

Consorzio BASI Ambiente Aquater	CLIENTE BORMIA S.p.A. in Liquidazione	CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
	LOCALITÀ Cengio/Saliceto	REL. 02			
	PROGETTO Intervento sul sito Cengio/Saliceto	Fog. 1 di 112	Rev.		
		0			

BORMIA S.P.A. IN LIQUIDAZIONE
SITO DI CENGIO SALICETO

PROGETTO PRELIMINARE DI BONIFICA

RELAZIONE GENERALE

Aquater	Comm. 1803A0	Bontempo Crestaz Davani Fehervari Ferragina Giusti	Rossi	
	REL. 6001	Marangon Fenzi	Mocciaro	Moratto
	Rev. 0 Data: aprile '02	Elaborato	Verificato	Approvato

0	Emissione	Aquater	Aquater	BASI	aprile '02
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 2 di 112	Rev.			
	0			

I N D I C E

1	SOMMARIO	6
2	CONCLUSIONI	7
	2.1 <i>Situazione attuale del sito</i>	<i>7</i>
	2.2 <i>Sito specificità</i>	<i>8</i>
	2.3 <i>Trattabilità dei rifiuti e dei terreni contaminati</i>	<i>9</i>
	2.4 <i>Interventi proposti</i>	<i>9</i>
3	OGGETTO	12
4	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	12
	4.1 <i>Normativa di riferimento</i>	<i>12</i>
	4.2 <i>Documenti di riferimento</i>	<i>13</i>
	4.3 <i>Sistema qualità</i>	<i>15</i>
5	INQUADRAMENTO GENERALE	16
	5.1 <i>Stratigrafia e idrogeologia</i>	<i>16</i>
	5.1.1 <i>Lineamenti litostratigrafici dei terreni affioranti</i>	<i>18</i>
	5.1.2 <i>Stratigrafia di dettaglio del sito</i>	<i>19</i>
	5.1.3 <i>Inquadramento idrogeologico</i>	<i>23</i>
	5.2 <i>Caratterizzazione della formazione marnosa</i>	<i>27</i>
	5.2.1 <i>Attività svolta ed analisi dei risultati</i>	<i>28</i>
	5.2.2 <i>Risultati delle prove di permeabilità</i>	<i>35</i>
	5.2.3 <i>Considerazioni conclusive</i>	<i>41</i>
	5.3 <i>Modello matematico di flusso</i>	<i>42</i>
	5.3.1 <i>Calibrazione del modello: conclusioni generali</i>	<i>42</i>
	5.3.2 <i>Simulazioni</i>	<i>45</i>
	5.4 <i>Riferimenti bibliografici</i>	<i>49</i>
6	OBIETTIVI DEGLI INTERVENTI	50
	6.1 <i>Premessa</i>	<i>50</i>
	6.2 <i>Descrizione</i>	<i>51</i>
7	DESCRIZIONE DELL'INQUINAMENTO	53
	7.1 <i>Premessa</i>	<i>53</i>
	7.2 <i>Diffusione della contaminazione nei terreni</i>	<i>55</i>
	7.3 <i>Diffusione della contaminazione nelle acque di falda</i>	<i>65</i>
	7.3.1 <i>Sintesi dei caratteri qualitativi delle acque di falda per zone</i>	<i>75</i>

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 3 di 112	Rev.			
	0			

7.4 *Caratteri tossicologici e di pericolosità dei contaminanti* 78

8. RASSEGNA DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA APPLICABILI AI RIFIUTI E AI TERRENI CONTAMINATI DEL SITO **81**

8.1 *Specificità del sito* 81

8.1.1 Volumi dei materiali oggetto di intervento 81

8.2 *Analisi delle possibili tecnologie di intervento sui rifiuti* 81

8.2.1 Rifiuti contenuti nei bacini di lagunaggio 81

8.2.2 Altri rifiuti contenuti nel sito 82

8.3 *Analisi delle possibili tecnologie di intervento sui terreni* 83

8.3.1 Screening preliminare 84

8.3.2 Screening tecnologico di dettaglio 87

8.4 *Conclusioni* 100

8.5 *Bibliografia* 101

9 ANALISI DI RISCHIO **103**

10 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI **105**

10.0 *Interventi di bonifica adottati* 105

10.1 *Descrizione delle tecnologie di messa in sicurezza adottate* 106

10.2 *Stima dei volumi dei terreni e dei rifiuti oggetto degli interventi* 109

11 CRONOGRAMMA DEGLI INTERVENTI **112**

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Eq. 4 di 112	Rev.			
	0			

Annesso 1 - Figure

Figura 2.4.a	Situazione finale dell'area
Figura 5.1.a	Carta geologica
Figura 5.1.2.a	Tracce di sezione
Figura 5.1.2b-d	Sezioni geologiche
Figura 5.1.2.e	Distribuzione terreni di riporto
Figura 5.1.2.f	Spessori dei residui di lavorazione industriale
Figura 5.1.2.g	Spessori dei terreni alluvionali
Figura 5.1.3.a	Piezometria Aprile 2000
Figura 5.1.3.b	Piezometria Agosto 2000
Figura 5.1.3.c	Piezometria Gennaio 2001
Figura 5.1.3.d	Spessore del terreno insaturo
Figura 5.1.3.e	Soggiacenza della falda
Figura 5.2.a	Ubicazione delle prove di permeabilità tipo Lugeon
Figura 5.2.1.a	Andamento del substrato marnoso
Figura 5.2.2	Distribuzione permeabilità
Figura 6.a	Suddivisione delle aree
Figura 7.3.a	Acque sotterranee – Ubicazione pozzi/piezometri
Figura 7.3.b	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - Solfati
Figura 7.3.c	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - Alluminio
Figura 7.3.d	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - Arsenico
Figura 7.3.e	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - Ferro
Figura 7.3.f	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - Manganese
Figura 7.3.g	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - Piombo
Figura 7.3.h	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - Benzene
Figura 7.3.i	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - Tetracloroetilene
Figura 7.3.l	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - o-cloroanilina
Figura 7.3.m	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - p-nitroclorobenzene
Figura 7.3.n	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - Clorobenzene
Figura 7.3.o	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - Betanaftolo
Figura 7.3.p	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - Meta-amminofenolo
Figura 7.3.q	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni - Naftalene
Figura 7.3.r	Acque sotterranee – Distribuzione delle concentrazioni – Acido 1,6-naftalendisolfonico
Figura 10.a	Misure di messa in sicurezza
Figura 11.a	Cronogramma 1
Figura 11.b	Cronogramma 2

