

**APPENDICE V**  
**APPLICAZIONE DELL'ANALISI DI RISCHIO AI PUNTI**  
**VENDITA CARBURANTE**

**Composizione del GdL ristretto per l'elaborazione dell'APPENDICE V:**

ISPRA: Laura D'Aprile (coordinatore), Marco Falconi, Antonella Vecchio

ISS: Loredana Musmeci, Eleonora Beccaloni

ISPESL: Simona Berardi

Regione Emilia-Romagna: Claudia Ferrari

Provincia di Ferrara: Igor Villani

ARPA Lazio: Rossana Cintoli

ARPA Lombardia: Laura Bellaria, Rocco Racciatti, Luciano Bosticco, Stefania Ughini

ARPA Marche: Manrico Marzocchini, Stefano Orilisi

ARPA Toscana: Fabrizio Franceschini, Marcello Panarese, Stefano Santi

ARPA Piemonte: Maurizio Di Tonno

ARPA Sicilia: Silvana Bifulco

ARPA Valle d'Aosta: Fulvio Simonetto

ARPA Veneto: Federico Fuin

Si ringrazia il GdL costituito da Unione Petrolifera sulla problematica oggetto della presente appendice per il prezioso contributo fornito.

**INDICE**

V.1	INTRODUZIONE.....	4
V.2	Short list contaminanti .....	4
V.3	Parametri sito specifici per l'analisi di rischio applicata ai Punti Vendita .....	6
V.4	Costruzione del Modello Concettuale.....	7
V.4.1	Sorgente di contaminazione .....	8
V.4.1.1	Valutazione della sorgente di contaminazione nelle acque sotterranee in casi particolari 12	
V.4.1.2	Punto di conformità per le acque sotterranee.....	13
V.4.2	Vie di esposizione e recettori on-site e off-site.....	13
V.4.3	Valutazione delle aree agricole esterne al confine di proprietà .....	14
V.5	Calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica sito specifici.....	15
V.5.1	Valutazione della lisciviazione dal suolo alle acque sotterranee .....	15
V.5.2	Valutazione del percorso di migrazione al punto di conformità per la falda.....	15
V.5.3	Speciazione degli idrocarburi ai fini dell'analisi di rischio .....	16
V.5.4	Presenza di idrocarburi in fase separata e controllo dell'assenza di prodotto libero .....	17
V.5.4.2	Concentrazione di saturazione residua.....	17
V.5.4.3	Valutazione del rischio e degli obiettivi di bonifica quando la concentrazione nel suolo risulta maggiore della concentrazione di saturazione .....	20
V.5.5	Verifica sperimentale della presenza di rischi da inalazione di vapori indoor e outdoor .. 21	
V.6	BIBLIOGRAFIA .....	24

## V.1 INTRODUZIONE

La presente APPENDICE al manuale “Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” è stata elaborata da un Gruppo di Lavoro ristretto formato all’interno del Gruppo di Lavoro ISPRA-ARPA/APPA-ENEA-ISS-ISPEL con l’obiettivo di fornire una metodologia specifica per l’applicazione dell’analisi di rischio ai Punti Vendita carburanti (PV). Tale tipologia di siti risulta, infatti, quella maggiormente diffusa sul territorio nazionale e necessita di un approccio “ad hoc” in considerazione delle seguenti caratteristiche peculiari:

- Si tratta generalmente di aree di estensione limitata (< 50 x 50 m);
- La sorgente di contaminazione nel suolo è generalmente circoscritta all’area del PV o ad un’area minore;
- La sorgente di contaminazione nelle acque può avere anche dimensioni di gran lunga superiori a quelle del PV;
- E’ frequente l’ubicazione in contesti urbanizzati, in presenza di scenari di esposizione di tipo residenziale;
- Tra i contaminanti di interesse sono frequentemente riscontrabili sostanze non normate (ad es: MTBE, Pb tetraetile);
- In generale, in considerazione della possibile presenza di recettori sensibili (residenti delle aree limitrofe) e della relativa semplicità di intervento, legata alla tipologia prevalente di inquinanti presenti (idrocarburi) occorre ridurre la fase di caratterizzazione del sito, anche in funzione dell’analisi di rischio, ed accelerare invece gli interventi di messa in sicurezza d’emergenza e bonifica, allo scopo di evitare il propagarsi della contaminazione. E’ quindi necessario elaborare una short-list di parametri sito-specifici da determinare ai fini dell’analisi di rischio, sulla base di quanto riportato nel “Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici”, pubblicato sul sito dell’ISPRA al seguente link:  
[http://www.apat.gov.it/site/\\_files/Documentopervalidazioneparametrisito-specifici.pdf](http://www.apat.gov.it/site/_files/Documentopervalidazioneparametrisito-specifici.pdf)

Le procedure descritte nella presente appendice possono essere adottate anche per siti di ridotte dimensioni che presentino delle analogie con i punti vendita per tipologia e potenziale distribuzione della contaminazione (ad es: serbatoi interrati).

## V.2 SHORT LIST CONTAMINANTI

I contaminanti indice, ossia i contaminati “tipici” di un PV e quindi imputabili alla presenza dello stesso, non sono sempre di facile identificazione. Pertanto nelle tabelle seguenti si riporta un elenco, indicativo e non esaustivo, dei contaminanti generalmente riscontrabili nei casi di contaminazione del suolo e della falda da PV carburanti. Tale elenco può essere eventualmente ampliato, a giudizio degli Enti di Controllo, in considerazione delle attività effettivamente svolte nell’area di interesse e della presenza di fenomeni di contaminazione indotta dall’inquinamento ascrivibile al PV (ad es: mobilitazione di metalli pesanti in condizioni riducenti).

**Tabella V. 4.1-1 – Short list per le sorgenti suolo superficiale e suolo profondo**

Contaminante	Necessità
Idrocarburi C<12 Idrocarburi C>12 (C12-C40)	Sempre Speciazione MADEP solo su campione maggiormente rappresentativo che presenta superamento delle CSC per Idrocarburi C<12 e C>12, in considerazione delle sorgenti individuate.
Benzene	Sempre
Toluene	Sempre
Etilbenzene	Sempre
Stirene	Sempre
Xilene	Sempre
IPA indicati all'Allegato 5 del Dlgs 152/06	Nel caso di presenza di sversamenti da serbatoi con olii pesanti con modalità da concordare con l'Ente di Controllo.
MTBE	Sempre (limite proposto da ISS)*
ETBE	Qualora non sia documentabile che nel sito non sono state utilizzate benzine contenenti tale additivo.
Piombo	Nel caso che il punto vendita sia attivo da prima del 2002
Piombo tetraetile	Nel caso che il punto vendita sia attivo da prima del 2002 (limite proposto da ISS)**

\* Il limite proposto da ISS per MTBE ed ETBE nei suoli verde pubblico e residenziali è 10 mg/kg ss e per i suoli industriali è 250 mg/kg ss (Parere del 2001 N. 57058 IA/12).

\*\* Il limite proposto da ISS per Piombo tetraetile nei suoli verde pubblico e residenziali è 0.01 mg/kg ss e nei suoli industriali è 0.068 mg/kg ss (Parere del 17/12/2002 N. 49759 IA.12).

Infine nel caso di accertate contaminazioni dovute ad attività di piccola manutenzione meccanica o assimilabili saranno effettuate anche le analisi per i seguenti composti: Cloruro di vinile; 1,2-DCA (1,2 – Dicloroetano); TCE (Tricloroetilene); 1,2-DCE (1,2-Dicloroetilene).

**Tabella V. 4.1-2 – Short list per la sorgente falda**

Contaminante	Necessità
Idrocarburi Totali espressi come n-esano	Sempre Speciazione MADEP solo su campione maggiormente rappresentativo che presenta superamento delle CSC per Idrocarburi Totali espressi come n-esano, in considerazione delle sorgenti individuate.
Benzene	Sempre
Toluene	Sempre
Etilbenzene	Sempre
Stirene	Sempre
Xilene	Sempre
IPA indicati all'Allegato 5 del Dlgs 152/06	Nel caso di presenza di sversamenti da serbatoi con olii pesanti con modalità da concordare con l'Ente di Controllo.
MTBE	Sempre (limite proposto da ISS)*
ETBE	Qualora non sia documentabile che nel sito non sono state utilizzate benzine contenenti tale additivo.
Piombo tetraetile	Nel caso che il punto vendita sia attivo da prima del 2002 (limite proposto da ISS)**

\*Il limite proposto da ISS per MTBE ed ETBE nelle acque di falda è 40 µg/l (Parere del 12/09/2006 N. 45848)

\*\*Il limite proposto da ISS per Piombo tetraetile nelle acque è di 0.1 µg/l (Parere del 17/12/2002 N. 49759 IA.12)

Infine nel caso di accertate contaminazioni dovute ad attività di piccola manutenzione meccanica o assimilabili saranno effettuate anche le analisi per i seguenti composti: Cloruro di vinile; 1,2-DCA (1,2 – Dicloroetano); TCE (Tricloroetilene); 1,2-DCE (1,2-Dicloroetilene).

