

URS

Italia

**INVESTIGAZIONE INIZIALE
(D.M. 471/99) “IN STRALCIO” PER
L’AREA DELLA NUOVA CENTRALE
“RAFFINERIA DI CREMONA”**

di

TAMOIL RAFFINAZIONE S.p.A.

00	21-02-06	FINALE	G.Cantarini	P. Alesina	F. De Palma
Rev.	Data	Oggetto	Redatto	Verificato	Approvato

URS

Italia

**INVESTIGAZIONE INIZIALE
(D.M. 471/99) “IN STRALCIO” PER
L’AREA DELLA NUOVA CENTRALE
“RAFFINERIA DI CREMONA”**

di

TAMOIL RAFFINAZIONE S.p.A.

PA, febbraio 2006

Copia n. di

URS Italia S.p.A.
Via Bertieri, 4
I-20146 Milano
Italia
Tel: +39 02 422556.1
Fax: +39 02 422556.21
<http://www.ursitalia.it>

INDICE

INTRODUZIONE	1
SEZIONE 1. INFORMAZIONI GENERALI SUL SITO.....	2
1.1 UBICAZIONE DEL SITO	2
1.2 CARATTERISTICHE GENERALI DEL NUOVO IMPIANTO IN PROGETTO	2
1.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E AMBIENTALE	3
SEZIONE 2. PIANO DI INVESTIGAZIONE INIZIALE	4
2.1 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI PREGRESSE	4
2.2 INDAGINI ESEGUITE NEL DICEMBRE 2005	4
2.2.1 <i>Impostazione metodologica</i>	4
2.2.2 <i>Modalità di esecuzione delle indagini</i>	5
2.2.3 <i>Prelievo, conservazione e gestione dei campioni</i>	6
2.2.4 <i>Analisi chimiche di laboratorio</i>	7
SEZIONE 3. RISULTATI	8
3.1 GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA LOCALE	8
3.2 STATO AMBIENTALE DEL SOTTOSUOLO	8
3.2.1 <i>Qualità dei terreni</i>	8
3.2.2 <i>Qualità delle acque di falda</i>	9
3.2.3 <i>Sintesi dello stato ambientale dell'area della nuova Centrale</i>	10
SEZIONE 4. ANALISI DEI LIVELLI DI CONTAMINAZIONE.....	11
4.1 MODELLO CONCETTUALE	11
4.2 DETERMINAZIONE DEI VOLUMI DI TERRENO CONTAMINATO.....	11
SEZIONE 5. INDICAZIONI PER LA BONIFICA DELL'INSATURO.....	14

FIGURE

<u>FIGURA 1</u>	Ubicazione dell'area destinata alla nuova centrale di cogenerazione e georeferenziazione dei vertici
<u>FIGURA 2</u>	Mappa del sito con l'ubicazione dei punti di indagine e traccia delle sezioni litostratigrafiche
<u>FIGURA 3</u>	Sezioni litostratigrafiche interpretative
<u>FIGURA 4</u>	Morfologia della superficie freatica
<u>FIGURA 5</u>	Qualità dei terreni dell'orizzonte insaturo
<u>FIGURA 6</u>	Qualità delle acque di falda (marzo 2001)
<u>FIGURA 7</u>	Mappe dei terreni: aree contaminate da BTEX
<u>FIGURA 8</u>	Mappe dei terreni: aree contaminate da Idrocarburi C<12
<u>FIGURA 9</u>	Mappe dei terreni: aree contaminate da Idrocarburi C>12

TABELLE FUORI TESTO

<u>TABELLA 1</u>	Risultati delle analisi chimiche (nuove indagini – dicembre 05)
<u>TABELLA 2</u>	Risultati delle analisi chimiche (indagini pregresse – gennaio/marzo 01)

ALLEGATI

<u>ALLEGATO 1</u>	Stratigrafie
<u>ALLEGATO 2</u>	Fotografie delle cassette catalogatrici
<u>ALLEGATO 3</u>	Certificati analitici di laboratorio
<u>ALLEGATO 4</u>	Copia del Verbale Conferenza di Servizi del 4 agosto 2005
<u>ALLEGATO 5</u>	Copia del Verbale per l'allineamento con ARPA delle metodiche analitiche
<u>ALLEGATO 6</u>	Copia del Protocollo di Campionamento ARPA
<u>ALLEGATO 7</u>	Descrizione ed analisi preliminare di applicabilità delle tecnologie disponibili allo "stato dell'arte" per la bonifica dell'orizzonte insaturo

INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Tecnica Descrittiva delle attività di investigazione eseguite nel dicembre 2005 in attuazione al "Addendum al Piano di Caratterizzazione della Raffineria di Cremona" presentato il 31 maggio 2005 agli Enti di Controllo da Tamoil Raffinazione S.p.A..

Il documento, redatto ai sensi del D.M. 471/99, risponde alle richieste espresse dagli Enti di controllo nel corso della Conferenza dei Servizi tenutasi il 4 agosto 2005 presso il Comune di Cremona (presenti: A.R.P.A Dipartimento di Cremona, Comune di Cremona Settore Lavori Pubblici; Tamoil Raffinazione S.p.A. e URS Italia), in merito a:

- la necessità di indagare con maggiore dettaglio le condizioni dei terreni sottostanti la porzione di Raffineria interessata dal progetto della nuova Centrale di cogenerazione;
- la definizione delle procedure di campionamento delle matrici ambientali e delle metodiche analitiche da adottare;
- l'individuazione, in via preliminare, di possibili modalità di bonifica dell'insaturo che non compromettano l'esecuzione di successivi interventi sulla fase satura.

Secondo quanto concordato, il documento è redatto "in stralcio" rispetto alle altre attività ambientali previste per la Raffineria e risulta pertanto focalizzato all'area interessata dalla realizzazione della nuova Centrale.

SEZIONE 1. INFORMAZIONI GENERALI SUL SITO

1.1 Ubicazione del sito

L'area oggetto del presente studio è ubicata all'interno della Raffineria di Cremona di proprietà della Tamoil Raffinazione S.p.A.

L'area si posiziona nel settore centro meridionale dell'intero stabilimento, compresa tra le aree occupate dagli impianti D.O.U. Finer a Nord, C.T.E. ad Est, Topping 2 a Sud e dai serbatoi L-7, L-8 e L-9 ad Ovest. La superficie risulta in parte occupata dagli impianti dismessi della vecchia centrale e da un edificio adibito a magazzino.

1.2 Caratteristiche generali del nuovo impianto in progetto

La Raffineria TAMOIL di Cremona intende realizzare una nuova Centrale di Cogenerazione della potenza complessiva di 130 Mwt.

La Centrale di Cogenerazione sarà costituita dai seguenti elementi:

- turbina a gas;
- generatore di Vapore a recupero;
- caldaia convenzionale;
- turbina a vapore.

L'alimentazione alla turbina a gas è fornita per mezzo di Gas Naturale proveniente dalla Rete Snam o GPL (da Raffineria) o da una miscela dei due.