Consorzio BASI

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 5 di 112	Rev.			
	0			

Annesso 2 - Tavole

Tav. 7a	Distribuzione dell'Arsenico nei terreni: risultati delle analisi di laboratorio
Tav. 7b	Distribuzione del Mercurio nei terreni: risultati delle analisi di laboratorio
Tav. 7c	Distribuzione delle Ammine Aromatiche nei terreni: risultati delle analisi di laboratorio
Tav. 7d	Distribuzione dei composti Aromatici Alogenati nei terreni: risultati delle analisi di laboratorio
Tav. 7e	Distribuzione dei Fenoli non Clorurati nei terreni: risultati delle analisi di laboratorio
Tav. 7f	Distribuzione degli IPA nei terreni: risultati delle analisi di laboratorio
Tav. 7g	Distribuzione dei Nitrobenzeni nei terreni: risultati delle analisi di laboratorio
Tav. 7h	Distribuzione dei composti NS, AQS nei terreni: risultati delle analisi di laboratorio
Tav. 7i	Distribuzione della contaminazione - Carta di sintesi
Tav. 7l	Distribuzione della contaminazione - Carta di sintesi insaturo Zona A2

Allegato 1

Prove Lavaggio Terreni - BORMIA Spa in liquidazione.

Allegato 2

Rel. 03 – Analisi del Rischio sito-specifica- Zona A2 . Consorzio BASI – Aprile 2002.

Allegato 3

Rel. 04 – Fattibilità di interventi di bonifica con metodi chimico fisici e biologici – Pianrocchetta – Consorzio BASI – Luglio 1997.

Allegato 4

Tabelle: Caratteri tossicologici e di pericolosità dei contaminanti.

Allegato 5

Stima dei costi degli interventi.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Eq. 6 di 112	Rev.			
	0			

1 SOMMARIO

L'elaborazione del Progetto Preliminare del sito di Cengio/Saliceto si è basata su:

- l'Accordo di Programma del Dicembre 2000;
- l'analisi dei livelli di inquinamento basata sulle risultanze del Piano di Caratterizzazione;
- le opere di messa in sicurezza d'emergenza in corso o progettate;

Il Progetto Preliminare si divide in due parti:

- Parte 1: di carattere generale;
- Parte 2: che comprende i diversi progetti funzionali di bonifica,

La parte generale (Rel. 02) è formata dai capitoli che trattano i seguenti argomenti:

- l'inquadramento generale del sito,
- le conclusioni del modello matematico di flusso,
- gli obiettivi degli interventi,
- la descrizione dell'inquinamento,
- la rassegna delle tecnologie di bonifica applicabili ai rifiuti e ai terreni contaminati,
- l'analisi di rischio sito specifica per la Zona A2 (Rel. 03),
- la descrizione degli interventi,
- il cronogramma degli interventi,
- i costi degli interventi.

La seconda parte comprende i progetti di bonifica con misure di sicurezza e di messa in sicurezza permanente delle Zone:

- A1 (Rel. 11),
- A2 (Rel. 12),
- A3 (Rel. 08),
- A4 (Rel. 09),
- il progetto del setto di separazione tra Zone A1 e A2 (Rel. 07),
- il piano di demolizione degli edifici obsoleti (Rel. 05),
- il progetto del riposizionamento dello scarico ITAR (Rel. 10),
- il progetto delle opere arginali (Rel. 06)
- il piano di gestione dei materiali (Rel. 04).

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Eq. 7 di 112	Rev.			
	0			

2 CONCLUSIONI

2.1 Situazione attuale del sito

L'analisi dei livelli di inquinamento ha messo in evidenza che i rifiuti e i terreni contaminati sono caratterizzati da:

- una contaminazione di tipo misto dovuta alla presenza contemporanea di inquinanti organici ed inorganici,
- forti eteropie di facies e granulometriche nei livelli stratigrafici dei terreni,
- anisotropia delle concentrazioni e delle tipologie dei composti inquinanti rilevati nei rifiuti e nei terreni,
- completa commistione dei rifiuti con i terreni di riporto tali da renderli indistinguibili.

Attualmente la contaminazione del sito presenta le seguente distribuzione per zona:

- Zona A1
Sono presenti rifiuti e terreni contaminati per una volumetria complessiva di circa 1 290 000 m³ a cui vanno sommati i 300 000 m³ dei reflui salini presenti nei bacini di lagunaggio per i quali sono già state avviate le attività per il trattamento e lo smaltimento,
- Zona A2
Sono stati rilevati solo terreni contaminati da composti organici e inorganici. I volumi di terreni contaminati della zona insatura ammontano a circa 150 000 m³.
- Zona A3
Sono presenti circa 310 000 m³ di terreni contaminati mentre i rifiuti ("collinette") ammontano complessivamente a circa 200 000 m³.
- Zona A4
In tale zona, esterna all'area di stabilimento, sono presenti rifiuti che ammontano a circa 200 000 m³.

A tali materiali vanno aggiunti i terreni di scavo provenienti dalle opere di contenimento e drenaggio (303 000 m³) e i materiali di risulta delle demolizioni (60 000 m³).

Pertanto, globalmente, si configura una situazione del sito con abbancamenti disordinati di rifiuti, in alcuni casi in condizioni di non sicurezza, e di terreni variamente contaminati nelle diverse zone come sinteticamente rappresentato nel grafico successivo.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Eq. 8 di 112	Rev.		
	0		

