

Eni S.pA.

Divisione Refining & Marketing



Raffineria di Sannazzaro

Progetto Preliminare di bonifica

(D.M. 25 Ottobre 1999 n° 471)

Giugno 2003

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE E DEFINIZIONE DEL DOCUMENTO	4
2. ATTI AMMINISTRATIVI - AGGIORNAMENTO GIUGNO 2003	7
3. SINTESI DEI RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE	9
3.1 INDAGINI SUI SUOLI E SOTTOSUOLI	9
3.2 INDAGINI SULLE ACQUE.....	10
3.2.1 <i>Metodologia di campionamento ed analisi sulle acque</i>	13
3.2.2 <i>Risultati delle indagini sulle acque</i>	14
3.2.2.1 Piezometri falda freatica interna.....	14
3.2.2.2 Barriere e trincee di protezione	15
3.2.2.3 Piezometri di controllo della discarica di rifiuti speciali e pozzi di approvvigionamento idrico.....	16
3.2.2.4 Piezometri falda freatica esterna.....	16
3.2.2.5 Piezometri falda artesiania sottostante e circostante lo Stabilimento	17
3.2.3 <i>Superficie piezometrica e Mappe di soglia</i>	17
4. SVILUPPO DEL MODELLO CONCETTUALE ED OBIETTIVI D'INTERVENTO	18
4.1 RECETTORI AMBIENTALI	19
4.2 CONTROLLI AMBIENTALI E PIANO ANALITICO	20
4.2.1 <i>Piano analitico anno 2002</i>	20
4.2.2 <i>Piano analitico anno 2003</i>	20
4.2.3 <i>Piano analitico proposto in corso di bonifica</i>	21
4.3 OBIETTIVI E INTERVENTI DI BONIFICA	23
4.3.1 <i>Obiettivi di bonifica</i>	23
4.3.2 <i>Interventi di messa in sicurezza/bonifica</i>	23
4.3.3 <i>Pianificazione di massima</i>	23
5. ANALISI DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA E PROPOSTE D'INTERVENTO	24
5.1 INTERVENTI DI TIPO PREVENTIVO	24
5.2 INTERVENTI DI BONIFICA DELLA FALDA.....	26
5.2.1 <i>Analisi preliminare delle tecnologie di bonifica</i>	26
5.2.1.1 Interventi attivi - "Pump and Treat"	27
5.2.1.2 Interventi passivi - "Bioremediation e ORC"	29
5.3 INTERVENTI DI BONIFICA DELL'ACQUIFERO SOGGIACENTE LE AREE DELLO STABILIMENTO	32
5.4 INTERVENTI DI BONIFICA PREVISTI PER LA FALDA SOGGIACENTE L'AREA COLLOCATA TRA LA 3° BARRIERA E LA TRINCEA	35
5.5 INTERVENTI DI BONIFICA DELL'ACQUIFERO SOGGIACENTE LE AREE CIRCOSTANTI LO STABILIMENTO	37
5.5.1 <i>Modello concettuale e scenario preliminare di bonifica</i>	38
5.5.2 <i>Valutazioni sitospecifiche relative all'MtBE</i>	39
5.5.3 <i>Scelta della tecnologia di bonifica</i>	43
6. COMPUTO METRICO E COSTI	45
6.1 COMPUTO METRICO.....	45
6.2 COSTI.....	45
7. RISULTATI DELLO STUDIO PER LA VERIFICA DELLO STATO DI EFFICIENZA DEL SISTEMA DI RACCOLTA DELLE ACQUE REFLUE	46
8. PROGRAMMAZIONE E GESTIONE DELLE ATTIVITÀ	49

ALLEGATI

- Calendario delle attività (programma di massima)
- Scomposizione delle voci di costo

- TAV. 01 – Corografia
- TAV. 02 .1– Punti di monitoraggio
- TAV. 02 .2 – Mappa superficie piezometrica (febbraio 2003)

- FIGURA 1 – Modello concettuale – Idrocarburi nei terreni
- FIGURA 2.1 – Modello concettuale – Mappa di soglia (dicembre 2002)
- FIGURA 2.2 – Modello concettuale – Mappa di soglia (aprile 2003)
- FIGURA 2.3 – Modello concettuale – Mappa di soglia (giugno 2003)
- FIGURA 3 – Posizione di massima dei punti di sondaggio e ubicazione dei campi prova
- FIGURA 4 – Modello concettuale – Sezione geologica rappresentativa (D-D’ da P.d.C.)

- TABELLA 1 – Idrocarburi nei terreni (aprile 2003)
- TABELLA 2.1 – Risultati indagini acque di falda (giugno 2003) – Piezometri falda freatica interna
- TABELLA 2.2 – Risultati indagini acque di falda (giugno 2003) – Pozzi barriere e trincea di protezione esterna
- TABELLA 2.3 – Risultati indagini acque di falda (giugno 2003) – Pozzi/Piezometri controllo discarica interna e Pozzi approvvigionamento idrico
- TABELLA 2.4 – Risultati indagini acque di falda (giugno 2003) – Piezometri anello di monitoraggio falda freatica esterna
- TABELLA 2.5 – Risultati indagini acque di falda (giugno 2003) – Piezometri anello di monitoraggio falda artesiania
- TABELLA 3 – Elenco analiti campagne di monitoraggio

1. Introduzione e definizione del documento

Il presente documento, che costituisce Relazione Tecnica descrittiva del “Progetto Preliminare di Bonifica” (sinonimo PPdB), ai sensi del D.M. 471/99, Allegato 4, Capo II.9-“*Progettazione per fasi*”, illustra e commenta i contenuti di cui al citato Allegato 4 con specifici riferimenti ai Capi II.1, II.2, II.3, II.4, II.6, II.7 e II.9 applicabili al sito oggetto di procedimento.

Soggetto dell’attività di progetto è la Raffineria di Sannazzaro (e sue pertinenze), sita nei comuni di Sannazzaro de’ Burgondi (PV) e Ferrera Erbognone (PV). L’allegata corografia (TAV. 01) mostra la disposizione dell’insediamento, le sue pertinenze e servitù.

Il presente documento, ai sensi del capo II.9 “*Progettazione per fasi*”/All. 4/ D.M. 471/99 è così strutturato:

- **Capitolo 1** (il presente): costituisce introduzione e presentazione generale.
- **Capitolo 2:** (Atti amministrativi - aggiornamento Giugno 2003) è un elenco aggiornato degli atti amministrativi di competenza del procedimento.
- **Capitolo 3:** (Sintesi dei risultati della Caratterizzazione) illustra in modo sintetico quanto richiesto al Capo II.1-“*Analisi dei livelli di Inquinamento*”/All. 4/ D.M. 471/99.
- **Capitolo 4:** (Sviluppo del modello concettuale e obiettivi di intervento) soddisfa quanto richiesto ai Capi II.2-“*Eventuale investigazione di dettaglio*” e II.3-“*Analisi delle possibili tecnologie adottabili per la bonifica, [...]*”/ All. 4/ D.M. 471/99.
- **Capitolo 5:** (Analisi delle tecnologie di bonifica e proposte di intervento) contiene e illustra le tecnologie di bonifica applicabili al sito, che compara e potenzialmente ne indica le modalità di scelta e di monitoraggio. In sintesi il capitolo 5 soddisfa ai dettati dei Capi II.3-“*Analisi delle possibili tecnologie adottabili per la bonifica, [...]*”, II.6-“*Descrizione delle tecnologie di bonifica e ripristino ambientale, delle tecnologie per la messa in sicurezza permanente e delle misure di sicurezza da adottare*”, II.7-“*Test per verificare nel sito specifico l'efficacia degli interventi di bonifica e di messa in sicurezza permanente proposti*” e II.8-“*Compatibilità ambientale degli interventi*”/ All. 4/ D.M. 471/99.

- **Capitolo 6:** (Computo metrico) introduce un primo computo metrico di massima per le stime dei volumi in gioco. L'analisi economica estimativa si riferisce prioritariamente e principalmente ai costi di installazione dei sistemi. A valle dei test condotti sui campi prova saranno definiti costi unitari e generali di gestione e manutenzione (O&M).
- **Capitolo 7:** (Risultati dello studio per la verifica dello stato di efficienza del sistema di raccolta delle acque reflue) illustra le attività ambientali proposte e/o progettate e/o in esecuzione atte a mitigare le perdite del sistema acque reflue.
- **Capitolo 8:** (Programmazione e gestione delle attività) illustra le principali modalità di gestione e programmazione delle attività così come richiesto dal Capo II.9-“*Progettazione per fasi*” / All. 4/ D.M. 471/99
- Gli **Allegati** (come indicati a pag. 3) costituiscono gli elaborati di progetto a, c, g, h, i, j p.p, k del citato punto II.9-“*Progettazione per fasi*” / All. 4/ D.M. 471/99.

2. Atti amministrativi - aggiornamento Giugno 2003

La pratica amministrativa è 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*".

3. Sintesi dei risultati della caratterizzazione

3.1 Indagini sui suoli e sottosuoli

La situazione dell'inquinamento dei suoli rilevata durante le indagini effettuate nel 2000 e nell'autunno del 2002 riassunte ed illustrate nel documento presentato nel marzo 2003, evidenzia quanto segue:

Sui n. 264 campioni analizzati nel corso del 2000, in soli n. 6 settori interni lo Stabilimento, sono stati osservati dei superamenti dei limiti del D.M. 471 previsti per le aree ad uso industriale (Tabella 1B dell'Allegato 1, "Siti ad uso commerciale ed industriale").

I superamenti hanno riguardato esclusivamente gli idrocarburi aromatici (benzene, toluene, xileni), quelli leggeri ($C < 12$) e pesanti ($C > 12$), mentre i policiclici aromatici (risultati sempre inferiori al limite di rilevabilità strumentale) ed i metalli (Cd e Pb) non rappresentano motivo di contaminazione.

I risultati relativi alle indagini integrative effettuate nell'autunno del 2002 sui campioni prelevati all'esterno dello stabilimento (sondaggi S1-S13, S18), non hanno evidenziato fenomeni di contaminazione superiori ai limiti del D.M. 471 (Tabella 1-A dell'Allegato 1, "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale").

I dati analitici relativi ad ulteriori campioni prelevati all'interno dello stabilimento (sondaggi S14-S17), non hanno evidenziato fenomeni di contaminazione superiori ai limiti del D.M. 471/99 (Tabella 1-B dell'Allegato 1, " Siti ad uso commerciale ed industriale").