L'analisi di rischio verrà applicata a quei parametri che presentano almeno un superamento delle CSC nel periodo di riferimento.

### V.3 PARAMETRI SITO SPECIFICI PER L'ANALISI DI RISCHIO APPLICATA AI PUNTI VENDITA

Il “Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06” ha individuato 33 parametri che, sulla base delle risultanze dell'analisi di sensitività riportata nell'Appendice N del manuale “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati, rev.1”, influenzano maggiormente le equazioni analitiche relative ai Fattori di Trasporto. Per tali parametri è necessaria la determinazione sito specifica e non è accettabile l'assunzione del dato di default.

Per l'analisi di rischio applicata ai PV è possibile semplificare la lista suddetta, potendo assegnare i valori di default ai seguenti parametri:

- Densità del suolo ( $\rho_{s(\text{default})} = 1,7 \text{ kg/l}$ ) - La densità del suolo è un parametro poco sensibile e inoltre è difficile prelevare un campione indisturbato;
- Profondità delle fondazioni ( $Z_{\text{crack}(\text{default})} = 15 \text{ cm}$ ) e spessore delle fondazioni ( $L_{\text{crack}(\text{default})} = 15 \text{ cm}$ ), poiché spesso ci si trova in mancanza di dati sito-specifici affidabili;
- Nel caso in cui i contaminanti indicatori siano tutti di natura organica, non saranno necessarie misure di pH ( $\text{pH}_{(\text{default})} = 6,8$ );;
- Nel caso in cui non si utilizzino modelli di lisciviazione, non sarà necessaria la misura dei parametri connessi a tale percorso (infiltrazione efficace, pH nel saturo);
- Spessore della zona di miscelazione ( $d_{a(\text{default})} = 200 \text{ cm}$ );
- $f_{oc}$  ( $f_{oc(\text{default})} = 0,001 \text{ g-C/g}$ ) del suolo saturo.
- pH ( $\text{pH}_{(\text{default})} = 6,8$ ) del suolo saturo

Per la determinazione della granulometria del suolo è possibile utilizzare campioni prelevati da un unico sondaggio relativo al litotipo rappresentativo dell'area, eventualmente uno compreso tra quelli previsti per la caratterizzazione dello stato di contaminazione.

L'elenco dei parametri sito-specifici da determinare nel caso di analisi di rischio applicata ai PV carburanti è riportato in Tabella 2.4-1.

**Tabella V. 4.1-1 Parametri sito-specifici da determinare mediante verifiche/indagini dirette**

n.	SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA
<b>SUOLO INSATURO</b>			
1	$L_{GW}$	Profondità del piano di falda	cm
2	$H_v$	Spessore della zona insatura	cm
3	$W'$	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento	cm
4	$S_{w'}$	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione ortogonale a quella principale del vento	cm
5	$A'$	Area della sorgente (rispetto alla direzione prevalente del vento)	cm <sup>2</sup>
6	$Ls_{(SS)}$	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	cm
7	$Ls_{(SP)}$	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm
8	$Lf$	Profondità della base della sorgente rispetto al p.c.	cm

9	$D_s$	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	cm
10	$D$	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	cm
11	$L_F$	Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente	cm
12	$I_{ef}$	Infiltrazione efficace	cm/anno
13	$F_{oc}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo	g-C/g-suolo
14	$pH$	pH del suolo insaturo	adim.
<b>SUOLO SATURO</b>			
15	$W$	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	cm
16	$S_w$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	cm
17	$A$	Area della sorgente (rispetto alla direzione del flusso di falda)	cm <sup>2</sup>
18	$W'$	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento	cm
19	$S_w'$	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione ortogonale a quella principale del vento	cm
20	$A'$	Area della sorgente (rispetto alla direzione prevalente del vento)	cm <sup>2</sup>
21	$V_{gw}$	Velocità di Darcy	cm/anno
22	$K_{sat}$	Conducibilità idraulica del terreno saturo	cm/anno
23	$I$	Gradiente idraulico	adim.
<b>AMBIENTI APERTI/CONFINATI</b>			
24	$U_{air}$	Velocità del vento	cm/s
25	$A_b$	Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	cm <sup>2</sup>
26	$L_b$	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (RES. O IND.)	cm
27	$L_T$	Distanza tra il top della sorgente nel suolo insaturo (in falda) e la base delle fondazioni	cm
<b>ALTRI PARAMETRI</b>			
28		Distanza al punto di conformità	m

#### V.4 COSTRUZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE

La ricostruzione del mondo reale (naturale e antropico), dei suoi elementi e delle interazioni tra di essi, tramite strumenti matematici prende il nome di “modellizzazione”. Tale astrazione permette, partendo da una geometria reale e quindi complessa, di dare vita ad uno schema fisico teorico semplificato. Nell'ambito dell'analisi di rischio sanitario (AdR) connesso alla contaminazione di un sito, è necessario, quindi, individuare il ‘Modello Concettuale del Sito’ (MCS). Tale elaborazione è il frutto di indagini ed analisi di caratterizzazione del sito e la sua definizione comprende essenzialmente la ricostruzione dei caratteri delle tre componenti principali che costituiscono l'AdR:

Sorgente → Trasporto → Bersaglio

per cui devono essere definiti:

- 1) Le sorgenti di contaminazione
- 2) Le vie di migrazione
- 3) I bersagli della contaminazione

Nel caso dei punti vendita di carburanti sono stati sviluppati dei diversi scenari a seconda delle diverse matrici ambientali coinvolte e per ogni scenario sono state specificate le vie di migrazione e le modalità di esposizione da ritenersi attive.

Per quanto riguarda i bersagli della contaminazione, il presente documento prende in considerazione solo ricettori umani e la protezione della risorsa idrica sotterranea così come richiesto dal Dlgs 04/08. Questi sono identificati in funzione della destinazione d'uso e del reale utilizzo del suolo, compreso nell'area logica di influenza del sito potenzialmente contaminato. In generale, le tipologie di uso del suolo prese in esame sono differenziate in:

- Residenziale (bersagli: adulti e bambini)
- Ricreativo (bersagli: adulti e bambini)

- Industriale/Commerciale (bersagli adulti).
- Agricolo (bersagli adulti)

Per i PV in esercizio si fa riferimento all'utilizzo effettivo, ovvero industriale/commerciale. Per i PV in dismissione si fa riferimento allo scenario futuro previsto dagli strumenti urbanistici per il sito.

#### V.4.1 Sorgente di contaminazione

Per applicare la procedura di AdR è necessario eseguire una schematizzazione concettuale e fisica di elementi del mondo reale tra i quali, principalmente, la geometria del sito e della sorgente di contaminazione.

In particolare, la sorgente di contaminazione si differenzia in sorgente primaria e sorgente secondaria (ASTM, 1995). La sorgente primaria è rappresentata dall'elemento che è causa di inquinamento (es. serbatoio sotterraneo che perde, surnatante) quella secondaria è identificata con il comparto ambientale oggetto di contaminazione (suolo, acqua, aria). Nel caso dei punti vendita carburanti la sorgente secondaria può trovarsi in diversi comparti ambientali, ovvero:

- suolo superficiale insaturo (SS), compreso tra 0 ed 1 m di profondità dal piano campagna;
- suolo profondo (SP), con profondità maggiore di 1 m dal piano campagna fino al piano di falda;
- acqua sotterranea (GW) on site e off site.

In accordo con gli standard di riferimento, la procedura di analisi di rischio si applica facendo riferimento esclusivamente alla sorgenti secondarie di contaminazione.

Occorre sottolineare che, ai sensi del DLgs 152/06, le sorgenti primarie di contaminazione (ad es: tubazioni danneggiate, serbatoi forati, ecc.) devono essere rimosse o messe in sicurezza in modo da evitare ulteriore propagazione della contaminazione.

