

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 1 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**PROGETTO PRELIMINARE/DEFINITIVO DI BONIFICA ACQUE DI FALDA  
AREE POLIMERI EUROPA  
STABILIMENTO DI MANTOVA**

		Caselli			
		Luccarini			
0	Emissione	Sgrigna	Crestaz	Pellegrini	10/2005
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 2 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>5</b>
1.1	OGGETTO 5	
1.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
1.3	SISTEMA DI QUALITÀ .....	6
1.4	INQUADRAMENTO NORMATIVO .....	8
<b>2</b>	<b>SCOPO DEL LAVORO .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>ATTIVITA', METODOLOGIE E PROCEDURE .....</b>	<b>10</b>
3.1	SOFTWARE APPLICATO .....	11
<b>4</b>	<b>MODELLO CONCETTUALE DELL'AREA DI STUDIO .....</b>	<b>12</b>
4.1	INQUADRAMENTO GENERALE .....	12
4.2	RICOSTRUZIONE STORICA DELLE ATTIVITÀ SVOLTE .....	12
4.2.1	<i>Impianti attivi .....</i>	<i>13</i>
4.2.2	<i>Utility e cicli produttivi .....</i>	<i>13</i>
4.2.3	<i>Individuazione delle Aree omogenee .....</i>	<i>14</i>
4.3	ASSETTO MORFOLOGICO E LITO-STRATIGRAFICO .....	14
4.4	IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO .....	15
4.5	PIEZOMETRIE .....	16
4.6	ANALISI DEI LIVELLI DI INQUINAMENTO .....	16
4.6.1	<i>Inquadramento della contaminazione dei terreni .....</i>	<i>16</i>
4.6.2	<i>Inquadramento della contaminazione nelle acque sotterranee .....</i>	<i>17</i>
4.7	INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE D'ATTENZIONE PRIORITARIA .....	18
4.7.1	<i>Selezione dei contaminanti a massima criticità per le acque sotterranee .....</i>	<i>18</i>
4.7.2	<i>Zone d'attenzione prioritaria .....</i>	<i>18</i>
4.7.3	<i>Fonti potenziali della contaminazione .....</i>	<i>20</i>
4.7.4	<i>Percorsi potenziali della contaminazione .....</i>	<i>20</i>
4.7.5	<i>Bersagli potenziali e modalità di esposizione alla contaminazione .....</i>	<i>21</i>
<b>5</b>	<b>ANALISI STATISTICA DEI DATI DI QUALITÀ' DELLE ACQUE SOTTERRANEE .....</b>	<b>22</b>
5.1	PREMESSA22	
5.2	DATI DISPONIBILI .....	22
5.3	ANALISI SPAZIALE .....	25
<b>6</b>	<b>AZIONI DI MESSA IN SICUREZZA DI EMERGENZA .....</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>STRATEGIA DI BONIFICA DELLE ACQUE DI FALDA .....</b>	<b>35</b>
7.1.1	<i>Prima fase .....</i>	<i>35</i>
7.1.2	<i>Seconda fase .....</i>	<i>36</i>
7.2	OBIETTIVI FINALI DI BONIFICA .....	36
<b>8</b>	<b>SCREENING DELLE TECNOLOGIE POTENZIALMENTE APPLICABILI .....</b>	<b>37</b>
8.1	RECUPERO DELLA FASE LIBERA .....	37
8.2	BARRIERE REATTIVE .....	38
8.3	IN SITU <i>FLUSHING</i> .....	40
8.4	<i>AIR SPARGING</i> .....	43
8.5	<i>IN-WELL STRIPPING</i> .....	44
8.6	<i>BIOSPARGING</i> .....	48
8.7	<i>ENGINEERED BIOREMEDIATION</i> .....	50
8.8	TRATTAMENTI TERMICI .....	52
8.9	OSSIDAZIONE CHIMICA .....	54
8.10	RIDUZIONE CHIMICA IN SITU .....	57

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 3 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

<b>9</b>	<b>SELEZIONE DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA .....</b>	<b>59</b>
9.1	APPLICABILITÀ DELLE TECNOLOGIE .....	62
9.1.1	<i>Interventi in situ nelle aree contaminate da idrocarburi e BTEX</i> .....	62
9.1.2	<i>Interventi in situ nelle aree contaminate da alifatici clorurati</i> .....	64
9.1.3	<i>Interventi per le aree contaminate da Mercurio</i> .....	65
9.2	APPARATI E DIMENSIONAMENTI DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA .....	65
9.2.1	<i>In well stripping</i> .....	65
9.2.2	<i>Biosparging</i> .....	69
9.3	CONFIGURAZIONE DEGLI INTERVENTI NELLE ZONE DI ATTENZIONE PRIORITARIA .....	70
9.4	APPROFONDIMENTI CONOSCITIVI PER IL CORRETTO DIMENSIONAMENTO DEGLI INTERVENTI .....	71
9.4.1	<i>Prova Pilota di In Well Stripping</i> .....	71
9.5	COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DEGLI INTERVENTI .....	73
<b>10</b>	<b>STIMA DEI COSTI .....</b>	<b>74</b>
<b>11</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>76</b>

### INDICE DELLE FIGURE NEL TESTO

FIG. 5.1	- BENZENE, VALORI MASSIMI MISURATI NEL PERIODO IN ESAME (MG/L) .....	23
FIG. 5.2	- ISOPROPILBENZENE, VALORI MASSIMI MISURATI NEL PERIODO IN ESAME (MG/L) .....	24
FIG. 5.3	- SEPARAZIONE DEI DATI PER L'ANALISI DEL BENZENE: ZONA 1 (BLU), ZONA 2 (ROSSO) .....	26
FIG. 5.4	- BENZENE ZONA 1, SUPERFICIE DI SEMIVARIOGRAMMA ED ELLISSI DI RANGE (MIN->MAX BLU->ROSSO); LAG = 50 M, NUMERO LAG = 12 M. ....	27
FIG. 5.5	- BENZENE ZONA 1, SEMIVARIOGRAMMI DIREZIONALI (0°=NORD): (A) 34° (B) 124° .....	27
FIG. 5.6	- BENZENE ZONA 1, STIMA CON KRIGING ORDINARIO. ....	28
FIG. 5.7	- BENZENE ZONA 2: (A) DATI COMPLETI (B) DECLUSTERIZZAZIONE (C) DATASET RIDOTTO .....	30
FIG. 5.8	- BENZENE ZONA 2, SUPERFICIE DI SEMIVARIOGRAMMA ED ELLISSI DI RANGE (MIN->MAX BLU->ROSSO); LAG = 50 M, NUMERO LAG = 12 M. ....	30
FIG. 5.9	- BENZENE ZONA 2, SEMIVARIOGRAMMI DIREZIONALI: (A) 0° (B) 90° .....	30
FIG. 5.10	- BENZENE ZONA 2, DATASET RIDOTTO, STIMA CON KRIGING ORDINARIO .....	31
FIG. 5.11	- ISOPROPILBENZENE, SUPERFICIE DI SEMIVARIOGRAMMA ED ELLISSI DI RANGE; (A) LAG = 100 M, NUMERO LAG = 10 M (B) LAG=100 M, NUMERO LAG =9 M. ....	32
FIG. 5.12	- ISOPROPILBENZENE, DATASET RIDOTTO, STIMA CON KRIGING ORDINARIO (SCALA LOGARITMICA). ....	33
FIG. 8.1	- (SINISTRA) SCHEMATIZZAZIONE DEL FUNZIONAMENTO DI UNA PRB – (DESTRA) POSSIBILI CONFIGURAZIONI DELLE BARRIERE PERMEABILI REATTIVE. (A) FUNNEL AND GATE™; (B) BARRIERA PERMEABILE CONTINUA .....	39
FIG. 8.2	- SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DELL'IN SITU FLUSHING .....	40
FIG. 8.3	- SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA DI AIR SPARGING .....	43
FIG. 8.4	- SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DI UN SISTEMA IN WELL STRIPPING .....	44
FIG. 8.5	- SCHEMA DI COMPLETAMENTO DI UN POZZO DI IN WELL STRIPPING .....	45
FIG. 8.6	- STRUTTURA CHIMICA DEI CONTAMINANTI E LORO BIODEGRADAZIONE .....	48
FIG. 8.7	- SCHEMA DI UN SISTEMA DI BIOSPARGING .....	49
FIG. 9.1	- SCHEMA D'INTERVENTO PER LE AREE CONTAMINATE DA IDROCARBURI E BTEX .....	64
FIG. 9.2	- SCHEMA DI COMPLETAMENTO DI UN POZZO DI IN WELL STRIPPING .....	66
FIG. 9.3	- ANDAMENTO DEL FLUSSO DELLA FALDA NELL'INTORNO DI 2 POZZI UVB .....	67
FIG. 9.4	- GRAFICO PER IL DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA UVB .....	68

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 4 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### ANNESSE 1

- Fig. 1 - Ubicazione dei punti d'indagine e delimitazione delle aree omogenee
- Fig. 2 - Distribuzione della contaminazione da Idrocarburi Leggeri e Pesanti nei terreni (caratterizzazione 2002)
- Fig. 3 - Distribuzione della contaminazione da Idrocarburi Aromatici nei terreni (caratterizzazione 2002)
- Fig. 4 - Distribuzione della contaminazione da Mercurio nei terreni (caratterizzazione 2002)
- Fig. 5 - Carta della presenza di surnatante (febbraio 2004)
- Fig. 6 - Distribuzione della contaminazione da Idrocarburi Aromatici nelle acque (gennaio 2003)
- Fig. 7 - Distribuzione della contaminazione da Idrocarburi Aromatici nelle acque (febbraio 2004)
- Fig. 8 - Distribuzione della contaminazione da Idrocarburi Alifatici e Benzene nelle acque (gen 2003 e feb 2004)
- Fig. 9 - Distribuzione della contaminazione da Isopropilbenzene nelle acque (gen 2003 e feb 2004)
- Fig. 10 - Distribuzione della contaminazione da Alifatici Clorurati nelle acque (gen 2003 e feb 2004)
- Fig. 11 - Distribuzione della contaminazione da Ferro e Manganese nelle acque (gen 2003 e feb 2004)
- Fig. 12 - Delimitazione dei plumes individuati
- Fig. 13 - Ubicazione opere di recupero della fase libera
- Fig. 14 - Ubicazione interventi in area ST 20
- Fig. 15 - Ubicazione interventi in area Parco Sebatoi
- Fig. 16 - Ubicazione interventi nelle aree M e N
- Fig. 17 - Ubicazione interventi nelle aree H e C

### ANNESSE 2

Tav. 1 - Rilievo topografico.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 5 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 1 PREMESSA

### 1.1 Oggetto

Oggetto della presente relazione è la realizzazione di un piano preliminare di interventi da applicare alla situazione sito - specifica per raggiungere gli obiettivi di bonifica delle acque di falda e di riqualificazione territoriale dello stabilimento Polimeri Europa di Mantova, a breve, medio e lungo termine.

Il presente progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda della Polimeri Europa di Mantova è stato elaborato tenendo conto dei documenti di riferimento, di cui al successivo par. 1.2, nonché delle indicazioni ricevute durante l'incontro del 29 settembre 2005 presso il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio.

Il progetto è stato sviluppato con particolare attenzione per l'area su cui si realizzerà l'ampiamiento del Centro Ricerche, la cui costruzione non interferirà con le attività previste per la bonifica.

La scelta delle tecnologie di bonifica è stata operata tenendo conto, oltre che dei documenti di riferimento in par. 1.2, in particolare dei seguenti dati:

- dati dei terreni riportati nel documento "Piano di caratterizzazione ambientale Rev. 3.0" redatto da Foster Wheeler nel Febbraio 2002;
- dati dei terreni relativi alle attività di indagini integrative eseguite in ottemperanza alle prescrizioni del Ministero dell'Ambiente e del Territorio della C.d.S. Decisoria del 31/05/2004;
- dati relativi alle acque sotterranee, ottenuti durante le quattro campagne di monitoraggio svolte con la supervisione degli Enti di Controllo.

Eventuali variazioni progettuali potrebbero derivare dal fatto che:

- i dati relativi ai punti 2 non sono stati ancora validati;
- non è ancora stata programmata la quinta campagna di monitoraggio delle acque sotterranee prevista dalla Conferenza Decisoria del 14 giugno 2005.

### 1.2 Documenti di riferimento

Nell'esecuzione del presente studio si è fatto riferimento ai seguenti elaborati e/o documenti di riferimento:

- "Progetto di messa in sicurezza delle zone B ed I. Relazione geologica, idrogeologica e geotecnica", F. Colleselli, A. Dal Prà, 1992
- "Progetto d'intercettazione della falda in uscita dalla zona B lungo la fascia inquinata", F. Colleselli, A. Dal Prà, 1992
- "Sondaggi a carotaggio continuo a monte del Cavo San Giorgio e all'interno dello stabilimento", Rodio, 1993
- "Studio del processo di emergenza di solventi aromatici in sponda sinistra del canale Cavo San Giorgio presso lo stabilimento di Mantova", A. Dal Prà, 1994
- "Verifica della funzionalità degli interventi per la messa in sicurezza del "Cavo San Giorgio" al limite meridionale dello stabilimento Enichem di Mantova", A. Dal Prà, 1994

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 6 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

- “Caratterizzazione idrogeologica e qualitativa dell'area di stabilimento e ipotesi di interventi di messa in sicurezza”, Consorzio B.A.S.I., 1995
- “Esecuzione di uno studio basato sulla tecnica del Soil Gas Survey. Rapporto finale”, Consorzio Ecotherm per l'Ambiente, 1996
- “Indagine preliminare riguardante lo stato della falda locale a seguito di uno sversamento di acetone. Relazione tecnica descrittiva”, Consorzio Ecotherm per l'Ambiente, 1997
- “Parco serbatoi Acetone. Zona XXXI. Progettazione di una barriera idrodinamica”, Consorzio Ecotherm per l'Ambiente, 1997
- “Esecuzione di pozzi di sbarramento e piezometri presso lo stabilimento Enichem di Mantova”, Geotecnica Veneta, 1998
- “Indagine ambientale sull'area adiacente biologico”, SET SoPrA Subsoil Environment Technologies, 1998
- “Realizzazione di n.2 pozzi di emungimento. Impianti PR10 e ex PR1. Relazione tecnica finale” Consorzio Ecotherm per l'Ambiente, 1999
- “Enichem SpA stabilimento di Mantova. Caratterizzazione ambientale dell'area Collina”, SET SoPrA Subsoil Environment Technologies, 1999
- “ Sistema Dual Pump A304. Manuale operativo”, Water & Soil Remediation, 1999
- “Messa in sicurezza falda parco serbatoi. Realizzazione pozzi e Progettazione barriera idrodinamica”, Consorzio Ecotherm per l'Ambiente, 2000 - 2001
- “Progetto Preliminare per la bonifica dei terreni della zona XII. Relazione tecnica descrittiva”, Consorzio B.A.S.I., 2002
- “Realizzazione pozzi di emungimento area ST20 ed area ex CR. Relazione tecnica finale”, Consorzio B.A.S.I., 2003
- “Polimeri Europa Srl – Stabilimento di Mantova - Relazione tecnica descrittiva del piano per la caratterizzazione.”, Foster Wheeler Environmental Italia, 2003a
- “Nota tecnica con le valutazioni relative alle osservazioni ed indicazioni del verbale della conferenza dei servizi del 06/08/03”, Foster Wheeler Environmental Division, 2003b
- “Nota relativa alle attività propedeutiche alla parametrizzazione dell'acquifero. Comunicazione del Comune di Mantova del 03/12/03”, Foster Wheeler Environmental Division, 2004
- “Relazione sulla prova di emungimento preliminare eseguita sul pozzo DIS-F”, Aquater S.p.A., 2004

I riferimenti ai documenti sopra indicati sono riportati per completezza in bibliografia.

### 1.3 Sistema di qualità

Nell'ambito del sistema di qualità aziendale, certificato ai sensi dello standard UNI EN ISO 9001, le attività relative al presente studio sono state sviluppate seguendo il quadro definito nelle seguenti procedure operative ed istruzioni di lavoro:



- OPR 307: “Gestione integrata delle risorse idriche”;
- ILA 060: “Guida alla preparazione dei documenti tecnici”;
- ILA.IA.RIA.0039: “Raccolta dati e sopralluoghi su siti inquinati”;
- ILA.IA.RIA.0046: “Implementazione di modelli matematici deterministici in campo idrogeologico ed ambientale”.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 7 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### Acronimi

<b>BTEX</b>	<b>B</b> enzene <b>T</b> oluene <b>E</b> tilbenzene <b>X</b> ilene;
<b>DDC</b>	<b>D</b> ensity <b>D</b> riven <b>C</b> onvection
<b>DNAPL</b>	<b>D</b> ense <b>N</b> on <b>A</b> queous <b>P</b> hase <b>L</b> iquids;
<b>DTM</b>	<b>D</b> igital <b>T</b> errain <b>M</b> odel (Modello Digitale del Terreno);
<b>ESRI</b>	<b>E</b> nvironmental <b>S</b> ystems <b>R</b> esearch <b>I</b> nstitute;
<b>GAC</b>	<b>C</b> arbone <b>G</b> ranulato <b>A</b> ttivo
<b>GIS</b>	<b>G</b> eographical <b>I</b> nformation <b>S</b> ystem (Sistema Informativo Territoriale);
<b>ISCO</b>	<b>I</b> n <b>S</b> itu <b>C</b> hemical <b>O</b> xidation
<b>ISWS</b>	<b>I</b> n <b>S</b> itu <b>W</b> ell <b>S</b> tripping
<b>IWS</b>	<b>I</b> n <b>W</b> ell <b>S</b> tripping
<b>LNAPL</b>	<b>L</b> ight <b>N</b> on <b>A</b> queous <b>P</b> hase <b>L</b> iquid;
<b>MISE</b>	<b>M</b> essa <b>I</b> n <b>S</b> icurezza di <b>E</b> mergenza;
<b>MNA</b>	<b>M</b> onitored <b>N</b> atural <b>A</b> ttenuation;
<b>NOM</b>	<b>N</b> atural <b>O</b> rganic <b>M</b> aterial;
<b>NVOC</b>	<b>N</b> on <b>V</b> olatile <b>O</b> rganic <b>C</b> ompound
<b>ORC</b>	<b>O</b> xigen <b>R</b> elease <b>C</b> ompound
<b>PCE</b>	<b>P</b> er <b>C</b> loro <b>E</b> tilene
<b>PRB</b>	<b>P</b> ermeable <b>R</b> eactive <b>B</b> arriers (Barriere permeabili reattive);
<b>RDBMS</b>	<b>R</b> elational <b>D</b> ata <b>B</b> ase <b>M</b> anagement <b>S</b> ystem;
<b>SOD</b>	<b>S</b> oil <b>O</b> xidant <b>D</b> emand;
<b>SVE</b>	<b>S</b> oil <b>V</b> apour <b>E</b> xtraction;
<b>SVOC</b>	<b>S</b> emi <b>V</b> olatile <b>O</b> rganic <b>C</b> ompound
<b>TCE</b>	<b>T</b> etra <b>C</b> loro <b>E</b> tilene
<b>TOC</b>	<b>T</b> otal <b>O</b> rganic <b>C</b> ompound
<b>TPH</b>	<b>T</b> otal <b>P</b> etroleum <b>H</b> ydrocarbons;



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 8 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**UVB**                    **U**nterdruck **V**erdampfer **B**runnen (vacuum vaporizer well system);

**VOC**                    **V**olatile **O**rganic **C**ompounds.

#### 1.4 Inquadramento normativo

Nel redigere il presente piano operativo per la caratterizzazione delle aree in oggetto di studio si è fatto riferimento alla seguente Normativa:

- Decreto 3 Agosto 2005 “Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica”.
- D.M. 185/2003 “Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell’articolo 26, comma 2, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152”;
- D.M. 367/2003 “Regolamento concernente la fissazione di standard di qualità nell’ambiente acquatico per le sostanze pericolose, ai sensi dell’articolo 3, comma 4, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152”;
- Legge 93/2001 “Disposizioni in campo ambientale” (G.U. 4 Aprile 2001, n. 79);
- DM 468/2001 “Programma nazionale di bonifica e ripristino ambientale”, pubblicata nella Gazzetta n. 13 del 16 Gennaio 2002;
- DM 471/1999 “Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell’articolo 17 del Dlgs del 05.02.97, n. 22, e successive modifiche e integrazioni” Supplemento ordinario alla G.U. n. 218/L del 15.12.1999;
- DM 13 settembre 1999 “Approvazione dei Metodi ufficiali di analisi del suolo” Supplemento ordinario alla G.U. n. 185 del 21 ottobre 1999;
- Dlgs. 152/99 “Disposizioni sulla tutela delle acque dall’inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall’inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole”;
- DM 141/98 “Regolamento recante le norme per lo smaltimento in discarica dei rifiuti e per la catalogazione dei rifiuti pericolosi smaltiti in discarica”;
- Dlgs. 22/97 “Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggi” e sue successive modifiche ed integrazioni”;
- DPR 236/88 “Attuazione della direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell’art. 15 della legge 16 aprile 1987, n.183”;
- Deliberazione del 27.07.1984 del Comitato Interministeriale di cui all’Art. 5 del DPR 915/82: “Disposizioni per la prima applicazione dell’Art. 4 del DPR 915/82, concernente lo smaltimento dei rifiuti”.

Il riferimento legislativo di questo progetto è rappresentato dal Decreto Ministeriale n. 471 del 25 ottobre 1999.

Le concentrazioni limite indicate nel DM 471/99 sono state usate per valutare la qualità delle acque sotterranee del sito con lo scopo di fornire le indicazioni funzionali alle scelte progettuali.





 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 9 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 2 SCOPO DEL LAVORO

Scopo del lavoro è lo sviluppo di un Progetto Preliminare/Definitivo di Bonifica delle acque sotterranee secondo quanto previsto dal DM 471/99.

Le attività di bonifica della falda vanno considerate come opere mirate a mitigare e ridurre i problemi di contaminazione nelle aree individuabili come zone di prioritaria attenzione dagli studi di caratterizzazione eseguiti e dalle successive campagne di monitoraggio, tramite soluzioni che siano il meno "invasive" possibili, in modo da risultare compatibili con la prosecuzione delle attività produttive.

Come noto è già stato presentato nel 2003 e realizzato nel 2004 un Progetto di Messa in Sicurezza di Emergenza della falda basato sulla realizzazione di una serie di barriere pozzi di emungimento. I pozzi sono stati realizzati ad integrazione della barriera già attiva, la cui realizzazione è iniziata a partire dagli anni 90.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 10 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 3 ATTIVITA', METODOLOGIE E PROCEDURE

Lo studio in oggetto è stato sviluppato secondo le metodologie convenzionalmente adottate per l'esecuzione di progetti di bonifica per i siti contaminati, nel rispetto degli standard e delle normative vigenti in materia.

Le attività progettuali previste sono articolate in una serie di fasi distinte, riconducibili sostanzialmente a:

**Analisi bibliografica e revisione dei dati pregressi**

Si tiene conto dei dati bibliografici e di quelli raccolti nel corso delle attività precedenti (Piano di Caratterizzazione e successive integrazioni e le successive campagne di monitoraggio acque di falda), con particolare riferimento alle stratigrafie, alle sezioni stratigrafiche interpretative, ai risultati delle prove di portata, ai dati piezometrici, alle portate emunte ed ai dati di qualità.

**Organizzazione dei dati in ambito GIS**

I dati esistenti sono stati informatizzati e caricati su di un database di progetto che agisce da supporto per l'estrazione dei *subsets* di dati necessari alle successive elaborazioni. Il database è interfacciato con un sistema informativo territoriale (GIS) su piattaforma ESRI ArcView allo scopo di rappresentare i dati spazialmente, secondo livelli distinti, sulla base cartografica del sito. Il GIS è stato inoltre impiegato, insieme ad altri eventuali programmi di elaborazione, per la realizzazione della cartografia di progetto.

**Verifica del modello concettuale di riferimento con le seguenti finalità**

1. Analisi delle problematiche idrogeologiche
2. Analisi delle problematiche di qualità della matrice acqua e terreno con la verifica dei livelli di contaminazione riscontrati e mappatura dell'inquinamento
3. Individuazione degli elementi di criticità

**Screening delle possibili tecnologie adottabili**

Lo screening delle tecnologie adottabili comporta una rassegna dettagliata delle diverse alternative d'intervento applicabili alla situazione sito specifica (tipo d'inquinante, caratteristiche geologiche ed idrogeologiche, scala d'intervento), privilegiando dove possibile interventi in-situ al fine di limitare il quantitativo delle acque da smaltire.

Le informazioni raccolte in questa fase permettono di effettuare una valutazione su efficacia, tempistica (breve, medio o lungo termine) ed analisi qualitativa costi/benefici delle differenti tecnologie di bonifica anche in relazione agli interventi di messa in sicurezza già realizzati.

**Descrizione delle tecnologie selezionate come applicabili al sito**

Le tecnologie selezionate sono strutturate in modo tale da essere distinte in funzione dell'efficacia e della tempistica:

1. tecnologie applicabili a breve termine sulle sorgenti di contaminazione (presenza di fase surnatante e/o hot – spot);
2. tecnologie applicabili a medio termine (interventi sulla fase soluta);
3. tecnologie applicabili a lungo termine (interventi di accelerazione della bonifica).

Si definisce l'ubicazione ed il numero delle aree d'intervento in funzione dell'estensione della contaminazione e dell'eventuale presenza, nelle immediate vicinanze di altri sistemi di recupero/bonifica.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 11 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 3.1 Software applicato

Per lo sviluppo dello studio è stato applicato il seguente software:

- testi: Microsoft Word 97
- tabelle e grafici: Microsoft Excel 97
- regionalizzazione: Surfer 7.0
- GIS: ArcGIS 8.1 con estensione Spatial Analyst
- sistema di modellazione: Feflow 5.1

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 12 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 4 MODELLO CONCETTUALE DELL'AREA DI STUDIO

### 4.1 Inquadramento generale

L'area sede dello Stabilimento è situata nella pianura alluvionale del Fiume Mincio, a SudEst dell'abitato di Mantova. Lo Stabilimento si trova in località Frassine, ed è ubicato interamente nel territorio comunale di Mantova. L'insediamento industriale è strutturato su 38 zone produttive, delimitate da 16 strade principali per una lunghezza complessiva di 15 km e si sviluppa su un'area di circa 125 ha, delimitata:

- a Nord, dalla Ferrovia Mantova - Padova;
- ad Est, dal Canale Diversivo del Mincio;
- ad Ovest e a Sud dal Fiume Mincio.