La Centrale è stata progettata per soddisfare le richieste sia della Raffineria in termini di potenza elettrica e produzione vapore, sia della Rete Locale della Città di Cremona (per ciò che concerne il Vapore adibito al Teleriscaldamento). L'eventuale eccesso di produzione di potenza elettrica alimenta la Rete Nazionale.

L'area destinata alla realizzazione della nuova Centrale occupa la porzione sud della Raffineria (denominata "area impianti 1 - PAOC2a") ove si colloca il nucleo originario dello stabilimento, risalente al 1950.

La superficie di interesse, di estensione pari a circa 6.000 m², attualmente è occupata dall'impianto dimesso "ex Reformer Termico" che confina con:

- la attuale centrale termica, ad est-nord-est;
- il parco serbatoi L7÷L11, ad ovest-sud-ovest;
- l'impianto Diesel Oil Ultrafiner, a nord-nord-ovest;
- e l'impianto Topping 2, a sud-sud-est.

Lo stralcio della planimetria di stabilimento con l'ubicazione dell'area destinata alla nuova centrale e la georeferenziazione dei vertici è riportato in Figura 1.

1.3 Inquadramento geologico, idrogeologico e ambientale

L'assetto geologico ed idrogeologico regionale è ampiamente trattato nel documento "Studio di Caratterizzazione del sottosuolo e della falda acquifera – Raffineria di Cremona" del marzo 2001, di cui si fornisce nel seguito una sintesi per le parti di interesse.

Inquadramento litostratigrafico

Le stratigrafie dei sondaggi pregressi evidenziano la presenza nei primi metri superficiali, di una elevata eterogeneità della composizione dei terreni costituiti da sabbie fini o medio-fini, intercalate a limi sabbiosi, sabbie limose e rari livelli sabbioso-ghiaiosi. Inferiormente, sino a circa 10 m da p.c., si incontrano sabbie fini debolmente limose e sabbie medie di colore grigio scuro con intercalazioni marroni, sovrastanti, in alcuni casi, limi sabbiosi o debolmente argillosi.

Inquadramento idrogeologico

Da un punto di vista idrogeologico, nei primi metri di profondità è individuabile un acquifero sede della falda libera superficiale, la cui superficie freatica si attesta localmente alla profondità di circa 5,5 – 6,2 m da p.c..

Le linee isofreatiche, desunte sulla base dei rilievi disponibili (Figura 4), si sviluppano principalmente lungo la direttrice E-W, tracciando una direzione di deflusso principale N-S, verso il corso del fiume Po situato ad sud-sud-ovest dello stabilimento.

Assetto ambientale

Il quadro ambientale evidenzia che in alcuni settori della Raffineria il sottosuolo risulta contaminato da idrocarburi in concentrazioni eccedenti i valori limite stabiliti per le aree industriali dalla normativa vigente (D.M. 471/99).

Nei terreni sono risultati valori di concentrazione superiori ai limiti soprattutto nella porzione centrale e sud-orientale della Raffineria, più antica dal punto di vista dello sviluppo industriale. La porzione oggetto della presente indagine va a collocarsi in questo quadro d'insieme, nel quale le sostanze più frequentemente rilevate nel terreno sono le miscele di idrocarburi leggere e pesanti e gli idrocarburi aromatici.

Nelle acque sotterranee, la contaminazione appare limitata alla falda freatica e ragionevolmente circoscritta alla porzione più superficiale della stessa, la quale è caratterizzata dalla presenza di idrocarburi aromatici e miscele di idrocarburi a catena media e lunga.

SEZIONE 2. PIANO DI INVESTIGAZIONE INIZIALE

2.1 Descrizione delle indagini pregresse

Presso l'area destinata alla realizzazione della nuova Centrale, già nel marzo 2001, sono state svolte le seguenti attività:

- perforazione di **4 sondaggi a carotaggio**, spinti fino ad una profondità massima di 5 metri da p.c. (denominati S72÷S75);
- realizzazione di **1 piezometro**, fino ad una profondità massima di 9 metri da p.c. (denominato P15);
- **analisi chimiche di 5 campioni di terreno** (S72 prof. 2,8 m, S73 prof. 2,8 m, S74 prof. 0,5 m, S74 prof. 2,5 m e S75 prof. 0,5 m);
- **analisi chimica di 1 campione di acqua** (dal pozzo di monitoraggio P15).

I risultati delle analisi eseguite sui campioni di terreni e di acqua di falda sono riproposti nelle Tabelle 2.1 e 2.2

L'ubicazione delle indagini eseguite nel marzo 2001 è riportata in Figura 2.

Le stratigrafie dei sondaggi e lo schema di completamento del piezometro sono riportati in Allegato 1.

2.2 Indagini eseguite nel dicembre 2005

2.2.1 Impostazione metodologica

I punti di indagine sono stati localizzati alla presenza dei tecnici dell'A.R.P.A. di Cremona, secondo una ubicazione sistematica casuale e in accordo con:

- il documento "Addendum al Piano della Caratterizzazione della Raffineria di Cremona" redatto da URS Italia nel maggio 2005;
- le indicazioni metodologiche fissate nell'Allegato 2 del DM 471/99;
- le specifiche tecniche fissate da A.R.P.A. Dipartimento Provinciale di Cremona nel "Protocollo di Campionamento ai sensi del D.M. 471/99" (riportato in Allegato 6);
- il verbale d'incontro del 12 settembre 2005 tra i tecnici della A.R.P.A. di Cremona ed i tecnici della ditta So.Pr.A. Sangalli Protezioni Ambientali S.r.l. di Milano in qualità di laboratorio chimico incaricato delle analisi (riportato in Allegato 5).

In particolare sono stati realizzati:

- **1 pozzo di monitoraggio** delle acque della falda freatica;
- **3 sondaggi a carotaggio**, con prelievo di campioni di terreno.

che, sulla base di una estensione dell'area da indagare di circa 6000 m², corrispondono ad una maglia equivalente di 25 x 25 metri.

Un riepilogo delle indagini realizzate e dei campioni prelevati per ciascun punto di indagine viene presentato nella tabella che segue.

Sondaggi / Piezometri realizzati nel dicembre 2005	Profondità perforazione (m da p.c.)	Campioni di terreno (profondità in m da p.c.)	
P31 (piezometro)	10,0	2,5 / 3,0	5,5 / 6,1
S101 (sondaggio)	5,0	2,7 / 3,4	4,5 / 5,0
S102 (sondaggio)	5,0	2,5 / 3,0	4,5 / 5,0
S103 (sondaggio)	5,0	2,5 / 3,0	4,5 / 5,0

2.2.2 Modalità di esecuzione delle indagini

Le perforazioni sono state condotte con tecnica a rotazione a carotaggio continuo, senza l'impiego di fluidi nell'intervallo non interessato dalla presenza della falda acquifera, impiegando un carotiere del diametro di 101 mm e tubazioni di rivestimento provvisorio di 127 mm; per il sondaggio P31, completato a piezometro di monitoraggio, sono state utilizzate tubazioni di rivestimento provvisorio del diametro di 167 mm.

