

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
1.1 PREMessa E SCOPO DEL DOCUMENTO .....	2
1.2 ATTI AMMINISTRATIVI – AGGIORNAMENTO NOVEMBRE '04 .....	3
<b>2. CONTENUTI ED ALLEGATI DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>5</b>
2.1 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO .....	5
<b>3. DOCUMENTO DI VALUTAZIONE PRELIMINARE, RIASSUNTO DEI CONTENUTI.....</b>	<b>6</b>
3.1 RISULTATI DEI MONITORAGGI PERIODICI.....	6
3.2 SINTESI DELLO STATO DELLA FALDA FREATICA INTERNA E DESCRIZIONE DELLE OPERE REALIZZATE NELLA FASE 1 DEL PROGETTO DI BONIFICA .....	7
3.2.1 <i>Aspetti generali</i> .....	7
3.2.2 <i>Risultati dei controlli di funzionalità e conclusioni</i> .....	10
3.3 SINTESI DELLO STATO DELLA FALDA FREATICA ESTERNA E DESCRIZIONE DELLE OPERE REALIZZATE NELLA FASE 1 DEL PROGETTO DI BONIFICA .....	15
3.3.1 <i>Aspetti generali</i> .....	15
3.3.2 <i>Funzionalità della barriera esterna con pozzi a deflusso naturale</i> .....	15
3.3.3 <i>Barriera di biorisanamento, risultati della sperimentazione</i> .....	15
<b>4. INTERVENTI PREVISTI NELLA FASE 2 DEL PROGETTO DI BONIFICA.....</b>	<b>15</b>
4.1 REALIZZAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO DELLA TERZA BARRIERA INTERNA .....	15
4.2 ESTENSIONE DELLE OPERE DI PROTEZIONE ESTERNA. ....	15
4.3 REALIZZAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO DELLA FALDA FREATICA ESTERNA .....	15
<b>5. PIANO DI MONITORAGGIO .....</b>	<b>15</b>
5.1 CONTROLLO DELL'ACQUIFERO SOTTOSTANTE E CIRCOSTANTE LA RAFFINERIA .....	15
5.2 CONTROLLI DI FUNZIONALITÀ SULLE OPERE DI PROTEZIONE E BONIFICA.....	15
<b>6. INQUADRAMENTO GENERALE DELLE ATTIVITÀ, OBIETTIVI DI BONIFICA E STIMA DEI TEMPI. ....</b>	<b>15</b>
6.1 OBIETTIVI DI BONIFICA.....	15
6.2 STIMA DEI TEMPI .....	15
6.3 ADEGUAMENTO DEI SISTEMI DI BONIFICA .....	15
6.4 PUNTI DI CONFORMITÀ .....	15
<b>7. ANALISI DI RISCHIO E MODELLO DI DISPERSIONE DEL MTBE.....</b>	<b>15</b>
7.1 ASPETTI GENERALI.....	15
7.2 ANALISI DI RISCHIO APPLICATA ALL' AREA INTERNA ED ALL' AREA INTERMEDIA.....	15
7.3 MODELLO DI DISPERSIONE DEL MTBE IN AREA ESTERNA .....	15
7.4 CONCLUSIONI.....	15
<b>8. TEMPI DI REALIZZAZIONE DELLE OPERE E COSTI BUDGETTARI.....</b>	<b>15</b>

## **1. INTRODUZIONE**

### **1.1 Premessa e scopo del documento**

La Raffineria ENI di Sannazzaro, sita nei comuni di Sannazzaro de' Burgondi (PV) e Ferrera Erbognone (PV), ha avviato nel giugno 2000 il procedimento di "Bonifica Ambientale" ai sensi dell'Art. 9 del D.M. 471/99.

Nel giugno 2003 è stato consegnato alle PP.AA. il Progetto Preliminare di Bonifica (PPdB) che prevede l'attuazione di una serie d'interventi sulla falda (oggetto delle attività di contenimento e bonifica) mirati alla realizzazione di un sistema integrato di controllo e risanamento. Il PPdB prevede la segmentazione degli interventi per fasi successive (*progettazione per fasi*).

Nel gennaio 2004 la Raffineria ENI di Sannazzaro ha ottenuto l'autorizzazione all'attuazione delle opere previste dal Progetto Definitivo di Bonifica – Fase 1.

La prima fase di progettazione e realizzazione delle opere è costituita dal potenziamento della barriera idraulica interna (terza barriera) e dalla trincea di protezione esterna allo Stabilimento. Le opere sono state realizzate ed attivate nel periodo gennaio-marzo 2004: l'attuale fase di progetto prevede controlli funzionali di efficacia ed efficienza.

Nel maggio '04 è stato emesso un documento intermedio che costituiva "Relazione Tecnica di Avanzamento" relativa all'esecuzione delle opere previste dal "Progetto Definitivo di Bonifica – Fase I" per il potenziamento della barriera idraulica interna e della trincea di protezione esterna.

Il documento presentava contestualmente i risultati parziali della sperimentazione, in campi prova, di barriere di biocontenimento basate su tecnologia ORC®.

Le conclusioni della Relazione tecnica erano le seguenti:

- 1) Le opere idrauliche di contenimento erano state realizzate nei tempi previsti e senza variazioni rispetto il progetto. Le opere erano state attivate ed erano in fase di controllo funzionale. In ragione della variabilità idrogeologica ed idrochimica locale veniva proposto di rinviare le prime considerazioni di efficacia al periodo ottobre - novembre 2004, a seguito dell'esecuzione delle previste campagne di monitoraggio della falda di giugno 2004 e settembre 2004.
- 2) I campi sperimentali di biocontenimento ORC® erano stati installati, erano funzionanti ed erano sottoposti a controlli di tipo freaticometrico, chimico-fisico, idrochimico e microbiologico con frequenze di monitoraggio molto ravvicinate. A seguito dei trend evidenziati dalle misure di campo e dalle elaborazioni dei dati di laboratorio la Raffineria proponeva di estendere la sperimentazione fino a settembre 2004.

Con comunicazione del 18/06/04, la Regione Lombardia, facendo seguito alla riunione del gruppo di lavoro che segue le attività di bonifica (verbale del 21/05/04) ha autorizzato la proroga della sperimentazione.

Nel novembre 2004, a termine del periodo di controlli funzionali e delle attività di sperimentazione dei campi prova di biorisanamento, la Raffineria ENI R&M di Sannazzaro ha presentato al Gruppo di Lavoro istituito con d.d.u.o. del 27 Gennaio '03, il documento "Progetto definitivo di bonifica – Fase 2 Valutazioni preliminari" illustrante i risultati delle attività con un proposta di attività da sviluppare nella seconda fase del progetto di bonifica.

I punti fondamentali della proposta sono i seguenti:

- a) Nell'area interna alla raffineria a monte della terza barriera di protezione le opere di contenimento contengono in modo efficace la propagazione dell'inquinante e stanno lentamente ma costantemente eliminando la contaminazione dalla falda;
- b) Nell'area a valle della terza barriera di protezione ed a monte della trincea esterna, l'azione della barriera interna ha sottratto in breve tempo il contaminante alla falda, rendendo superflua l'applicazione di tecnologie di bonifica bioassistita con ORC®;

- c) Nell'area a valle della terza trincea di protezione sta agendo un sistema di pozzi di pompaggio a deflusso naturale la cui ottimizzazione è prevista nell'ambito della fase 2 del progetto di bonifica;
- d) Il campo prova di biorisanamento esterno ha dato buoni risultati sperimentali e pertanto sarà ampliato.

Nella riunione del 23 novembre '04, il gruppo di lavoro ha discusso la proposta riguardante la seconda fase degli interventi di bonifica da attuare nella Raffineria di Sannazzaro.

Nel corso della riunione è stata evidenziata la necessità di impostare il progetto definitivo in modo da prevedere in maniera esplicita la possibilità di migliorare in corso d'opera i sistemi di contenimento e bonifica (barriere idrauliche e di biorisanamento).

E' stata rilevata l'esigenza di definire l'arco temporale di bonifica per il raggiungimento dei limiti tabellari dei contaminanti rilevati in falda, all'esterno dello stabilimento, a valle delle opere di protezione esterne.

E' stata avanzata richiesta, così come previsto dal D.M. 471/99, per la formulazione di un'analisi di rischio relativa al permanere all'interno dello stabilimento di concentrazioni residue di oli minerali, MtBE e aromatici, con individuazione del punto di conformità della falda.

E' inoltre stato richiesto il ricalcolo del modello teorico di diffusione del plume di MtBE rilevato all'esterno dello stabilimento, a valle delle opere di protezione.

La presente relazione, oltre ad illustrare in forma riassuntiva i contenuti del documento di valutazione preliminare, illustra dettagliatamente gli interventi proposti per la fase 2, comprensivi di quelli migliorativi eventualmente da realizzarsi in corso d'opera.

Il progetto, in linea con quanto richiesto dalle Pubbliche Amministrazioni che seguono il procedimento, fornisce anche i risultati dell'analisi di rischio effettuata sulle concentrazioni residue, i risultati del modello di diffusione del MtBE, nonché una stima dei tempi previsti per le attività di bonifica.

## ***1.2 Atti amministrativi – aggiornamento novembre '04***

La pratica amministrativa relativa al D.M. 471/99 e si è svolta con il seguente iter:

**15 Giugno 2000:** Trasmissione dell'AgipPetroli Raffineria di Sannazzaro della comunicazione ai sensi degli art. 9 e 18 DM 471/99 alla R. Lombardia;

**18 Settembre 2001:** Richiesta della R. Lombardia della situazione di inquinamento rilevata che ha determinato l'avvio della procedura ai sensi degli art. 9 e 18 DM 471/99.

**22 Ottobre 2001:** Trasmissione alla R. Lombardia della situazione dell'inquinamento dei suoli rilevato durante le indagini effettuate nel 2000, illustrata nel documento avente come oggetto "*Situazione dei suoli, sottosuoli acque sotterranee della Raffineria di Sannazzaro, ed interventi di messa in sicurezza adottati per assicurare la tutela della salute e dell'ambiente*".

**8 Marzo 2002:** Richiesta da parte di Regione Lombardia della presentazione di un piano per:

- Monitoraggio delle acque di falda comprensivo di MtBE e fenoli;
- Ulteriori indagini per terreno e falda in corrispondenza dell'impianto di depurazione;
- La verifica del dimensionamento del sistema di raccolta, stoccaggio e smaltimento delle acque meteoriche;
- Installazione di un sistema per il controllo in continuo della qualità delle acque di scarico;

- Un piano di caratterizzazione per i terreni coltivati a valle della scarpata fuori del recinto fiscale della Raffineria;
- I dati ambientali rilevati in occasione dell'incendio verificatosi in Raffineria il 15/11/01.

**9 Maggio 2002:** Trasmissione agli Enti del piano di indagini integrative “*Proposta di indagine integrativa*”.

**22 Maggio 2002:** Prima Conferenza di Servizi (art. 14 L. 78/90); ulteriore richiesta per la predisposizione di un protocollo analitico e di campionamento (concordato con ARPA); trasmissione degli elaborati progettuali relativi all'intervento di smaltimento rifiuti e bonifica di cui alla segnalazione della procura di Vigevano.

**19 Giugno 2002:** Seconda Conferenza di Servizi: espressione di parere favorevole al piano di caratterizzazione e della documentazione integrativa; istituzione di un gruppo di lavoro per il coordinamento delle attività in atto sul sito.

**15 Luglio 2002:** Emanazione del Decreto di approvazione del piano di caratterizzazione (R. Lombardia).

**18 Febbraio 2003:** Emanazione del decreto della Regione Lombardia per l'istituzione del “gruppo di lavoro di cui al decreto dirigenziale n° 13417 del 15/07/02”, relativo alle attività di monitoraggio e di coordinamento delle attività in atto sul sito di Sannazzaro.

**Marzo 2003:** Trasmissione agli Enti dei risultati delle indagini eseguite nell'area della Raffineria previste nel documento “*Proposta di Indagini integrative*”.

**27 Marzo 2003:** Riunione del gruppo di lavoro ed illustrazione dei risultati delle attività di caratterizzazione condotte nell'area della Raffineria.

**13 Maggio 2003:** Presentazione al gruppo di lavoro della “*Bozza di Progetto Preliminare*”.

**Giugno 2003:** Presentazione del *Progetto Preliminare di Bonifica*.

**Luglio 2003 :** Approvazione del *Progetto Preliminare di Bonifica*.

**7 Novembre 2003:** Discussione da parte del Gruppo di Lavoro costituito con Decreto regionale per il coordinamento delle attività in atto sul sito dei contenuti del documento “*Valutazioni preliminari al progetto definitivo di potenziamento della barriera idraulica interna e della trincea di protezione esterna*” trasmesso dalla Raffineria in data 20 Ottobre '03.

**28 Novembre 2003:** Presentazione del Progetto Definitivo di Bonifica Fase 1.

**8 Gennaio 2004:** Approvazione del *Progetto Definitivo di Bonifica Fase 1*.

**6 Febbraio 2004:** Decreto del Dirigente UOGR della Regione Lombardia relativo all'esclusione da procedura di VIA delle Barriere di contenimento idraulico interne ed esterne alla Raffineria.

**17 Maggio 2004:** Presentazione del documento “*Realizzazione delle opere e valutazioni preliminari*” relativo alla Fase 1 del PDdB ed ai campi prova di biorisanamento ORC®, richiesta di proroga della sperimentazione.

**21 Maggio 2004:** Riunione del Gruppo di Lavoro costituito con Decreto regionale e relativo verbale con assenso alla proroga di cinque mesi per il completamento della sperimentazione nei campi prova di biocontenimento ORC®.

**18 Giugno 2004:** Trasmissione della R. Lombardia dell'assenso alla richiesta di proroga.

**23 Novembre 2004:** Discussione da parte del Gruppo di Lavoro costituito con Decreto regionale per il coordinamento delle attività in atto sul sito dei contenuti del documento “*Valutazioni preliminari al progetto definitivo di potenziamento della barriera idraulica interna e della trincea di protezione esterna*” trasmesso dalla Raffineria in data 20 Ottobre '03.

## **2. CONTENUTI ED ALLEGATI DEL DOCUMENTO**

### **2.1 Quadro normativo di riferimento**

Il presente documento costituisce “Relazione Tecnica Descrittiva” del “Progetto Definitivo di Bonifica – Fase 2” ai sensi del D.M. 471/99 ed è redatto in conformità alle prescrizioni e linee tecniche evidenziate in Allegato 4 del citato Decreto.

#### **Allegati**

Sono allegati al presente documento e ne costituiscono parte integrante i seguenti allegati:

#### **Allegato 1: Capitolato tecnico barriera idraulica interna**

Capitolato tecnico e computo metrico per la realizzazione di n° 5 pozzi di monitoraggio.

#### **Allegato 2 : Capitolati tecnici barriera idraulica esterna**

- Capitolato tecnico e computo metrico per la realizzazione di n° 4 pozzi di contenimento;
- Capitolato tecnico per la realizzazione di opere meccaniche e civili relative a n° 4 pozzi di contenimento;
- Capitolato tecnico per la realizzazione di n° 7 pozzi d'immissione ORC®
- Capitolato tecnico per la realizzazione di n° 4 pozzi di monitoraggio.

**Allegato 3:** Documento “*Progetto Definitivo di Bonifica Fase 2 – Valutazioni Preliminari*”.  
Novembre '04

**Allegato 4 : Manuale Operativo “ROME versione 2.1”**

**Allegato 5 : Analisi di rischio Tabelle riepilogative dell'area interne e intermedia**

**Allegato 6 : Modello di dispersione MTBE (ROME vers. 2.1)**

**Allegato 7 : Calendario delle attività dell'anno 2005**

**Allegato 8 : Calendario pluriennale delle attività 2005-2009**

### **3. DOCUMENTO DI VALUTAZIONE PRELIMINARE, RIASSUNTO DEI CONTENUTI**

#### **3.1 Risultati dei monitoraggi periodici**

Nei mesi di giugno 2004 e settembre 2004, come previsto dal piano di monitoraggio connesso alle attività di bonifica, sono state effettuate due campagne freatiche ed idrochimiche sui punti di campionamento interni ed esterni della Raffineria.

I risultati di tali campagne hanno permesso di definire la situazione complessiva a valle della prima fase del progetto di bonifica, con la terza barriera interna completata ed attivata e la barriera esterna di pozzi a deflusso naturale in corso di analisi di funzionalità. Le campagne di monitoraggio sono state condotte sui seguenti gruppi di piezometri e pozzi:

- Piezometri di falda freatica interna: piezometri interni allo Stabilimento (Pz1-Pz34, PS1-PS6) hanno evidenziato la presenza di idrocarburi aromatici (BTEX), alifatici (espressi come n-esano) e di MtBE come peraltro già osservato nelle precedenti campagne (Tabelle 1.1-1.2 e 5.1-5.2).
- Barriere interne: controlli effettuati sulla terza barriera, situata lungo i lati S ed E dell'Isola 9.A, costituita da 16 pozzi (S24÷S39) preesistenti e 4 pozzi di ampliamento (S40÷S43), hanno evidenziato una situazione di stabilità delle concentrazioni in oli minerali e benzene ed un accenno di miglioramento per l'MtBE (Tabelle 2.1 e 6.1).
- Piezometri di controllo della discarica di rifiuti speciali e pozzi di approvvigionamento idrico: i 13 punti di controllo della discarica di rifiuti speciali ed i 2 pozzi di approvvigionamento idrico non presentano fenomeni di contaminazione (Tabelle 3.1-3.2 e 7.1-7.2).
- Piezometri falda artesiani sottostante e circostante lo Stabilimento: i risultati delle analisi effettuate sulle acque dei piezometri (PA10, PA11, PA12, PA13, PA14, PA15, PA16, PA17, PA22, PA27, PA28) costituenti l'esistente anello di monitoraggio della falda profonda sottostante e circostante lo Stabilimento hanno evidenziato la totale assenza di contaminazione (Tabelle 4 e 8).
- Trincea di protezione esterna: i risultati dei controlli effettuati sulla trincea di protezione esterna hanno evidenziato unicamente la presenza di concentrazione residuale di benzene superiore ai limiti DM 471/99 e la presenza di MtBE il cui trend attuale è di netta diminuzione (Tabelle 2.2 e 6.2).
- Piezometri di falda freatica esterna: i risultati delle indagini effettuate sui 19 piezometri (PA1, PA2, PA3, PA4, PA5, PA6, PA8, PA9, PA18, PA19, PA20, PA21, PA23, PA24, PA25, PA26, PA29, PA30, PA31) costituenti l'anello di monitoraggio della falda superficiale esterna hanno evidenziato assenza di contaminazione da idrocarburi aromatici ed alifatici; solo i piezometri PA29 e PA31, posti immediatamente a valle della trincea di protezione hanno confermato la presenza di MtBE in concentrazioni simili a quanto riscontrato nelle precedenti campagne (Tabelle 4 e 8).

I risultati degli accertamenti analitici di giugno 2004 e settembre 2004 sulle acque sotterranee sono sinteticamente illustrati nelle mappe di soglia inserite nell'allegato 3 del documento preliminare, ove sono evidenziati i punti in cui uno o più contaminanti superano i valori di concentrazione limite accettabili nelle acque sotterranee. (All. 1/D.M. 471/99).

Gli accertamenti analitici hanno, tra l'altro, lo scopo di "fotografare" la situazione ambientale delle matrici d'interesse del procedimento di bonifica in atto presso la Raffineria.

La prima fase degli interventi ha comportato l'installazione di alcuni pozzi nella zona meridionale dello stabilimento a prolungamento della preesistente barriera e la realizzazione, a valle della trincea esterna, di una barriera di pozzi a deflusso naturale.

I risultati dei monitoraggi hanno confermato l'assenza di focolai attivi e la presenza di variazioni cicliche delle concentrazioni in oli minerali, idrocarburi aromatici ed MtBE ascrivibili solo all'effetto

concomitante delle variazioni locali di quota piezometrica e dei processi di adsorbimento e deadsorbimento che regolano lo spostamento dei composti nella falda.

La falda a monte della terza barriera di protezione non rileva negli ultimi due-tre anni variazioni significative dei lineamenti idrochimici già tratteggiati nel progetto preliminare di bonifica, testimoniando la stabilità del sistema del quale attualmente la Raffineria controlla e contiene in modo completo gli effetti verso l'esterno.

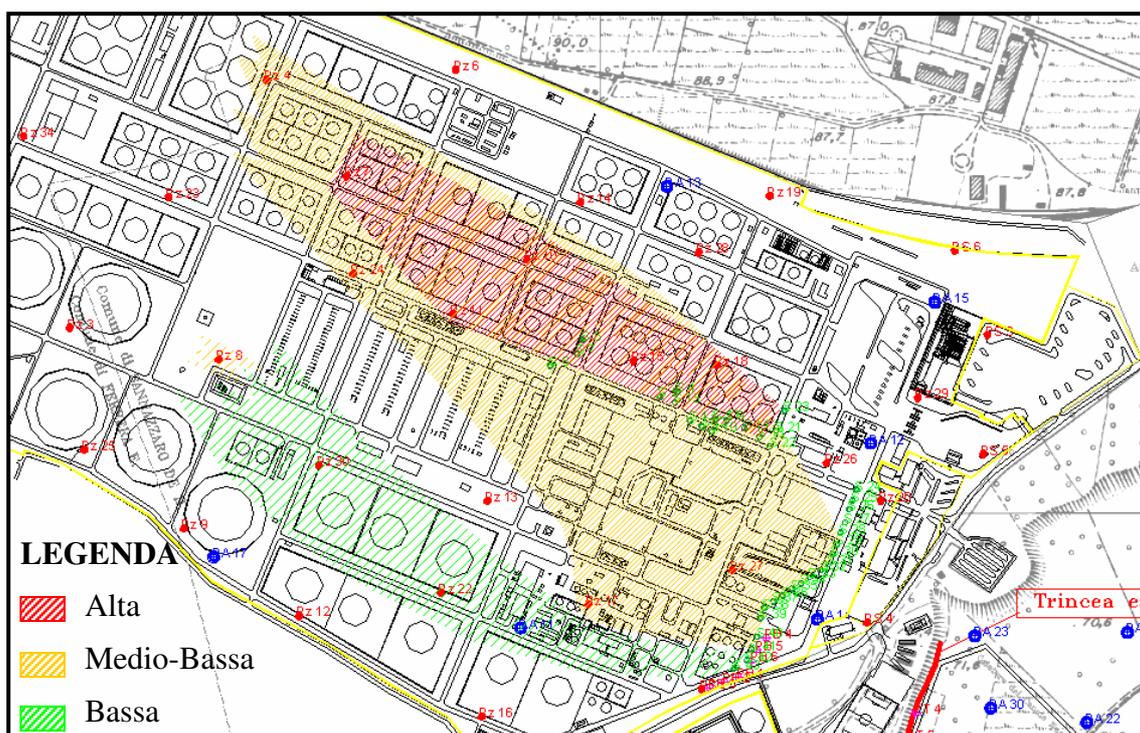
### 3.2 Sintesi dello stato della falda freatica interna e descrizione delle opere realizzate nella Fase 1 del progetto di bonifica

#### 3.2.1 Aspetti generali

La falda sottesa all'area interna della raffineria è caratterizzata dalla presenza di una situazione di contaminazione diversificata. In base ai risultati analitici delle campagne sinora condotte è possibile suddividere la raffineria in tre zone principali (Figura 3.1):

- 1) **area non interessata da contaminazione:** presenta acque conformi ai limiti previsti dal DM 471/99. Quest'area costituisce, in tutto il suo sviluppo, all'incirca il 50% dell'insediamento produttivo;
- 2) **area interessata da valori di contaminazione medi e bassi:** presenta acque con valori di concentrazione di oli minerali, benzene ed MtBE di poco al di sopra dei limiti previsti dal DM 471/99 oppure oscillanti al di sopra ed al di sotto di tali limiti a seconda delle condizioni stagionali della falda. Quest'area interessa circa il 25% della raffineria ed è strettamente connessa alla presenza all'area a maggiore contaminazione;
- 3) **area interessata da alti valori di contaminazione:** presenta acque nelle quali si rilevano generalmente concentrazioni di oli minerali, benzene ed MtBE al di sopra dei limiti previsti dal DM 471/99. Quest'area interessa all'incirca il 25% dell'insediamento produttivo ed è localizzata come indicato in figura 3.1.

**Figura 3.1:** Aree interessate da contaminazione.



Le aree focalizzate dal progetto di bonifica sono quelle nelle quali è stata rilevata la presenza di contaminazione da medio-bassa ad alta. La distribuzione temporale dei valori di concentrazione registrata nei piezometri collocati in queste aree indica la sostanziale stabilità del quadro idrochimico caratterizzata dall'assenza di un trend d'esaurimento o di rivitalizzazione dei fenomeni in atto.