Nelle more del completamento dei necessari interventi di rimozione del surnatante già presente in falda, come sorgente primaria di contaminazione, saranno portate avanti le procedure amministrative relative all'analisi di rischio, allo scopo di garantire che l'effettiva bonifica del sito avvenga in tempi brevi.

Generalmente la sorgente nel terreno e quella nelle acque sotterranee possono differire per tipologia di inquinanti e per dimensioni tanto più l'evento contaminante è lontano nel tempo e in relazione alla facilità di trasmissione della contaminazione dal terreno alla falda.

La procedura per la delimitazione della sorgente all'interno di un punto vendita di carburanti, sulla base del paragrafo 3.1 dei "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", può essere così riassunta:

1. Suddivisione in poligoni di influenza dell'area oggetto d'indagine secondo il campionamento ragionato (poligoni di Thiessen) o sistematico (griglia regolare);
2. Determinazione della continuità spaziale dei poligoni d'influenza;
3. Individuazione della geometria della sorgente di contaminazione.







Qualora il proponente ritenga di poter delimitare con maggior precisione la sorgente di contaminazione, in accordo con il preposto Ente di Controllo, si può procedere ad un'ulteriore caratterizzazione di dettaglio, soprattutto nelle aree adiacenti ai serbatoi e in corrispondenza di linee interrato, zone di carico e scarico ed eventualmente delle centraline elettriche.

Si osserva che, ai fini di una corretta caratterizzazione del sito e dell'elaborazione dell'analisi di rischio, sarebbe sempre opportuno, qualora tecnicamente possibile e compatibilmente con l'operatività del PV, rimuovere i serbatoi forati e prelevare campioni di terreno immediatamente al di sotto degli stessi: la sussistenza di impedimenti tecnici (ad es: pericoli di staticità per le strutture) e/o operativi dovrà essere opportunamente documentata dal proponente.

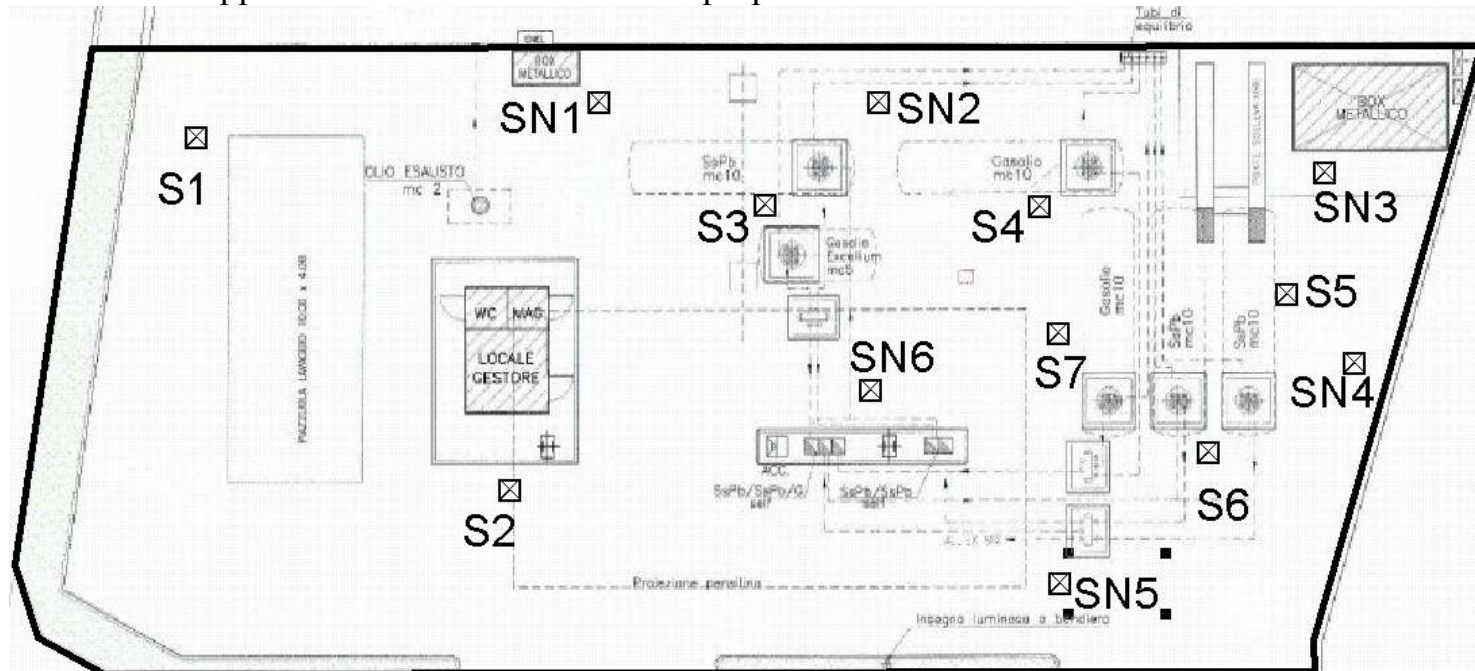


Figura V. 4.1-3 Esempio di ubicazione di sondaggi riferiti alla caratterizzazione integrativa

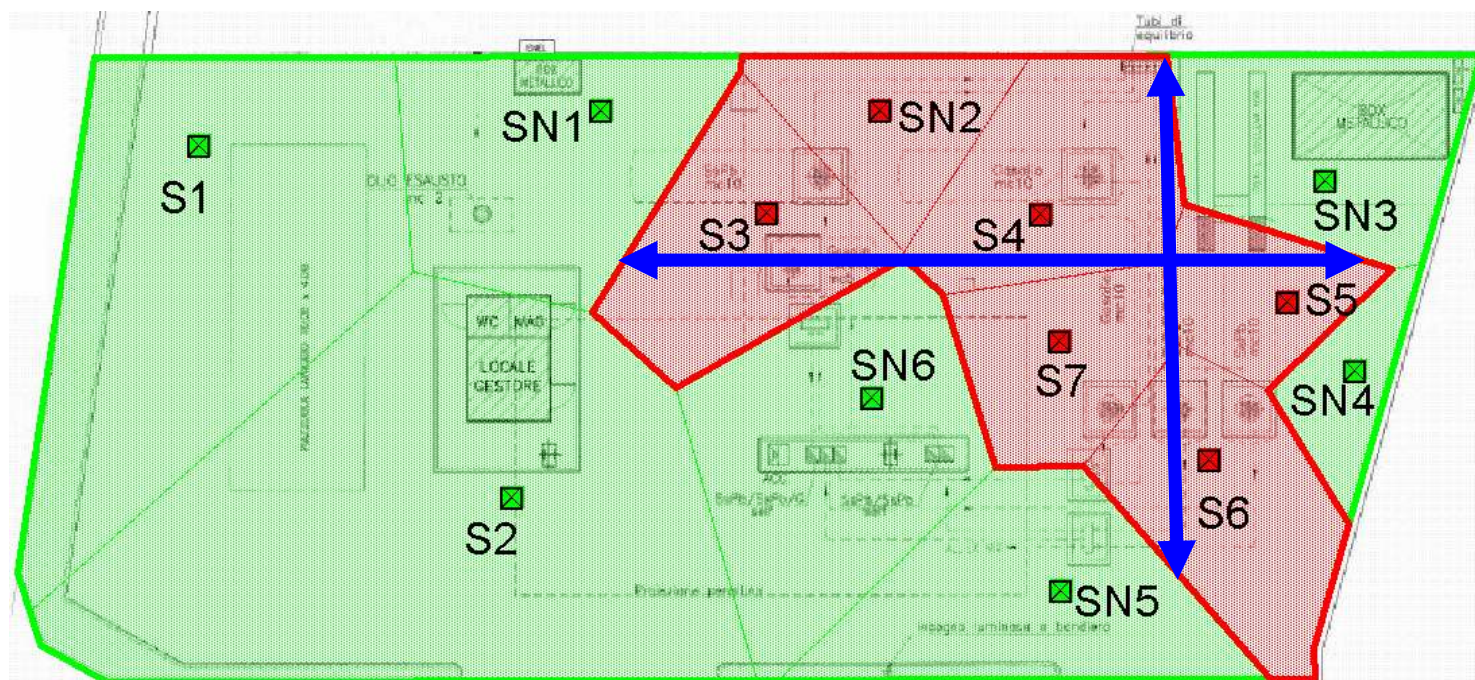


Figura V. 4.1-4 Delimitazione della sorgente secondo i poligoni di Thiessen

Al fine di delimitare la sorgente, si considera l'insieme dei soli i poligoni per cui è stato riscontrato un superamento delle CSC per almeno un contaminante e che hanno continuità spaziale. Tale metodo permette di individuare un'estensione della sorgente di contaminazione che generalmente può risultare anche inferiore a quella del Punto Vendita. Ai fini della delimitazione delle sorgenti potranno essere

utilizzati, per il suolo, tutti i dati disponibili, ivi inclusi quelli derivanti dal campionamento di pareti e fondo scavo.