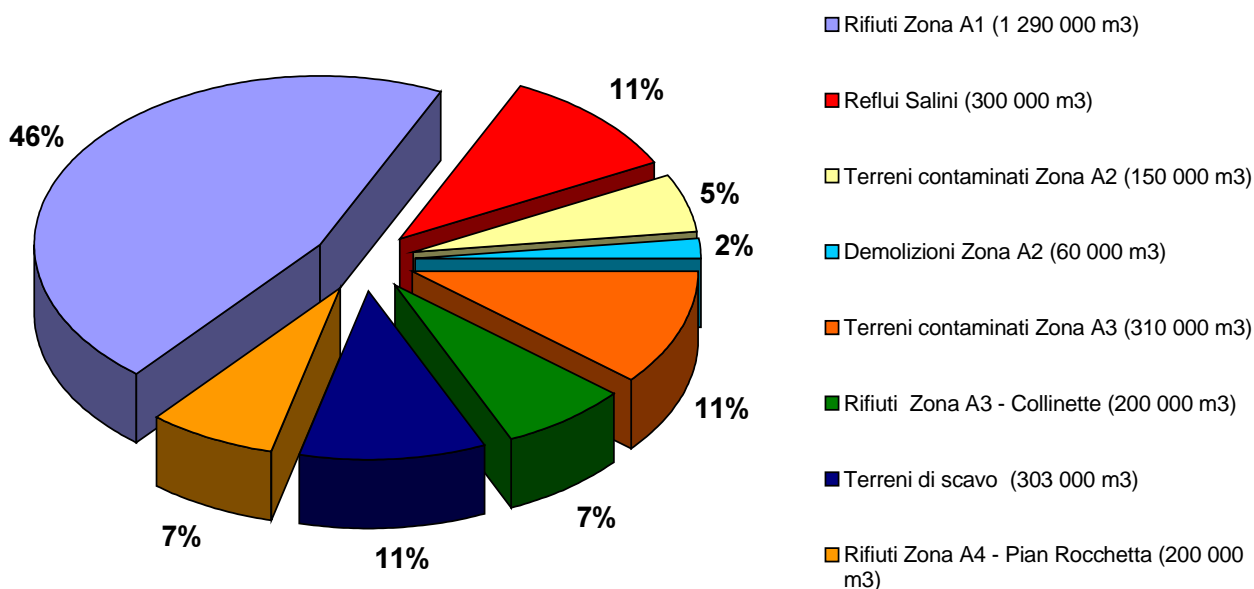


Fig. 2.1.a Distribuzione attuale dei materiali contaminati

2.2 Sito specificità

I principali fattori sito specifici che hanno guidato le scelte di intervento sono i seguenti:

- l'esigenza di assicurare la fruibilità di aree bonificate ai fini dei processi di reindustrializzazione;
- i volumi considerevoli di rifiuti e terreni contaminati presenti nel sito (circa 2 813 000 m³);
- la presenza in Zona A1 di una rilevante volumetria (1 590 000 m³) di rifiuti e terreni contaminati;
- le caratteristiche di tossicità dei rifiuti che impongono di ridurre al minimo la loro movimentazione;
- la presenza del substrato marnoso impermeabile e la realizzazione di nuove opere arginali di contenimento e drenaggio;
- la conseguente messa in sicurezza permanente delle acque sotterranee;
- lo co-presenza nei terreni e nelle acque di una contaminazione da composti organici (organosolfonici, fenoli, ammine aromatiche, nitroaromatici, aromatici clorurati, nitro-cloroaromatici) ed inorganici (metalli pesanti);
- la presenza nel sito di un impianto di trattamento delle acque reflue (ITAR) dedicato al trattamento del percolato che unitamente alle misure di contenimento e drenaggio permette un naturale dilavamento dei terreni saturi.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 9 di 112	Rev.			
	0			

2.3 Trattabilità dei rifiuti e dei terreni contaminati

Nella zona A1 viene realizzato un importante intervento di bonifica dei rifiuti ivi abbancati che consiste nello smaltimento previo essiccamento dei rifiuti salini (300 000 m³) stoccati in dieci bacini impermeabilizzati.

Per gli altri rifiuti oltre a valutazioni di tipo bibliografico sulle possibili alternative di trattamento sono state riconsiderate le risultanze dei test di trattabilità eseguiti nel passato per i rifiuti di Pianrocchetta, ritenuti rappresentativi della tipologia dei rifiuti del sito.

Il risultato dello screening tecnologico mette in chiara evidenza l'impossibilità di una detossificazione dei rifiuti.

In Zona A1 la presenza di importanti volumetrie di rifiuti e terreni contaminati (1.290.000 m³) rende inoltre improponibile la loro movimentazione.

Per quanto riguarda lo screening delle tecnologie applicabili ai terreni contaminati, assieme ai test di trattabilità eseguiti nel passato per i materiali di Pianrocchetta, sono state considerate le risultanze delle prove di lavaggio dei terreni contaminati effettuate presso BORMIA S.p.A.

L'unico approccio tecnologico di bonifica possibile per i terreni, può avere (per i limiti della tecnologia) come obiettivo le CLA per i siti ad uso industriale o commerciale. Obiettivo peraltro raggiunto con l'escavazione selettiva dei terreni che si è dimostrata, nell'esperienza derivante dagli interventi in corso, come una tecnica in grado di consentire la selezione di importanti quantitativi di terreno entro i limiti delle CLA per uso industriale o commerciale.

Inoltre è da sottolineare l'inefficacia di tale tecnologia (separazione per vagliatura delle frazioni contaminate e lavaggio dei terreni e delle frazioni contaminate da organosolfonici) a raggiungere le CLA per i siti residenziali.

Pertanto per la specificità del sito non risulta proponibile dal punto di vista tecnico economico qualsiasi ipotesi di trattamento dei terreni contaminati con tale tecnologia.

2.4 Interventi proposti

Le considerazioni sopra espone assieme ai fattori sito specifici indicati ivi considerate le previste opere arginali di contenimento e drenaggio (inquadrate come misure d'emergenza i cui criteri di dimensionamento confermano la loro adeguatezza come misure di sicurezza permanente) hanno confermato gli obiettivi di intervento di risanamento ambientale, delineate dall'Accordo di Programma, che prevedono:

- Zona A1: demolizione degli edifici obsoleti, smaltimento dei reflui salini, messa in sicurezza permanente nell'area dei rifiuti e dei terreni contaminati provenienti dalla bonifica delle aree del sito e restituzione a verde dell'area;

CONTRATTO DI3419/00/FG/I	
REL. 02	
Fg. 10 di 112	Rev.
	0

- Zona A2: demolizione degli edifici obsoleti ed inutilizzabili ai fini della reindustrializzazione, bonifica per asportazione dei terreni della zona insatura e bonifica con misure di sicurezza dei terreni della zona satura e delle acque sotterranee;
- Zona A3: bonifica per asportazione dei rifiuti e dei terreni contaminati e restituzione a verde;
- Zona A4: bonifica per asportazione dei rifiuti e restituzione a verde;

L'Analisi di Rischio sito specifica eseguita a verifica di quanto previsto in termini di risanamento ambientale della zona A2 conferma la validità di tali interventi.

Un adeguato controllo post-operam consentirà il monitoraggio dell'efficacia degli interventi di risanamento ambientale

Nella figura successiva viene evidenziata la situazione finale del sito in relazione alla distribuzione dei materiali.