In accordo con le evidenze emerse in fase di perforazione, i superamenti hanno interessato esclusivamente le porzioni più profonde dell'orizzonte investigato, localizzate in corrispondenza della zona di fluttuazione della falda (*FIGURA 1*), denotando una situazione di contaminazione idroveicolata residuale ascrivibile al trasporto di fase separata esercitato dalla falda.

Il fenomeno interessa una porzione di Stabilimento ben circoscritta, in corrispondenza di una parte del parco serbatoi su cui sono già in funzione la prima e la seconda barriera di protezione.

Da ciò si deduce che lo stato di contaminazione dei campioni di terreno prelevati è totalmente attribuibile alla pregressa presenza di una “smear zone”, attualmente in fase regressiva grazie all’azione delle barriere.

Per i terreni oggetto d’investigazione non si ravvede pertanto la necessità di particolari trattamenti essendo le attività sull’acquifero (locale fonte di contaminazione per i suoli) già in atto e sostanzialmente efficienti.

3.2 Indagini sulle acque

Sulla base di quanto previsto nel documento “*Proposta di indagini integrative*”, nel periodo giugno 2002 - gennaio 2003 la raffineria ha programmato ed eseguito il campionamento dei piezometri esistenti e di quelli di nuova costruzione.

I nuovi piezometri, 11 in totale, sono stati terebrati in un’area posta sul fronte della raffineria, a valle della scarpata alluvionale del piano generale terrazzato, in accordo con quanto indicato nella “*Proposta di indagini integrative*”.

In totale i punti controllati sono controllati e così distribuiti:

- ***Piezometri falda freatica interna***

n° 40 piezometri, di cui 4 realizzati nel mese di gennaio 2003 nell’ambito dell’ordinanza sindacale del comune di Ferrera Erbognone (Pz1-Pz34, Ps1-Ps6) distribuiti su tutta l’area dello Stabilimento.

- ***Barriere e trincee di protezione***

n° 32 pozzi (S4-S15, S18, S21-S39) che costituiscono le barriere di protezione interna ed il pozzetto in cui è inserita la pompa d’aspirazione delle acque intercettate dalla trincea esterna.

- ***Piezometri di controllo della discarica di rifiuti speciali e pozzi di approvvigionamento idrico***
n° 10 punti monitorati (Est, Sud, Ovest, PD1-PD3, D1-D4) dell'anello di controllo della discarica interna di rifiuti speciali ed i pozzi per l'approvvigionamento idrico di raffineria (pozzi B, C).
- ***Piezometri falda freatica esterna***
n° 19 piezometri, di cui 11 esistenti (PA1, PA2, PA3, PA4, PA5, PA6, PA8, PA9, PA18, PA19, PA20) e 8 recentemente realizzati (PA21, PA23, PA24, PA25, PA26, PA29, PA30, PA31) costituenti l'anello di monitoraggio della falda superficiale esterna; il piezometro PA31 è stato realizzato in aggiunta a quelli indicati nel piano di indagine per la necessità di ulteriori informazioni sull'area antistante la trincea di protezione esterna.
- ***Piezometri falda artesiani sottostante e circostante lo stabilimento***
N° 8 piezometri (PA10, PA11, PA12, PA13, PA14, PA15, PA16, PA17) dell'esistente anello di monitoraggio della falda profonda sottostante lo stabilimento e n° 3 piezometri (PA22, PA27, PA28), recentemente realizzati per il monitoraggio della falda risaliente esterna.

A verifica dei risultati del piano di caratterizzazione, e nel rispetto di quanto concordato nella riunione del gruppo di lavoro del 27/03/2003, nel mese di aprile è stata programmata e realizzata una campagna di monitoraggio sulle acque di falda prelevate dai piezometri installati in corrispondenza del fronte della Raffineria, considerata l'area più critica.

L'area oggetto di verifica è quella posta nelle adiacenze della trincea di protezione esterna dove, nell'inverno scorso sono stati realizzati 11 piezometri che hanno subito un'unica verifica analitica. Ulteriori controlli sulla qualità delle acque sono stati eseguiti in corrispondenza dei piezometri posti a ridosso della terza barriera di protezione.

Nel mese di giugno 2003 inoltre è stata eseguita un'ulteriore campagna di controllo analitico estesa a tutti gli ambiti d'indagine.

I risultati relativi alle indagini integrative effettuate nel mese di aprile 2003 sono riassunti in TABELLA 1 così come i risultati relativi al mese di giugno 2003 sono riassunti nelle TABELLE 2.1÷2.5. I risultati della campagna di giugno 2003 confermano (in un caso

migliorano) e sostengono i risultati delle precedenti campagne analitiche del 2002 e dell'aprile 2003.

3.2.1 Metodologia di campionamento ed analisi sulle acque

I contaminanti oggetto di ricerca nelle acque sono indicati nel documento “*Campagna di indagini sulla qualità delle acque sotterranee sottostanti e circostanti la Raffineria – Giugno 2002*”, concordato con l’ARPA ed approvato nella Conferenza dei Servizi del 19 giugno 2002.

Gli accertamenti analitici sono stati eseguiti da un laboratorio chimico accreditato presso la Regione Lombardia ai sensi dell’Art. 37 L.R. 27 Maggio 1985 n° 62, sotto il controllo dell’ARPA di Pavia. I parametri analitici ricercati sono i seguenti:

N° ord.		Sostanze	VL (µg/l)
6	METALLI	Cadmio	5
13		Piombo	10
24	AROMATICI	Benzene	1
25		Etilbenzene	50
27		Toluene	15
28		p-Xilene	10
29	IPA	Benzo (a) Antracene	0.1
30		Benzo (a) Pirene	0.01
31		Benzo (b) Fluorantene	0.1
32		Benzo (k) Fluorantene	0.05
33		Benzo (g,h,i) Perilene	0.01
34		Crisene	5
35		Dibenzo (a,h) Antracene	0.01
36		Indeno (1,2,3-c,d) Pirene	0.1
37		Pirene	50
69		FENOLI *	2-Cloro Fenolo
70	2,4-Dicloro Fenolo		110
71	2,4,6-Tricloro Fenolo		5
72	Pentacloro Fenolo		0.5
90	ALTRE	n-esano	350
Non normato		Mtbe* (Metil-ter-Butil-Etere)	-
(*) Sostanze richieste dalla Regione Lombardia (riunione di lavoro 27/03/2001)			

Nelle campagne eseguite nel mese di aprile e giugno 2003, in linea con quanto concordato nella riunione del gruppo di lavoro del 27/03/2003, è stato effettuato il controllo dei parametri MtBE e BTEX, non ritenendosi necessaria la determinazione dei fenoli, IPA e metalli in quanto sempre assenti (inferiori al limite di rilevabilità strumentale) in tutti i campionamenti di piezometri e pozzi, compresi quelli delle barriere di protezione, finora eseguiti.

3.2.2 Risultati delle indagini sulle acque

Per tutti i campioni prelevati nel luglio e dicembre 2002 sia all'interno sia all'esterno dello Stabilimento industriale si è riscontrata la totale assenza (valori inferiori al limite di rilevabilità strumentale) dei metalli, dei fenoli e degli Idrocarburi Policiclici Aromatici; tali analiti comunque, in via cautelativa, verranno determinati durante le programmate campagne annuali delle quali la prima è prevista doversi svolgere nel settembre 2003.

L'ubicazione dei punti di monitoraggio è rappresentata in TAV. 02.1.

3.2.2.1 Piezometri falda freatica interna

I risultati delle analisi effettuate sulle acque prelevate dai 40 piezometri esistenti interni allo Stabilimento (Pz1-Pz34, PS1-PS6) hanno evidenziato per alcuni la presenza di idrocarburi aromatici (BTEX), di idrocarburi alifatici espressi come n-esano e il Metil-ter-Butil-Etere.

I valori più elevati di idrocarburi sono stati rilevati nei piezometri Pz7, Pz11, Pz15, Pz18, Pz24 e Pz27, in corrispondenza delle aree isole 9, 10 e 11, dove storicamente è stata riscontrata l'origine del fenomeno.

Nei piezometri Pz11, Pz15 e Pz18, a ridosso della prima e della seconda barriera di protezione, storicamente legata a pregresse perdite dal parco serbatoi, si rilevano le maggiori concentrazioni.

I valori tendono ad aumentare con il fenomeno di "falda bassa", riferito ai valori di contaminazione di dicembre 2002.

La contaminazione dei piezometri Pz17, Pz21, Pz22, Pz30 e PS1, anche se leggermente superiore ai limiti tabellari, è da considerarsi legata a pregresse perdite dal circuito fognario, sanate dalle opere di impermeabilizzazione a suo tempo eseguite.

I risultati delle indagini, del dicembre 2002, hanno confermato in linea generale i valori di concentrazione rilevati nel luglio 2002.

L'indagine effettuata per la ricerca del Metil-ter-Butil-Etere, pur non trattandosi di elemento normativamente e tecnicamente classificato come contaminante ai fini del procedimento di caratterizzazione e del D.M. 471/99, ha evidenziato che la sostanza è presente nei campioni generalmente contaminati da idrocarburi.

3.2.2.2 Barriere e trincee di protezione

Le acque emunte dai pozzi delle barriere di protezione denotano la presenza di contaminanti, la cui concentrazione è legata alle condizioni di esercizio.

I campioni di acque prelevate dalla prima barriera (situata a SE dell'Isola 10.A e composta di 5 pozzi (S4÷S8) nel 2002 evidenziano concentrazioni variabili sia tra i vari parametri rilevati in ogni singolo pozzo che tra i parametri di ogni singolo pozzo rilevati nei due periodi di controllo. La variabilità nella qualità delle acque è dovuta essenzialmente all'effetto del pompaggio.

I controlli effettuati sulla seconda barriera di protezione, situata lungo i lati S ed E dell'Isola 9.A, e costituita da 11 pozzi (S9÷S15), evidenziano la presenza di olio minerale e di idrocarburi aromatici con prevalenza di benzene su tutti i pozzi ad esclusione del pozzo S23, posto al margine nord della barriera.

I valori di MtBE sono inferiori a quelli riscontrati nella prima barriera, con concentrazioni sempre inferiori a 400 µg/l ed in alcuni casi (pozzi S18, S21, S22, S23) totalmente assenti.