Nella Figura 2.1-4, sono rappresentate in blu, le frecce che indicano le dimensioni della sorgente da prendere in input in relazione alla direzione del vento, ipotizzando in questo caso, che i venti regnanti abbiano direzione da sinistra a destra o viceversa.

Qualora vi sia il fondato sospetto che il plume della contaminazione si estenda al di fuori dell'area di proprietà del PV, gli Enti di Controllo richiederanno, come elemento conoscitivo e/o per il monitoraggio dei sistemi di messa in sicurezza/bonifica attivi sull'area, l'esecuzione di piezometri all'esterno del sito.

Ad esempio, nella Figura 2.1-5, ipotizzando una direzione prevalente del flusso di falda che va nord-est a sud ovest, si possono individuare quattro diversi potenziali recettori:

- Edificio 1 Residenziale
- Edificio 2 Residenziale
- Area ad uso Industriale
- Parco Pubblico – Uso Ricreativo

Il campionamento off-site dovrà essere finalizzato alla definizione della effettiva estensione del plume di contaminazione nelle acque sotterranee dei potenziali impatti sui recettori eventualmente coinvolti.





Figura V. 4.1-5 Piezometri per la delimitazione del pennacchio e l'identificazione dei recettori off-site

La Figura 2.1-5 riporta la localizzazione dei 4 piezometri, posti in prossimità di ciascun recettore potenzialmente coinvolto dalla contaminazione del PV.

A giudizio dell'Ente di Controllo, sulla base delle caratteristiche del sito, potranno essere prelevati anche campioni di suolo/sottosuolo al di fuori del perimetro del PV, qualora si abbia il fondato sospetto che la contaminazione ascrivibile al PV possa aver interessato le aree esterne (ad es: a seguito della presenza di surnatante, per sversamenti da serbatoi posti al confine dell'area di proprietà con superamenti delle CSC in sondaggi posti al limite del sito).

#### V.4.1.1 Valutazione della sorgente di contaminazione nelle acque sotterranee in casi particolari

Nelle contaminazioni tipiche dei PV spesso si riscontrano nelle acque sotterranee concentrazioni apprezzabili di MtBE che per le sue caratteristiche, con particolare riferimento alla mobilità, può dar luogo a plume anche considerevolmente più estesi rispetto agli idrocarburi. Dunque, la contemporanea presenza nelle acque sotterranee di MtBE e idrocarburi può comportare una sovrastima dei rischi associati a questi ultimi.

Pertanto nel caso in cui la distribuzione di alcuni contaminanti in falda sia evidentemente differente dagli altri, ovvero quando le dimensioni dei pennacchi risultano essere notevolmente diverse, in accordo con gli Enti di Controllo, si potranno valutare due o più sorgenti di contaminazione distinte. La procedura di analisi di rischio potrà essere effettuata per ciascuna sorgente, ma si dovrà tener conto degli effetti sanitari cumulativi.

Inoltre, per quel che concerne la definizione della geometria della sorgente e degli inquinanti indicatori per le acque sotterranee, dovranno essere considerati i dati provenienti dalle campagne di monitoraggio effettuate più di recente, ossia indicativamente nei due anni precedenti a quello di applicazione della procedura di analisi di rischio, se disponibili. La scelta dei dati relativi alle campagne di monitoraggio, da utilizzare come riferimento, dovrà comunque essere effettuata in accordo con gli Enti di Controllo. Particolare attenzione dovrà essere posta, in fase di caratterizzazione del sito, ad intercettare tutte le falde potenzialmente interessate dalla contaminazione (acquiferi multistrato) se vi sono indicazioni di contaminazione, ascrivibile al PV, della/e falde profonde ricavate sulla base dei dati disponibili relativi a pozzi esistenti nell'immediato intorno dell'area del PV.

#### *V.4.1.2 Punto di conformità per le acque sotterranee*

Il punto di conformità è definito al paragrafo 4.3 dei “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” come il punto “teorico” o “reale” di valle idrogeologica, in corrispondenza della quale l'Ente di Controllo deve richiedere il rispetto degli obiettivi di qualità delle acque sotterranee. Tale punto deve essere posto coincidente con il più vicino pozzo ad uso idropotabile o, qualora all'interno del sito non siano presenti pozzi ad uso idropotabile, in corrispondenza del limite di proprietà dell'area, così come stabilito dal Dlgs 04/08. Nel caso dei PV, il punto di conformità e i piezometri esterni all'area di proprietà costituiscono anche punti di controllo per verificare l'efficienza/efficacia idrochimica degli eventuali sistemi di messa in sicurezza/bonifica attivati, con particolare riferimento alle barriere idrauliche.

#### **V.4.2 Vie di esposizione e recettori on-site e off-site**

Nella predisposizione degli scenari di esposizione, per la specifica realtà del PV, è opportuno tenere in considerazione che le situazioni tipiche di contaminazione riguardano il suolo profondo se sono correlabili a perdite dai serbatoi di stoccaggio mentre possono riguardare il suolo superficiale se sono dovute ad eventi legati alla movimentazione di prodotto in assenza di pavimentazione in buono stato di conservazione (ad esempio scarico autobotti o rifornimento di autoveicoli). o per perdite da tubazioni fuori terra.

La tipologia del recettore on-site va scelta sulla base degli strumenti urbanistici vigenti che fanno riferimento per i PV in esercizio all'utilizzo effettivo, ovvero industriale/commerciale. Per i PV in dismissione si fa riferimento allo scenario futuro previsto per il sito dagli strumenti urbanistici: all'atto della dismissione dovranno essere condotte nuove indagini per la elaborazione di una nuova analisi di rischio che tenga conto delle modifiche del modello concettuale (sorgenti, percorsi, bersagli).

**Tabella V. 4.2-1 – Rappresentazione schematica delle potenziali vie di esposizione e dei recettori nel caso dei Punti Vendita**

<b>Matrice</b>	<b>Potenziali Vie di esposizione</b>	<b>Potenziali Recettori on-site/off-site</b>
<b>Suolo Superficiale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingestione</li> <li>• Contatto dermico</li> <li>• Inalazione vapori e polveri indoor</li> <li>• Inalazione vapori e polveri outdoor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residenziale</li> <li>• Industriale</li> <li>• Ricreativo</li> <li>• Agricolo</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lisciviazione e migrazione al punto di conformità</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protezione risorsa idrica sotterranea</li> </ul>
<b>Suolo Profondo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inalazione vapori indoor</li> <li>• Inalazione vapori outdoor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residenziale</li> <li>• Industriale</li> <li>• Ricreativo</li> <li>• Agricolo</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lisciviazione e migrazione al punto di conformità</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protezione risorsa idrica sotterranea</li> </ul>
<b>Falda</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inalazione di vapori indoor</li> <li>• Inalazione vapori outdoor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residenziale</li> <li>• Industriale</li> <li>• Ricreativo</li> <li>• Agricolo</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Migrazione al punto di conformità</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protezione risorsa idrica sotterranea</li> </ul>

Per la matrice “suolo superficiale” il percorso di ingestione, contatto dermico e inalazione di polveri è escluso in caso di presenza di pavimentazione che presenti caratteristiche tecniche tali da garantire nel tempo l'interruzione dei percorsi suddetti. Il percorso di inalazione di vapori indoor, dovrà essere attivato per gli edifici presenti entro 10 m dalla sorgente di contaminazione (ASTM E2006, 2008).