Dopo l'estrazione tramite percussione dal carotiere, le carote di terreno sono state riposte in apposite cassette catalogatrici ricoverate in sito a disposizione della Committente. Il tecnico URS per ciascuna verticale di sondaggio, ha provveduto a redigere la stratigrafia dei terreni attraversati.

Oltre ad un rapido esame organolettico, sui terreni prelevati nell'ordine di circa 1 ogni metro, è stata effettuata l'analisi dello spazio di testa (Head Space Analysis) con fotoionizzatore portatile, per l'individuazione di eventuali livelli contaminati da sostanze volatili. Secondo le indicazioni emerse è stato quindi effettuato il prelievo di almeno 2 campioni di terreno per ciascuna verticale.

Per ciascuna perforazione è stata raggiunta la profondità di 5 m da p.c. per i sondaggi (S101-S103) e 10 m da p.c. per il piezometro P31. I fori di sondaggio sono stati ritombati con materiale di risulta e sigillati con boiaccia cementizia.

Per il piezometro di monitoraggio, installato alla profondità di 10 m da p.c., con un tratto cieco da piano campagna fino a 4 m da p.c. e fenestrato a seguire, sono stati utilizzati tubi in PVC del diametro di 3" dotati di tappo di testa e di fondo. Nello spazio anulare interposto tra la tubazione fenestrata e il foro di sondaggio, partendo da fondo foro fino a circa 1,0 m da p.c. sopra al tratto filtrante, è stato posizionato un dreno artificiale costituito da ghiaietto siliceo, lavato e naturalmente arrotondato. Il rimanente tratto cieco è stato isolato con un tappo in boiaccia bentonitica e riempito con materiale granulare. La porzione superficiale del pozzo è stata cementata per impedire l'infiltrazione di acqua dalla superficie. A protezione della testa di ciascun pozzo, è stato posizionato un chiusino fuori terra in lamiera predisposto per la chiusura con lucchetto.

Al termine dell'installazione, sia il piezometro di monitoraggio di nuova realizzazione, che quello già esistente, sono stati sviluppati tramite elettropompa sommersa fino alla completa chiarificazione delle acque emunte. In corrispondenza della testa di ciascuno dei pozzi, è stata condotta una battuta topografica per la

determinazione della quota relativa.

Tutte le cassette catalogatrici formate, sono state identificate (cantiere, numero di progetto, numero del sondaggio, data e intervallo di perforazione), fotografate e stoccate in area indicata dalla Committente.

Le descrizioni stratigrafiche sono raccolte in Allegato 1, mentre le fotografie delle cassette catalogatrici sono riportate in Allegato 2.

2.2.3 Prelievo, conservazione e gestione dei campioni

Per il campionamento dei terreni, la carota estratta da ogni manovra di carotaggio è stata decorticata, descritta ed esaminata. Il prelievo è stato effettuato in corrispondenza degli intervalli che dall'analisi dello spazio di testa sono risultati interessati da condizioni anomale e per ogni intervallo è stato realizzato un campione composito.

Il terreno è stato prelevato dal centro della carota, utilizzando una spatola in acciaio inox opportunamente decontaminata dopo ogni singola operazione. Il tecnico incaricato dei campionamenti ha effettuato tutte le operazioni indossando guanti monouso che ha provveduto a sostituire dopo ogni singola operazione di campionamento. Le operazioni di campionamento sono state condotte su superfici opportunamente isolate con fogli in polietilene.

Il terreno così prelevato è stato immediatamente riposto in appositi contenitori in vetro con tappo a tenuta. Ogni contenitore a sua volta è stato contrassegnato con un codice identificativo, la data di prelievo, ed è stato sigillato e controfirmato dal tecnico rappresentante la Committente e dal tecnico dell'A.R.P.A. di Cremona.

Per ogni intervallo campionato sono state formate tre aliquote di cui:

- una è stata trattenuta dal tecnico rappresentante la committente ed inviata al laboratorio per le analisi chimiche;
- una è stata trattenuta dal tecnico dell'A.R.P.A. di Cremona e consegnata al proprio laboratorio;
- una è stata conservata dalla Committente per eventuali controanalisi.

I campioni selezionati per le analisi chimiche sono stati conservati a bassa temperatura in appositi frigoriferi portatili fino alla consegna al laboratorio.

Per poter realizzare il campionamento delle acque di falda, nella giornata precedente al campionamento stesso, è stato effettuato uno spurgo mediante pompa sommersa, con estrazione di un quantitativo di acqua pari ad almeno tre volte il volume saturo del piezometro.

Prima delle operazioni di campionamento, è stato effettuato il rilievo delle misure freatiche. Successivamente, previo utilizzo di un campionatore monouso (bailer), si è constatata la presenza in falda di prodotto surnatante (LNAPL). In accordo con i tecnici rappresentati gli Enti di controllo si è pertanto deciso di non effettuare il campionamento delle acque.

Al termine delle operazioni di cantiere, dopo ogni giornata, è stato redatto un verbale di campionamento in duplice copia, firmato da entrambe le parti.

2.2.4 Analisi chimiche di laboratorio

Su un totale di 8 campioni di terreno è stato realizzato il seguente programma analitico:

- idrocarburi alifatici (C>12 e C<12);
- idrocarburi aromatici (BTEX);
- idrocarburi policiclici aromatici (IPA - lista DM 471/99).

Le analisi sono state effettuate utilizzando le metodiche analitiche concordate con l'A.R.P.A. di Cremona nella riunione del 12 settembre 2005; riepilogate nel seguito:

- il parametro "idrocarburi alifatici" è stato determinato con tecnica gascromatografica per spazio di testa per gli idrocarburi C>12 e con tecnica FT-IR per gli idrocarburi C<12, sulla frazione granulometrica del prodotto secco¹;
- il parametro "BTEX" è stato analizzato mediante tecnica gascromatografica per spazio di testa;
- il parametro "IPA" è stato analizzato mediante tecnica GC-MS e con tecnica HPLC da parte dell'A.R.P.A.

Tutte le analisi sono state realizzate adottando metodologie in linea con le indicazioni del D.M. 471/99, anche per quanto concerne i limiti di rilevabilità.

¹ In accordo con le modalità concordate con ARPA per la determinazione degli idrocarburi alifatici; nei certificati analitici e nelle tabelle riepilogative allegate al presente rapporto, gli idrocarburi alifatici leggeri (C<12) sono indicati come "idrocarburi leggeri C<12 (esclusi BTEX) come n-esano" e gli idrocarburi alifatici pesanti (C>12) sono indicati come "idrocarburi totali".

SEZIONE 3. RISULTATI

3.1 Geologia ed idrogeologia locale

L'analisi dei risultati ottenuti dalle investigazioni realizzate presso il sito ha consentito di formulare un quadro geologico-stratigrafico in linea con le precedenti indagini del 2001.