L'area di maggiore contaminazione (Figura 3.2) è confinata da due barriere di pozzi (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> barriera interna) ubicate in modo tale da intercettare i flussi inquinati immediatamente a ridosso delle passate sorgenti dell'inquinamento.

Assodata la natura residuale della contaminazione, che non presenta variazioni apprezzabili nel corso degli ultimi anni, l'azione barriera è quella d'intercettare il maggior carico di contaminanti provenienti dalla zona del parco serbatoi alleggerendo così l'attività di contenimento della 3<sup>a</sup> barriera interna, posizionata a valle delle prime due.

La modalità gestionale delle barriere è tale da impedire che emungimenti elevati producano un abbassamento eccessivo del livello della falda freatica.



**Figura 3.2** Area di maggiore contaminazione

Il controllo sui sistemi fognari e sui serbatoi permetterà, grazie all'assenza di percolazioni nel sottosuolo ed all'effetto di flussaggio naturale dell'acqua di falda, una diminuzione della contaminazione. A seguito, ed in correlazione a questa diminuzione, s'instaureranno da monte a valle ambienti sempre più caratterizzati dalla presenza di acque ricche di ossigeno, favorevoli allo sviluppo di fenomeni di biodegradazione naturale.

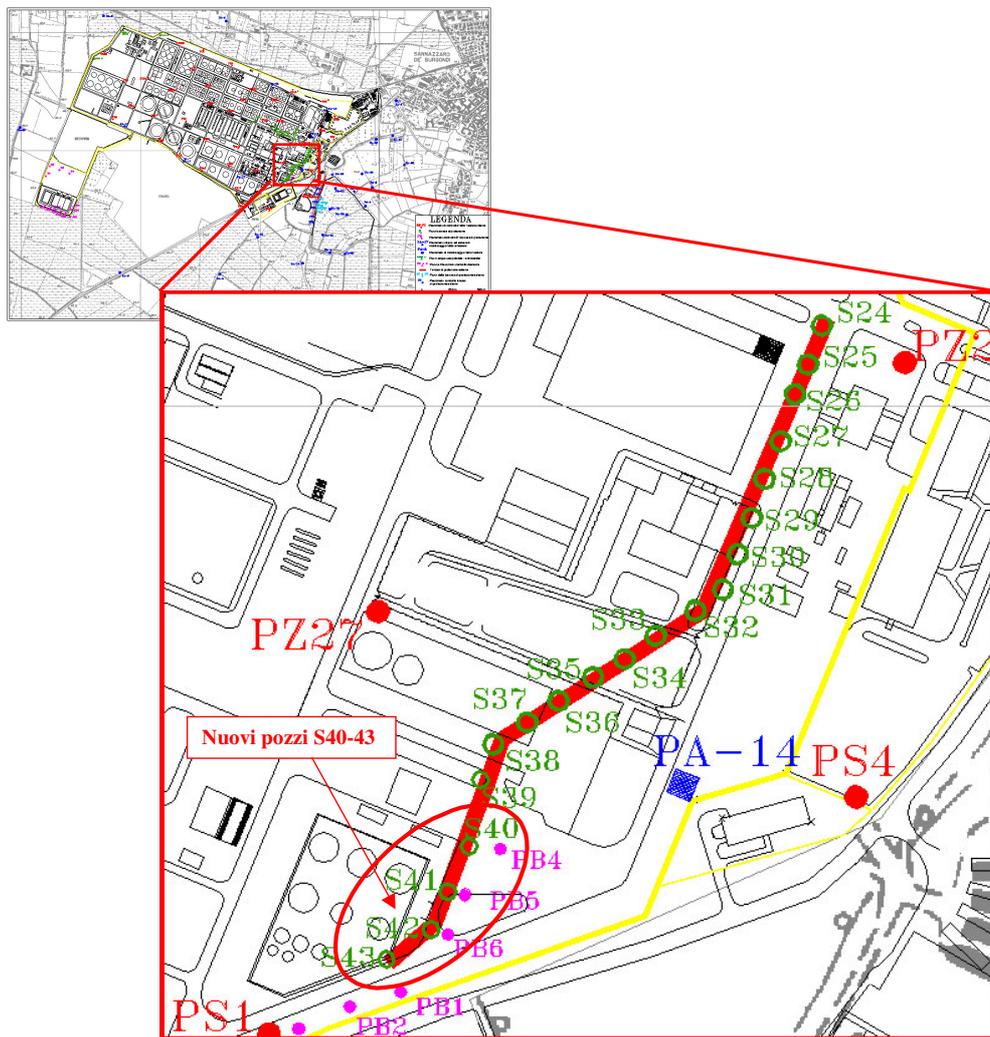
Nell'area caratterizzata dalla maggior quantità d'inquinante, pertanto, sono presenti tre attività concomitanti:

- azioni preventive sugli impianti (azioni sul circuito fognario e sui serbatoi di stoccaggio);
- azioni attive di sbarramento e recupero dei contaminanti;
- fenomeni indotti di bonifica naturale della falda.

Sia l'area a maggiore contaminazione sia l'area a contaminazione media e bassa si ritrovano a monte della 3<sup>a</sup> barriera di protezione interna. E' quindi in azione un sistema integrato costituito da misure di sicurezza che sta evolvendo nel tempo e che nel tempo, quando l'effetto della degradazione naturale sarà predominante rispetto l'attuale azione di pompaggio e contenimento, assumerà carattere predominante di sistema di bonifica.

La 3<sup>a</sup> barriera interna è posizionata nell'area meridionale di Raffineria e svolge un'azione di contenimento lungo un fronte con decorso SW-NE, perpendicolare alla direzione di deflusso della falda superficiale.

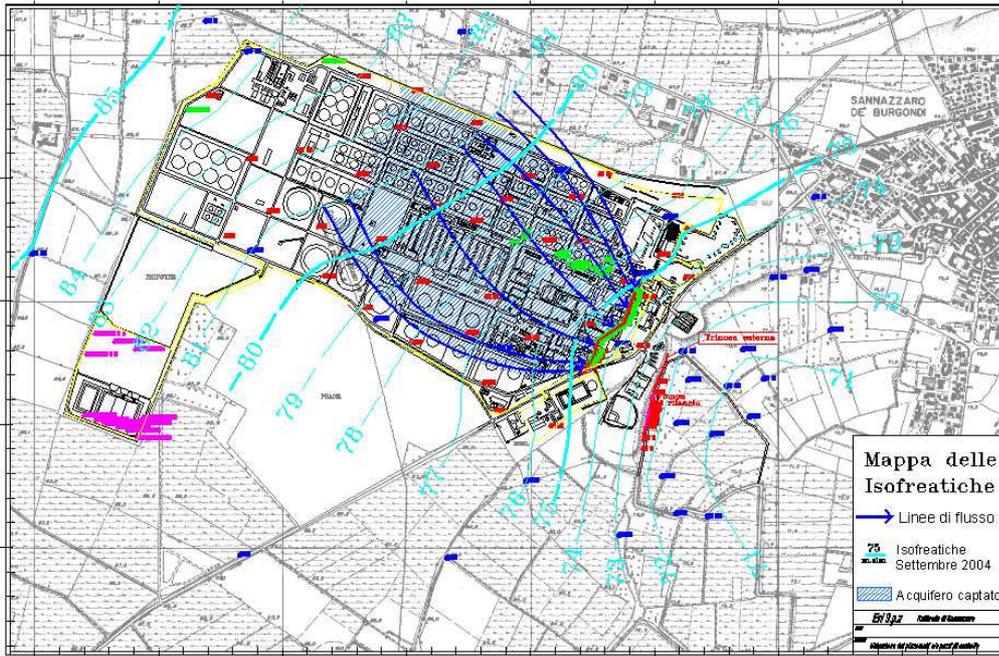
Prima dell'intervento di potenziamento previsto in Fase 1 del progetto di bonifica la barriera era costituita da 16 pozzi denominati S24÷S39. Dopo le nuove installazioni, copre un fronte di 470 m, è costituita da 20 pozzi ed interessa l'acquifero per uno spessore di circa 11-12 m (Figura 3.3).



**Figura 3.3** Terza barriera di contenimento e suo potenziamento

I nuovi pozzi sono stati approntati nel periodo gennaio – febbraio '04 e sono stati attivati a partire da marzo '04.

Nel luglio e nel settembre '04 sono state rilevate, nell'ambito delle attività di campo connesse ai monitoraggi periodici, le quote piezometriche dei piezometri interni ed esterni e sono state redatte mappe freatiche generali delle quali si riporta quella relativa al settembre '04 (Figura 3.4), corredata delle linee principali di deflusso.



**Figura 3.4:** Mappa delle isofreatiche del Settembre '04.

L'area tratteggiata indica la zona captata dall'azione della barriera.

Gran parte dell'acquifero sottostante l'area interessata dal parco serbatoi e degli impianti converge verso la sezione di Raffineria intercettata dalla terza barriera di contenimento.

Questa situazione è generata soprattutto dalla presenza del terrazzo morfologico che agisce da zona di richiamo delle acque sotterranee e genera un lineamento drenante di estensione regionale: la terza barriera interna è collocata in un'area sulla quale si sommano sia l'azione di richiamo e contenimento propri dell'opera sia l'effetto della convergenza naturale della falda generata dalla presenza del terrazzo morfologico.

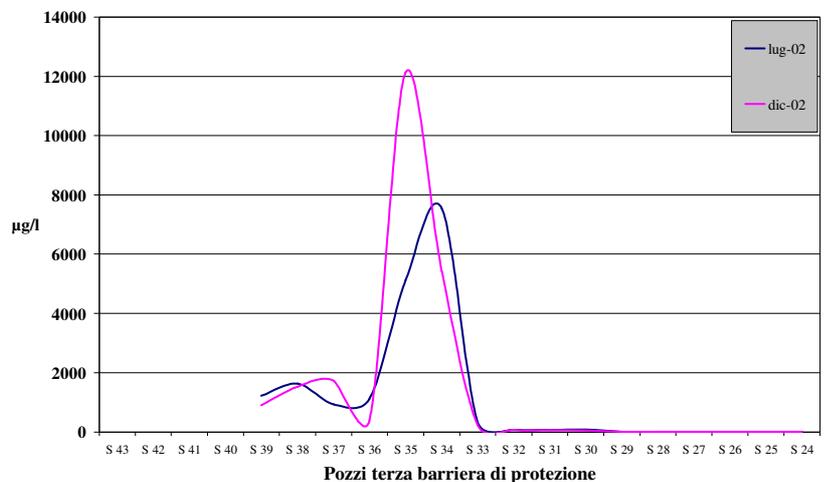
L'azione delle opere di captazione esterne (trincea e barriera di pozzi a deflusso naturale) completa ed integra quella della terza barriera, raccogliendo flussi che occasionalmente potrebbero sfuggire alla cattura operata dalla barriera.

### 3.2.2 *Risultati dei controlli di funzionalità e conclusioni*

I risultati dei controlli eseguiti evidenziano che la barriera copre l'intero fronte necessario allo sbarramento delle acque inquinate ed in particolare la campagna di settembre 2004 mostra valori in S43 al di sotto dei limiti previsti in DM 471/99.

La serie storica delle campagne condotte dal gennaio 2002 al settembre 2004 mostra una sostanziale costanza nel comportamento delle acque captate dalla barriera per quanto riguarda i valori di concentrazione degli oli minerali e del benzene ed una tendenza alla diminuzione dei valori massimi di concentrazione di MtBE.

**Figura 3.5:** Distribuzione MtBE 2002



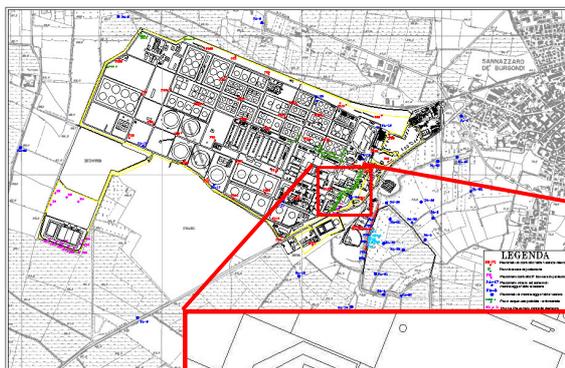
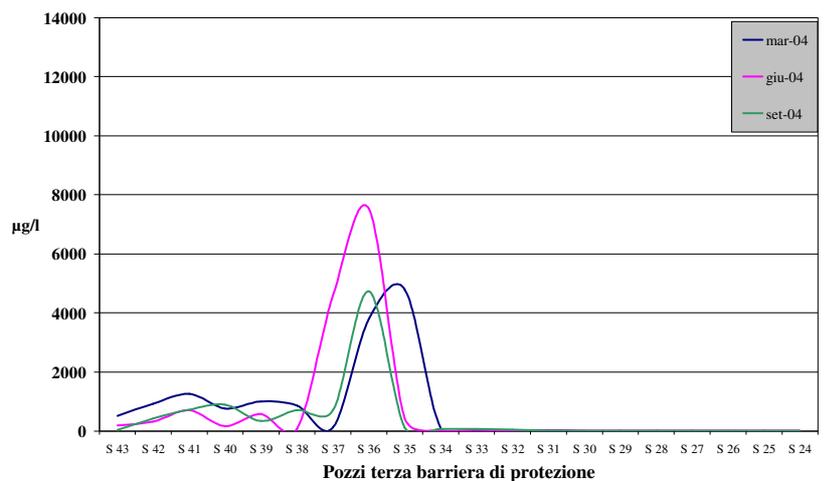
I valori massimi sono stati riscontrati nel Dicembre '02 (Figura 3.5) in corrispondenza della zona interessata dall'emungimento dei pozzi S34 e S35.

Nel 2004 il trend mostra una decisa diminuzione (Figura 3.6) dei valori. Si assiste inoltre ad uno spostamento dei picchi verso la zona meridionale della barriera, in corrispondenza dei pozzi S36 e S37.

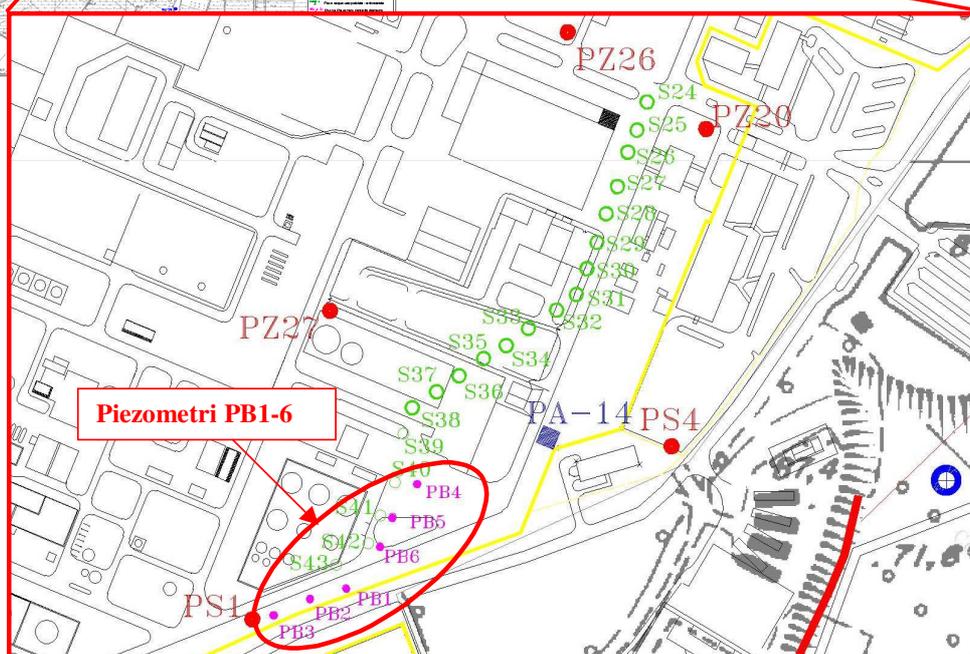
La terza barriera interna, così come progettata e gestita, consente la rimozione di quantità maggiori di acqua dove la contaminazione è maggiore, grazie all'esatta conoscenza della distribuzione delle concentrazioni d'inquinante.

I dati acquisiti dai piezometri PB1÷PB6, posti immediatamente a valle del nuovo tratto della terza barriera di protezione interna (Figura 3.7), sono indicativi di un rapido abbattimento delle sostanze inquinanti. Dalla primavera '04 (attivazione della barriera) a settembre '04 è stato rilevato un netto decremento dei valori di concentrazione. In particolare i piezometri da PB1 a PB3 confermano la chiusura del fronte di contaminazione così come già riscontrato nel pozzo S43.

**Figura 3.6:** Distribuzione MtBE 2004



**Figura 3.7:** Piezometri PB1÷PB6



I dati idrochimici relativi ai piezometri PB1-PB6 confermano che l'area interessata dalla nuova tratta risulta sbarrata ed i pozzi installati nell'ambito della Fase 1 del PDdB svolgono efficacemente il contenimento della contaminazione, anche nelle diverse condizioni stagionali di deflusso.

Il prolungamento della barriera con i pozzi S40-S43 garantisce la chiusura ad ovest dei fronti di contaminazione ed a valle della barriera, e, dopo solo sei mesi di funzionamento, l'acquifero risulta conforme, o molto vicino ad essere conforme, ai valori limite di bonifica.

La stessa situazione si verifica nell'area di barriera da S34 ad S39. I piezometri MW1-MW4 approntati per il campo prova "A" della sperimentazione ORC® mostrano, a partire da giugno 2004 (Tabella 3.1) una diminuzione netta dei valori di contaminazione, non imputabile per intensità e velocità all'effetto della biodegradazione.

Piezometro	Data di monitoraggio	Oli minerali TPH-FTIR (µg/l)	Benzene (µg/l)	MtBE (µg/l)	
MW1	2004	Gennaio	1980	2070	820
		Febbraio	1815	4175	171
		Marzo	1965	6125	194
		Aprile	995	4690	197
		Maggio	600	884	173
		Giugno	< 10	15	15
		Luglio	20	61	9
		Agosto	70	< 0,5	< 5
		Settembre	21	< 0,5	< 5
	Ottobre	< 10	< 0,5	< 5	
MW2	2004	Gennaio	1060	3754	177
		Febbraio	1418	5040	256
		Marzo	1995	8526	342
		Aprile	3100	8830	320
		Maggio	700	1305	120
		Giugno	136	959	51
		Luglio	85	238	66
		Agosto	< 10	96	350
		Settembre	125	12	17
	Ottobre	< 10	< 0,5	< 5	
MW3	2004	Gennaio	82	78	57
		Febbraio	35	5	5
		Marzo	255	523	59
		Aprile	480	1242	112
		Maggio	57	42	19
		Giugno	30	157	26
		Luglio	23	< 0,5	< 5
		Agosto	< 10	< 0,5	< 5
		Settembre	20	< 0,5	< 5
	Ottobre	< 10	< 0,5	< 5	
MW4	2004	Gennaio	95	137	15
		Febbraio	23	34	11
		Marzo	220	1050	45
		Aprile	398	1660	84
		Maggio	20	13	< 5
		Giugno	48	< 0,5	< 5
		Luglio	10	< 0,5	< 5
		Agosto	10	< 0,5	< 5
		Settembre	< 10	< 0,5	350
	Ottobre	< 10	< 0,5	< 5	

**Tabella 3.1** Risultati delle campagne analitiche dei piezometri MW1-MW4 del campo sperimentale A (profondità del prelievo 16 m da p.c.), posti a valle del tratto esistente della terza barriera di protezione.

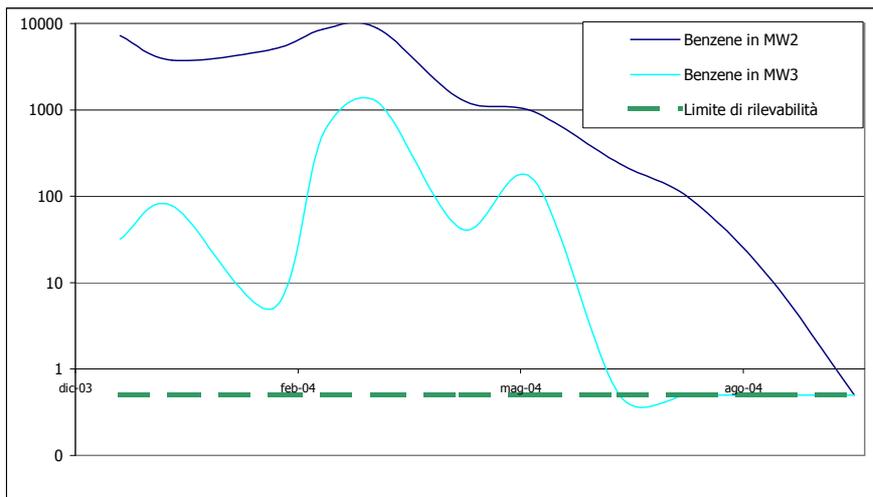
La Figura 3.8 illustra il campo prova A: i piezometri MW1÷MW4 sono punti di monitoraggio della qualità dell'acqua di falda, i piezometri I1÷I6 sono i punti di immissione dell'ORC®; in particolare il piezometro MW1 rappresenta il punto di monte del sistema, i rimanenti MW sono i punti di valle.



**Figura 3.8:** Piezometri MW1÷MW4

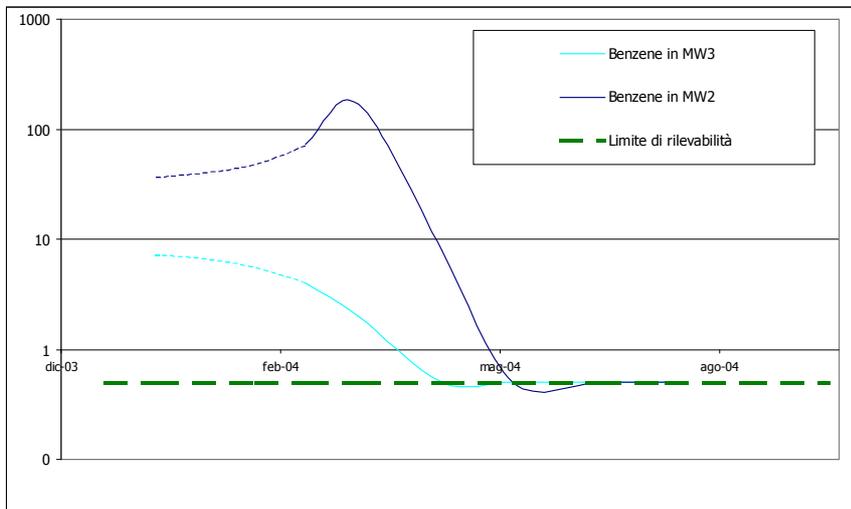
Di gran lunga più importante per l'evoluzione del quadro chimico locale è stata l'attività di bonifica esplicita dalla barriera di contenimento che ha sostanzialmente bloccato i flussi di acqua contaminata ed eliminato l'effetto diffusivo della stessa. I piezometri di controllo MW2 e MW3, campionati con frequenza pressoché mensile possono rappresentare le due diverse situazioni locali di alta e di bassa contaminazione.

Di questi piezometri si osserva l'evoluzione del fenomeno (Figura 3.9) per la zona superficiale dell'acquifero (campionamenti con packer posizionato a 21 m da p.c.).



**Figura 3.9:** andamento delle concentrazioni di benzene in MW2 e MW3 rilevate sino a quota -22 dal piano campagna (scala logaritmica).

Per entrambi i piezometri è rilevabile una caduta netta e costante delle concentrazioni a partire da maggio – giugno 2004. Tale trend di diminuzione è tanto più evidente se confrontato con l'andamento oscillante dei periodi precedenti. La situazione degli stessi piezometri nella fascia profonda della prima falda (campionamenti a -22 m da p.c.) è simile a quella riscontrata in superficie (Figura 3.10).



**Figura 3.10:** andamento delle concentrazioni di benzene in MW2 e MW3 rilevate da quota -22 a quota -35 dal piano campagna (scala logaritmica).

Le osservazioni di cui sopra e i dati d'ottobre '04, che mostrano valori di concentrazione al di sotto del limite di rilevabilità per tutti gli analiti sia nella fascia superficiale sia nella fascia profonda della falda freatica, indicano una variazione netta del comportamento della contaminazione.

Gli effetti attesi dall'attivazione dell'estensione della barriera erano sostanzialmente quelli attualmente registrati, anche se, in base alle velocità presunte della falda, si prevedeva si manifestassero ed evolvessero in tempi lievemente più lunghi. E' possibile che vi siano ancora, nell'area controllata da MW1-MW4, solo acque interessate da zone sfrangiate ed interrotte del precedente plume di contaminazione, che attualmente è intercettato e bloccato a monte dalla barriera idraulica, e che potrebbero essere riportate, dalla variazione della direzione di falda, nel raggio di controllo di uno o dell'altro piezometro.

