferiori a 10 g/m<sup>3</sup> e pertanto la presenza di prodotto in fase separata rende non valida l'applicazione degli alfa derivati.

Inoltre le valutazioni modellistiche di Abreu et al. (2009) sono state applicate ad edifici assimilabili a quelli residenziali e quindi con superfici non rilevanti. L'applicazione a complessi di edifici estesi (grandi capannoni, centri commerciali, grandi agglomerati residenziali) deve essere comunque supportata da indagini più mirate in quanto è necessario verificare l'esistenza di condizioni aerobiche sotto tali solette.

Infine il modello è stato ritenuto applicabile da USEPA a Benzene, Etilbenzene ed Idrocarburi C<sub>≤12</sub>. Per il Toluene e per gli Xileni USEPA ritiene che la correlazione dei dati di tali contaminanti con il Benzene debba essere ulteriormente approfondita.

Si ritiene tuttavia che, per le finalità del presente documento, l'applicazione degli alfa da biodegradazione possa essere estesa a Idrocarburi C<sub>≤12</sub> e BTEXS misurati nei gas interstiziali. Non si ritiene invece applicabile direttamente ad altre sostanze (es. IPA, MTBE, ETBE, ecc.) che spesso si ritrovano associate alla contaminazione da idrocarburi, in quanto i documenti di riferimento USEPA non hanno studi a supporto per l'indicazione della stessa cinetica di biodegradazione relativa ai C<sub>≤12</sub> e BTEXS.

Sulla scorta delle considerazioni precedenti si indicano i seguenti criteri di applicabilità del fattore di attenuazione con biodegradazione:

- contaminazione da BTEXS e Idrocarburi C<sub>≤12</sub>;
- percentuali di ossigeno misurate nei gas superiori al 4 %;
- edifici con superficie inferiore a 140 m<sup>2</sup> (New Jersey, 2013).

Per altri casi l'indicazione di fenomeni di biodegradazione dovrà essere argomentata e sostenuta con prove sito-specifiche di biodegradazione da concordare e sottoporre alla valutazione degli Enti di Controllo.

### B.5 Confronto tra i fattori di attenuazione indicati dai documenti USEPA e quelli derivati dai modelli di trasporto

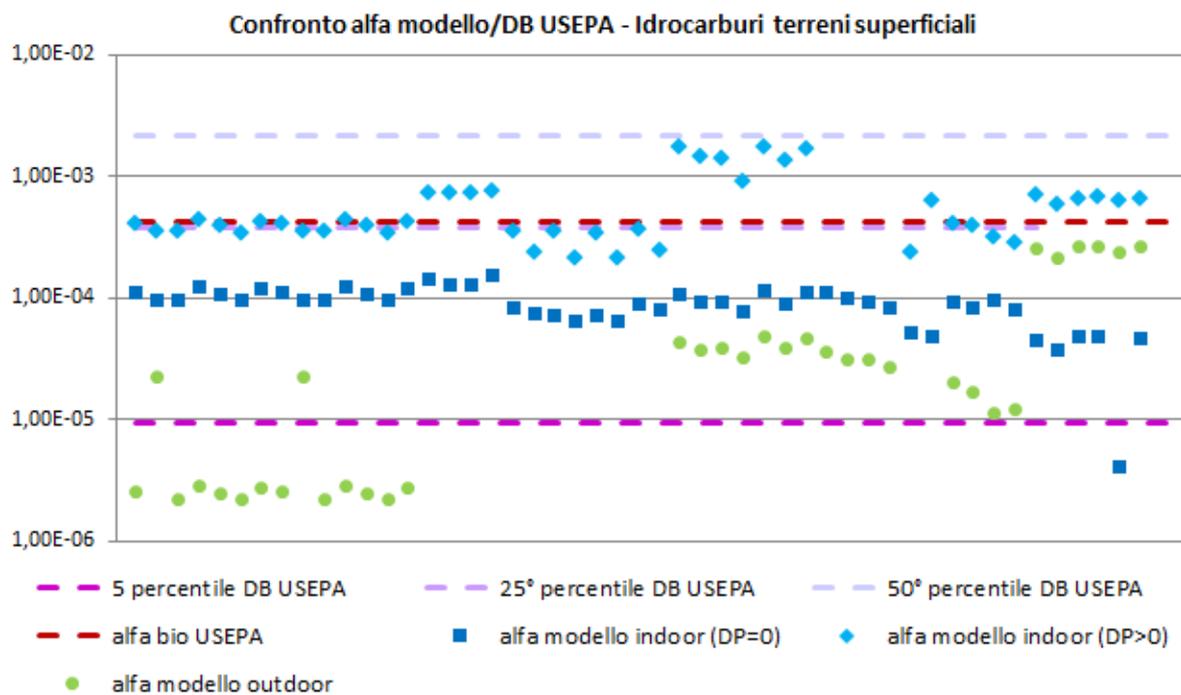
A partire dai casi studio selezionati nell'Appendice C, sono stati individuati i valori dei fattori di trasporto alfa derivati dai modelli ai fini del confronto con i valori indicati dai documenti USEPA.

In particolare per quel che concerne i modelli di trasporto in ambiente indoor sono stati valutati i fattori di trasporto alfa sia considerando il solo contributo diffusivo ( $\Delta P = 0$ ) sia considerando anche il contributo avveztivo ( $\Delta P > 0$ ), ipotizzando un gradiente di pressione tra l'ambiente chiuso e l'esterno pari a 4 Pa.

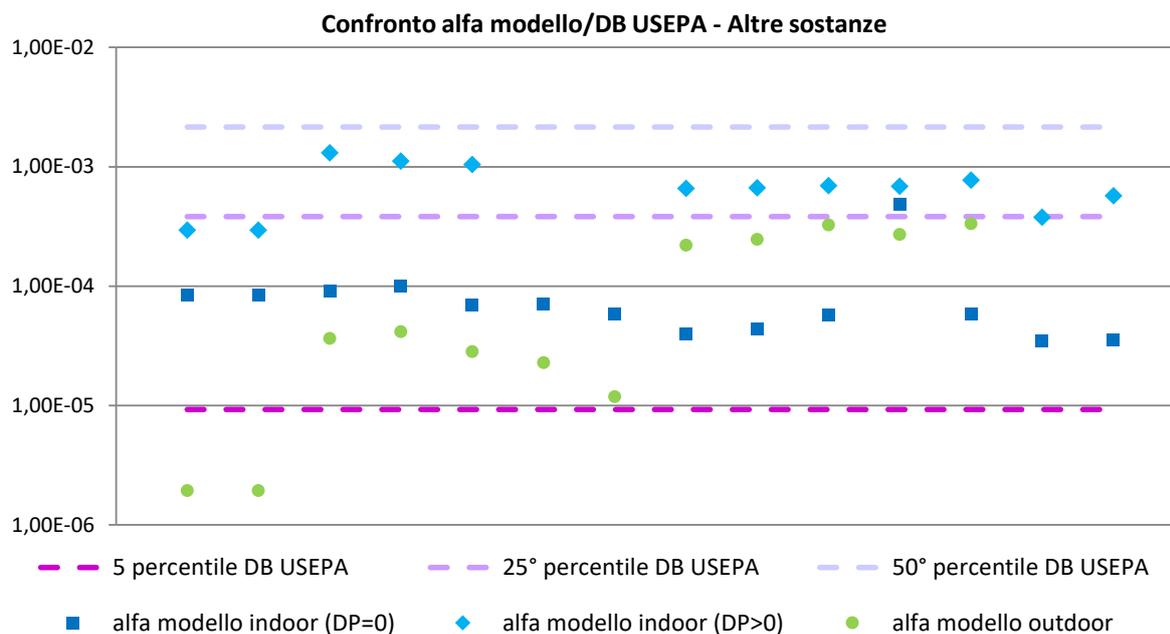
I contaminanti oggetto di questo confronto, in analogia con quanto riportato nell'Appendice C, sono stati Idrocarburi leggeri, BTEXS, Composti Clorurati e IPA (Naftalene). I valori di concentrazione nel soil gas inferiori a LOQ sono stati posti pari a tali valori.