I controlli effettuati sulla terza barriera, realizzata nel 1998, e situata lungo i lati S ed E dell'Isola 9.A, costituita da 16 pozzi (S24÷S39), mettono in evidenza il progressivo aumento dei contaminanti dal pozzo S26 sino al pozzo S39, con una distribuzione crescente per gli oli minerali e gli idrocarburi aromatici; i pozzi S34 e S35 rilevano anche i picchi di MtBE.

I valori rilevati nel periodo invernale sono mediamente superiori a quelli rilevati nel periodo estivo in relazione a dinamiche della falda che, a seconda del livello raggiunto, attiva o meno processi di scambio ed arricchimento nella porzione sommitale dell'acquifero.

Nel 1987, nell'ambito degli interventi esecutivi di prevenzione e protezione contro ogni tipo di inquinamento allora prevedibile, la Raffineria ha progettato e realizzato un manufatto per regolare ed assicurare un costante controllo di tutte le acque naturali di risorgiva alla base del terrazzo alluvionale, a sud dello Stabilimento.

I risultati dei controlli effettuati sulla trincea di protezione esterna hanno evidenziato la presenza di una contaminazione residuale di benzene ed MtBE:

<i>Data della campagna</i>		<i>Concentrazione di Benzene (µg/l – ppb)</i>	<i>Concentrazione di MtBE (µg/l – ppb)</i>
2002	Luglio	105	460
	Dicembre	80	270
2003	Aprile	226	460
	Giugno	117	253

3.2.2.3 Piezometri di controllo della discarica di rifiuti speciali e pozzi di approvvigionamento idrico

I 10 punti di controllo della discarica di rifiuti speciali ed i pozzi di approvvigionamento idrico non presentano fenomeni di contaminazione.

3.2.2.4 Piezometri falda freatica esterna

I risultati delle indagini effettuate sui 19 piezometri, di cui 11 preesistenti (PA1, PA2, PA3, PA4, PA5, PA6, PA8, PA9, PA18, PA19, PA20) e 8 recentemente realizzati (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, idrocarburi alifatici, idrocarburi policiclici aromatici, metalli, e fenoli. I piezometri PA29 e PA31, posti immediatamente a valle della trincea di protezione hanno rilevato la presenza di MtBE in concentrazioni medie di 350-400 µg/l.

I controlli ripetuti nel mese di aprile 2003 hanno sostanzialmente confermato i valori di MtBE sui piezometri PA29 e PA31 in concentrazioni variabili da 430 a 565µg/l. Le acque prelevate dal piezometro PA21, hanno rilevato ad aprile 2003 la presenza di MtBE concentrazioni trascurabili (19 µg/l) e del tutto assenti (< 5 µg/l) nel giugno 2003.

Tale piezometro sarà soggetto ad ulteriore monitoraggio per definire le effettive dinamiche della sua qualità idrochimica.

3.2.2.5 Piezometri falda artesiana 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.

La qualità delle acque della falda artesiana dimostra che, a fronte di anni di esercizio della raffineria e anche in presenza di prodotti estremamente diffusivi quale l'MtBE, tale falda è dotata di un ottimo grado di protezione, tale da impedire possibili rischi di contaminazione dall'alto in corrispondenza delle aree di Stabilimento.

3.2.3 Superficie piezometrica e Mappe di soglia

L'andamento della superficie piezometrica (febbraio 2003) è rappresentato in TAV. 02.2.

I risultati degli accertamenti analitici sulle acque sotterranee sono sinteticamente illustrati nelle mappe di soglia (*FIGURE 2.1÷2.3*) 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).

4. Sviluppo del Modello Concettuale ed obiettivi d'intervento

(ex 4. Sviluppo del Modello Concettuale)

Dai risultati delle campagne di monitoraggio, anche su base storica, (rif. documento *"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"* dell'ottobre 2001) e dalle informazioni dedotte durante le attività di caratterizzazione sullo stato dell'inquinamento e sull'assetto idrogeologico è possibile tracciare un modello concettuale definitivo il quale, data l'attuale distribuzione della contaminazione, mostra rilevanti evidenze che i più significativi fenomeni di inquinamento da idrocarburi siano datati ed abbiano avuto origine in alcune aree del parco serbatoi prodotti leggeri, con perdite pregresse di benzine e gasoli.

Lo sviluppo del fenomeno, legato alla litologia dei terreni ove è avvenuto, ha interessato, nel corso degli anni, porzioni di acquifero interne allo stabilimento, sino a raggiungere il margine meridionale dello stesso.

Durante tale processo, i suoli, o per naturale attenuazione o per dilavamento, non hanno trattenuto rilevanti porzioni di contaminante e pertanto ad oggi nessuna azione di bonifica deve essere programmata su tale matrice ambientale.

Per la complessità, di impostazione e svolgimento relativa alla predisposizione di un progetto di bonifica/messa in sicurezza e ripristino ambientale, l'Eni S.p.A. Raffineria di Sannazzaro, sulla base di quanto emerso dalle indagini integrative, ha individuato di concerto con i tecnici del gruppo di lavoro (appartenenti agli uffici preposti della Regione Lombardia, della Provincia di Pavia, delle Amministrazioni Comunali di Ferrera Erbognone e Sannazzaro de' Burgondi) le linee guida per la redazione del presente *"Progetto Preliminare di bonifica"* strutturato ed orientato ad una bonifica per fasi.

4.1 Recettori ambientali

Nelle aree interessate dalle opere di bonifica i contaminanti presenti in fase segregata nell'acquifero sono controllati dalle barriere di protezione, per cui le attività aggiuntive previste nel presente PPdB sono essenzialmente ed unicamente rivolte all'abbattimento della contaminazione presente in fase disciolta.

Nell'area immediatamente (in senso idrogeologico) a valle della Raffineria non sono presenti centri abitati, quindi si esclude la presenza di possibili recettori umani.

La falda freatica soggiacente le aree circostanti lo Stabilimento non è considerata risorsa idrica pregiata ai fini del consumo umano, anche in relazione alla presenza di sostanze utilizzate per la pratica agricola. Ciononostante al fine di recuperare almeno parzialmente la qualità delle acque di falda, la Raffineria Eni di Sannazzaro presenta una proposta di abbattimento dell'inquinamento da MtBE compatibile con l'assetto idrogeologico e ambientale delle aree individuate per l'intervento.

4.2 Controlli ambientali e piano analitico

4.2.1 Piano analitico anno 2002

Il piano, concordato con ARPA nella Conferenza dei Servizi del 19/06/2002, era il seguente:

- Campionamento e analisi semestrali (luglio e dicembre 2002), su n°100 punti di controllo:
 - 1) n° 36 Piezometri falda freatica interna (Pz1-Pz30, Ps1-Ps6)
 - 2) n° 32 Pozzi Barriere (S4-S15, S18, S21-S39)
 - 3) n° 1 punto della trincea esterna
 - 4) n° 10 Piezometri di controllo (Est, Sud, Ovest, PD1-PD3, D1-D4,)
 - 5) n° 2 Pozzi per l'approvvigionamento idrico (pozzi B, C)
 - 6) n° 11 Piezometri falda freatica esterna (PA1-PA6, PA8, PA9, PA18-PA20)
 - 7) n° 8 Piezometri falda artesiania sottostante (PA10-PA17)

- Parametri analitici ricercati: vedasi TABELLA 3 a seguito

4.2.2 Piano analitico anno 2003

- febbraio 2003, Campionamento e analisi su n°15 punti di controllo, realizzati nel periodo ottobre-gennaio 2003:
 - 1) n° 4 Piezometri falda freatica interna (Pz31-Pz34)
 - 2) n° 8 Piezometri falda freatica esterna (PA21, PA23-PA26, PA29-PA31)
 - 3) n° 3 Piezometri falda artesiania circostante (PA22, PA27, PA28)

- Parametri analitici ricercati: vedasi TABELLA 3 a seguito

- aprile 2003, campionamento e analisi su n° 27 punti di controllo:
 - 1) n° 11 Piezometri falda freatica interna (Pz20, Pz21, Pz26, Pz27, Pz29, Ps1-Ps6)
 - 2) n° 8 Piezometri falda freatica esterna (PA21, PA23-PA26, PA29-PA31)
 - 3) n° 3 Piezometri falda artesiania circostante (PA22, PA27, PA28)
 - 4) n° 4 Piezometri falda freatica esterna (PA1-PA4)
 - 5) n° 1 punto della trincea esterna

- Parametri analitici ricercati: vedasi TABELLA 3 a seguito

4.2.3 Piano analitico proposto in corso di bonifica

- Si prevede il controllo di n°115 punti:
 - 1) n° 40 Piezometri falda freatica interna (Pz1-Pz34, Ps1-Ps6)
 - 2) n° 32 Pozzi Barriere (S4-S15, S18, S21-S39)
 - 3) n° 1 punto della trincea esterna
 - 4) n° 10 Piezometri di controllo (Est, Sud, Ovest, PD1-PD3, D1-D4)
 - 5) n° 2 Pozzi per l'approvvigionamento idrico (pozzi B, C)
 - 6) n° 19 Piezometri falda freatica esterna (PA1-PA6, PA8, PA9, PA18-PA21, PA23-PA26, PA29-PA31)
 - 7) n° 11 Piezometri falda artesiania sottostante (PA10-PA17, PA22, PA27, PA28)
- Parametri analitici ricercati: vedasi TABELLA 3 a seguito

Per calibrare e monitorare la biodegradazione, sia durante la fase di sperimentazione dei campi prova, sia nel corso della realizzazione e attivazione-manutenzione di tali opere, sono previste delle analisi chimiche mirate all'acquisizione di informazioni sul chimismo delle acque, mediante controllo dei seguenti parametri:

- Parametri chimico-fisici ricercati: pH, Conducibilità, Temperatura, Ossigeno disciolto, Potenziale Redox, Alcalinità, Nitrati, Solfati, Ferro e Manganese.

Nell'ambito dei progetti definitivi verranno proposti piani analitici di dettaglio coinvolgenti le opere di monitoraggio attualmente in fase di realizzazione.