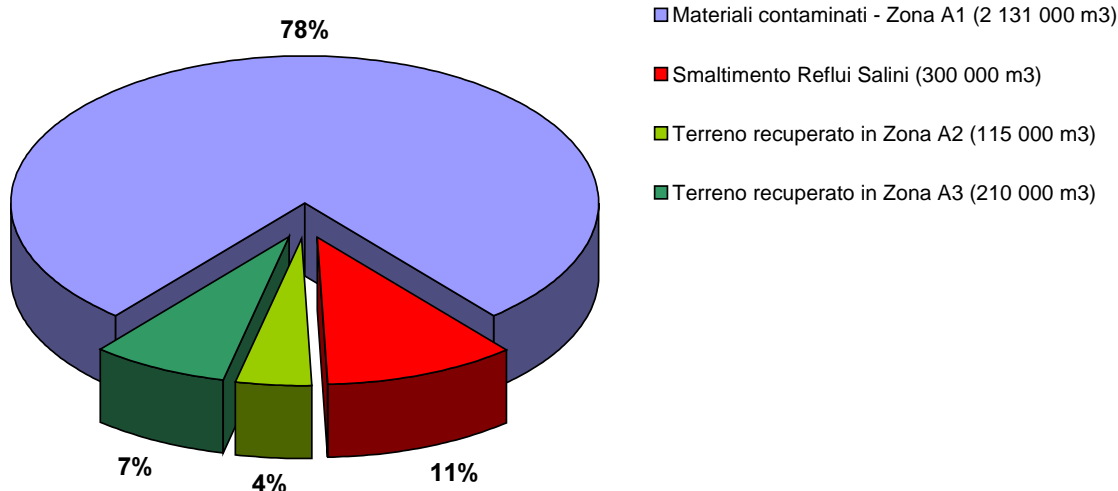


Fig. 2.4.a Distribuzione futura dei materiali contaminati

La tempistica degli interventi di ripristino ambientale dà ovviamente priorità allo smaltimento dei reflui salini e alle misure di messa in sicurezza d'emergenza. Ciò comporta che la bonifica delle Zone A2, A3 (ad esclusione delle collinette) e della Zona A4 procedano progressivamente con lo svuotamento dei bacini di lagunaggio.

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 11 di 112	Rev.			
	0			

Prioritari risultano inoltre essere, per motivi funzionali, i progetti di demolizione delle strutture obsolete e il riposizionamento dello scarico ITAR.

L'insieme di tutti questi interventi consentirà l'avvio per fasi successive del processo di reindustrializzazione del sito.

Nella figura 2.4.a allegata viene fornita una simulazione fotografica della situazione futura.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 12 di 112	Rev.			
	0			

3 OGGETTO

Il consorzio BASI è stato incaricato con il contratto DI3419/00/FG/1 di redigere il Progetto Preliminare di Bonifica del sito Cengio/Saliceto.

L'oggetto del lavoro è l'ottemperanza di quanto previsto al punto 2.2 dell'Accordo di Programma del 04/12/2000 lettere b, c, d, e, f, ovvero la redazione del Progetto Preliminare di bonifica del sito BORMIA che consistono in:

- definizione degli obiettivi, degli interventi di risanamento ambientale e delle modalità operative degli interventi da eseguire nel sito di Cengio/Saliceto in accordo con le normative vigenti e con quanto previsto nell'Accordo di Programma sopra citato;
- il dimensionamento preliminare degli interventi da realizzare nell'ambito del sito BORMIA;

4 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

4.1 Normativa di riferimento

Il progetto in esame è stato redatto nel rispetto della Legislazione Nazionale e Regionale vigente. In particolare:

- [1] Decreto 18 settembre 2001, n. 468 "Regolamento recante: <<Programma nazionale di bonifica e ripristino ambientale>>".
- [2] Legge 23 marzo 2001, n. 93 "Disposizioni in campo ambientale".
- [3] Decreto Ministeriale del 25 ottobre 1999, n. 471 "Regolamento recante criteri procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del Decreto Legislativo 22/97 e successive modificazioni ed integrazioni", (G.U. n. 293 del 15 dicembre 1999).
- [4] Accordo di Programma ai sensi dell'art.9, comma 4, del Decreto del Ministero dell'Ambiente del 25/10/1999, relativo al completamento degli interventi di messa in sicurezza d'emergenza nonché per la realizzazione degli interventi di bonifica e ripristino ambientale dei siti di proprietà dell'ACNA C.O. S.p.A. in Liquidazione dei comuni di Cengio e Saliceto, del 4 dicembre 2000.
- [5] Testo aggiornato del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152, recante "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676 CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole", a seguito delle disposizioni correttive ed integrative di cui al Dlgs 18 agosto 2000 n. 258.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 13 di 112	Rev.			
	0			

- [6] D.M. 11 marzo 1998, n. 141 "Regolamento recante le norme per lo smaltimento in discarica dei rifiuti e per la catalogazione dei rifiuti pericolosi smaltiti in discarica".
- [7] D.M. 5 febbraio 1998 "individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti a procedure semplificate di recupero ai sensi degli Art. 31 e 32 del Dlgs. 05/02/1997, n. 22.
- [8] Decreto Legislativo 22/97 "testo aggiornato del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n.22, recante – attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti e 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi, 92/62/CEE sugli imballaggi e sui rifiuti da imballaggi" (G.U. n. 237 del 28 Novembre 1997).
- [9] Circ. Min. LL.PP., 24 giugno 1993 n. 37406/STC L. 5/11/1971, n. 1086. Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche, di cui al D.M. 14/2/1992.
- [10] D.M. LL.PP., 14 febbraio 1992. Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- [11] D.M. 11/03/1988 Ministero Lavori Pubblici - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- [12] Deliberazione del Comitato Interministeriale. Smaltimento Rifiuti 27 Luglio 1984 di cui all'art.5 del decreto Presidente della Repubblica 10 Settembre 1982, n.951 "Disposizioni per la prima applicazione dell'articolo 4 del decreto del Presidente della Repubblica 10 Settembre 1982, n. 915, concernente lo smaltimento dei rifiuti." (G.U. 13-9-1984, n. 253 suppl.).
- [13] D.M. 24/03/1982 Ministero Lavori Pubblici e Ministero dell'Interno - Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento.