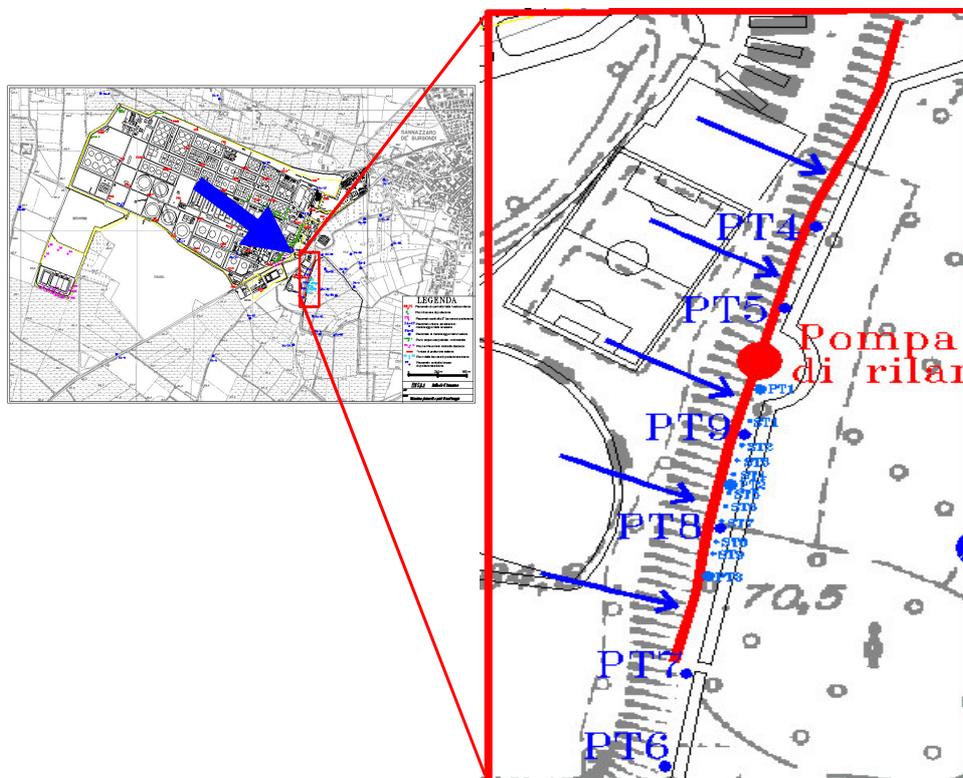
La barriera, nel suo assetto attuale, chiude in modo completo il fronte di fuga di acque interessate dalla presenza di prodotti disciolti e costituiti essenzialmente da MtBE, oli minerali e aromatici.

Costatata l'efficacia dell'azione di contenimento delle barriere e del conseguente effetto di bonifica dell'area controllata dai piezometri PB1-PB6 e MW1-MW4, l'unico intervento ritenuto necessario consiste nell'installazione di una linea di piezometri di controllo. Tali piezometri, verranno installati a ridosso delle opere di captazione, avranno la funzione di consentire la gestione operativa delle stesse e contemporaneamente di verificarne la funzionalità.

### 3.3 Sintesi dello stato della falda freatica esterna e descrizione delle opere realizzate nella Fase 1 del progetto di bonifica

#### 3.3.1 Aspetti generali

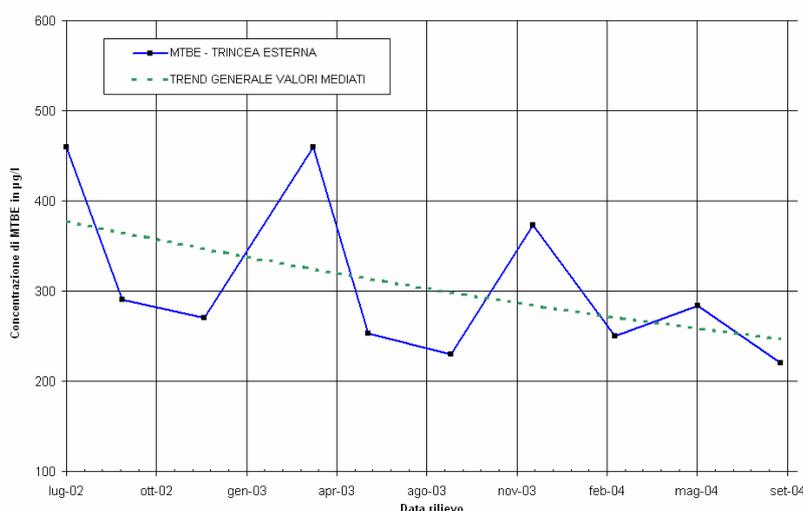
La falda freatica sottesa alla Raffineria è caratterizzata dalla tendenza naturale delle linee di flusso a convergere verso un'area meridionale immediatamente a ridosso dello stabilimento, ai piedi della scarpata di un terrazzo morfologico ove le acque di falda più superficiali vengono a giorno (Figura 3.11).



**Figura 3.11:** posizione della trincea di protezione esterna rispetto alla raffineria. La freccia blu indica la direzione di flusso della falda freatica.

Su questa linea di drenaggio naturale è posizionata una trincea di protezione esterna con orientamento SW-NE la cui funzione è la captazione dei flussi caratterizzati da modesta contaminazione.

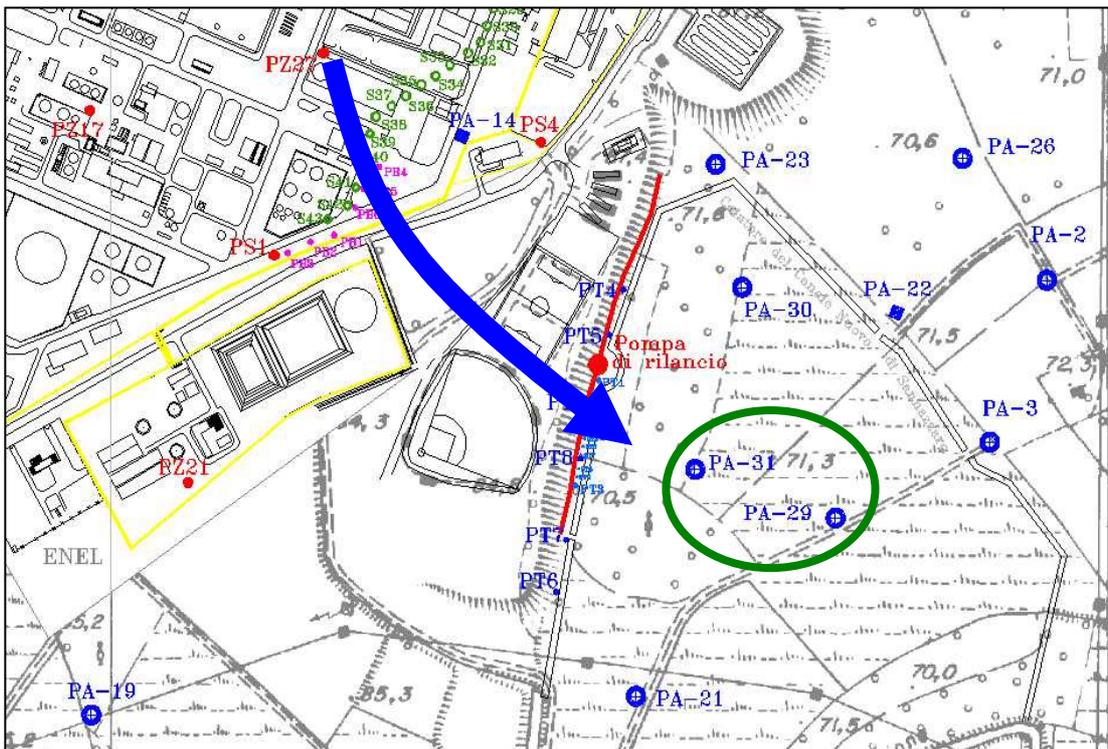
Nella Figura 3.12 sono rappresentati i valori di concentrazione sulla trincea rilevati dal luglio 2002 al settembre 2004. I risultati dei controlli effettuati hanno evidenziato unicamente la presenza di concentrazione residuale di benzene superiore ai limiti DM 471/99 e la presenza di MtBE in concentrazioni maggiori ai limiti di rilevabilità.



E' ragionevole prevedere che nel futuro questi valori vengano ulteriormente ridotti in ragione dell'attività del ramo aggiuntivo di barriera interna realizzato nel corso della Fase 1 del progetto di bonifica.

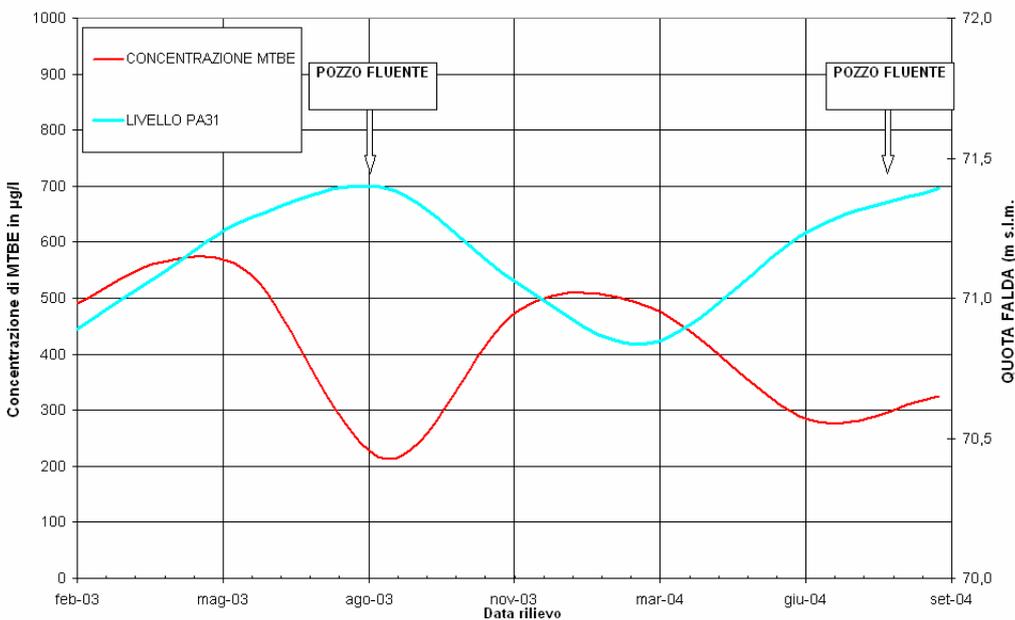
**Figura 3.12:** Concentrazione di MtBE nella trincea esterna

I controlli effettuati sulle acque captate a valle della trincea hanno sempre mostrato la presenza di solo MtBE: la sostanza era stata riscontrata sui piezometri PA29 e PA31 ubicati idrogeologicamente a valle dell'opera di protezione (Figura 3.13)



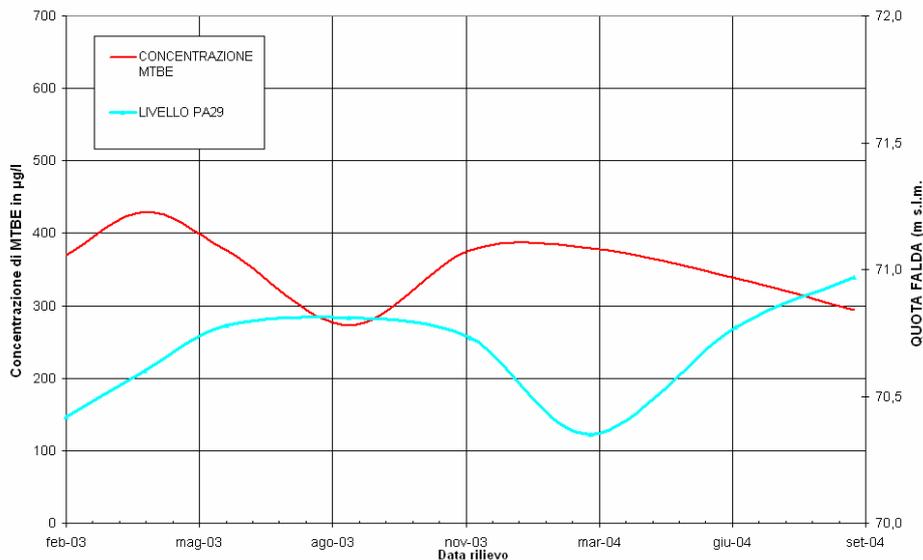
**Figura 3.13:** ubicazione dei piezometri PA29 e PA31.

Nel piezometro PA31 le concentrazioni di MtBE, pur oscillando intorno ad un valore medio di circa 400  $\mu\text{g/l}$ , tendono a diminuire nel tempo, almeno in corrispondenza dei massimi relativi (Figura 3.14).



**Figura 3.14:** andamento dei livelli piezometrici e delle concentrazioni di MtBE nel piezometro PA31.

Il PA29, a valle del PA31, presenta valori di concentrazione mediamente più bassi, valori massimi generalmente inferiori ai 400  $\mu\text{g/l}$  e valori medi di circa 350  $\mu\text{g/l}$ . Tali condizioni indicano una certa stabilità tipica di code di esaurimento confermando le ipotesi presentate in fase di Progetto Preliminare di Bonifica (Figura 3.15).



**Figura 3.15:** andamento dei livelli piezometrici e delle concentrazioni di MtBE nel piezometro PA29.

La presenza di MtBE a valle della trincea è legata alle proprietà chimico fisiche del composto, diverse da quelle dei prodotti per i quali l'opera è stata originariamente progettata e realizzata: lo sbarramento risulta efficace rispetto la captazione d'idrocarburi mentre il MtBE, più mobile e solubile, è intercettato parzialmente e solo nella parte sommitale del plume.

La falda superficiale è confinata verso l'alto da uno strato di materiale impermeabile, costituito da orizzonti limo-sabbiosi e limo-argillosi alternati tra loro e di spessore variabile, sino a quote di -5 m dal p.c., soprattutto a ridosso della scarpata del terrazzo alluvionale.

In fase di definizione del modello concettuale si giungeva alle seguenti conclusioni:

- ❑ l'unica componente ambientale attraverso la quale avviene la migrazione di MtBE è costituita dall'acquifero freatico; i risultati delle indagini escludono fenomeni di contaminazione di quello sottostante artesiano;
- ❑ le opere di captazione interne ed esterne hanno esplicato un'azione sostanziale di contenimento e mitigazione del plume di MtBE, interrompendo, seppur parzialmente, i flussi di alimentazione e spezzando l'uniformità distributiva della contaminazione a vantaggio di un generale rallentamento nei moti convettivi-dispersivi;
- ❑ l'area di plume con concentrazioni di MtBE superiori a 10 µg/l non è pervenuta ad alcun bersaglio sensibile.

Risultava pertanto necessario, per estendere l'azione di contenimento e bonifica anche al MtBE, predisporre due interventi coordinati: il potenziamento idraulico della captazione e, più a valle, un'azione di bonifica basata sul potenziamento dell'azione microbica di biodegradazione.

Il potenziamento idraulico della captazione è stato eseguito mediante la realizzazione di una barriera di pozzi a deflusso naturale posizionata a ridosso della trincea. La bonifica mediante azione di biorisanamento è stata oggetto di uno studio diretto di fattibilità in un campo prova di sperimentazione (campo B).

Di entrambe le opere, realizzate nell'ambito della Fase 1 del Progetto di Bonifica, vengono a seguito presentati i risultati delle attività di controllo e sperimentazione.

### 3.3.2 Funzionalità della barriera esterna con pozzi a deflusso naturale

La barriera è stata costruita mediante tre passaggi successivi di affinamento:

- 1) **primo stadio (agosto – settembre '03):** realizzazione di 9 piezometri (PT1-PT9) di cui uno (PT8) fenestrato solo nella parte superficiale dell'acquifero artesiano. Dalla sezione idrochimica ricavata in questa fase si poteva sostanzialmente osservare che il nucleo del plume di MtBE risulta per lo più concentrato in prossimità dell'intorno del piezometro PT2 per un fronte di circa 100 m mentre l'estensione laterale del plume tende a chiudersi su un fronte di larghezza non superiore ai 300 m (Figura 3.16). La presenza di concentrazioni significative di MtBE è localizzata tra PT3 e PT1.

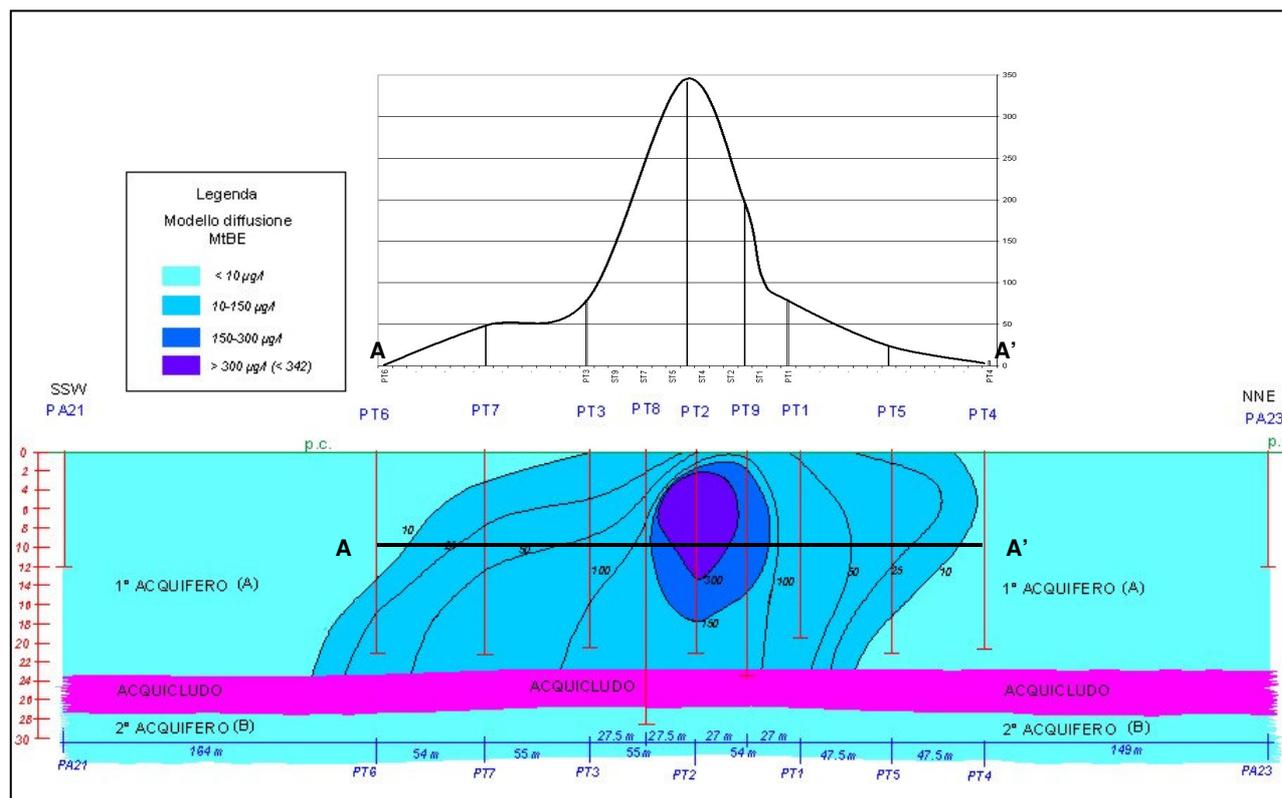
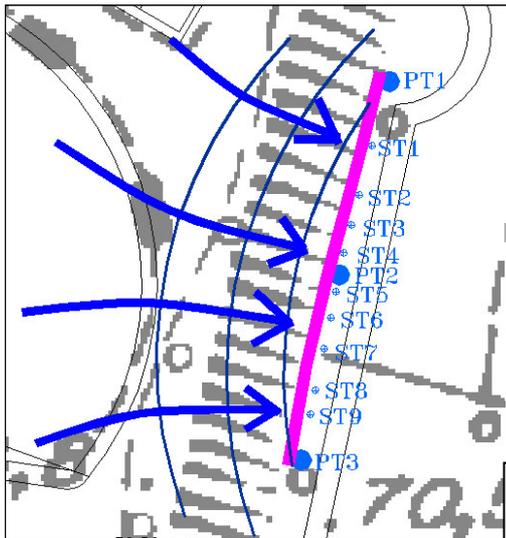
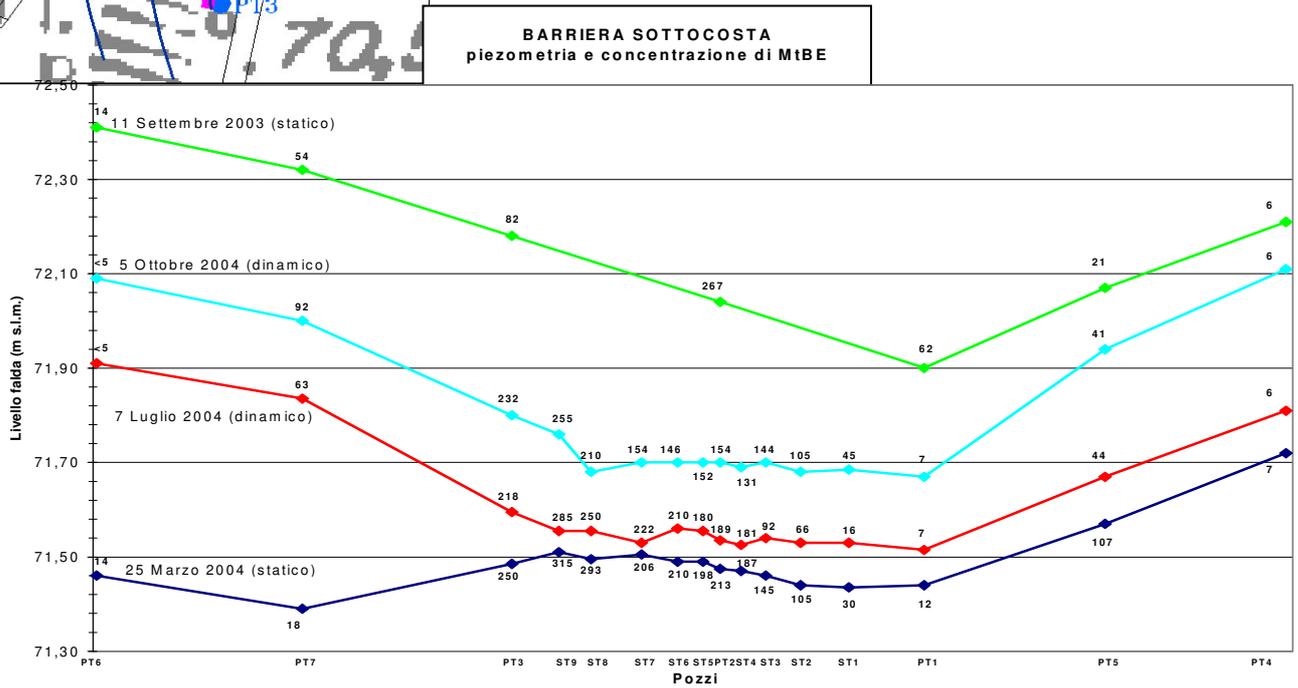


Figura 3.16 Primo profilo delle concentrazioni di MtBE (settembre 2003)

- 2) **secondo stadio (gennaio – febbraio '04):** in base alle considerazioni di cui sopra l'intervento è stato sviluppato con l'installazione di un sistema di pozzi a deflusso naturale posizionati per lo più nell'area del nucleo del plume localizzabile tra PT1 e PT3. Il sistema è costituito da una barriera di n° 12 pozzi di estrazione di piccolo diametro (4") di cui n° 3 già presenti in sito (PT1, PT2 e PT3) e n° 9 (ST1÷ST9) di nuova realizzazione.
- 3) **terzo stadio (marzo – ottobre '04):** è consistito nella gestione della barriera e nei conseguenti controlli di funzionalità. La figura. 3.18 indica in sintesi la situazione della barriera così come "fotografata" in vari momenti della gestione dei controlli di funzionalità. I dati rilevati dai piezometri della serie ST1-ST9 (realizzati successivamente) evidenziano distribuzioni dei livelli statici e dei valori di chimismo leggermente diverse da quelle rilevate nel settembre 2003 (dati di progetto).