#### **V.4.3 Valutazione delle aree agricole esterne al confine di proprietà**

Nella valutazione dei recettori presenti all'esterno dell'area del PV è possibile che possano essere presenti aree agricole potenzialmente impattate. Al fine della valutazione dei rischi relativi all'uso agricolo nell'ambito della procedura descritta nella presente appendice, in attesa della definizione di specifici criteri, si raccomanda quanto segue:

- i recettori umani potenzialmente esposti all'interno di aree agricole sono assimilabili ai “lavoratori” e pertanto si utilizzeranno per questi i parametri di esposizione relativi all'uso industriale;
- qualora la contaminazione delle acque sotterranee interessi pozzi utilizzati per l'irrigazione, si dovrà imporre comunque, ai sensi del Dlgs 04/08, il rispetto delle CSC o degli obiettivi di qualità specifici stabiliti dagli Enti di Controllo per le acque sotterranee, al punto di conformità per il PV, e in corrispondenza di tali pozzi;

In caso di fondato sospetto di contaminazione indotta dal PV su aree agricole limitrofe, valutazioni specifiche relative all'ingresso nella catena alimentare dei contaminanti relativi al PV, attraverso i vegetali prodotti nelle aree impattate e al rischio sanitario dovuto al consumo di tali vegetali potranno essere svolte dagli Enti di Controllo, in conformità con le indicazioni che verranno fornite dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS), avvalendosi della possibilità di recuperare i costi sostenuti dai soggetti responsabili della contaminazione.

Valutazioni relative a scenari specifici potranno essere condotte di concerto con gli Enti di Controllo.



## **V.5 CALCOLO DEL RISCHIO E DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SITO SPECIFICI**

Le procedure per il calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica sito specifici sono riportate nel Capitolo 4 del documento “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati”. Alcune problematiche specifiche relative ai Punti Vendita carburanti sono riportate di seguito.

### **V.5.1 Valutazione della lisciviazione dal suolo alle acque sotterranee**

La valutazione del percorso di lisciviazione suolo-falda tramite i modelli analitici previsti all'interno dell'analisi di rischio può portare in alcuni casi a sovrastimare gli apporti potenziali di inquinanti dal suolo contaminato (superficiale o profondo) alle acque sotterranee. In alcuni casi, soprattutto per eventi di contaminazione non recenti, le evidenze sperimentali del monitoraggio delle acque di falda potrebbero non confermare i risultati ottenuti tramite l'applicazione dei modelli di destino e trasporto utilizzati nell'analisi di rischio di livello 2. Inoltre nel caso di siti di piccole dimensioni molto spesso accade che la sorgente di contaminazione nel suolo coincida con l'intera area di proprietà determinando da un lato valori elevati di concentrazione attesi nelle acque di falda al punto di conformità e dall'altro valori restrittivi di CSR nel suolo a protezione della risorsa idrica sotterranea. Pertanto il proponente potrà valutare, ai fini del calcolo del rischio e/o degli obiettivi di bonifica sito-specifici, la non attivazione del percorso “lisciviazione dal suolo e migrazione al punto di conformità” imponendo direttamente il rispetto al punto di conformità dei valori di riferimento per le acque sotterranee o degli obiettivi di qualità previsti dai piani di tutela elaborati ai sensi della Direttiva 2000/60 e 2006/118, in conformità con quanto disposto dal Dlgs 30/2009. In tal caso, dovrà comunque essere prevista una campagna di monitoraggio dell'acqua di falda al punto di conformità, a valle della attività di bonifica, per un periodo adeguato. Per il calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica sito-specifici relativi al suolo dovranno essere considerati tutti gli altri percorsi di esposizione attivi.

Il monitoraggio dell'acqua di falda dovrà essere condotto sia in corrispondenza del punto di conformità individuato, e nel caso in cui risulti necessario anche in altri punti di prelievo reale ubicati all'esterno della sorgente di contaminazione lungo la direzione di deflusso della falda ed accessibili agli Enti di Controllo. Presso tali punti di prelievo sarà effettuato il riscontro della conformità delle acque sotterranee sia in fase di bonifica e di collaudo, sia in ulteriori campagne monitoraggio stabilite dall'Ente di Controllo.

### **V.5.2 Valutazione del percorso di migrazione al punto di conformità per la falda**

Anche per la migrazione della contaminazione presente in falda verso il punto di conformità, generalmente non risulta fattibile l'applicazione dei modelli di calcolo di attenuazione, con il risultato che il livello di qualità che la normativa impone alle acque sotterranee presso il POC verrebbe esteso all'intera rete di monitoraggio all'interno del sito. Per evitare tale risultato, il percorso di migrazione diretta da falda al Punto di Conformità, ai fini del calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica sito specifici da raggiungere nelle aree interne al sito, può essere sostituito dalla verifica diretta presso il punto di conformità dei valori di riferimento per le acque sotterranee o degli obiettivi di qualità previsti dai piani di tutela elaborati ai sensi della Direttiva 2006/118 e del relativo recepimento contenuto nel Decreto Legislativo 16 marzo 2009, n. 30. Per il calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica sito-specifici relativi alla falda nelle aree a monte del punto di conformità dovranno essere considerati tutti gli altri percorsi di esposizione attivi

### V.5.3 Speciazione degli idrocarburi ai fini dell'analisi di rischio

Una delle problematiche connesse all'applicazione dell'analisi di rischio ai PV riguarda la classificazione e l'espressione del gruppo di composti "Idrocarburi" nei suoli e nelle acque.

La normativa vigente prevede la determinazione della classe "Idrocarburi C>12" e "Idrocarburi C<12" nei suoli, e della classe "Idrocarburi totali" nelle acque sotterranee. Per tali parametri vengono riportate le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC).

L'analisi di rischio prevede invece una speciazione degli Idrocarburi secondo la classificazione MADEP e pertanto, a valle della procedura, vengono calcolati gli obiettivi di bonifica sito-specifici, ossia le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR), con riferimento alle singole classi del MADEP. Tale approccio è stato peraltro condiviso dal gruppo di lavoro "Idrocarburi", coordinato da ISPRA, con la partecipazione di ARPA, ISS, CNR-IRSA, CRA.

Al fine di individuare le CSR relative ai parametri indicati dalla normativa è necessario pertanto conoscere gli apporti percentuali delle singole classi nella miscela idrocarburica. Tuttavia, il frazionamento delle classi idrocarburiche secondo la classificazione MADEP può risultare anche molto differente all'interno dello stesso sito, portando quindi delle difficoltà nella scelta del frazionamento tipico rappresentativo della contaminazione.

A seguito di quanto detto, nel caso dei PV è possibile scegliere, per ciascuna sorgente di contaminazione (suolo superficiale, suolo profondo e falda) un frazionamento "tipico" secondo i seguenti criteri:

- Dovranno essere effettuate le analisi di speciazione MADEP nel suolo relativamente ai campioni dove è stata riscontrata la massima concentrazione di C>12 e C<12, e nelle acque di falda per il campione dove è stata riscontrata la massima concentrazione di Idrocarburi totali;
- Per i suoli si assumeranno come frazionamenti "tipici" della contaminazione da idrocarburi quelli dedotti dai risultati della speciazione MADEP riferita ai campioni di terreno risultati più contaminati rispettivamente da C>12 e C<12;
- Per la falda si assumerà come frazionamento "tipico" della contaminazione da idrocarburi quello dedotto dai risultati della speciazione MADEP riferita al campione di acqua più contaminato.

Il frazionamento "tipico" verrà quindi utilizzato per il calcolo delle CSR relative ai parametri normativi secondo il metodo indicato dal software RBCA Tool Kit della "frazione critica" (critical fraction), che prevede di selezionare la classe MADEP che genera il rischio maggiore con riferimento alla reale presenza di tale classe nella miscela contaminante riscontrata in sito.

Per i suoli si ottiene:

$$CSR_{C<12} = \min\left( CSR_{MADEP1} / f_{MADEP1}^{C<12}; CSR_{MADEP2} / f_{MADEP2}^{C<12}; \dots; CSR_{MADEPn} / f_{MADEPn}^{C<12} \right)$$

$$CSR_{C>12} = \min\left( CSR_{MADEP1} / f_{MADEP1}^{C>12}; CSR_{MADEP2} / f_{MADEP2}^{C>12}; \dots; CSR_{MADEPn} / f_{MADEPn}^{C>12} \right)$$

dove:

- $CSR_{C<12}$  e  $CSR_{C>12}$  sono rispettivamente le CSR relative ai C<12 e C>12;
- $CSR_{MADEPi}$  è la CSR calcolata per la i-esima classe del MAEP;
- $f_{MADEPi}^{C<12}$  e  $f_{MADEPi}^{C>12}$  sono rispettivamente le frazioni (percentuali) della i-esima classe del MADEP nel frazionamento "tipico" rispettivamente dei C<12 e dei C>12 nei suoli.