Nelle Fig. B.5 e B.6 seguente sono riportati, per tipologie differenti di contaminanti, i risultati del confronto tra i valori di alfa derivati dai modelli utilizzati dagli attuali strumenti software e alcune statistiche del database USEPA. Il confronto è stato effettuato con gli alfa del database USEPA derivati a partire dai dati di soil gas prelevati all'esterno dell'edificio. Per Idrocarburi e BTEXS nei terreni superficiali è stato considerato anche l'UCL95 dei fattori alfa derivati dal modello di biodegradazione indicato da USEPA (Abreu et al., 2009) e descritto nel paragrafo precedente.

**Figura B5** – Confronto tra i valori di alfa derivati dai modelli di trasporto previsti dai software per i dati di soil gas ed alcune statistiche significative del database USEPA – Idrocarburi in terreni a profondità < di 2,5 m da p.c.



**Figura B6** – Confronto tra i valori di alfa derivati dai modelli di trasporto previsti dai software per i dati di soil gas ed alcune statistiche significative del database USEPA – Altre sostanze



I valori di alfa derivati dal modello indoor diffusivo ( $\Delta P = 0$ ) applicato ai dati di soil gas per le sostanze diverse dagli idrocarburi, ad eccezione di un caso, sono sempre inferiori al 5° percentile dei dati sperimentali riportati nel database USEPA. In un caso si registra un fattore di attenuazione inferiore al valore minimo del database USEPA. Considerando il contributo avvertivo ( $\Delta P = 4$  Pa), i fattori di attenuazione aumentano fino ad un ordine di grandezza ma, nella maggior parte dei casi, rimangono comunque intorno al 25° percentile del database USEPA e in un limitato numero di casi si attestano fra il 25° e il 50° percentile. Questo vuol dire che in più del 50% dei casi il valore di alfa ricavato dai dati sperimentali indicati nel database USEPA è superiore a quanto previsto dal modello indoor, anche considerando il contributo avvertivo. Considerando invece il solo modello diffusivo in più del 75% dei casi il valore di alfa ricavato dai dati sperimentali indicati nel database USEPA è superiore a quanto previsto dal modello indoor.

Per quel che concerne la contaminazione da idrocarburi, i valori di alfa derivati dal modello indoor diffusivo ( $\Delta P = 0$ ) applicato ai dati di soil gas sono sempre inferiori all'UCL95% dei fattori alfa derivati dal modello di biodegradazione indicato da USEPA. Considerando il contributo avvertivo ( $\Delta P = 4$  Pa), i fattori di attenuazione aumentano fino ad un ordine di grandezza risultando sostanzialmente paragonabili all'UCL 95% degli alfa da biodegradazione del modello USEPA. In un limitato numero di casi i valori sono superiori all'UCL 95% degli alfa da biodegradazione del modello USEPA. Occorre però tener presente che i modelli outdoor testati non tengono in considerazione la biodegradazione e pertanto, qualora quest'ultima fosse inclusa nel modello, porterebbe a fattori di attenuazione decisamente più bassi di quelli esaminati.

Per quel che concerne invece gli alfa derivati dal modello in ambiente outdoor di tipo diffusivo si registra che per le sostanze diverse dagli idrocarburi i valori stimati sono paragonabili se non addirittura superiori a quelli previsti dall'analogo modello diffusivo relativo all'indoor. Nel caso degli idrocarburi nella maggior parte dei casi i valori stimati dal modello outdoor risultano decisamente inferiori a quelli del modello indoor. Tuttavia vi sono alcuni casi in cui i valori previsti dal modello outdoor sono superiori.

---

I risultati del confronto effettuato si ritiene che supportino ulteriormente la scelta dei fattori di attenuazione indicati nel presente documento dato che gli alfa calcolati dai modelli utilizzati dai software risultano decisamente inferiori (e quindi molto meno cautelativi) rispetto a quelli ricavati dalle misure sperimentali incluse nel database USEPA.

---

## ALLEGATO C – TEST DELLA PROCEDURA SU CASI REALI

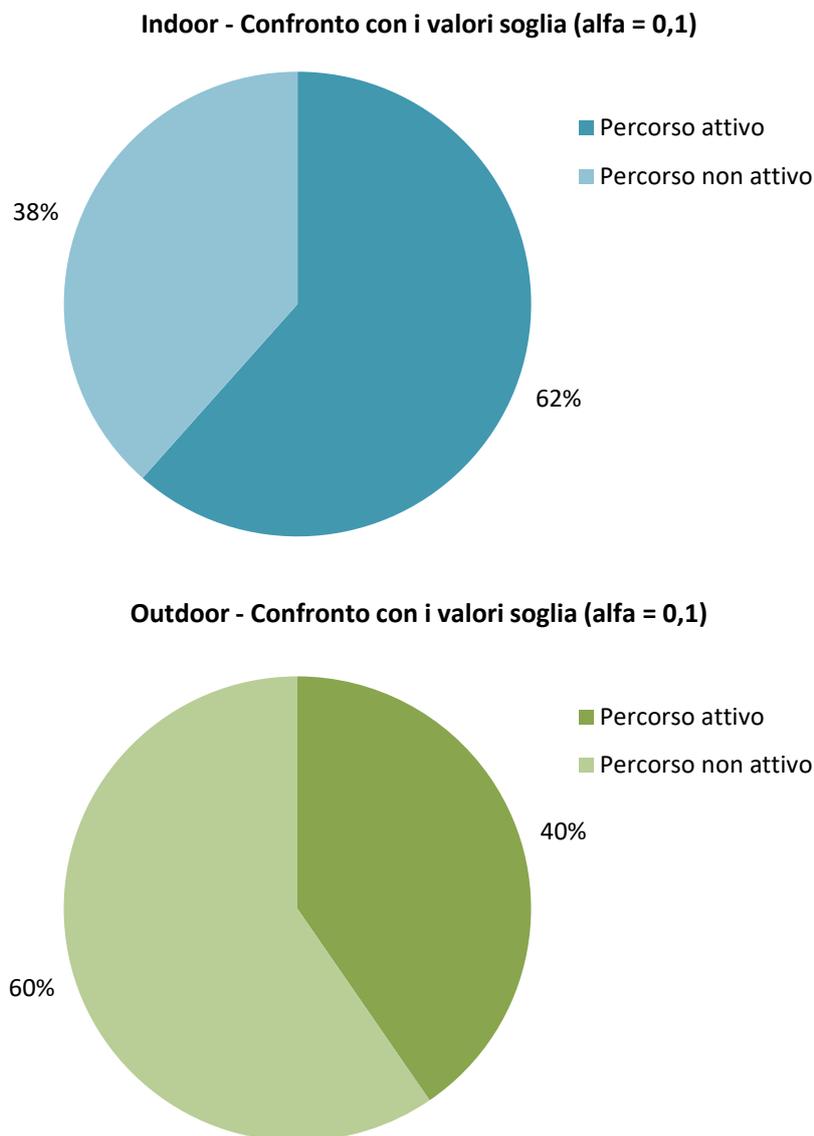
Sono stati selezionati dal SNPA alcuni casi studio di applicazione dell'AdR sito-specifica ai dati di soil gas utilizzando i correnti strumenti software sia in ambiente outdoor che in ambiente indoor. I casi studio sono relativi sia a scenari di esposizione di tipo residenziale, sia a scenari di tipo commerciale/industriale.

In questa prima indagine i siti monitorati sono stati 12. I campionamenti (intesi come numero di analisi ricercate in ogni campagna sui diversi siti) relativi all'ambiente indoor sono stati 65 mentre per l'outdoor sono stati raccolti 47 campionamenti utili per il confronto.

I contaminanti oggetto di questo confronto sono stati Idrocarburi leggeri, BTEXS, Composti Clorurati e IPA (Naftalene). Il campionamento dei gas del suolo è stato effettuato prevalentemente negli strati più superficiali (intorno a 1 m da p.c.) anche se vi sono alcuni casi di campionamenti profondi (fino a 3 m da p.c.).

La prima verifica ha riguardato innanzitutto il confronto con i valori soglia. In Fig. C1 sono evidenziati i casi di superamento dei valori soglia relativi rispettivamente all'indoor e all'outdoor.