**Figura 3.17:** linee di flusso in corrispondenza della barriera idraulica a deflusso naturale.



**Figura 3.18:** piezometrie e concentrazione di MtBE nella barriera idraulica a deflusso naturale.

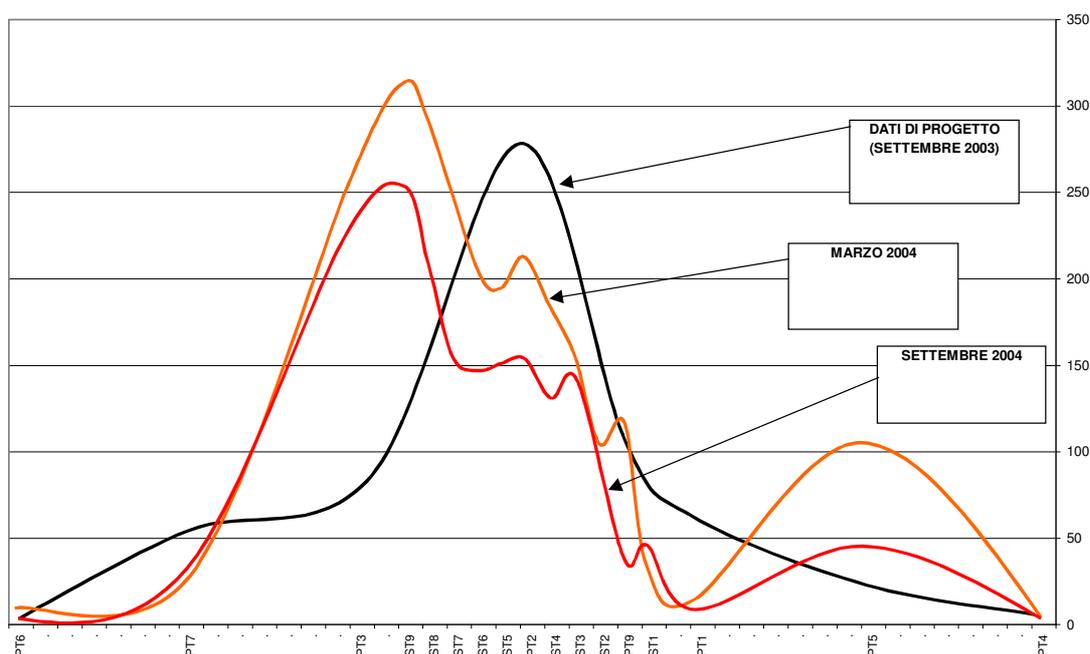
La variazione è soprattutto evidente in PT3 ove si è rilevata la presenza di MtBE in concentrazioni superiori a quelle registrate nella fase della raccolta dati progettuali.

La dinamica naturale della falda lungo il fronte di captazione si è rivelata variabile e tale variabilità ha influito anche sulla distribuzione della contaminazione.

La gestione della barriera è stata eseguita con successivi aggiustamenti delle portate operati per lo più al fine di regolare e mantenere costantemente una zona di richiamo centrata tra il piezometro PT1 ed il piezometro PT3. La metodica gestionale della barriera è finalizzata a mantenere costante l'azione di drenaggio e richiamo di acqua nella zona, compresa tra PT1 e PT3, entro la quale sono convogliati i flussi maggiormente contaminati (nucleo del plume) in MtBE.

Durante i campionamenti previsti dal programma di monitoraggio sono stati registrati diversi profili di distribuzione delle concentrazioni di MtBE lungo tutta la sezione interessata dai piezometri da PT4 a PT6. Da marzo a settembre '04 il profilo di concentrazione dell'MtBE ha evidenziato sostanzialmente la tendenza a mantenere una posizione costante del massimo, ubicabile all'intorno del piezometro PT3. Tale condizione sposta di circa 50 m il punto caratterizzato dalla presenza del nucleo di MtBE (Figura 3.19).

**DISTRIBUZIONE MTBE DA SETTEMBRE 2003 A SETTEMBRE 2004  
BARRIERA DI CONTENIMENTO PT4 - PT6**



**Figura 3.19:** distribuzione di MtBE nel tempo nell'area esterna indagata.

I dati raccolti da marzo a settembre 2004 mostrano in sintesi le seguenti evidenze:

- Il fenomeno nel suo complesso risulta ancora limitato tra PT4 e PT6 e non si hanno evidenze che con l'aumentare del dettaglio della rete di rilevazioni dati o con il variare delle condizioni generali, naturali ed indotte, di deflusso ed emungimento il settore d'intervento si sia ampliato;
- Gran parte del nucleo del plume di MtBE risulta posizionato, fin dall'inizio dei pompaggi, nell'ambito dell'intervallo da PT3 a PT2 quindi è comunque confermato il primo modello di captazione anche se la barriera risulta migliorabile in un settore compreso tra PT3 e PT7 dove il nucleo del plume, sulla base delle informazioni attualmente raccolte, sembra essersi momentaneamente posizionato;
- L'area interessata da valori di concentrazione inferiori a 100 µg/l si estende ad ovest a partire da un punto mediano tra PT3 e PT7 pertanto l'area ad ovest di PT7 presenta ancora caratteristiche che rendono consigliabile l'eventuale applicazione di tecnologie di biorisanamento piuttosto che l'attivazione di una barriera di emungimento.

La variabilità locale dei livelli deve essere compensata dalla regolazione degli emungimenti anche al fine di evitare, all'interno della barriera, fenomeni di richiamo di acque provenienti dalla parte più superficiale dell'acquifero, contaminate da idrocarburi. Tali acque sono intercettate dalla trincea di protezione esterna.

Per pervenire a tale risultato il profilo dinamico della barriera deve essere costantemente mantenuto ad una quota superiore rispetto al livello statico presente in trincea. Ciò consente la creazione di una contropendenza di gradiente che impedisce la commistione di acque più superficiali (captate dalla trincea) ed acque più profonde (captate dalla barriera).

L'importanza di tale aspetto della gestione è stata confermata dal monitoraggio idrochimico del settembre '04 durante il quale è stata rilevata la presenza anomala di benzene sui pozzi ST8 (17 µg/l) ed ST9 (1 µg/l). Tale situazione è legata alla presenza di un eccessivo avvicinamento tra i livelli della

barriera e quelli della trincea, localizzato nei pozzi del gruppo ST9-ST7, che ha causato un fenomeno di parziale e momentaneo richiamo di benzene

Per eliminare il fenomeno, nella seconda settimana dell'ottobre '04 il pompaggio nella sezione PT3-ST8 è stato regolato. A seguito viene presentata una tabella dei valori di portata prima e dopo la regolazione (Tabella 3.2).

Piezometri	Portata iniziale (l/s)	Quota iniziale (m s.l.m.)	Portata dopo regolazione (l/s)	Quota dopo regolazione (m s.l.m.)
PT3	1,00	71,735	0,41	71,775
ST9	0,73	71,720	0,44	71,760
ST8	1,49	71,530	0,27	71,745
ST7	0,65	71,685	0,55	71,675

**Tabella 3.2** Valori di portata prima e dopo la regolazione

I campionamenti sui piezometri da ST7 ad ST9 sono stati ripetuti nella terza e nell'ultima settimana di ottobre '04 (a circa 7 e 14 giorni di distanza dalla data della regolazione) ed i risultati analitici mostrano che dopo solo sette giorni si perviene ad una riduzione netta dei valori di benzene in ST8 (da 17 a 5 µg/l) accompagnata dalla scomparsa dello stesso su ST9.

Il campionamento eseguito dopo due settimane mostra per il piezometro ST9 è confermata la completa regressione del fenomeno fino a valori inferiori ai limiti di rilevabilità.

Nel piezometro ST8 le ultime analisi eseguite mostrano che la concentrazione di benzene si è ulteriormente ridotta a 2 µg/l.

Ne risulta quindi che, come già previsto in fase di progettazione, è conveniente non aumentare oltre una certa soglia le portate di emungimento della barriera a deflusso naturale al fine di evitare fenomeni di richiamo di prodotti più solubili.

In linea generale, il potenziamento della barriera di pozzi, così come anticipato in precedenza, nell'area PT3-PT7, sarà eseguito mediante la realizzazione di nuovi punti di estrazione funzionanti con bassi regimi di portata invece di aumentare la portata dei pozzi già esistenti.

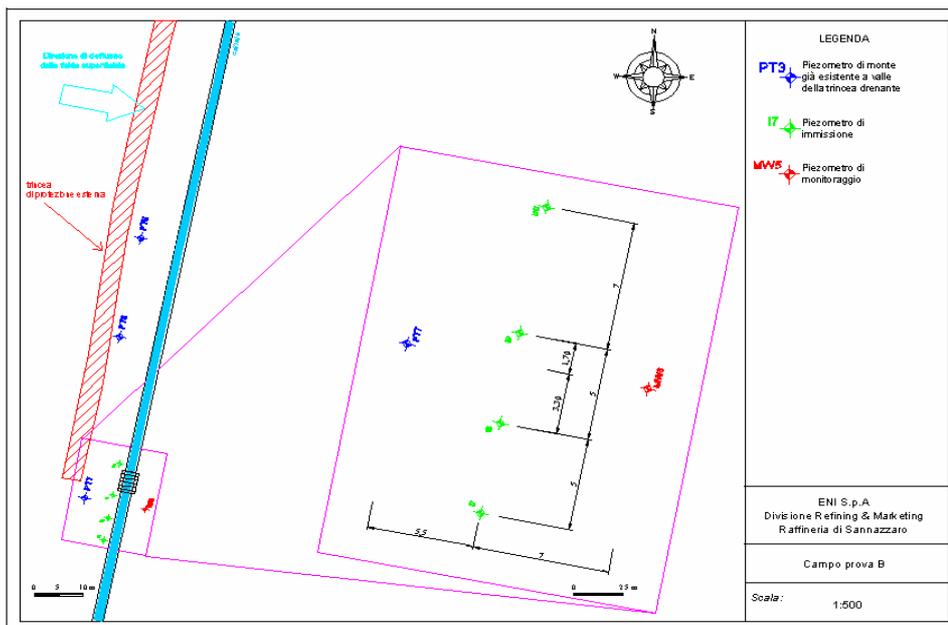
### 3.3.3 Barriera di biorisanamento, risultati della sperimentazione

Nel periodo compreso tra il novembre 2003 e il settembre 2004 sono state svolte le attività d'installazione e gestione di n°2 campi sperimentali di bioremediation con tecnologia ORC<sup>®</sup> presso la Raffineria di Sannazzaro de' Burgondi (PV); esse sono state suddivise in quattro fasi principali:

1. installazione dei campi prova;
2. caratterizzazione preliminare;
3. installazione delle postazioni di immissione di ORC<sup>®</sup>;
4. monitoraggio dei campi prova.

Il presente capitolo descrive nel dettaglio le attività intraprese all'interno del campo sperimentale denominato "campo prova B" ed ubicato all'esterno del perimetro produttivo della Raffineria.

Il campo prova B è stato installato all'esterno della raffineria, in corrispondenza della scarpata del terreno alluvionale, a margine della trincea di protezione esterna ed è costituito da una serie di piezometri localizzati come riportato in Figura 3.20 utilizzati per l'immissione dell'ORC<sup>®</sup> (I7 – I10) e per il monitoraggio (MW5 e MW6).



**Figura 3.20** - Campo prova B - Localizzazione dei piezometri d'immissione dell'ORC® (I7 – I10) e di monitoraggio (MW5 e MW6)

Il piezometro di monitoraggio MW5 coincide con piezometro PT7 già presente in sito in quanto realizzato nell'ambito delle attività di dettaglio intraprese per la progettazione e costruzione della barriera a deflusso naturale.

I piezometri di rilascio, denominati I7-I10, sono stati disposti con interasse pari a 5 m; fa eccezione l'interasse tra I9 e I10, pari a 7 m.

I piezometri del campo sono stati realizzati con le seguenti caratteristiche:

- diametro tubi: 4"
- profondità raggiunta: 23 m da p.c.
- completamento: cieco 0–5 m da p.c.; fenestrato 5–23 m da p.c.

Nell'ambito delle attività di sperimentazione, gestione e monitoraggio sono stati osservati diversi aspetti che si possono ritenere strettamente correlati al processo di biodegradazione.

I risultati hanno evidenziato che non tutti gli idrocarburi eventualmente presenti (benzene) devono essere degradati affinché si attivi la degradazione del MtBE.

La sperimentazione effettuata nel campo B, ha dimostrato che esiste una correlazione tra l'inizio della riduzione di concentrazione di MtBE (ca. giorno 125) e la scomparsa del benzene (ca. giorno 100), che concorda con il concetto di inibizione competitiva tra i due contaminanti.

La competizione tra il benzene e l'MtBE nei processi biodegradativi non ha avuto il massimo sviluppo in corrispondenza della postazione di monitoraggio (MW6), ma nella zona principale di ossigenazione, localizzata a monte (dintorni dei piezometri di immissione I7-I10).

Il MtBE si è mantenuto per un certo periodo di tempo pressoché costante sia nella zona di attivazione che in quella di monitoraggio, finché non è stato eliminato il benzene, permettendo così l'inizio della degradazione del MtBE all'interno della zona di attivazione.

In corrispondenza di MW6, l'effetto della degradazione, avvenuta nella zona di attivazione, è stato osservato con un certo ritardo temporale, dovuto alla distanza del piezometro dalla stessa.

L'ossigeno rilasciato è stato consumato nella principale zona di degradazione immediatamente a valle della barriera, determinando così, in corrispondenza di MW6, il reinstaurarsi di bassi valori di potenziale redox e di ossigeno disciolto e, nel contempo basse concentrazioni di contaminanti rispetto ai punti di monte.

L'influenza della barriera ossigenica è evidenziata dai seguenti fattori:

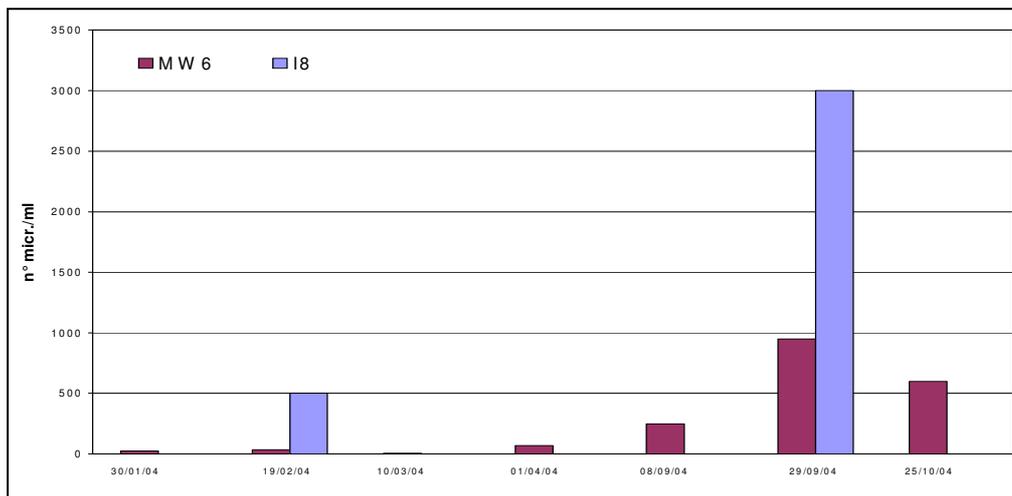
- a) presenza di flora batterica nella zona ad essa sottesa e viceversa dall'assenza di tale flora in porzioni di acquifero contaminate ma non influenzate dalla sperimentazione.

E' stata effettuata la ricerca dei batteri eterotrofi totali. I batteri eterotrofi, i più abbondanti nella maggior parte degli ambienti acquatici, decompongono gli idrocarburi in molecole relativamente piccole che poi ossidano anche completamente. I risultati ottenuti dalle analisi effettuate per gli eterotrofi totali hanno evidenziato come, nelle sole due postazioni interessate dal rilascio di ORC® (I8 e MW6) la popolazione microbica sia presente in quantità rilevante, mentre negli altri piezometri (ST2, ST5, ST7, ST9), con le stesse caratteristiche costruttive e analogo livello di contaminazione, è assente (Tabella 3.3).

DATA CAMP.	ANALISI EFFETTUATE	MW6	I8	ST2	ST5	ST7	ST9
29/9/2004	ETEROTROFI TOTALI (num.micr./ml H2O)	950	3000	0	0	0	0

**Tabella 3.3:** Campo B – Risultati delle analisi di caratterizzazione microbiologica effettuate in data 29.09.04.

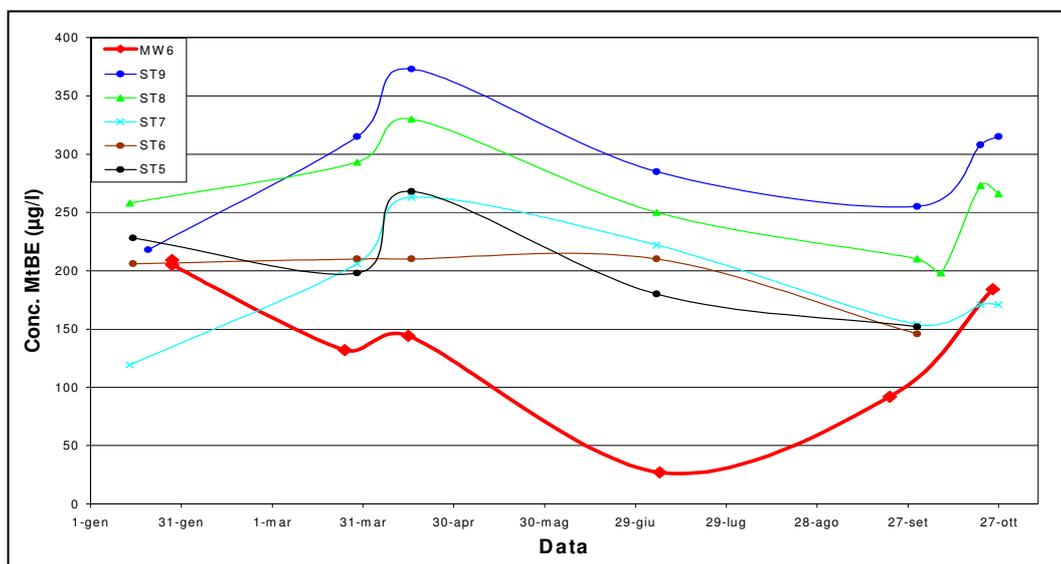
- b) La caratterizzazione microbiologica effettuata su campioni prelevati in differenti date nel campo sperimentale ha riscontrato un sostanziale trend di crescita microbica sia della postazione di immissione I8, sia della postazione di monitoraggio MW6 (Figura 3.21).



**Figura 3.21 -** Trend di crescita microbica (eterotrofi totali) rilevato in corrispondenza del piezometro di controllo MW6 e del piezometro di immissione I8.

I dati ottenuti evidenziano una maggiore crescita microbica in corrispondenza della zona maggiormente influenzata dal rilascio di ossigeno (piezometro I8).

c) Una ulteriore evidenza a dimostrazione dell'efficacia del sistema di bioremediation è illustrata in Figura 3.22 ove è rappresentato il trend dell'MtBE rilevato nei piezometri adiacenti, aventi le stesse caratteristiche costruttive e simili valori contaminazione da MtBE, confrontati con il piezometro MW6. Il grafico rileva la marcata diminuzione dei valori di MtBE di quest'ultimo sino al mese di Luglio e l'andamento pressoché costante delle concentrazioni rilevate nei piezometri della serie ST. Dal mese di Agosto, con l'esaurirsi della barriera ossigenica, il MtBE è ritornato sui valori iniziali, allineandosi ai valori riscontrati



negli altri piezometri.

**Figura 3.22** - Trend del MtBE nel piezometro MW6 e in quelli adiacenti.

I risultati della sperimentazione dimostrano pertanto che si stanno verificando dei processi di degradazione e che non esistono impedimenti particolari ad un intervento di bonifica mediante ORC<sup>®</sup>.

#### 4. INTERVENTI PREVISTI NELLA FASE 2 DEL PROGETTO DI BONIFICA

##### 4.1 Realizzazione del sistema di monitoraggio della terza barriera interna

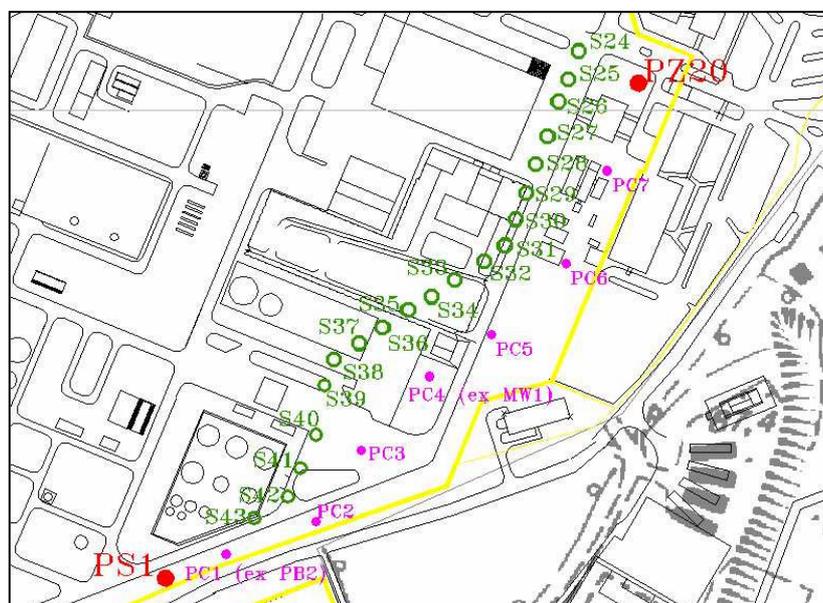
L'attuale configurazione della 3<sup>a</sup> barriera interna garantisce la completa intercettazione delle acque contaminate prima che queste pervengano ai limiti dell'insediamento produttivo.

Le massime concentrazioni di inquinanti interessano la sezione di barriera compresa tra S34 e S39. Al fine di mantenere nel tempo il controllo sull'effettivo contenimento è indispensabile la creazione di una cintura di monitoraggio che permetta la rilevazione periodica delle informazioni idrochimiche e metta in evidenza, in tempi utili, le eventuali anomalie.

L'ubicazione dei piezometri di controllo deve risultare al di fuori del cono di influenza della barriera per non intercettare acque destinate alla cattura da parte della barriera stessa. Con l'attuale assetto di pompaggio la massima distanza d'influenza a valle della barriera, risulta non superiore ai 25-30 m.

I pozzi pertanto dovranno essere posizionati oltre una fascia di 25-30 m a valle della barriera.

E' previsto un anello di monitoraggio di n° 7 piezometri di cui n° 2 già realizzati (PC1 e PC4) in altre fasi del procedimento di caratterizzazione e bonifica.



**Figura 4.1** – Ubicazioni punti di monitoraggio della terza barriera interna (punti denominati da PC1 a PC7).

Il piezometro PC4 (ex MW1) è stato realizzato nel corpo delle attività connesse alla costruzione e gestione del campo A sperimentale ORC® interno alla raffineria ed è profondo 35 m da p.c. Quest'opera risulta utilizzabile mediante packer anche per i monitoraggi della zona profonda della falda freatica.

Piezometro	Profondità (m da p.c.)	DN	Fenestrazione (m da p.c.)
PC 4 (ex MW1)	35	4"	9-35
Serie PC	22	4"	9-22

**Tabella 4.1:** schemi costruttivi dei piezometri di monitoraggio della 3<sup>a</sup> barriera interna

#### 4.2 Estensione delle opere di protezione esterna.

Il sistema di protezione, contenimento e bonifica esterno alla raffineria è costituito da tre opere integrate:

- 1) trincea drenante;
- 2) barriera di pozzi a deflusso naturale;
- 3) campo sperimentale ORC®.

La trincea drenante opera in modo corretto dalla fine degli anni '80 e non è oggetto degli interventi integrativi.

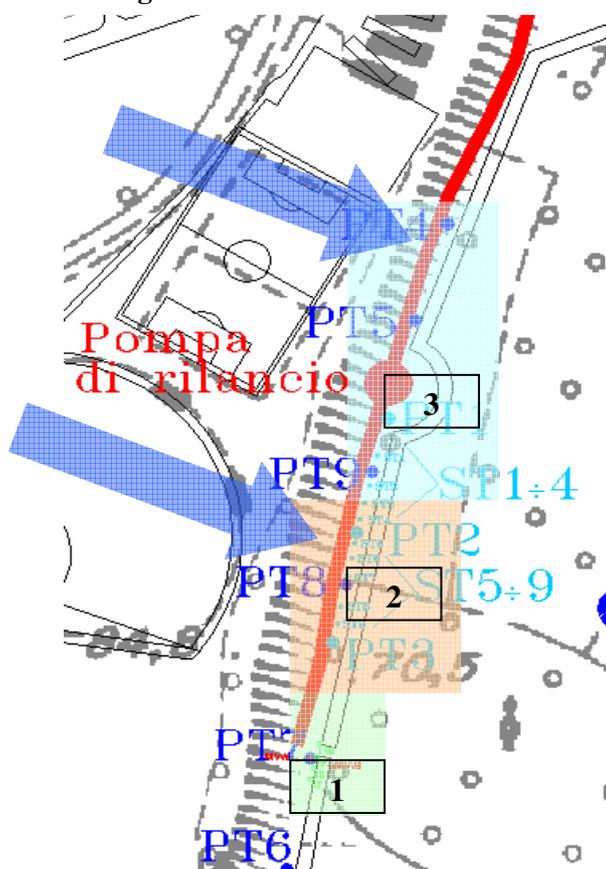
La barriera di pozzi a deflusso naturale è stata realizzata nel marzo '04 in base ai dati rilevati durante le attività di progettazione condotte nel settembre '03.