Analogamente per le acque si ottiene:

$$CSR_{Idrocarburi} = \min\left( CSR_{MADEP1} / f_{MADEP1}^{acque}; CSR_{MADEP2} / f_{MADEP2}^{acque}; \dots; CSR_{MADEPn} / f_{MADEPn}^{acque} \right)$$



dove:

- $CSR_{Idrocarburi}$  e la CSR relativa agli Idrocarburi totali;
- $CSR_{MADEPi}$  è la CSR calcolata per la i-esima classe del MAEP;
- $f_{MADEPi}^{acque}$  è la frazione (percentuale) della i-esima classe del MAEP nel frazionamento "tipico" degli Idrocarburi totali nelle acque.

Qualora non venga effettuata l'analisi di speciazione secondo MADEP nelle modalità indicate, dovrà essere associata alla contaminazione riscontrata in sito la classe più conservativa in termini di tossicità e mobilità per i percorsi considerati..

#### V.5.4 Presenza di idrocarburi in fase separata e controllo dell'assenza di prodotto libero

##### V.3.3.1 Partizione nel suolo di un contaminante e concentrazione di saturazione

Il comportamento di un inquinante nel suolo viene in genere schematizzato con la presenza nel terreno in 4 fasi distinte:

- come soluto, nell'acqua dei pori del suolo
- come vapore, nell'aria dei pori
- adsorbito al suolo (se è inorganico o polare) o al carbonio organico del suolo (se il contaminante è organico)
- in forma libera.

Secondo questo semplice schema, tra le prime tre fasi il contaminante si suddivide linearmente secondo rapporti fissati dalle opportune costanti di partizione. La ripartizione tra il soluto nell'acqua dei pori e il vapore è fissata dalla costante di Henry,  $H$ ; quella con la fase adsorbita è determinata dal coefficiente di partizione  $k_d$ , che viene espresso come  $k_d = k_{OC} \cdot f_{OC}$  per le sostanze organiche ( $k_{OC}$  è la costante di partizione carbonio organico/acqua,  $f_{OC}$  è la frazione di carbonio organico contenuta nel suolo). La concentrazione totale  $C_{tot}$  presente nel terreno è quindi

$$[1] \quad C_{tot} = \left( \underbrace{\frac{\theta_w}{\rho}}_{\text{soluto}} + \underbrace{\frac{H \theta_A}{\rho}}_{\text{vapore}} + \underbrace{k_d}_{\text{adsorbito}} \right) \cdot C_{sol} + \underbrace{C_{free}}_{\text{fase libera}},$$

dove  $C_{sol}$  è la concentrazione del soluto nell'acqua dei pori;  $\theta_w$  e  $\theta_A$  sono le porosità occupate dall'acqua e dall'aria rispettivamente;  $\rho$  è la densità del terreno. La fase libera è presente solo se la concentrazione totale supera la cosiddetta concentrazione di saturazione nel suolo,  $C_{sat}$ . Per le sostanze organiche apolari e, in particolare, per gli idrocarburi:

$$C_{sat} = \left( \frac{\theta_w}{\rho} + \frac{H \theta_A}{\rho} + k_{OC} \cdot f_{OC} \right) \cdot S$$

dove  $S$  è la solubilità in acqua del contaminante.

##### V.3.3.2 Concentrazione di saturazione residua

Una volta superata la concentrazione di saturazione  $C_{sat}$ , nel suolo comincia a comparire la fase separata.

Gli idrocarburi presenti in fase libera al di sopra della  $C_{sat}$  sono in generale immobili nel suolo se sono in piccola quantità perché aderiscono alle sue particelle o vengono trattenuti nei pori per capillarità

oppure incontrano tensioni superficiali che ne ostacolano il movimento o infine semplicemente poiché sono molto viscosi o solidi. Tuttavia man mano che aumenta la concentrazione può accadere che il contaminante, se fluido, non venga più trattenuto dal suolo e percoli in massa verso il basso fino a causare la presenza di prodotto libero in falda.

Un idrocarburo fluido in fase libera diventa mobile, e può percolare verso il basso, solo quando la sua quantità supera la capacità di assorbimento meccanico macroscopico (“da spugna”) del suolo. Tale quantità viene denominata “saturazione residua”<sup>1</sup>. La “saturazione residua” dipende da un lato dalle caratteristiche del fluido, ovvero densità e viscosità della sostanza, e dall’altro dalla composizione e tessitura del suolo. L’ordine di grandezza in termini di concentrazione della saturazione residua per i composti idrocarburici è delle migliaia di mg/Kg.

In fase di caratterizzazione del sito andrà quindi accertata non solo la presenza di NAPL nel suolo, ma anche che tale NAPL sia in concentrazioni inferiori alla saturazione residua. Il caso contrario è indice di una possibile percolazione che può avvenire, o è già avvenuta, di prodotto in fase separata verso le acque sotterranee.

Valori indicativi di saturazione residua per composti idrocarburici sono riportati nella successiva tabella [WSDE, 2003 e API, 2000].

**Tabella V. 5.4-1 Valori tipici di saturazione residua per alcune miscele idrocarburiche**

Composti idrocarburici	Saturazione residua [mg/Kg]			
	ghiaia grossolana	ghiaia e sabbia grossolana	Sabbia	Limi e argille
GRO	1000	1700	3400	10000
DRO	2000	3900	7700	22800
HO	2000	3900	7700	22800
MO	5000	8700	17400	51400

**Note:** TPH = Total Petroleum Hydrocarbons; DRO = Diesel range organics; GRO = Gasoline range organics; HO = Heavy oil range organics; MO = Mineral oil.

La tabella precedente riporta i valori più cautelativi tra i dati forniti dall’American Petroleum Institute (API, 2000) in base alla granulometria del suolo, tenendo presente che i valori riferiti ai suoli di tipo ghiaioso sono stati indicati dal Washington State Department of Ecology come screening di saturazione residua validi anche per le tipologie di suolo a granulometria più fine. Ovviamente tali dati si ritengono validi nell’ipotesi che non vi siano vie preferenziali per la migrazione della fase separata verso la falda.

Questa tabella si può usare se le alte concentrazioni trovate hanno un’origine accertata (benzina, gasolio ecc.). Negli altri casi, per semplicità, e in conformità con la divisione in frazioni  $C_{\leq 12}$  e  $C_{>12}$ , potrà invece essere presa come riferimento la tabella seguente (che è anche più cautelativa della precedente):

<sup>1</sup>L’espressione “saturazione residua” indica il prodotto *residuo* che resta in un suolo che aveva i suoi pori saturi della massa di fluido che è poi percolato verso il basso, lasciando nel terreno una parte immobile, trattenuta da capillarità e tensioni superficiali, e che è detta appunto saturazione residua.

**Tabella V. 5.4-2 Valori tipici di saturazione residua per le frazioni idrocarburiche.**

Composti idrocarburici	Saturazione residua [mg/Kg]			
	ghiaia grossolana	ghiaia e sabbia grossolana	Sabbia	Limi e argille
Idrocarburi C $\leq$ 12	1000	1700	3400	10000
Idrocarburi C > 12	2000	3900	7700	22800

In presenza di concentrazioni superiori alle saturazioni residue nel suolo profondo, bisognerà, di concerto con gli organismi di controllo, accertare l'assenza di prodotto libero sulla falda, attraverso una o più delle seguenti indagini.

- a) verificare fino a che profondità sia arrivato il prodotto, e, in particolare, che esso non arrivi alla zona di oscillazione della falda (*smear zone*).
- b) verificare la eventuale presenza di prodotto libero sulla falda nel punto sospetto.
- c) verificare la presenza a valle, nelle immediate vicinanze del punto sospetto, di concentrazioni di idrocarburi prossime alle solubilità, e quindi verosimilmente ascrivibili alla presenza di prodotto libero.

Il risultato negativo dell'indagine (a) può esser preso come evidenza conclusiva dell'assenza di prodotto libero se la causa della contaminazione è nota (p.es. perdita da un serbatoio) e se questa causa è stata eliminata da un tempo sufficientemente lungo perché la percolazione del prodotto si sia stabilizzata (orientativamente tre mesi).

Negli altri casi, a giudizio degli enti di controllo, possono essere disposte indagini supplementari, eventualmente ripetute a distanza di tempo, per accertarsi della staticità del prodotto.

Se invece si trova prodotto libero mobile sulla falda, è chiaro che esso deve essere rimosso o isolato, in quanto fonte primaria di contaminazione, ai sensi della normativa vigente, nell'ambito degli interventi di messa in sicurezza. A tale fase separata non può essere applicata l'analisi di rischio sito-specifica..