**Figura C1** – Confronto con i valori soglia



---

Per quel che concerne gli ambienti indoor il confronto con i valori soglia determina l'attivazione del percorso di inalazione di vapori nel 62% dei casi, mentre nel caso outdoor l'attivazione del percorso di inalazione di vapori riguarda solo il 40% dei casi. Ciò in virtù del fatto che i valori soglia nel caso outdoor sono spesso più elevati rispetto a quelli relativi agli ambienti indoor, a causa delle differenti condizioni di esposizione dei recettori ed in particolare dei maggiori tempi di permanenza negli ambienti indoor rispetto all'esterno.

La seconda verifica ha riguardato il confronto tra gli esiti dell'AdR secondo le attuali procedure utilizzate dai software per i dati di soil gas e la procedura prevista nel presente documento. Ovviamente i casi esaminati sono esclusivamente quelli in cui il confronto con i valori soglia ha determinato che il percorso di inalazione di vapori risulta attivo.

In particolare per quel che concerne gli ambienti indoor sono stati valutati i fattori "alfa" derivati dai modelli di trasporto sia considerando il solo contributo diffusivo ( $\Delta P = 0$ ) sia considerando anche il contributo avvevativo ( $\Delta P > 0$ ), ipotizzando un gradiente di pressione tra l'ambiente chiuso e l'esterno pari a 4 Pa (APAT, 2008; USEPA-EQM, 2003).

Le differenze principali tra i due approcci riguardano:

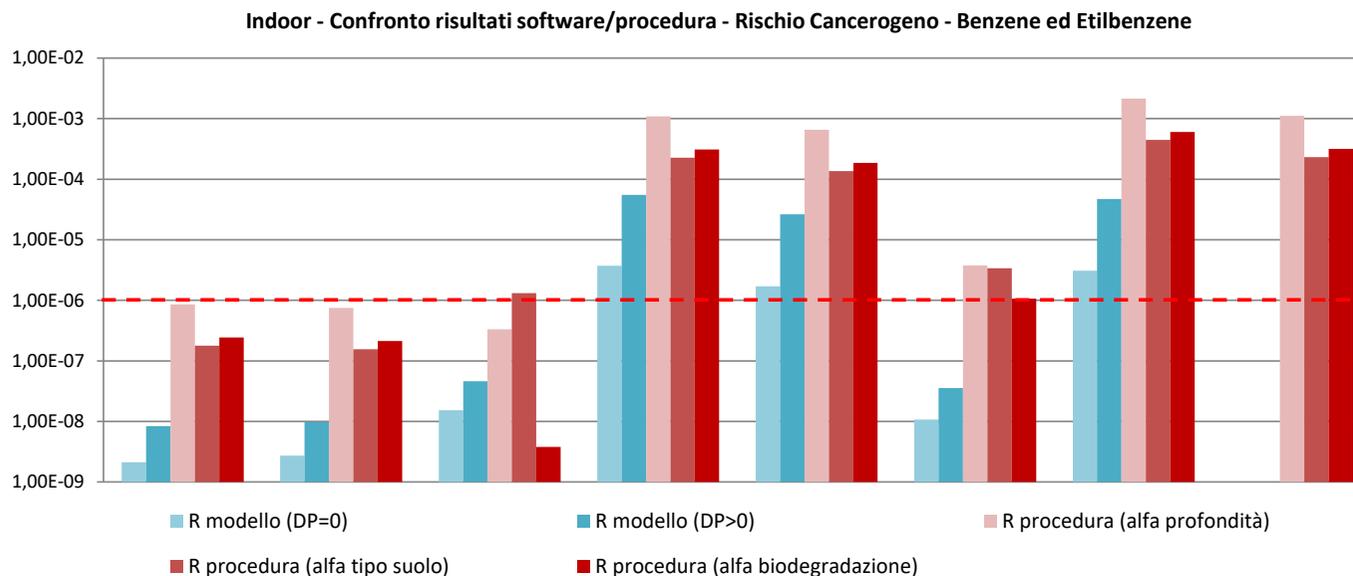
- i parametri di esposizione dei recettori ed in particolare i tempi di permanenza in ambiente indoor e outdoor
- i valori dei fattori di trasporto "alfa"

Nelle Fig. C2, C3, C4 e C5 sono riportati i confronti relativi al rischio cancerogeno e all'indice di rischio per esposizione indoor stimata a partire dai dati di soil gas.

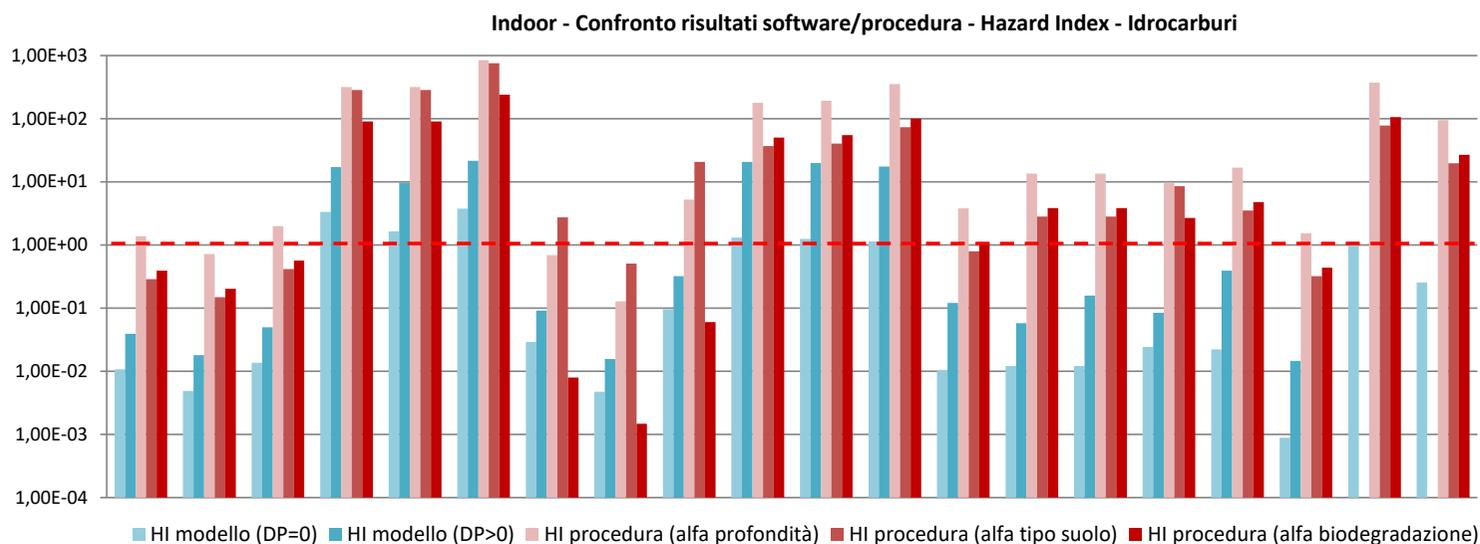
I risultati dimostrano che l'applicazione della procedura dà risultati più cautelativi sia in termini di rischio cancerogeno che di indice di pericolo e pertanto la procedura può determinare in alcuni casi la non accettabilità dei rischi a fronte di valori di rischio/indice di pericolo accettabili indicati dai software. Tali casi si riferiscono comunque a valori di concentrazione registrati nei gas che superano di più di un ordine di grandezza i valori soglia. Tuttavia in diversi casi entrambi gli approcci si trovano concordi nel dimostrare sia l'accettabilità sia la non accettabilità dei rischi associati alle concentrazioni di soil gas. Inoltre in diversi casi l'applicazione del gradiente di pressione determina condizioni di non accettabilità dei rischi rispetto al modello diffusivo.

Nel caso degli idrocarburi, la considerazione dei fenomeni biodegradativi determina in molti casi risultati analoghi a quelli previsti dai software, anche se questi ultimi non considerano la biodegradazione.