L'area d'installazione è caratterizzata da un'accentuata variabilità delle dinamiche di deflusso, condizionate da cicli naturali ed antropici (irrigazione) d'innalzamento ed abbassamento della falda. La risposta del nucleo del plume di MtBE a tali dinamiche ha prodotto, rispetto ai dati di partenza, una situazione lievemente diversa, con spostamento del centro di attenzione di circa 50 m rispetto la posizione originaria.

Il campo sperimentale ORC® ha generato risultati tali da suggerire l'opportunità di estendere le attività di sperimentazione finora condotte.

L'estensione potrà avvenire alimentando con nuovo prodotto i piezometri già presenti ed ampliando, con l'aggiunta di nuovi punti, l'attuale fronte d'immissione.

**Figura 4.2–** Aree d'intervento esterne



In linea con l'orientamento generale delle attività di bonifica della raffineria, tendente ad ottimizzare il recupero ed il contenimento dei prodotti inquinanti senza gravare in modo ingiustificato sulla risorsa naturale, aree diverse del fronte del plume verranno trattate con diverse metodologie.

In relazione alle concentrazioni medie riscontrate nel periodo da marzo '04 a settembre/ottobre '04 si possono individuare tre diverse aree (Figura 4.2) connesse a tre diverse metodologie d'intervento.

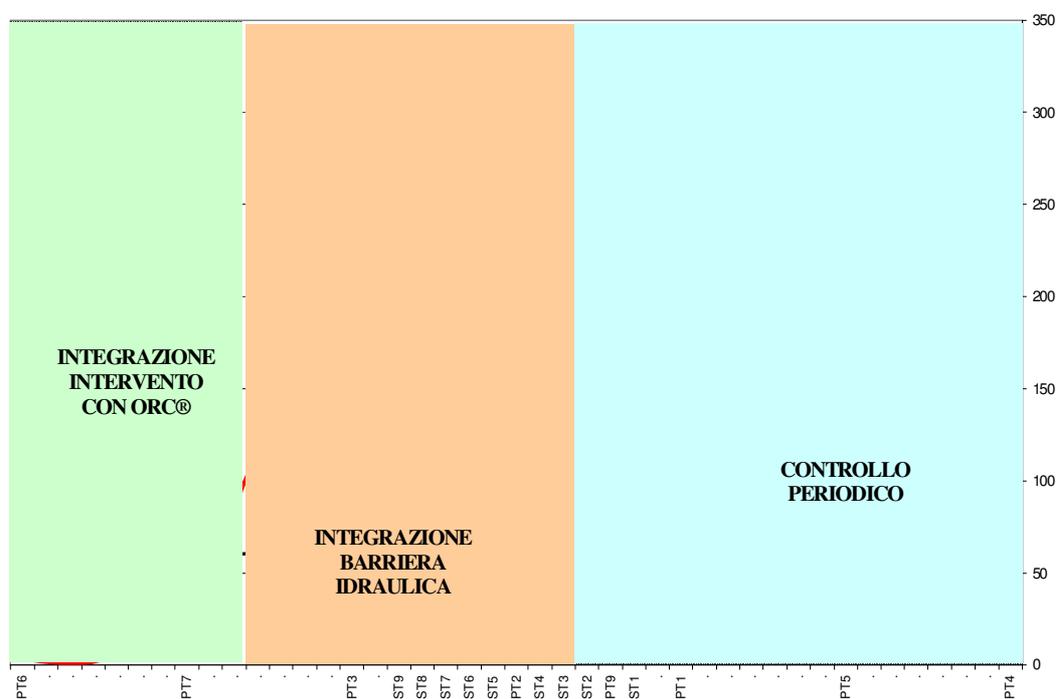
**Area 1, da PT6 ad un punto mediano tra PT3 e PT7:** caratterizzata da basse concentrazioni di MtBE. A valle dell'allineamento indicato sono in opera i punti di immissione ORC® denominati I7-I10. Su tale area è proposto il potenziamento della barriera di biorisanamento;

**Area 2, dal punto mediano tra PT3 e PT7 al piezometro ST3:** caratterizzata da concentrazioni di MtBE variabili da 100 a 300 µg/l, oggetto della proposta d'integrazione e ottimizzazione della barriera di pozzi a deflusso naturale;

**Area 3, da ST3 a PT4:** caratterizzata da bassi e nulli valori di concentrazione di MtBE. Per quest'area è prevista la prosecuzione dell'attività di raccolta d'informazioni sulle dinamiche locali della falda e del contaminante al fine di

valutare la convenienza di eventuali interventi di biocontenimento.

**Figura 4.3 - Aree di intervento e distribuzione di MtBE 2003**



La Figura 4.3 indica le aree d'intervento previste in Fase 2, correlata ai valori di concentrazione di MtBE. Trattandosi di un sistema complessivo, gli interventi proposti verranno presentati seguendo una gradazione di effetti sui quantitativi rimossi: saranno osservati in primo luogo gli interventi d'integrazione ed ottimizzazione della barriera, poi quelli di estensione del campo prova ORC® ed infine i controlli sull'area PT1-PT5.

La barriera a deflusso naturale è costituita da 12 pozzi di emungimento. I pozzi PT1, ST1, ST2 ed ST3 presentano concentrazioni medie in MtBE inferiori o molto vicine a 100 µg/l; la quantità di MtBE asportato complessivamente da questi quattro pozzi (meno di 1 Kg) non rappresenta che il 5% dell'asportato totale a fronte di un volume emunto (11.800 m<sup>3</sup> circa) che rappresenta circa il 14% dell'acqua estratta. Si ritiene pertanto che i pozzi PT1, ST1, ST2 ed ST3 possano essere disattivati.

Possono essere eseguite azioni correttive ed integrative che, verificata l'efficacia del sistema di contenimento, permettono di migliorarne l'efficienza nel recupero.

Per aumentare l'efficienza della barriera è prevista la costruzione di n° 4 nuovi piezometri di cui uno tra ST9 ed PT3 e 3 a distanze di 6, 12, 18 m da PT3 (fig. 4.4).

La progettazione delle attività integrative sul sistema di emungimento è stata eseguita tenendo conto dei seguenti vincoli:

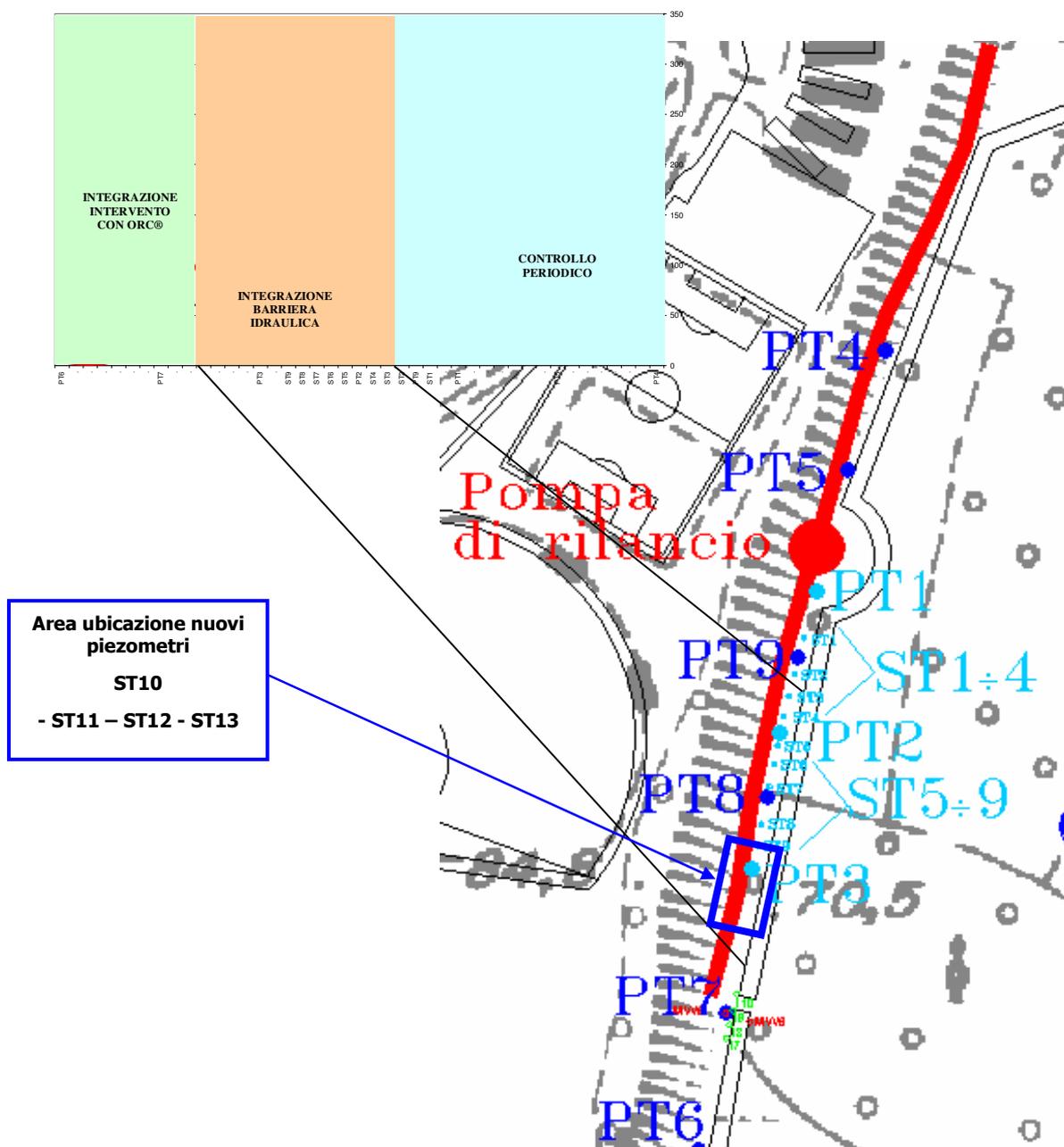
- 1) ubicazione del maggior numero di pozzi sul nucleo del plume;
- 2) minor numero di piezometri, collegabili se necessario al sistema di emungimento, in aree di minor concentrazione. Questa condizione è legata alla necessità di massimizzare l'estrazione d'inquinante minimizzando il carico d'acqua emunta;
- 3) interasse tra i pozzi, ove possibile, compatibile con l'eventuale futuro utilizzo delle opere come punti d'immissione di ORC® in sock. Ogni punto del sistema deve essere assoggettabile a diverse

modalità di gestione siano esse basate sull'emungimento di acque contaminate o sull'immissione di composto ossigenico;

- 4) pozzi interessanti tutto lo spessore dell'acquifero, senza interessare l'acquicludo sottostante per evitare commistioni di acque appartenenti a falde diverse;
- 5) abbassamenti indotti in ogni singolo pozzo tali da non turbare l'equilibrio idrodinamico tra barriera e trincea;
- 6) raggio d'influenza delle captazioni nel loro complesso non superiori ai 5 – 10 m in modo tale da non interferire con l'attività delle barriere ossigeniche ORC ®.

I pozzi saranno fenestrati fino a fondo foro in modo tale da captare l'intera colonna d'acqua a partire dal letto dell'orizzonte impermeabile superficiale, ubicabile a circa 4-5 m da p.c.

**Figura 4.4 – Integrazione pozzi a deflusso naturale**



Diametro nominale, materiali costruttivi, tipologia e dimensioni delle fenestrate saranno identici a quelli utilizzati per la barriera in funzione.

Nell'ambito della progettazione delle opere di contenimento si è tenuto conto, nel computo delle portate di progetto, della variabilità delle condizioni idrogeologiche indotte dalle variazioni stagionali delle quote della falda.

A fronte di variazioni stagionali della quota naturale di falda dell'ordine di 1 m gli abbassamenti da emungimento non superano in genere i 10-20 cm.

Tale condizione porta ad una costante regolazione ed allineamento delle singole portate di emungimento, in modo da rispettare i seguenti vincoli:

- massimo pompaggio in corrispondenza del nucleo del plume anche per determinare il punto di massimo drenaggio in corrispondenza della zona maggiormente contaminata
- mantenimento del livello dinamico della barriera sempre al di sopra del livello dinamico della trincea;

Pur non essendo agevole prevedere con precisione i risultati indotti dall'applicazione di portate diversificate in diverse sezioni della barriera, è stato individuato l'assetto idraulico descritto (Tabella 4.2), proponibile come ipotesi di lavoro iniziale:

BILANCI DI MASSA BARRIERA SOTTOCOSTA							
PROGETTO D'INTEGRAZIONE (PI)							
PIEZOMETRO	PORTATA MEDIA (l/s)		CONCENTRAZIONE MEDIA MtBE (µg/l)	MtBE ASPORTATO(**)			
	Attuale	Futura		Attuale kg	Attuale %	Futuro kg	Futuro %
PT7	0,0	0,0	100 - 150	0,0	0,0	0,0	0,0
ST13*		0,3	100 - 150			1,17	2,99
ST12*		0,4	150 - 200			2,18	5,59
ST11*		0,5	200 - 250			3,50	8,98
PT3	0,8	0,6	233	5,75	20,0	4,35	11,16
ST10*		0,7	250 - 300			5,98	15,36
ST9	0,5	0,7	285	4,42	15,4	6,21	15,92
ST8	0,4	0,6	251	3,55	12,3	4,68	12,02
ST7	0,6	0,5	194	3,99	13,9	3,02	7,74
ST6	0,6	0,4	189	3,82	13,3	2,35	6,03
ST5	0,3	0,4	177	1,58	5,5	2,19	5,65
PT2	0,4	0,4	185	2,49	8,7	2,30	5,91
ST4	0,3	0,2	166	1,72	6,0	1,03	2,65
ST3	0,2	0,0	127	0,97	3,4	0,0	0,0
ST2	0,1	0,0	92	0,30	1,0	0,0	0,0
ST1	0,2	0,0	30	0,14	0,5	0,0	0,0
PT1	0,1	0,0	9	0,04	0,1	0,0	0,0
TOTALE	4,7	5,7	-	29	100	39	100

(\*) Pozzi di progetto integrativo  
(\*\*) Valori riportati ad un anno di esercizio

**Tabella 4.2:** assetto iniziale della barriera di protezione idraulica esterna

Lo schema dimostra che la realizzazione di 4 nuovi piezometri permette di ottimizzare il recupero di MtBE aumentandolo del 34% (da 29 kg/anno a 39 kg/anno) a fronte di un incremento del pompaggio . da 4,7 l/s a 5,7 l/s.

Attualmente il sistema di bonifica della raffineria nel suo complesso, includendo quindi in esso tutte le opere di contenimento, non supera la portata di emungimento complessiva di 87 l/s.

I nuovi pozzi d'estrazione nella barriera esterna, gestiti con modalità simili a quelle finora usate, non creeranno alcuna reale perturbazione e nessun sensibile depauperamento della falda.

La zona di applicazione della sperimentazione ORC® è stata selezionata in base alle concentrazioni di MtBE individuate durante la caratterizzazione di dettaglio che ha supportato la redazione del Progetto Definitivo di Bonifica Fase 1.

In base ai risultati dei controlli funzionali condotti sulla barriera di emungimento ed in base ai risultati della sperimentazione condotta nel campo prova B, non si evidenziano sostanziali differenze rispetto il modello concettuale di partenza.

Rispetto i dati di progetto (settembre '03) si osservano valori effettivi della concentrazione di MtBE tra PT7 e PT6 minori di quelli ipotizzati.

L'estrazione di acqua in quest'area è sconsigliata in quanto produce un ingiustificato eccesso di emungimento rispetto i quantitativi di MtBE recuperabili.

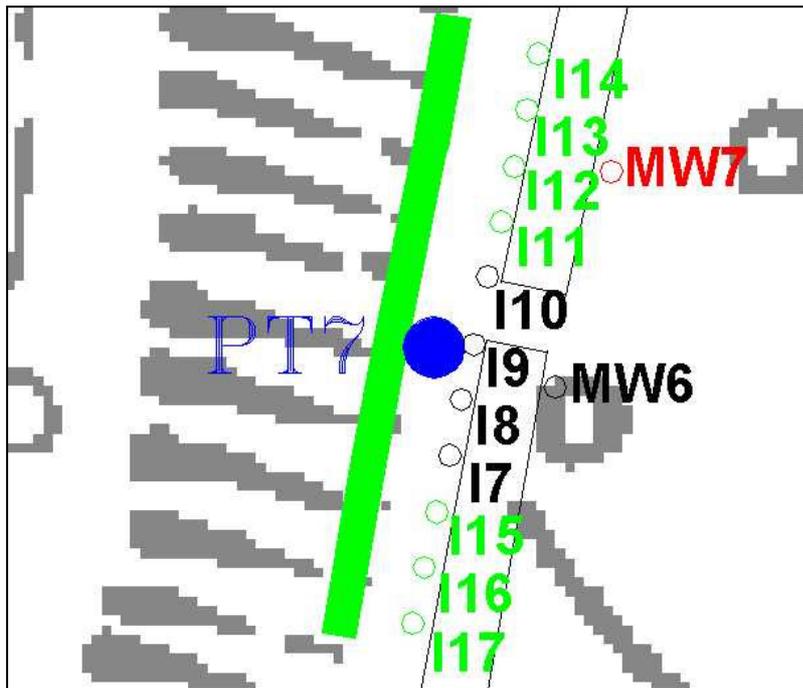
Per concentrazioni di questa entità i modelli di calcolo adottati indicano che la diffusione e l'attenuazione chimico-fisica sono già elementi sufficienti a garantire, nel tempo e sulla distanza, la scomparsa di MtBE prima che questo possa pervenire ad uno dei qualsiasi bersagli sensibili ubicabili nell'ambito territoriale di competenza.

I risultati ottenuti con la prima fase di sperimentazione rivelano comunque la fattibilità e la convenienza tecnica ad ampliare l'attuale campo prova con l'aggiunta di nuovi punti d'immissione realizzando una "saldatura" tra il sistema di contenimento a deflusso naturale e la barriera ossigenica.

Le attività previste per l'estensione della barriera ossigenica sono costituite dalla:

- 1) Sostituzione, con elementi nuovi, dei sock di ORC® alloggiati nei piezometri d'immissione del campo prova B. La sostanza ha esaurito da tempo la propria capacità di rilascio;
- 2) Costruzione ed allestimento di n° 7 nuovi punti d'immissione con interasse di 4-5 m;
- 3) Realizzazione di un nuovo piezometro di controllo posto a valle della barriera;
- 4) Impostazione di un piano di monitoraggio chimico, chimico-fisico e microbiologico di dettaglio.

L'intercambiabilità tra elementi della barriera ossigenica e della barriera di emungimento permetterà di sostituire, via via che i valori di MtBE in quest'ultima diminuiranno nel tempo, pozzi di estrazione con punti d'immissione ORC® fruendo delle stesse opere mediante limitate operazioni di adeguamento.



**Figura 4.5** - Ubicazioni nuovi punti d'immissione della barriera ossigenica (piezometri da I11 ad I17).

Nella sezione di barriera delimitata dai piezometri da PT4 a ST2 (Area 3 della Figura 4.2) i dati di progetto avevano prefigurato la presenza di una contaminazione di MtBE caratterizzata da valori di concentrazione regolarmente crescenti da PT4 a PT1.

A barriera ultimata, aumentando il numero dei punti di misura, si è evidenziata una situazione più articolata ma, nel complesso, anche più favorevole.

In corrispondenza del PT5 è stato rilevato un valore leggermente più elevato di MtBE, mentre in PT1 la sostanza ha una netta caduta. Questa situazione evolve in PT5 da marzo con concentrazioni di poco superiori a 100 mg/l a settembre '04 con concentrazioni inferiori a 50 mg/l. In queste condizioni non è giustificabile al momento né l'applicazione di sistemi di emungimento né l'applicazione di sistemi ORC®.

Non essendo ancora disponibili informazioni sufficienti a fornire previsioni su di una futura evoluzione del fenomeno, si proseguirà il controllo per ulteriori 12 mesi al fine di confermare l'eventuale presenza di un evento episodico o di una ciclica oscillazione dei valori.

Ciò consentirà di verificare il trend di contaminazione, in aumento o diminuzione.

### ***4.3 Realizzazione del sistema di monitoraggio della falda freatica esterna***

La barriera esterna è costituita da due rami integrati di cui uno costituito dai pozzi di emungimento a deflusso naturale ed uno costituito dalla barriera ossigenica. Il sistema di monitoraggio dovrà rispondere all'esigenza di controllare nel tempo l'evoluzione qualitativa del plume di MtBE rilevato nella sezione dal PT6 a PT4.

Parte di questo sistema di controllo è costituito da piezometri già approntati nell'ambito di precedenti fasi del procedimento di bonifica.

I pozzi già esistenti sono:

- a) PT4, PT5, PT1, ST1, ST2, PT9, PT7, PT7 realizzati nell'ambito della costruzione della barriera di pozzi a deflusso naturale;

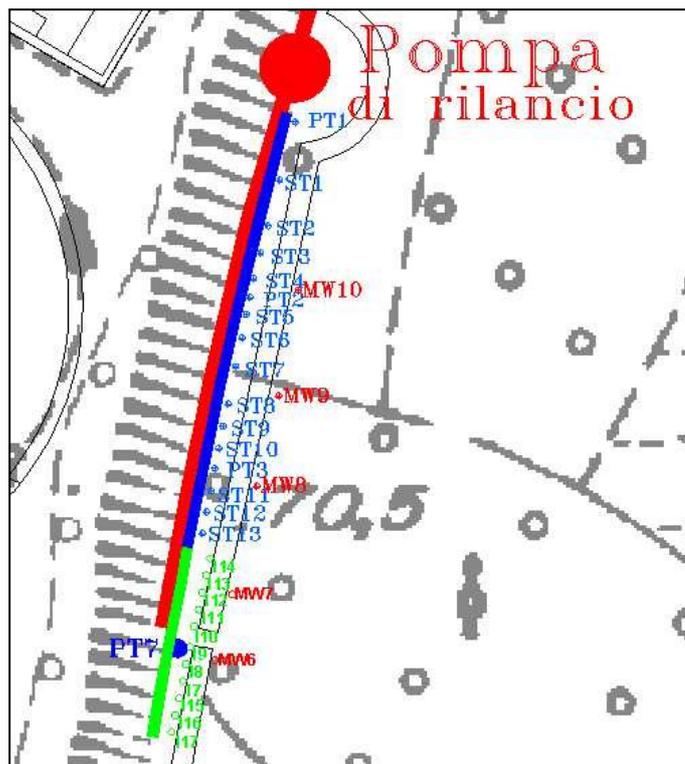
b) MW6 realizzato nell'ambito della sperimentazione della barriera ossigenica.

La sezione di barriera idraulica che attualmente non è sottoposta al monitoraggio è limitata alla tratta da PT3 ad ST3. Per questa sezione saranno realizzati n° 3 piezometri ubicati a distanze regolari (piezometri da MW8 a MW10 nella Figura 4.6).

Il prolungamento della barriera ossigenica apporterà n° 7 nuovi piezometri d'immissione, di cui n° 3 (I15, I16, I17) da ubicarsi tra I7 e PT6 e n° 4 (I11, I12, , I13, I14) tra I10 e PT3.

A valle della barriera ossigenica verrà installato n° 1 piezometro di monitoraggio ubicato all'incirca tra PT3 e PT7 (piezometro MW7 nella Figura 4.6).

I nuovi piezometri saranno perforati fino al tetto dell'orizzonte impermeabile e fenestrati da 4 m p.c. fino a fondo foro.



**Figura 4.6** – Ubicazioni punti di monitoraggio delle opere di protezione esterne (piezometri da MW6 ad MW10)

## 5. PIANO DI MONITORAGGIO

### 5.1 Controllo dell'acquifero sottostante e circostante la Raffineria

Il piano di monitoraggio dell'acquifero sottostante e circostante la Raffineria, definito in accordo con gli Enti Pubblici di Controllo, prevede controlli trimestrali su n°122 punti, cui aggiungeranno i pozzi/piezometri facenti parte della barriera idraulica di protezione esterna:

- realizzati nell'ambito del Progetto di Bonifica Fase 1: n°12 pozzi e n°6 piezometri;
- proposti nella Fase 2: n°4 pozzi.

Il totale dei punti di controllo dell'acquifero sottostante e circostante la Raffineria ammonterà quindi a n°144 punti; su di essi si ritiene opportuno proseguire per tutto il 2005 i controlli indicati nella tabella di sintesi (Tabella 5.1) già allegata al documento di valutazione preliminare della Fase 2 del progetto di bonifica.