TABELLA 3 – Elenco analiti campagne di monitoraggio

N° ord.		Sostanze	ANNO	ANNO			BONIFICA	
			2002	2003	2003	2003	2004	
			Luglio Dicembre	Febbraio	Aprile	Giugno	Campagna annuale	Campagna trimestrale
6	METALLI	Cadmio	X	X			X	
13		Piombo	X	X			X	
24	AROMATICI	Benzene	X	X	X	X	X	X
25		Etilbenzene	X	X	X	X	X	X
27		Toluene	X	X	X	X	X	X
28		p-Xilene	X	X	X	X	X	X
29	IPA	Benzo (a) Antracene	X	X			X	
30		Benzo (a) Pirene	X	X			X	
31		Benzo (b) Fluorantene	X	X			X	
32		Benzo (k) Fluorantene	X	X			X	
33		Benzo (g,h,i) Perilene	X	X			X	
34		Crisene	X	X			X	
35		Dibenzo (a,h) Antracene	X	X			X	
36		Indeno (1,2,3-c,d) Pirene	X	X			X	
37	Pirene	X	X			X		
69	FENOLI	2-Cloro Fenolo	X	X			X	
70		2,4-Dicloro Fenolo	X	X			X	
71		2,4,6-Tricloro Fenolo	X	X			X	
72		Pentacloro Fenolo	X	X			X	
90	ALTRE	n-esano	X	X	X	X	X	X
Non normato		Mtbe (Metil-ter-Butil- Etere)	X	X	X	X	X	X

4.3 Obiettivi e interventi di bonifica

4.3.1 Obiettivi di bonifica

Per le sostanze con concentrazioni superiori a quanto previsto nella tabella “Acque sotterranee” dell’All.1/DM 471/99 si traggono, come obiettivi di bonifica, i valori di concentrazione limite riportati nella tabella stessa.

Per le sostanze che non sono previste dal D.M. 471/99 (MtBE), in via del tutto precauzionale ed in fase preliminare, si è ritenuto di assumere, quale obiettivo di bonifica, la concentrazione limite di 10 µg/l.

4.3.2 Interventi di messa in sicurezza/bonifica

In ragione degli obiettivi di bonifica indicati, il potenziamento del sistema di “Pump & Treat” risulterebbe di per se stesso sufficiente.

Al fine di ridurre la quantità d’acqua emunta dall’acquifero, limitando il depauperamento della risorsa idrica e minimizzando di conseguenza l’impatto ambientale ed i tempi di bonifica, si prevede di utilizzare a supporto un sistema di biodegradazione attuato con rilascio d’ossigeno, sia nella zona posta tra la terza barriera di pozzi e la trincea esterna sia a valle della trincea stessa.

4.3.3 Pianificazione di massima

Si ritiene che entro la fine del 2004 risulteranno attivi i sistemi di “Pump & Treat” ed i sistemi di biodegradazione.

Per una più accurata indicazione della pianificazione realizzativa si rinvia all’allegato calendario degli interventi.

5. Analisi delle tecnologie di bonifica e proposte d'intervento

L'intervento nel suo complesso si articola in 3 fasi o linee:

- interventi di tipo preventivo, finalizzati ad eliminare accidentali fenomeni di contaminazione da impianti e infrastrutture di Raffineria;
- interventi di messa in sicurezza e bonifica dell'acquifero soggiacente l'area dello Stabilimento;
- interventi di bonifica dell'acquifero soggiacente l'area circostante lo Stabilimento.

Il presente PPdB contiene anche la programmazione delle attività d'indagine necessarie per dettagliare il grado e l'estensione dell'inquinamento negli ambiti oggetto di bonifica

5.1 Interventi di tipo preventivo

Essendo il sito industriale in attività risulta prioritario ed essenziale, per non vanificare le attività di bonifica svolte nel passato ed attualmente in corso o in progetto, eliminare le potenziali fonti di perdita e/o controllare in modo efficace i punti critici per i quali non è possibile garantire in modo assoluto l'assenza totale di rischio.

La strategia da tempo adottata per la protezione della falda, in accordo con le autorità locali, ha portato alla predisposizione di un piano diretto ad eliminare l'origine dei fenomeni mediante la realizzazione di specifici interventi di manutenzione finalizzati ad isolare gli impianti e le infrastrutture.

Nel corso degli ultimi 20 anni sono stati programmati ed eseguiti interventi di impermeabilizzazione della rete fognaria mediante opere di ricopertura interna con calze continue in vetroresina.

Gli interventi sono stati eseguiti sul sistema fognario oleoso ed acido, inclusi i pozzetti di collegamento, interessando le tratte di maggiori dimensioni del sistema fognario stesso.

Sono state effettuate periodiche ispezioni ai serbatoi costituenti il parco di Raffineria, intervenendo ove necessario al rifacimento dei fondi. Contestualmente sono stati eseguiti

lavori di impermeabilizzazione dei terreni sottostanti i pettini dei serbatoi stessi, onde evitare eventuale percolazione di idrocarburi nel suolo.

Nell'ambito del procedimento di certificazione ISO 14001 è stato implementato il sistema di gestione ambientale (SGA) che ha portato alla formulazione di procedure e/o istruzioni operative per la:

- gestione operativa delle opere di protezione e controllo della falda (pozzi, piezometri, trincee);
- gestione operativa degli spandimenti.

Le attività di prevenzione continuano nel tempo e, anche alla luce delle problematiche emerse durante le attività di caratterizzazione, si elencano le attività previste per il periodo 2003-2004:

Circuito fognario:

- ◆ completamento dell'impermeabilizzazione delle condotte fognarie principali con metodo RELINING (calza in vetroresina rovesciata);
- ◆ Controlli ispettivi sul circuito fognario secondario.

Serbatoi di stoccaggio :

- ◆ Predisposizione di doppi fondi sulla totalità dei serbatoi di stoccaggio di MtBE, con completamento dei lavori previsto per il dicembre 2003;
- ◆ Predisposizione di un piano di controllo e monitoraggio serbatoi con tecnologie non distruttive (georadar – acustiche);
- ◆ Implementazione di un software per il controllo della tenuta dei serbatoi; attualmente tutti i serbatoi di raffineria sono dotati di misuratori di livello automatici con sensibilità di lettura inferiore ad 1 mm. Il software, utilizzando l'attuale sistema di telerilevazione, implementato tarato con gli algoritmi necessari ad eliminare le interferenze dovute ai parametri fisici (temperatura esterna, temperatura interna, insolazione, ecc..) sarà un valido strumento per il controllo di eventuali perdite, anche minime dai serbatoi di Raffineria.

5.2 Interventi di bonifica della falda

5.2.1 Analisi preliminare delle tecnologie di bonifica

Secondo quanto previsto dalla legislazione nazionale è necessario, al fine di pervenire alla bonifica delle matrici ambientali interessate, garantire per ogni matrice l'aderenza, ove possibile, ai limiti tabellari previsti dal D.M. 471/99.

Allo stato attuale la matrice d'interesse per i procedimenti di bonifica relativi alla Raffineria di Sannazzaro risulta essere la falda acquifera sottesa al sito ed alle sue pertinenze.

Le opzioni tecnologiche per la decontaminazione della falda sono essenzialmente due:

- **Sistema di trattamento attivo**, che consiste nel processo di circolazione dell'acqua in terreno saturo mediante adeguati sistemi di pompaggio;
- **Sistemi di trattamento passivo**, essenzialmente costituito da processi di Oxygen Releasing.

Il processo a circolazione di acqua è l'opzione tecnologica ad uso più comune ed ad essa si associano le tecnologie di trattamento delle acque emunte che, una volta portate a giorno, prima di procedere allo scarico o al riutilizzo, devono essere separate dalle fasi inquinanti. In linea generale la tecnologia agisce in tre fasi distinte:

- Pompaggio: permette il flussaggio di volumi di acqua "pulita" nella zona satura ed il contemporaneo recupero di acque non conformi;
- Trattamento: consente la separazione dell'inquinante dalla matrice o il suo abbattimento mediante tecniche reattive di trasformazione di natura biologica, chimica e/o chimico-fisica;
- utilizzo/riciclo delle acque conformi ed eventuali trattamenti supplementari sulle frazioni d'inquinante rimosse.

Le tecnologie di trattamento attivo presentano una criticità legata alla necessità di ottimizzare la quantità di acqua emunta, permanendo idraulicamente efficace l'opera di protezione, al fine di ridurre i volumi estratti dalla falda che non sempre possono essere convenientemente riutilizzati nel ciclo produttivo.

I trattamenti attivi risultano ottimali nel caso di acque di falda che presentano elevati tenori d'inquinante o inquinanti facilmente separabili e trattabili senza aggravii di costi ambientali, tali da giustificare l'applicazione delle usuali tecnologie di rimozione.

Per acque di falda con valori di concentrazione degli inquinanti relativamente bassi o caratterizzate dalla presenza di prodotti persistenti agli usuali trattamenti (ad esempio MtBE), tali tecnologie potrebbero non soddisfare il pareggio di un bilancio ecologico i cui termini comprendono la risorsa depauperata, i costi di trattamento e l'effettivo beneficio dell'operazione.

In tali casi risulta necessario prendere in considerazione sistemi alternativi passivi che, pur presentando eventualmente tempi maggiori di risanamento, soddisfino la necessità di pareggio del bilancio ecologico complessivo.