### 4.2 Ricostruzione storica delle attività svolte

La costruzione dello Stabilimento Petrolchimico risale al 1956 e nel corso del tempo si sono succeduti diversi proprietari. Lo Stabilimento produceva inizialmente, attraverso quattro cicli distinti integrati:

- soda caustica e cloro;
- etilene, propilene e butene;
- etilbenzolo, stirolo e materie plastiche da esso derivate;
- fenolo, acetone, intermedi per detergenza e fibre.

Le materie prime fondamentali utilizzate nei processi produttivi erano salgemma, virgin nafta, benzolo e cumene.

A partire dagli anni Settanta, è iniziato un processo di ammodernamento degli impianti ed una graduale cessazione di attività di alcuni cicli produttivi, come riassunto nella tabella seguente: il cloro-soda (CS), l'anidride maleica (PA5), il cracking, alcuni impianti di stirolo monomero (ST1, ST3) e di polistirolo a ciclo discontinuo (ST5, ST8-10, ST9) sostituiti da altri a ciclo continuo, l'impianto di produzione di alchilato detergente (PR5/A), il dicloroetano (DL1), il PR1 (produzione tetramero) e l'unità di purificazione benzolo (CR12).

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 13 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Impianto/processo	Data di dismissione
cloro-soda	1991
anidride maleica (PA5)	1992
Cracking	1982
Impianti di stirolo monomero (ST1, ST3)	1980-1990
impianti di polistirolo a ciclo discontinuo (ST5, ST8, ST9, ST10)	1980-1990
DL1	1991
CR12	1991
PR5/A	1997
PR1	1982

*Tabella 4.1: Cicli produttivi dismessi*

Attualmente nello Stabilimento di Mantova sono operative le società Polimeri Europa (divisioni stirenici ed intermedi), EniPower, SOL e SYNDIAL.

#### 4.2.1 Impianti attivi

Polimeri Europa è presente con gli impianti di produzione, le utilities e le aree destinate allo stoccaggio, a far data da Gennaio 2002 (cessione del relativo ramo d'azienda da parte di EniChem S.p.A.). Le materie prime in entrata sono etilene, benzene, cumene, acrilonitrile e gomma. Le vie di approvvigionamento sono costituite da pipelines, ferrovia, strada e fiume.

I prodotti in uscita sono stirolo, polistirolo, idrogenati (cicloesano, cicloesano), alchilfenoli, fenolo ed acetone. Le vie di trasferimento all'esterno, dei prodotti finiti, sono costituite da ferrovia, strada e fiume.

#### 4.2.2 Utility e cicli produttivi

Nello Stabilimento sono presenti i seguenti servizi:

- impianto d'acqua demineralizzata;
- acqua di raffreddamento;
- centrali termoelettriche (EniPower);
- impianto biologico a fanghi aerobici;
- forno inceneritore;
- frazionamento aria (SOL).

I cicli produttivi di Polimeri Europa sono:

- ciclo produttivo stirolo monomero: vengono utilizzate come materie prime l'etilene e il benzolo, che vengono trasformati prima in etilbenzolo e quindi in stirolo monomero;
- ciclo produttivo polistirolo: vengono utilizzate come materie prime stirolo monomero autoprodotta, acrilonitrile e gomma, che vengono trasformati in polistiroli di vario tipo<sup>1</sup>;

<sup>1</sup> Tipi di polistirolo: polistirene cristallo, antiurto, espandibile, copolimeri SAN, termopolimeri ABS.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 14 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

- ciclo produttivo intermedi: utilizza come materie prime cumene, olefine e idrogeno, che vengono trasformati in fenolo, acetone ed altri intermedi.

#### 4.2.3 Individuazione delle Aree omogenee

Lo Stabilimento è stato suddiviso, in accordo con gli Enti pubblici competenti, per Aree omogenee, come indicato nel documento "Piano di Caratterizzazione ambientale Rev. 3.0", redatto da FWIENV nel Febbraio 2002 ed approvato con Atto Comunale Prot. 5780/2002 del 11 Marzo 2002. La scelta di definire delle Aree omogenee all'interno dello Stabilimento è stata eseguita sulla base della tipologia di insediamento e di attività produttive/dismesse presenti, al fine di ubicare in maniera ragionata i punti di indagine previsti (sondaggi, piezometri, scavi, saggi superficiali) e di consentire pertanto la definizione dell'effettivo stato ambientale delle aree in oggetto. Tuttavia si deve precisare che ogni Area omogenea non va intesa come un sistema con caratteristiche litologiche, stratigrafiche, idrogeologiche e di inquinamento uniformi all'interno del suo perimetro.

La proprietà di Polimeri Europa è limitata alle aree elencate nel seguito:

- C: Produzione intermedi;
- E: ex impianto Clorosoda;
- H: ex Cracking;
- I: produzione polistiroli;
- K: produzione stirolo monomero;
- L: Uffici e magazzini;
- M: Inceneritore e zona B+I;
- N: Impianto biologico;
- O2: Aree non interessate dalla presenza di impianti/infrastrutture;
- P: Parco serbatoi;
- R2: Vasche emergenza oleosa;
- S2: Darsena;
- V: Zona "Valletta" Cavo San Giorgio;
- X: Canale Sisma.

#### 4.3 Assetto morfologico e lito-stratigrafico

L'area di stabilimento si trova nella piana alluvionale del Fiume Mincio, a cavallo di un terrazzo morfologico, ed è caratterizzata dalla presenza di depositi continentali costituiti da terreni sedimentari di deposizione fluviale con presenza di sabbie intercalate a livelli fini quali limi, argille e torbe.

La topografia dell'area di stabilimento si mostra abbastanza omogenea e subpianeggiante, con quote comprese tra i 22-23 m s.l.m. nella zona settentrionale e i 14-15 m s.l.m. nel settore meridionale (Annesso 2, Tav.1). L'elemento morfologico più importante dell'area di studio è proprio la presenza della scarpata erosionale del Fiume Mincio che determina la drastica riduzione delle quote del piano campagna nell'area meridionale dello stabilimento.

Le informazioni sulle caratteristiche lito-stratigrafiche dell'area in esame provengono dalle numerose attività di perforazione eseguite (pozzi, piezometri e sondaggi) e da una serie di sezioni stratigrafiche interpretative acquisite dai lavori precedenti.

Le principali caratteristiche lito-stratigrafiche della sequenza stratigrafica del sito in esame sono riportate qui di seguito:

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 15 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

- Terreni di riporto, prevalentemente nella parte meridionale dello stabilimento (aree M, N e V, parte sud dell'area P) cioè nelle zone poste in corrispondenza della scarpata erosionale del Mincio, oggetto di attività di livellamento negli anni 50'/60'.
- Presenza di uno strato di limi argillosi e sabbiosi con torbe e resti fossili, caratterizzato da una riduzione della permeabilità verso il basso, dovuta all'aumento del tenore d'argilla in prossimità della base, da una distribuzione spaziale non sempre continua lateralmente, da una notevole variabilità degli spessori e dalla presenza di un acquifero superficiale in continuità idraulica con i terreni di riporto.
- Presenza di uno strato costituito da sabbie abbastanza eterogenee dal punto di vista granulometrico e con locali intercalazioni o lenti più fini. Questo livello è anche la sede dell'acquifero principale.
- Presenza di uno strato argilloso che separa l'acquifero principale da quello profondo, presente con continuità su tutta l'area di stabilimento e caratterizzato da un ispessimento a valle del Canale Sisma.

#### 4.4 Idrologia ed Idrogeologia dell'area di studio

Da un punto di vista idrologico/idrogeologico va rilevata la particolare complessità ambientale dell'area in esame, in relazione alla presenza di grossi sistemi di canalizzazione.

I principali elementi idrografici sono:

- Fiume Mincio, rappresenta il livello di base per la falda acquifera principale;
- Canale Diversivo Mincio;
- Canale di Presa;
- Cavo San Giorgio;
- Canale Sisma.

Il sistema acquifero si caratterizza per l'esistenza di tre orizzonti acquiferi principali, che consentono la distinzione, nell'ordine dall'alto della sequenza:

- superficiale o sospeso. Si tratta di orizzonti superficiali, costituiti da terreni eterogenei di riporto a granulometria argilloso-limosa e talvolta sabbioso-limosa, ove si riscontrano locali accumuli idrici sotterranei discontinui (denominati, per comodità, seppur impropriamente, falda superficiale o sospesa), legati alla variabilità stagionale degli afflussi meteorici. La falda superficiale non presenta caratteristiche di apprezzabile continuità, limitandosi ad aree circoscritte dello Stabilimento, più permeabili e spesso prive di flussi significativi.
- principale. Si tratta di un acquifero presente su tutta l'area di studio e costituito da sabbie da medie a fini, debolmente limose, a volte anche grossolane e con presenza di locali livelletti o lenti limoso-argillose, con spessori complessivi variabili nell'ordine dei 10-20 m. Tale acquifero risulta chiaramente limitato alla base da un acquitardo continuo e di spessore apprezzabile, che di fatto costituisce un'efficace protezione naturale dell'acquifero profondo da eventuali impatti ascrivibili ad attività dello Stabilimento. La falda principale, il cui livello piezometrico si colloca a profondità dal piano campagna variabili nell'ordine dei 4-8 m, è l'oggetto del presente studio.



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 16 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

- profondo. Si tratta di un sistema costituito da sabbie medie, ad una profondità compresa indicativamente tra 60 e 80 m dal piano campagna, protetto dall'acquitrando soprastante.

L'acquifero principale ha uno spessore che varia da valori superiori ai 20 m, nel settore Nord dello stabilimento, a valori dell'ordine dei 10 m in prossimità del confine meridionale. In quest'area dove la potenza della formazione si riduce, la falda è in pressione in quanto parzialmente confinata.

#### 4.5 Piezometrie

I dati piezometrici disponibili sono numerosi e distribuiti su un ampio intervallo temporale che va dal 1990 fino ad oggi. Tali dati, già oggetto di verifica in precedenti rapporti, hanno consentito di ricostruire l'andamento del deflusso della falda principale in differenti condizioni, rappresentative delle influenze dovute alle variazioni dei livelli delle acque nei canali e della variabilità delle portate emunte dalle barriere idrauliche.

Da questa analisi emerge che:

- Le piezometrie precedenti al 1994 mostrano un generale allineamento con l'andamento piezometrico a scala regionale che tende a defluire da NE a SO; dal Canale Diversivo verso il Canale Sisma fino a raggiungere il Fiume Mincio. E' inoltre evidente il ruolo alimentante del Canale Diversivo, caratterizzato da livelli stimabili nell'ordine dei 18 m s.l.m. ed il presumibile ruolo drenante del canale Sisma.
- Le piezometrie successive al 1994 mostrano un deflusso della falda principale più articolato ed una riduzione sia dei valori piezometrici che dei gradienti piezometrici dovuta alla riduzione della circolazione idrica sotterranea.

#### 4.6 Analisi dei livelli di inquinamento

Il contenuto di questo capitolo riguarda l'analisi dei livelli di inquinamento nell'acquifero d'interesse e nei terreni. I dati analitici utilizzati sono quelli rilevati durante le indagini per la stesura del piano di caratterizzazione e successiva integrazione, e quelli acquisiti nelle quattro campagne di monitoraggio delle acque di falda.

##### 4.6.1 Inquadramento della contaminazione dei terreni

###### COMPOSTI ORGANICI

L'analisi dei campioni di terreno prelevati durante la campagna di caratterizzazione, evidenzia superamenti relativi agli Idrocarburi leggeri ( $C < 12$ ) localizzati nelle aree C, H, M ed N; gli Idrocarburi pesanti ( $C > 12$ ), invece, presentano le maggiori eccedenze in corrispondenza delle aree P, R<sub>2</sub> ed N (Fig. 2 – Annesso 1).

Per quanto riguarda gli Idrocarburi Aromatici (BTEXS), si riscontrano eccedenze nelle Aree omogenee H, L, K ed M; il Benzene presenta eccedenze anche in area N e l'Etilbenzene anche in Area V e R<sub>2</sub> (Fig. 3 – Annesso 1).

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 17 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

#### COMPOSTI INORGANICI

Dall'analisi dei campioni di terreno prelevati, si rileva che le eccedenze per i Metalli sono limitate ai parametri Mercurio, Arsenico e Vanadio.

Le eccedenze più significative sono localizzate, per quanto riguarda il Mercurio (Fig. 4 – Annesso 1) ed il Vanadio nell'area N.

L'Arsenico è stato riscontrato con valori eccedenti i limiti in un unico punto nell'Area K (SD456), alla profondità di 30,50 m da p.c. in uno strato di torba. Se ne ipotizza la presenza in concentrazioni naturalmente elevate nel sottosuolo dell'area, in corrispondenza degli strati di torba, così come confermato dai risultati analitici sulle acque (a tal proposito esistono diversi studi idrogeologici relativi all'area in oggetto, ad esempio la "Relazione sullo stato dell'ambiente" dell'Agenda 21 Locale del Comune di Mantova - Assessorato Ambiente del Dicembre 2001).

#### 4.6.2 Inquadramento della contaminazione nelle acque sotterranee

Il monitoraggio delle acque di falda presso lo Stabilimento di Mantova ha previsto l'esecuzione di 4 campagne coordinate dal Comune e dall'Arpa di Mantova, sull'intero sito di interesse nazionale, rispettivamente nei mesi di Gennaio 2003, Giugno 2003, Ottobre 2003 e Febbraio 2004. Tali monitoraggi hanno contemplato l'esecuzione di campionamenti e analisi in corrispondenza di n. 67 piezometri.

Dall'analisi dei dati si osserva che i superamenti dei limiti della normativa di riferimento sono principalmente imputabili a:

- Metalli**
- Idrocarburi Aromatici** quali Benzene, Etilbenzene, Toluene, Stirene e p-Xilene ed **Idrocarburi totali.**
- Composti Alifatici Clorurati cancerogeni**

Osservando i dati dell'ultima campagna di monitoraggio la presenza di prodotto in fase separata (Fig. 5 – Annesso 1) è stata rilevata nei piezometri/pozzi DIS1, DISC, DISG, DISH, PS1, 7, 3, PRP1, PIPE2 che è stato prelevato e sottoposto ad analisi merceologica.

Da un esame dei dati analitici, si può desumere che nei campioni di prodotto prelevati in corrispondenza dei piezometri DIS1, DISC, e 3 prevalgono le frazioni idrocarburee leggere, mentre nei restanti piezometri DISG, PS1, e DISH prevalgono le frazioni medie e pesanti.

In sintesi analizzando complessivamente i dati relativi alle indagini di caratterizzazione ed alle successive campagne di monitoraggio (Luglio 2003, Ottobre 2003 e Febbraio 2004), si evidenzia una differente distribuzione spaziale dei contaminanti in esame:

- Idrocarburi Aromatici ed Idrocarburi Totali**, presentano la stessa distribuzione spaziale sia nel 2003 che nel 2004 e può essere ricondotta a due aree d'interesse, una con livelli di concentrazione massimi in corrispondenza dei punti 6, 42 e PSG7, l'altra in prossimità delle barriere pozzi che si trovano a monte del Canale Sisma (Figg. da 6 a 9 – Annesso 1). Come risulta dall'analisi della distribuzione areale delle non conformità nei piezometri (Cfr § 4.7), è stato possibile individuare delle zone ben distinte dello Stabilimento con le maggiori passività a carico delle acque di falda, in particolare l'Area omogenea P, nella zona SE dello Stabilimento, all'interno del Parco Serbatoi e le Aree omogenee K e L, nella zona NO dello Stabilimento, a

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 18 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

valle degli impianti produttivi. Si fa inoltre notare che i superamenti rilevati per il Toluene nei piezometri 28 e 18 sono stati rilevati nell'unica campagna del gennaio 2003.

- **Composti Alifatici Clorurati cancerogeni**, nel 2003 risultano presenti su tutta l'area d'interesse e presentano le concentrazioni massime nei piezometri 6 e SD149C mentre nel 2004 la distribuzione spaziale risulta fortemente cambiata in quanto si evidenzia la notevole riduzione dei contaminanti presenti nel sito tanto da risultare localizzata in soli 9 punti (45, CS5, SD149C, SD149A, SG5, 6, CS2, CS3 e Z) con concentrazioni massime nei piezometri SD149A e SD149 C (Fig. 10 – Annesso 1).

La presenza di tali sostanze trova una sua spiegazione nella relazione del Comune di Mantova, a firma dei consulenti Tunesi e Zangheri, a commento delle campagne di monitoraggio della falda, dove si dichiara che l'origine della contaminazione è dovuta a perdite in siti industriali a Nord dello Stabilimento Polimeri Europa.

- **Metalli**, quali Ferro, Manganese e Arsenico, che mostrano una distribuzione spaziale molto estesa che interessa quasi tutti i punti monitorati sia nel 2003 che nel 2004 (Fig. 11 – Annesso 1). Tali composti inorganici sono di probabile origine geologica, come affermato nella relazione del Comune di Mantova a firma dei consulenti Tunesi e Zangheri, a commento delle 4 campagne di monitoraggio. Fa eccezione il Mercurio che è stato rilevato nelle Aree omogenee K ed E (ex-Clorosoda) e nell'Area P in corrispondenza di zone in cui la contaminazione da mercurio interessa anche il terreno.

La distribuzione indicata trova ulteriori elementi di conferma nell'analisi statistico-spaziale di cui al capitolo 5.

## 4.7 Individuazione delle zone d'attenzione prioritaria

### 4.7.1 Selezione dei contaminanti a massima criticità per le acque sotterranee

In relazione alle campagne analitiche prese in esame emerge una situazione di contaminazione dell'acquifero principale dovuta alla presenza di composti Organici Aromatici (BTEX, Stirene, Isopropilbenzene) ed Idrocarburi, localizzati in aree distinte dello Stabilimento, nonché dalla presenza diffusa di metalli come il Ferro e Manganese e dalla presenza in alcune aree localizzate di Mercurio ed Alifatici Clorurati.

### 4.7.2 Zone d'attenzione prioritaria

In base alla distribuzione dei dati di qualità delle acque, analizzati nell'ultima campagna di monitoraggio, del Febbraio 2004, si può ipotizzare l'esistenza di differenti zone di attenzione prioritaria, come descritto di seguito:

- **Nell'Area K, L e V** è possibile individuare una prima zona di attenzione prioritaria in relazione alla contaminazione da BTEX ed Idrocarburi.

La contaminazione presenta un orientamento NE-SO (Fig. 12 – Annesso 1), a partire dall'area in prossimità della Zona IX (piezometro 6) fino ad arrivare alla barriera pozzi presente in zona Valletta. La presenza di tale plume sembra essere concorde con i livelli di concentrazione rilevati nei terreni per i BTEX, in particolare per la presenza di un picco di concentrazione del benzene in corrispondenza del sondaggio SD085 anch'esso ubicato nella Zona IX. L'individuazione di questo primo plume sembrerebbe confermata dalle concentrazioni degli idrocarburi nelle acque,

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 19 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

che non mostrano superamenti nei limiti di legge a Nord e a NE della Zona IX ed a Sud della strada D. Un ulteriore elemento che tende a confermare l'esistenza del plume in esame è la presenza di surnatante (frazione idrocarburica leggera) nei piezometri 3 ed SG6, posti uno in prossimità dell'area individuata come probabile sorgente di contaminazione e uno nella zona di richiamo (barriera idraulica) posta a valle del plume.

- **Nell'Area H ed I** è stata individuata un'ulteriore zona di attenzione prioritaria, in relazione alla contaminazione da BTEX ed Idrocarburi, ubicata nelle immediate vicinanze della zona XXI. La contaminazione individuata sembra avere un orientamento NNE-SSO (Fig. 12 – Annesso 1), a partire dall'area in prossimità della Zona XXI (piezometro SD072) fino ad arrivare alla barriera pozzi presente a monte del canale Sisma. La presenza del plume in oggetto sembra essere concorde con i livelli di concentrazione rilevati nei terreni per i BTEX, in particolare per la presenza di un fuori limite di benzene in corrispondenza del sondaggio SD237. La separazione tra questo secondo plume ed il precedente è messa in evidenza dalle concentrazioni di idrocarburi nelle acque, che non mostrano superamenti nei limiti di legge a Nord della strada D (a monte dell'area in esame) e dalla presenza di un picco di concentrazione in idrocarburi leggeri nei terreni sempre in corrispondenza del sondaggio SD237. Un'ulteriore conferma nell'individuazione di questo secondo plume è data dalla presenza del superamento dei limiti di legge in Isopropilbenzene, contaminante che potrebbe essere legato alle attività svolte nell'area (Ex- *Cracking*).
- **Nell'Area P** si evidenzia la presenza di una terza zona di attenzione prioritaria in relazione alla contaminazione da BTEX nelle acque ed Idrocarburi nei terreni e nelle acque. Tale zona è ubicata nelle immediate vicinanze delle Zone XXVIII e XXX. In questo caso l'orientamento della contaminazione ha una direzione NE-SO (Fig. 12 – Annesso 1), a partire dall'area in prossimità delle zone citate (piezometri DIS16 e P1-418) fino ad arrivare alla barriera pozzi presente a monte del canale Sisma. La presenza del plume in oggetto sembra essere concorde con i livelli di concentrazione rilevati nei terreni per gli Idrocarburi Totali (SD060). Il plume individuato potrebbe essere messo in relazione a perdite anteriori al 1990 in corrispondenza dello stoccaggio 418.
- **Nella parte Sud dell'Area P confinante con l'Area R<sub>2</sub>** si evidenzia la presenza di una zona di attenzione prioritaria per i terreni in relazione alla contaminazione da BTEX ed Idrocarburi totali. Nella falda si rilevano superamenti per i BTEX con un picco massimo nel punto D2 che risulta contaminato anche da Idrocarburi. E' stata inoltre evidenziata in questa area la presenza di surnatante, nei piezometri DIS-G e D caratterizzati dalla presenza di prodotti con di frazioni idrocarburiche pesanti.
- **Nelle Aree omogenee M ed N** è stata evidenziata un'altra zona di attenzione prioritaria in relazione alla contaminazione da Benzene, Etilbenzene e Toluene nelle acque di falda. Tale zona è ubicata nelle immediate vicinanze delle Zone XXXVI e XXXVII (Fig. 12 – Annesso 1). La contaminazione è localizzata in prossimità dei piezometri BP.

Nell'Area omogenea E è stata evidenziata la presenza di mercurio. In questo caso non è possibile evidenziare un plume, poiché la contaminazione delle acque è limitata al solo piezometro CS5. La presenza di mercurio nelle acque è probabilmente dovuta alla contaminazione rilevata nei terreni in corrispondenza dell'ex impianto Cloro-Soda.

Anche nel caso dei composti alifatici clorurati non si evidenzia la presenza di un plume. I superamenti sono localizzati in area E, K, L e V per un totale di soli 9 punti.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 20 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

#### 4.7.3 Fonti potenziali della contaminazione

Le aree individuate come fonti potenziali di contaminazione sono riportate di seguito:

- Area K** (impianto di produzione Stirolo monomero). In quest'area si trovano le concentrazioni più elevate per i BTEX nelle acque e nei terreni che ben si correlano con le attività pregresse (produzione di Stirolo Monomero) svolte nelle aree in oggetto.
- Area H** (Ex *Cracking*). Presenta le concentrazioni più elevate di idrocarburi nelle acque e nei terreni e di Isopropilbenzene (Cumene) nelle acque probabilmente ascrivibile al ciclo produttivo presente in passato;
- Area P** (Stoccaggio prodotti). La contaminazione nell'area P è dovuta a perdite anteriori al 1990 dai cunicoli della zona di scarico ferrocisterne, dal collettore oleoso di strada 5 e, per quanto riguarda la pipeline, da fuoriuscite accidentali di prodotti (si cita in particolare, la perdita di Benzene dell'Aprile 1999).
- Aree P ed R<sub>2</sub>** (Stoccaggi prodotti). In queste aree è stata rilevata una contaminazione diffusa nei terreni per la presenza di idrocarburi ed è stata rilevata la presenza di surnatante in falda. La fonte della contaminazione potrebbe essere in questo caso legata alla presenza di terreno di riporto.

In generale i parametri principali che controllano la distribuzione ed il movimento degli inquinanti nel sottosuolo sono:

- permeabilità dei terreni attraversati;
- porosità dei medesimi;
- viscosità del prodotto;
- capacità di assorbimento del terreno;
- condizioni geomorfologiche ed idrogeologiche.

Per il sito in oggetto, i principali percorsi di migrazione della contaminazione sono in particolare:

- rilascio degli inquinanti dal suolo e percolazione nelle acque di falda;
- trasporto avvertivo di sostanze disciolte e prodotto surnatante da parte delle acque di falda.

Si osserva tuttavia che le condizioni riscontrate a livello stratigrafico ed idrogeologico non consentono di individuare dinamiche di diffusione univoche sull'intero sito, ma piuttosto articolate da una zona all'altra in funzione degli emungimenti in atto.

#### 4.7.4 Percorsi potenziali della contaminazione

Considerate le principali sostanze inquinanti e le potenziali fonti di contaminazione si evidenzia che la migrazione delle sostanze inquinanti, in relazione alla tipologia e le caratteristiche chimico-fisiche, avviene prevalentemente attraverso le seguenti fasi:

- adsorbimento nello spessore insaturo e percolazione attraverso le acque meteoriche negli strati più profondi;

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 21 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

- contatto con l'acqua di falda attraverso il movimento verticale (dipendente dalle oscillazioni della falda) e galleggiamento sulla tavola d'acqua dei LNAPL;
- attraversamento verticale dell'acquifero fino a livelli a bassa permeabilità dei DNAPL ed uno spostamento orizzontale, che segue l'andamento della superficie della base dell'acquifero stesso.

In generale in relazione alle caratteristiche di solubilità, di densità e dei quantitativi per i composti organici rilasciati, la migrazione segue una direzione principalmente orizzontale che ha come ultimo recapito le barriere idrauliche in funzione .

#### 4.7.5 Bersagli potenziali e modalità di esposizione alla contaminazione

Sulla base delle caratteristiche principali delle sostanze inquinanti e dei loro percorsi nell'ambiente sopra descritti, i potenziali bersagli della contaminazione possono essere così considerati:

- non sussiste la possibilità d'esposizione diretta (contatto diretto e/o ingestione di acque sotterranee contaminate) di popolazioni residenziali ai potenziali inquinanti presenti nelle acque sotterranee in quanto le aree oggetto di studio sono ubicate all'interno dell'insediamento industriale e non vi sono pozzi idropotabili in emungimento; allo stesso modo sono limitati i pericoli d'esposizione diretta per personale operante sul sito, in quanto l'area di Stabilimento è in gran parte pavimentata e la falda ha una soggiacenza di circa 8 m da p.c.;
- recettori ambientali bersaglio della contaminazione sono i sistemi di canalizzazione presenti nel sito ed attualmente protetti dalle barriere idrauliche in funzione.