Eni S.p.A. Divisione Refining & Marketing Raffineria di Sannazzaro		Progetto Definitivo di Bonifica FASE 2 (Dicembre 2004)												
Calendario delle attività (programma di massima)														
Attività	2004	2005												
		Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Monitoraggio acquifero	Piezometri falda freatica interna (Pz1-Pz34, Ps1-Ps6)	40	X		**			X			X			X
	Pozzi barriere (S4-S15, S18, S21-S43)	36	X		X			**			X			X
	Piezometri di controllo funzionalità barriera interna (da realizzare)	7			X	X	X	**	X	X	X	X	X	X
	Trincea di protezione esterna (Pompa di rilancio)	1	X		X			X			**			X
	Piezometri di controllo della discarica (Est, Sud, Ovest, PD1-PD6, D1-D4)	13	X		X			X			X			**
	Pozzi approvvigionamento idrico (pozzì B e C)	2	X		X			X			X			**
	Piezometri falda freatica esterna (PA1-PA6, PA8, PA9, PA18-PA21, PA23-PA26, PA29-31)	19	X		X			X			**			X
	Piezometri falda artesiani (PA10-PA17, PA22, PA27, PA28)	11	X		X			X			X			**
	Barriera di protezione esterna (piezometri PT4, PT9; pozzì PT1-3 e ST1-13)	22	X		X			X			**			X
	Piezometri di controllo funzionalità barriere esterne (da realizzare)	5			X	X	X	X	X	X	**	X	X	X

**LEGENDA:**  
 X Livelli piezometrici e Monitoraggio: Oli minerali (come n-esano), BTEX e MTBE  
 \*\* Livelli piezometrici e Monitoraggio completo: Oli minerali (come n-esano), BTEX, MTBE, Piombo, Cadmio, Fenoli, Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Tabella 5.1 – Sintesi del programma dei controlli analitici

### 5.2 Controlli di funzionalità sulle opere di protezione e bonifica

In aggiunta ai suddetti monitoraggi trimestrali dell'acquifero sottostante e circostante la Raffineria, sono previsti controlli delle opere di potenziamento della terza barriera idraulica interna e della barriera idraulica esterna a deflusso naturale

Il piano di monitoraggio di tali piezometri per l'anno 2005 avrà cadenza mensile e riguarderà esclusivamente i seguenti analiti:

- Oli minerali (espressi come n-esano);
- BTEX;
- MtBE.

La barriera esterna di biorisanamento proposta consta di n°11 piezometri di immissione di ORC® e n°2 piezometri per il controllo della qualità delle acque a valle.

A completamento della realizzazione delle opere che costituiscono il campo di biorisanamento si propone sui due piezometri di valle e per tutto il 2005 il seguente controllo:

- parametri chimico-fisici con frequenza mensile:
  - pH;
  - Conducibilità;
  - Temperatura;
  - Ossigeno disciolto;
  - Potenziale Redox;
  - Nitrati;
  - Solfati;
  - Ferro;
  - Manganese.
  
- parametri analitici con frequenza mensile:
  - Oli minerali (espressi come n-esano);
  - BTEX;
  - MtBE.
  
- analisi microbiologiche (eterotrofi totali) con frequenza mensile.

## **6. INQUADRAMENTO GENERALE DELLE ATTIVITÀ, OBIETTIVI DI BONIFICA E STIMA DEI TEMPI.**

Le attività di bonifica della falda interessano sia l'acquifero direttamente sotteso all'insediamento produttivo sia l'acquifero che fluisce a valle dello stesso.

Nell'ambito di queste attività sono stati impostati interventi coordinati che, sfruttando al meglio le caratteristiche intrinseche del sito e dei contaminanti riscontrati, hanno avuto ed hanno lo scopo contenere le acque inquinate, abbattere le concentrazioni all'esterno ed all'interno dell'area di stabilimento e, sostanzialmente, procedere alla bonifica dell'area senza produrre il depauperamento della risorsa idrica.

Le linee fondamentali delle azioni di bonifica sono:

- Situazione morfologica, geologica ed idrogeologica dell'area favorevole all'applicazione di sistemi integrati d'intervento. Questi lineamenti hanno permesso d'installare e gestire:
  - barriere idrauliche interne allo stabilimento la cui finalità è captare la parte superficiale (primi 7-8 m) della falda freatica;
  - una trincea drenante (zona più superficiale della falda esterna);
  - una barriera di pozzi a deflusso naturale (zona più profonda della falda esterna) in modo da interessare diverse porzioni della falda con diverse tipologie di sbarramento.
- Massima attenzione al depauperamento delle risorse idriche con riutilizzo delle acque captate nelle opere di bonifica per ridurre la richiesta di acque più pregiate approvvigionate da pozzi industriali o prese d'acqua superficiale. Il riutilizzo avviene mediante sistemi di trattamento aventi elevato grado di efficienza e calibrati per produrre in uscita flussi d'acqua compatibili con le esigenze industriali.

Il progetto di bonifica si sviluppa in due fasi successive.

La prima fase ha comportato la costruzione di un ramo aggiuntivo della terza barriera interna costituito da 4 pozzi di emungimento, la realizzazione, all'esterno, di una barriera di pozzi a deflusso naturale posta immediatamente a valle della trincea e l'installazione di due campi sperimentali di ossigenazione con ORC® allestiti allo scopo di verificare la fattibilità di opere di contenimento basate sulla biodegradazione diretta dei prodotti in falda.

La seconda fase, l'attuale, prevede modifiche e miglioramenti alle opere progettate ed installate in Fase 1 e la progettazione e realizzazione, laddove sono stati individuati i presupposti, di ulteriori estensioni delle barriere di biodegradazione sperimentali.

Fondamentali per lo sviluppo concettuale della Fase 2 del Progetto di Bonifica sono stati i monitoraggi ed i controlli di funzionalità previsti e svolti a valle della realizzazione della Fase 1.

A questi dati si accostano i dati storici raccolti dalla raffineria durante il procedimento di caratterizzazione e bonifica che hanno consentito di tracciare un modello più affinato delle dinamiche idrogeologiche dell'area.

## **6.1 Obiettivi di bonifica**

In base alla conformazione morfologica ed idrogeologica del territorio ed in relazione all'ubicazione degli impianti di contenimento, l'area soggetta a bonifica è stata suddivisa in due subaree, un'area interna, posizionata a monte della terza barriera di protezione e comprensiva della raffineria in senso stretto (e dei servizi ad essa connessi), un'area esterna, ubicata a partire dal piede della scarpata morfologica a valle del terrazzo sul quale è posizionato lo stabilimento.

Tra l'area interna e l'area esterna è collocata un'area intermedia ubicata a valle della terza barriera di protezione ed occupata da utility marginali della raffineria, parcheggi e vie di accesso alle pertinenze del sito. L'area intermedia, essendo ubicata a valle della 3<sup>a</sup> barriera di contenimento ed a monte della trincea drenante, è soggetta all'influenza congiunta di due opere.

### Area interna

In base ai risultati analitici delle campagne sinora condotte è possibile suddividere l'area interna in tre zone principali:

- zona non interessata da contaminazione: presenta acque conformi ai limiti previsti dal DM 471/99;
- zona interessata da valori di contaminazione medi e bassi: presenta acque con valori di concentrazione di oli minerali, benzene ed MtBE di poco al di sopra dei limiti previsti dal DM 471/99 oppure oscillanti al di sopra ed al di sotto di tali limiti a seconda delle condizioni stagionali dell'acquifero superficiale.
- zona interessata da più elevati valori di contaminazione: presenta acque nelle quali si rilevano generalmente le maggiori concentrazioni di oli minerali, benzene ed MtBE.

La distribuzione temporale dei valori di concentrazione registrata nei piezometri è un effetto della variabilità ciclica dei fenomeni di accumulo e diluizione naturali che agiscono sulle fasi disciolte residuali presenti in falda. Non sono evidenti particolari trend di recrudescenza dei fenomeni d'inquinamento.

La zona di maggiore contaminazione è confinata da due barriere di pozzi (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> barriera interna) ubicate in modo tale da intercettare i flussi inquinati immediatamente a ridosso delle passate sorgenti dell'inquinamento. L'area è soggetta da tempo ad azioni di carattere preventivo costituite sostanzialmente da controlli ed interventi sia sui serbatoi sia sui sistemi fognari.

Il controllo sui sistemi permetterà, sul lungo periodo, grazie all'assenza di percolazioni nel sottosuolo ed all'effetto di flussaggio naturale dell'acqua di falda, una diminuzione della contaminazione ed un ripristino delle condizioni favorevoli allo sviluppo di fenomeni di biodegradazione naturale.

Sia l'area a maggiore contaminazione sia l'area a contaminazione media e bassa si ritrovano a monte della 3<sup>a</sup> barriera di protezione interna, oggetto delle attività di potenziamento previste nella fase 1 del progetto di bonifica e sono sbarrate dall'azione della stessa.

La barriera è posizionata nell'area meridionale di Raffineria e svolge un'azione di contenimento lungo un fronte con decorso SW-NE, perpendicolare alla direzione di deflusso della falda superficiale.

La barriera è stata realizzata per chiudere un fronte di fuga di acque interessate soprattutto dalla presenza di prodotti disciolti e costituiti essenzialmente da MtBE, oli minerali ed aromatici. La barriera agisce anche su aree interessate da contaminazione media e bassa il cui flusso consente l'ingresso di acque non contaminate da monte ed il ricambio delle acque inquinate.

Le evidenze ottenute durante le attività di monitoraggio e di controllo di funzionalità delle opere realizzate sono le seguenti:

- a) la falda freatica interna è soggetta a tutt'oggi solo alla presenza di inquinanti residui, non sono presenti nuovi focolai attivi d'inquinamento e non è necessario intervenire a monte

della terza barriera interna: sono già in atto attività di prevenzione e di rimozione degli inquinanti.

- b) il potenziamento delle opere di sbarramento interne allo stabilimento, realizzate nell'ambito della Fase 1 del Progetto Definitivo di Bonifica, ha prodotto un immediato abbattimento delle concentrazioni d'inquinante nelle acque immediatamente a valle della terza barriera interna.

In base ai risultati fino ad ora raggiunti è prevedibile che nel tempo l'effetto delle barriere interne, ed in particolare l'effetto della terza barriera, sarà di una graduale diminuzione dei valori di concentrazione dei contaminanti residui all'interno della raffineria ed a valle della stessa.

E' anche possibile confermare, alla luce dei valori registrati nei piezometri della serie PB e nel piezometro MW1, che i valori traguardabili come obiettivo di bonifica all'interno dell'area di raffineria, e tra questa e la trincea di protezione, sono conformi, per i contaminanti previsti dal decreto stesso, ai valori tabellari del DM 471/99; per quanto riguarda il MtBE, composto non contemplato nella citata tabella, è confermato il valore obiettivo di 10 µg/l fissato in fase di Progetto Preliminare di Bonifica.

Al momento, e per i dati sinora raccolti, non si rileva la necessità di ulteriori opere di sbarramento e bonifica all'interno dello stabilimento.

#### Area esterna.

Nell'ambito dell'area esterna sono in funzione tre sistemi integrati di contenimento e bonifica: la trincea drenante, la barriera di pozzi a deflusso naturale, il campo sperimentale di barriera ossigenica.

La trincea esterna, per la quale non si rende necessaria alcuna variazione strutturale o gestionale, sta attualmente rimuovendo efficacemente oli minerali, benzene e MtBE e presenta, da almeno due anni, concentrazioni medie in MtBE che seguono un trend nettamente decrescente. Tale situazione è generata dall'effetto del ramo di barriera presente precedentemente alle integrazioni della Fase 1 del progetto di bonifica. La diminuzione delle concentrazioni di MtBE nella trincea esterna è collegabile all'azione della barriera idraulica interna; la chiusura definitiva del fronte operata dall'estensione della terza barriera produrrà anche sulla trincea un abbassamento dei valori di contaminazione e la possibilità di traguardare anche su quest'opera i valori tabellari obiettivo della bonifica ed il valore di 10 µg/l previsto per il MtBE.

La barriera di pozzi a deflusso naturale ubicata a valle della trincea sta operando unicamente sul plume residuo di MtBE in quanto sia il benzene sia gli oli minerali vengono trattenuti a monte dall'azione della trincea. Nella fase 2 del progetto di bonifica sono previsti per quest'opera un affinamento dell'operatività e della forma della barriera apportabili con la realizzazione di 4 nuovi pozzi e la disattivazione di un identico numero di pozzi, posti marginalmente al sistema e che non contribuiscono in modo sostanziale al recupero del contaminante.

Il nuovo assetto porterà la barriera ad emungere quantità di acqua leggermente superiori a quella attuale ma permetterà, nel contempo, di aumentare il recupero di MtBE del 30% annuo.

Il progettato aumento del pompaggio, rapportato alla portata di tutto il sistema di bonifica nel suo complesso, non è di entità tale da richiedere un aggiornamento delle valutazioni, già condotte nel 2003, sull'impatto delle opere di contenimento (<sup>1</sup>) sull'ambiente circostante.

---

<sup>1</sup> Documento della Raffineria ENI R&M di Sannazzaro "Progetto Definitivo di Bonifica Fase 1 - Potenziamento della barriera idraulica interna e installazione di una barriera di protezione esterna con pozzi a deflusso naturale - Elaborato di verifica (art. 10 del dpr 12/04/1996)" del novembre 2003

Il campo sperimentale di bioremediation esterno (campo prova B) ha mostrato, sia in laboratorio sia in campo, una certa efficienza nell'abbattere MtBE e, pertanto, sarà estesa l'area interessata dalle attività di biorisanamento.

Il fronte coperto dai sistemi attivi (barriera di pozzi) e passivi (immissione ORC®) di contenimento è attualmente la fonte di alimentazione delle aree poste a valle e monitorate dai piezometri PA29 e PA31. E' prevedibile che tali aree possano pervenire alla conformità con i limiti di bonifica fissati nel progetto preliminare di bonifica per il MtBE, unica sostanza presente a valle della trincea, non regolamentata dalla vigente legislazione, ma per la quale è comunque prevista un'azione di contenimento ed eliminazione dalla falda.

L'azione della terza barriera interna interromperà i flussi di contaminante che in questo momento vengono intercettati dalla trincea esterna e dalla barriera di contenimento a deflusso naturale così come l'azione di queste opere è destinata ad interrompere i flussi in uscita verso le aree a valle dell'area soggetta a bonifica.

L'azione combinata delle barriere interne, della trincea esterna, dei pozzi a deflusso naturale e della barriera ossigenica ORC® agisce nel senso della sottrazione a stadi di contaminanti alla falda via via che questa fluisce nella porzione di acquifero sottostante lo stabilimento e le aree immediatamente circostanti.

Dal momento che perverranno da monte flussi interessati da valori sempre minori di contaminazione, la condizione di bonifica a stadi impostata sul percorso della falda porterà a far registrare nei piezometri di monitoraggio valori sempre minori delle concentrazioni di contaminante fino al raggiungimento dei limiti previsti dal progetto di bonifica.

Data questa situazione sono pertanto attualmente confermabili per tutte le aree gli obiettivi di bonifica già previsti in fase di progetto preliminare. I tempi previsti per il raggiungimento di tali sono differenziati a seconda dell'area considerata, delle caratteristiche e concentrazioni dei contaminanti presenti e della metodologia di bonifica adottata.

## **6.2 Stima dei tempi**

I sistemi di bonifica in funzione e quelli in progetto sono basati su metodologie di pump & treat e di contenimento biologico della contaminazione.

L'applicazione di questo tipo di sistemi comporta:

- 1) il contenimento degli inquinanti che vengono bloccati ed eliminati o allontanati dalla falda;
- 2) l'estrazione, nel caso del pump & treat, di una certa quantità d'acqua nella quale sono disciolti i contaminanti.

La scelta operativa della Raffineria di Sannazzaro è orientata ad eliminare la maggior quantità di contaminanti possibile minimizzando il depauperamento delle risorse idriche.

Questa scelta operativa si concretizza sia ubicando il maggior numero di pozzi di estrazione nelle aree di maggior contaminazione sia minimizzando le portate di emungimento.

I tempi di bonifica dell'acquifero pertanto sono principalmente influenzati dalle velocità proprie naturali di deflusso della falda e, secondariamente, dalla mobilità dei contaminanti.

Oltre all'effetto del moto della falda è anche da considerarsi l'influenza sui prodotti disciolti dei processi di eluzione e biodegradazione operati dalle acque pulite ed ossigenate che provenendo da monte accelerano l'abbattimento dei contaminanti, contribuendo all'azione di bonifica.

La valutazione dei meccanismi di trasporto ed abbattimento ha permesso di determinare tempi diversificati di bonifica per le diverse subaree del sito.

- a) Area interna: sono presenti oli minerali, aromatici ed MtBE. L'area interna a monte della terza barriera di protezione è caratterizzata dalla presenza di due zone con concentrazione diversificata di contaminanti. In queste zone il benzene è presente con valori che vanno da pochi µg/l a qualche mg/l. Uguale distribuzione di valori è stata rilevata per oli minerali ed MtBE. All'altezza della terza barriera di protezione si osserva il MtBE presenta valori medi di concentrazione in diminuzione. Non è possibile in questo momento prevedere una tempistica certa per raggiungere, a monte della terza barriera interna, i valori di concentrazione obiettivo di bonifica. La natura delle metodologie d'intervento adottate richiede sicuramente tempi non immediati per il raggiungimento di tali limiti pertanto si ritiene corretto, nell'attuale situazione, equiparare le attività di bonifica in atto a monte della terza barriera di protezione interna ad attività di "bonifica con misure di sicurezza" salvo verificare nel futuro la possibilità di definire tempi certi per la conclusione e chiusura del procedimento.
- b) Area intermedia, a valle della terza barriera interna ed a monte della trincea drenante. A valle della barriera di protezione si verranno a definire due effetti concomitanti: l'eliminazione di nuovi ingressi di contaminanti ed il progradare del plume spezzato che continuerà il suo viaggio verso la trincea esterna. In queste condizioni sarà possibile assistere nel breve periodo all'arrivo di flussi sempre meno inquinati e nel giro dei prossimi 36-40 mesi al sostanziale abbattimento dei contaminanti. Queste tempistiche sono stimate tenendo in considerazione una falda piana con gradiente costante di 0,005.
- c) Area esterna: in questa area è presente solo MtBE. Posto un valore medio di conducibilità idraulica di  $10^{-4}$  m/s ed un valore medio di gradiente e porosità efficace rispettivamente di 0,005 e 0,2, i primi flussi d'acqua non contaminata che dalla barriera esterna perverranno al piezometro PA29, ubicato 300 m a valle, saranno rilevabili tra circa 36 mesi.

In questo ambito previsionale è necessario verificare:

- 1) la possibilità di integrare e variare nel tempo la configurazione delle opere di contenimento idraulico e biologico al fine di mantenere sempre un elevato livello di efficienza e di sicurezza del sistema;
- 2) la compatibilità ambientale e sanitaria degli effetti legati al permanere delle sostanze inquinanti in falda durante le attività di bonifica.

Le verifiche di cui al punto (1) sono illustrate al paragrafo 6.3 e costituiscono il corpo delle attività prevedibili per aumentare l'efficienza dei sistemi di contenimento e bonifica.

Al fine della verifica del punto (2), è stata approntata un'analisi di rischio i cui risultati sono riassunti nel capitolo 7.

### **6.3 Adeguamento dei sistemi di bonifica**

Ad oggi l'effetto immediato del completamento della terza barriera interna è costituito dalla sostanziale decontaminazione delle acque di falda immediatamente a valle della stessa.

E' prevedibile che l'interruzione dei flussi d'inquinante possa portare nel medio periodo (circa 36 mesi) anche ad un sostanziale abbattimento delle concentrazioni d'inquinante captate dalla trincea e dai pozzi a deflusso naturale, ubicati all'esterno dello stabilimento.

Questa situazione implica due considerazioni:

- a) attualmente non è necessario procedere all'installazione di altri sistemi di contenimento e bonifica all'interno dello stabilimento in quanto quelli esistenti stanno dimostrando la loro efficienza nel tragguardare i limiti di bonifica proposti per le acque immediatamente a valle della terza barriera interna;

- b) immediatamente a valle della terza barriera di protezione si sta instaurando un fronte di acqua non contaminata che si estenderà nel tempo fino ad interessare le opere di contenimento esterne (trincea e barriere). E' quindi indispensabile verificare la conformità delle acque in uscita dalla terza barriera in quanto tale condizione è la garanzia fondamentale per assicurare a tutto il sistema la corretta evoluzione verso gli obiettivi di bonifica prefissati.

Il sistema di monitoraggio proposto in fase 2 del progetto di bonifica ha lo scopo di verificare la funzionalità di tutto il sistema di bonifica, assolvendo anche alla necessità di evidenziare eventuali variazioni locali di contaminazione di entità ridotta.

Eventuali fenomeni di contaminazione locale di natura residuale rilevati nell'ambito della terza barriera interna potranno essere contenuti ed eliminati mediante la realizzazione di punti di captazione aggiuntivi (1-2 pozzi) posizionati nel corpo della barriera stessa.

Nell'area a valle della trincea esterna le basse concentrazioni di MtBE in gioco consentono un'elevata flessibilità costruttiva delle opere di protezione: in questo caso alla possibilità di variare portate e numero dei punti di prelievo si aggiunge anche la possibilità di convertire i punti di contenimento idraulico in punti di contenimento ossigenico e viceversa.

L'azione della terza barriera si rifletterà nel tempo in una marcata riduzione delle concentrazioni medie in ingresso alla trincea ed in un alleggerimento dei contaminanti che vengono veicolati, al di sotto della stessa, negli orizzonti confinati della falda superficiale.

Sarà pertanto possibile nel futuro discriminare, pozzo per pozzo delle barriere esterne, tra tecniche di pump & treat e tecniche di ossigenazione mediante immissione di ORC®.

Le tempistiche con le quali sarà operata tale scelta sono fortemente condizionate anche dalle modalità biologiche di attivazione del sistema ORC® che risultano molto sensibili alle variazioni chimiche e chimico-fisiche della falda e quindi necessitano di maggiori tempi per il controllo di funzionalità rispetto quello impiegato con le barriere.

Alla presente relazione è allegato il piano di attività (tabella fuori testo 6.1) che copre il periodo compreso tra momento dell'attivazione delle opere di Fase 2 ed i 48 mesi successivi, dedicati al controllo delle dinamiche della bonifica ed all'eventuale ottimizzazione dei sistemi.

Nell'ambito del piano sono identificati dei momenti di verifica: in queste occasioni saranno riesaminati gli effetti delle opere di protezione e bonifica alla luce dei risultati ottenuti e saranno eventualmente adottate azioni correttive.

E' da prevedere uno sviluppo delle attività di ottimizzazione e miglioramento dell'efficienza delle opere che potrà avvenire in due intervalli di tempo, uno collocabile all'incirca nel primo trimestre 2006 e uno previsto nella prima metà del 2007; le verifiche interesseranno, a meno di affinamenti marginali sulle barriere interne, solo aree esterne allo stabilimento

A valle dei controlli di funzionalità sulle opere di contenimento e biorisanamento potranno essere definite le procedure di commutazione dei pozzi d'estrazione in pozzi d'immissione di ORC® (e viceversa) e potranno essere indicati quali pozzi commutare, disattivare o realizzare ex novo, per estendere gli effetti di una o dell'altra metodica di bonifica.

Le azioni correttive potranno essere strutturate sia nel senso di un potenziamento delle barriere sia nel senso della dismissione di alcune attività che risultassero, a seguito di conclamati effetti positivi sulla falda, sovradimensionate o superflue.

In questo contesto sono stati individuati seguenti momenti di verifica:

- Area interna, a monte della terza barriera di protezione: **dopo 48 mesi** di attività della terza barriera verrà verificata l'ampiezza del plume intercettato ed i valori medi di concentrazione che pervengono ai pozzi di contenimento. Se, come prevedibile, i valori di concentrazione dei contaminanti saranno effettivamente diminuiti ed il plume si presenterà con ampiezza ridotta rispetto all'attuale, verrà considerata l'opportunità di disattivare alcuni dei pozzi che

costituiscono la terza barriera che non captano acque inquinate. In questo ambito di verifica ed in base all'analisi dei dati storici raccolti si potranno eventualmente definire più precisi tempi di bonifica per quest'area.