Gli interventi pertanto si svilupperanno, tenendo in considerazione le osservazioni sulle tipologie d'intervento, su due linee coordinate e complementari nel tempo e nelle aree di applicazione :

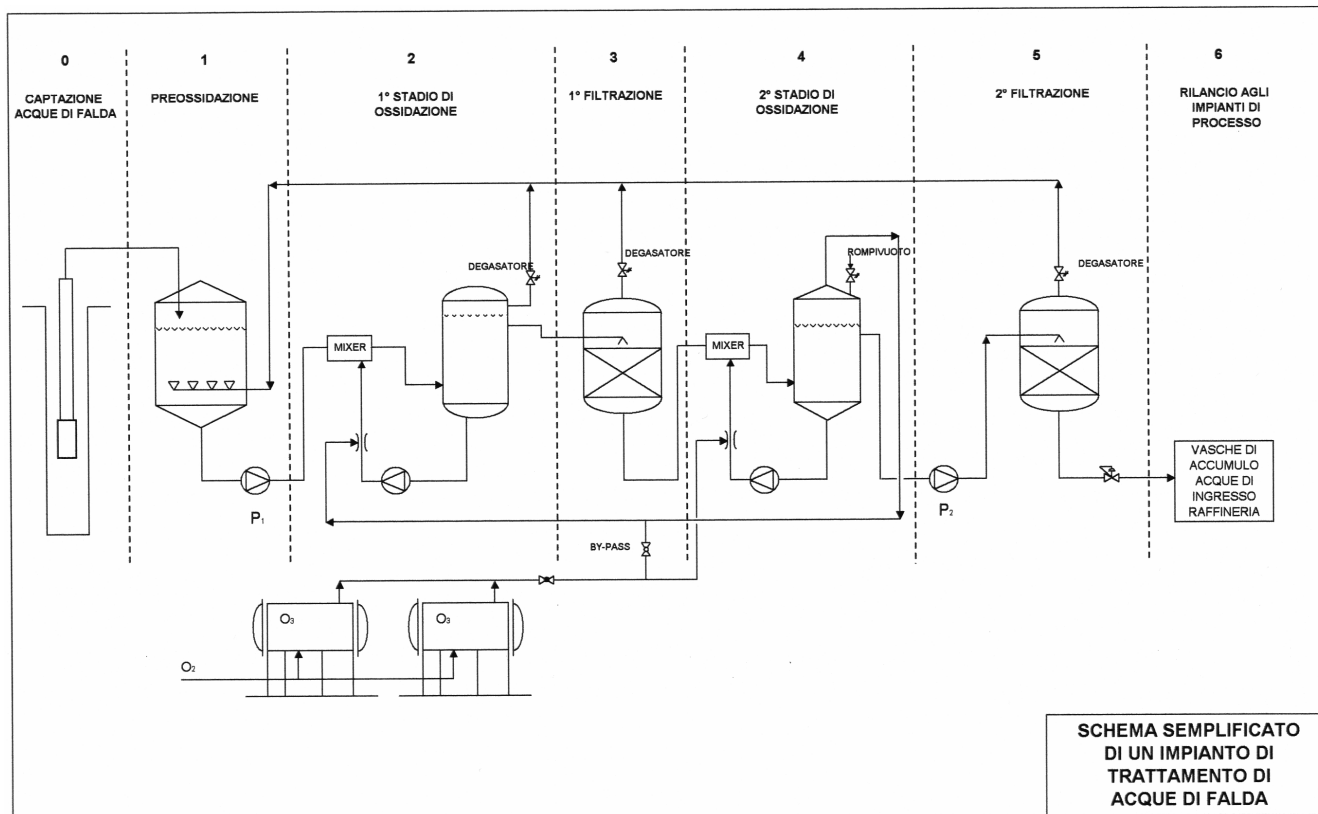
- interventi di messa in sicurezza mediante l'aumento di efficienza degli sbarramenti idraulici, sistema attivo;
- interventi di bonifica/messa in sicurezza mediante biodegradazione aerobica degli idrocarburi in falda, sistema passivo.

5.2.1.1 Interventi attivi - "Pump and Treat"

Al fine di minimizzare gli effetti delle attività di "Pump and Treat", la Raffineria ha messo in atto tre accorgimenti connessi:

- a) riduzione delle acque emunte dalle barriere mediante posizionamento integrato delle opere di captazione.
- b) riutilizzo delle acque emunte, previo trattamento finalizzato al reinserimento nel processo produttivo.
- c) Applicazione di un sistema pilota di trattamento (ozonizzazione) che riduce la formazione di by-products da sottoporre ad ulteriori trattamenti/smaltimenti, minimizzando di conseguenza l'impatto ambientale.

Per le finalità del presente documento, e secondo quanto richiesto dall'All.4/DM 471/99, è stato approntato uno schema semplificato, che illustra nel suo complesso, il ciclo emungimento – trattamento – riutilizzo.



L'uscita dell'impianto è collegata alle vasche di stoccaggio dell'acqua industriale in ingresso alla Raffineria; tale impianto ha una portata massima di 110 l/s.

L'impianto realizza un processo di doppia ossidazione/filtrazione per l'asportazione degli idrocarburi, utilizzando come ossidante l'ozono prodotto da ossigeno.

L'acqua raccolta nelle due vasche di accumulo è destinata ai diversi utilizzi industriali di Raffineria.

Di fatto i prodotti derivanti dal processo di ozonizzazione delle sostanze organiche, sono costituite da CO₂ ed H₂O.

5.2.1.2 Interventi passivi - “Bioremediation e ORC[→]”

In accordo con le linee guida emerse dal costituito gruppo di lavoro si è ritenuto dare corpo e forma progettuale ad interventi integrativi basati su pratiche di biorisanamento.

Tali interventi hanno lo scopo di:

- 1) agire su porzioni poste a valle della terza barriera e della trincea di protezione esterna in modo tale da ridurre ulteriormente la contaminazione residuale.
- 2) realizzare quanto al precedente punto (1) senza depauperare le risorse idriche senza modificare l’assetto idrogeologico dell’area, senza influenzare la funzionalità delle preesistenti barriere e senza caricare ulteriormente il processo di trattamento, il cui stream risulta ad oggi perfettamente calibrato per la potenzialità dell’impianto.

Per soddisfare tali esigenze è necessario ricorrere a sistemi di bioremediation (biorisanamento); è stato scelto e verrà sperimentato in campi prova un sistema basato sull’impiego di un composto a rilascio controllato di ossigeno, denominato commercialmente **ORC[®]**, acronimo di Oxigen Release Compound.

Si è optato per un sistema a rilascio controllato di ossigeno piuttosto che per tecnologie di “Air Sparging” in quanto già evidenti in questa fase per quest’ultime le controindicazioni sitospecifiche considerate dall’EPA ⁽¹⁾ come vincoli di inapplicabilità:

- a) esistenza di acquifero confinato (artesiano),
- b) esistenza di livelli stratificati in alternanza a materiali permeabili, semipermeabili e impermeabili,
- c) possibilità di indurre, con l’insufflaggio in pressione di aria, consistenti spostamenti di masse d’acqua inquinate.

A quanto sopra è da aggiungersi che l’installazione e la gestione di un sistema di “Air Sparging” in un sito produttivo risulta per di difficile attuazione per la presenza di strutture e sottoservizi.

La bioremediation ed in particolare la bioremediation *in situ* assistita (Enhanced *in situ* bioremediation) con utilizzo di sostanze a rilascio lento di ossigeno è una tecnologia di bonifica ampiamente sperimentata negli USA e in Canada a partire dalla metà degli anni ’90

⁽¹⁾ Cfr. “How to evaluate alternative cleanup technologies for underground storage tank sites: a guide for corrective action plan reviewers. (EPA 510-B-94-003 and EPA 510-B-95-007)”- Volume VII “Air Sparging”

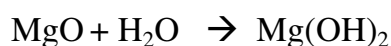
e recentemente applicata con successo anche in siti europei (Olanda, Danimarca, Inghilterra) ed italiani.

Il principio di base è costituito dall'induzione di un arricchimento di ossigeno nella zona contaminata, in modo da creare un habitat ottimale per la proliferazione dei microrganismi a metabolismo aerobico naturalmente presenti nel suolo, ed in grado di decomporre le sostanze organiche; il sistema basato su ORC^{\rightarrow} , potenziando l'efficienza dei processi aerobici naturali, permette la formazione di una barriera all'interno del plume d'inquinamento limitandone così la propagazione areale ed innescando una serie di reazioni chimiche al contatto con l'acqua.

Nell'ambiente, arricchito localmente in O_2 , si crea un habitat di proliferazione di microbi aerobici, naturalmente già presenti nel sottosuolo, in grado di spezzare le catene di molecole di un'ampia varietà di componenti organici.

L'applicazione dell' ORC^{\rightarrow} per interventi sulle falde, prevede il posizionamento del prodotto all'interno di pozzi, in quantità variabili in ragione dell'entità della contaminazione, delle caratteristiche idrogeologiche e litologiche del sito.

ORC^{\rightarrow} è una miscela di sostanze costituito essenzialmente da ossido di magnesio (MgO), perossido di magnesio (MgO_2) e una piccola percentuale di fosfato di potassio commestibile (KH_2PO_4 o K_2HPO_4); al contatto con l'acqua ORC^{\rightarrow} rilascia ossigeno: il MgO_2 consumato è convertito in $Mg(OH)_2$, la stessa reazione avviene per il quantitativo di MgO presente, che viene semplicemente idratato nella forma di idrossido, secondo le seguenti reazioni stechiometriche (Koenigsberg, Norris, 2000):



Per entrambi i costituenti, il prodotto finale della reazione risulta essere $Mg(OH)_2$. In linea generale l'utilizzo di questo sistema garantisce la biodegradazione per effetto dell'ossigenazione dell'acquifero.

Il processo di bioremediation può essere utilizzato sia per l'abbattimento degli idrocarburi sia per l'eliminazione del Mtbe.

Parecchie ricerche a scala di laboratorio descrivono con successo la mineralizzazione dell'Mtbe.

La sostanza può essere biodegradata in diversi modi, sia in condizioni aerobiche, che anaerobiche e cometaboliche.

Alcuni ricercatori hanno identificato delle semplici culture in grado di utilizzare l'Mtbe come carbone e fonte di energia, altri invece hanno sviluppato consorzi microbiologici capaci di mineralizzare l'Mtbe in condizioni aerobiche.

I rendimenti delle celle microbiologiche risultano più bassi sull'Mtbe che sugli idrocarburi aromatici (0,1-0,2 g celle/g Mtbe) ed i tassi di biodegradazione, anche se efficaci, sono in genere più lenti di quelli osservati per gli idrocarburi aromatici.

In generale, il cometabolismo dell'Mtbe è associato più strettamente ai microrganismi che crescono aerobicamente sulle catene corte degli alcani (<C8) e porta nelle sue fasi terminali alla produzione di CO₂ ed H₂O.

5.3 Interventi di bonifica dell'acquifero sottostante le aree dello Stabilimento

La presenza di prodotti idrocarburici residuali, legata ad una situazione di inquinamento "datata", è stata rilevata solo in alcune aree limitate del parco serbatoi, in corrispondenza della zona di fluttuazione della tavola d'acqua, ed influenzata dalle oscillazioni stagionali della stessa.