**Figura C2 – Indoor - Confronto dei risultati in termini di rischio cancerogeno ottenuti rispettivamente utilizzando i software e la procedura – Benzene ed Etilbenzene**



**Figura C3 – Indoor - Confronto dei risultati in termini di indici di rischio ottenuti rispettivamente utilizzando i software e la procedura – Idrocarburi**

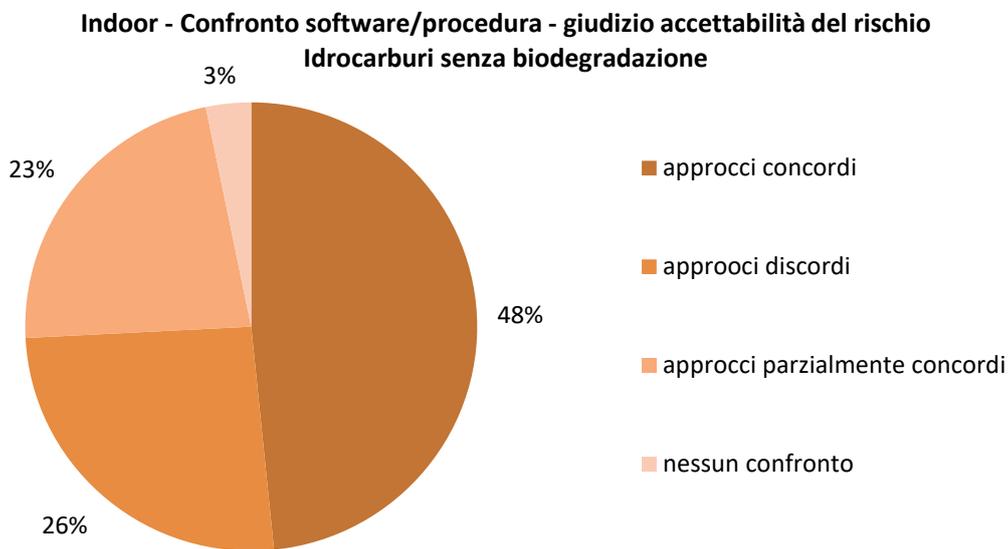




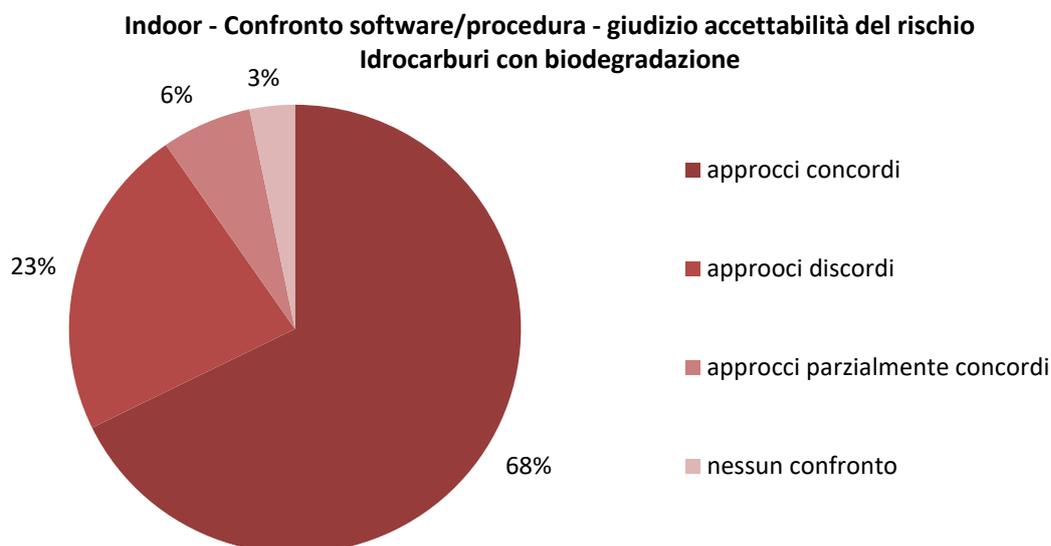
Di seguito sono riportati in sintesi i risultati del confronto tra i due approcci relativamente al giudizio finale sull'accettabilità del rischio/indice di pericolo per esposizione indoor alle concentrazioni di soil gas. Sono stati distinti i seguenti casi:

- approcci concordi - valori di rischio e/o indice di pericolo accettabili in tutti i casi (software con  $\Delta P=0$ , software con  $\Delta P>0$ , procedura con correlazione alfa/profondità, correlazione alfa/tipo di suolo, alfa con biodegradazione);
- approcci discordi – valori di rischio e/o indice di pericolo accettabili da software e valori di rischio e/o indice di pericolo non accettabili da procedura;
- approcci parzialmente concordi - valori di rischio e/o indice di pericolo accettabili da software (software con  $\Delta P=0$  e software con  $\Delta P>0$ ) e in uno dei casi della procedura (correlazione alfa/profondità, correlazione alfa/tipo di suolo, alfa con biodegradazione); valori di rischio e/o indice di pericolo non accettabili da procedura e da software nel caso con  $\Delta P>0$ .

**Figura C6** – Indoor - Confronto tra l'approccio dei software e la procedura in termini di giudizio sull'accettabilità del rischio/indice di pericolo - Idrocarburi senza biodegradazione

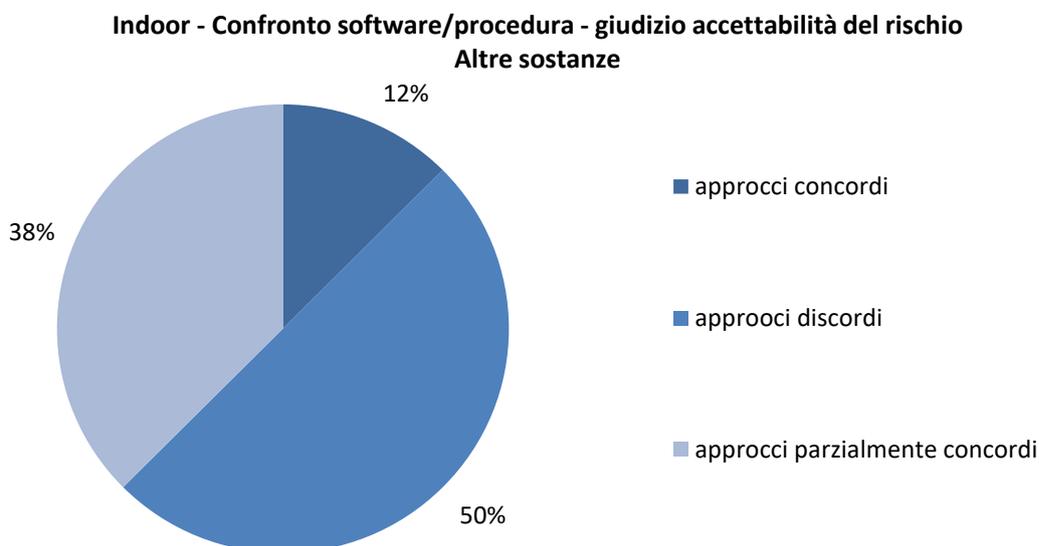


**Figura C7** – Indoor - Confronto tra l'approccio dei software e la procedura in termini di giudizio sull'accettabilità del rischio/indice di pericolo - Idrocarburi con biodegradazione



Nel caso degli idrocarburi gli approcci sono concordi nel 48% dei casi, mentre solo nel 26% dei casi l'applicazione della procedura nel caso indoor determina un giudizio finale diverso da quanto prodotto dai software. Considerando gli effetti della biodegradazione la percentuale dei casi in cui gli approcci diventano concordi aumenta al 68%.

**Figura C8** – Indoor - Confronto tra l'approccio dei software e la procedura in termini di giudizio sull'accettabilità del rischio/indice di pericolo - Idrocarburi con biodegradazione



Nel caso di clorurati, IPA e altre sostanze volatili, gli approcci sono concordi solo nel 12% dei casi, mentre la procedura risulta più cautelativa nel giudizio finale rispetto ai software nel 50% dei casi. Tuttavia nel 38% dei casi, considerando il contributo avveztivo nei modelli indoor, gli approcci pervengono a risultati sovrapponibili.