- Area intermedia: quest'area è soggetta a due diverse azioni delle opere di protezione. La terza barriera interna sottrae inquinanti alla falda mentre le opere esterne contengono ed eliminano i flussi residuali che si trovavano già a valle della terza barriera al momento del suo completamento eseguito in Fase 1 del progetto di bonifica. La qualità dell'acqua che perviene alle opere installate in area esterna presenterà un graduale miglioramento legato all'arrivo di flussi non inquinati. La cintura di monitoraggio della terza barriera interna proposta nel presente progetto verrà utilizzata per comprovare l'effettivo completo contenimento dell'area interna. Il contenimento dei flussi inquinati a monte della terza barriera consentirà l'instaurarsi di flussi puliti che potranno raggiungere le opere esterne in **36 mesi**, tempo richiesto alle acque non contaminate per percorrere lo spazio che separa la terza barriera dalla trincea di protezione. Il contenimento della terza barriera migliorerà la qualità dell'acqua che perviene alle barriere esterne implicando, nell'ottica delle ottimizzazioni dei sistemi, il riadeguamento e ridimensionamento delle opere di protezione: per allineare le attività di gestione delle barriere interne ed esterne all'effettivo andamento della bonifica sono previsti momenti di verifica dell'area intermedia, eseguiti sulla trincea e sulle barriere esterne, a **12 e 24 mesi** dalla realizzazione delle opere di Fase 2 e contemporanei ai momenti di verifica programmati per l'area esterna.
- Area esterna: su quest'area agiscono i sistemi di contenimento e di biorisanamento illustrati nei precedenti capitoli. I sistemi di biorisanamento presentano una maggiore inerzia rispetto i sistemi di contenimento idraulici sia nell'attivarsi sia nel disattivarsi, pertanto i controlli di funzionalità su di essi saranno estesi a tutto il periodo d'esercizio. Dopo **12 e 24 mesi** di esercizio della barriera ossigenica e della barriera idraulica, in base alla qualità dell'acqua in ingresso ed allo stato di contaminazione dell'area sottogradiante verranno valutate le eventuali azioni correttive che potranno consistere nel potenziamento del sistema che, data la situazione contingente, risulta più efficiente e/o nella dismissione delle opere che dovessero trovarsi ad agire su porzioni di falda bonificate. Dopo circa **36 mesi** di controllo e monitoraggio delle barriere verrà verificata l'efficacia degli interventi in corrispondenza della trincea drenante e delle barriere esterne. In questa occasione verrà verificato il raggiungimento degli obiettivi di bonifica e la possibilità di arrestare l'azione dei sistemi. Nei **12 mesi** successivi all'arresto dei sistemi sarà verificata l'effettiva bonifica delle aree a valle del contenimento ed il mantenimento dei limiti di bonifica nel tempo.

In occasione delle verifiche programmate potranno eventualmente essere apportate variazioni al piano di monitoraggio: queste variazioni potranno essere operate su numero ed ubicazione dei piezometri di controllo, sulla tipologia degli analiti e sulla frequenza dei campionamenti.

Anche in assenza delle opere di bonifica esterne, l'azione di contenimento della terza barriera interna sarebbe sufficiente di per se stessa, fatto salvo l'inevitabile allungamento dei tempi di risanamento, a garantire l'effettiva salvaguardia della falda a valle dello stabilimento.

#### **6.4 Punti di conformità**

Nell'ambito delle attività di monitoraggio, il controllo dell'efficacia dell'azione di sbarramento prodotto dalla terza barriera interna assume un significato particolare in quanto è in corrispondenza di questa che viene comprovato il contenimento dei flussi inquinati.

A tal fine ne consegue che nell'ambito di questo sistema si rende necessario identificare e posizionare un punto di conformità.

In base alle linee guida definite nel manuale UNICHIM 196/1 (Edizione 2002) relative all'ubicazione dei punti di conformità (Paragrafo 4.3 manuale UNICHIM) è stato individuato, tra i piezometri di monitoraggio della terza barriera, il punto MW1 al quale verrà attribuito il significato di punto di controllo della conformità delle acque di falda.

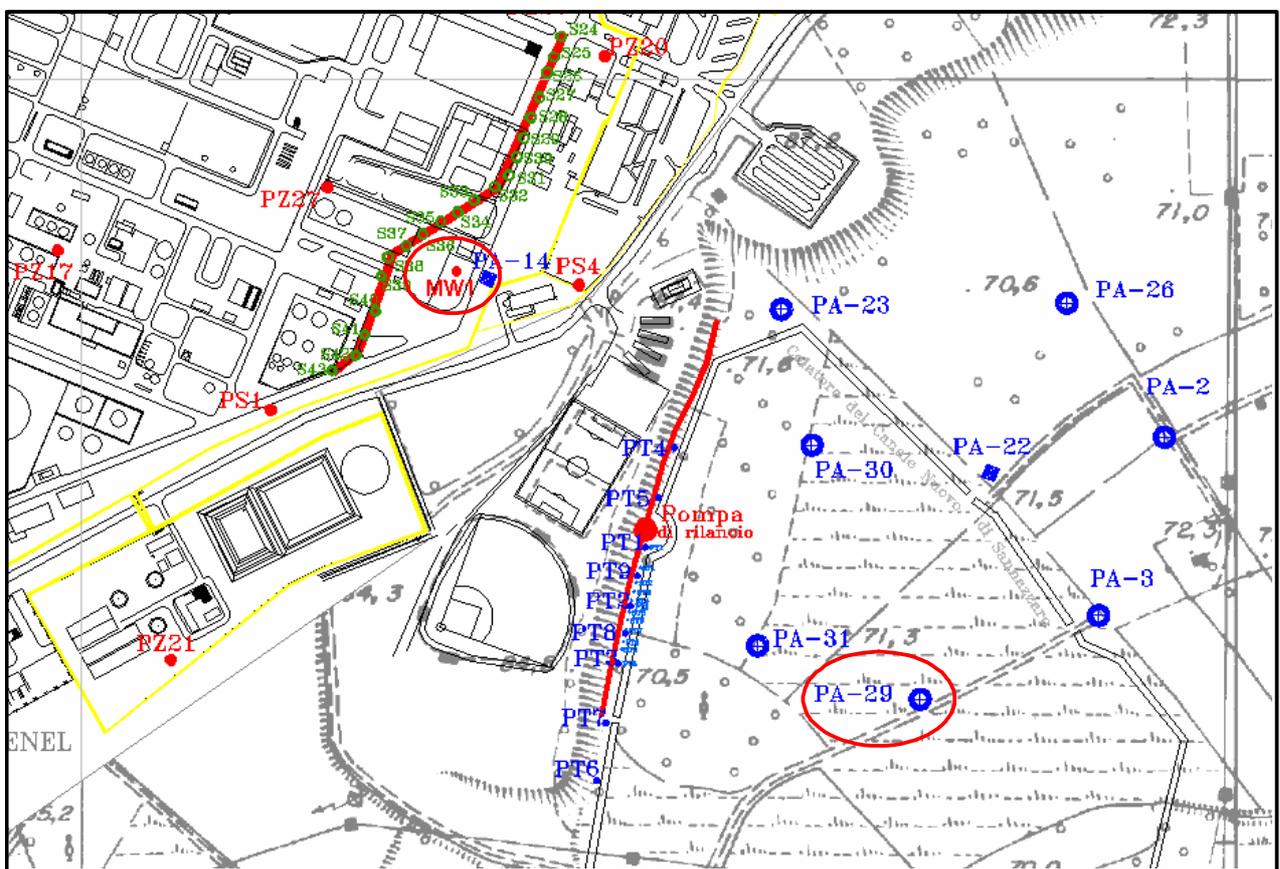
Questo punto soddisfa le seguenti condizioni:

- 1) È posto immediatamente a valle dei pozzi della terza barriera di protezione che hanno presentato e presentano i maggiori valori di contaminazione;
- 2) Risiede all'interno del perimetro dello stabilimento, pertanto è sempre raggiungibile, manutenzionabile e campionabile;
- 3) E' fenestrato lungo tutto lo spessore dell'acquifero freatico;
- 4) Nella porzione di falda controllata con questo piezometro viene raggiunta e garantita nel tempo la conformità ai limiti di bonifica e viene pertanto soddisfatta la condizione di compatibilità imposta dall'analisi di rischio di 1° Livello che prevede l'aderenza dei valori di concentrazione ai valori tabellari massimi ammissibili.

A valle di tutti i sistemi di contenimento e bonifica il piezometro PA29 assume, come meglio esplicitato nel capitolo relativo all'analisi di rischio, una funzione di controllo ugualmente significativa in quanto su di esso verrà definito nel tempo l'efficacia del sistema di disinquinamento nel suo complesso.

Pur non assumendo significato di punto di conformità, il piezometro PA29 ne può assolvere il ruolo nel medio periodo in quanto su di esso possono essere misurati gli effetti delle opere di monte e possono essere facilmente modellizzati (come si vedrà nel capitolo relativo all'analisi di rischio) con un ampio intervallo di confidenza i flussi a valle del piezometro e posizionati tra questo e gli eventuali recettori.

**Figura 6.1** Ubicazione dei punti di conformità



## **7. ANALISI DI RISCHIO E MODELLO DI DISPERSIONE DEL MTBE**

### **7.1 Aspetti generali**

Il presente capitolo illustra sia i risultati di un'analisi di rischio condotta per le aree interne della raffineria sia i risultati dell'applicazione di un modello di dispersione del MtBE a valle delle opere di protezione esterna.

Le caratteristiche della contaminazione nell'area a monte della terza barriera di protezione e la conseguenti metodologie d'intervento adottate, richiedono tempi non immediati per il raggiungimento dei limiti prescritti dalla normativa vigente. Di conseguenza si rende necessaria l'analisi di rischio.

La bonifica è svolta traguardando i limiti, ove previsti, dettati in DM 471/99, anche se, nell'attuale situazione, alcune attività sono state equiparate ad attività di "bonifica con misure di sicurezza" con l'obiettivo di verificare in futuro la possibilità di definire tempi certi per la conclusione e chiusura del procedimento.

La legislazione italiana prevede l'attuazione (Art. 5 DM 471/99) di "Bonifiche con misure di sicurezza e ripristino ambientale".

Tali misure devono accompagnarsi alla valutazione dei valori di concentrazione residui che risultino compatibili alle esigenze di tutela ambientale e sanitaria. Questi valori sono determinati in base ad analisi di rischio elaborata secondo metodologie riconosciute a livello internazionale.

Nel caso specifico, l'analisi di rischio è stata eseguita al solo scopo di verificare la sostenibilità ambientale e tossicologica della presenza d'inquinanti all'interno dello stabilimento durante il processo di bonifica in atto; non è infatti previsto che al termine delle attività di bonifica permangano concentrazioni residue superiori ai limiti di obiettivo fissati in fase di Progetto Preliminare.

All'esterno dello stabilimento è stato applicato un modello di dispersione per quantificare l'estensione ed il comportamento del plume residuale di MtBE rilevato a valle delle opere di protezione. Il modello costituisce un affinamento dei calcoli già presentati in sede di Progetto Preliminare.

L'analisi di rischio applicata all'interno dello stabilimento e la modellizzazione del comportamento del plume di MtBE all'esterno dello stabilimento sono sviluppati con un software applicativo, il "Rome" (**R**eas **O**nable **M**aximum **E**xposure) predisposto da APAT (**A**genzia per la **P**rotezione dell'**A**mbiente e per i servizi **T**ecnici).

Il software "Rome" è uno strumento per l'analisi di rischio e la valutazione degli obiettivi di bonifica dei siti contaminati.

La metodologia implementata nel software è conforme a quanto disciplinato dalla normativa attualmente in vigore (D.M. 471/99) ed applica i principi e i metodi adottati a livello internazionale ed in particolare dello standard ASTM RBCA, (Risk-Based Corrective Actions), standardizzata nel 1995 e 1998.

Gli stessi principi e metodi sono anche enunciati nel manuale Unichim n° 196/1 pubblicato nel 2002.

Il Rome "versione 2.1" adotta una procedura con due livelli di analisi di rischio.

Il primo step della metodologia prevede un confronto tabellare; il secondo step prevede la stima dei rischi sito-specifici e degli obiettivi di bonifica, in termini di contaminazione residuale accettabile, applicando il livello 2 della procedura, conforme al livello 1.

La figura 7.1 riassume in forma grafica il modello concettuale adottato sia per l'analisi di rischio sia per l'applicazione del modello di dispersione del plume di MtBE.

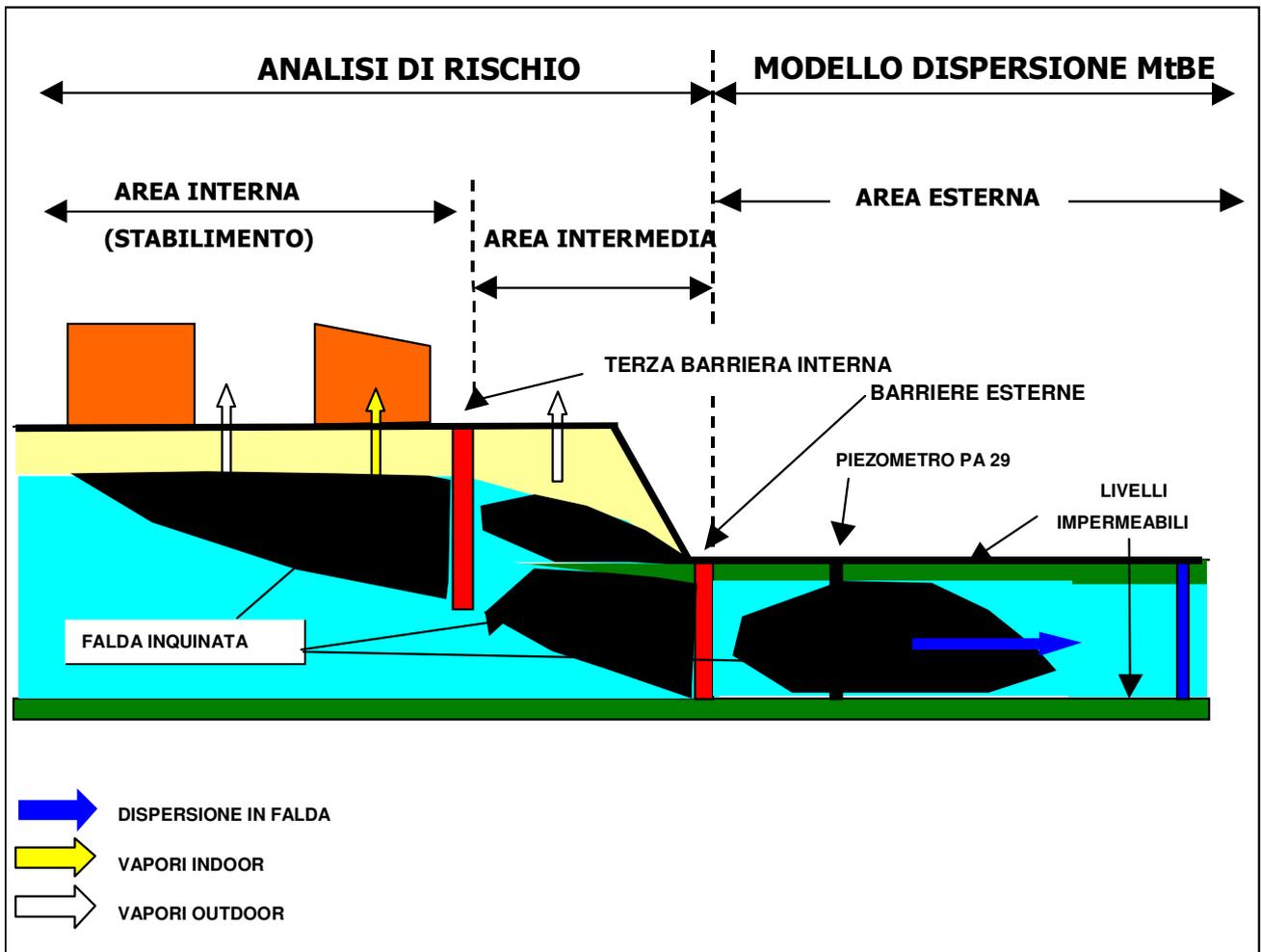


Figura 7.1 – Schematizzazione dei percorsi e dei bersagli

I percorsi di esposizione ed i bersagli sensibili sono:

- **all'interno dello stabilimento ed in area intermedia:** vapori provenienti dalla falda il cui effetto va valutato sui lavoratori;
- **all'esterno dello stabilimento:** acque di falda inquinate che possono pervenire a pozzi pubblici e privati utilizzati sia per l'approvvigionamento idropotabile sia per l'irrigazione dei seminativi.

Le sostanze d'interesse sono:

- **all'interno dello stabilimento ed in area intermedia:** BTEX, idrocarburi totali, MtBE
- **all'esterno dello stabilimento:** MtBE.

Attualmente sono in funzione sistemi di contenimento e bonifica ed i limiti tragaradati da questi sistemi sono conformi al dettato del DM 471/99 e, ove non previsti, sono conformi a quanto proposto in Progetto Preliminare ed accettato dagli EE.PP. di controllo in base a considerazioni condotte sia dalla comunità scientifica sia dallo stesso ISS.All'esterno della raffineria, a valle delle barriere di

protezione, la presenza di MtBE è destinata a diminuire nel tempo per l'azione delle opere di sbarramento già attivate e delle opere di risanamento progettate.

Applicando un modello conservativo di trasporto degli inquinanti, è dimostrato che l'attuale situazione comporta la presenza di un plume di estensione limitata e tale da non pregiudicare la qualità delle acque captate da eventuali pozzi ubicati a valle.

Il modello costituisce l'estensione ed affinamento del modello presentato in fase di progetto preliminare di bonifica ed è applicato a valori di concentrazione registrati nelle ultime campagne di monitoraggio.

I contaminanti presenti ed oggetto delle attività di bonifica sono BTEX con prevalenza di benzene, idrocarburi totali (oli minerali) ed MtBE; le sostanze sono presenti in forma disciolta entro plume d'inquinamento residuali, quindi non alimentati e considerabili, ai sensi delle normative tecniche internazionalmente riconosciute, stabili o in diminuzione.

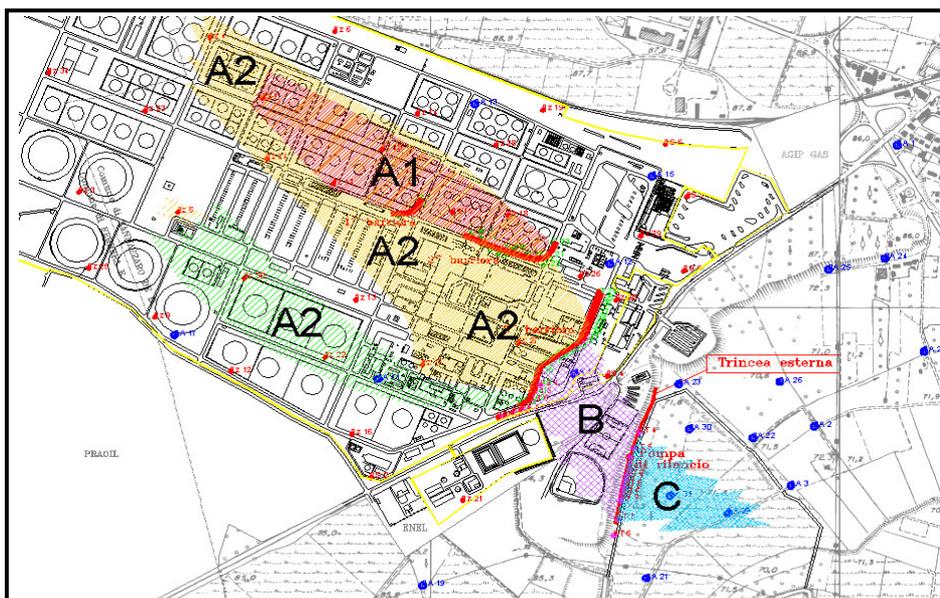
Per BTEX ed oli minerali (espressi come n-esano) sono utilizzati i valori della tabella relativa alle acque sotterranee del DM 471/99 mentre per MtBE è stato proposto ed accettato un limite di 10 µg/l. Questi limiti sono i valori di concentrazione che dovranno essere rispettati, a conclusione della bonifica nei punti di conformità.

Il modello di distribuzione degli inquinanti è basato sulla zonizzazione già illustrata nel Capitolo 6 e legata alla disposizione delle opere rispetto i flussi della falda. Questa disposizione agisce segregando ed eliminando gradualmente lungo il percorso dell'acqua sotterranea diverse porzioni del plume.

La suddivisione concettuale utilizzata è la seguente e la figura 7.2 rappresenta una mappatura planimetrica di massima delle aree descritte.

Area interna di stabilimento: è collocata a monte della terza barriera di protezione ed è a sua volta suddividibile in due zone

- **Zona A1:** inquinata da BTEX, Oli minerali e MtBE e sottoposta all'azione di bonifica con sistemi di contenimento e captazione. Si ritrova a monte della terza barriera di protezione interna ed è interessata dall'azione della prima e seconda barriera interna di protezione.
- **Zona A2:** occupa i settori centrali e meridionali della raffineria ed è inquinata BTEX, Oli minerali e MtBE in concentrazioni più basse di quelle riscontrate in zona A1. Le acque sottese alla zona A2 sono captate dalla terza barriera di protezione interna.



Area intermedia: tra la terza barriera di protezione interna e la trincea esterna è collocata un'area intermedia (**Zona B**) segregata dalle due opere di captazione inglobata, nell'esecuzione dei calcoli, nella **Zona A1** alla quale è assimilabile per natura e concentrazione dei contaminanti, tipologia dei percorsi espositivi e presenza saltuaria di personale. Sono presenti in questa zona solo utility marginali della raffineria, parcheggi e viabilità.

Area esterna: è l'area (**Zona C**) ubicata a valle della trincea di captazione e delle barriere di contenimento idraulico e biologico caratterizzata dalla sola presenza di MtBE in concentrazioni oscillanti da 200 a 400 µg/l.

## 7.2 Analisi di rischio applicata all'area interna ed all'area intermedia

Per le aree interne ed intermedia (aree A e B) è stata eseguita un'analisi di rischio finalizzata a rilevare eventuali problemi legati all'inalazione di vapori di contaminante provenienti dalla falda.

**Area A1:** copre per lo più una zona ove sono collocati i serbatoi di stoccaggio. La presenza di barriere collocate nell'area ed a valle di questa (Fase 1 e Fase 2 del progetto di bonifica) permettono di considerare negligibile il rischio d'inquinamento della risorsa idrica a valle della raffineria.

Quest'area pertanto può essere potenzialmente interessata solo da rischi aggiuntivi legati all'eventuale presenza di vapori provenienti dalla falda; a titolo puramente cautelativo nell'analisi di rischio dall'area A1 è stata anche ipotizzata la presenza di idrocarburi in fase libera.

E' da riscontrare che non è prevista la permanenza costante di personale nell'ambito del parco serbatoi ed i potenziali vapori provenienti dalla falda pervengono in ambienti aperti (vapori outdoor) non confinati e sottoposti ad un ricambio naturale d'aria.

La seguente tabella indica i valori di concentrazione media e massima (in µg/l) registrati sulle acque prelevate dai piezometri che ricadono nell'area d'interesse. Nel calcolo sono stati utilizzati i valori massimi:

**Tabella 7.1** - Contaminanti falda in zona A1 (µg/l)

	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>E</b>	<b>X</b>	<b>Oli</b>	<b>MtBE</b>
Valori medi	3767	2886	419	468	2580	512
Valori massimi	5435	5730	796	806	2880	1002

**Area A2:** la presenza della terza barriera di protezione collocata a valle permette di considerare negligibile il rischio di inquinamento della risorsa idrica a valle della raffineria. I piezometri in sito hanno presentato i seguenti valori medi e massimi di concentrazione:

**Tabella 7.2** - Contaminanti falda zona A2 (µg/l)

	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>E</b>	<b>X</b>	<b>Oli</b>	<b>MtBE</b>
Valori medi	316	10	95	106	508	138
Valori massimi	942	40	487	569	1700	370

Nell'area A2 sono presenti diverse situazioni di esposizione e, pertanto, ai fini di un'approccio cautelativo (come richiesto in All. 4 del D.M. 471/99) si considereranno i rischi connessi alla presenza di vapori provenienti dalla fase disciolta in locali e spazi confinati (vapori indoor) costituiti da officine e magazzini.

**Area B :** per quest'area vengono cautelativamente utilizzati lo stesso modello di esposizione e gli stessi parametri usati per l'area A2.

I parametri generali di sito (caratteristiche idrauliche, caratteristiche costruttive degli edifici, caratteristiche meteorologiche, ecc..) utilizzati per le aree interne (A1 ed A2) e per l'area intermedia (B) sono riportati in tabella 7.3.

**Tabella 7.3** - Parametri di sito aree interne (A1 e A2) ed intermedia (B)

Descrizione	Valore
Densità secca non saturo (g/cm <sup>3</sup> )	1.7
Frazione carbonio organico nel non saturo (adim.)	0.01
Soggiacenza falda (cm)	10000
Spessore frangia capillare (cm)	5
Spessore della zona non saturo (cm)	9995
Aria nel non saturo (adim.)	0.16
Acqua nel non saturo (adim.)	0.09
Aria nella frangia capillare (adim.)	0.038
Acqua nella frangia capillare (adim.)	0.342
Altezza edifici industriali (cm)	500
Spessore di fondazioni e pareti (cm)	25
Frazione areale di fratture in fondazioni e pareti (cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	0.01
Contenuto d'aria nelle fratture (adim.)	0.26
Contenuto d'acqua nelle fratture (adim.)	0.12
Tasso di ricambio d'aria (1/h) uso industriale	0.828
Velocità del vento (cm/s)	225
Altezza zona di miscelazione (cm)	200

I valori standard chimico fisici e tossicologici degli inquinanti utilizzati per il calcolo sono forniti dal database del software ROME, distribuito dall'APAT; fanno eccezione i dati relativi al MtBE per il quale non sono disponibili informazioni nell'ambito del database standard di ROME.