Le attività previste allo stato attuale, riguardano il rafforzamento delle misure di sicurezza (barriere di protezione idrauliche) dirette ad intercettare l'eventuale migrazione dei contaminanti residuali verso le aree circostanti, sino al raggiungimento della stabilizzazione idrochimica delle acque ai valori minimi ottenibili con questi sistemi e con interventi di biodegradazione degli idrocarburi residui.

Le misure di sicurezza sono dirette principalmente alla protezione dell'acquifero perché contemporaneamente bersaglio sensibile e veicolo di diffusione della contaminazione.

Esse sono ritenute fondamentali per ridurre e successivamente eliminare le concentrazioni residue presenti sul fronte della Raffineria, a valle della 3° barriera di protezione.

La situazione di contaminazione dell'acquifero, per quanto sopra, assume particolare significato in corrispondenza della terza barriera di protezione, realizzata nel 1998, e situata lungo i lati Sud ed Est dell'Isola 9 e, pertanto, gli interventi interesseranno prioritariamente queste aree.

I risultati delle campagne di monitoraggio hanno dimostrato che la contaminazione tende progressivamente ad aumentare dal pozzo S26 sino al pozzo S39, con una distribuzione crescente degli oli minerali e degli idrocarburi aromatici da NE a SW. In corrispondenza dei pozzi S34 e S35 sono state rilevate anche le maggiori concentrazioni di MtBE.

Sulla base delle conoscenze acquisite, si ritiene che il fenomeno della contaminazione dell'acquifero abbia uno sviluppo laterale a partire dal pozzo S39, con limite in corrispondenza del piezometro Ps1, in una zona non protetta da sbarramenti idraulici.

Il modello concettuale conferma l'opportunità di integrare e completare il sistema di protezione dinamica della falda freatica mediante il potenziamento della terza barriera; sarà così possibile intercettare tutto il fronte di inquinamento, riducendo conseguentemente gli effetti della contaminazione residua, attualmente presente in corrispondenza della trincea di protezione esterna.

Le elaborazioni dei dati acquisiti durante il funzionamento delle barriere esistenti, unitamente all'analisi della direzione del flusso della falda, alla geometria della contaminazione e alla dislocazione delle strutture impiantistiche e dei sottoservizi permetterà di individuare caratteristiche, estensione e posizione dei nuovi pozzi. Essi diverranno parte di un'unica barriera orientata in direzione SW/NE atta ad intercettare per un'estensione di circa 400 m il flusso della falda proveniente dalla zona impianti e parco serbatoi.

La conferma della posizione dei pozzi avverrà mediante modelli preliminari, successivamente affinati in corso d'opera; si procederà infatti, preventivamente alla loro installazione, all'esecuzione di alcuni sondaggi/piezometri nelle posizioni di massima indicate in *FIGURA 3*.

Successivamente l'analisi dei log di perforazione consentirà, caso per caso, di trasformare il carotaggio in pozzo di emungimento o, eventualmente di modificare la posizione. Questa procedura permetterà di ottimizzare la puntuale ubicazione dei pozzi e di incrementare l'efficienza della barriera.

Le attività previste sono costituite da:

- perforazione di n° **6 sondaggi/piezometri** per la caratterizzazione dei livelli litologici e dei profili di contaminazione (verticale ed orizzontale);
- determinazione dei parametri chimico fisici essenziali quali: porosità dei terreni, densità, granulometria, permeabilità, conducibilità idraulica, gradiente, ecc..
- definizione del numero di pozzi necessari al potenziamento della terza barriera di protezione;
- realizzazione delle opere di protezione;
- verifica dell'efficienza delle opere di protezione mediante la programmazione e l'esecuzione di opportuni controlli.

5.4 Interventi di bonifica previsti per la falda sottostante l'area collocata tra la 3° barriera e la trincea

Per ridurre ulteriormente i livelli di contaminazione tra le due opere di protezione (3° barriera e trincea esterna) si ritiene necessario procedere ad ulteriori interventi di bonifica/messa in sicurezza, il cui principio è costituito dalla biodegradazione aerobica.

Esso consiste nella bonifica in situ (bioremediation), con stimolazione dell'attività dei microrganismi presenti naturalmente nel sottosuolo mediante apposita tecnologia, (aggiunta di sostanze a rilascio di ossigeno ed eventualmente nutrienti) allo scopo di accelerare la degradazione biologica dei contaminanti di natura organica.

I criteri che hanno portato all'individuazione del metodo sono i seguenti:

- *criteri di efficienza:*
 - L'efficienza di rimozione è compatibile con gli obiettivi da raggiungere e con gli attuali valori di contaminazione; alcuni dati analitici riguardanti le acque di falda confermano che la bioattenuazione naturale è già in atto nell'area.
 - Oltre ad essere già ampiamente sperimentato, il metodo si è dimostrato particolarmente appropriato per eliminare i composti organici, gli unici rilevati nelle acque sottostanti lo stabilimento industriale;
 - Nell'area non sono stati rilevati focolai di contaminazione secondaria;
- *criteri di sicurezza:*
 - Le strutture necessarie all'allestimento dell'opera di bonifica non presentano caratteristiche di pericolosità intrinseca (formazione di vapori, sorgenti di innesco, ecc...) tali da comportare rischio da esplosione/incendio che costituisce elemento di elevata criticità per una raffineria in attività;
 - Non presenta rischi da esposizione per i lavoratori;
- *criteri di applicabilità:*
 - La soggiacenza della tavola d'acqua, (maggiore di 12 metri) le superfici ed i volumi in gioco sono tali da rendere applicabile solamente tecniche di risanamento "in situ", preferibilmente biologiche, il più possibile affidabili.

In via cautelativa, prima di procedere su ampia scala, si ritiene indispensabile attivare una sperimentazione in situ in scala pilota per testare la tecnica di abbattimento, le concentrazioni residue raggiungibili e la cinetica di biodegradazione.

A tal fine è stata individuata un'area di circa 600 m², in corrispondenza dei punti più rappresentativi, i pozzi S35, S36, S37, ove sono presenti anche concentrazioni significative di MTBE, su cui si opererà inizialmente in via sperimentale per determinare l'efficienza del metodo (*FIGURA 3*).

L'attività propedeutica alla prima fase di sperimentazione consisterà nell'acquisizione delle necessarie informazioni sul chimismo delle acque (O₂ disciolto, potenziale redox, conducibilità, nitrati, Fe totale disciolto, Fe²⁺, pH, Mn²⁺, solfati, alcalinità totale) per determinare i parametri operativi indispensabili (tipo e quantità di nutrienti, numero dei punti di iniezione, ecc..) alla definizione del progetto.

Successivamente saranno predisposte le strutture (punti di iniezione e di controllo) necessarie alla sperimentazione.

In particolare si ritiene che l'allestimento dei campi prova possa essere così convenientemente eseguito:

- 1) Analisi sulle acque di falda condotte sui piezometri preesistenti e/o allestiti ex-novo;
- 2) Definizione, in base ai piezometri e alle analisi di cui sopra, della distribuzione dettagliata di sostanze idrocarburiche (plume locale);
- 3) Scelta di 2-3 postazioni a massimo, medio e minimo contenuto di idrocarburi disciolti e realizzazione di un ugual numero di cluster iniezione/rilievo per l'effettiva sperimentazione in scala reale;
- 4) Applicazione ai campi prova e monitoraggio della bioremediation secondo protocolli esistenti (es. EPA) eventualmente riadattati per le attività specifiche e concordati con gli EE.PP. di controllo.

5.5 Interventi di bonifica dell'acquifero soggiacente le aree circostanti lo Stabilimento

I controlli effettuati sulle acque captate dall'opera di protezione esterna (trincea di protezione) nel periodo luglio 2002 – giugno 2003 hanno evidenziato la residua presenza di idrocarburi e MtBE, mentre la totale assenza di contaminazione da idrocarburi aromatici ed a alifatici, rilevata nei piezometri posti a valle della trincea rende evidente il grado di efficienza della stessa; l'opera è stata infatti progettata e realizzata nel 1987 per proteggere le aree antistanti la raffineria dalla contaminazione da idrocarburi e l'assenza degli stessi dopo oltre 15 anni di funzionamento è la dimostrazione più evidente della funzionalità della barriera di protezione.

I controlli effettuati sulle acque captate a valle della trincea hanno rilevato la significativa presenza di solo MtBE, infatti la sostanza è stata riscontrata in alcuni dei piezometri recentemente terebrati idrogeologicamente a valle dell'opera di protezione (PA29 e PA31). La presenza di MtBE a valle della trincea è legata alle proprietà chimico fisiche del composto, diverse da quelle degli idrocarburi. Tali proprietà rendono lo sbarramento, realizzato quando la sostanza non era ancora utilizzata nello stabilimento, in grado di captare una porzione limitata del plume di MtBE laddove tutto il plume di idrocarburi è invece completamente intercettato.

La presenza di numerosi livelli costituiti da limi sabbiosi e/o sabbie limose riconoscibili a piccola scala (da qualche millimetro sino a qualche centimetro) presenti nell'area di studio, pur non costituendo un acquicludo forniscono una valida protezione agli idrocarburi.

Essi non ostacolano in modo significativo la diffusione del MtBE rendendo vulnerabile una maggiore porzione di deposito alluvionale.

Ciò comporta la presenza del MtBE in una parte più estesa dell'acquifero, riducendo di conseguenza l'azione di contenimento della trincea, progettata per proteggere i primi metri di sottosuolo.

5.5.1 Modello concettuale e scenario preliminare di bonifica

I recettori che possono diventare bersagli dei fenomeni di contaminazione sono essenzialmente di due tipi: recettori umani e recettori ecologico-ambientali, tra i quali sono predominanti la vegetazione e la vita animale.

Le modalità di esposizione per la prima categoria sono essenzialmente legate ad inalazione di vapori, ingestione accidentale di terreno o acqua, contatto dermico approvvigionamento idrico; le modalità di esposizione della seconda categoria sono legate all'impatto diretto dell'inquinante sull'ecosistema, sulle specie animali o vegetali.

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.

La falda superficiale è comunque confinata verso l'alto da uno strato di materiale impermeabile, come evidenziato dalle caratteristiche litostratigrafiche dei sedimenti che, nei primi metri di profondità, sono costituiti da orizzonti limo-sabbiosi e limo-argillosi alternati tra loro e di potenza variabile, sino a quote di -5 m dal p.c., soprattutto a ridosso della scarpata del terrazzo alluvionale.