In tutti i sondaggi realizzati, le evidenze stratigrafiche confermano la presenza di materiale di riporto distinguibile in due intervalli, uno sovrastante, costituito da terreni inconsistenti quali sabbie grossolane e ghiaie, e uno sottostante, costituito prevalentemente da limo sabbioso consistente.

Al di sotto del riporto, ad una profondità di circa 2,0 m da p.c. e per tutta l'estensione delle colonne stratigrafiche esaminate (5,0 m nei sondaggi e 10,0 m nel P31), si attesta un intervallo costituito principalmente da sabbia fine in alternanza a rari intervalli limosi.

Facendo riferimento alle stratigrafie rilevate durante le perforazioni e a quelle pregresse, sono state tracciate 4 sezioni litostratigrafiche (Figure 2 e 3), due lungo la direttrice SSW-NNE e due lungo la direttrice NW-SE, mediante la quale l'area indagata può essere schematizzata come segue:

Intervallo (m da p.c.)	Stratigrafia
0,0 ÷ 0,6/1,4	Terreno di riporto costituito da ghiaia e sabbia limosi, insaturo, inodore, inconsistente e di colore marrone grigiastro o rossastro. In S101 e S103 è presente superficialmente una soletta in calcestruzzo.
0,6/1,4 ÷ 2,0/2,2	Terreno di riporto costituito da limo grigio-azzurro, da debolmente sabbioso a sabbioso, debolmente argilloso in rari intervalli, insaturo, prevalentemente consistente.
2,0/2,2 ÷ fondo foro (10,0 m in P31)	Sabbia fine grigia, da limosa a debolmente limosa, inconsistente, insatura fino a circa 5,5 m da p.c..

3.2 Stato ambientale del sottosuolo

3.2.1 Qualità dei terreni

Le analisi chimiche eseguite sui campioni di terreno hanno evidenziato superamenti dei limiti di concentrazione massima accettabile imposti dal D.M. 471/99 per siti ad uso industriale per i parametri Benzene, Etilbenzene, Xilene, Idrocarburi leggeri C<12 e Idrocarburi pesanti C>12. Le analisi medesime non hanno invece evidenziato superamenti per il Toluene e per gli IPA.

Per quanto concerne le nuove indagini, la contaminazione interessa la totalità dei campioni ad eccezione del S102-4,5/5,0 per il quale i valori rimangono al di sotto dei limiti di riferimento considerati.

In particolare:

- Benzene:* rilevato in eccedenza rispetto a quanto indicato dal D.M. 471/99 in tutti i campioni ad eccezione di quelli relativi al sondaggio S102, con concentrazioni che variano dai 104 mg/kg nel P31-5,5/6,1 ai 3,39 mg/kg nel P31-2,5/3,0, a fronte di una concentrazione limite di 2 mg/kg; dalle indagini pregresse si ha un valore di 6,59 mg/kg nel solo P15-5,0.
- Etilbenzene:* sono stati riscontrati valori superiori al limite di legge (50 mg/kg), nei punti P31-5,5/6,1 (86,6 mg/kg) e S72-2,8 (50,2 mg/kg).
- Xilene:* nelle nuove indagini è stato rilevato in eccedenza nei sondaggi P31 e S101, con concentrazioni che variano dai 338 mg/kg nel P31-5,5/6,1 ai 51,1 mg/kg nel S101-4,5/5,0, a fronte di una concentrazione limite di 50 mg/kg; nelle indagini pregresse è stato rilevato in eccedenza nei campioni S72-2,8 (262 mg/kg) e P15-5,0 (92,2 mg/kg).
- Idrocarburi leggeri C<12:* rilevati in eccedenza rispetto ai limiti di riferimento in tutti i campioni ad eccezione del S102-4,5/5,0, con concentrazioni che variano dai 37824 mg/kg nel P31-2,5/3,0 ai 1661 mg/kg nel S102-2,5/3,0, a fronte di una concentrazione limite di 250 mg/kg; dalle indagini pregresse si ha un valore di 949 mg/kg nel solo S72-2,8.
- Idrocarburi pesanti C>12:* rilevati in eccedenza in tutti i campioni ad eccezione del S102-4,5/5,0, con concentrazioni che variano dai 8758 mg/kg nel P31-5,5/6,1 ai 382 mg/kg nel S102-2,5/3,0, a fronte di una concentrazione limite di 750 mg/kg; nelle indagini pregresse si ha il superamento dei limiti nel S72-2,8 (993 mg/kg).

Dalle indagini eseguite nel 2001, solo i campioni S72-2,8 e P15-5,0 presentano valori eccedenti i limiti di riferimento.

Un quadro generale sulla qualità dei terreni dell'orizzonte insaturo è stato proposto in Figura 5, mentre le Figure 7, 8 e 9 mostrano le mappe delle aree contaminate rispettivamente da BTEX, Idrocarburi leggeri e Idrocarburi pesanti.

3.2.2 Qualità delle acque di falda

Come già indicato nel paragrafo 2.2.3, in accordo con i tecnici A.R.P.A. presenti, le acque di falda dei piezometri P31 e P15 non sono state prelevate in quanto in fase di campionamento si è rilevata la presenza di prodotto surnatante (LNAPL) in entrambi i piezometri con spessori variabili dai 10 cm nel P15 ai 2 cm nel P31.

In Figura 6 è stato pertanto ri-proposto il quadro riepilogativo della qualità delle acque di falda desunto sulla base dei rilievi effettuati nel marzo del 2001.

Ai fini del presente documento, non sono state rilevate in sito condizioni particolari che possano indurre a pensare all'area interessata come la causa di ulteriore inquinamento del sottosuolo.

Le sezioni successive tratteranno quindi solamente l'orizzonte insaturo, rinviando qualsiasi trattazione sull'orizzonte saturo a future documentazioni che prenderanno in considerazione l'intera area della Raffineria.

3.2.3 Sintesi dello stato ambientale dell'area della nuova Centrale

Lo stato complessivo del sottosuolo ha evidenziato la presenza di superamenti dei limiti di riferimento per quanto riguarda i parametri BTEX, Idrocarburi totali e Idrocarburi C<12, nella quasi totalità dei campioni di terreno analizzati.

L'esame organolettico, effettuato in sito mediante fotoionizzatore portatile con la tecnica dello spazio di testa, ha confermato la presenza di Composti Organici Volatili in tutti i campioni esaminati ad eccezione dei campioni prelevati nel primo metro superficiale (ove i valori rilevati sono risultati entro limiti di accettabilità).

Relativamente alle acque di falda è stata riscontrata la presenza di prodotto surnatante in entrambi i piezometri presenti all'interno dell'area di indagine.

In Tabella 1 sono raccolte le risultanze analitiche dei campioni di terreno, mentre l'Allegato 3 raccoglie i certificati di laboratorio relativi alle analisi effettuate.

Nei paragrafi seguenti viene descritta nel dettaglio la distribuzione dei contaminanti rinvenuti.