Il MtBE è una sostanza per la quale attualmente esistono scarsi riferimenti numerici riferiti agli effetti cronici dei diversi percorsi espositivi.

In base alla normativa europea, le frasi di rischio del MtBE sono **R11** e **R38**, e pertanto è considerato infiammabile e, per contatto dermico diretto con il prodotto puro, irritante per la pelle. Non sono noti ed accertati per il MtBE rischi legati ad effetti cancerogeni o effetti sulla riproduzione.

In linea generale, in base ai dati disponibili ed evincibili dalle schede di sicurezza, il MtBE non può essere considerato, soprattutto se in soluzione, intrinsecamente pericoloso per la salute e per l'ambiente.

Esistono comunque, e sono riportate nei database internazionali, alcune informazioni che suggeriscono una certa cautela nelle considerazioni di merito relative agli effetti tossici del prodotto. Al fine di verificare eventuali aspetti legati alla presenza di MtBE sono stati usati dati del database **IRIS** (US-EPA) e **RAIS** (US-DOE).

I dati divulgati da questi Enti riguardano unicamente il percorso espositivo d'inalazione e solo per tale percorso viene fornito un valore di concentrazione di riferimento (RfC) e di dose di riferimento (RfD) presentati nella tabella seguente; per l'esposizione ad assunzione orale non esistono riferimenti diretti.

**Tabella 7.4** - Parametri chimico fisici e tossicologici MtBE

<b>PARAMETRI IN INPUT Metil-Terbutil-Etere (MtBE) *</b>		
<b>PARAMETRI IN INPUT</b>	<b>UDM</b>	<b>VALORE</b>
Peso molecolare	g/mole	88.15
Solubilità	mg/l	4.50E+04
Koc - coefficiente di ripartizione carbonio/acqua	ml/g	5.4
Costante di Henry	adim	2.40E-02
Diffusività in aria	cm <sup>2</sup> /s	0.1024
Diffusività in acqua	cm <sup>2</sup> /s	1.05E-05
Tensione di vapore	mmHg	245
Concentrazione massima di riferimento per rischio di inalazione - RfC (**)	mg/m <sup>3</sup>	3
Dose massima di riferimento per rischio di inalazione RfD (*)	mg/kg-giorno	0.857
(*) Dati RAIS (Risk Assessment Information System) da US Department of Energy ( <a href="http://risk.lsd.ornl.gov">http://risk.lsd.ornl.gov</a> )		
(**) Dati da database EPA IRIS		

Il D.M. 471/99 – Allegato 4 – Capo (II.5) *Criteria per lo svolgimento dell'Analisi di rischio* fissa i criteri per l'esecuzione dell'analisi di rischio e la valutazione dei risultati. Per chiarezza di lettura viene riportato a seguito il testo normativo di riferimento:

*i. Gli effetti potenziali posti dalle diverse sostanze sono suddivisi in carcinogeni e non-carcinogeni; i primi sono quantificati mediante la stima della probabilità (o rischio) di contrarre il cancro, mentre gli effetti non-cancerogeni (cronici, sub-cronici o acuti) sono quantificati attraverso la stima dell'indice di pericolo ("hazard index"). I rischi carcinogenici vengono definiti come la probabilità incrementale che un individuo contragga il cancro durante la vita a causa dell'esposizione ad un potenziale agente carcinogeno; il rischio calcolato è basato sul concetto di "massima esposizione possibile", conservativo e protettivo per la salute. Vengono di seguito fornite tra fasce di giudizio relative al rischio carcinogenico, derivate da valori forniti in letteratura per casi reali di applicazione dell'analisi del rischio:*

- *rischio  $R < 1 \times 10^{-6}$  (il rischio incrementale è per un individuo su un 1.000.000) viene considerato nullo o insignificante e non viene intrapresa alcuna azione di bonifica;*
- *rischio compreso tra  $1 \times 10^{-6}$  e  $10^{-4}$  (da 1/1.000.000 a 1/10.000) necessità di azioni di bonifica da valutare caso per caso;*
- *rischio  $R > 1 \times 10^{-4}$  (1/10.000), azione di bonifica sicuramente necessaria, per riportare il valore di rischio entro l'intervallo di accettabilità.*

*j. I potenziali effetti non-carcinogenici vengono valutati col calcolo dell'indice di Rischio cronico; per ciascun composto di interesse e via di esposizione, l'indice di rischio cronico viene espresso come il rapporto tra l'immissione e la dose di riferimento. La dose di riferimento costituisce il valore limite di immissione conservativamente indicato e deve risultare superiore alla dose effettivamente immessa (infatti l'indice di rischio deve essere  $< 1$ ), in modo da non avere possibilità di effetti avversi per la salute umana; la dose di riferimento è un valore limite e non quantifica direttamente il rapporto tra dose immessa ed effetto sulla salute.*

La seguente tabella mostra i risultati delle analisi (rischio **R** per sostanze cancerogene ed hazard risk **HI** per le altre sostanze) condotte sulle aree A1, A2 e B utilizzando i valori massimi di concentrazione riscontrati nell'ultima campagna analitica (settembre 2004). I calcoli sono stati eseguiti immettendo in ROME i dati di sito presentati nella tabella 7.3, i dati relativi al MtBE presentati nella tabella 7.4 ed utilizzando per le altre sostanze il database fornito dal programma.

I percorsi espositivi selezionati per i calcoli sono per le aree A1 e B inalazione di vapori outdoor e per l'area A2 inalazione di vapori indoor.

**Tabella 7.5** – Parametri dell'analisi di rischio

Area	R massimo < E-6		Toluene	Etilbenzene	Xileni	Oli minerali disciolti (C < 12)	MtBE	HC C < 12 (Range benzine)	HC C > 12 (Range gasoli)
	HI massimo < 1	R							
<b>Esposizione a vapori</b>	<b>R</b>	<b>HI</b>	<b>HI</b>	<b>HI</b>	<b>HI</b>	<b>HI</b>	<b>HI</b>	<b>HI</b>	<b>HI</b>
<b>Area A1</b> <u>vapori outdoor</u>	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<b>Area A2</b> <u>vapori indoor</u>	*	*	*	*	*	*	*		
<b>Area B</b> vapori outdoor	*	*	*	*	*	*	*		

Nessuno degli analiti considerati presenta, per i percorsi espositivi selezionati valori superiori ai limiti massimi di tollerabilità ammessi dal D.M. 471/99.

I risultati dell'analisi di rischio (tabelle allegato 5) dimostrano che gli inquinanti presenti nelle aree A1, A2 e B non comportano rischio aggiuntivo d'inalazione di vapori superiore a quello previsto dall'allegato 4 del D.M. 471.

Le attività di bonifica così impostate possono proseguire senza ulteriori azioni per la protezione e la salvaguardia della salute dei lavoratori.

### 7.3 Modello di dispersione del MtBE in area esterna

L'Area C è collocata a valle della trincea e della barriera esterna e presenta unicamente un plume di MtBE.

Per tale area non sono individuabili problemi legati all'inalazione di vapori provenienti dalla falda perché l'acquifero è superiormente confinato da un livello di limo argilloso avente spessore di circa 4-5 m; inoltre l'area è occupata da ampie distese di coltivo sulle quali è negligibile la presenza e la permanenza di operatori.

In area C è stato applicato un modello di dispersione del MtBE il cui scopo è la definizione delle dimensioni del plume e la verifica della presenza di bersagli sensibili all'interno dello stesso.

Per uniformità di calcolo anche in area C è stato utilizzato il software applicativo ROME.

Le criticità potenzialmente connesse all'Area C potrebbero essere unicamente legate alla presenza di pozzi d'acqua idropotabili e/o destinati all'irrigazione (se esistenti) collocati all'interno di un plume di MtBE con contaminazione superiore a 10 µg/l.

Le opere di protezione interne ed esterne stanno producendo un abbattimento della contaminazione e l'ingresso di acqua pulita il cui fronte si muoverà molto più velocemente del MtBE.

Si stima che il fronte d'acqua non contaminata potrà pervenire al piezometro PA29 entro i 36 mesi successivi all'effettivo completamento delle operazioni d'integrazione previste in Fase 2 del progetto di bonifica: entro questo intervallo sarà possibile traguardare sul piezometro PA29 la riduzione di MtBE al di sotto del valore di concentrazione obiettivo di bonifica (10 µg/l).

In modo cautelativo è stato considerato uno scenario più restrittivo di quello che prevedibilmente si presenterà e, indipendentemente dalle diminuzioni di concentrazione attese per effetto delle attività di bonifica, il piezometro PA29 è stato considerato come sorgente fittizia di una contaminazione di MtBE con valori costanti a 300 µg/l.

La sorgente fittizia genera un plume stazionario le cui caratteristiche sono definite con un modello analitico basato sull'equazione tridimensionale di abbattimento delle concentrazioni incorporato nel programma ROME (Domenico - 1987).

L'estensione longitudinale del plume è stata calcolata in termini di distanza massima alla quale la falda è ancora interessata dalla presenza di concentrazioni stazionarie (in diminuzione o comunque

**Modello Domenico (Domenico, 1987)**

$$C(x) = C_{source} \exp \left\{ \frac{x}{2\alpha_x} \left[ 1 - \left( 1 + \frac{4\lambda\alpha_x}{u} \right)^{1/2} \right] \right\} \cdot \left( \operatorname{erf} \left[ \frac{S_{wp}}{4\sqrt{\alpha_y x}} \right] \right) \cdot \left( \operatorname{erf} \left[ \frac{S_d}{4\sqrt{\alpha_x x}} \right] \right)$$

Per tener conto del ritardo per adsorbimento il seguente  $u$  sostituisce la  $u$  nell'equazione soprastante:

Ritardo per assorbimento ( $u_d$ ):  $u_d = \frac{k_s i}{\theta_s R_c}$

Dove il fattore di ritardo:  $R_c = \left[ 1 + \frac{K_d \rho_s}{\theta_s} \right]$

---

<p><math>C(x)</math> = Concentrazione al punto di conformità (g/cm<sup>3</sup>)</p> <p><math>u</math> = <math>k_s i / \theta_s</math></p> <p><math>i</math> = Gradiente idraulico (adim.)</p> <p><math>\lambda</math> = Costante di degradazione del primo ordine</p> <p><math>\alpha_x</math> = Dispersività longitudinale (x/10) (ASTM, 1995)</p> <p><math>\alpha_y</math> = Dispersività trasversale (ax/3) (ASTM, 1995)</p> <p><math>\alpha_z</math> = Dispersività verticale (ax/20) (ASTM, 1995)</p> <p><math>\theta_s</math> = Porosità efficace (adim.)</p>	<p><math>x</math> = Distanza lungo l'asse centrale dal bordo sotto gradiente della sorgente del pennacchio (cm)</p> <p><math>k_s</math> = Conducibilità idraulica (cm/giorno)</p> <p><math>C_{source}</math> = Concentrazione alla sorgente (g/cm<sup>3</sup>)</p> <p><math>S_{wp}</math> = Larghezza della sorgente (cm)</p> <p><math>S_d</math> = Profondità della sorgente (cm)</p> <p><math>\operatorname{erf}</math> = Funzione errore</p>
---	---



**Figura 7.4** Equazione di dispersione fornita in ROME (Domenico 1987)

non in aumento) di MtBE al di sopra di 10 µg/l. Tale calcolo è stato eseguito utilizzando, all'interno del software ROME, l'equazione Domenico (1987) la cui forma applicata è presentata in figura 7.4<sup>(1)</sup>.

Nell'ambito degli acquiferi è sempre presente una diminuzione di concentrazione dei contaminanti da monte a valle della direzione di deflusso della falda dovuta ai moti non lineari, alla diffusione delle molecole legate ai gradienti di concentrazione ed all'abbattimento chimico-fisico e biologico legato ai processi reattivi ossidoiriduttivi e biochimici.

<sup>1</sup> Nel caso specifico il valore  $C(x)$  o concentrazione nel punto  $x$ , è riferito ad un punto sottogradiante a distanza  $X$  da PA29 nel quale la concentrazione di MtBE è inferiore o al massimo uguale a 10 µg/l.

In un plume stazionario o in diminuzione, (come nel caso dell'area esterna alla raffineria) il modello determina, dati i valori di concentrazione di una sorgente ed i valori limite da tralguardare, la distanza alla quale tali valori obiettivo si collocano.

Per il procedimento di calcolo, sono stati fissati i seguenti parametri:

- 1) Valore limite di concentrazione ammissibile (10 µg/l di MtBE);
- 2) Concentrazione (300 µg/l) e ubicazione (Piezometro PA29) della sorgente (teorica) di contaminazione.

L'equazione di Domenico è utilizzata per determinare la distanza x del punto di conformità (punto nel quale è attesa una concentrazione inferiore a 10 µg/l di MtBE) dalla sorgente (Piezometro PA29). I dati di falda utilizzati nella modellizzazione sono riportati in figura 7.5:

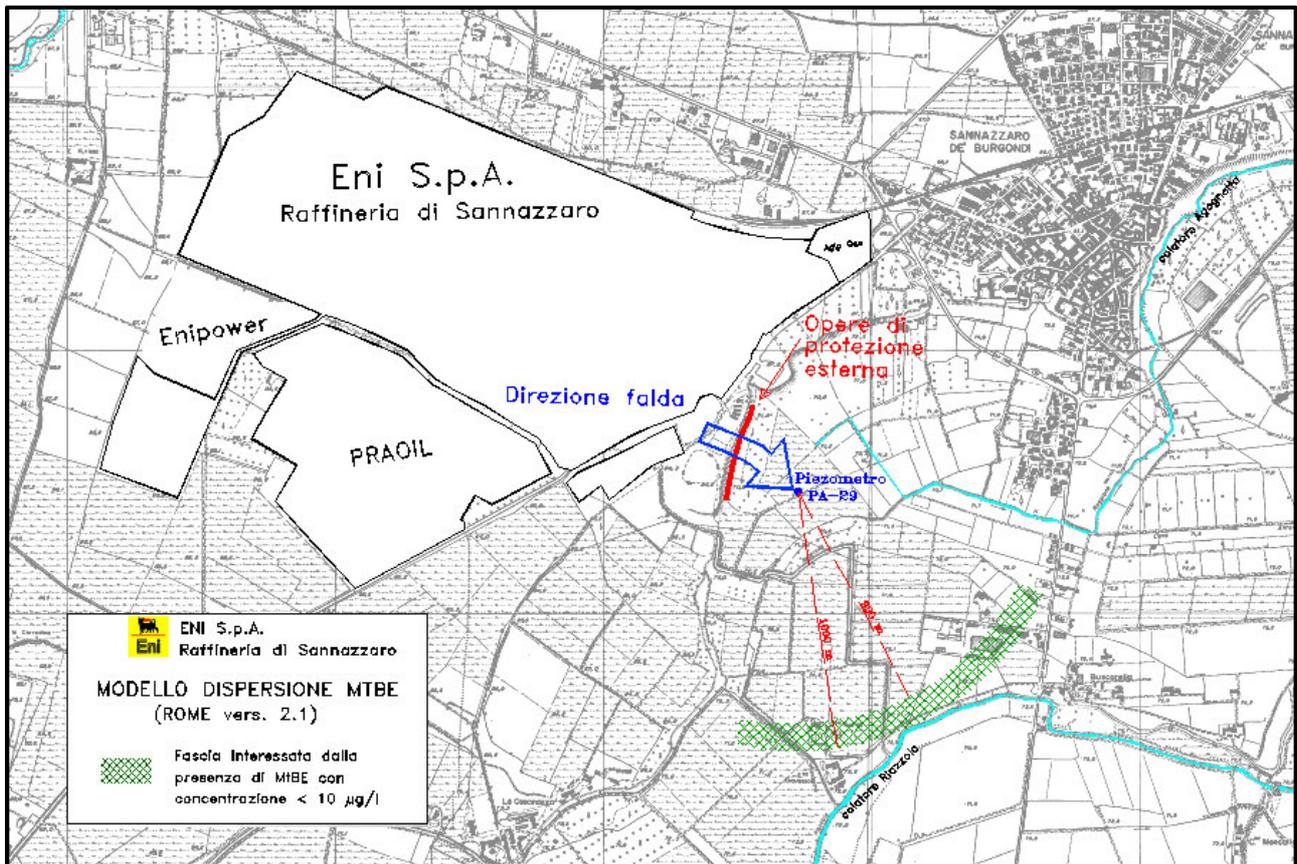
Parametri della zona satura	
Frazione di Carbonio organico (adim.)	0.001
Porosità efficace (adim.)	0.2
Conducibilità idraulica (m/giorno)	8.64
Dispersività longitudinale (m)	100
Gradiente idraulico (adim.)	0.003
Dispersività trasversale (m)	33
Spessore di acquifero contaminato (m)	23
Dispersività verticale (m)	5
Larghezza della sorgente perpendicolare alla direz. di flusso della falda (m)	10
Spessore dell'acquifero (m)	23
Densità secca (g/cm³)	1.7
Distanza al punto di conformità (m)	
1000	

**Figura 7.5** – Dati di falda utilizzati per la modellizzazione del plume di MtBE in area esterna

Dall'applicazione del modello risulta che, considerando il punto sorgente ubicato nella posizione del piezometro PA29, il plume di MtBE raggiunge valori inferiori a 10 µg/l in una fascia compresa tra **900-1000 m** di distanza da questo.

La distanza diminuirà (e pertanto il plume arretrerà dall'attuale posizione) con il diminuire delle concentrazioni riscontrate in PA29.

Nella figura 7.6 è rappresentato il punto PA29 e la fascia compresa tra 900 e 1000 m sul quale si realizza la condizione di concentrazione MtBE inferiore a 10 µg/l; a monte e all'interno di tale area non sono ubicati recettori di qualsivoglia natura e soprattutto non sono ubicati pozzi di approvvigionamento idropotabile o irriguo.



**Figura 7.6** – Risultati della modellizzazione della dispersione del MtBE all'esterno della raffineria.

A valle dell'area è presente un elemento idrico superficiale denominato "colatore Riazzolo". Il corpo idrico si trova all'esterno della zona di massima estensione del plume modellizzato ed è un *corpo idrico secondario senza nessun tipo di restrizione* nel quale vengono recapitati gli scarichi della raffineria e di altri insediamenti produttivi.

A puro titolo informativo è stata confermata la presenza di fitofarmaci (erbicidi) nelle acque di prima falda prelevate da piezometri insistenti nell'area sottostante l'insediamento industriale.

I risultati analitici hanno evidenziato la presenza di tali sostanze con valori anche superiori ai limiti per le acque potabili (D.P.R. 236/88), causati dall'intensa antropizzazione delle aree oggetto di studio.

#### 7.4 Conclusioni

I risultati dell'analisi di rischio e della modellizzazione della dispersione del MtBE sono i seguenti:

- All'interno dello stabilimento l'unico percorso d'esposizione agli inquinanti è ascrivibile all'inalazione di vapori provenienti dalle acque sotterranee. Per tutti i prodotti inseriti nell'analisi (BTEX, Oli minerali ed MtBE) i valori di rischio calcolati su questo percorso sono inferiori a quelli tollerabili in base al dettato dell'All. 4 del DM 471/99 dell'All. 4 del DM 471/99 (Capo II.5 punti i-j);
- All'esterno dello stabilimento la presenza di MtBE è comprovabile fino al piezometro PA29 ove si rileva con concentrazioni di circa 300 µg/l. Tale concentrazione è destinata a diminuire nel tempo a ragione dell'azione delle opere di sbarramento già attivate e delle opere di risanamento progettate. L'applicazione di un modello conservativo di trasporto degli inquinati, ha dimostrato che l'attuale situazione comporta la presenza di un plume teorico con un'estensione massima di 900-1000 m a valle del piezometro PA29, all'interno del quale non sono ubicati recettori sensibili (pozzi ad uso irriguo o idropotabile).

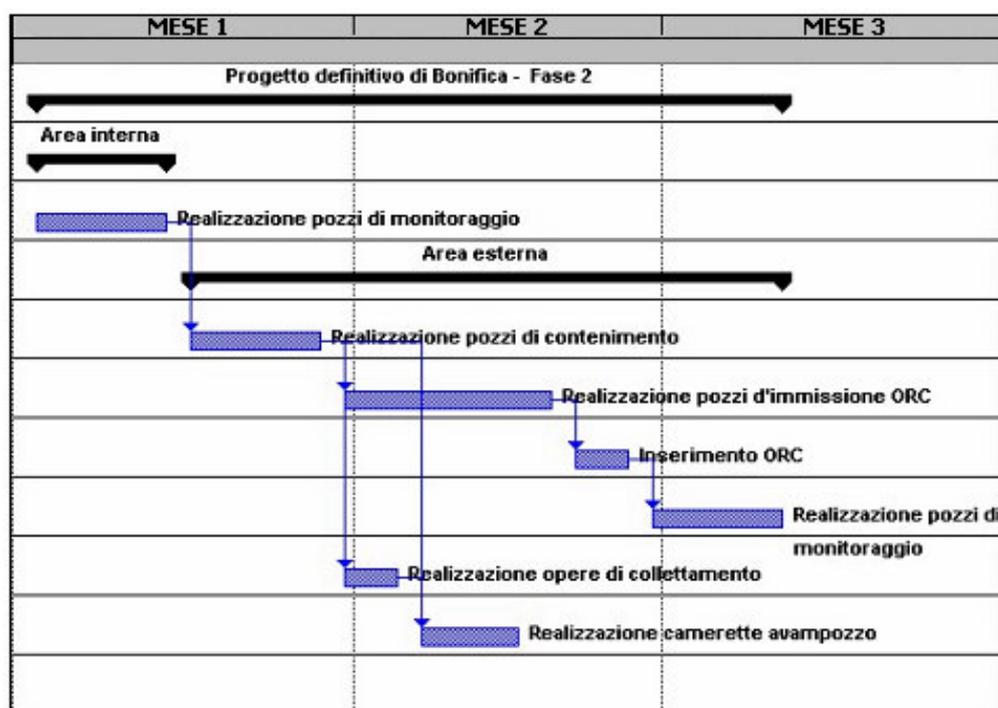
## 8. TEMPI DI REALIZZAZIONE DELLE OPERE E COSTI BUDGETTARI

Le opere la cui realizzazione è prevista in Fase 2 del progetto di bonifica sono costituite da:

- anelli di monitoraggio interno (5 piezometri aggiuntivi) ed esterno (4 piezometri aggiuntivi);
- 4 pozzi di emungimento esterni
- 7 punti d'immissione ORC ®

L'insieme delle attività verrà eseguito in circa 3 mesi (60 giorni lavorativi) salvo interruzioni dovute ad avverse condizioni meteorologiche.

Viene presentato in figura 8.1 uno schema di pianificazione generico espresso in mesi a partire dall'autorizzazione a procedere emessa con atto formale dalla Conferenza dei Servizi.



**Figura 8.1** – Schema di pianificazione generico delle attività di realizzazione delle opere.

I costi stimati per le attività di bonifica di Fase 2 sono presentati in tabella 8.1:

**Tabella 8.1** – Computo economico di massima per la realizzazione delle opere di Fase 2

<b>Descrizione</b>	<b>udm</b>	<b>Quantita'</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo totale</b>
Realizzazione n. 5 piezometri di monitoraggio interno	cad	5	€ 2,500	€ 12,500
Completamento superficiale dei piezometri di mon. interno	cad	5	€ 200	€ 1,000
Realizzazione n. 4 piezometri di monitoraggio esterno	cad	4	€ 2,700	€ 10,800
Realizzazione n. 4 pozzi di emungimento a deflusso naturale	cad	4	€ 2,700	€ 10,800
Realizzazione di n. 7 pozzi d'immissione ORC ®	cad	7	€ 2,700	€ 18,900
Completamento superficiale pozzi d'immissione ORC ®	cad	7	€ 200	€ 1,400
Realizzazione camerette avampozzo pozzi di emungimento	cad	4	€ 1,550	€ 6,200
Realizzazione collettamento	corpo	1	€ 10,000	€ 10,000
Fornitura ed installazione testepozzo e valvolame/strumenti di misura	cad	4	€ 200	€ 800
Esecuzione di analisi di baseline per ORC ®	corpo	1	€ 2000	€ 2000
Fornitura ed installazione sock ORC ®	kg	Circa 300 (stima)	€ 70/kg	20,000
				<b>€ 94,400</b>