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 22 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 5 ANALISI STATISTICA DEI DATI DI QUALITÀ' DELLE ACQUE SOTTERRANEE

### 5.1 Premessa

L'ipotesi di fondo è che la diffusione degli inquinanti possa essere utilizzata come tracciante della direzione di flusso delle acque sotterranee. Di conseguenza, l'analisi dei dati di qualità delle acque con metodi di statistica spaziale può fornire utili elementi a sostegno/critica delle piezometrie e contribuire così a chiarire alcuni aspetti del modello concettuale dell'area.

E' importante comunque precisare che le elaborazioni descritte in questo capitolo sono basate sui tutti i dati di concentrazione degli inquinanti (indipendentemente dai limiti di legge), senza considerare direttamente o indirettamente le informazioni derivanti dalle misure piezometriche.

### 5.2 Dati disponibili

Dall'insieme dei parametri rilevati, considerando sia le caratteristiche chimiche che il livello di diffusione nel sito, sono stati scelti i seguenti:

- Benzene;
- Isopropilbenzene.

Gli Idrocarburi totali, altro potenziale parametro di interesse, non sono stati considerati in quanto:

- sono stati rilevati su un numero relativamente ridotto di punti (61 contro 237),
- hanno una distribuzione molto simile al benzene (correlazione = 0,89).

Data la frammentazione spazio-temporale delle misure disponibili, per ottenere una serie di dati ben distribuita e rappresentativa della situazione attuale è stato considerato per ogni punto di prelievo il valore massimo registrato nel periodo in esame (Figg. 5.1 e 5.2).



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 23 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

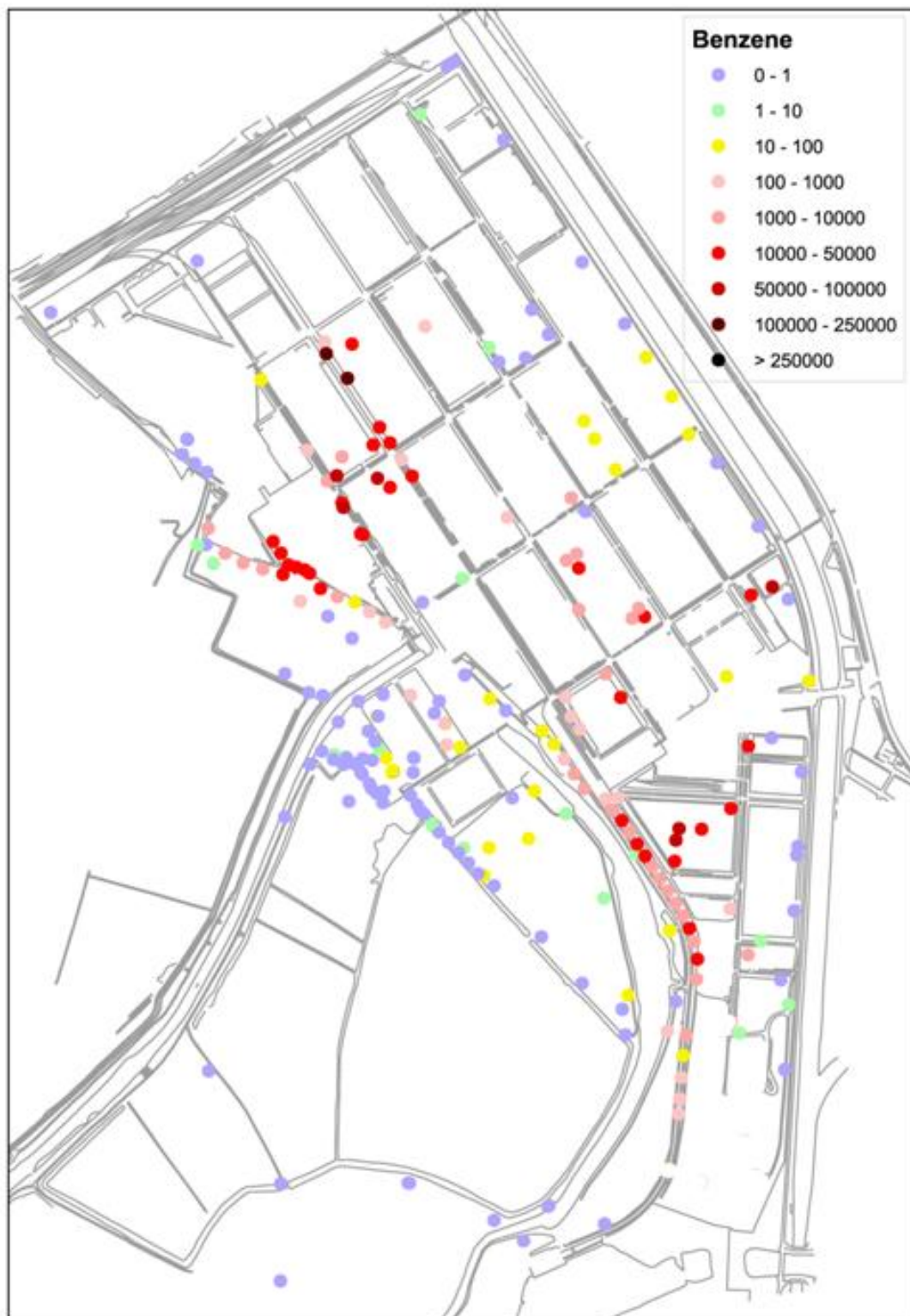


Fig. 5.1 - Benzene, valori massimi misurati nel periodo in esame (µg/l)

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 24 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

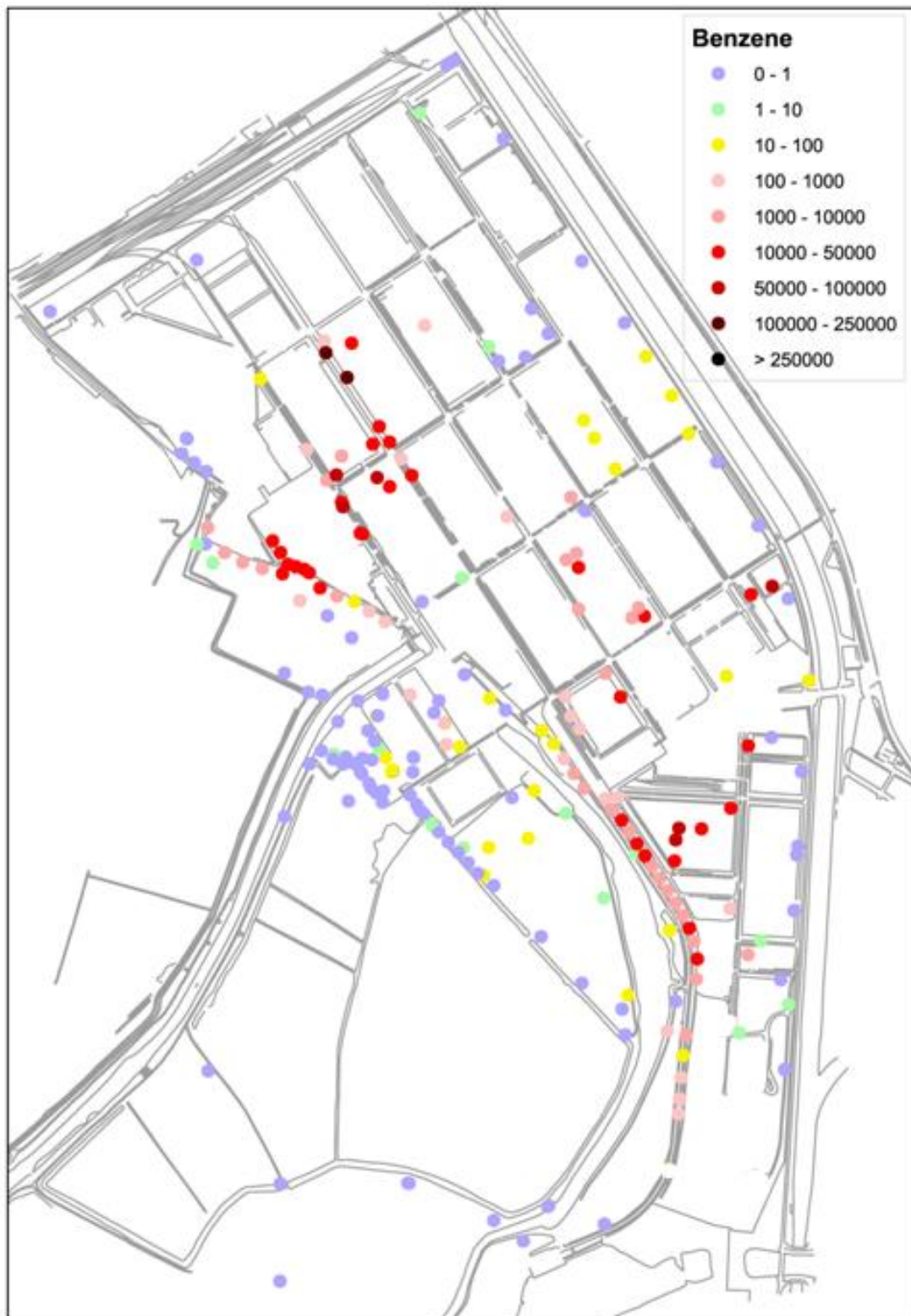


Fig. 5.2 - Isopropilbenzene, valori massimi misurati nel periodo in esame ( $\mu\text{g/l}$ )

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 25 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 5.3 Analisi spaziale

Il principale strumento per lo studio delle caratteristiche spaziali di una serie di dati è il semivariogramma, ovvero la misura della variabilità al variare della distanza. Di particolare interesse in questo caso è anche l'analisi dei semivariogrammi direzionali, in grado di evidenziare l'eventuale presenza di anisotropia, ovvero di una dipendenza della variabilità non solo dalla distanza ma anche dalla direzione.

In tutti i casi, data la forte asimmetria distributiva delle misure di concentrazione, prima di effettuare l'analisi è stata applicata ai dati la trasformata logaritmica. Tale trasformata, pur presentando ancora scostamenti dalla distribuzione gaussiana nelle code (in quella sinistra i dati risentono del problema non eliminabile della soglia minima fissata nell'analisi chimica), è da ritenersi sufficiente a raggiungere l'obiettivo di stabilizzare la varianza. Essa rappresenta la migliore scelta nell'ambito delle usuali trasformazioni (*Box-Cox*), mentre non è stato ritenuto opportuno prendere in considerazione trasformate più complesse che si basano sull'utilizzo diretto di una densità ricavata dai dati campionari, della quale sarebbe peraltro necessario avere una stima affidabile.

#### Benzene

Osservando la distribuzione spaziale dei dati (Fig. 5.1), sono evidenti aree distinte con punti ad elevata concentrazione. Per eliminare le possibili perturbazioni sull'individuazione delle componenti direzionali sono state quindi definite due zone da analizzare separatamente (Fig. 5.3).

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 26 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

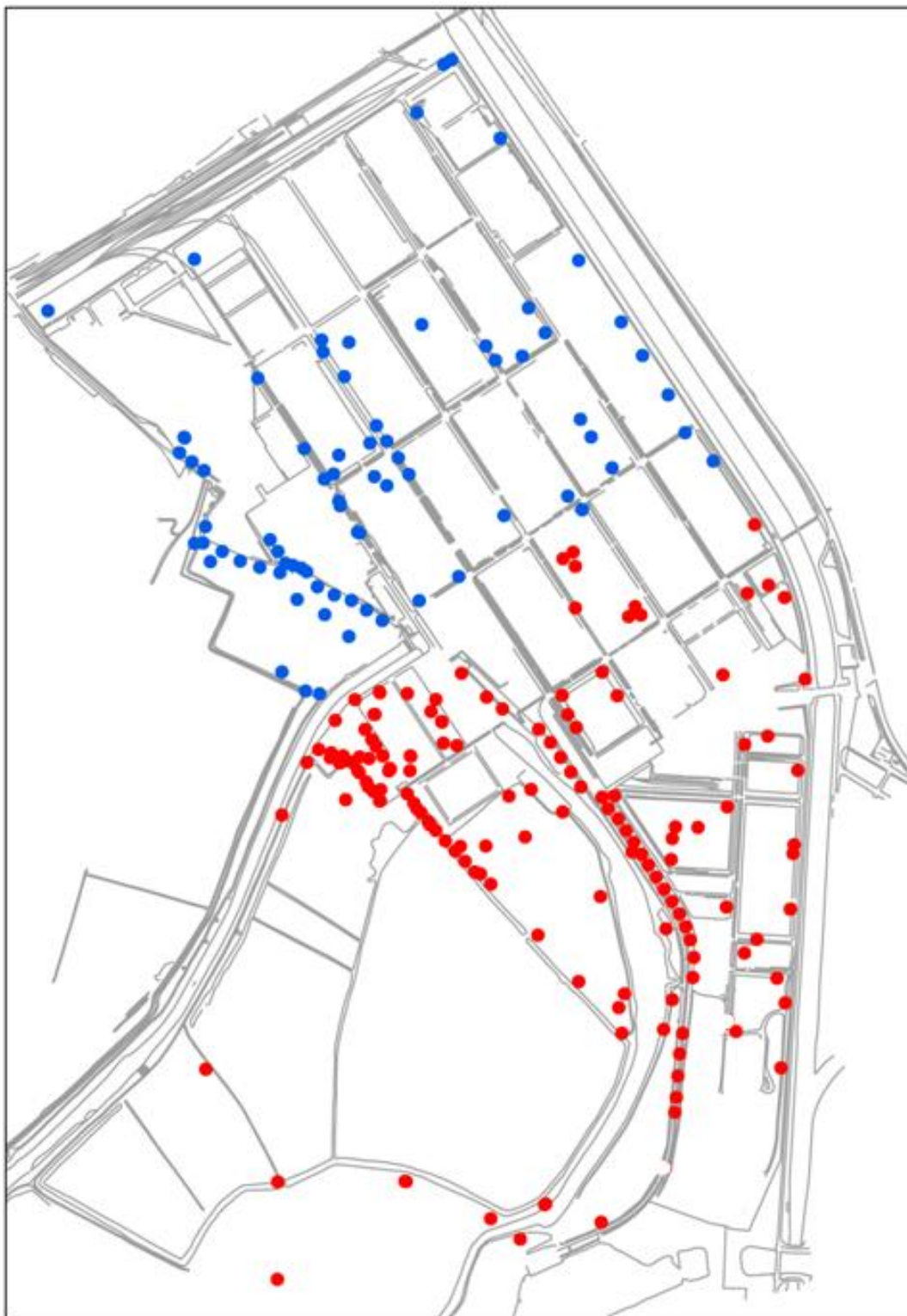


Fig. 5.3 - Separazione dei dati per l'analisi del Benzene: Zona 1 (blu), Zona 2 (rosso).



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 27 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

La superficie che sintetizza i semivariogrammi direzionali (Fig. 5.4, 5.5) evidenzia la presenza di anisotropia:

- entro certi limiti, a parità di distanza la varianza lungo la direttrice nord-est <-> sud-ovest è inferiore rispetto a quella in direzione ortogonale;
- a distanze maggiori si hanno varianze elevate anche in questa direzione in quanto si confrontano i dati “puliti” all’estremità nord del sito con i massimi nell’area sorgente;
- il *range* del modello di semivariogramma è un’ellissi con asse principale orientato a 34° e rapporto tra gli assi uguale circa a 2.

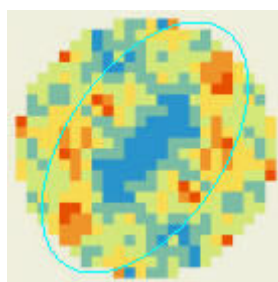


Fig. 5.4 - Benzene zona 1, superficie di semivariogramma ed ellissi di range (min->max blu->rosso); lag = 50 m, numero lag = 12 m.

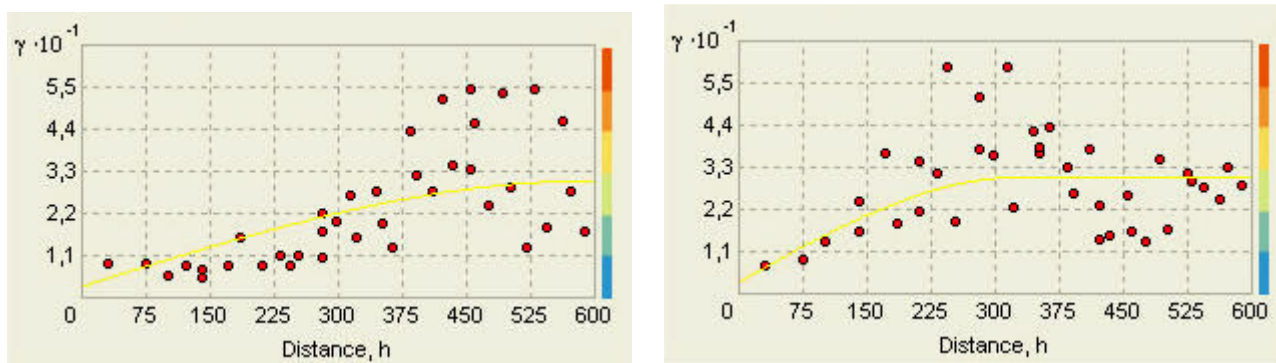


Fig. 5.5 - Benzene zona 1, semivariogrammi direzionali (0°=nord): (a) 34° (b) 124°

Utilizzando questo modello della variabilità spaziale si può stimare la distribuzione della concentrazione di benzene con il metodo del *kriging* ordinario (Fig. 5.6).

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 28 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

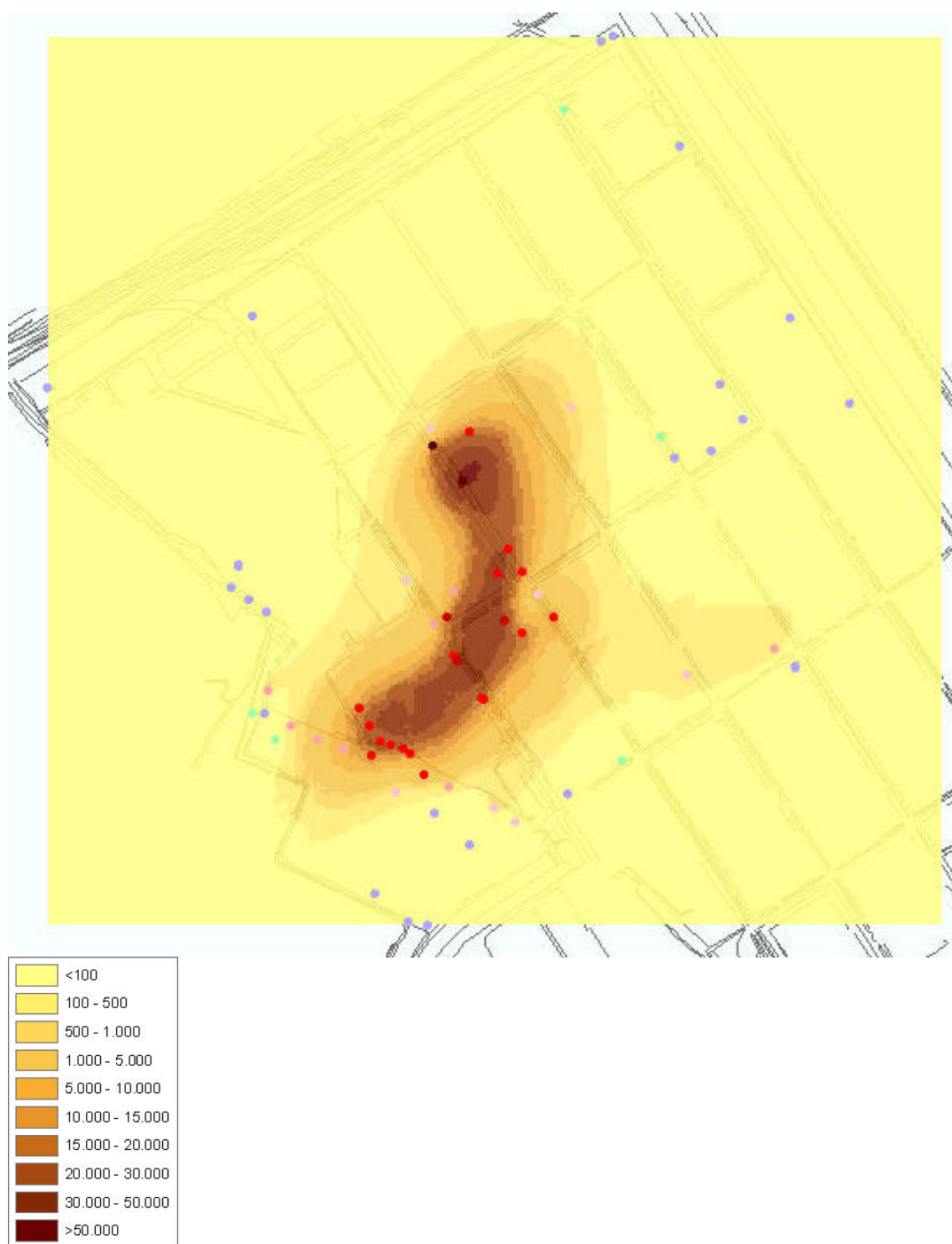


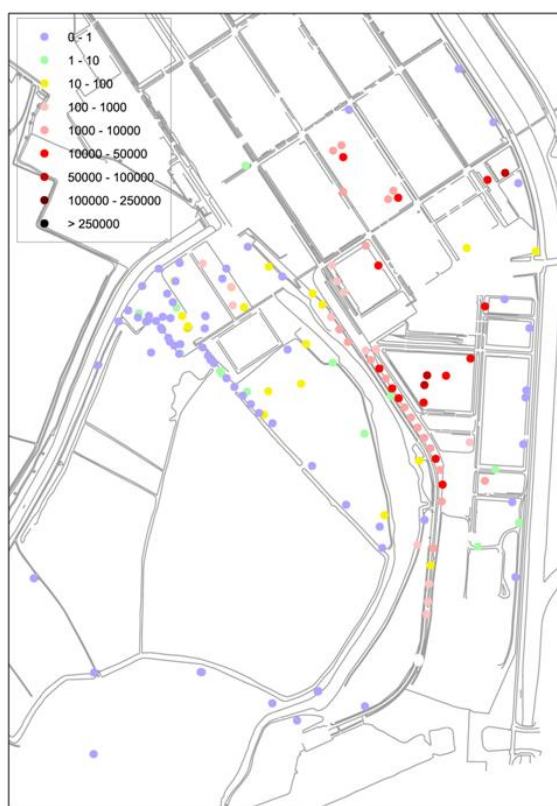
Fig. 5.6 - Benzene zona1, stima con kriging ordinario.

Per quanto riguarda la Zona 2 (parte centro-sud del sito), la struttura di variabilità spaziale è risultata fortemente influenzata dai punti di misura posizionati lungo le barriere (Fig. 5.7a).

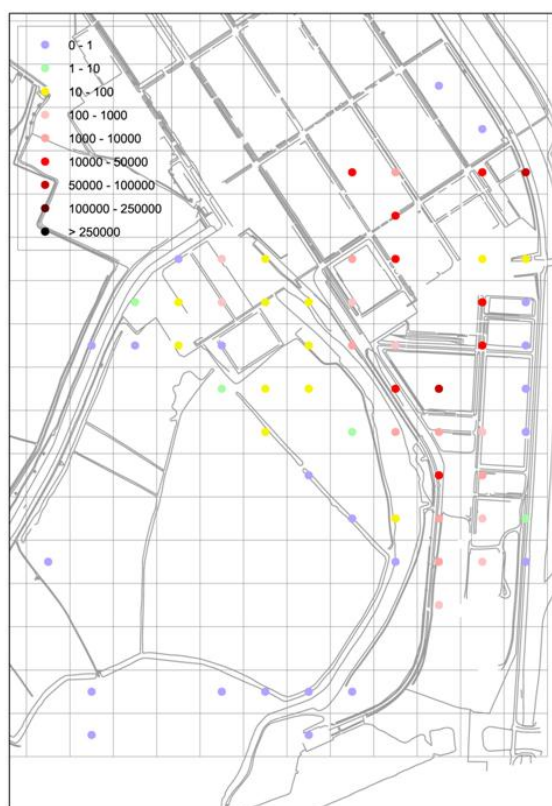
 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 29 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Il tentativo di limitarne l'effetto declusterizzando i dati (sovrapposizione di una griglia quadrata di lato 100 metri, sintesi del dataset considerando un solo valore per cella, Fig. 5.7b) non ha avuto effetti apprezzabili.

Per questo si è scelto di escludere dall'analisi tutti i punti sulle barriere e a valle di esse (Fig. 5.7c). Sono stati scartati anche altri due dati "anomali" in prossimità del Canale Diversivo: sono gli unici punti in cui si riscontrano valori elevati sia di benzene che di isopropilbenzene (nel complesso i due parametri hanno correlazione prossima a 0), per cui è lecito ipotizzare che i valori dipendano dall'azione attrattiva di pozzi in emungimento.



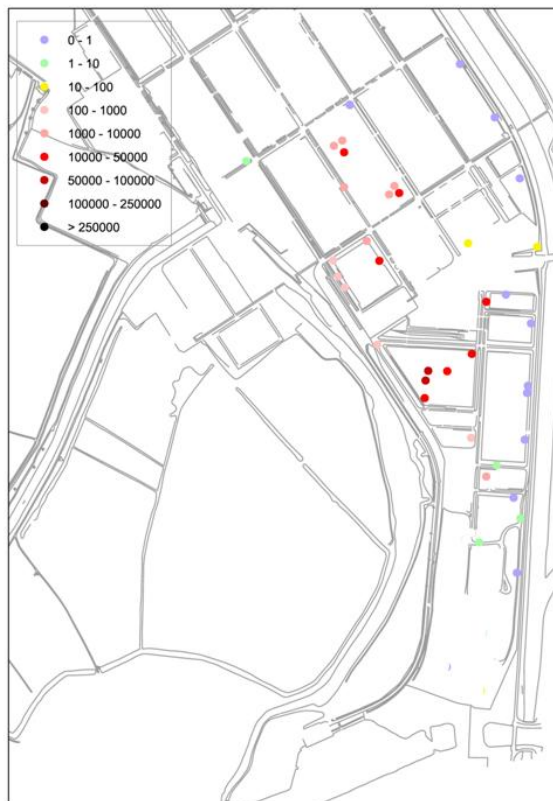
(a)



(b)



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 30 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>



(c)

Fig. 5.7 - Benzene Zona 2: (a) dati completi (b) declusterizzazione (c) dataset ridotto

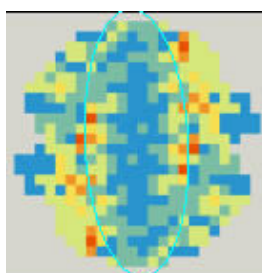


Fig. 5.8 - Benzene zona 2, superficie di semivariogramma ed ellissi di range (min->max blu->rosso); lag = 50 m, numero lag = 12 m.