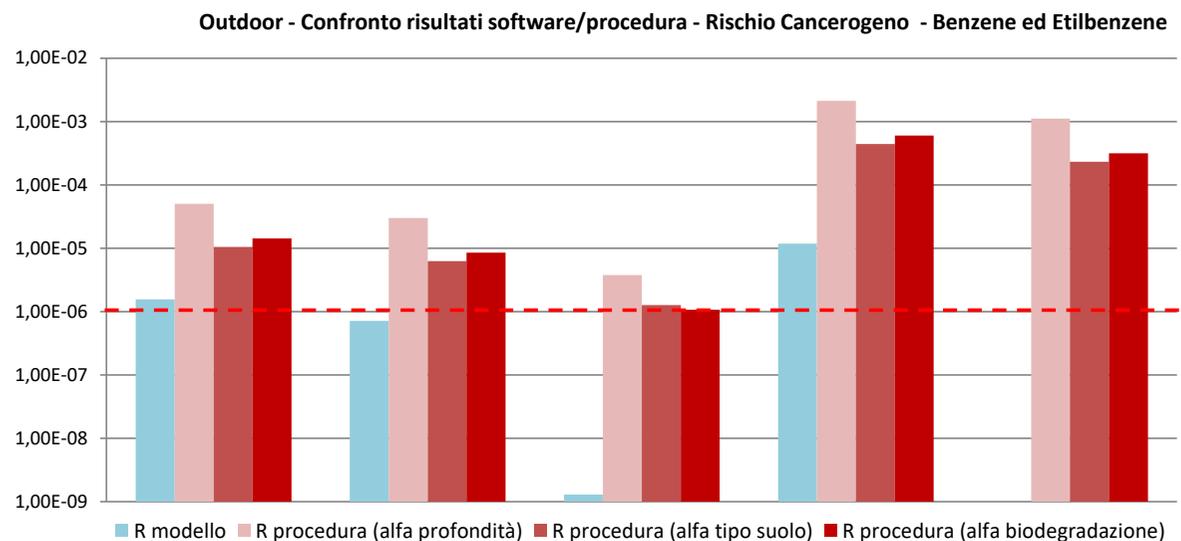
Nelle Fig.C9, C10 e C11 si riportano i confronti relativi al rischio cancerogeno e all'indice di rischio stimati a partire dai dati di soil gas nello scenario di esposizione outdoor. Tali confronti, analogamente all'indoor, sono stati effettuati nei casi in cui il confronto con i valori soglia ha determinato che il percorso inalazione outdoor di vapori risulta attivo.

Anche per l'esposizione in ambienti outdoor i risultati dimostrano che l'applicazione della procedura dà risultati più cautelativi sia in termini di rischio cancerogeno che di indice di pericolo. Pertanto la procedura può determinare in alcuni casi la non accettabilità dei rischi a fronte di valori di rischio/indice di pericolo accettabili indicati dai software. Tali casi si riferiscono comunque a valori di concentrazione registrati nei gas che superano di più di un ordine di grandezza i valori soglia per esposizione outdoor che sono generalmente superiori agli analoghi per esposizione indoor. E' da evidenziare inoltre che, nel caso di scenario di esposizione commerciale/industriale, non è stato possibile stabilire la tipologia di attività svolta e quindi è stato sempre cautelativamente assunto per la frequenza giornaliera di esposizione outdoor il valore cautelativo di 8 ore/giorno.

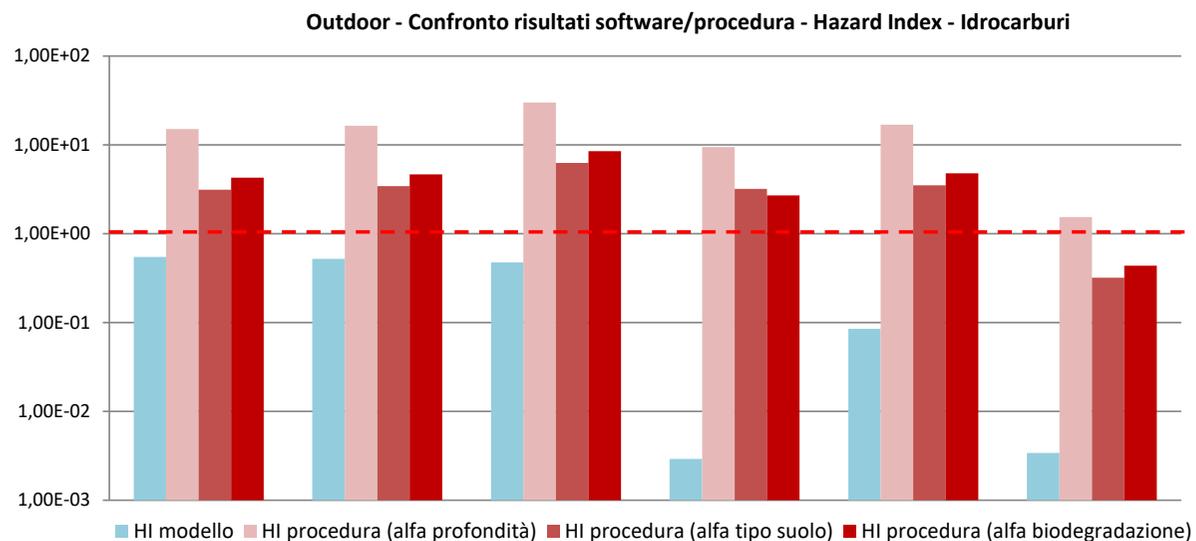
Occorre inoltre sottolineare che, per l'inalazione outdoor di vapori, non è attualmente possibile nei software di analisi di rischio tener conto dell'effetto dei gradienti di pressione (trasporto avveztivo).

Tuttavia anche per l'outdoor, in diversi casi entrambi gli approcci si trovano concordi nel dimostrare sia l'accettabilità sia la non accettabilità dei rischi associati alle concentrazioni di soil gas.

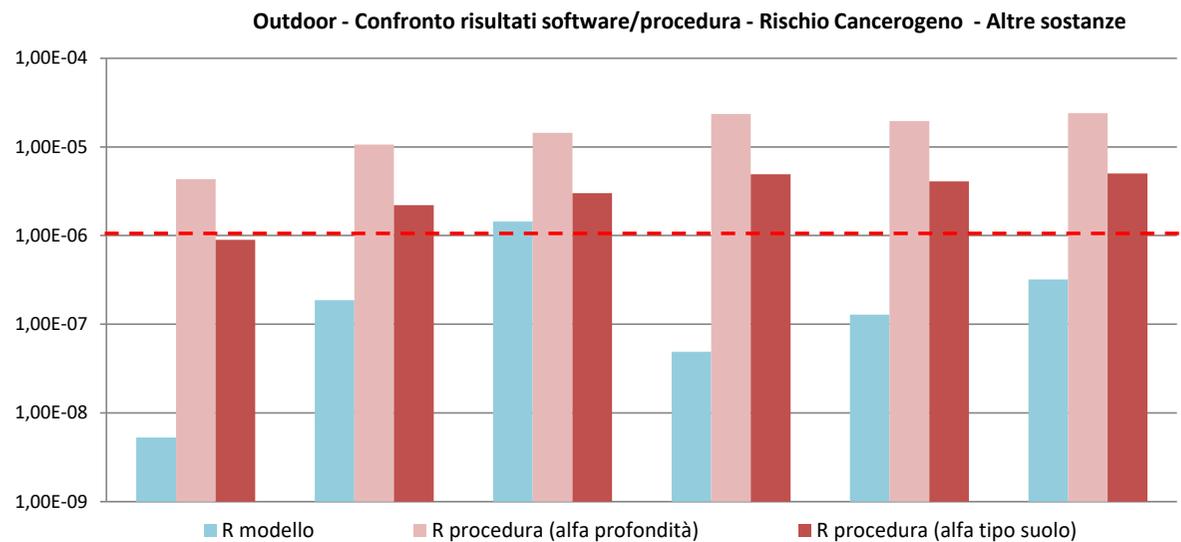
**Figura C9 – Outdoor - Confronto dei risultati in termini di rischio cancerogeno ottenuti rispettivamente utilizzando i software e la procedura - Benzene ed Etilbenzene**



**Figura C10 – Outdoor - Confronto dei risultati in termini di indici di rischio ottenuti rispettivamente utilizzando i software e la procedura – Idrocarburi**