4.2 Documenti di riferimento

Per la redazione del presente progetto sono stati presi a riferimento i seguenti documenti:

- a) Consorzio B.A.S.I. "Intervento sul sito di Cengio/Saliceto progetto preliminare zone A1, A3, A4" Comm. 1800A0, Rel. 16, rev.0, Agosto 2000.
- b) Consorzio BASI "Caratterizzazione del sito ACNA – Rapporto finale " Comm. 1802A0, Rel. 12, rev.0, Aprile 2001.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 14 di 112	Rev.			
	0			

- c) "Opere di contenimento Basso Piave – Il fase" progetto esecutivo Tecnimont del 3/07/1990.
- d) S.G.I Studio Geotecnico Italiano "Opere di contenimento zona Parshall " rif. 5203/16 del 5/12/1994.
- e) S.G.I Studio Geotecnico Italiano "Opere di contenimento zona Parshall " rif. 5203/22 del 23/1/1995.
- f) S.G.I Studio Geotecnico Italiano "Opere di contenimento zona Parshall " rif. 5203/32 del 3/04/1995.
- g) S.G.I Studio Geotecnico Italiano "Opere di contenimento zona B" rif. 5593/SL/1612 dell'8/05/1997.
- h) S.G.I Studio Geotecnico Italiano "Opere di contenimento zona B " rif. 5593/12 del 26/06/1997.
- i) S.G.I Studio Geotecnico Italiano "Opere di contenimento e drenaggio zone A-B, B-C, C-D, D-E" rif. 5756/22rev1 del 31/05/1999.
- j) S.G.I Studio Geotecnico Italiano "Opere di contenimento e drenaggio zone Ponte Donegani e lato ferrovia" rif. 5929/03 rev1 del 28/01/2000.
- k) Verbale definitivo della Conferenza dei Servizi del 10/12/2001, convocata ai sensi della legge n.241/90 per acquisire le intese ed i concerti previsti dall'Art. 17 D.Lgs. 22/97 e dall'Art.15 D.M. 471/99 in materia di approvazione dei progetti di bonifica concernente il sito di interesse nazionale di Cengio/Saliceto.
- l) Verbale definitivo della Conferenza dei Servizi del 25/10/2001, convocata ai sensi della legge n.241/90 con regolare nota Prot. n.10262/RiBo/DI/B del 19/10/2001 e relativa ai progetti che riguardano il sito di interesse nazionale di Cengio/Saliceto.
- m) Consorzio B.A.S.I. "Messa in sicurezza di emergenza delle collinette mediante asportazione e deposito provvisorio in area Basso Piave" Ottobre 2001. Rel. 27 rev. 0.
- n) Consorzio B.A.S.I. "Bonifica area collinette esterne al muro di cinta" Progetto preliminare Maggio 2000. Rel.11 rev. 0.
- o) Consorzio B.A.S.I "Bilancio idrogeologico dell'area dello stabilimento di Cengio (Savona) dell'ACNA CHIMICA ORGANICA S.p.A. in Liquidazione" Maggio 2000. Rel. 014 rev.0.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 15 di 112	Rev.			
	0			

- p) Consorzio B.A.S.I. "Caratterizzazione ambientale del sito Pian Rocchetta" Giugno 1997.
- q) Consorzio B.A.S.I. "Piano di risanamento dello stabilimento Acna C.O. in Liquidazione di Cengio (SV). PARTE F. Caratterizzazione substrato marnoso". Rel. 09, rev.0 del Giugno 1998.
- r) S.G.I. Studio Geotecnico Italiano "Opere arginali, di contenimento e drenaggio per le piene del fiume Bormida" rif. 5908/47 rev1 del 18/09/2000.
- s) Consorzio B.A.S.I. "Rapporto relativo alla realizzazione di n°. 6 sondaggi profondi" Comm. 1802A0, Rel. 20, rev.0 del Marzo 2001.

4.3 Sistema qualità

Nell'ambito del sistema qualità aziendale Aquater, certificato ai sensi dello standard UNI EN ISO 9001, le attività oggetto della presente caratterizzazione sono state realizzate secondo il quadro generale delineato nelle procedure operative:

- OPR.206 "Preparazione ed identificazione degli elaborati di progetto";
- OPR.304 "Bonifica siti inquinati e risanamento ambientale".

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 16 di 112	Rev.			
	0			

5 INQUADRAMENTO GENERALE

Lo Stabilimento BORMIA S.p.A. in Liquidazione di Cengio (SV) è ubicato in corrispondenza di un'ansa del fiume Bormida (Fig. 5.a), che prima della costruzione dello Stabilimento, presentava una morfologia con almeno tre ordini di terrazzi fluviali, in seguito livellati con materiale di riporto per la costruzione degli impianti di produzione. Il corso stesso del fiume, intorno agli anni '20, venne deviato per la realizzazione di aree di lagunaggio, successivamente riempite di scarti di lavorazione (Fig. 5.b).

L'area attuale dello Stabilimento ha la forma di una mezzaluna contornata nella parte S-W-N, per circa 2500 m dal fiume Bormida ed a N-NE dalla ferrovia Torino - Savona. L'estensione del sito comprensivo dell'area di Pianrocchetta è di circa 670 000 m², con quote che si attestano mediamente sui 400 m s.l.m.

5.1 Stratigrafia e idrogeologia

L'area studiata fa parte del Bacino Terziario Piemontese che rappresenta un'ampia depressione rapidamente subsidente instauratasi posteriormente alle fasi tettonogenetiche responsabili della messa in posto delle unità tettoniche alpine.

La successione stratigrafica, costituita da sedimenti clastici sovrapposti al basamento pre-cenozoico raggiunge una potenza di 4.000 m e costituisce una monoclinale debolmente immergente a nord-ovest.

Nelle figure 1 e 2 è rappresentato lo schema dei rapporti stratigrafici e la cronostratigrafia delle formazioni appartenenti al Bacino Terziario Piemontese.

La base della successione è rappresentata dai conglomerati e dalle arenarie della Formazione di Molare, discordante e trasgressiva sul substrato pre-cenozoico. Al di sopra di essa giacciono le formazioni di Rocchetta e di Monesiglio che costituiscono i principali termini litologici affioranti nell'area studiata in dettaglio. La Formazione di Rocchetta risulta prevalentemente costituita da marne a cui si alternano lateralmente e verticalmente intercalazioni arenacee. Nella sovrastante Formazione di Monesiglio prevalgono nell'area invece episodi di tipo torbiditico rappresentati da corpi arenacei.

La stratigrafia di questi depositi è stata studiata in dettaglio da Gelati (1968), Gelati e Gnaccolini (1980), Cazzola et Al., (1981). Ciò che risulta evidente dai vari schemi stratigrafici è la discontinuità laterale, a livello regionale, dei vari corpi torbiditici, in gran parte dovuta alla frammentazione tettonica sinsedimentaria del bacino (Gelati e Gnaccolini, 1980; Cazzola et Al., 1981). Le peliti associate verticalmente e lateralmente ai corpi torbiditici si presentano con caratteri locali molto differenti (Cazzola et Al. 1981). In certi casi esse rappresentano gli equivalenti laterali e distali dei corpi torbiditici e di conseguenza contengono quantità più o meno rilevanti di strati arenacei sottili.