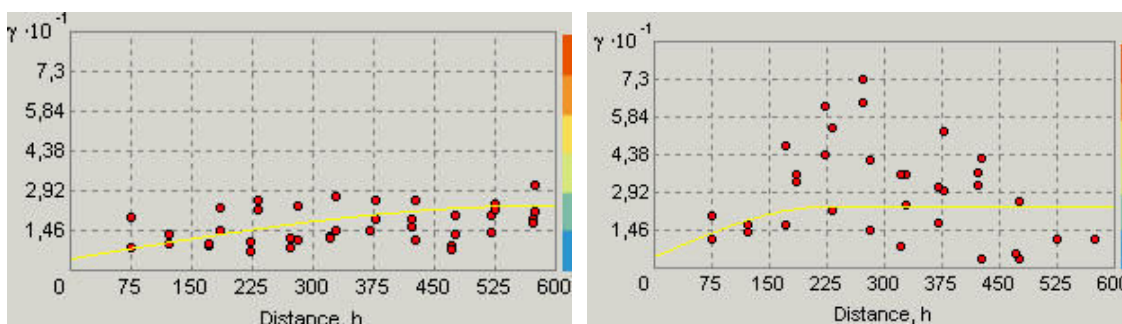


Fig. 5.9 - Benzene zona 2, semivariogrammi direzionali: (a) 0° (b) 90°

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 31 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

L'analisi dei variogrammi evidenzia anisotropia, con asse principale dell'ellissi di range in direzione nord-sud (Fig. 5.8, 5.9).

Anche in questo caso è possibile stimare la distribuzione della concentrazione di benzene con il metodo del *kriging* ordinario (Fig. 5.10). A differenza di quanto accade per la Zona 1, dove tutti i dati disponibili sono stati considerati, tale mappa risente dalle scelte fatte nella riduzione del *dataset*.

In particolare le difficoltà incontrate nella modellazione della variabilità spaziale suggeriscono la possibile presenza di più componenti direzionali che non è possibile individuare e separare a questa scala di analisi.

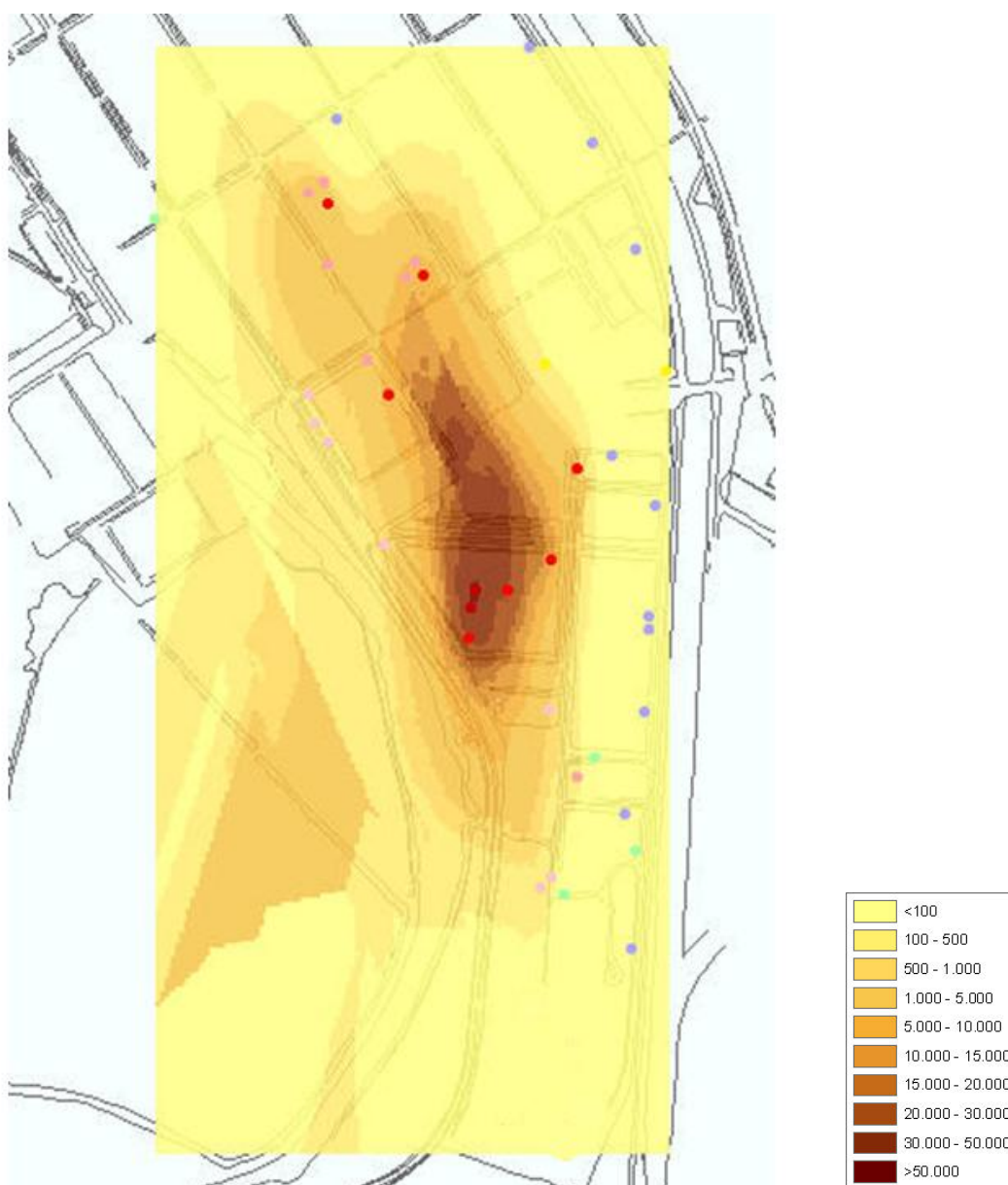


Fig. 5.10 - Benzene Zona 2, dataset ridotto, stima con kriging ordinario.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 32 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### Isopropilbenzene

Anche nel caso dell'Isopropilbenzene, pur non dovendo separare il sito in più zone, è stato necessario passare all'analisi di un *dataset* ridotto, ottenuto applicando gli stessi criteri di esclusione descritti in precedenza (punti su barriere e a valle di esse, due dati anomali).

L'analisi di variografia evidenzia una componente di anisotropia piuttosto instabile: forma e orientamento dell'ellissi di *range* variano al variare dell'estensione dell'area di ricerca (Fig. 5.11).

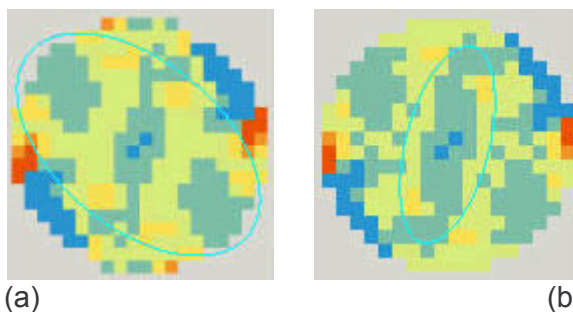


Fig. 5.11 - Isopropilbenzene, superficie di semivariogramma ed ellissi di range; (a) lag = 100 m, numero lag = 10 m (b) lag=100 m, numero lag =9 m.

Pertanto la stima di una superficie di concentrazione con il metodo del *kriging* (Fig. 5.12), già affetta dalle scelte fatte nella riduzione del *dataset*, è da considerare come puramente indicativa.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 33 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

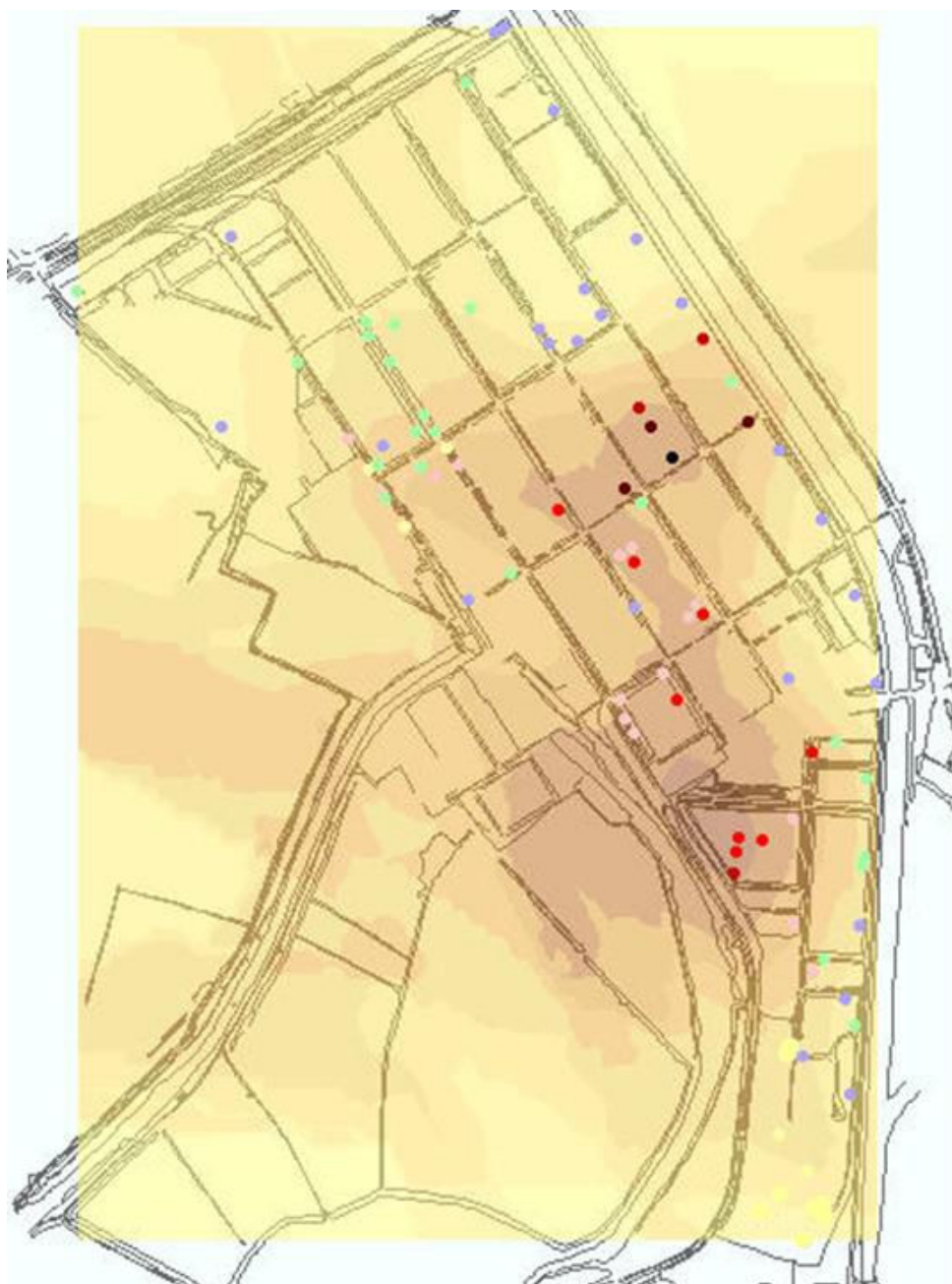


Fig. 5.12 - Isopropilbenzene, dataset ridotto, stima con kriging ordinario (scala logaritmica).

Anche in questo caso le difficoltà di modellazione della variabilità spaziale suggeriscono la possibile presenza di più componenti direzionali che non è possibile individuare e separare a questa scala di analisi.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 34 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 6 AZIONI DI MESSA IN SICUREZZA DI EMERGENZA

Nel sito sono attualmente in opera dei sistemi di sbarramento per evitare la diffusione dei contaminanti all'esterno dello stabilimento, ubicati in corrispondenza dell'area che delimita il terrazzo morfologico, a monte del Canale Sisma e a NNO del Canale di Presa. Inoltre all'interno dell'area di stabilimento sono operanti pozzi singoli dotati di sistemi *dual-pump* (Fig. 13 in Annesso 1) per la rimozione di prodotto surnatante che attuano una prima fase della bonifica.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 35 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 7 STRATEGIA DI BONIFICA DELLE ACQUE DI FALDA

Per il risanamento delle acque di falda si privilegerà l'utilizzo di:

- tecnologie in situ, per la bonifica delle zone di attenzione prioritaria.
- sistemi di Pump&Treat, per ridurre progressivamente il carico d'inquinante presente nelle acque sotterranee.

In particolare, per le zone di attenzione prioritaria (Cfr. § 4.7.2) si prevedono le seguenti tecnologie d'intervento:

- Rimozione del surnatante mediante *dual-pump*;
- Rimozione della fase adsorbita mediante *In Well Stripping e Bioremediation*;
- Rimozione della fase soluta mediante *In Well Stripping e Bioremediation*;
- Accelerazione dei processi di degradazione della contaminazione residua mediante *Bioremediation*.

Il quadro conoscitivo delineato nei precedenti paragrafi induce ad elaborare una strategia d'intervento che abbia un approccio progettuale che proceda per fasi tramite l'utilizzo di treni tecnologici.

Al termine di ognuna di queste fasi è previsto un momento di confronto e valutazione con l'Ente di controllo a cui è sottoposta l'approvazione della documentazione prodotta relativa alla fase ultimata e la condivisione delle scelte che determinano lo svolgimento della fase successiva.

### 7.1.1 Prima fase

La prima fase è conoscitiva, progettuale e di verifica per quanto concerne gli interventi in situ nelle zone d'attenzione prioritaria (Cfr § 4.7.2), di esercizio per quanto concerne il sistema di *Pump&Treat*, oltre ad un monitoraggio periodico dell'evoluzione dinamica e qualitativa della falda.

In particolare questa si concretizzerà con le seguenti attività:

- Sistema di *Pump&Treat*:
  - *Monitoraggio idraulico ed idrochimico della barriera idraulica.*
- Attività inerenti le zone d'attenzione prioritaria:
  - *Rimozione del surnatante mediante dual pump;*
  - *Test pilota in campo;*
  - *Realizzazione ed esercizio dei primi moduli di bonifica;*
  - *Monitoraggio idrochimico della falda;*
- Valutazione del primo anno di attività di bonifica:
  - *Proposta di eventuali azioni correttive/migliorative;*
- Progettazione definitiva di bonifica della falda



 <b>Snamprogetti</b> <small>GROUP</small>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 36 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

La progettazione definitiva degli interventi, con il dimensionamento full-scale degli stessi, avverrà al termine della prima fase, tesa a verificare l'applicabilità e le prestazioni delle tecnologie selezionate in termini di rimozione dei contaminanti e in termini di influenza areale.

L'avviamento dei primi moduli di bonifica sarà affiancato a un approfondito programma di monitoraggio finalizzato a mantenere sotto controllo le quantità di contaminanti rimossi e le concentrazioni residue degli stessi. Il monitoraggio permetterà di determinare, per ciascun intervento, il limite d'efficacia della tecnologia selezionata nelle condizioni di applicazione specifiche, oltre il quale non risulta tecnicamente vantaggioso protrarre l'azione di bonifica.

### 7.1.2 Seconda fase

La seconda fase si concretizzerà con le seguenti attività:

- Realizzazione ed esercizio della bonifica full-scale
- Monitoraggio idraulico ed idrochimico della falda.

### 7.2 **Obiettivi finali di bonifica**

L'obiettivo finale della bonifica sarà il raggiungimento dei limiti del DM 471/99. La stima dei tempi necessari al raggiungimento di tale obiettivo sarà valutato a valle dei *tests* previsti durante la prima fase di bonifica.



 <b>Snamprogetti</b> <small>GROUP</small>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 37 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 8 SCREENING DELLE TECNOLOGIE POTENZIALMENTE APPLICABILI

Lo *screening* delle tecnologie in situ sarà focalizzato sul trattamento dei contaminanti organici, mentre per quanto riguarda i contaminanti inorganici, che risultato presenti su tutta l'area di stabilimento, si utilizzerà una tecnologia ex situ (Pump&Treat) utilizzando come sistemi di emungimento quelli già presenti nell'area di stabilimento.

Di seguito si riporta una rassegna delle tecnologie in situ esistenti per la bonifica delle acque di falda, definendone brevemente le caratteristiche e le principali limitazioni, al fine di valutarne la applicabilità generale.

Nelle sezioni successive si procederà invece alla definizione, per le singole aree di interesse, delle tecnologie effettivamente applicabili in funzione delle caratteristiche litostratigrafiche e di contaminazione locali, le possibili sequenze di trattamento applicabili ed i risultati ottenibili.

### 8.1 Recupero della fase libera

La fase libera presente sulla superficie della falda (LNAPL) può essere rimossa mediante i seguenti sistemi:

**Skimming** – Il recupero della fase libera è realizzato mediante l'utilizzo di filtri selettivi o di nastri oleofili per la separazione selettiva della fase oleosa dalla fase acquosa. Questo sistema non modifica il campo di flusso della falda, né instaura dei moti convettivi dell'aria nell'insaturo. Sono in genere installati in presenza di spessori limitati di fase libera e/o in caso di lenta ricarica del pozzo da parte dei LNAPL. La quantità di acqua estratta è minima.

**Drawdown pumping** – Questa tecnologia si basa sull'abbassamento della falda all'interno del pozzo di estrazione mediante pompaggio, accompagnato da un richiamo al pozzo della fase libera che in generale presenta spessori maggiori rispetto alla situazione a falda indisturbata. Il sistema può essere *Single - Pump*, un'unica pompa abbassa il livello piezometrico, ed estrae contemporaneamente acqua e LNAPL oppure *Dual - Pump*, laddove una pompa estrae l'acqua per provocare l'abbassamento della falda, mentre una seconda pompa collocata all'interno dello spessore di LNAPL consente il recupero della fase libera. La configurazione *Single - Pump* comporta l'estrazione di minori quantità di liquido, che tuttavia necessitano di trattamento per la separazione della fase oleosa dall'acqua; nel caso del *Dual - Pump* si ha invece l'estrazione di portate d'acqua più elevate, che necessitano di trattamento prima dello scarico o del riutilizzo. L'abbassamento locale della falda ha lo svantaggio di comportare la contaminazione del terreno al di sotto del livello originale della tavola d'acqua (*smearing zone*).

**Bioslurping** – Un sistema di *Bioslurping* recupera la fase libera di LNAPL, quantità relativamente ridotte di acqua e aria/vapori dallo spessore insaturo per mezzo di una depressione applicata mediante una pompa da vuoto installata in superficie. I vantaggi di questo sistema sono le ridotte quantità di acqua da trattare, ed il contemporaneo trattamento dell'insaturo mediante la promozione di processi di biodegradazione aerobica ed il desorbimento dei contaminanti organici volatili e semi-volatili dalla matrice solida e dall'acqua interstiziale.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 38 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### Applicabilità e limitazioni:

La capacità di recupero della fase libera è limitata dalla presenza di barriere fisiche nel sottosuolo (strutture interrato, serbatoi che attraversano la tavola d'acqua, etc.), le quali ne limitano il moto avvertivo verso il punto di estrazione.

Altri fattori limitanti sono la presenza di formazioni geologiche a bassa permeabilità, l'elevata viscosità del liquido surnatante e l'eterogeneità del terreno, che può comportare la formazione di sacche di prodotto in corrispondenza di zone a minore permeabilità.

Nel caso di bassa permeabilità della formazione, e quindi di ridotta ricarica della fase libera al punto di estrazione, è possibile prevedere la realizzazione di una trincea drenante per l'accumulo del prodotto, successivamente recuperato mediante *skimmer*. In alternativa, è possibile accoppiare ai sistemi di recupero un trattamento termico del terreno e della falda, volto a mobilitare gli idrocarburi ed accelerarne la migrazione verso il punto di estrazione.

L'utilizzo di trattamenti termici consente da un lato di accelerare il processo di recupero del surnatante, dall'altro di mobilitare una parte consistente della fase libera che non potrebbe essere estratta con i soli sistemi di recupero tradizionale.

In base alle esperienze nel settore petrolifero, laddove i trattamenti termici sono stati inizialmente sviluppati per aumentare il recupero degli idrocarburi dai giacimenti, la percentuale di prodotto recuperabile con sistemi quali *drawdown pumping*, *bioslurping* e *skimming* è pari a circa il 50% di quanto contenuto nel terreno, altrimenti non si supera il 30%.

## 8.2 Barriere reattive

Il principio di funzionamento di una PRB consiste nel "filtrare in situ" l'acqua di falda ponendo nel suo cammino uno strato di materiale in grado di eliminare i contaminanti mediante degradazione, precipitazione o immobilizzazione.

Tipicamente, le barriere reattive vengono poste trasversalmente alla direzione di flusso, laddove il moto dell'acqua è determinato dal gradiente piezometrico naturalmente presente nella falda. Più rare sono installazioni che utilizzano pozzi di emungimento per modificare il campo di velocità della falda stessa, e forzare il moto attraverso la barriera reattiva.

Le configurazioni adottabili possono essere molteplici, sebbene le più comuni siano la barriera continua e la configurazione *funnel & gate*, laddove il flusso è convogliato verso la zona di trattamento (*gate*) da barriere fisiche poste a funzione di "imbuto" (*funnel*) Fig. 8.1.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 39 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

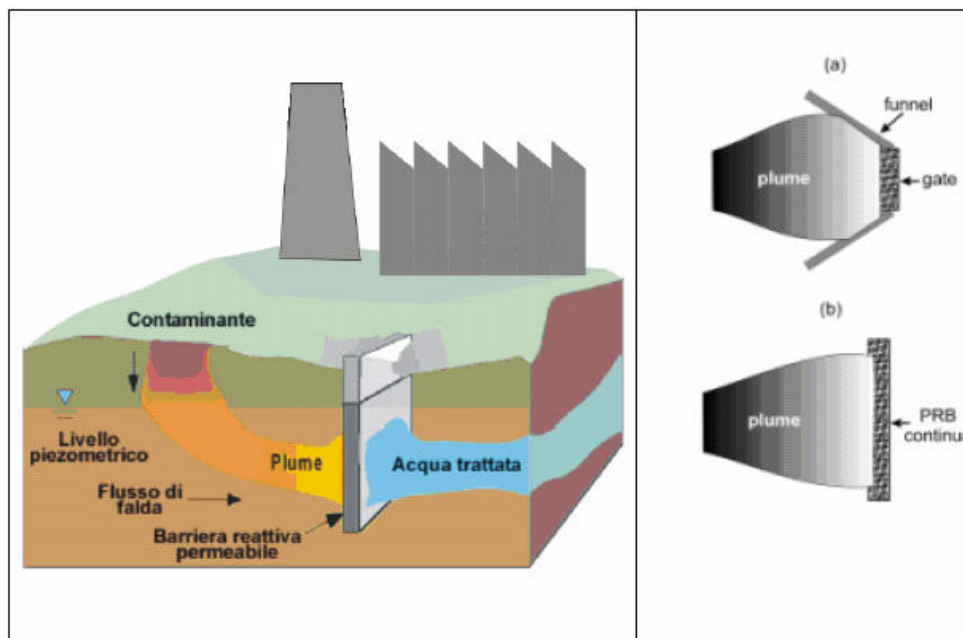


Fig. 8.1 - (sinistra) Schematizzazione del funzionamento di una PRB – (destra) Possibili configurazioni delle barriere permeabili reattive. (a) Funnel and Gate<sup>TM</sup>; (b) Barriera permeabile continua

I materiali più comunemente impiegati per la realizzazione di barriere reattive sono:

- ferro zero valente, per la dechlorinazione riduttiva dei solventi clorurati (con particolare efficacia per il TCE ed il PCE);
- carbone attivo o zeoliti, per l'adsorbimento di un ampio spettro di contaminanti;
- sistemi di ossigenazione, composti da materiali a rilascio di ossigeno oppure da tubi per l'insufflazione di aria e/o ossigeno (*Oxygen Barrier - PBR*), per l'ottenimento di concentrazioni di ossigeno sufficienti a favorire il biorisanamento della falda;
- composti ossidanti per il trattamento dei composti organici.

#### Applicabilità e limitazioni

Le barriere reattive possono essere installate essenzialmente in terreni granulari, anche se la presenza di forti eterogeneità, di lenti o di permeabilità molto differenti tra il materiale reattivo impiegato ed il terreno naturale in posto possono comportare problemi nel dimensionamento della barriera, nel contatto tra l'acqua ed il materiale reagente e nella valutazione delle velocità di attraversamento della barriera, e quindi dei tempi di contatto.

L'installazione di barriere permeabili reattive è limitata dalla presenza di sottoservizi a causa delle estese attività di scavo che essa tipicamente comporta. Qualora inoltre il materiale reattivo che si intende impiegare sia soggetto a cicli di esaurimento/rigenerazione (carboni attivi e zeoliti), si deve tenere in conto della necessità di strutturare la zona reattiva in modo tale da consentire una sostituzione agevole del materiale stesso. Ciò è in genere ottenuto mediante la realizzazione di un sistema *funnel & gate* con un'opportuna ingegnerizzazione del *gate*. Questa soluzione comporta l'installazione di barriere impermeabili in genere abbastanza estese.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 40 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

In ogni soluzione progettuale è necessario che la permeabilità del materiale reattivo non sia inferiore alla permeabilità dell'acquifero onde evitare la diversione delle linee di flusso attorno alla barriera permeabile.

La profondità di installazione è legata alle tecniche di installazione del materiale reattivo in falda, variando da circa 10-12 m nel caso di installazioni che richiedano l'esecuzione di scavi, a profondità di alcune decine di metri per l'introduzione di composti reattivi mediante perforazione verticale.

La profondità che si può realisticamente raggiungere non supera comunque i 25-30 m. Soprattutto nel caso di contaminazione da DNAPLs la PRB deve raggiungere il basamento a bassa permeabilità dell'acquifero produttivo, onde evitare possibili fenomeni di *underflow*.