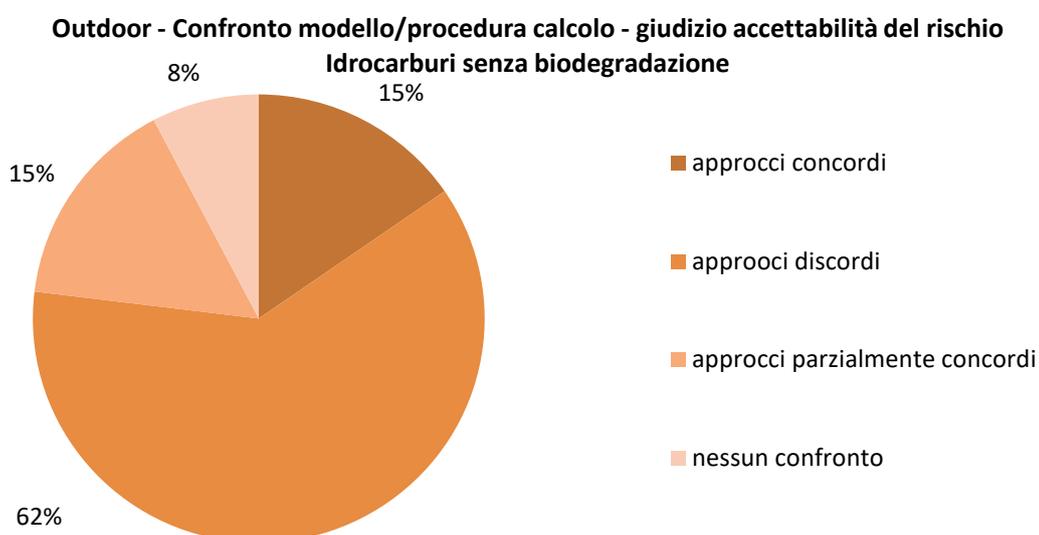
**Figura C11** – Outdoor - Confronto dei risultati in termini di rischio cancerogeno ottenuti rispettivamente utilizzando i software e la procedura – Altre sostanze



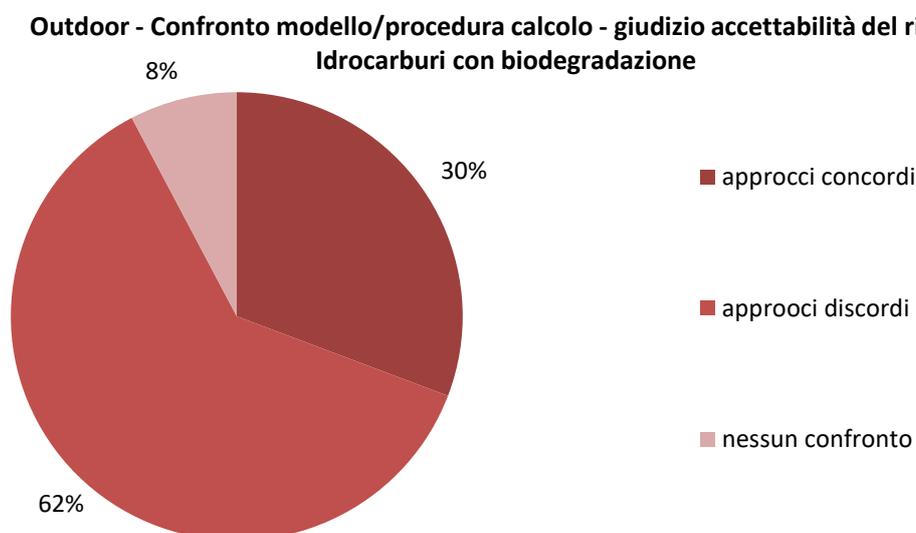
Anche per il caso outdoor sono riportati in sintesi i risultati del confronto tra i due approcci relativamente al giudizio finale sull'accettabilità del rischio/indice di pericolo per esposizione alle concentrazioni di soil gas, distinguendo:

- approcci concordi - valori di rischio e/o indice di pericolo accettabili in tutti i casi (software, procedura con correlazione alfa/profondità, correlazione alfa/tipo di suolo, alfa con biodegradazione);
- approcci discordi – valori di rischio e/o indice di pericolo accettabili da software e valori di rischio e/o indice di pericolo non accettabili da procedura;
- approcci parzialmente concordi - valori di rischio e/o indice di pericolo accettabili da software e in uno dei casi della procedura (correlazione alfa/profondità, correlazione alfa/tipo di suolo, alfa con biodegradazione).

**Figura C11** – Outdoor - Confronto tra l'approccio dei software e la procedura in termini di giudizio sull'accettabilità del rischio/indice di pericolo - Idrocarburi senza biodegradazione



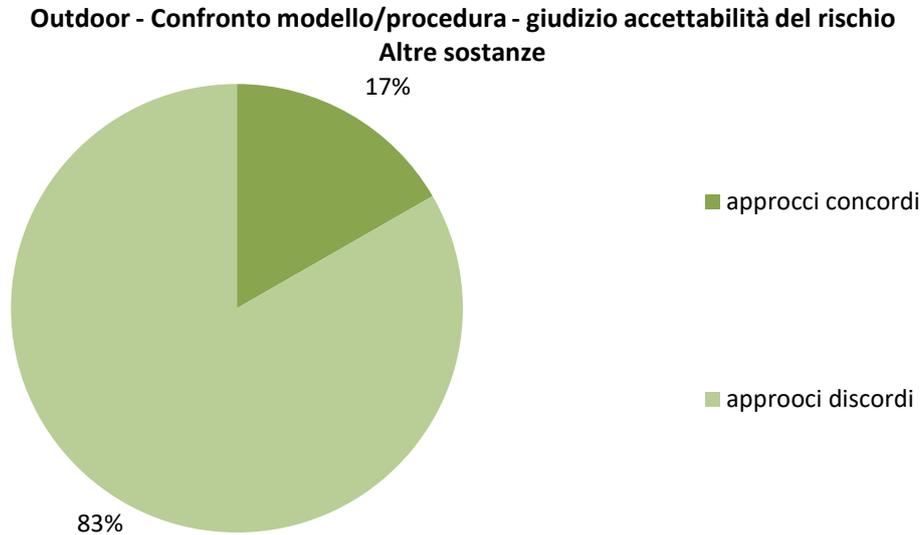
**Figura C11** – Outdoor - Confronto tra l'approccio dei software e la procedura in termini di giudizio sull'accettabilità del rischio/indice di pericolo - Idrocarburi con biodegradazione



---

Per gli idrocarburi, rispetto all'indoor, si registra un minor numero di casi (15% senza biodegradazione e 30% con biodegradazione) in cui i due approcci sono concordi.

**Figura C12** – Outdoor - Confronto tra l'approccio dei software e la procedura in termini di giudizio sull'accettabilità del rischio/indice di pericolo - Altre sostanze



Nel caso di clorurati, IPA e altre sostanze volatili, i casi in cui gli approcci sono concordi si riducono al 17%, mentre la procedura risulta più cautelativa nel giudizio finale rispetto ai software nell'83% dei casi.

Tuttavia occorre ricordare che il numero di casi in cui il percorso di inalazione indoor di vapori è risultato attivo dopo il confronto con i valori soglia è decisamente inferiore rispetto all'indoor.