SEZIONE 4. ANALISI DEI LIVELLI DI CONTAMINAZIONE

4.1 Modello concettuale

Il sottosuolo dell'area destinata alla nuova Centrale è caratterizzato, nei metri superficiali, da una successione litologica costituita da intervalli a permeabilità media (limo sabbioso) e medio – alta (sabbia debolmente limosa); la superficie piezometrica si attesta indicativamente ad una soggiacenza variabile da 5,5 a 6,5 m di profondità dal piano campagna.

L'assenza di uno strato impermeabile superiore rende la falda superficiale vulnerabile a fenomeni di diffusione dei contaminanti; le investigazioni eseguite hanno evidenziato infatti la presenza nelle acque di falda di idrocarburi.

Sono stati inoltre identificati superamenti delle concentrazioni di riferimento per il terreno dovuti alla presenza di BTEX, Idrocarburi leggeri ed Idrocarburi pesanti.

La distribuzione dei contaminanti e le caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo, indicano che, durante il periodo di esercizio degli impianti in detta area (fino alla prima metà degli anni '80), verosimilmente i principali meccanismi di veicolazione dei contaminanti sono stati i seguenti:

- dispersioni da strutture e infrastrutture,
- migrazione attraverso infiltrazione superficiale nel mezzo insaturo di eventuali spill accidentali di sostanze utilizzate nei cicli produttivi.

L'oscillazione stagionale del livello freatico può essere considerata solo in parte causa di contaminazione e comunque limitata all'ultimo metro dell'insaturo e alla frangia capillare.

Alla luce dell'attuale conoscenza dello stato del sottosuolo non si ravvisa la necessità di introdurre eventuali sistemi di pompaggio delle acque di falda limitati alla sola area indagata.

Interventi di bonifica sul saturo dovranno invece essere valutati nell'ottica più ampia di un intervento sull'intera area della Raffineria.

4.2 Determinazione dei volumi di terreno contaminato

La determinazione dei volumi di terreno contaminato, ovvero dei volumi di terreno ove almeno un parametro tra quelli monitorati supera i limiti fissati dal D.M. 471/99 per la destinazione d'uso "commerciale e industriale", si basa sui rilievi analitici relativi alle indagini pregresse (marzo 2001) e sui campioni prelevati con i sondaggi attuali del dicembre 2005.

Per quanto concerne lo spessore contaminato, lungo ogni verticale dei sondaggi che rientrano nell'area contaminata, tutti i campioni considerati risultano eccedere i limiti di riferimento. Considerando le concentrazioni nello "spazio di testa", rilevate in campo tramite fotoionizzatore, potrebbero risultare esenti da contaminazione anche i livelli del primo metro dei materiali di copertura, in alcune porzioni dell'area investigata.

Per la stima dei volumi si è considerato di intervenire su tutto lo spessore di terreni/riporti compreso tra il p.c. e la superficie freatica.

A tal fine, anche se alla data dell'indagine, la superficie di falda è stata individuata ad una profondità di circa 6,0 m, per il presente studio si è stimato uno spessore saturo medio pari a 5 metri. Infatti è probabile che, in condizioni di maggiore piovosità, il livello di falda possa raggiungere quote più prossime al piano campagna (ad es. i rilievi del febbraio 2001 hanno evidenziato nel piezometro P15 una soggiacenza di 4,47 m).

Con tale ipotesi il volume totale di terreno contaminato, nel quale i valori di almeno uno parametri monitorati eccedono i limiti di riferimento previsti dal D.M. 471/99 per destinazione d'uso "commerciale e industriale", risulta essere pari a circa **15.000 m³**, incidendo su di una superficie di circa 3.000 m².

In particolare, nell'area indagata, la distribuzione areale della contaminazione risulta distribuita come nel seguito descritto.

- La contaminazione da BTEX appare collocarsi nella porzione centrale dell'area esaminata, lungo una direttrice N-NE – S-SW comprendente nell'ordine i sondaggi S72, P31, S101, S103 e P15. La superficie interessata dalla contaminazione per i BTEX corrisponde a circa 2.700 m² (Figura 7);
- La contaminazione da Idrocarburi leggeri (C<12) ed Idrocarburi pesanti (C>12) appare distribuita nel settore centro-orientale dell'area con la presenza di due propagazioni lungo le direzioni NE-SW e NNE-SSW, comprendente i sondaggi S72, P31, S101, S103 e S102. La superficie interessata dalla contaminazione corrisponde a circa 2.300 m² (Figura 8 e Figura 9).

SEZIONE 4. ANALISI DEL LIVELLI DI CONTAMINAZIONE

Nella tabella di seguito si presenta il dettaglio della stima dei volumi di terreno contaminato all'interno dell'orizzonte insaturo, eseguita tenendo conto delle aree identificate nelle Figure 7, 8 e 9.

Parametro analizzato	Valori di concentrazione di contaminante (mg/kg)	Superficie corrispondente (m ²)	Totale Superficie (arrot.) (m ²)	Spessore contaminato (m)	Volume (m ³)	Totale Volume (arrot.) (m ³)
BTEX	<100	956		5	4780	
	100-200	973		5	4865	
	200-300	338		5	1690	
	>300	405		5	2025	
				<u>2.700</u>		<u>13500</u>
IDROCARBURI leggeri C<12	250-1000	776		5	3880	
	1000-2000	610		5	3050	
	2000-3000	436		5	2180	
	3000-4000	324		5	1620	
	>4000	197		5	985	
				<u>2.300</u>		<u>11500</u>
IDROCARBURI pesanti C>12	750-10000	1325		5	6625	
	10000-20000	676		5	3380	
	>20000	342		5	1710	
				<u>2.300</u>		<u>11500</u>
TOTALE (considerando le sovrapposizioni tra le aree)			3.000 m²			15.000 m³

SEZIONE 5. INDICAZIONI PER LA BONIFICA DELL'INSATURO

In questa sezione vengono fornite le linee di intervento per la bonifica dell'insaturo nell'area destinata alla realizzazione della nuova Centrale, nell'ipotesi di operare in "stralcio" rispetto ad altri interventi ambientali eventualmente previsti per le restanti aree della Raffineria.

Le linee di intervento sono state definite considerando la tipologia di inquinanti rinvenuti nel sottosuolo, le caratteristiche litostratigrafiche dell'area nonché i volumi verosimilmente interessati dagli interventi.

La decontaminazione dei terreni si prefigge il raggiungimento di concentrazioni nei suoli uguali o inferiori ai valori limite previsti per i siti a destinazione industriale dal D.M. 471/99.

Laddove ciò risultasse non tecnicamente possibile o eccessivamente oneroso saranno raggiunte concentrazioni tali da non porre rischi potenziali ai recettori individuabili da un'approfondita analisi di rischio.

In base a quanto esposto e ad una analisi preliminare delle tecnologie (riportata in Allegato 7), si può ritenere applicabile:

- un intervento di scavo e smaltimento limitato ai primi metri del terreno insaturo o semplicemente alla parte interessata dalle opere di fondazione necessarie per il nuovo impianto (da p.c. fino a circa -2÷3 m da p.c.);
- ed un trattamento con tecniche in situ e/o on site di bioremediation da operare sulle porzioni sottostanti, prevalentemente sabbiose (da circa -2÷3 m fino a circa -5 m dal p.c.).