### V.3.3.3 Valutazione del rischio e degli obiettivi di bonifica quando la concentrazione nel suolo risulta maggiore della concentrazione di saturazione

Sulla base delle considerazioni illustrate in precedenza in merito alla concentrazione di saturazione e alla saturazione residua, nel caso in cui la concentrazione del contaminante riscontrata nel suolo risulti maggiore rispetto alla concentrazione di saturazione, pur in assenza di una evidente presenza di fase libera nel terreno campionato, si dovrà procedere come segue:

- L'Ente di Controllo dovrà richiedere la verifica di accettabilità dei valori di concentrazione riscontrati in fase di caratterizzazione mediante l'applicazione dell'analisi di rischio in modalità diretta (*forward*), compatibilmente con le limitazioni di utilizzo dei software relativamente alla concentrazione di saturazione. Il valore da utilizzare nell'inserimento della concentrazione degli inquinanti di interesse dell'AdR in modalità diretta può, in queste situazioni, essere pari alla concentrazione massima rilevata in situ durante la campagna di indagini per la caratterizzazione del sito. Nel caso in cui tale concentrazione porti a un indice di pericolo, per sostanze non cancerogene, inferiore a 1 e ad un rischio incrementale, per le sostanze cancerogene, inferiore rispettivamente a  $1 \times 10^{-6}$  per singola sostanza e a  $1 \times 10^{-5}$  cumulato su più sostanze, il valore inserito potrà essere adottato quale concentrazione soglia di rischio (CSR) del sito.
- Altrimenti, si potrà proseguire in maniera iterativa, inserendo successivamente concentrazioni inferiori alle precedenti, fino al raggiungimento di una concentrazione che soddisfi i criteri di accettabilità del rischio individuale e cumulato. Questa concentrazione sarà adottata quale CSR del sito e confrontata con i valori riscontrati in fase di indagine ambientale per impostare la progettazione della bonifica del sito.

Si specifica che nel caso in cui la Cmax risulti superiore alla saturazione residua, oltre all'accertamento dell'assenza di surnatante in falda, dovrà essere esclusa la possibilità di trovarsi in una fase transitoria in cui l'eventuale fase libera è ancora in grado di muoversi verso le acque sotterranee.

Poiché la verifica dell'assenza di prodotto libero può essere valida per i soli punti di sondaggio e nel loro intorno, l'ente di controllo potrà richiedere opportune campagne di monitoraggio delle acque di falda per la verifica delle condizioni ipotizzate all'interno dell'analisi di rischio. Le campagne di monitoraggio dei suoli e delle acque dovranno essere prescritte ai sensi dell'articolo 242, comma 5, del D.Lgs 152/06 e s.m.i. e del DLgs 30/2009 e saranno propedeutiche alla conclusione definitiva del procedimento.

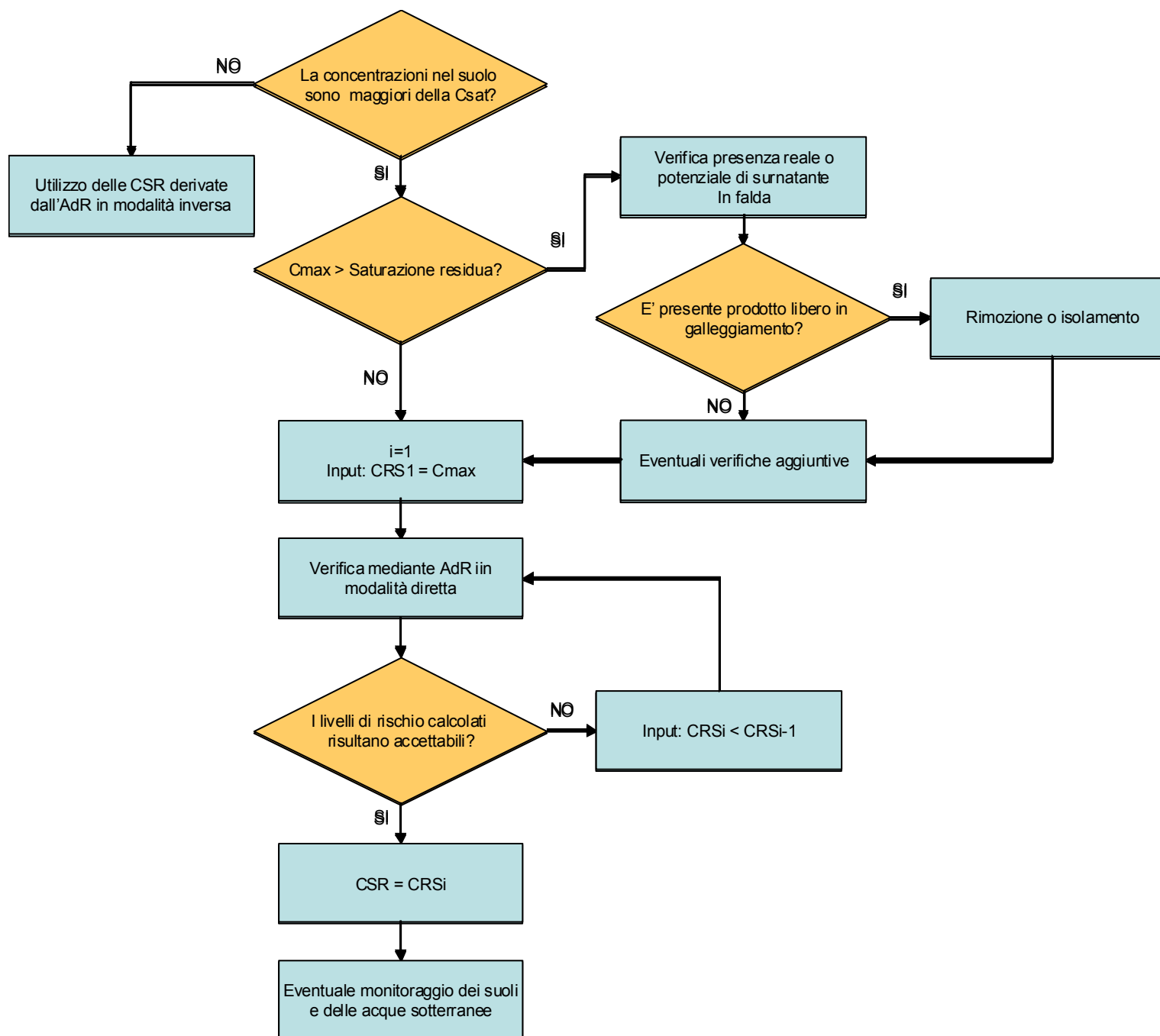


Figura V. 5.4-1 Processo decisionale per la valutazione del rischio e delle CSR nel caso in cui  $C_{site} > C_{sat}$

### V.5.5 Verifica sperimentale della presenza di rischi da inalazione di vapori indoor e outdoor

Si evidenzia che le equazioni per il calcolo dei fattori di volatilizzazione, in ambienti aperti (outdoor) e chiusi (indoor) rappresentano la capacità attuale di descrizione matematica dei fenomeni nell'ambito di applicazione di un Livello 2 di analisi di rischio. Laddove l'applicazione di tali equazioni determini un valore di rischio non accettabile per la via di esposizione inalazione di vapori outdoor e/o indoor, potranno essere eventualmente previste campagne di indagini (misure di soil-gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) allo scopo di verificare i risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello di analisi di rischio.

Nel caso dei PV, le valutazioni dirette della qualità dell'aria indoor e outdoor, al fine di verificare l'effettivo rischio per i recettori presenti nel sito e/o nel suo intorno, risultano particolarmente

complesse e difficoltose in quanto per ottenere risultati attendibili sarebbero necessari tempi e risorse non adeguate alla scala di questa tipologia di siti.

Si definisce pertanto in questi casi una procedura semplificata e facilmente validabile basata sul prelievo e l'analisi di gas interstiziale del sottosuolo in accordo con gli Enti di Controllo.

Il set minimo di punti di campionamento dovrà prevedere di norma almeno 3 punti di prelievo gas alla profondità indicativa di 1 m da p.c. sulla verticale della sorgente considerata (applicabile quindi solo per suolo profondo e falda). L'ubicazione planimetrica dei punti dovrà essere stabilita in accordo con gli Enti di controllo.