Il vantaggio principale di questa tecnologia è nel ridotto impatto soprasuolo, per lo più connesso all'occupazione delle aree durante l'intervento di realizzazione della barriera permeabile reattiva (PRB), con limitati disagi nel caso di utilizzo di materiali che richiedano una sostituzione periodica. Per tali motivi, le PRB trovano ampio utilizzo presso siti in attività, con un elevato utilizzo delle aree soprasuolo.

La diminuzione delle concentrazioni è funzione del tempo di contatto dell'acqua con i materiali nella sezione reattiva, e quindi dello spessore della barriera e della velocità di falda. Potenzialmente è possibile riportare le concentrazioni al di sotto dei limiti di legge, ma i costi possono diventare poco sostenibili nel caso di concentrazioni in ingresso molto elevate.

### 8.3 In situ flushing

Il "lavaggio in situ" (In situ *flushing*) non è propriamente una tecnologia di trattamento in situ, e può per certi versi essere considerato una variante del processo di *Pump & Treat*. Esso consiste nel ricircolare a monte della zona contaminata l'acqua estratta e trattata, con o senza l'aggiunta di additivi atti ad aumentare la resa di rimozione (Fig. 8.2).

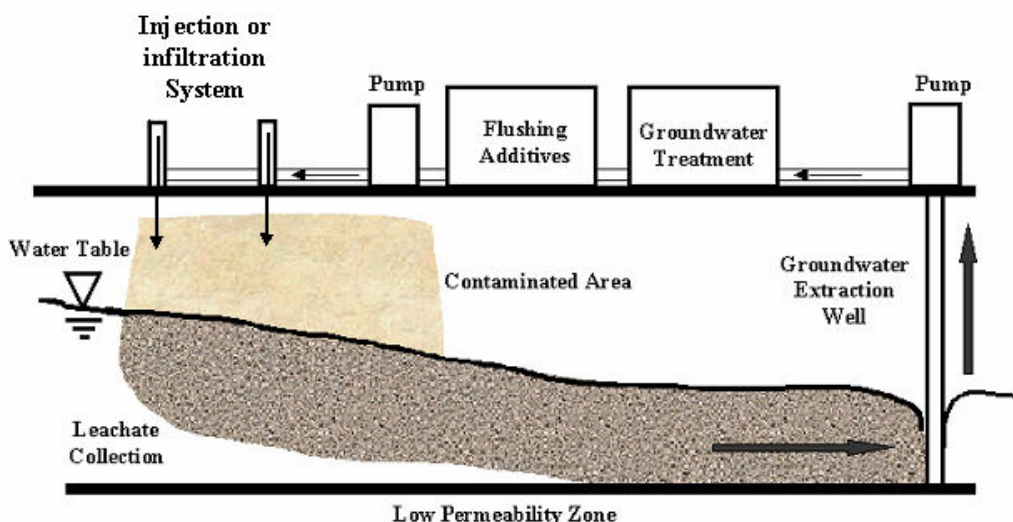




Fig. 8.2 - Schema di funzionamento dell'in situ flushing

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 41 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

I contaminanti vengono rimossi mediante:

- solubilizzazione della fase liquida, vapore o adsorbita sulla matrice solida,
- mobilizzazione dei composti presenti come fase libera all'interno dei pori o adsorbiti sul terreno.

E' utilizzato in particolare per la rimozione di composti organoclorurati formanti DNAPL attraverso l'iniezione di prodotti chimici atti a solubilizzare e/o mobilizzare DNAPL e la successiva estrazione della soluzione risultante.

La soluzione di lavaggio può essere iniettata per gravità (alimentazione sulla superficie dell'area da trattare, all'interno di pozzi o di trincee) o attraverso sistemi forzati (pozzi di iniezione). Analogamente, l'eluato può essere captato mediante sistemi a gravità (es. trincee drenanti) oppure con sistemi forzati (pozzi barriera).

Il lavaggio o mobilizzazione dei composti può avere due scopi: aumentare il recupero dei contaminanti ai punti di estrazione oppure rendere i composti maggiormente disponibili per ulteriori trattamenti in situ, quali ad esempio l'idrolisi o la biodegradazione.

Le soluzioni di lavaggio più comunemente impiegate sono: acqua, soluzioni acide, soluzioni basiche, tensioattivi, agenti complessati. La loro selezione deve tenere in conto la tossicità per l'uomo e per l'ambiente dei composti utilizzati e di eventuali sottoprodotti di degradazione, la loro biodegradabilità, semplicità di utilizzo e costi. La valutazione della loro sicurezza è una questione di particolare importanza, data la sostanziale impossibilità di captazione dell'intera massa dei composti iniettati. Al fine di assicurare che la soluzione contenente il contaminante sia completamente recuperata, occorre che la portata di estrazione sia almeno pari a 1.5 volte quella di iniezione.

Relativamente alle acque di falda, il trattamento mediante in situ *flushing* riduce i tempi di bonifica ed impedisce il fenomeno di *rebounding* nel caso di arresto dei pozzi di emungimento rispetto a quanto si avrebbe con l'utilizzo del solo *Pump & Treat*.

Le versioni di tale tecnologia differiscono per l'agente disperdente utilizzato:

- Surfactant Enhanced Aquifer Remediation (SEAR)** utilizza l'iniezione e l'estrazione di soluzioni surfatanti al fine di solubilizzare/mobilizzare DNAPL attraverso la formazione di microemulsioni che possono essere veicolate nel flusso attraverso l'acquifero. I fluidi estratti vanno trattati on site per separare la frazione contaminante dalla soluzione surfatante che va ricircolata;
- Co-Solvent Flooding** utilizza l'iniezione e l'estrazione di co-solventi quali alcoli al fine di solubilizzare/mobilizzare DNAPL e ridurre la tensione interfacciale con DNAPL. Inoltre gli alcoli possono fungere da substrato per biodegradazioni anaerobiche.

L'utilizzo dell'in situ *flushing* ha raggiunto uno stato avanzato, con numerose applicazioni *full-scale*. E' utilizzata principalmente per la rimozione di DNAPL soprattutto in fase libera, mentre non è una tecnologia ottimale per la bonifica di *plume* disciolti, frazioni assorbite o volatilizzate, ma in questi casi può essere proficuamente utilizzata in congiunzione con altre tecnologie (ad es. l'ossidazione chimica) per ottenere gli obiettivi finali di bonifica.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 42 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

#### Applicabilità e limitazioni:

Generalmente la profondità a cui si trova il contaminante non costituisce un fattore limitante per l'in situ *flushing*, influenzando semplicemente i costi globali di trattamento per i maggiori consumi energetici delle fasi di iniezione e di estrazione.

Dal punto di vista litologico, la zona trattata deve essere costituita da materiali omogenei e a conducibilità idraulica medio-elevata. Mezzi porosi ad alta permeabilità sono preferibili a rocce fratturate, argille fratturate o mezzi a bassa permeabilità, in quanto rappresentano le condizioni ottimali di circolazione (flusso rapido ed uniforme) della soluzione surfatante/cosolvente nel sistema acquifero interessato da DNAPL. Possibili complicazioni possono invece essere originate dalla eterogeneità del sottosuolo, che non consente una distribuzione omogenea della soluzione, e soprattutto dalla presenza di zone a limitata permeabilità. In particolare si può escludere l'efficacia del trattamento in aree caratterizzate da valori di conducibilità idraulica inferiore a  $10^{-4}$  cm/s.

L'applicazione risulta ottimale nel caso di:

- bassi gradienti verticali ed orizzontali
- presenza di zone da trattare limitate geologicamente da materiali con una conducibilità idraulica relativamente bassa
- spessore saturo non eccessivamente elevato.

Oltre alle caratteristiche del sito, il successo dell'applicazione è influenzato da alcuni parametri relativi ai contaminanti, quali la solubilità in acqua, la pressione di vapore, la viscosità e la densità, ecc.

I sistemi di iniezione ed estrazione possono essere suddivisi in sistemi a gravità ed a pressione. I primi si basano sull'infiltrazione e/o raccolta dovuta a gradienti idraulici naturali; i secondi si basano su gradienti di pressione forniti da una sorgente e/o pompe di estrazione.

I vantaggi del flussaggio di surfatante/cosolvente sono:

- rapida rimozione di larghe porzioni della massa totale di DNAPL intrappolata nel sottosuolo;
- ingombro della superficie relativamente limitato e la possibilità di impiego anche nelle zone difficilmente accessibili (ad es. sotto edifici esistenti);
- non necessità di scavare, gestire e trasportare grandi quantità di materiali contaminati;
- migliorare le prestazioni rispetto ad un trattamento convenzionale di *Pump & Treat*;
- applicabilità, come fase, in una serie di trattamenti per raggiungere gli obiettivi di bonifica.



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 43 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Gli svantaggi della tecnologia sono:

- applicabilità al DNAPL, non al *plume* in fase disciolta;
- difficoltà nella selezione del sistema surfatante/cosolvente e necessità di test in laboratorio (*bath-tests*, test in colonna e talvolta test in campo);
- necessità di una fase modellistica propedeutica alla progettazione del sistema di immissione/estrazione, con un costo d'investimento preventivo;
- necessità di prevedere un controllo dei fluidi sotterranei;
- non applicabilità in presenza di argille e rocce fratturate;
- necessità di una buona conoscenza della localizzazione del DNAPL e della sua massa;
- possibilità di migrazione dei contaminanti in zone precedentemente non contaminate a causa della mobilizzazione incontrollata del DNAPL o dell'elutriato;
- rischio di non completo recupero del DNAPL dal sistema di estrazione;
- limitazione delle *performances* della tecnologia a causa dell'eterogeneità dell'acquifero.

#### 8.4 *Air sparging*

L'*air sparging* è una tecnologia che prevede l'iniezione di aria al di sotto della tavola d'acqua, con il duplice fine di ossigenare la falda e di favorire il trasferimento dei contaminanti volatili in fase vapore verso lo spessore insaturo, e la successiva rimozione mediante sistemi di recupero *vacuum enhanced* (Fig. 8.3).

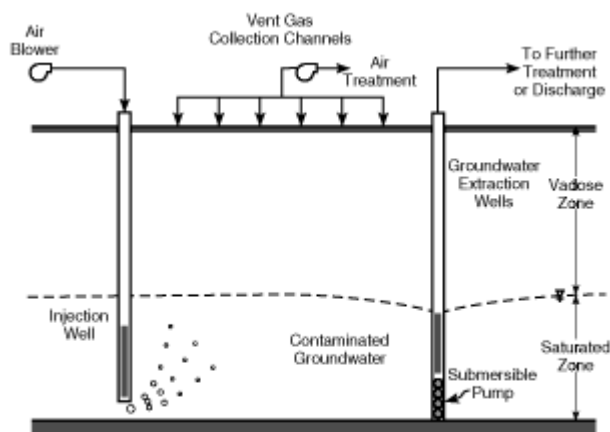


Fig. 8.3 - Schema di funzionamento del sistema di Air Sparging

#### Applicabilità e limitazioni

Tale tecnologia si applica per il trattamento dei composti organici, ed in particolare per la bonifica da VOC.

L'*air sparging* ha un'efficacia limitata all'interno di terreni eterogenei, in quanto il flusso d'aria interessa principalmente le zone a maggiore permeabilità, mentre quelle meno permeabili tendono a non essere coinvolte dal trattamento.

La tecnica non è inoltre applicabile in terreni a bassa permeabilità e/o in presenza di strati a limitata permeabilità collocati tra la tavola d'acqua e la superficie. Soggiacenze

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 44 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

inferiori a 1.5 m o acquiferi poco potenti comporterebbero dei costi eccessivamente elevati, e pertanto non risultano favorevoli all'applicazione di questa tecnologia.

In formazioni omogenee e permeabili, questo metodo consente di ottenere una totale rimozione dei VOC in tempi abbastanza brevi (settimane o mesi a seconda dei composti e delle concentrazioni iniziali), e significative riduzioni degli SVOC (uno-due ordini di grandezza). I composti non volatili subiscono durante il trattamento riduzioni fino a un ordine di grandezza principalmente grazie alla biodegradazione degli stessi. Per i TPH, nel caso di trattamenti prolungati, le concentrazioni finali ottenibili possono essere dell'ordine di  $10^2$  µg/l nelle acque di falda e  $10^1$  mg/kg nei terreni, salvo che la composizione iniziale sia attribuibile in modo preponderante alle frazioni pesanti.

Di solito l'*air Sparging* è accoppiato ad un sistema di estrazione dei vapori dal suolo (*Soil Vapour Extraction*) al fine di catturare i contaminanti estratti che si raccolgono nella zona insatura e trattarli.

## 8.5 *In-well stripping*

L'*in-well air stripping* è un metodo di trattamento che consiste nell'insufflazione di aria all'interno di un pozzo, al fine di rimuovere i contaminanti presenti nell'acqua di falda per effetto del passaggio dalla fase disciolta alla fase gassosa (*stripping*). Differentemente rispetto all'*air sparging*, laddove l'aria è immessa nella falda al di fuori del pozzo, questa tecnologia prevede che lo *stripping* avvenga all'interno del pozzo (Fig. 8.4). Contestualmente, viene indotta una circolazione d'acqua nella falda circostante il pozzo, in modo da creare un richiamo per l'acqua contaminata ed una diffusione di quella trattata.

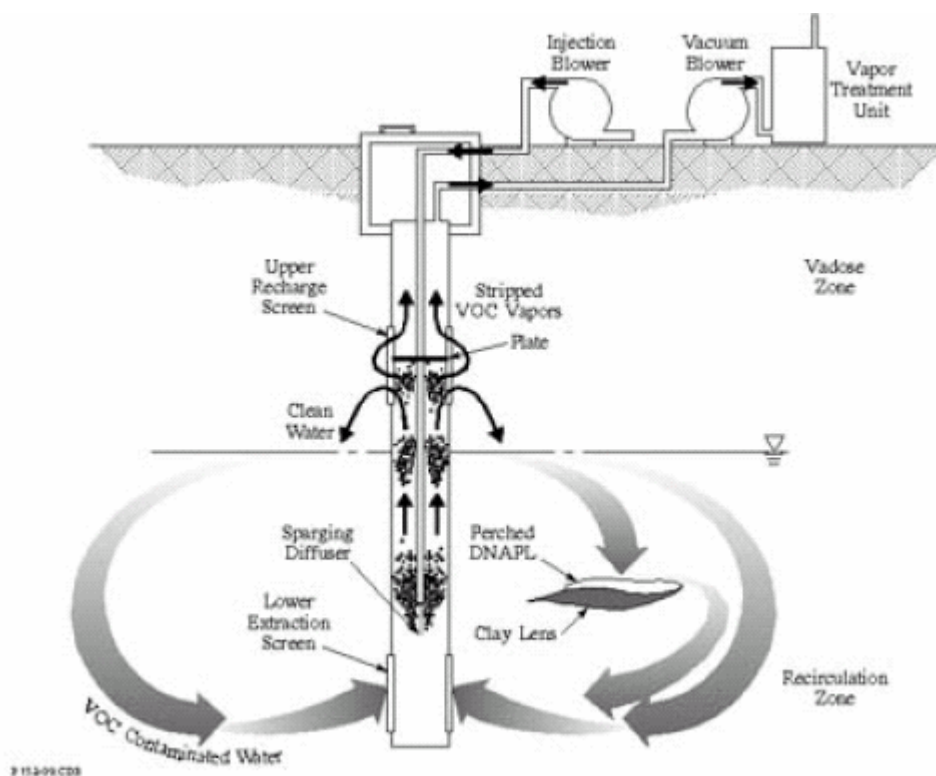


Fig. 8.4 - Schema di funzionamento di un sistema in well stripping



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 45 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Questo ciclo di acqua nell'area attorno al pozzo crea una cella di circolazione continua dell'acqua in cui i contaminanti disciolti in acqua sono trasferiti nella fase di vapore, ed è più semplice e meno costoso del trattare l'acqua di falda ex-situ. I vapori possono essere rimossi mediante lo stesso pozzo di strippaggio o, se applicabile, possono essere lasciati nella zona satura per una *bioremediation* in situ.

Il pozzo è dotato intervalli finestrati superiori ed inferiori, idraulicamente separati, all'interno della zona satura (Fig. 8.5).

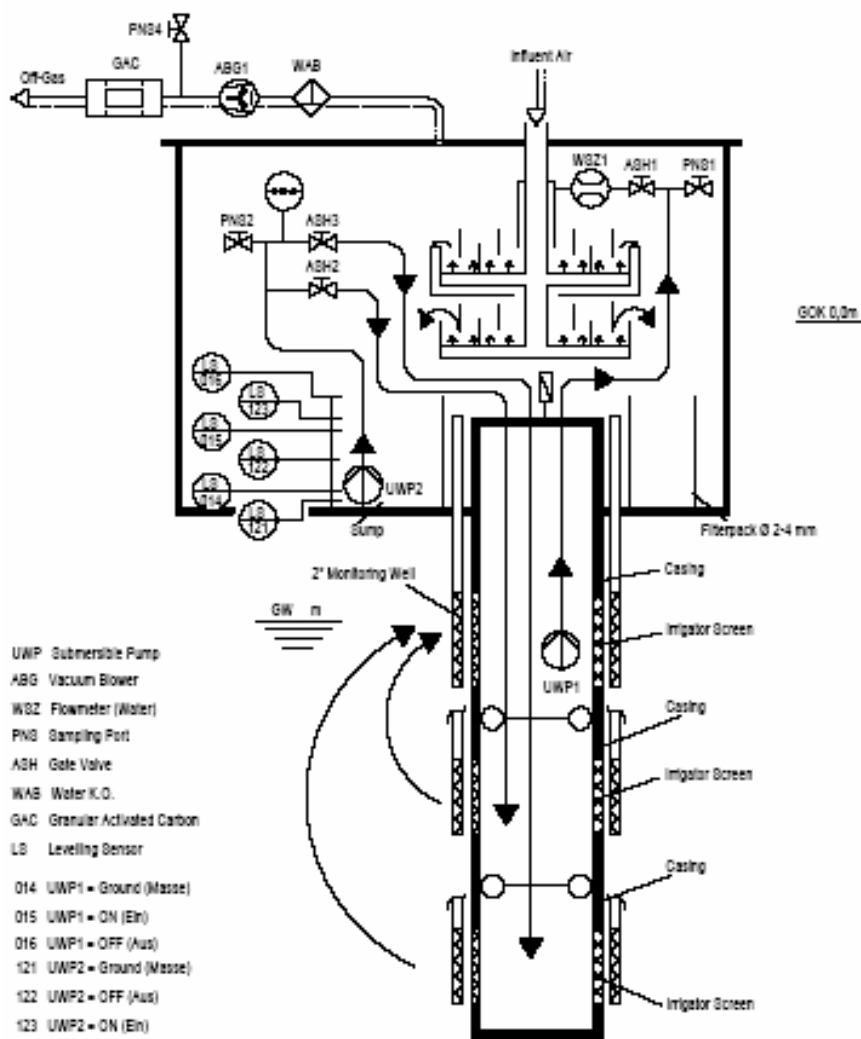


Fig. 8.5 - Schema di completamento di un pozzo di in well stripping

Modifiche al processo base di *in well stripping* possono comportare additivi iniettati nel pozzo di strippaggio per migliorare la biodegradazione (nutrienti, accettori di elettroni ecc.). Inoltre, l'area attorno al pozzo interessata dalla cella di circolazione (raggio di influenza) può essere cambiato attraverso l'aggiunta di qualche agente chimico per permettere la stabilizzazione in situ di metalli disciolti in acqua.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 46 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Esistono più tecnologie in grado di realizzare l'*in-well stripping*, di cui le principali sono le seguenti:

- **NoVOC™** - Il sistema prevede l'insufflazione di aria alla base del pozzo mediante un compressore, e la contemporanea estrazione dalla parte sommitale del pozzo stesso mediante una soffiante. Le bolle di aria, risalendo lungo il pozzo, operando un richiamo dal basso delle acque di falda contaminata, operano uno *stripping* dei VOC salendo lungo il tubo, e provocano una parziale risalita dell'acqua all'interno del pozzo. Questa risalita si traduce in un modesto dislivello, sufficiente a produrre un flusso di acqua trattata dal pozzo verso la falda nella parte alta del pozzo stesso. I VOC strippati sono convogliati dal ventilatore verso una stazione di trattamento aria (in genere carboni attivi o biofiltri);
- **UVB (*Unterdruck-Verdampfer-Brunnen* o "*vacuum vaporizer well*" system)** – Il sistema UVB presenta, in aggiunta al sistema precedente, una pompa ad immersione per mantenere costante la portata d'acqua ricircolata, ed un "reattore di *stripping*" che favorisce la volatilizzazione mediante l'aumento della superficie di contatto liquido-gas. Come svantaggio presenta una maggiore complessità di struttura, aumentando la necessità di manutenzione soprattutto nel caso di lunghi periodi operativi;
- **DDC (*Density Driven Convection*)** – Rispetto al sistema NoVOC™, questo metodo non prevede l'estrazione ed il trattamento dei VOC strippati. Essi sono infatti rilasciati nell'insaturo, laddove la loro rimozione è affidata alla biodegradazione ad opera dei microrganismi presenti. Insieme ai VOC, è rilasciato anche l'ossigeno residuo, il quale ne favorisce la biodegradazione, unitamente a quella di eventuali contaminanti già presenti nell'insaturo;
- **C-Sparger** - esegue lo strippaggio di aria in situ con ozono che è iniettato periodicamente in un pozzo in PVC da 2-4". Ogni sistema è composto da una *Master Unit* e da uno o più pozzi assemblati.

Le tecnologie citate sono coperte da brevetto.



Si riportano di seguito i riferimenti dei detentori del brevetto:

- *NoVOC™* – *Stanford University* (USA);
- *UVB System* – *IEG-Technologies GmbH* (Germania);
- *DDC* – *Wasatch Environmental Inc.* (USA);
- *C-Sparger* - *K-V Associates of Mashpee* – *Massachusetts* (USA).

#### Applicabilità e limitazioni

I sistemi di *in-well stripping* si basano sul doppio meccanismo di *stripping* all'interno del pozzo e di circolazione dell'acqua di falda nell'intorno del pozzo stesso. Il primo meccanismo rende il sistema particolarmente adeguato per il trattamento di VOC e SVOC, per quanto l'effetto di ossigenazione della falda favorisca la parziale rimozione anche dei NVOC a seguito della biodegradazione aerobica favorita dalla circolazione di aria.

Affinché il sistema sia efficace, le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero devono essere tali da consentire un'adeguata circolazione idrica. Le caratteristiche idrogeologiche del sito, assieme al progetto del pozzo, determinano l'ambito nel quale la tecnologia può essere applicata con successo, e insieme governano la geometria della

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 47 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

cella di circolazione, compresa l'area di influenza del pozzo di trattamento. I fattori idrogeologici critici che condizionano l'area di influenza orizzontale comprendono l'anisotropia (conduttività idraulica orizzontale/conduttività idraulica verticale -  $K_h/K_v$ ) e lo spessore dell'acquifero. I parametri di progetto dei pozzi, come la lunghezza e la distanza di separazione delle zone finestrate in testa e al fondo della zona di trattamento e il rapporto di pompaggio, insieme con l'idrologia del sito, determinano l'area di influenza del pozzo di trattamento.

L'area verticale di influenza del trattamento dipende dall'anisotropia dell'acquifero, dalla velocità del flusso naturale dell'acqua di falda, assieme ai parametri di progetto del pozzo, come il grado di penetrazione del pozzo di trattamento relativamente allo spessore dell'acquifero. Inoltre, la presenza di livelli a bassa permeabilità tra le zone finestrate potrebbe ostacolare la componente verticale della circolazione.

I vantaggi dell'utilizzo di tale tecnologia sono:

- non sono richiesti pozzi di iniezione, linee di smaltimento, costi di smaltimento, etc. per ricircolare o rilasciare l'acqua di falda;
- il singolo pozzo può essere utilizzato per l'estrazione di vapori e per la bonifica di acqua;
- si possono continuamente rimuovere VOCs dall'acqua di falda senza pompare l'acqua in superficie, evitando la necessità di trattare l'acqua contaminata fuori terra e/o smaltire o conservare l'acqua parzialmente trattata;
- i vapori contaminati vengono più semplicemente e più economicamente rimossi e trattati fuori terra che l'acqua contaminata;
- tipicamente i contaminanti non sono spostati grazie alle basse portate del gas di *stripping* e alle basse velocità di flusso dell'acqua che ricircola
- bassi costi di operazione e manutenzione;
- è possibile aggiungere al ricircolo degli additivi chimici per la bonifica dell'acqua (sulfonati, catalizzatori, ecc);
- è possibile migliorare la *bioremediation* degli idrocarburi come risultato di areazione o ricircolo di acqua trattata;
- i pozzi possono essere utilizzati per distribuire nutrienti correttivi per la *bioremediation*;
- non vi sono parti mobili al di sotto del piano campagna né componenti complicati;
- il sistema è progettato per funzionare di continuo, solo con la manutenzione di *routine*;
- è accelerata la bonifica per la rottura dell'eventuale fase libera che si produce nella frangia capillare;
- crea un flusso di acqua sia orizzontale che verticale che permette la penetrazione di livelli orizzontali a bassa permeabilità.

Le limitazioni della tecnologia sono:

- potrebbero formarsi dei precipitati durante lo *stripping* che potrebbero intasare le fenestrate del pozzo, limitando la circolazione di acqua;
- gli acquiferi poco profondi potrebbero limitare l'efficienza del sistema a causa di spazio limitato per la infiltrazione/circolazione;
- se i pozzi non sono ben progettati o costruiti, il *plume* potrebbe spargersi oltre il raggio di influenza del pozzo;
- l'acqua liberata nei suoli insaturi potrebbe mobilitare sacche di contaminazione, aggiungendoli alla massa totale di contaminanti nell'acquifero. (Questi contaminanti

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 48 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

sarebbero però rimossi dallo stesso sistema di *In Well Stripping*, minimizzando quindi l'impatto di questo potenziale problema).

## 8.6 *Biosparging*

Il *Biosparging* è una tecnologia di bonifica in sito che sfrutta l'attività di microrganismi autoctoni per biodegradare composti organici nella zona satura. In particolare, viene insufflata aria che contiene ossigeno e nutrienti (se necessari) per incrementare l'attività biologica dei microrganismi. Si applica per ridurre le concentrazioni di contaminanti sia disciolti in acqua, che adsorbiti nel terreno saturo o nella frangia capillare.

Si tratta di un processo simile all'*Air Sparging* in quanto il *Biosparging* ha come obiettivo primario quello di favorire la biodegradazione più che la volatilizzazione dei contaminanti.

In particolare risulta efficace su quei contaminanti che possiedono un buon grado di Biodegradazione come mostrato nella figura 8.6 sottostante.