## APPENDICE 1 – CONCENTRAZIONI SOGLIA NEI GAS INTERSTIZIALI E LIMITI DI QUANTIFICAZIONE DELLE METODICHE DI CAMPIONAMENTO ED ANALISI

Sostanza	Numero CAS	C <sub>soglia</sub> soil gas [mg/m <sup>3</sup> ]			C <sub>soglia</sub> soil gas [mg/m <sup>3</sup> ]			Limiti di quantificazione in base alle condizioni strumentali					
		Esposizione indoor (alfa = 0,1)			Esposizione outdoor (alfa = 0,1)			(Campionamento e analisi)					
		Residenziale	Ricreativo	Commerciale/ Industriale	Residenziale	Ricreativo	Commerciale/ Industriale	Desorbimento Chimico		Desorbimento Termico		EPA TO15 Canister Vacuum Bottle	
<b>Microinquinanti inorganici</b>								LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ]	LOQ [ug/camp.]	LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ]	LOQ [ug/camp.]	LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ]	LOQ [ppbV]
Cianuri	57-12-5	8,94E-03	1,43E-01	3,50E-02	1,05E-01	2,22E-01	3,50E-02	ND	-	ND	-	ND	-
<b>Microinquinanti inorganici</b>								LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ] V=24 litri	LOQ [ug/camp.] F=hopcalite VS = 5 ML	LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ]	LOQ [ug/camp.]	LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ]	LOQ [ppbV]
Mercurio elementare	7439-97-6	3,35E-03	5,36E-02	1,31E-02	3,95E-02	8,34E-02	1,31E-02	4,50E-04	0,01	ND	-	ND	-
<b>Aromatici</b>								LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ] V=30 litri	LOQ [ug/camp.] F=c.a. (100/50 mg) VS=1ML	LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ] V=7 litri	LOQ [ng/camp.] T multis.	LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ]	LOQ [ppbV]
Benzene	71-43-2	3,31E-03	6,42E-02	1,57E-02	7,18E-02	8,57E-02	1,57E-02	3,33E-03	0,1	1,43E-03	10	3,20E-03	1
Etilbenzene	100-41-4	1,03E-02	2,00E-01	4,91E-02	2,24E-01	2,67E-01	4,91E-02	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	4,30E-03	1
Stirene	100-42-5	5,16E-02	1,00E+00	2,45E-01	1,12E+00	1,34E+00	2,45E-01	1,67E-01	5	7,14E-04	5	6,40E-03	1,5
Toluene	108-88-3	5,59E+01	8,94E+02	2,19E+02	6,59E+02	1,39E+03	2,19E+02	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	3,80E-03	1
m-Xilene	108-38-3	1,12E+00	1,79E+01	4,38E+00	1,32E+01	2,78E+01	4,38E+00	6,66E-03	0,2	7,14E-04	5	8,60E-03	2
o-Xilene	95-47-6	1,12E+00	1,79E+01	4,38E+00	1,32E+01	2,78E+01	4,38E+00	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	4,30E-03	1
p-Xilene	106-42-3	1,12E+00	1,79E+01	4,38E+00	1,32E+01	2,78E+01	4,38E+00	6,66E-03	0,2	7,14E-04	5	8,60E-03	2
Xileni	1330-20-7	1,12E+00	1,79E+01	4,38E+00	1,32E+01	2,78E+01	4,38E+00	ND	-	ND	-	ND	-
<b>Aromatici policiclici</b>								LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ] V=36 litri	LOQ [ug/camp.] F=XAD-2 (100/50mg) VS=2ML	LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ] V=7 litri	LOQ [ng/camp.] T multis.	LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ]	LOQ [ppbV]
Acenaftene	83-32-9	3,35E-02	5,36E-01	1,31E-01	3,95E-01	8,34E-01	1,31E-01	2,78E-03	0,1	ND	-	ND	-

Acenaftilene	208-96-8	3,35E-02	5,36E-01	1,31E-01	3,95E-01	8,34E-01	1,31E-01	2,78E-03	0,1	ND	-	ND	-
Antracene	120-12-7	3,35E-02	5,36E-01	1,31E-01	3,95E-01	8,34E-01	1,31E-01	2,78E-03	0,1	ND	-	ND	-
Fenantrene	85-01-8	3,35E-02	5,36E-01	1,31E-01	3,95E-01	8,34E-01	1,31E-01	2,78E-03	0,1	ND	-	ND	-
Fluorene	86-73-7	3,35E-02	5,36E-01	1,31E-01	3,95E-01	8,34E-01	1,31E-01	2,78E-03	0,1	ND	-	ND	-
Naftalene	91-20-3	7,59E-04	1,47E-02	3,61E-03	1,65E-02	1,97E-02	3,61E-03	2,78E-03	0,1	7,14E-03	50	2,60E-03	0,5
<b>Alifatici clorurati</b>								<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>] V=30 litri</b>	<b>LOQ [ug/camp.] F=c.a. (100/50 mg) VS=1ML</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>] V=7 litri</b>	<b>LOQ [ng/camp.] T multis.</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ppbV]</b>
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	1,61E-03	3,13E-02	7,67E-03	2,63E-02	4,18E-02	7,67E-03	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	2,73E-03	0,5
1,1-Dicloroetilene	75-35-4	2,23E+00	3,58E+01	8,76E+00	2,63E+01	5,56E+01	8,76E+00	1,67E-01	5	7,14E-04	5	3,96E-03	1
1,2,3-Tricloropropano	96-18-4	3,35E-03	5,36E-02	1,31E-02	3,95E-02	8,34E-02	1,31E-02	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	ND	-
1,2-Dicloroetano	107-06-2	9,93E-04	1,93E-02	4,72E-03	2,15E-02	2,57E-02	4,72E-03	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	2,00E-03	0,5
Clorometano	74-87-3	1,43E-02	2,78E-01	6,81E-02	3,11E-01	3,72E-01	6,81E-02	1,67E-01	5	ND	-	2,07E-03	1
Cloruro di vinile	75-01-4	4,99E-03	1,06E-01	2,79E-02	1,12E-01	1,36E-01	2,79E-02	1,67E-01	5	7,14E-03	50	1,28E-03	0,5
Diclorometano	75-09-2	1,13E+00	3,10E+01	1,23E+01	3,02E+01	3,12E+01	1,23E+01	1,67E+00	50	7,14E-03	50	3,47E-03	1
Tetracloroetilene (PCE)	127-18-4	9,93E-02	1,93E+00	4,72E-01	2,15E+00	2,57E+00	4,72E-01	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	6,78E-03	1
Tricloroetilene	79-01-6	2,76E-03	7,55E-02	2,99E-02	7,35E-02	7,60E-02	2,99E-02	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	5,39E-03	1
Triclorometano	67-66-3	1,12E-03	2,18E-02	5,33E-03	2,43E-02	2,91E-02	5,33E-03	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	2,44E-03	0,5
1,1,2,2-Tetracloroetano	79-34-5	4,45E-04	8,63E-03	2,11E-03	9,65E-03	1,15E-02	2,11E-03	ND	-	7,14E-04	5	1,00E-02	1,5
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	5,59E+01	8,94E+02	2,19E+02	6,59E+02	1,39E+03	2,19E+02	3,33E-03	0,1	1,40E-03	10	5,46E-03	1
1,1-Dicloroetano	75-34-3	7,82E-02	1,25E+00	3,07E-01	9,22E-01	1,95E+00	3,07E-01	1,67E-01	5	7,14E-04	5	4,05E-03	1
1,2-Dicloropropano	78-87-5	6,98E-03	1,35E-01	3,31E-02	1,51E-01	1,81E-01	3,31E-02	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	2,30E-03	0,5
1,2-Dicloroetilene	156-59-2	6,70E-01	1,07E+01	2,63E+00	7,90E+00	1,67E+01	2,63E+00	1,67E-01	5	7,14E-04	5	3,97E-03	1
Esaclorobutadiene	87-68-3	3,91E-02	6,26E-01	1,53E-01	4,61E-01	9,73E-01	1,53E-01	ND	-	7,14E-03	50	ND	
<b>Alifatici alogenati cancerogeni</b>								<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>] V=30 litri</b>	<b>LOQ [ug/camp.] F=c.a. (100/50 mg) VS=1ML</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>] V=7 litri</b>	<b>LOQ [ng/camp.] T multis.</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ppbV]</b>
1,2-Dibromoetano	106-93-4	4,30E-05	8,34E-04	2,04E-04	9,33E-04	1,11E-03	2,04E-04	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	3,84E-03	0,5