Cazzola e Sgavetti (1984) evidenziano una fase iniziale di subsidenza controllata da dislocazioni verticali con conseguente confinamento dei corpi torbiditici in depressioni di estensione limitata ed una successiva fase di subsidenza gradualmente più uniforme che determina corpi torbiditici a geometria tabulare.

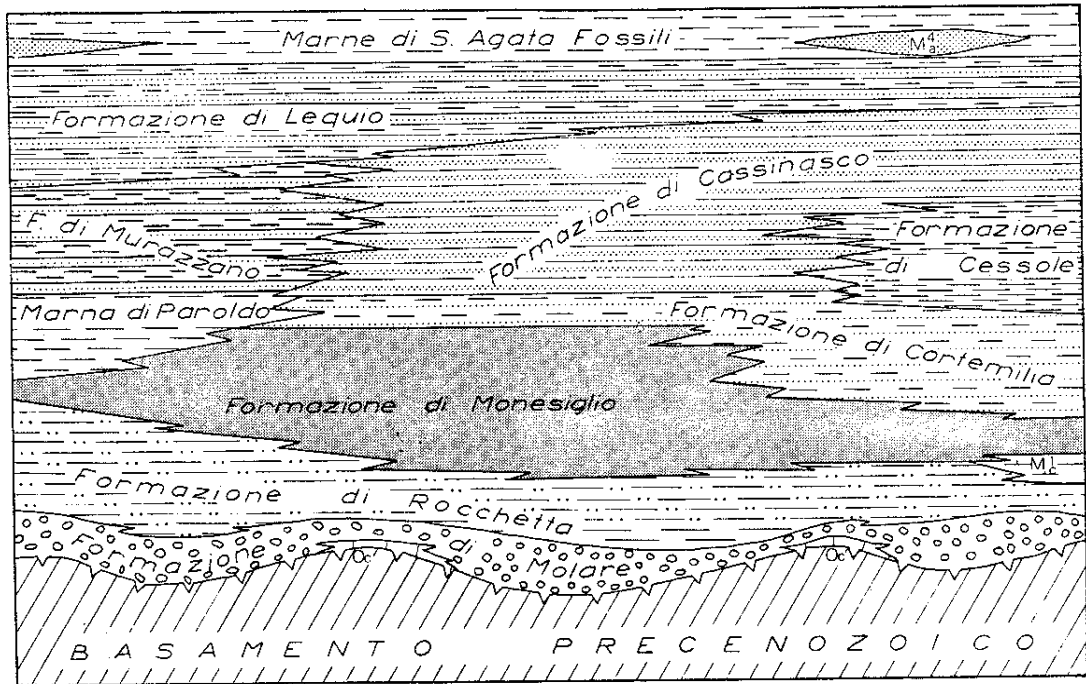


Fig. 1 - Schema dei rapporti stratigrafici delle formazioni appartenenti al Bacino Terziario Piemontese.

(Francani V. et Al. 1971)

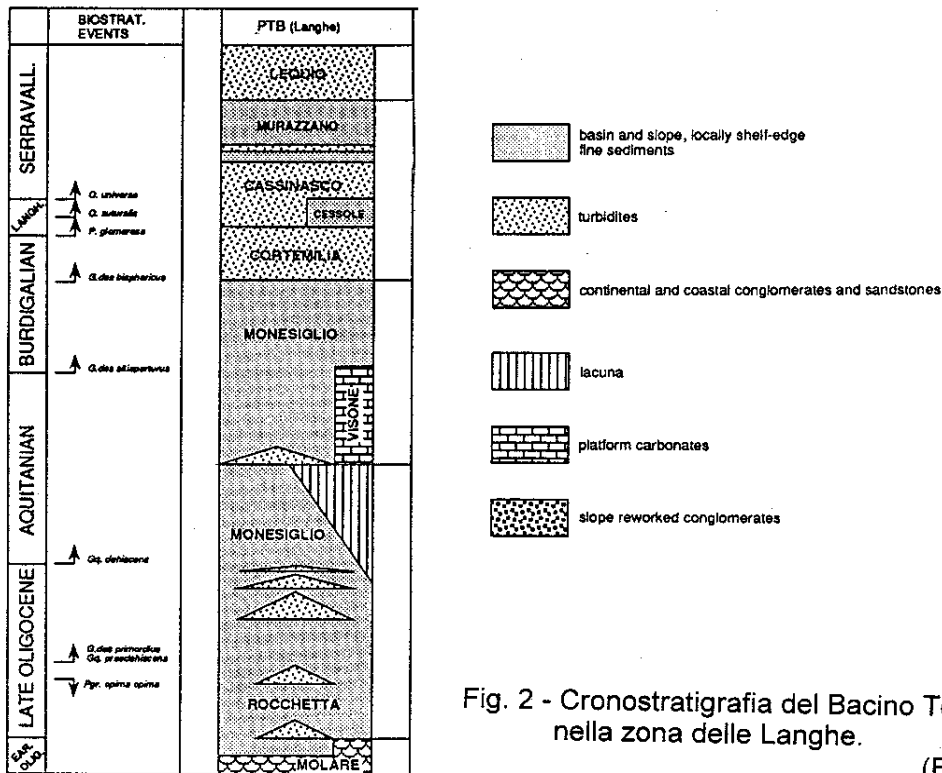


Fig. 2 - Cronostratigrafia del Bacino Terziario Piemontese nella zona delle Langhe.

(Faletti P. et Al. 1984)

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 18 di 112	Rev.			
	0			

Le formazioni del Bacino Terziario Piemontese sono state interessate da una serie di dislocazioni che hanno determinato il ribassamento di alcuni blocchi rispetto ad altri. Tali fenomeni sono da mettere in relazione prevalentemente al basculamento di tutto il settore delle Langhe occidentali, occorso tra il Pleistocene sup. e l'Olocene, che ha modificato anche la morfologia e l'idrografia di tutta la regione provocando una intensa azione erosiva dei corsi d'acqua con notevole incisione del talweg.

5.1.1 Lineamenti litostratigrafici dei terreni affioranti

In particolare nell'area affiorano tipi litologici appartenenti alle seguenti formazioni (vedere Fig. 5.1.1.a).

Depositi alluvionali attuali e recenti

Affiorano in corrispondenza del fondo valle del Fiume Bormida e lungo i principali corsi d'acqua che drenano i versanti circostanti. Sono rappresentati da depositi medio grossolani con matrice sabbioso limosa; lo Stabilimento poggia su tali terreni.