Per gli orizzonti sabbiosi posti da circa -2÷3 m fino a circa -5 m dal p.c., la presenza contemporanea di BTEX, Idrocarburi leggeri e Idrocarburi pesanti suggerisce l'utilizzo di tecnologie combinate volte a:

- lo strippaggio dei contaminanti volatili;
- e la stimolazione dei naturali processi di biodegradazione dei contaminanti.

Fra le tecnologie di bonifica del sottosuolo, la combinazione Soil Vapour Extraction – Bioventing è sicuramente una tra le più indicate per il recupero e la successiva biodegradazione dei contaminanti organici nella zona insatura.

La definizione della tecnologia ritenuta maggiormente efficace per il caso specifico nonché la dimostrazione che l'opera non sarà causa di ulteriore inquinamento e che non influirà con la propria struttura sull'andamento delle operazioni di bonifica dell'intera area Tamoil potrà in ogni caso essere definita solo con la progettazione Preliminare e Definitiva (ai sensi del DM 471/99) dell'intervento di bonifica.

FIGURE

TABELLE

ALLEGATO 1

STRATIGRAFIE

ALLEGATO 2

FOTOGRAFIE DELLE CASSETTE
CATALOGATRICI

ALLEGATO 3

**CERTIFICATI ANALITICI DI
LABORATORIO**

ALLEGATO 4

**VERBALE DELLA CONFERENZA
DI SERVIZI DEL 4 AGOSTO 2005**

ALLEGATO 5

**COPIA DEL VERBALE PER
L'ALLINEAMENTO CON ARPA
DELLE METODICHE
ANALITICHE**

ALLEGATO 6

**COPIA DEL PROTOCOLLO DI
CAMPIONAMENTO ARPA**

ALLEGATO 7

**DESCRIZIONE ED ANALISI
PRELIMINARE DI
APPLICABILITÀ DELLE
TECNOLOGIE DISPONIBILI ALLO
“STATO DELL’ARTE” PER LA
BONIFICA DELL’ORIZZONTE
INSATURO**

DESCRIZIONE DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA APPLICABILI NELLA ZONA INSATURA

La descrizione delle tecnologie tiene conto delle seguenti possibilità di applicazione:

- *in situ*, ossia senza rimuovere la matrice contaminata dalla sua attuale posizione;
- *on site*, cioè rimuovendo la matrice contaminata dalla sua attuale posizione per trattarla e riutilizzarla nel sito stesso;
- *ex situ*, cioè con asportazione e trasferimento della matrice contaminata all'esterno del sito e successivo trattamento o smaltimento.

Per ogni tecnologia presa in esame sono indicati i principali vantaggi e svantaggi ed è formulata una valutazione in merito all'applicabilità al caso in esame:

- Scavo e Smaltimento
- Landfarming (LF)
- Biopile (BP)
- Soil Washing
- Solidificazione/Stabilizzazione (S/S)
- Estrazione di Vapori dal Sottosuolo (SVE)
- Iniezione di vapore (Steam injection SI)
- Stimolazione biologica attraverso ventilazione in situ (BV o Bioventing)

Scavo e Smaltimento

I terreni contaminati possono, in certe condizioni, essere rimossi e trasportati *off-site* presso impianti autorizzati di smaltimento per permettere il loro trattamento.

L'asportazione dei terreni contaminati avviene di norma attraverso la realizzazione delle seguenti operazioni:

- scavo mediante escavatore (durante le operazioni di scavo viene realizzata una preliminare selezione in modo da consentire una separazione qualitativa delle frazioni con evidenze di contaminazione da quelle apparentemente inerti);
- stoccaggio in cumuli presso aree predisposte;
- caratterizzazione dei cumuli, realizzata mediante campionamento dei terreni e successiva caratterizzazione di laboratorio;
- carico dei terreni contaminati su autocarri, trasporto e smaltimento presso una struttura esterna autorizzata.

Dopo la verifica della qualità del fondo scavo si procede al ripristino delle condizioni originali del sito. I terreni provenienti dai cumuli eventualmente non contaminati potranno essere riutilizzati per il riempimento degli scavi. Il completo ritombamento e ripristino delle aree di scavo sarà realizzato mediante posa di inerti provenienti da cave di prestito.

Vantaggi della tecnologia proposta:

- seguendo opportune attenzioni operative e procedure di sicurezza, la procedura è di semplice realizzazione.

Svantaggi:

- possibile impatto sull'ambiente e sugli operatori durante le fasi di scavo, movimentazione e trasporto dei terreni contaminati.;
- necessita di interventi di stabilizzazione degli scavi in caso di profondità superiori ai 3 metri;
- l'applicazione risulta economicamente svantaggiosa.

Applicabilità della tecnologia al caso in oggetto: **appropriata.**

Landfarming (LF)

Il landfarming è un trattamento biologico che consiste nello stendere un terreno contaminato sopra un letto sabbioso, sistemando un manto impermeabile in HDPE al fondo dello stesso per proteggere il sottosuolo. Il terreno così disposto è periodicamente dissodato per garantire un efficace miscelazione fra microrganismi naturalmente presenti o naturalmente inoculati, l'ossigeno, i nutrienti e le sostanze contaminate.

Generalmente si introduce un sistema di drenaggio nello strato sabbioso per raccogliere il percolato che è ricircolato direttamente o dopo un eventuale trattamento.

Vantaggi della tecnologia proposta:

- paragonato ad altre tecnologie, il landfarming è un trattamento relativamente semplice.

Svantaggi:

- trattandosi di una tecnologia on-site, è possibile un impatto sull'ambiente e sugli operatori durante le fasi di scavo, movimentazione e trasporto dei terreni contaminati.;
- necessita di interventi di stabilizzazione degli scavi in caso di profondità superiori ai 3 metri;
- è strettamente dipendente dalle condizioni climatiche (quasi tutti i processi si bloccano sotto i 10°C), quindi è difficile stabilirne precisamente i tempi di realizzazione.

Applicabilità della tecnologia al caso in oggetto: **appropriata.**

Biopile (BP)

Un sistema di trattamento con biopila consiste nella stesura di strati successivi di terreno inquinato sopra un telo impermeabile di base e la loro successiva copertura con un altro telo, impermeabile o semi-permeabile; tra uno strato e l'altro viene interposto un sistema di tubi forati con il quale far circolare all'interno della pila i fluidi di degradazione.

Tali fluidi possono essere soltanto ossigeno o miscele degradative con acqua e nutrienti, che incrementano la capacità dei microrganismi presenti di abbattere le concentrazioni degli inquinanti. Per incrementare le prestazioni del sistema, in termini sia di riduzioni di inquinanti che di riduzione dei tempi di lavoro, può essere fatta circolare nella biopila anche aria o acqua calda.