Exhibit VIII-9 Chemical Structure And Biodegradability		
Biodegradability	Example Constituents	Products In Which Constituent Is Typically Found
More degradable    Less degradable	n-butane, l-pentane, n-octane	<input type="radio"/> Gasoline
	Nonane	<input type="radio"/> Diesel fuel
	Methyl butane, dimethylpentenes, methyl octanes	<input type="radio"/> Gasoline
	Benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes	<input type="radio"/> Gasoline
	Propylbenzenes	<input type="radio"/> Diesel, kerosene
	Decanes	<input type="radio"/> Diesel
	Dodecanes	<input type="radio"/> Kerosene
	Tridecanes	<input type="radio"/> Heating fuels
	Tetradecanes	<input type="radio"/> Lubricating oils
	Naphthalenes	<input type="radio"/> Diesel
Fluoranthenes	<input type="radio"/> Kerosene	
Pyrenes	<input type="radio"/> Heating oil	
Acenaphthenes	<input type="radio"/> Lubricating oils	

Fig. 8.6 - Struttura chimica dei contaminanti e loro biodegradazione

L'iniezione viene realizzata mediante pozzi fessurati nei tratti di interesse (Fig. 8.7). Tali pozzi normalmente vengono posti ad adeguata distanza e disposti con maglie regolari, in modo tale da coprire uniformemente la superficie interessata. L'obiettivo essenziale della disposizione dei pozzi è quello di ottimizzare l'influenza del trattamento.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 49 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

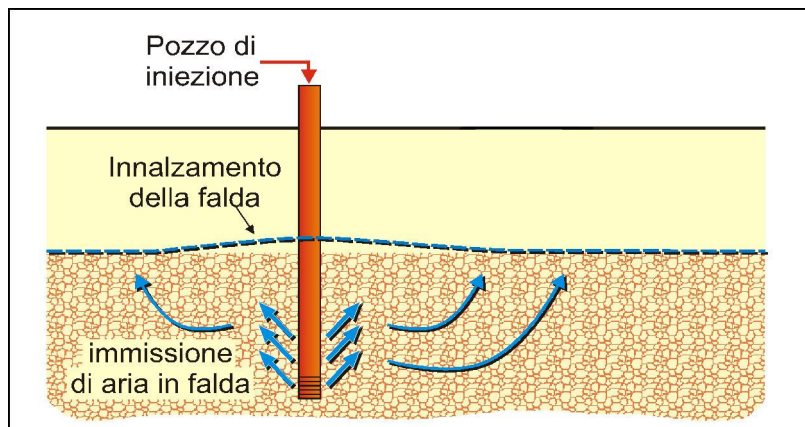


Fig. 8.7 - Schema di un sistema di Biosparging

Il *Biosparging* richiede iniezioni d'aria notevolmente inferiori rispetto all'*Air Sparging* (valutabili indicativamente in 1/3÷1/5) e non è necessario un accoppiamento con SVE.

Questa tecnologia è stata sviluppata a fine anni '80 per la stimolazione della biodegradazione dei contaminanti organici mediante il controllo dei livelli di ossigeno, di umidità e di nutrienti.

Il sistema si compone di:

- un'unità di regolazione del contenuto di ossigeno, dell'umidità e del contenuto di nutrienti da iniettare;
- un'unità di iniezione del flusso d'aria nel sottosuolo
- un'unità di estrazione di aria dal sottosuolo mediante un aspiratore collegato ad un adeguato numero di pozzi;
- un sistema di trattamento dell'aria estratta per la rimozione dei contaminanti;

Il sistema è definito *BiopurgeSM* quando l'aria è iniettata al di sopra della tavola d'acqua, *BiospargeSM* quando è iniettata in falda.

I risultati ottenibili sono confrontabili con quelli dell'*air sparging* relativamente ai VOC, mentre la rimozione di SVOC e NVOC è maggiore di almeno un ordine di grandezza a parità di tempi di trattamento.

#### Applicabilità e limitazioni

Il sistema è in grado di agire sia sui composti volatili, favorendone la volatilizzazione che la biodegradazione, sia sui composti non volatili, mediante biodegradazione. I costi di installazione sono mediamente elevati, anche se possono consentire un risparmio rispetto ad altre tecnologie (es. SVE) grazie al minor tempo di trattamento.

E' meno soggetto a limitazioni legate all'eterogeneità dei materiali, data la componente di bonifica connessa ai processi di biodegradazione.

Richiede un'installazione capillare dei pozzi, oltre a spazio aggiuntivo in superficie per l'impianto di trattamento aria e gli stoccaggi di nutrienti.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 50 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 8.7 *Engineered Bioremediation*

Per *bioremediation* si intende la distruzione attraverso degradazione dei contaminanti a seguito di un insieme di processi catalitici biologici, ed in particolare microbici. La *bioremediation* può essere ingegnerizzata oppure intrinseca: è definita ingegnerizzata (*engineered bioremediation*) qualora intervenga una qualunque modifica del processo di *bioremediation* spontaneo, intrinseca in assenza di interventi. In questo secondo caso si parla anche di attenuazione naturale, laddove con tale termine si intende la riduzione delle concentrazioni dei contaminanti a seguito di vari processi concomitanti, quali la biodegradazione, le trasformazioni abiotiche, la dispersione meccanica, l'adsorbimento, la volatilizzazione, la diluizione, etc.

A livello di *engineered bioremediation*, è possibile distinguere due approcci: l'approccio "microbiologico", e l'approccio "microbico-ecologico". L'approccio microbiologico prevede l'immissione di microrganismi precedentemente adattati o modificati al fine di aumentarne la capacità di biodegradare specifici contaminanti presenti nel sito. L'approccio microbico-ecologico consiste invece nell'introdurre nel terreno o in falda vari elementi (nutrienti, ossigeno, regolatori di pH, etc.) al fine di migliorare l'efficienza ed i rate di biodegradazione dei microrganismi già presenti nel sottosuolo.

L'approccio microbiologico è tendenzialmente preferito nel caso di:

- contaminazione recente;
- concentrazioni estremamente elevate, oppure molto ridotte (ma comunque al di sopra dei limiti di accettabilità);
- presenza di elevate concentrazioni di metalli pesanti o contaminanti organici;
- necessità di bonifica in tempi molto rapidi.

L'approccio microbico-ecologico è invece maggiormente applicato nei casi di:

- sito contaminato da un tempo medio-lungo;
- contaminazione non recente da parte di numerosi composti organici;
- tempi di bonifica accettabili non eccessivamente rapidi.

Il fatto che un sito sia interessato da una contaminazione pregressa, implica lo sviluppo presso lo stesso di popolazioni microbiche acclimatate in grado di biodegradare efficacemente i contaminanti presenti. Tale capacità è in genere limitata dall'avvenuto utilizzo, e quindi eliminazione dalla falda, dei nutrienti naturalmente presenti e dei recettori redox. Il ripristino di tali fattori consente un'efficace biodegradazione dei contaminanti presenti.

In entrambi i casi si può parlare di *In Situ Enhanced Bioremediation*.

### Applicabilità e limitazioni: generalità

La *bioremediation* si applica sostanzialmente alla gran parte dei contaminanti organici (purché non presenti in concentrazioni tossiche) e non recalcitranti e consente buoni risultati in litologie molto varie. Materiali omogenei e con conducibilità idrauliche medio-elevate permettono una migliore distribuzione dei microrganismi, dei nutrienti o altre sostanze introdotte nel sottosuolo; formazioni eterogenee e/o a scarsa permeabilità



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 51 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

rallentano l'azione di risanamento, ma nel complesso non ne limitano significativamente l'efficienza, al contrario di molte altre tecniche "attive".

La *bioremediation* può essere implementata sia a livello di spessore saturo che di spessore insaturo. A livello di falda, la presenza di strutture interraste o lenti scarsamente permeabili limitano solo in parte la capacità di bonifica.

La degradazione dei contaminanti può portare, in tempi sufficientemente lunghi, alla totale distruzione dei composti ossia a concentrazioni nulle. Essendo tuttavia i processi di biodegradazione abbastanza lenti, all'interno del sito di indagine si assiste raramente ad una totale rimozione dei composti a breve termine.

In Situ *Enhanced Bioremediation* è un processo che promuove l'accelerazione della biodegradazione naturale introducendo substrati elettron-donatori o elettron-accettori nel sottosuolo che stimolano la flora microbica presente in situ a desorbire e quindi degradare i contaminanti in forma disciolta attraverso dealogenazione riduttiva.

In condizioni aerobiche viene aggiunto ossigeno, mentre in condizioni anaerobiche spesso vengono aggiunti sia elettron-donatori (lattato, benzoato) sia elettron-accettori (nitrato, solfato).

Un aumento di ossigeno può essere ottenuto sia iniettando aria al di sotto della falda sia facendo circolare perossido di idrogeno ( $H_2O_2$ ) attraverso la zona d'acqua contaminata. In condizioni anaerobiche, del nitrato viene fatto circolare nella zona di acqua contaminata per migliorare la *bioremediation*. Inoltre, prodotti di perossido in fase solida (ad es. composto rilasciante ossigeno - ORC) possono anche essere usati per aumentare l'ossigeno e la percentuale di biodegradazione.

I contaminanti che possono essere agevolmente trattati con questa tecnologia di bonifica sono *fuels*, VOC e SVOC non alogenati. Un aumento di nitrato viene utilizzato soprattutto per bonificare l'acqua di falda contaminata da BTEX.

Tale tecnologia si è dimostrata efficace anche nel trattamento di DNAPL residuo con l'aggiunta di substrati elettro-donatori a lento rilascio (sodio lattato, *Hydrogen Release Compounds* - HRC, alcoli, oli vegetali ecc.).



I vantaggi della tecnologia possono essere così riassunti:

- i contaminanti possono essere completamente trasformati in sostanze innocue (es. diossido di carbonio, acqua, etano);
- è possibile trattare aree più ampie rispetto ad altre tecnologie di bonifica in quanto il trattamento si muove con il plume di contaminazione e può raggiungere aree altrimenti inaccessibili;
- indirettamente possono essere aggrediti anche contaminanti in fase separata ma in condizioni residuali di adsorbimento nel terreno.

Di seguito vengono riportate le principali limitazioni della tecnologia:

- alcuni contaminanti potrebbero non essere completamente trasformati in prodotti innocui se la biotrasformazione si ferma a composti intermedi; l'intermedio potrebbe essere più tossico e più mobile del composto originale;
- se la tecnologia è applicata inappropriatamente, i pozzi di iniezione possono intasarsi per l'aumento dei microbi profusi risultanti dall'aggiunta di nutrienti e elettron-donatori;



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 52 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

- i metalli pesanti e le concentrazioni di composti organici tossici possono inibire l'attività dei microrganismi indigeni;
- di solito richiede una popolazione acclimatata di microrganismi che potrebbe non svilupparsi a causa di nuovi sversamenti o per composti recalcitranti;
- l'attività microbiologica nel suolo si riduce fortemente al di sotto del 10°C e al di sopra dei 45°C;
- la permeabilità del suolo rappresenta il vincolo più importante: laddove il sottosuolo è eterogeneo, risulta davvero difficile la veicolazione in situ di nutrienti e di elettroni-donatori/accettori; una distribuzione fortemente eterogenea dei contaminanti nel suolo può rappresentare un problema insuperabile.

## 8.8 Trattamenti termici

I trattamenti termici si basano sull'applicazione di calore al terreno ed alla falda, al fine di stimolare numerosi processi di recupero o distruzione dei contaminanti. In particolare, il riscaldamento dei contaminanti può indurre uno o più dei seguenti effetti:

- aumento della pressione di vapore e delle cinetiche di volatilizzazione dei composti volatili e semi-volatili;
- aumento della solubilizzazione;
- riduzione dell'adsorbimento;
- riduzione della viscosità della fase libera, e quindi aumento della mobilità;
- aumento della diffusione sia nella fase liquida che in fase vapore;
- distillazione;
- reazioni di idrolisi pirolitiche.



Le tecnologie termiche attualmente disponibili si possono raccogliere in tre classi principali che differiscono per il processo usato per il riscaldamento del suolo: esso può avvenire mediante iniezioni di fluidi caldi (aria, vapore o acqua calda) o elettrodi poli-fase oppure mediante conduzione termica.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica delle tecnologie termiche in situ. I trattamenti termici più diffusi sono i seguenti:

- Iniezione di aria calda.** L'aria viene riscaldata ed iniettata in pressione nel terreno. Il recupero dei contaminanti avviene principalmente per volatilizzazione. Rispetto agli altri trattamenti termici, l'utilizzo di aria calda ha una limitata capacità di riscaldamento a causa della ridotta capacità termica dell'aria stessa, ed è pertanto applicata solo allo spessore insaturo per la rimozione della fase vapore. Le limitazioni e l'applicabilità sono quelle dell'*air stripping*.
- Iniezione di vapore o di acqua calda.** In questo caso il vapore o l'acqua calda vengono iniettate nel terreno per il recupero o lo spiazzamento dei contaminanti organici.

L'utilizzo di acqua calda presenta i seguenti caratteristiche:

- 1 è più facilmente gestibile sia come impianto di produzione che d'iniezione;
- 2 raggiunge temperature superiori;
- 3 si applica principalmente nello spessore saturo allo scopo di mobilizzare la fase libera per favorirne il recupero, nel caso di idrocarburi con bassa volatilità.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 53 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

L'utilizzo di vapore presenta i seguenti caratteristiche:

- 1 può essere applicato sia allo spessore saturo che allo spessore insaturo, principalmente nel caso di composti volatili e semi-volatili;
- 2 i meccanismi predominanti sono la volatilizzazione, la distillazione e lo piazzamento;
- 3 risente maggiormente delle eterogeneità del terreno.

Le applicazioni di questa tecnologia riguardano:

- 1 *Steam Enhanced Extraction* - SEE utilizza un'iniezione di vapore ad impulsi accoppiata ad estrazione in continuo sotto vuoto (SVE) per rimuovere i composti volatili dalla zona vadosa del suolo.
  - 2 *Dynamic Underground Stripping* - DUS è una tecnologia in situ di tipo termico che combina l'iniezione di vapore con un riscaldamento attraverso una resistenza elettrica per una riduzione aggressiva del DNAPL accoppiati ad un sistema di SVE.
- **Riscaldamento diretto.** Il riscaldamento può avvenire mediante elettrodi polifase (*Electrical Resistance Heating* - ERH): si ottiene il riscaldamento uniforme del suolo per mezzo della sua resistività elettrica attraverso l'utilizzo di elettrodi poli-fase e la conseguente produzione di vapore in situ. Il vapore prodotto funziona da fase di trasporto per l'estrazione dei contaminanti.
- All'interno del terreno sono collocati degli elettrodi (tre o sei a seconda delle configurazioni che si vogliono adottare) cui è applicata corrente elettrica trifase. All'interno della formazione si sviluppa un passaggio di corrente che genera calore a seguito della trasformazione della corrente per effetto *Joule*. E' applicabile sia allo spessore saturo che allo spessore insaturo. L'efficienza del trattamento è sostanzialmente indipendente dalla permeabilità e omogeneità della formazione. Nel caso di elevata presenza di VOC o SVOC può essere necessario predisporre delle installazioni di captazione e recupero dei vapori emessi. Uno dei processi che utilizzano il principio di tale tecnologia è il *Six-Phase Heating™* (SPH). Tale processo riscalda uniformemente la zona insatura o l'acquifero per mezzo della collocazione di elettrodi (alimentati con corrente AC 6-fase) collocati in una tipica configurazione esagonale all'interno di pozzi verticali, a cui si aggiunge al centro un elettrodo neutro collocato in un pozzo che funge anche da punto d'estrazione di vapori dal suolo e di acqua sotterranea. Il riscaldamento provoca la distruzione termica dei composti organici per mezzo di plasma a bassa temperatura.
- **Electrical Conductive Heating.** Mediante pozzi verticali o un'installazione superficiale orizzontale, il terreno viene riscaldato in prossimità di essi fino a temperature dell'ordine dei 900°C, ed i contaminanti eliminati per desorbimento, volatilizzazione, distruzione termica, spiazzamento a seguito del flusso di vapore generato dalla vaporizzazione dell'aria presente nel terreno. Si applica allo spessore insaturo, e lascia il terreno praticamente sterile al termine del trattamento.

I trattamenti termici utilizzati allo scopo di mobilizzare la fase libera comportano la riduzione della massa di contaminanti presente nel terreno, e quindi l'eliminazione parziale o totale delle sorgenti di contaminazione. Ciò consente di velocizzare i tempi di risanamento mediante *bioremediation* e di ridurre il fenomeno del *rebounding* associato ai trattamenti di *Pump & Treat*. Immediatamente al termine del trattamento le concentrazioni in fase disciolta sono paragonabili a quelle iniziali. Concentrazioni inferiori possono essere presenti limitatamente a VOC ed SVOC.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 54 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### Applicabilità e limitazioni

L'applicabilità ed i vantaggi delle tecnologie termiche in situ sono:

- possibilità di applicazione ad un ampio spettro di contaminanti (fra cui DNAPL);
- si tratta di processi di "forza bruta" per la rimozione della massa contaminante;
- permettono la volatilizzazione dei contaminanti semi-volatili sia nella zona vadosa che satura per poi applicarvi un metodo standard di SVE;
- la mobilizzazione di contaminanti non volatili e viscosi può essere raggiunta nel sottosuolo;
- la volatilizzazione e la mobilizzazione possono essere raggiunti attraverso la zona insatura e nella zona satura fino a profondità di 60 m;
- numerosi composti volatili alogenati raggiungono il galleggiamento allorché scaldati a 70°C e diventano LNAPL nella zona riscaldata, dove possono essere recuperati con metodi convenzionali.

Gli svantaggi delle medesime tecnologie sono:

- alti costi di installazione limitano l'applicabilità a siti estesi ed altamente contaminati;
- alte pressioni di iniezione possono risultare in *soil fracturing* in applicazioni superficiali (<9 m);
- se non controllata, l'infiltrazione di vapore condensato verso acquiferi più profondi può determinarne la contaminazione;
- è necessario sempre controllare le emissioni di vapore dal sottosuolo con un sistema di SVE e di monitoraggio dell'aria per tutto il periodo del trattamento;
- alti costi tecnologici.

## 8.9 Ossidazione chimica

I trattamenti di ossidazione in situ consistono nell'iniezione nella matrice contaminata (suolo saturo o insaturo) di una miscela reagente contenente un opportuno agente ossidante che consente la completa trasformazione del contaminante in anidride carbonica ed acqua e, quanto meno, la sua trasformazione parziale in sostanze a struttura molecolare più semplice e più facilmente degradabili.

L'utilizzo di composti con potere fortemente ossidante permette l'ossidazione di composti organici recalcitranti all'ossidazione biologica (biodegradazione). I composti ossidanti più comuni sono il perossido di idrogeno (in condizioni di reazione tipo "Fenton" o "Fenton-like"), l'ozono, il permanganato di potassio e sodio, a cui si aggiungono altri ossidanti (per solfato di sodio, acido peracetico, ipocloriti) ancora in fase di sperimentazione. Essi sono introdotti direttamente in falda mediante pozzi di iniezione, con o senza l'utilizzo di pressione. L'erogazione delle sostanze si avvale di pozzi di iniezione verticali o orizzontali, o di trivelle di mescolamento, o ancora di fratture idrauliche.

I trattamenti di ossidazione chimica possono essere impiegati da soli o in abbinamento con altri metodi, quali la biodegradazione o trattamenti fisici.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 55 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### Applicabilità e limitazioni

Gli ossidanti che sono commercialmente disponibili e più frequentemente utilizzati sono il reagente di *Fenton* (perossido di idrogeno e ferro), permanganato di potassio e ozono. In Tab. 8.1 sono riportati gli ossidanti più utilizzati, e viene fatto un confronto tra le loro diverse caratteristiche quali il potenziale di ossidazione, i sottoprodotti, i tempi di reazione, la capacità di migliorare la biodegradazione, e i costi qualitativi.

	Fenton's Reagent	Permanganate	Ozone
Physical State	Liquid	Liquid	Gas
Molecular Composition	OH <sup>*</sup>	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	O <sub>3</sub>
Oxidation Potential	2,80 V (OH <sup>-</sup> )	1,70 V	2,07 V
Reaction Times	Very Fast	Slow	Fast
By-Products	Ferric iron, oxygen, and water.	Dissolved manganese, manganese dioxide, and potential heavy metals.	Oxygen
Potential to Enhance Bioremediation	Yes, if applied under neutral conditions.	Unlikely	Yes
Capital Costs	Low	Low	High

Tab. 8.1: Confronto tra le tipologie di ossidante più utilizzate

Il reagente di *Fenton* (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+Fe<sup>2+</sup>), che consiste in perossido di idrogeno con il ferro come catalizzatore, è l'ossidante usato più comunemente. Le reazioni di *Fenton* sono relativamente poco costose e molto veloci, ma richiedono un catalizzatore e possono anche richiedere aggiustamenti di pH a condizioni acide per la reazione di *Fenton* classica, sebbene ricerche abbiano verificato che reazioni simili a quella di *Fenton* possono avvenire anche in condizioni di pH neutro usando un catalizzatore di ferro chelato. Il catalizzatore di ferro chelato rimane in soluzione anche in assenza di una soluzione a basso pH, condizione invece richiesta per la chimica di *Fenton* convenzionale. In generale tali reazioni sono molto esotermiche e necessitano di una cauta gestione in campo di possibili problemi operativi (es. eruzione dei pozzi d'immissione).

Il permanganato di potassio (KMnO<sub>4</sub>) ossida i contaminanti direttamente senza catalizzatore o aggiustamenti del pH. Il risultato dell'ossidazione è la produzione di biossido di carbonio, ioni, e ossido di manganese. Il permanganato di potassio non è un ossidante così forte come il radicale ossidrilico. Il vantaggio di un minore potenziale di ossidazione del permanganato di potassio è che l'ossidante ha la possibilità di muoversi di più nel sottosuolo prima di reagire. Perciò, il permanganato di potassio può raggiungere una distribuzione maggiore nel sottosuolo e venire a contatto con un volume maggiore di suolo o acqua di falda contaminati. L'introduzione di permanganato nel sottosuolo apporta del manganese che può precipitare o formare ossidi di manganese. Inoltre, cambiamenti della chimica del sottosuolo possono dare luogo alla trasformazione di specie inorganiche quali il cromo, in forme più mobili.

 <b>Snamprogetti</b> <small>GROUP</small>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 56 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

L'ozono ( $O_3$ ) iniettato in forma gassosa provoca l'ossidazione diretta dei contaminanti. L'ozono è una forma piuttosto instabile ed è più indicato per il trattamento di contaminanti, come gli idrocarburi derivati dal petrolio, per i quali la rottura di ossigeno addizionale favorisce la degradazione aerobica. Inoltre l'ozono si trova nello stato di gas in condizioni standard di temperatura e pressione ed è perciò particolarmente indicato per il trattamento della zona vadosa. Non si conosce purtroppo, nelle precedenti applicazioni dell'ossidazione con ozono quanto la riduzione di concentrazione del contaminante sia imputabile all'ossidazione chimica diretta in confronto alla degradazione aerobica, migliorata dall'incremento del contenuto di ossigeno. L'ozono non è stato impiegato in così tante situazioni come la reazione di *Fenton*, e il permanganato di potassio. Il costo dell'ossidazione con ozono è molto elevato in confronto ai costi degli altri ossidanti, perché il sistema di generazione dell'ozono deve essere costruito direttamente nel sito dove viene utilizzato.

Tra gli ossidanti sono in corso promettenti studi anche per l'applicazione di persolfato di sodio, efficace per l'ossidazione dei composti recalcitranti. Questo ha alcuni vantaggi specifici rispetto il permanganato: non produce forme che precipitano (come  $MnO_2$ ) e danno *clogging* ma dà come sottoprodotto il solfato; è dimostrata una migliore selettività verso i contaminanti che sono strutturalmente semplici, rispetto alla materia organica presente nel suolo (es. acidi umici e fulvici) quindi un minore consumo di ossidante.

L'ossidazione chimica è particolarmente indicata per i composti clorurati perché il processo non produce cloruro di vinile, un comune prodotto della degradazione biologica. Questi sono stati ripetutamente ed efficacemente trattati. Tuttavia i composti cloroalifatici insaturi (come il tricloroetilene e il dicloroetilene) sono più sensibili all'ossidazione degli omologhi saturi che comunque sono ossidabili in condizioni cinetiche più favorevoli (ad esempio per catalisi o aumento di temperatura).

L'ossidazione chimica dei contaminanti è efficace in presenza di una litologia omogenea e sufficientemente permeabile: qualora queste condizioni non siano verificate, è possibile che gli ossidanti introdotti non riescano ad entrare in contatto in modo efficace con i contaminanti, e che pertanto le zone a minore permeabilità non siano interessate dal trattamento.

In formazioni omogenee e discretamente permeabili, l'ossidazione chimica potrebbe consentire la riduzione delle concentrazioni di vari ordini di grandezza relativamente a VOC ed SVOC, ed in misura minore dei composti a maggior numero di atomi di carbonio. In generale, tale trattamento è seguito da una bioremediation in quanto difficilmente è in grado di riportare le concentrazioni al di sotto dei limiti di cui al DM 471/99. Tipicamente, l'ossidazione chimica trova applicazione nella riduzione delle concentrazioni in fase disciolta dopo la rimozione di una fase libera e prima di un trattamento di biorisanamento.

L'impiego di forti ossidanti provoca in generale una – almeno parziale – distruzione dei microrganismi presenti in falda. Ciò deve essere attentamente valutato qualora si intenda far seguire all'ossidazione chimica un trattamento di biodegradazione microbico - ecologica (ossia senza l'inoculo di microrganismi esterni).

Nel caso dell'ossidazione di numerosi contaminanti, inoltre, non sono definiti con precisione quali siano i sottoprodotti generati a seguito dell'ossidazione, con il rischio di formare specie più mobili o più tossiche rispetto a quelle di partenza.

Una volta che l'ossidante appropriato e il meccanismo di rilascio sono stati selezionati per un determinato contaminante, per un'efficace ossidazione è necessario garantire il contatto tra l'ossidante e il contaminante nel sottosuolo. Per questo è determinante la conoscenza delle condizioni del sottosuolo. Infatti questa tecnologia è efficace solo se

 <b>Snamprogetti</b> <small>GROUP</small>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 57 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

l'ossidante viene rilasciato nelle aree realmente interessate dalla contaminazione ed è garantito il contatto con le specie da ossidare.