Depositi alluvionali terrazzati antichi

Sono rappresentati da materiale non classato, costituito da blocchi e ciottoli arrotondati di rocce cristalline in una matrice siltoso sabbiosa rossastra. Affiorano lungo il crinale a nord-est del Bric Rama.

Formazione di Monesiglio

Giace stratigraficamente al di sopra della Formazione di Rocchetta. Nell'area è rappresentata da arenarie in banchi di potenza metrica separati da sottili intercalazioni marnose e da alternanze di livelli marnosi e arenacei. I tipi litologici arenacei sono costituiti da quarzo prevalente e subordinata muscovite e frammenti di rocce cristalline in matrice calcitica. La marna, talora siltoso-sabbiosa, è grigia o grigio-azzurra, divisibile in scaglie.

La Formazione di Monesiglio è legata solo in parte a condizioni di normale sedimentazione marnosa, prevalgono infatti vistosi episodi torbiditici di carattere prossimale, responsabili della sedimentazione dei potenti livelli sabbioso arenacei. Microtorbiditi sono invocate da Gnaccolini (1968) per spiegare le sottili sequenze ritmiche di tipo arenaceo marnoso. Nell'area rilevata lo spessore della formazione è di circa 100 m.

Formazione di Rocchetta

Affiora nelle immediate adiacenze dello Stabilimento ACNA ad esclusione della porzione sud-orientale. Si tratta di una formazione rappresentata da marne di colore grigio o grigio azzurro, spesso divisibili in scaglie o lamine sottili con intercalazioni arenacee. Nella parte superiore della formazione i due tipi litologici si alternano ritmicamente.

La Formazione di Rocchetta è dovuta in gran parte a sedimentazione normale, di tipo pelagico, con limitati episodi torbiditici. Nell'area rilevata è stato valutato, sulla base dei dati di perforazioni, uno spessore della formazione di circa 150 m.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 19 di 112	Rev.			
	0			

5.1.2 Stratigrafia di dettaglio del sito

Come già emerso dai risultati delle precedenti indagini, nel sottosuolo dello Stabilimento si riscontra una sovrapposizione di depositi di varia natura, costituiti, partendo dalla superficie, da:

1. terreni di riporto: le parti superficiali del sottosuolo dello Stabilimento sono costituite, senza apparente interruzioni, da un deposito, a spessore variabile, di materiale riportato di natura eterogenea, nel quale si riconoscono, con maggiore frequenza, terreni naturali rimaneggiati ed inerti di varia origine.
2. depositi alluvionali: rappresentano i terreni soggiacenti al materiale di riporto e formano il sistema dei terrazzi fluviali sul quale si è insediato, e sviluppato, lo Stabilimento. In termini strettamente litologici, per i quali si rimanda ai paragrafi seguenti per una descrizione di maggior dettaglio, le litofacies osservate sono riconducibili principalmente a sedimenti sabbioso-ghiaiosi, con presenza variabile, comunque consistente, di matrice fine, sabbioso/limosa. Pur essendo presenti orizzonti maggiormente classati, la caratteristica generale di questi depositi è comunque quella di mostrare una ridotta selezione del sedimento.
3. substrato marnoso: i depositi alluvionali poggiano su un substrato litoide di natura marnosa, con subordinati livelli arenacei, ascrivibile alla sovracitata Formazione di Rocchetta, che, in transizione alla copertura, sviluppa, in maniera discontinua, una coltre d'alterazione di spessore variabile che raramente raggiunge i due metri di spessore.

La locale sequenza litostratigrafica è schematizzata nelle sezioni interpretative riportate nelle Figg. 5.1.2.b÷d (le cui tracce di ubicazione sono evidenziate in Fig. 5.1.2.a) che consentono una rapida visualizzazione della distribuzione delle principali tipologie dei depositi presenti nel sito.

Terreni e materiali di riporto

Il sottosuolo dell'area è caratterizzato, praticamente su tutta la superficie (ad esclusione di alcune zone all'esterno del muro di cinta), dalla presenza di terreni di riporto sia di natura inerte che costituiti da residui di natura industriale.

Nella Fig. 5.1.2.e vengono riportate le isopache dei terreni riportati elaborati con il metodo Kriging, mentre nella Fig. 5.1.2.f viene riportato lo spessore dei residui di lavorazione industriale e dei materiali non inerti.

I terreni di riporto inerti sono costituiti prevalentemente da sabbia sciolta e limo con abbondanti clasti eterogenei, sia a spigoli vivi che arrotondati, con frequente presenza di manufatti di materiale da costruzione. Questi materiali si presentano estremamente eterogenei e sebbene prevalgano le granulometrie più grossolane, con abbondanza di frammenti di calcestruzzo, laterizi, spesso sono proprio questi ultimi, assieme alle caratteristiche organolettiche (colore, odore, ecc.), a consentire un'indubbia differenziazione con i terreni naturali.

In questi terreni si rinvencono sovente livelletti e depositi costituiti da incrostazioni e patine varicolori (gialle, rosse, viola, nere, verdastre ecc.), a volte maleodoranti, riconducibili nella maggior parte dei casi a sversamenti accidentali o perdite da reti

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 20 di 112	Rev.			
	0			

fognarie. In ogni caso, ad esclusione delle aree con rifiuti industriali, in generale non c'è corrispondenza diretta tra le evidenze non naturali e la qualità dei terreni di riporto.

Nell'area di Stabilimento sono presenti alcune zone di accumulo di rifiuti in aree utilizzate in passato come discariche interne. Queste sono ubicate nell'area Basso Piave, Montagna M, area Bacini (Zona A1 dell'accordo di programma), ed alcune zone nell'area esterna al muro di cinta (Fig. 5.1.2.f). In particolare la zona del Basso Piave è stata "peneplanizzata" mediante l'accumulo di materiale di riporto, a partire da un gradino morfologico, corrispondente ad uno dei diversi ordini di terrazzi, del fiume Bormida. Il limite della scarpata di questo gradino morfologico è ubicato in area 6 bis (zona magazzini imprese) disposto in senso E NE – W SW in maniera tale da segnalare, in questo settore, anche il limite dell'area di accumulo.

I residui di lavorazioni industriale sono composti da fanghi di diversa tipologia (molli, plastici, catramosi, polverulenti, gommosi, ecc.) e colore. Sono inoltre presenti materiali di scarto tipici di attività industriale e cioè sostanze coibenti, stoffe, sacchi di nylon, legno, carta, plastica, pezzi di ferro, ecc.