Per il MtBE, in via del tutto precauzionale ed in fase preliminare, si è ritenuto di assumere, quale obiettivo di bonifica delle acque, la concentrazione limite di 10 µg/l.

Allo stato attuale, sia a livello nazionale sia a livello europeo sono in atto studi finalizzati alla determinazione delle caratteristiche tossicologiche del MtBE e, pertanto, non risulta ancora fissato un limite definitivo di concentrazione massima ammissibile della sostanza nelle acque di falda. In fase di bonifica, sarà verificata l'adeguatezza degli obiettivi di bonifica con eventuali nuove indicazioni della comunità scientifica.

5.5.2 Valutazioni sitospecifiche relative all'MtBE

Il Metil ter-Butil Etere è un composto organico ossigenato di sintesi utilizzato in sostituzione del piombo tetrametile e tetraetile con la funzione di additivo antidetonante per la produzione di benzine da autotrazione, nella cui composizione a Sannazzaro, rientra in percentuale inferiore al 2,5%.

La sostanza non è inserita nell'elenco aggiornato delle sostanze pericolose ai sensi della vigente direttiva europea 67/548/CEE concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura delle sostanze pericolose.

In base alle sue proprietà chimico-fisiche non ha caratteristiche tossicologiche di cancerogenicità, mutagenicità o pericolosità per il ciclo riproduttivo.

Dalla letteratura sono state desunte le più importanti informazioni che caratterizzano il Metil ter-Butil Etere. Le proprietà che lo differenziano dagli idrocarburi che compongono la benzina sono il coefficiente di distribuzione carbonio organico-acqua K_{oc} ($\log K_{oc} = 1,04$) e la solubilità in acqua (43.000 – 54000 mg/l @ 25°C).

Il coefficiente di distribuzione carbonio organico-acqua K_{oc} è un buon indicatore della tendenza di un inquinante ad essere adsorbito dalla frazione organica della matrice solida di un suolo e/o acquifero. L'MtBE presenta un K_{oc} decisamente inferiore rispetto ai composti della benzina, per cui è la sostanza che viene meno trattenuta/adsorbita dalla matrice solida del terreno.

La velocità di trasporto di un contaminante dipende dall'adsorbimento; minore è l'adsorbimento e maggiore è la velocità di trasporto del contaminante.

L'adsorbimento di MtBE da parte della componente organica della matrice solida dell'acquifero può essere stimato, in condizioni ideali, (presenza di minerali dotati di particolari proprietà elettriche quali limi e argille) sino a 5 volte inferiore a quella del benzene.

L'eventuale incremento della frazione organica nella matrice solida tende ad aumentare ulteriormente il ritardo nel trasporto degli idrocarburi rispetto al MtBE.

Il rapporto tra la velocità di trasporto di un contaminante in falda e la velocità di filtrazione effettiva dell'acqua è definita "*fattore di ritardo*"; il fattore di ritardo del MtBE è praticamente uguale ad uno e pertanto risulta essere la componente più mobile di una benzina che entra in contatto con una falda idrica.

La solubilità del MtBE in acqua è l'altro parametro importante che influisce sul comportamento ambientale della sostanza; esso presenta una solubilità 25 volte maggiore al benzene (idrocarburo maggiormente solubile).

Il potenziale di biodegradazione della sostanza risulta essere più basso degli idrocarburi a causa di alcuni fattori che impongono la necessità di procedere ad una adeguata verifica sperimentale sitospecifica, basata sulle condizioni effettivamente riscontrate nelle matrici delle varie aree d'intervento di raffineria.

I piezometri realizzati all'esterno dello stabilimento tra il novembre 2002 ed il gennaio 2003, nell'area posta a valle della scarpata alluvionale del piano generale terrazzato (piano di indagini integrative), hanno fornito dati utili all'impostazione preliminare di un modello analitico della distribuzione di MtBE al di fuori dei limiti di stretta pertinenza della Raffineria.

Tale modello, ancora allo studio, è stato applicato in modo speditivo per determinare gli ordini di grandezza plausibili per il fenomeno di migrazione del plume di MtBE e, pertanto, a tutt'oggi è suscettibile di affinamenti e tarature, apportabili con i dati dei futuri monitoraggio periodici.

Il modello è basato su un algoritmo costituito da un'equazione di trasporto convettivo-dispersivo in forma semplificata ⁽²⁾.

L'applicazione dell'algoritmo, compatibile sia per le caratteristiche dell'acquifero sia per la natura della contaminazione, è stata eseguita nelle condizioni conservative, considerando quale fonte virtuale continua di contaminazione il piezometro di controllo esterno posto a

⁽²⁾ Cfr. G.P. Beretta – Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee - Pitagora Editrice Bologna, 1992

maggiore distanza dalla raffineria nel quale è stata riscontrata la presenza di MtBE con valori medi di 400 µg/l. (Piezometro PA29).

Assumendo cautelativamente (ipotesi peggiore) il coefficiente di dispersione longitudinale con il valore più elevato (αl uguale a 100 m) ed utilizzando i parametri idraulici relativi all'area di falda a valle del terrazzo, è stato osservato che in tali condizioni la zona di plume con concentrazioni superiori a 10 µg/l perverrrebbe al primo recettore ambientale, il Colatore Riazzolo, solo tra 3-4 anni. L'ipotesi che tale colatore, posto circa 1000 m a valle del piezometro, possa essere considerato bersaglio sensibile per concentrazioni di MtBE superiori a 10 µg/l è anch'essa del tutto cautelativa perché il corso d'acqua è di interesse ambientale non rilevante per valori naturalistici e per l'utilizzazione delle acque.

L'applicazione dell'algoritmo in un procedimento a ritroso (deconvoluzione) dimostra che i valori medi registrati al piezometro PA29 (400 µg/l) non si accordano con una potenziale fonte di contaminazione di MTBE posta all'interno della Raffineria e attiva in un periodo compreso tra i 10 ed i 15 anni .

Tale valore dovrebbe infatti risultare di qualche ordine di grandezza superiore a quello attualmente riscontrato.

E' pertanto da ritenersi ipotizzabile la presenza di agenti in grado di bloccare fisicamente la zona più concentrata del plume: essi sono identificabili nelle opere di sbarramento che, a partire dal parco serbatoi fino alla scarpata del terrazzo morfologico, hanno rallentato ed impoverito il progredirsi della contaminazione verso aree esterne, bloccando così l'alimentazione delle zone marginali del pennacchio d'inquinamento.

Se il processo di modellizzazione, ancora in itinere ed attualmente basato essenzialmente su dati rilevati in un numero ridotto di campagne e quindi affinabile nel futuro, confortasse primi risultati emersi, potrà essere confermato che:

- l'area di plume con concentrazioni di MtBE superiori a 10 µg/l non è ancora pervenuta ad alcun bersaglio sensibile;
- 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.

Nell'area attualmente interessata dal fenomeno non sono presenti insediamenti abitativi e neppure pozzi di approvvigionamento idrico; è pertanto da escludere anche la presenza di possibili ricettori umani raggiungibili da eventuali fenomeni di contaminazione.

I risultati, seppure parziali, dell'applicazione dei modelli, l'assenza di bersagli umani, la natura del mezzo attraverso il quale avviene la migrazione del MtBE (acquifero superficiale) che per sua conformazione non costituisce una via di esposizione agli eventuali ricettori ecologico-ambientali a causa della segregazione dello stesso verso l'alto, permettono di definire nell'ordine di 3-5 anni i tempi massimi d'intervento, ampiamente compatibili con quanto proposto dalla raffineria, che prevede di mettere in funzione le ultime opere di potenziamento degli sbarramenti e l'approntamento delle attività di bonifica entro il prossimo anno.

Va comunque evidenziato che la qualità delle acque sottostanti è già parzialmente compromessa dalla diffusa presenza di altre sostanze indesiderabili (quali gli erbicidi) e non riferibili ai processi dello stabilimento industriale, come rilevato dalle recenti indagini integrative, con valori generalmente superiori ai limiti per le acque potabili ed in alcuni casi, anche superiori ai limiti del D.M. 471/99 (sommatoria delle concentrazioni).

5.5.3 Scelta della tecnologia di bonifica

Anche per la scelta della tecnologia di bonifica da applicare nelle aree circostanti lo stabilimento vale quanto precedentemente descritto, in quanto le tecniche che attualmente permettono la rimozione del MtBE dall'acquifero consistono in:

- tecnica di rimozione mediante sistemi attivi;
- tecnica di biorisanamento.

A fronte delle modeste concentrazioni di MtBE presenti nella falda, l'applicazione dei soli sistemi di bonifica attivi porterebbe all'emungimento di elevate quantità di acqua con lo sviluppo di sistemi di trattamento estremamente complessi, i cui costi di approntamento, di gestione e di energizzazione risulterebbero difficilmente giustificabili, soprattutto dal punto di vista ambientale.

Per eliminare tale sostanza è pertanto ritenuto vantaggioso utilizzare tecniche integrate di biorisanamento e contenimento infatti, per creare le condizioni favorevoli alla totale eliminazione del contaminante con i processi di biorisanamento è comunque ritenuto indispensabile l'applicazione di un sistema attivo in combinazione con quello passivo.

Il processo è necessario per interrompere in maniera selettiva il flusso della sostanza nell'area posta sul fronte della trincea esterna; il processo sarà realizzato utilizzando la tecnica delle barriere idrauliche, intercettando parzialmente il flusso delle acque sotterranee sottostanti la trincea stessa, mediante la creazione di uno sbarramento costituito da pozzi/piezometri.

La scelta è dettata principalmente dalla necessità di ridurre il fenomeno in tempi brevi, compatibile soltanto con una drastica interruzione dell'apporto del MtBE a valle della trincea.

Le opere di sbarramento saranno progettate con l'obiettivo di non modificare l'equilibrio idrodinamico creatosi ai piedi della scarpata alluvionale dopo la costruzione dell'opera di sbarramento esterno (trincea) che, dopo 16 anni di funzionamento sta dimostrando tutta la propria efficienza nel contenimento degli idrocarburi.

Gli interventi non dovranno in alcun modo favorire il richiamo concentrato di contaminanti presenti idrogeologicamente a monte e, pertanto, non è prevista l'installazione di ulteriori sbarramenti quali impermeabilizzazioni, barriere fisiche, trincee profonde, ecc.