Le eterogeneità del sottosuolo, la presenza di zone a bassa permeabilità, ed una concentrazione elevata di materia organica che reagisce con gli ossidanti possono comprometterne l'efficacia, e richiederne l'iniezione di quantitativi eccessivi di reagenti, tali da rendere il trattamento assolutamente *non - cost effective*.

I fattori di seguito elencati potrebbero limitare l'applicabilità del processo ossidativo:

- efficienza ridotta con alcuni contaminanti;
- possibilità di consumo improduttivo di ossidante per la presenza naturale di composti ossidabili nel suolo;
- possibilità di essere *non - cost effective* in caso di alte concentrazioni di contaminante a causa delle grandi quantità di ossidanti che dovrebbero essere introdotte nel sottosuolo;
- possibilità di reazioni non controllate e sotto-prodotti di parziale ossidazione non desiderati;
- condizioni idrogeologiche che non consentono un agevole contatto fra ossidante e contaminanti.

Per i fattori su elencati vanno condotti sempre prove di laboratorio preliminari ed accurati test in campo.

## 8.10 Riduzione chimica in situ

La tecnologia concerne la distribuzione di sostanze reagenti nell'acquifero, che agiscono riducendo i contaminanti in composti meno pericolosi. L'erogazione delle sostanze si avvale di pozzi di iniezione verticali o orizzontali, o di trivelle di mescolamento, o ancora di fratture idrauliche.

Il processo di trattamento prevede tre fasi: iniezione, reazione e recupero dei reagenti o dei sottoprodotti di reazione presenti nel sottosuolo.

L'ambiente riduttivo del sottosuolo può essere manipolato tramite l'iniezione di soluzioni, gas o colloidali riducenti. Ad oggi tra gli agenti riducenti solubili, di maggior efficacia si è dimostrata essere la ditionite, tra i gas l'idrogeno solforoso, e tra i colloidali il ferro zero valente e quello bivalente in presenza di argilla. La ditionite ed il ferro zero valente si sono rilevati particolarmente efficaci per la rimozione dei solventi clorurati.

Generalmente, per garantire il recupero del reagente iniettato e dei prodotti di reazione in fase acquosa, è necessario pompare un volume pari almeno a tre volte quello iniettato.

Un'interessante alternativa di trattamento è l'impiego di agenti riducenti gassosi: i gas vengono iniettati all'interno di uno o più pozzi realizzati in posizione centrale, mentre in posizione periferica rispetto alla zona di trattamento vengono realizzati una serie di pozzi che consentono di recuperare i gas riducenti presenti in eccesso, funzionando anche da punti di monitoraggio per controllare la migrazione dei gas nel sottosuolo.



 <b>Snamprogetti</b> <small>GROUP</small>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 58 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Alla fine del trattamento, il sistema viene lavato con aria per rimuovere i gas riducenti residui. Il vantaggio di questa tecnologia consiste nella maggiore facilità rispetto all'iniezione delle soluzioni, nel distribuire in modo efficace il reagente all'interno della zona di trattamento, come anche nel recuperare il gas che non ha reagito durante il trattamento.

L'azione diretta in situ del FeO, se comparata con le barriere permeabili reattive, presenta numerosi vantaggi. A partire dal fatto che non è necessaria alcuna escavazione del terreno contaminato, l'installazione e la gestione del sistema di trattamento si presenta particolarmente economica.

Generando colloidali di FeO delle dimensioni di micro o addirittura nanometri, possono essere realizzate maggiori superfici di trattamento, limitando pertanto, a parità di efficienza di trattamento, la massa totale di ferro richiesta. Lo svantaggio sta nel fatto che risulta a volte difficile verificare l'effettiva uniformità ed integrità della barriera realizzata, e la sua corretta ubicazione.



In presenza di zone molto estese di inquinamento, una possibile soluzione può essere quella di creare zone/barriere riduttive, all'interno delle quali il contaminante può essere eliminato o semplicemente trattenuto.

Uno dei problemi principali concernenti l'iniezione di composti riducenti è la persistenza dell'ambiente creato. Infatti i contaminanti inorganici, come i cromati, immobilizzati in condizioni riducenti potrebbero ritornare nella forma più mobile a causa di cambiamenti delle condizioni ambientali. Un altro limite riguarda la tossicità dei prodotti di degradazione dei contaminanti organici.

#### Applicabilità e limitazioni

Applicabilità e limitazioni sono sostanzialmente della stessa natura di quelle incontrate per l'ossidazione chimica in situ.



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 59 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 9 SELEZIONE DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA

Di seguito si analizza l'applicabilità sito specifica delle varie tecnologie individuate nel precedente paragrafo.

### Recupero della fase libera

Pur avendo già considerato in dettaglio le limitazioni relative ai sistemi di recupero, e riconoscendo come nel sito siano presenti sostanzialmente dei fattori che possono influenzare negativamente l'estrazione dal sottosuolo della fase libera presente, ossia strutture interrate, eterogeneità del terreno e orizzonti a più bassa permeabilità, è necessario mettere in atto un recupero della fase libera dove presente.

E' possibile ipotizzare che l'efficienza di recupero si manterrà solo fino a quando la fase libera sarà abbastanza consistente, poiché la litologia dove si colloca la superficie libera della falda, limi argillosi e sabbiosi con torbe, non contribuisce alla migrazione orizzontale del prodotto verso i punti di recupero. E' quindi verosimile che in seguito permangano nel terreno delle zone con una presenza di prodotto che non riesce a migrare efficacemente verso i punti di recupero a causa della presenza di zone a minore permeabilità, oppure a causa dell'elevata viscosità del liquido laddove esso sia costituito prevalentemente da idrocarburi con un elevato numero di atomi di carbonio.

Tali limitazioni sono state superate mediante la realizzazione sistemi di tipo *Dual Pump*, i quali consentono una rimozione delle sostanze organiche non soltanto attraverso il recupero meccanico ma anche a seguito di un aumento della loro vaporizzazione, aggirando parzialmente le difficoltà relative al flusso advettivo.

I sistemi di recupero finora considerati sono rivolti al recupero del surnatante presente sulla falda. Per accelerare le operazioni di recupero del prodotto ed aumentare il quantitativo estratto, limitando la frazione dispersa nell'acquifero a seguito di solubilizzazione o adsorbimento, è opportuno verificare puntualmente l'eventuale presenza di sacche di prodotto a livello di spessore insaturo.



### Barriere reattive

Dato l'elevato grado di utilizzo del suolo e la capillare presenza su tutta l'area dello stabilimento di sottoservizi, la realizzazione di barriere reattive allo scopo di contenere la migrazione dei contaminanti non appare un'ipotesi applicabile sullo Stabilimento o su ampie porzioni dello stesso.

Un quadro idrologico così complesso e variabile non permette la realizzazione dell'opera in esame.

### In situ flushing

La scarsa permeabilità dello spessore insaturo, da un lato rende l'in situ *flushing* non applicabile a tale porzione dell'acquifero, dall'altra limita le possibilità di infiltrazione delle soluzioni di lavaggio nel sottosuolo, le quali si riducono alla sola iniezione mediante pozzi (localmente, potrebbero essere prese in considerazione anche delle trincee drenanti).

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 60 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

A livello di utilizzo del *soil flushing* finalizzato alla mobilizzazione della fase libera per la successiva captazione del surnatante, tale ipotesi potrebbe essere ipotizzata localmente, qualora le condizioni litologiche indichino una possibilità di applicazione. In particolare, il *soil flushing* richiede delle permeabilità medio-elevate, laddove le indicazioni stratigrafiche finora disponibili evidenziano la presenza di materiali medio-fini in corrispondenza della *smearing zone* su ampie porzioni dello stabilimento. Inoltre, un'applicazione finalizzata alla mobilizzazione del prodotto libero presente a livello di *smearing zone* richiederebbe una distribuzione della soluzione di lavaggio mediante metodi gravimetrici a partire dalla superficie, con una doppia implicazione: la disponibilità dell'area di applicazione della soluzione; materiali omogenei e discretamente permeabili a livello di spessore insaturo.

Ciò tende a far escludere l'applicazione di questa tecnologia per gli stessi motivi per i quali non appare idonea al trattamento dell'insaturo.

Lo spessore saturo presenta anch'esso significative eterogeneità, che si potrebbero tradurre in una ridotta efficacia di trattamento e/o una maggiore difficoltà di captazione ed intercettazione delle soluzioni immesse a valle delle zone di trattamento.

Non di meno non è a priori da scartare la possibilità di utilizzare tale tecnologia nel caso in cui si evidenziassero dei *pool* massivi di DNAPL (ad oggi comunque non individuati) nelle zone affette da composti cloroalifatici di estensione tale da richiedere un intervento di riduzione per rimozione dei contaminanti in fase separata.

Nel complesso, si ritiene che tale tecnologia sia in generale poco applicabile nel sito in esame.

#### *Air sparging e Soil Vapor Extraction*

L'*air Sparging* va accoppiato ad un sistema di estrazione dei vapori dal suolo quale un *Soil Vapour Extraction* al fine di catturare i contaminanti estratti che si raccolgono nella zona insatura e trattarli. Nel caso in oggetto, l'applicabilità del SVE viene esclusa per la presenza di livelli a bassa permeabilità.

Come detto lo spessore insaturo è caratterizzato dalla presenza prevalente di materiali a scarsa permeabilità, principalmente di natura limoso-argillosa. Tali elementi contrastano l'applicazione dell'*air sparging* al sito in esame, in quanto da un lato possono favorire percorsi di migrazione orizzontale dell'aria e dei contaminanti strippati, con un possibile allargamento della porzione di terreno interessata dalla contaminazione, dall'altra ostacolano la captazione controllata dei vapori a livello dell'insaturo.

A causa di questi fattori, e data inoltre la necessità di occupazione del terreno che comporterebbe, le possibilità di applicazione della SVE appaiono decisamente ridotte. Qualora peraltro si rendesse necessario implementare tale metodo per la captazione di emissioni di composti volatili generati mediante altri trattamenti, sarebbe necessario prevedere degli accorgimenti particolari per massimizzarne la captazione. Tali accorgimenti potrebbero consistere nell'impermeabilizzazione di un'area di superficie abbastanza ampia al di sopra della zona interessata dal trattamento, dalla realizzazione di trincee drenanti e/o l'installazione di tubazioni orizzontali. In generale, tuttavia, sarebbe necessario ricorrere a sistemi che implicano un utilizzo piuttosto marcato dell'area, la cui necessità, al momento, non si intravede. Altri sistemi di recupero dei vapori (ad es. delle trincee ad hoc da cui recuperare in depressione i vapori) determinerebbero costi più elevati e problemi d'ingombro e di gestione delle aree da evitare in un sito produttivo. Per tali motivi, si ritiene che l'*air sparging* e SVE non siano applicabili nel sito in esame.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 61 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### In well stripping

Nelle aree del sito interessate da contaminazione da parte dei VOC (sia specie idrocarburiche che cloroalifatiche) il sistema risulta in generale applicabile. Solamente nel caso di presenza di lenti o banchi di calcareniti nell'intorno del pozzo, il sistema potrebbe comportare un'efficacia ridotta.

Nel caso in esame, una limitazione all'efficacia del sistema è connessa alla collocazione della *smearing zone* a livello di terreni eterogenei, in alcuni casi relativamente poco permeabili. Ciò costituisce infatti un limite sia al recupero della fase libera che al trattamento della fase residuale. L'effetto potrebbe determinare un rallentamento del processo di rimozione dei contaminanti, il quale, a causa della ridotta circolazione idrica in corrispondenza degli strati a bassa conducibilità idraulica, sarebbe controllato dal rate di diffusione dei contaminanti stessi dai livelli limoso-argillosi ai livelli limoso-sabbiosi.

Tale effetto è da considerarsi remoto in quanto i pozzi debbono essere ubicati in zone ove non vi sia la presenza di fase libera.

Va aggiunto inoltre che, oltre l'utilizzo di aria, è possibile incrementare l'efficacia del processo utilizzando altri gas di stripping (puri o in miscela con aria) fra i quali, ad esempio CO<sub>2</sub>, che dimostra un'efficienza di stripping ben maggiore dell'aria tal quale.

### Engineered Bioremediation

Date le notevoli limitazioni all'applicabilità di tutte le tecnologie più marcatamente "attive" (ossia che si basano sul moto forzato di flussi di acqua, di aria o altre sostanze), data la scarsa utilizzabilità delle aree, la presenza di sottoservizi e strutture interrato (i quali limitano la possibilità di escavazioni, installazioni e flusso nel sottosuolo), l'ampiezza del sito coinvolto dalla contaminazione e l'estrema variabilità dei composti presenti, la *bioremediation* si presenta come una tecnica favorevole dal punto di vista della applicabilità e della adattabilità.

Essendo la contaminazione presso il sito di tipo pregresso, è possibile supporre che siano già presenti popolazioni microbiche acclimatate in grado di biodegradare efficacemente gli idrocarburi presenti. Inoltre le concentrazioni mediamente elevate di ferro e manganese testimoniano la presenza di attività di biodegradazione aerobica, certamente limitata dall'insufficienza di ossigeno libero in ampie aree del sito. Il ripristino di condizioni favorevoli alla biodegradazione aerobica, in termini di ossigeno ed eventualmente di nutrienti, può portare ad una riduzione significativa della massa di idrocarburi presente in falda e delle concentrazioni in falda.

### Biosparging

Questa tecnologia è in generale applicabile nel sito nelle zone dove sono maggiormente presenti composti biodegradabili e condizioni di crescita microbica favorevoli. Tale applicabilità viene confermata anche dai risultati ottenuti dalla bonifica mediante biosparging in atto in Area M.

### Trattamenti termici

Per le limitazioni brevemente esposte nel paragrafo precedente, sono da escludere come possibili tecnologie di risanamento del sito in esame.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 62 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

L'efficacia del trattamento mediante iniezione di acqua calda o vapore è abbastanza limitata a causa della presenza di formazioni scarsamente permeabili all'interfaccia tra spessore saturo e spessore insaturo, l'*electrical conductive heating* a causa delle elevatissime temperature realizzate, non risulta compatibile con la presenza di strutture interrato e sottoservizi.

### Ossidazione chimica (e Riduzione chimica)

Si ritiene che l'ossidazione chimica (o anche la riduzione chimica) possa costituire una scelta possibile per il trattamento di porzioni specifiche del sito, in corrispondenza delle aree con prodotti cloroalifatici recalcitranti, mentre non costituisce una soluzione generalizzata per la bonifica di tutto il sito in esame.

In merito alle criticità relative all'utilizzo di questa tecnologia esistono problemi connessi all'introduzione in falda di composti esogeni, oltre che la verifica della non tossicità dei prodotti di reazione per questi motivi non si ritiene applicabile la tecnologia dell'Ossidazione chimica al sito in esame.

## 9.1 Applicabilità delle tecnologie

Gli interventi di bonifica della falda prevedono il trattamento in situ delle acque sotterranee mediante l'utilizzo di treni tecnologici al fine di ottimizzare gli interventi in termini di efficienza e tempi di risanamento, oltre a determinare un minor aggravio delle condizioni di esercizio del sistema *Pump & Treat*, costituito dalle barriere pozzi, dai sistemi *Dual Pump* e dal successivo trattamento.



Dopo aver agito direttamente sul nucleo di contaminazione (fase separata) ottenendone una significativa riduzione, si procederà, ad un'azione di bonifica sulla massa di contaminante disciolto ed adsorbito, congiuntamente ad un'azione di biorisanamento mediante degradazione biologica e nel lungo periodo a una MNA.

Tale pratica strategica, che si avvale di più di una tecnologia di bonifica, permette generalmente un sensibile abbattimento dei costi e dei tempi d'intervento, rispetto all'impiego di una sola tecnologia che potrebbe da un lato non essere sufficientemente efficace per raggiungere gli obiettivi di bonifica o che, al contrario, richiederebbe costi elevati e tempi lunghissimi per il loro raggiungimento.

Ciò che si evince è pertanto che la strategia di bonifica è fortemente legata alla distribuzione della contaminazione.

### 9.1.1 Interventi in situ nelle aree contaminate da idrocarburi e BTEX

Nel sito sono state individuate quattro zone di attenzione prioritaria caratterizzate dalla presenza di idrocarburi e BTEX (Cfr. § 4.7.2). In particolare sono presenti due zone interessate dalla presenza di una fase libera, la zona ST20 e la Zona Parco Serbatoi. Poiché tale fase rappresenta una sorgente secondaria di contaminazione estremamente importante dal punto di vista delle concentrazioni in falda e della massa totale rilasciata, si fa presente che si sta procedendo alla rimozione della maggior quota possibile di tale fase libera ma si evidenzia che la rimozione della fase libera non comporterà una riduzione delle concentrazioni in falda, le quali si manterranno prossime a quelle di saturazione in corrispondenza della zona interessata dalla fase libera stessa fino alla completa rimozione di quest'ultima.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 63 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

La tecnologia selezionata per la rimozione dei contaminanti volatili e semi - volatili disciolti in falda è l'*In well stripping* a flusso inverso. Tale tecnologia risulta particolarmente adeguata per la degradazione dei contaminanti in situ, mediante l'abbinamento di azioni fisiche di *stripping* con sistemi che stimolano la biodegradazione aerobica attraverso l'ossigenazione della falda.

Le aree che si candidano per l'applicazione dell'*In well stripping* sono quelle caratterizzate da concentrazioni medio - elevate, anche fino alle condizioni di saturazione, quali ad esempio le aree immediatamente a valle di quelle interessate dalla presenza di fase libera.



Tra le tecnologie esistenti per l'applicazione la UVB appare essere quella più idonea. I vantaggi del sistema UVB sono legati principalmente al moto forzato indotto nell'acqua di falda, che determina una movimentazione dell'intero spessore saturo. Il raggio d'influenza del pozzo è influenzato dalle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero ma non risente particolarmente della presenza di livelli orizzontali a minore permeabilità.

Il *Biosparging* e l'*Enhanced bioremediation* – ossia l'incremento dei processi naturali di biodegradazione ad opera dei microrganismi, autoctoni o alloctoni, mediante la regolazione in falda degli accettori di elettroni e dei nutrienti necessari per i processi di accrescimento biologico – risultano potenzialmente applicabili alle aree caratterizzate da concentrazioni medie e medio - basse, affidando la rimozione dei contaminanti a meccanismi principalmente od esclusivamente di tipo biologico.

Tali metodi risultano quindi applicabili in una fase successiva all'*In Well Stripping*, quando le concentrazioni residue avranno raggiunto valori inferiori a circa 10 mg/l.

Il *Biosparging* è un sistema simile all'*air Sparging* e ricade nella famiglia dei trattamenti biologici, ma a differenza di quest'ultimo l'iniezione di aria (e quindi di ossigeno) insieme a nutrienti ed eventuali regolatori di pH ha lo scopo di stimolare la biodegradazione e non lo stripping dei contaminanti.

Di seguito viene riportata una sintesi del treno tecnologico potenzialmente applicabile alle aree in esame (Fig. 9.1):

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 64 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

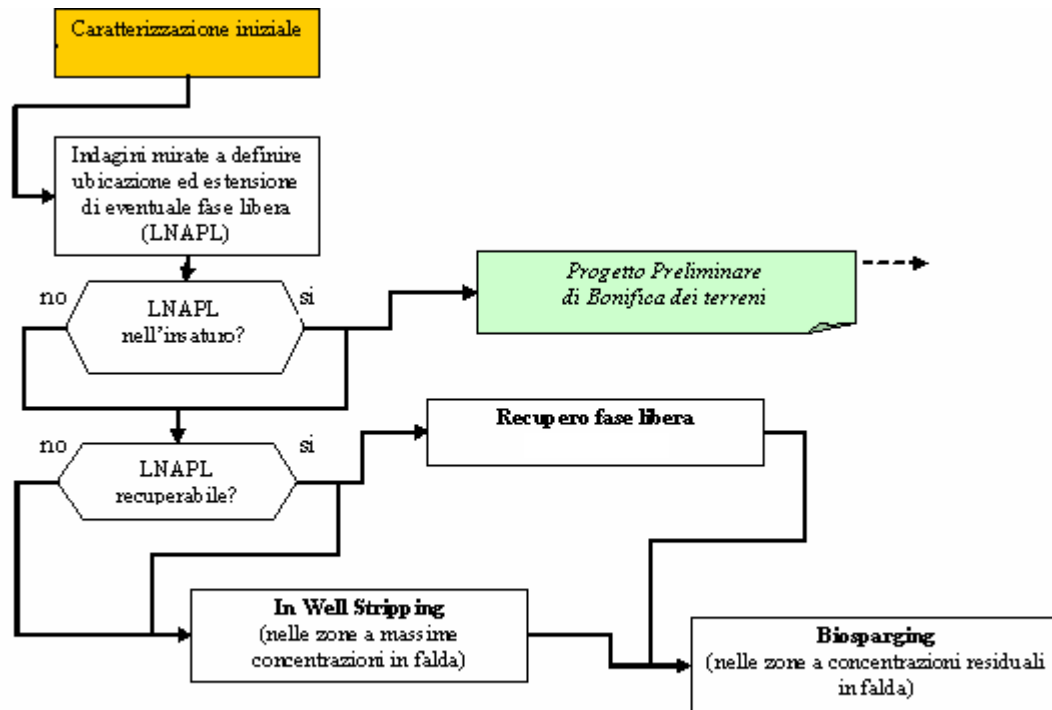


Fig. 9.1 - Schema d'intervento per le aree contaminate da Idrocarburi e BTEX

#### Zone con presenza di fase libera.

- Rimozione della fase libera mediante *Dual Pump* e successivamente *skimmer* o *bioslurping*.
- In well stripping* per la riduzione di larga parte della massa disciolta in falda.
- Enhanced bioremediation* mediante *Biosparging*, una volta raggiunte le concentrazioni ottimali per il funzionamento del sistema.

#### Zone con assenza di fase libera e concentrazioni > 10-100 mg/l.

- In well stripping*, eventualmente seguito da *enhanced bioremediation*.

#### Zone con assenza di fase libera e concentrazioni < 10-100 mg/l.

- Enhanced bioremediation*, mediante *biosparging* oppure iniezione di composti a rilascio di ossigeno (ORC) e nutrienti.

### 9.1.2 Interventi in situ nelle aree contaminate da alifatici clorurati

La contaminazione da alifatici clorurati, rilevata nell'ultima campagna di monitoraggio, è circoscritta a zone di limitate estensioni areali in particolare in corrispondenza della zona XI ed in corrispondenza di zone contaminate anche da



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 65 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

idrocarburi e BTEX. Nel presente progetto si prevede di eseguire delle campagne di monitoraggio in corrispondenza delle aree dove è stata rilevata la presenza di tali sostanze per accertarne la provenienza che come riportato nella relazione del Comune di Mantova è dovuta a perdite in siti industriali a Nord dello Stabilimento Polimeri Europa.

### 9.1.3 Interventi per le aree contaminate da Mercurio

La contaminazione da mercurio è stata rilevata nell'ultima campagna di monitoraggio (Febbraio 2004) in un solo piezometro (CS5) nelle immediate vicinanze del sondaggio SD034 in cui ad una profondità compresa fra 4 e 5 m è stato rilevato un superamento per il terreno.



In questo caso, dove la contaminazione delle acque è in stretta correlazione con la contaminazione del terreno, si rimanda quindi al progetto preliminare di bonifica dei terreni la rimozione della potenziale fonte di contaminazione secondaria.

## 9.2 Apparati e dimensionamenti degli interventi di bonifica

Gi interventi di bonifica individuati riguardano la realizzazione di opere che in generale non richiedono particolari calcoli di verifica o dimensionamento, ma l'adozione di criteri progettuali ormai consolidati nella pratica corrente ed in linea con le norme tecniche vigenti, anche per quanto riguarda le attrezzature e i materiali impiegati.

### 9.2.1 *In well stripping*

Il pozzo appositamente progettato sarà costituito da 3 sezioni fenestrate e separate da *packer*. Nella parte superiore del pozzo sarà collocata una cameretta completamente interrata dove saranno alloggiati due stripper a labirinto (montati uno sull'altro e funzionanti in serie). Lo schema di completamento del pozzo è mostrato in figura 9.4.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 66 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

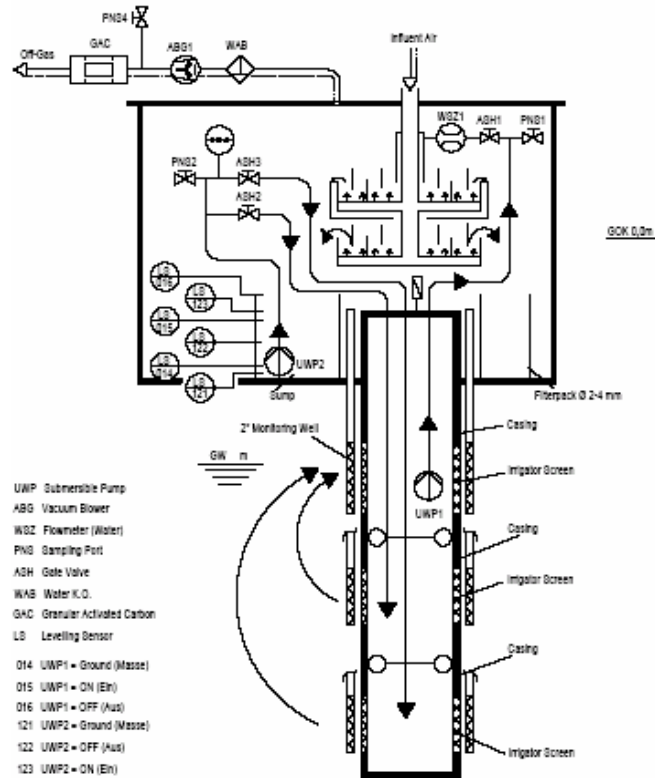


Fig. 9.2 - Schema di completamento di un pozzo di In Well Stripping

Nel caso delle zone contaminate da idrocarburi e BTEX, l'acqua di falda contaminata proveniente dalla porzione più superficiale viene pompata dalla fenestratura superiore ed inviata al primo stripper e da qui per caduta al secondo posto più in basso. In corrispondenza delle aree contaminate da alifatici clorurati (con eventuale presenza di DNAPL) il pompaggio dell'acqua avverrà dalla fenestratura più profonda.

Nella cameretta, mediante un ventilatore, verrà creata una pressione negativa che richiama l'aria dall'esterno, alimentando i due stadi dello stripper. Qui i costituenti volatili (VOC) vengono trasferiti dalla fase liquida (acqua di falda) alla fase gas in accordo con le proprietà d'equilibrio. Il processo di desorbimento si ripete poi per la fase gassosa mediante filtraggio su carboni attivi.