Bromodichlorometano	75-27-4	6,98E-04	1,35E-02	3,31E-03	1,51E-02	1,81E-02	3,31E-03	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	3,35E-03	0,5
Dibromoclorometano	124-48-1	7,82E-01	1,25E+01	3,07E+00	9,22E+00	1,95E+01	3,07E+00	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	8,52E-03	1
Tribromometano (Bromoformio)	75-25-2	7,82E-01	1,25E+01	3,07E+00	9,22E+00	1,95E+01	3,07E+00	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	1,03E-02	1
<b>Nitrobenzeni</b>								<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ug/camp.]</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>] V=7 litri</b>	<b>LOQ [ng/camp.] T multis.</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ppbV]</b>
Nitrobenzene	98-95-3	6,45E-04	1,25E-02	3,07E-03	1,40E-02	1,67E-02	3,07E-03	ND	-	7,14E-03	50	ND	-
<b>Clorobenzeni</b>								<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>] V=30 litri</b>	<b>LOQ [ug/camp.] F=c.a. (100/50 mg) VS=1ML</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>] V=7 litri</b>	<b>LOQ [ng/camp.] T multis.</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ppbV]</b>
1,2,4,5-Tetraclorobenzene	95-94-3	1,17E-02	1,88E-01	4,60E-02	1,38E-01	2,92E-01	4,60E-02	ND	-	7,14E-03	50	ND	-
1,2,4-Triclorobenzene	120-82-1	2,23E-02	3,58E-01	8,76E-02	2,63E-01	5,56E-01	8,76E-02	ND	-	7,14E-03	50	7,42E-03	1
1,2-Diclorobenzene	95-50-1	2,23E+00	3,58E+01	8,76E+00	2,63E+01	5,56E+01	8,76E+00	ND	-	7,14E-04	5	ND	
1,4-Diclorobenzene	106-46-7	2,35E-03	4,55E-02	1,11E-02	5,09E-02	6,08E-02	1,11E-02	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	ND	
Esaclorobenzene	118-74-1	5,61E-05	1,09E-03	2,67E-04	1,22E-03	1,45E-03	2,67E-04	ND	-	ND		ND	-
Monoclorobenzene	108-90-7	5,59E-01	8,94E+00	2,19E+00	6,59E+00	1,39E+01	2,19E+00	3,33E-03	0,1	7,14E-04	5	4,61E-03	1
Pentaclorobenzene	608-93-5	3,13E-02	5,01E-01	1,23E-01	3,69E-01	7,79E-01	1,23E-01	ND	-	7,14E-03	50	ND	-
<b>Fenoli non clorurati</b>								<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>] V=5 litri</b>	<b>LOQ [ug/camp.] F=XAD-7 (100/50mg) VS=2ML</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ug/camp.]</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ppbV]</b>
Fenolo	108-95-2	2,23E+00	3,58E+01	8,76E+00	2,63E+01	5,56E+01	8,76E+00	4,00E-01	2	ND	-	ND	-
m-Metilfenolo	108-39-4	6,70E+00	1,07E+02	2,63E+01	7,90E+01	1,67E+02	2,63E+01	4,00E-01	2	ND	-	ND	-
o-Metilfenolo	95-48-7	6,70E+00	1,07E+02	2,63E+01	7,90E+01	1,67E+02	2,63E+01	4,00E-01	2	ND	-	ND	-
p-Metilfenolo	106-44-5	6,70E+00	1,07E+02	2,63E+01	7,90E+01	1,67E+02	2,63E+01	4,00E-01	2	ND	-	ND	-
Metilfenoli	1319-77-3	6,70E+00	1,07E+02	2,63E+01	7,90E+01	1,67E+02	2,63E+01	ND	-	ND	-	ND	-
<b>Fenoli clorurati</b>								<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ug/camp.]</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ug/camp.]</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ppbV]</b>
2,4-Diclorofenolo	120-83-2	1,17E-01	1,88E+00	4,60E-01	1,38E+00	2,92E+00	4,60E-01	ND	-	ND	-	ND	-

2-Clorofenolo	95-57-8	5,59E-01	8,94E+00	2,19E+00	6,59E+00	1,39E+01	2,19E+00	ND	-	ND	-	ND	-
<b>Ammine aromatiche</b>								<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ug/camp.]</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ug/camp.]</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ppbV]</b>
Anilina	62-53-3	1,12E-02	1,79E-01	4,38E-02	1,32E-01	2,78E-01	4,38E-02	ND	-	ND	-	ND	-
m,p-Anisidina	536-90-3	6,45E-04	1,25E-02	3,07E-03	1,40E-02	1,67E-02	3,07E-03	ND	-	ND	-	ND	-
o-Anisidina	90-04-0	6,45E-04	1,25E-02	3,07E-03	1,40E-02	1,67E-02	3,07E-03	ND	-	ND	-	ND	-
p-Toluidina	106-49-0	5,06E-04	9,82E-03	2,40E-03	1,10E-02	1,31E-02	2,40E-03	ND	-	ND	-	ND	-
<b>Idrocarburi (Classificazione TPHCWG)</b>								<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ug/camp.]</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ug/camp.]</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ppbV]</b>
Alifatici C 5-6		7,49E+00	1,20E+02	7,49E+00	8,83E+01	1,86E+02	2,93E+01	ND	-	ND	-	ND	-
Alifatici C >6-8		7,49E+00	1,20E+02	7,49E+00	8,83E+01	1,86E+02	2,93E+01	ND	-	ND	-	ND	-
Alifatici C >8-10		5,59E+00	8,94E+01	5,59E+00	6,59E+01	1,39E+02	2,19E+01	ND	-	ND	-	ND	-
Alifatici C >10-12		5,59E+00	8,94E+01	5,59E+00	6,59E+01	1,39E+02	2,19E+01	ND	-	ND	-	ND	-
Aromatici C > 7-8		2,12E+01	3,40E+02	2,12E+01	2,50E+02	5,28E+02	8,32E+01	ND	-	ND	-	ND	-
Aromatici C >8-10		2,23E+00	3,58E+01	2,23E+00	2,63E+01	5,56E+01	8,76E+00	ND	-	ND	-	ND	-
Aromatici C >10-12		2,23E+00	3,58E+01	2,23E+00	2,63E+01	5,56E+01	8,76E+00	ND	-	ND	-	ND	-
<b>Idrocarburi (Classificazione MADEP)</b>								<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>] V=30 litri</b>	<b>LOQ [ug/camp.] F=c.a. (100/50 mg) VS=1ML</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>] V=7 litri</b>	<b>LOQ [ng/camp.] T multis.</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ppbV]</b>
Alifatici C5-C8		2,23E+00	3,57E+01	2,23E+00	2,63E+01	5,55E+01	8,74E+00	6,70E-01	20	2,14E-02	150	2,30E-02	1
Alifatici C9-C12		2,23E+00	3,57E+01	2,23E+00	2,63E+01	5,55E+01	8,74E+00	6,70E-01	20	2,86E-02	200	2,40E-02	1
Aromatici C9-C10		2,79E-01	4,47E+00	1,10E+00	3,29E+00	6,95E+00	1,10E+00	3,33E-01	10	1,43E-02	100	1,50E-02	1
Aromatici C11-C12		2,79E-01	4,47E+00	1,10E+00	3,29E+00	6,95E+00	1,10E+00	ND	-	ND	-	ND	-
<b>Altre sostanze</b>								<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>] V=30 litri</b>	<b>LOQ [ug/camp.] F=c.a. (100/50 mg) VS=1ML</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>] V=7 litri</b>	<b>LOQ [ng/camp.] T multis.</b>	<b>LOQ Strument. [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>LOQ [ppbV]</b>
MTBE	1634-04-4	3,35E+01	5,36E+02	1,31E+02	3,95E+02	8,34E+02	1,31E+02	3,30E-02	1	1,43E-03	10	3,61E-03	1
ETBE	637-92-3	3,35E+00	5,36E+01	1,31E+01	3,95E+01	8,34E+01	1,31E+01	3,30E-02	1	1,43E-03	10	ND	-

Altre sostanze								LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ] V=36 litri	LOQ [ug/camp.] F=XAD-2 (100/50mg) VS=2ML	LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ] V=7 litri	LOQ [ng/camp.] T multis.	LOQ Strument. [mg/m <sup>3</sup> ]	LOQ [ppbV]
Piombo Tetraetile	78-00-2	8,38E-04	1,34E-02	3,29E-03	9,88E-03	2,09E-02	3,29E-03	5,56E-02	2	ND	-	ND	-
Composti organostannici (Tributilstagno)	688-73-3	2,23E-01	3,58E+00	8,76E-01	2,63E+00	5,56E+00	8,76E-01	ND	-	ND	-	ND	-
LEGENDA													
	V = Volume campionato												
	F = Tipo di fiala												
	VS = Volume solvente desorbimento												
	T multis.= Tubi a desorbimento termico multisorbent												
	Le caratteristiche peculiari della tecnica di campionamento e analisi non permettono di raggiungere i valori di C <sub>soglia</sub> per lo scenario Residenziale Indoor. (es. di campionamento: 30 litri desorbimento chimico e 7 desorbimento termico).												