Al fine di escludere il percorso di inalazione vapori andranno confrontati i valori di concentrazione nel gas interstiziale secondo i seguenti criteri:

- Nel caso di sostanze non cancerogene i valori di concentrazione misurati in tutti i punti di campionamento dovranno essere inferiori alla Reference Concentration (RfC). La RfC dovrà essere calcolata a partire dal valore di RfD inalatoria della Banca Dati ISS-ISPEL per il recettore adulto o lavoratore secondo i fattori di conversione riportati Appendice O. Qualora nello scenario dell'analisi si rischia sia prevista l'esposizione alla contaminazione anche di recettori sensibili (bambini) dovrà essere effettuata la conversione da RfD a RfC utilizzando i parametri di esposizione di questi ultimi (BW = 15 Kg e IR = 16,8 m<sup>3</sup>/giorno).
- Nel caso di sostanze cancerogene i valori di concentrazione misurati in tutti i punti di campionamento dovranno essere inferiori al rapporto tra il rischio individuale tollerabile (10<sup>-6</sup>) e lo Unit Risk Factor (URF). Lo URF dovrà essere calcolato a partire dal valore di SF inalatorio della Banca Dati ISS-ISPEL per il recettore adulto o lavoratore secondo i fattori di conversione riportati Appendice O. Qualora nello scenario dell'analisi si rischia sia prevista l'esposizione alla contaminazione anche di recettori sensibili (bambini) dovrà essere effettuata la conversione da SF a URF utilizzando i parametri di esposizione di questi ultimi (BW = 15 Kg e IR = 16,8 m<sup>3</sup>/giorno).

**Tabella V. 5.5-1 Valori di concentrazione accettabili nei gas interstiziali (RfC e TR/URF)**

Sostanza	Numero CAS	SF Inalazione [mg/kg-d] <sup>-1</sup>	URF adulto/ lavoratore [µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	URF bambino [µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	TR/URF adulto/ lavoratore [mg/m <sup>3</sup> ]	TR/URF bambino [mg/m <sup>3</sup> ]	RfD Inalazione [mg/kg-d]	RfC adulto/ lavoratore [mg/m <sup>3</sup> ]	RfC bambino [mg/m <sup>3</sup> ]
<b>Idrocarburi (MADEP)</b>									
Alifatici C5-C8	-	-	-	-	-	-	5,70E-02	2,00E-01	5,09E-02
Aromatici C9 - C10	-	-	-	-	-	-	1,43E-02	4,99E-02	1,27E-02
Alifatici C9 - C18	-	-	-	-	-	-	5,70E-02	2,00E-01	5,09E-02
Alifatici C19 - C36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aromatici C11 - C22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Aromatici</b>									
Benzene	71-43-2	2,73E-02	7,80E-06	3,06E-05	1,28E-04	3,27E-05	8,55E-03	2,99E-02	7,63E-03
Etilbenzene	100-41-4	-	-	-	-	-	2,85E-01	9,98E-01	2,54E-01
Stirene	100-42-5	-	-	-	-	-	2,85E-01	9,98E-01	2,54E-01
Toluene	108-88-3	-	-	-	-	-	1,43E+00	5,01E+00	1,28E+00
m-Xilene	108-32-3	-	-	-	-	-	2,00E-01	7,00E-01	1,79E-01
o-Xilene	95-47-6	-	-	-	-	-	2,00E-01	7,00E-01	1,79E-01
p-Xilene	106-42-3	-	-	-	-	-	2,00E-01	7,00E-01	1,79E-01
Xileni	1330-20-7	-	-	-	-	-	2,00E-01	7,00E-01	1,79E-01
<b>Idrocarburi Policiclici Aromatici</b>									
Benzo(a)antracene	56-55-3	6,00E-01	1,71E-04	6,72E-04	5,83E-06	1,49E-06	2,85E-01	9,98E-01	2,54E-01
Benzo(a)pirene	50-32-8	7,32E+00	2,09E-03	8,20E-03	4,78E-07	1,22E-07	3,14E+00	1,10E+01	2,80E+00
Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2	-	-	-	-	-	3,00E-02	1,05E-01	2,68E-02
Crisene	218-01-9	6,10E-03	1,74E-06	6,83E-06	5,74E-04	1,46E-04	3,00E-02	1,05E-01	2,68E-02

Indenopirene	193-39-5	3,10E-01	8,86E-05	3,47E-04	1,13E-05	2,88E-06	3,14E+00	1,10E+01	2,80E+00
Pirene	129-00-0	-	-	-	-	-	3,00E-02	1,05E-01	2,68E-02
<b>Organoclorurati</b>									
Cloruro di vinile	75-01-4	3,08E-02	8,80E-06	3,45E-05	1,14E-04	2,90E-05	2,86E-02	1,00E-01	2,55E-02
1,2-Dicloroetano	107-06-2	9,10E-02	2,60E-05	1,02E-04	3,85E-05	9,81E-06	2,85E-03	9,98E-03	2,54E-03
Tricloroetilene	79-01-6	6,00E-03	1,71E-06	6,72E-06	5,83E-04	1,49E-04	6,00E-03	2,10E-02	5,36E-03
cis-1,2-Dicloroetilene	156-59-2	-	-	-	-	-	1,00E-02	3,50E-02	8,93E-03
trans-1,2-Dicloroetilene	156-60-5	-	-	-	-	-	2,00E-02	7,00E-02	1,79E-02
1,2-dicloroetilene	-	-	-	-	-	-	1,00E-02	3,50E-02	8,93E-03
<b>Altre sostanze</b>									
Piombo Tetraetile	78-00-2	-	-	-	-	-	2,14E-05	7,49E-05	1,91E-05
MtBE	1634-04-4	-	-	-	-	-	8,60E-01	3,01E+00	7,68E-01

Qualora i valori di concentrazione misurati in sito soddisfino i criteri di esclusione del percorso suddetto, a giudizio degli Enti di Controllo, potrà essere previsto un adeguato periodo di monitoraggio per la conferma dei risultati della rilevazione nel corso del tempo.

In alternativa al confronto dei valori suddetti con le concentrazioni misurate di soil-gas, che è comunque da preferirsi, il proponente può utilizzare i valori di soil-gas misurati come dati di input all'interno dei software per l'applicazione dell'analisi di rischio, oppure seguire, per i PV in attività, la procedura ordinaria di confronto delle concentrazioni indoor e outdoor misurate con i TLV/TWA secondo le indicazioni contenute nell'APPENDICE S del manuale "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio ai siti contaminati", fatte salve le valutazioni per i bersagli off-site.

**V.6 BIBLIOGRAFIA**

- Alaska Statement of Cooperation Working Group (2006) Maximum Allowable Concentration, Residual Saturation, and Free-Product Mobility Technical Background Document and Recommendations, ANC\050830002
- American Petroleum Institute (2000), Non Aqueous Phase Liquid (NAPL) Mobility Limits in Soil, Soil & Groundwater Research Bulletin No.9
- American Society for Testing and Materials (1995), Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites, ASTM E-1739-95
- American Society for Testing and Materials, (ASTM) "Assessment of Vapor Intrusion into Structures on Property Involved in Real Estate Transactions" ASTM E2600, 2008.
- M. Hippelein, M. S. McLachlan (1998), Soil/Air Partitioning of Semivolatile Organic Compounds. 1. Method Development and Influence of Physical-Chemical Properties, Environmental Science & Technology
- National Institute of Public Health and Environmental Protection – RIVM (1993), Soil-water partition coefficient for organic compounds, Report No. 679101013
- United States Department of Energy (2007), Determination and Quantification of Non-Aqueous Phase Liquid Mixtures In Environmental Media, prepared by Washington Savannah River Company, LLC Savannah River Site
- US Environmental Protection Agency (1994), The Hydrocarbon Spill Screening Model (HSSM) Volume 1: User's Guide, EPA/600/R-94/039a
- US Environmental Protection Agency (1995), Ground Water Issue - Light Nonaqueous Phase Liquids, EPA/540/S-95/500
- US Environmental Protection Agency (1996), Soil Screening Guidance Technical Background Document, EPA/540/R-95/128
- US Environmental Protection Agency (1999), Understanding Variation in Partition Coefficient,  $K_d$ , Values - Volume I: The  $K_d$  Model, Methods of Measurement, and Application of Chemical Reaction Codes, EPA 402-R-99-004A
- Washington State Department of Ecology (2003), Default Hydrogeologic Parameter Data for Deriving Soil Concentrations for Groundwater Protection, WAC 173-340-747