L'acqua trattata viene raccolta in una vasca circolare in PE, posta alla base della cameretta e riempita di sabbia quarzosa, per filtrare il precipitato che si può formare durante il processi di strippaggio. Da qui mediante una pompa pescante alla base delle vasca reinietta l'acqua nell'acquifero attraverso le sezioni fenestrate intermedia e inferiore del pozzo.

Gli *off-gases* sono trattati in superficie con filtri di GAC e per minimizzare le emissioni ed eventuali scarichi involontari di VOC in atmosfera, si può prevedere un ricircolo dell'aria filtrata su GAC all'alimentazione dello stripper.

	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 67 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### Dati progettuali

La figura 9.5 rappresenta l'andamento del flusso naturale della falda in prossimità di 2 installazioni UVB. In particolare nella figura (a) sono rappresentati i "settori" di acqua relativi alla zona di cattura, di circolazione e di flusso a valle del pozzo per una situazione reale, mentre nella figura (b) sono separate per una migliore comprensione.

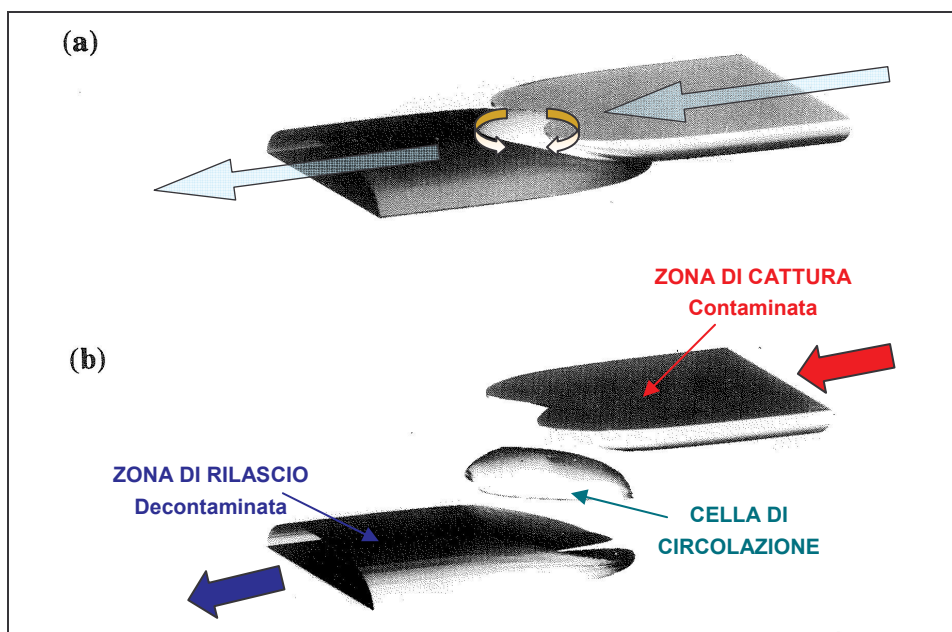


Fig. 9.3 - Andamento del flusso della falda nell'intorno di 2 pozzi UVB

Fissate le caratteristiche dimensionali di una installazione UVB e note le caratteristiche idrogeologiche del sito, il dimensionamento di un pozzo UVB consiste, in pratica, nella determinazione del raggio d'influenza e dell'estensione della cella di circolazione nell'intorno del pozzo stesso.

La determinazione del raggio d'influenza permetterà la definizione della configurazione degli interventi con particolare riferimento ai primi moduli di bonifica.

Sulla base dei risultati ottenuti dai test di laboratorio ed in funzione della portata di acqua garantita dalla pompa sommersa si procederà, quindi, alla determinazione dei quantitativi di aria da iniettare all'interno del pozzo.

### Raggio d'influenza

La figura 9.6 mostra un grafico che può essere utilizzato per il dimensionamento delle installazioni UVB nel caso di presenza di flusso naturale della falda. Tale grafico permette di ricavare l'estensione della zona di cattura del pozzo (S) e quindi la massima distanza tra 2 installazioni UVB, definito un rapporto a/H, dove:

- H = altezza dell'acquifero;
- a = altezza del tratto finestrato.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 68 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

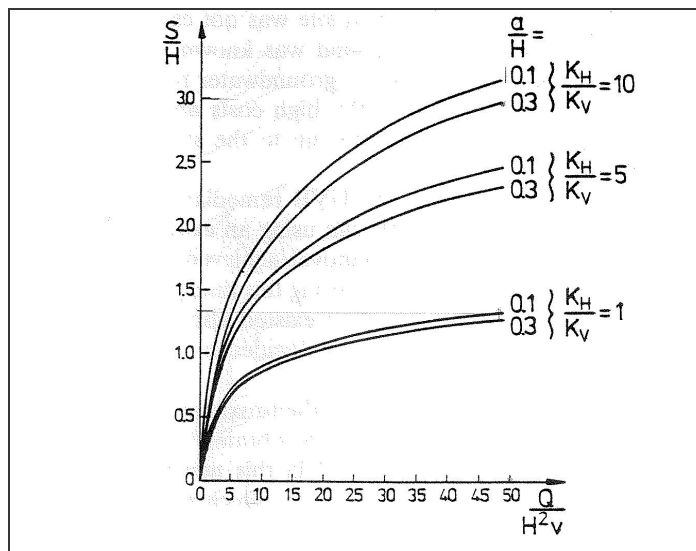


Fig. 9.4 - Grafico per il dimensionamento del sistema UVB

In particolare le grandezze riportate nel grafico rappresentano:

- $v$  = velocità di *Darcy* del flusso naturale dell'acqua di falda;
- $K_H$  = permeabilità orizzontale della zona satura;
- $K_V$  = permeabilità verticale della zona satura;
- $Q$  = portata di acqua attraverso il pozzo UVB (dipende dalle dimensioni del pozzo ed anche dalla pompa);
- $S$  = distanza tra il punto di stagnazione e l'asse del pozzo ("raggio d'influenza").

Per il sito in oggetto, si assumono i seguenti parametri idrogeologici medi:

$$\begin{aligned}
i &= 0,003; \\
K_H &= 7 \times 10^{-4} \text{ m/s}; \\
K_V &= 7 \times 10^{-5} \text{ m/s}; \\
V_d &= 2 \times 10^{-6} \text{ m/s}; \\
H &= 12 \text{ m}; \\
K_H/K_V &= 10.
\end{aligned}$$

Si sottolinea che, i valori di conducibilità idraulica  $K$ , sono stati ottenuti da prove di portata la cui attendibilità dipende dalle modalità esecutive e dalla durata della prova stessa.

Le caratteristiche del pozzo e del sistema di sollevamento sono assunte pari a:

$$\begin{aligned}
a_T &= 3.5 \text{ m (lunghezza tratti fenestrati)}; \\
Q &= 10 \text{ m}^3/\text{h}.
\end{aligned}$$

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 69 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Tali assunzioni sono state fatte in analogia a casi di studio dedotti dalla letteratura internazionale.

Utilizzando il diagrammi per il dimensionamento di figura 9.5 si ottiene un raggio d'influenza di:

$S \cong 20$  m.

Per tener conto di errori sulla determinazione dei parametri idrogeologici del sito, i pozzi verranno disposti cautelativamente ad una distanza di 30 m circa.

Al fine di verificare l'effettivo raggio d'influenza dei pozzi determinato in maniera teorica ed ottimizzare il sistema di bonifica, insieme al primo modulo di pozzi saranno posizionati dei sistemi di monitoraggio.

### Portate d'aria

Sulla base di esperienze analoghe si assume in via preliminare una portata massima di circa  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ , i quantitativi di aria da immettere all'interno del pozzo saranno di circa  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### Pozzo di *in well stripping*

Il pozzo sarà realizzato posando una tubazione in acciaio inox del diametro interno di 16" e raggiungerà il fondo dell'acquifero fino ad profondità di circa 20 m.

I tratti fessurati saranno lunghi circa 3.5 m e saranno posti uno al fondo dello strato saturo (a circa 17-19 m da p.c.) uno al centro (a circa 13-15) l'altro in prossimità della superficie della falda (circa 9-11 m da p.c.), separati mediante un *packer*.

Il diametro della perforazione dovrà essere circa 24" e si dovrà provvedere alla realizzazione di 3 filtri in ghiaietto calibrato, una sigillatura, tra i tre tratti filtrati, con una miscela cemento/bentonite ed una cementazione fino alla sommità.

La testa pozzo sarà flangiata e corredata di 3 fori per l'immissione ed estrazione di aria ed un foro per l'alimentazione della pompa.

L'unità interna di strippaggio sarà composta da una pompa elettrosommersa in grado di garantire la portata stimata, un piatto di diffusione ed uno *stripper reactor*.

L'aria verrà iniettata mediante un compressore in grado di garantire la portata indicata mentre il recupero dei vapori sarà realizzato mediante un ventilatore.

### 9.2.2 *Biosparging*

La bonifica dell'orizzonte saturo mediante *Biosparging* sarà un'attività che verrà sviluppata successivamente alla fase di recupero del prodotto libero e dello strippaggio in situ mediante IWS.

All'attenuarsi delle concentrazioni estratte, quindi, a valle delle zone a contaminazione elevata, mediante i sistemi di *Biosparging* verrà iniettata aria in falda in modo tale da garantire la solubilizzazione dell'ossigeno necessario alla biodegradazione dei contaminanti residui.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 70 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### Dati progettuali

La determinazione del raggio d'influenza normalmente viene effettuata misurando, in condizioni di equilibrio, l'incremento di ossigeno disciolto in acqua, tale determinazione richiede l'esecuzione di test pilota, con impianto su scala ridotta, di solito mobile.

Il raggio d'influenza dipende principalmente dalla conducibilità idraulica dell'acquifero, dal rapporto tra permeabilità orizzontale e verticale e dalle eterogeneità del suolo. I principali dati progettuali dell'impianto di *Biosparging* vengono in via preliminare definiti sulla base dei dati di caratterizzazione e sono:

Litologia: sabbie medie e fini fino a circa 20 m da p.c  
Permeabilità media:  $2 \times 10^{-4}$  m/sec

Sulla base di tali dati, sulla base di casi di studio analoghi ed a quanto riportato nella letteratura internazionale si stima mediamente per le aree in oggetto un raggio d'influenza di circa 8 m.

### Portate d'aria

La pressione di iniezione dell'aria deve essere maggiore della pressione idrostatica e del carico necessario per vincere le forze capillari dell'acqua nei pori del suolo vicino al punto di iniezione.

La portata d'aria stimata sui singoli punti sarà di circa 20 mc/h con una pressione a testa pozzo di circa 0,65 bar. Le pressioni e le portate reali verranno regolate, equalizzate e bilanciate in campo in base dei primi risultati ottenuti dopo lo *start-up* del sistema.

### Pozzi di iniezione

I pozzi saranno perforati fino ad una profondità di circa 15 m. Il diametro della perforazione sarà di 127 mm e si provvederà alla realizzazione di un dreno in sabbia silicea arrotondata, lavata e calibrata ( $\phi$  4-10 mm). Il tratto cieco compreso fra p.c. e dreno sarà sigillato con *pallets* di bentonite e cementato fino alla sommità con miscela acqua/cemento/bentonite (composizione tipica in peso 100-30-5).

Il rivestimento interno in avrà un diametro di 2 pollici ed il tratto fenestrato sarà lungo circa 0,5 m e posto alla base del pozzo.

La testa pozzo sarà dotata di chiusino, carrabile all'occorrenza, entro il quale saranno posate le valvole di regolazione e sezionamento, gli attacchi per campionamento delle acque di falda e per strumenti di controllo quali indicatore di pressione e di flusso.

## **9.3 Configurazione degli interventi nelle zone di attenzione prioritaria**

Nel presente capitolo, è descritta la configurazione degli interventi di bonifica delle acque di falda nelle zone di attenzione prioritaria individuate nel § 4.7.2. La configurazione degli interventi ed una prima ipotesi di ubicazione dei primi moduli di bonifica viene descritta nel seguito.



 <b>Snamprogetti</b> <small>GROUP</small>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 71 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Nell'intero sito sono state individuate le seguenti zone di attenzione prioritaria:

- Area ST 20 (area ex produzione stirolo K ed L)
- Area ex *cracking* (area H eC)
- Area parco serbatoi (Area P)
- Zona impianto biologico (zone M ed N)

Tali aree sono caratterizzate dalla presenza di idrocarburi e BTEX. In tali aree si procederà all'applicazione della tecnologia *In Well Stripping* mediante iniezione di aria allo scopo di 'aggregare' le contaminazioni là dove sono massime e quindi migliorare la qualità delle acque di falda; contemporaneamente verranno installati pozzi di *Biosparging* con la funzione di ulteriore abbattimento delle concentrazioni di idrocarburi residui.

In base a quanto descritto ai § 6.3.1, le caratteristiche geometriche dei pozzi ISWS possono essere così riassunte:

- profondità: 15-20 m;
- diametro di perforazione: 800 mm;
- diametro tubazione: 400 mm;
- altezza tratti finestrati: 3.5 m;
- interasse: 20 m.

I pozzi saranno ubicati nelle 4 aree principali, in corrispondenza delle zone nelle quali la concentrazione massima degli idrocarburi totali in acqua di falda supera i 10.000 µg/l. La disposizione dei pozzi sarà scelta in modo tale da non interferire con i sistemi di emungimento a valle e con le strutture fuori terra ed interrate presenti in stabilimento.

## 9.4 Approfondimenti conoscitivi per il corretto dimensionamento degli interventi



Per un corretto dimensionamento degli interventi di bonifica si ritiene necessario lo svolgimento di *test pilota* in situ e prove in laboratorio per validare/verificare il corretto dimensionamento delle opere, con particolare riferimento all'area CER 8 interessata dai lavori di ampliamento.

### 9.4.1 Prova Pilota di *In Well Stripping*

all'interno della Zona CER 8 verrà ubicato un primo pozzo sperimentale di IWS per verificare i dati di progetto ed evidenziare l'efficienza del trattamento nell'area in esame. Per la descrizione della tecnologia si rimanda al § 9.2.1.

La colonna di produzione (Cfr. Fig. 9.3) sarà costituita da tubi ciechi e da tubi filtro aventi le seguenti caratteristiche:

- Tubo cieco in acciaio INOX (AISI 316) con DN=400 mm.
- Tubo filtro in acciaio INOX (AISI 316) con diametro esterno 406,4 mm, a spirale (tipo *Johnson*) con slot 0,5 mm DN 400 mm.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 72 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

- 6 tubi piezometrici in HDPE con DN=63 mm opportunamente fenestrati, nell'intercapedine tubo-foro, con la funzione di monitoraggio e per eventuale aggiunta di eventuali nutrienti o inoculi.
- Controlli e porte di campionamento
- Tubi, *pakers*, pompe e valvole
- Due pompe sommerse con portata massima 10 m<sup>3</sup>/h N = 1,5 kW, 220/400 V, 50
- Cameretta costituita da una carpenteria in acciaio con spessore di un 1,0 cm di sezione circolare avente una profondità di 2,0 m e un diametro pari a 2,0 m.
- Stripper a labirinto a due stadi con piatto forato, tubi di alimentazione dell'aria e dell'acqua
- Vasca circolare in PE comprensiva di filtro in sabbia

All'esterno del pozzo verranno attrezzati i seguenti apparati:

- Ventilatore con portata massima di 1200 Nm<sup>3</sup>/h, massima differenza di pressione di 200Pa alimentata mediante 3-fase, N3,1 kW, 220/400 V, 50 Hz
- Trappola di condensa per gli *off-gases*
- Tubazioni in PE/PVC complete di collegamenti, valvole ecc. necessarie da testa pozzo al sistema di trattamento *off-gases* (entro 3 m di distanza)
- Filtro a GAC di assorbimento per il trattamento degli *off-gases*
- Pannello di controllo elettrico completamente automatizzato per la gestione degli apparati.

#### Monitoraggio

Nell'intorno dell'opera sopra descritta e comunque nel suo raggio di influenza saranno realizzate 2 triplette di piezometri filtranti tre diverse porzioni della falda. In totale saranno installati 6 tubi piezometrici come di seguito descritto.

Lo schema indicativo di completamento di una tripletta di piezometri, a partire dal fondo, è il seguente:

piezometro profondo

- da -20 m a -19 m da p.c.: tratto di 1,0 m di tubo cieco, con tappo di fondo (fondello);
- da -19 m a -16 m da p.c.: tratto di 3,0 m di tubi filtro;
- da -16 m a +0,30 m da p.c.: tratto di circa 16,3 m di tubo cieco;

piezometro intermedio

- da -16 m a -15 m da p.c.: tratto di 1,0 m di tubo cieco, con tappo di fondo (fondello);
- da -15 m a -12 m da p.c.: tratto di 3,0 m di tubo filtro;
- da -12 m a +0,30 m da p.c.: tratto di 12,3 m di tubo cieco;

piezometro superficiale

- da -12 m a -11 m da p.c.: tratto di 1,0 m di tubo cieco, con tappo di fondo (fondello);
- da -11 m a -7,0 m da p.c.: tratto di 4,0 m di tubo filtro;
- da -7,0 m a +0,30 m da p.c.: tratto di 7,3 m di tubo cieco;

 <b>Snamprogetti</b> <small>GROUP</small>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 73 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Durante l'esecuzione del test pilota a cadenza prima settimanale (1 mese di prove) poi a cadenza mensile (per 6 mesi) verranno eseguite le seguenti attività:

- Campionamento ed analisi di gas in entrata ed in uscita dal filtro a carboni attivi;
- Campionamento ed analisi delle acque di falda sui parametri target dell'acquifero (BTEX, Stirene, Cumene, Isopropilbenzene ed Idrocarburi).

I risultati ottenuti saranno utilizzati per una progettazione più dettagliata dell'intervento di bonifica della falda, permettendo di stimare in maniera più accurata i tempi ed i costi dell'intervento.

## 9.5 Compatibilità ambientale degli interventi

Avendo optato per tecnologie di bonifica dell'acqua di falda in situ, dagli apparati di bonifica non potranno esservi rilasci incontrollati di fluidi o polveri potenzialmente contaminati. Le uniche emissioni riguarderanno i gas (aria e/o anidride carbonica) rilasciati dai pozzi *In Well Stripping*, e in ogni caso soltanto previo trattamento in opportune sezioni di abbattimento.

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 74 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 10 STIMA DEI COSTI

Le stime dei costi per gli interventi di bonifica di *In Well Stripping* e *Biosparging* descritti ai § 7.3.1 e 7.3.2 vengono riferite ad ipotesi progettuali preliminari.

Le analisi dei costi faranno riferimento ad una singola installazione; vengono poi stimati i costi relativi ai primi moduli di bonifica ed all'implementazione *full scale* delle tecnologie individuate.

Dalla presente stima sono esclusi:

- i costi necessari alla progettazione definitiva dell'intervento;
- gli oneri relativi alle spese tecniche (direzione lavori, collaudi e sicurezza);
- i costi relativi al trattamento dei vapori estratti;
- i costi di esercizio;
- i costi di manutenzione;
- i costi di monitoraggio.

Per ciascuna tipologia di opera prevista si farà riferimento ad una determinata configurazione progettuale derivante da ipotesi preliminari e da dati di letteratura su interventi simili.

In base a queste premesse la stima dei costi delle opere deve intendersi approssimativamente valida in un *range* di  $\pm 30\%$ .

Il dimensionamento effettivo delle opere, il computo metrico e la relativa stima dei costi, saranno affrontati con maggior dettaglio nel Progetto Definitivo e valle degli approfondimenti conoscitivi ricavati dai test pilota in campo.

Le posizioni individuate per le opere, riportate nelle figure 14,15,16 e 17 in Annesso 1, sono di massima. In ogni caso verranno progettate in modo tale da non interferire con le attività produttive in corso.

### ***In well vapor stripping***

#### *Ipotesi di intervento*

Realizzazione di un sistema di iniezione costituito da una serie di pozzi in acciaio inox doppiamente fenestrati poggianti all'incirca sulla base dell'acquifero, dotati di *stripper reactor*, di pompa sommersa, di ventilatore per l'iniezione di aria e di ventilatore per il recupero dei vapori.

Il numero stimato dei pozzi è 37 che sono stati ubicati preliminarmente come di seguito descritto:

- 20 nella zona ST20 (Fig. 14 – Annesso 1);
- 8 nell'area parco serbatoi ubicata nell'interasse fra il DIS-16 ed il P1-418 (Fig. 15 – Annesso 1);
- 8 in corrispondenza dell'area ex *cracking* aree H e C (Fig. 17 – Annesso 1);
- 1 in corrispondenza del BP10 in area M (Fig. 16 – Annesso 1);

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 75 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### Analisi dei costi

La stima dei costi fa riferimento alla posa in opera di 1 postazione di iniezione; sono esclusi dalla stima i costi le spese per le operazioni di monitoraggio ed i costi relativi a trattamento dei vapori. E' inoltre escluso il consumo di energia elettrica.

<b>DESCRIZIONE ATTIVITA'</b>	<b>IMPORTO (€)</b>
Allestimento cantiere, installazione pozzo (compresa pompa sommersa, stripper reactor, ventilatore iniezione aria e ventilatore recupero vapori)	50.000
Quadro elettrico e collegamenti elettrostrumentali	35.000
Imprevisti	15.000
<b>SOMMANO</b>	<b>100.000</b>

Per il totale dei pozzi previsti si stima un costo di 3.700.000 €

### **Biosparging**

#### Ipotesi di intervento

Realizzazione di un sistema di iniezione costituito da 35 pozzi in PVC finestrati in profondità e da un compressore.

- 20 nella zona ST20 (Fig. 14 – Annesso 1);
- 4 nell'area parco serbatoi ubicata nell'interasse fra il DIS-16 ed il P1-418 (Fig. 15 – Annesso 1);
- 6 in corrispondenza dell'area ex *cracking* aree H e C (Fig. 17 – Annesso 1);
- 5 in corrispondenza del BP10 in area M (Fig. 16 – Annesso 1);

### Analisi dei costi

La stima dei costi fa riferimento alla posa in opera di 1 postazione di iniezione; sono esclusi dalla stima i costi le spese per le operazioni di monitoraggio ed i costi relativi a trattamento dei vapori che vengono descritti in dettaglio più avanti. E' inoltre escluso il consumo di energia elettrica.

<b>DESCRIZIONE ATTIVITA'</b>	<b>IMPORTO (€)</b>
Allestimento cantiere, esecuzione pozzo compresa installazione compressore	7.000
Imprevisti	1.000
<b>SOMMANO</b>	<b>8.000</b>

Per il totale dei pozzi previsti si stima un costo di 280.000 €

 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 76 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 11 BIBLIOGRAFIA

Aquater S.p.A., 2004 Relazione sulla prova di emungimento preliminare eseguita sul pozzo DIS-F

Colleselli F. e Dal Prà A., 1992 Progetto di messa in sicurezza delle zone B ed I. Relazione geologica, idrogeologica e geotecnica

Colleselli F. e Dal Prà A., 1992 Progetto d'intercettazione della falda in uscita dalla zona B lungo la fascia inquinata

Comune di Mantova, 2004. Valutazione di sintesi dei risultati della caratterizzazione di suolo, sottosuolo, acque sotterranee e sedimenti dei siti inquinati di proprietà privata – Sito di interesse nazionale laghi di Mantova e polo chimico (L. 179/02). Rapporto non pubblicato, 23 Settembre 2004

Consorzio B.A.S.I., 1995 Caratterizzazione idrogeologica e qualitativa dell'area di stabilimento e ipotesi di interventi di messa in sicurezza

Consorzio B.A.S.I., 2002 Progetto Preliminare per la bonifica dei terreni della zona XII. Relazione tecnica descrittiva

Consorzio B.A.S.I., 2003 Realizzazione pozzi di emungimento area ST20 ed area ex CR. Relazione tecnica finale

Consorzio Ecotherm per l'Ambiente, 1996 Esecuzione di uno studio basato sulla tecnica del Soil Gas Survey. Rapporto finale

Consorzio Ecotherm per l'Ambiente, 1997 Indagine preliminare riguardante lo stato della falda locale a seguito di uno sversamento di acetone. Relazione tecnica descrittiva

Consorzio Ecotherm per l'Ambiente, 1997 Parco serbatoi Acetone. Zona XXXI. Progettazione di una barriera idrodinamica

Consorzio Ecotherm per l'Ambiente, 1999 Realizzazione di n.2 pozzi di emungimento. Impianti PR10 e ex PR1. Relazione tecnica finale

Consorzio Ecotherm per l'Ambiente, 2000 – 2001 Messa in sicurezza falda parco serbatoi. Realizzazione pozzi e Progettazione barriera idrodinamica

Dal Prà A., 1994 Studio del processo di emergenza di solventi aromatici in sponda sinistra del canale Cavo San Giorgio presso lo stabilimento di Mantova

Dal Prà A., 1994 Verifica della funzionalità degli interventi per la messa in sicurezza del "Cavo San Giorgio" al limite meridionale dello stabilimento Enichem di Mantova

Dames & Moore, 1999 Indagine idrogeologica presso l'area parco serbatoi

Foster Wheeler Environmental Italia, 2003a. Polimeri Europa Srl – Stabilimento di Mantova - Relazione tecnica descrittiva del piano per la caratterizzazione. Rev. 3, Febbraio 2003, Rapporto non pubblicato



 <b>Snamprogetti</b>	<b>CLIENTE</b>  POLIMERI EUROPA	<b>COMMESSA</b> 295012	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> Mantova	<b>SPC. 00-NN-E-94000</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Progetto preliminare/definitivo di bonifica delle acque di falda	Fg. 77 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Foster Wheeler Environmental Italia, 2003b Nota tecnica con le valutazioni relative alle osservazioni ed indicazioni del verbale della conferenza dei servizi del 06/08/03 (Prot. N. 8082/RIBO/P/B)

Foster Wheeler Environmental Italia, 2004 Nota relativa alle attività propedeutiche alla parametrizzazione dell'acquifero. Comunicazione del Comune di Mantova del 03/12/03

Geotecnica Veneta, 1998 Esecuzione di pozzi di sbarramento e piezometri presso lo stabilimento Enichem di Mantova

Molinari M., 1989. Relazione idrogeologica sull'area di stabilimento con particolare attenzione alla zona valliva, SELM

Rodio, 1993 Sondaggi a carotaggio continuo a monte del Cavo San Giorgio e all'interno dello stabilimento

SET SoPrA Subsoil Environment Technologies, 1998 Indagine ambientale sull'area adiacente biologico

SET SoPrA Subsoil Environment Technologies, 1999 Enichem SpA stabilimento di Mantova. Caratterizzazione ambientale dell'area Collina

Water & Soil Remediation, 1999 Sistema Dual Pump A304. Manuale operativo