Il percolato che si viene a produrre dal sistema è quindi recuperato e rilanciato nella pila fino all'abbattimento delle concentrazioni di inquinanti a livelli accettabili. Il sistema è controllato continuamente nei suoi parametri guida, quali il pH, la

temperatura, i nutrienti e l'aerazione.

Vantaggi della tecnologia proposta:

- può essere applicato a terreni contenenti elevate concentrazioni di idrocarburi ed ha un tempo di applicazione piuttosto breve.

Svantaggi:

- come i precedenti, necessita di scavo, movimentazione e trasporto dei terreni contaminati, per cui è possibile un impatto sull'ambiente e sugli operatori;
- necessita di interventi di stabilizzazione degli scavi in caso di profondità superiori ai 3 metri;
- l'applicazione risulta economicamente svantaggiosa.

Applicabilità della tecnologia al caso in oggetto: **appropriata.**

Soil Washing

È una tecnica di bonifica di tipo *on site* o *ex situ*. I terreni vengono rimossi e successivamente trattati mediante un processo di "lavaggio" che permette di estrarre i contaminanti adsorbiti nel terreno stesso. Il contaminante non viene trasformato o "distrutto", bensì unicamente trasferito dalla fase solida a quella liquida (lavaggio chimico). Nel caso di lavaggio fisico si tende a concentrare la contaminazione nella frazione fine.

Il soil washing è una tecnica di bonifica collaudata che consente di ottenere ottimi risultati soprattutto in caso di terreni a granulometria grossolana contaminati da sostanze inorganiche.

I **vantaggi** di questo metodo di bonifica sono i seguenti:

- può ridurre di molto il volume di materiale contaminato che necessita il trattamento di riduzione e stabilizzazione per lo smaltimento in discarica;
- il rendimento medio di rimozione dei contaminanti è compreso fra 80 e 90%;
- può essere recuperato e riutilizzato il materiale trattato (sabbie e ghiaie).

Gli **svantaggi** principali consistono in:

- necessità di ampi spazi per l'impianto e lo stoccaggio dei materiali;
- non è indicato per terreni con percentuale di terreno fine (< 0,06 mm) maggiore del 20%;
- possibile impatto sull'ambiente e sugli operatori durante le fasi di scavo e movimentazione dei terreni contaminati;
- necessità di interventi di stabilizzazione degli scavi in caso di profondità superiori ai 3 metri;
- i contaminanti non vengono distrutti ma solo trasferiti dalla fase solida alla fase liquida;
- l'acqua ed i fanghi risultanti dal lavaggio devono essere successivamente trattati.

Applicabilità della tecnologia al caso in oggetto: **non appropriata.**

Solidificazione / Stabilizzazione (S/S)

L'obiettivo dei processi di solidificazione/stabilizzazione, è di ridurre la mobilità dei contaminanti, prevenendo o limitando al minimo il loro trasferimento nell'ambiente.

Tale obiettivo viene conseguito riducendo la superficie disponibile per la percolazione mediante la creazione di una superficie solida compatta (solidificazione) e/o riducendo la solubilità del contaminante e la sua capacità di reagire chimicamente (stabilizzazione). I trattamenti di inertizzazione possono essere realizzati sia *in situ* che *ex situ*.

Queste tecnologie sono particolarmente adatte per i metalli, e sono tipicamente limitate a suolo con contenuto di materiale organico inferiore a 1%.

La solidificazione viene realizzata addizionando al terreno materiale legante quale cemento Portland, fly ash, calce e/o altro materiale pozzolanico. Il materiale legante reagisce chimicamente con i metalli contenuti nel suolo formando silicati insolubili ed idrati.

Nel processo *in situ*, il terreno viene miscelato con gli additivi durante la perforazione del terreno realizzata con trivelle che possono arrivare fino a 2 m di diametro. In questo modo il terreno viene smosso ed efficacemente miscelato con gli additivi. Per evitare la formazione di "aree morte", viene adottata la tecnica della sovrapposizione parziale delle perforazioni. E' possibile spingere questo metodo di trattamento fino a profondità massime pari a 20-30 m (in relazione alla tipologia di terreno). La solidificazione completa del terreno richiede un tempo di maturazione di circa 28 giorni.

Test di laboratorio e test pilota devono essere effettuati al fine di selezionare la più adeguata ed efficace miscela riducente/legante da addizionare nel sito contaminato.

La S/S *ex situ* è ormai una tecnologia consolidata mentre non sono ancora state realizzate molte applicazioni *in situ*.

Vantaggi dell' S/S *ex situ*:

- il contaminante viene trasformato e fissato in una forma meno reattiva e lisciviabile;
- relativamente economico;
- tecnologia collaudata.

Svantaggi della S/S *ex situ*:

- il contaminante a volte necessita di essere ridotto prima di essere trattato;
- si genera un volume maggiore di massa solidificata, quindi parte di questa massa deve essere necessariamente smaltita o avviata a qualche forma di riutilizzo;
- nel corso dell'effettuazione degli scavi devono essere adottate particolari attenzioni ed attrezzature al fine di evitare che polveri contenenti contaminanti vengano in contatto con l'atmosfera e quindi possano diventare una minaccia per la salute umana;
- la presenza di infrastrutture attive condiziona l'applicazione della tecnologia.
- poco adatto ai contaminanti organici.

Vantaggi dell' S/S *in situ*:

- il contaminante viene trasformato e fissato in una forma meno reattiva e lisciviabile;

- non richiede escavazione e rimozione di terreno;
- applicabile a siti con falda superficiale;
- S/S in situ è economicamente vantaggioso rispetto all'applicazione ex situ soprattutto per grandi volumi di terreno da trattare.

Svantaggi della S/S in situ:

- il contaminante a volte necessita di essere ridotto prima di essere trattato
- poco adatto ai contaminanti organici.

Applicabilità della tecnologia al caso in oggetto: **non appropriata.**

Estrazione di vapori dal sottosuolo (S.V.E. Soil Vapour Extraction)

La contaminazione riscontrata nei terreni e la presenza di prodotto residuo ed in fase surnatante, richiedono il recupero ed il trattamento dei vapori in fase gassosa.

Hiller e Gaudemann (1989) descrivono l'andamento delle concentrazioni dei contaminanti nel gas estratto durante un processo estrazioni di vapori dalla zona vadosa in tre fasi:

- **fase dominata dall'advezione:** il gas interstiziale saturo di contaminanti è facilmente estratto dai pori del terreno. Predominano quindi i fenomeni di advezione legati al trasporto tramite gas; l'elevata concentrazione di COV presente nel gas decresce rapidamente.
- **fase di transizione:** è caratterizzata da una concentrazione di contaminanti nel gas interstiziale estratto inferiore dell'80% rispetto al valore iniziale.
- **fase dominata dalla diffusione:** è caratterizzata dalla lenta diffusione dei contaminanti dai pori isolati e dalle zone stagnanti, dall'evaporazione della fase disciolta e dal deadsorbimento dalla fase solida.

Il Soil Vapour Extraction (SVE), è una tecnica in situ di rimozione fisica di contaminanti organici volatili dalla zona insatura del sottosuolo.