Al tal fine si prevedono i seguenti interventi:

- definizione dei livelli litologici e dei profili di contaminazione (verticale ed orizzontale) in corrispondenza della trincea mediante perforazione di **n° 6 - 8 piezometri** equidistanti tra loro ad interessare tutta la lunghezza della trincea;
- determinazione dei parametri chimico fisici essenziali quali: porosità dei terreni, densità, granulometria, permeabilità, conducibilità idraulica, gradiente idraulico, ecc..
- definizione del numero di pozzi e piezometri necessari ad intercettare il flusso di contaminanti con particolare attenzione all'attuale equilibrio idrogeologico dell'area.
- realizzazione delle opere di bonifica;
- controllo e monitoraggio degli interventi di bonifica.

Analogamente a quanto previsto durante la fase di sperimentazione dei test di degradazione biologica effettuati in corrispondenza della terza barriera di protezione, anche nell'area esterna saranno acquisiti gli elementi necessari sul chimismo delle acque (O_2 disciolto, potenziale redox, conducibilità, nitrati, Fe totale disciolto, Fe^{2+} , pH, Mn^{2+} , solfati, alcalinità totale) per verificare l'applicabilità della tecnologia di biodegradazione naturale mediante biostimolazione.

L'acquifero posto a valle della trincea, come precedentemente descritto, è in condizioni di semi artesianità e pertanto si renderà necessario verificare l'applicabilità del metodo alle caratteristiche idrogeologiche, prima di passare alla successiva fase realizzativa.

6. Computo metrico e costi

6.1 Computo metrico

Sono attualmente in atto dei sistemi di messa in sicurezza ed emungimento di acqua, che saranno integrati da ulteriori opere di emungimento, la cui portata addizionale si prevede non supererà i 20-30 l/s; la portata addizionale deriverà dal potenziamento della terza barriera e dal potenziamento della trincea di protezione esterna.

L'azione della bioremediation interesserà porzioni di acquifero aventi un deflusso naturale computabile nell'ordine delle decine di l/s.

6.2 Costi

Allo stato attuale non è possibile pervenire, date le attività integrative in atto, ad un computo affidabile dei costi di bonifica.

Nelle successive fasi di progettazione di dettaglio, allorché saranno disponibili più precise informazioni, verranno evidenziati i computi dei costi secondo lo schema di break-down presentato in allegato.

7. Risultati dello studio per la verifica dello stato di efficienza del sistema di raccolta delle acque reflue

Al fine di definire l'attuale stato di efficienza del sistema fognario, di raccolta e di stoccaggio delle acque reflue, si è provveduto a commissionare uno “*Studio funzionale e idraulico del sistema di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche di dilavamento dell'area della Raffineria*”, ad una qualificata società di Ingegneria, esperta nel settore.

Lo studio ha avuto i seguenti principali obiettivi :

- 1) Verifica idraulica della rete fognaria di Raffineria;
- 2) Verifica del sistema di stoccaggio delle acque meteoriche;
- 3) Verifica idraulica dell'impianto di sollevamento

I contenuti del suddetto studio sono di seguito riassunti:

Descrizione della rete fognaria

La rete fognaria è costituita da 3 reti principali che convogliano tutte le acque drenate, all'impianto di depurazione. Da questo, una volta trattate, vengono scaricate nel canale di scarico della Raffineria, che si immette più a valle nel Colatore Riazzolo.

Le 3 reti principali sono:

- a) rete oleosa;
- b) rete meteorica n. 1;
- c) rete meteorica n. 2.

La rete oleosa, distinta in due sottoreti principali che si congiungono nel pozzetto che precede la vasca API di disoleatura, drena sia l'acqua meteorica sia l'acqua di processo.

La rete meteorica n. 1 drena l'acqua meteorica, proveniente dal dilavamento delle superfici pavimentate potenzialmente inquinate, che confluisce ad un pozzetto di raccolta in cui si immettono anche le due condotte provenienti dall'uscita della vasca API. Dal pozzetto di confluenza, due condotte si immettono nel pozzetto che alimenta la stazione di pompaggio alla depurazione e nel quale è presente un dispositivo di sicurezza chiamato “pozzetto di sfioro”.

La rete meteorica n. 2 drena l'acqua meteorica proveniente dall'area occupata da parcheggi ed uffici e l'acqua di uso civile, il cui contributo è però molto modesto. Dal pozzetto di sfioro, una condotta arriva alla stazione di pompaggio, in cui confluisce (tramite una condotta) anche la rete meteorica n. 2.

Tutte le reti fognarie adducono ad una stazione di sollevamento posta in testa all'impianto di depurazione. Il carico in ingresso all'impianto di depurazione è pari, mediamente, a 650 m³/h in tempo asciutto ed a 800 m³/h in tempo di pioggia. La portata di acqua meteorica raccolta dalla rete fognaria inviabile direttamente alla depurazione, è quindi di 150 m³/h. La portata eccedente è sollevata ai volumi di accumulo, costituiti da una vasca di 20.000 m³, da un serbatoio di 22.000 m³ e da due serbatoi di 36.000 m³ cad. normalmente destinati allo stoccaggio del petrolio grezzo.

Studio della pluviometria

A) Dati pluviometrici utilizzati per la verifica idraulica della rete fognaria e dell'impianto di sollevamento.

Dato il carattere aleatorio degli eventi di pioggia, la descrizione del regime delle piogge intense si deve fondare su un'analisi statistica delle osservazioni pluviometriche. In particolare è necessario conoscere la legge secondo la quale varia, al variare della durata, l'altezza di precipitazione caratterizzata da un certo grado di rarità. Questa relazione è detta curva di probabilità pluviometrica. Per caratterizzare il grado di rarità dei valori di altezza di precipitazione in millimetri (h), si fa ricorso al concetto di tempo di ritorno T. Si definisce tempo di ritorno del valore h, la lunghezza dell'intervallo di tempo T (anni) per la quale il valore di h è mediamente superato una volta.

Per l'individuazione dei valori, sono disponibili i dati della stazione pluviometrica di Voghera e le analisi statistiche delle piogge intense per Cascina Scala (Pavia) e l'area metropolitana di Milano.

I massimi annui di altezza di precipitazione della stazione pluviometrica di Voghera, sono stati ricavati dalla consultazione degli Annali Idrologici di Parma (Parte I), pubblicati a cura dell'Ufficio Idrografico Italiano. I dati adottati si riferiscono agli anni dal 1930 al 1989, per i quali sono disponibili i massimi annui relativi alle durate comprese fra 0,5 e 24 ore. Le informazioni sul regime pluviometrico di Pavia sono state ricavate da una pubblicazione che fornisce le curve di probabilità pluviometrica con tempo di ritorno di 5 anni, elaborate utilizzando i dati registrati dal 1988 al 1997 presso i due pluviografi di Cascina Scala, per durate comprese fra 1 minuto e 12 ore.

Per la località di Sannazzaro de'Burgondi, non è stato possibile fare riferimento alla curva di probabilità pluviometrica di Voghera, in quanto, pur essendo Voghera la stazione

geograficamente più vicina fra quelle considerate, non fornisce informazioni per le precipitazioni di brevissima durata. Si è ritenuto opportuno, pertanto, adottare la curva di probabilità pluviometrica di Pavia (elaborata utilizzando dati dal 1988 al 1997), che ha il vantaggio di risultare completa anche per le durate dell'ordine di pochi minuti.

La verifica idraulica di una rete fognaria, oltre a richiedere la conoscenza del legame intercorrente fra l'altezza e la durata della precipitazione, richiede necessariamente la conoscenza della distribuzione temporale della precipitazione.

Nel caso di una fognatura, è importante che la distribuzione temporale dello ietogramma adottato per il calcolo di verifica, riproduca il più correttamente possibile i picchi dell'intensità di pioggia, dai quali dipende in larga misura il valore della portata al colmo. Il più usato è lo ietogramma di tipo Chicago, che viene costruito imponendo che, per qualsiasi durata inferiore alla durata totale dello ietogramma, l'intensità di pioggia sia pari a quella fornita dalla curva di probabilità pluviometrica. Nello studio considerato si è adottato pertanto, lo ietogramma di progetto di tipo Chicago caratterizzato da una durata totale di 2 ore, con posizione del picco centrale.

B) Dati pluviometrici utilizzati per la verifica del sistema di stoccaggio delle acque meteoriche

La verifica del sistema di stoccaggio delle acque meteoriche è stata effettuata prendendo in considerazione i valori delle altezze di precipitazione giornaliera registrati negli ultimi 10 anni dalla stazione pluviometrica di Pavia (Cascina Scala).

Risultati dello studio

1. Reti Fognarie

Lo Studio non ha evidenziato problemi relativi al dimensionamento, al funzionamento e/o a possibili fenomeni di esondazione;

2. Sistema di stoccaggio

Lo studio ha evidenziato che anche nelle situazioni più critiche i volumi sono sufficienti, con riferimento ad un tempo di ritorno di dieci anni.

3. Sistema di sollevamento

La verifica effettuata sul sistema di sollevamento delle acque drenate dalle reti fognarie di Raffineria nelle condizioni più gravose, in corrispondenza di piogge di elevata

intensità e con tempo di ritorno di cinque anni, ha evidenziato alcune criticità di breve durata (10- 15 minuti)

Ipotesi di interventi

Al fine di rimuovere le criticità rilevate, è in corso una valutazione tecnica tra le seguenti ipotesi di intervento:

- a) Adeguamento della capacità di sollevamento sino al valore di picco evidenziato in corrispondenza di eventi meteorici di elevata intensità e breve durata;
- b) Realizzazione di un sistema di stoccaggio atto a raccogliere il volume d'acqua di esubero.
- c) Soluzione intermedia tra le due.

La soluzione tecnica sarà dettagliata in un progetto preliminare che il cui completamento è previsto entro il prossimo mese di ottobre 2003.

8. Programmazione e gestione delle attività

Le attività del presente “Progetto Preliminare di bonifica” saranno soggette ad un calendario la cui prima stesura di massima è riportata in allegato.

Data la natura delle attività proposte è possibile definire con una certa precisione le tempistiche previste per l'installazione delle opere di protezione e di bonifica, mentre sono in corso di valutazione i tempi necessari al completamento delle attività di bonifica, questi ultimi essendo funzione delle cinetiche di biodegradative in fase di sperimentazione.