La tecnologia prevede, utilizzando un sistema di aspirazione dei gas, di creare nel sottosuolo una opportuna depressione, con il duplice scopo di diminuire la concentrazione di inquinanti contenuti in fase gassosa nell'insaturo e di volatilizzare i contaminanti presenti in fase adsorbita sulla matrice terreno, rendendoli disponibili a loro volta per essere estratti.

Oltre ai pozzi di estrazione dei vapori, l'impianto di ventilazione è costituito da pozzi di monitoraggio (nesty probes) e da eventuali pozzi di immissione di aria pulita, che hanno lo scopo di creare un ambiente aerobico per favorire la degradazione dei contaminanti.

L'aria estratta viene avviata a trattamento, solitamente costituito da filtri a carbone attivo o da combustori catalitici o termici (solo per concentrazioni di VOCs elevate).

Come già indicato in precedenza, la tecnologia SVE è principalmente applicabile ai composti organici volatili, cioè quelli che, alla temperatura del suolo, hanno una costante di Henry maggiore di $1,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{atm/mol}$ ed una pressione di vapore maggiore di 0,5 mm Hg.

I parametri di maggior importanza sono: la concentrazione di VOCs, la permeabilità del mezzo all'aria, la velocità di estrazione dell'aria, il raggio di influenza dei pozzi

di ventilazione, il numero dei pozzi necessari ed infine il dimensionamento della pompa per estrazione (blower).

La determinazione dei parametri di progetto è realizzata attraverso l'implementazione di un test pilota.

I principali **vantaggi** della tecnologia sono:

- Basso impatto sull'ambiente;
- consente una rapida bonifica della porzione insatura del sottosuolo, soprattutto per quanto concerne l'abbattimento delle concentrazioni di VOCs;
- favorisce la formazione di condizioni idonee alla biodegradazione da parte delle popolazioni batteriche indigene;
- la tecnologia viene applicata in situ, senza rimuovere il terreno;
- l'applicazione risulta poco costosa.

I principali **svantaggi** connessi all'applicazione di questa tecnologia sono:

- perdita di efficacia in terreni a bassa permeabilità ed elevato contenuto organico (alta capacità di adsorbimento dei contaminanti);
- i vapori estratti devono essere trattati on site (carboni attivi, ossidazione catalitico).

Il dimensionamento di un sistema di estrazione può essere condotto secondo due strategie:

- contenere e controllare i movimenti dei contaminanti organici nella zona insatura attraverso il calcolo del raggio di influenza (R_i);
- rimuovere le sostanze organiche inquinanti dalla zona vadosa sfruttando il concetto di "zona di recupero" (ZOR).

Il Raggio di Influenza si riferisce alla massima distanza dal pozzo di estrazione a cui è possibile indurre una depressione e perciò a cui è possibile creare un flusso di gas tale da incrementare la volatilizzazione dei contaminanti; il Raggio di Influenza è stimato estrapolando i dati di pressione e distanza durante il test pilota. Il raggio di influenza è influenzato da parametri come la portata di estrazione, la profondità dei pozzi, le condizioni al contorno, l'eterogeneità del terreno, la presenza di pozzi di iniezione e la permeabilità del suolo.

In generale il raggio di influenza aumenta all'aumentare della portata estratta, della profondità dei pozzi, della permeabilità del suolo, dell'anisotropia k_x (conducibilità all'aria orizzontale) e k_z (conducibilità all'aria verticale).

Applicabilità della tecnologia al caso in oggetto: **appropriata**.

Iniezione di vapore (Steam Injection S.I.)

Un metodo per il trattamento *in situ* per le sostanze che posseggono, a condizione ambiente, un basso valore di tensione di vapore è l'iniezione di vapore (*Steam Injection - SI*).

La Steam Injection è una tecnica di rimozione fisica che sfrutta la possibilità di volatilizzare le sostanze nel terreno mediante vapori caldi e la successiva mobilitazione fisica delle componenti più leggere nella fase gassosa tramite l'aspirazione forzata dei gas interstiziali nel sottosuolo.

Il riscaldamento della sostanza avviene insufflando vapore acqueo attraverso pozzi di iniezione e aspirando contemporaneamente i gas interstiziali da pozzi di

ventilazione prossimi a quelli di iniezione.

Vantaggi della tecnologia:

- consente una bonifica relativamente veloce della zona vadosa e della frangia capillare;
- l'innalzamento di temperatura favorisce comunque lo strippaggio dei volatili anche dalle porzioni sature;
- l'intervento è relativamente poco costoso se si dispone di un vettore di calore.
- la tecnologia viene applicata in situ, senza rimuovere il terreno;

Svantaggi:

- la tecnologia perde di efficacia in terreni a bassa permeabilità ed elevato contenuto organico (alta capacità di adsorbimento dei contaminanti);
- il rendimento di rimozione per i composti semivolatili si attesta intorno al 30 – 40%;
- i vapori estratti devono essere trattati on site (carboni attivi, ossidatore catalitico, etc.);

Le dinamiche dell'iniezione del vapore agiscono sostanzialmente sull'incremento di temperatura della zona interessata dall'iniezione.

Applicabilità della tecnologia al caso in oggetto: **appropriata.**

Stimolazione biologica attraverso ventilazione in situ (BV Bioventing)

Con il termine Bioventing viene indicata una tecnologia consolidata che sfrutta la naturale attività di biodegradazione dei composti organici stimolando, in situ, l'attività vitale dei microrganismi aerobici presenti nel sottosuolo.

Il sistema prevede l'apporto di ossigeno e nutrienti nel sottosuolo per innescare i processi di biodegradazione.

Tale tecnica è particolarmente indicata per la degradazione degli idrocarburi e la loro bonifica quando presenti in fase adsorbita sui terreni.

I parametri di maggior importanza necessari per la progettazione preliminare di un sistema di bonifica BV sono la definizione della presenza naturale di colonie di microrganismi aerobici e la garanzia che possano essere mantenuti in vita con un'adeguata aerazione del sottosuolo oppure mediante il dosaggio di idonei nutrienti. Per questo motivo occorre, da un lato misurare la permeabilità all'aria e il grado di saturazione dei terreni, dall'altro definire la temperatura, il pH (che deve essere compreso tra i valori 6 ed 8) e il contenuto di nutrienti (azoto e fosforo) ottimali per creare l'habitat di crescita per i microrganismi.

I principali **vantaggi** della tecnologia sono:

- poco impattante sull'ambiente circostante;
- l'applicazione risulta poco costosa;
- la tecnologia viene applicata in situ, senza rimuovere il terreno;
- consente di valutare la mobilità dei contaminanti.

Biodegradazione e volatilizzazione

La percentuale di contaminante biodegradata può essere quantificata, durante

l'attività estrattiva, con misure dirette delle concentrazioni di ossigeno e di biossido di carbonio mediante prove respirometriche e valutando il tasso di crescita dei microrganismi aerobici pre e dopo l'inizio della prova.

Applicabilità della tecnologia al caso in oggetto: **appropriata.**