La profondità della base dei riporti è tale da intersecare, in talune zone, la superficie della falda. Questo si verifica sia nelle aree di accumulo dei rifiuti che, in particolare, in due zone: una al confine settentrionale della centrale termica e l'altra in corrispondenza del settore compreso tra il bacino N e l'impianto biologico, dove la falda interessa, in alcuni casi per circa 2-3 m di spessore, la base dei riporti. Considerando che è difficile immaginare che in passato fossero appositamente realizzate delle opere di drenaggio per permettere lo scavo dei terreni ai fini di allocare dei riporti, si può ipotizzare che in queste aree vi fossero dei fossi (probabilmente con acqua) successivamente colmati e spianati per permettere l'utilizzo di queste aree.

Gli spessori dei terreni di riporto presentano un'estrema variabilità areale dei valori; le cause sono presumibilmente da imputare agli interventi antropici che nei decenni hanno rimodellato la superficie originaria del piano campagna per consentire l'insediamento delle attività produttive. Inoltre molti sondaggi sono stati realizzati all'interno degli edifici dove la presenza di sottofondi e fondazioni causano sostanziali variazioni dello spessore dei riporti.

Come evidenziato dalla Fig. 5.1.2.e, dove sono rappresentate le isopache dei terreni di riporto, elaborate con metodo Kriging, si osserva come, prescindendo dall'esatta tipologia del materiale considerato, gli accumuli maggiori corrispondono, ovviamente, ai rilievi denominati "Montagna M" e "Basso Piave".

Escludendo questi settori, i depositi di maggior consistenza, con spessori anche superiori a 5 metri, sono sempre localizzati in Area 5 ed in particolare nelle collinette che fiancheggiano le aree 4 e 1 e nel parcheggio presente all'estremo occidentale dell'area.

Inspessimenti locali del riporto, contenuti comunque entro 3 metri, si osservano sporadicamente anche nelle aree interne dello stabilimento; in esse, tuttavia, lo spessore è compreso normalmente tra 1 e 2 metri.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 21 di 112	Rev.			
	0			

Oltre ai numerosi punti esterni alle opere di contenimento, dove la copertura di materiale riportato è spesso assente, i settori di massima riduzione del riporto, con spessori inferiori al metro, corrispondono principalmente agli areali degli ex impianti Ftalcianina [50] e β -Naftolo[10].

Si evidenziano nella seguente tabella gli spessori massimi, minimi e medi dei terreni di riporto suddivisi per le varie aree.

Aree	Spessore massimo		Spessore minimo		Spessore medio (m)	Deviazione Standard
	(m)	Sondaggio	(m)	Sondaggio		
1	3	(A1.17-A1.3)	0,5	(A1.27-A1.30-A1.33-A1.5)	1,3	0,65
1 bis	3,3	(A1b.2)	0,3	(A1b.3)	1,8	1,50
2	5	(A2.64P)	0,2	(A2.5)	1,6	1,03
3	4,9	(A3.18P)	0,2	(A3.12)	2,0	1,33
4	4	(A4.42-A4.47-A4.72)	0,3	(A4.34)	1,7	0,84
4 bis	7	(A4b.3)	0,2	(A4b.29)	1,9	1,38
5	11,5	(A5.102)	0,2	(A5.74-A5.82-A5.83)	4,3	2,58
6	8	(A6.34)	0,1	(A6.66)	1,9	1,52
6 bis	11,4	(A6b.85)	0,2	(A6b.14)	3,9	2,88

Alluvioni

Nel suo complesso lo studio realizzato conferma quanto già emerso nel corso di studi precedenti, e cioè che la costituzione litologica del terrazzo alluvionale nell'area dello stabilimento è caratterizzata generalmente da sedimenti medio-grossolani con apprezzabile componente fine, quanto non predominante localmente.

Le litofacies più frequenti sono rappresentate da ciottoli, ghiaie e sabbie, con abbondante matrice, limi sabbiosi e sabbie limose.

In generale i sedimenti classati sono piuttosto rari e si limitano a ridotte bancate sabbiose, più frequenti nell'area bacini, ed in sporadici depositi francamente ghiaiosi, da ricondurre plausibilmente a depositi di canale.

Termini più fini, limoso-argillosi, sono decisamente subordinati e compaiono distribuiti irregolarmente, con una frequenza tendenzialmente maggiore nella porzione superiore del deposito alluvionale.

In generale si evince come la mancanza di importanti episodi fini riconduca ad ambienti deposizionali con energie medio-elevate, caratteristici di piane inondabili di estensione ridotta. La variabilità litologica che si riscontra nell'area sembra plausibilmente indirizzare verso un modello di deposizione proprio di un corso fluviale anastomizzato (a canali intrecciati con barre mobili).

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 22 di 112	Rev.			
	0			

Analizzando con maggior dettaglio le peculiarità dei singoli settori:

- nelle aree impianti, come già segnalato in precedenti relazioni, le geometrie dei distinti corpi sedimentari riflettono la tipica eterogeneità dei depositi alluvionali, con numerose variazioni laterali, sia di spessore che di granulometria.

Qui si nota la tendenziale differenziazione tra una porzione superiore, nella quale prevalgono le litofacies più fini, ed una porzione basale, dove i sedimenti sabbioso-ghiaiosi risultano predominanti.

Tale evoluzione è da mettere plausibilmente in relazione ad una complessiva riduzione dell'energia del sistema del paleoBormida o ad una migrazione progressiva del suo alveo verso il fianco sinistro della valle.

In realtà tale configurazione mostra frequenti anomalie locali con interruzione dell'orizzonte basale più grossolano osservabile pressoché in tutte le aree considerate, con "mosaicatura" dei corpi sedimentari particolarmente pronunciata nei settori centrali.

- In area Bacini, la strutturazione dei depositi alluvionali simile a quella precedentemente descritta si osserva solo limitatamente ad alcune porzioni, collocate, indicativamente, nell'area compresa tra il Deposito infiammabili ed i Magazzini imprese. Nel resto dell'area i depositi si caratterizzano per una maggiore omogeneità, con granulometrie tendenzialmente più grossolane, rappresentate principalmente da sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose, in matrice limosa in percentuale variabile, con corpi sabbiosi anche di estensione apprezzabile.
- Nell'area centrale, quella che si estende dall'ex-Oleum all'impianto di trattamento acque, che si connota per il repentino innalzamento del substrato marnoso (alto morfologico/tettonico), i depositi alluvionali, quando presenti, si caratterizzano invece una maggiore frequenza di corpi a granulometria fine, sabbioso-limosi.

Relativamente alla distribuzione della potenza di questi depositi (Fig. 5.1.2.g), dai risultati delle perforazioni effettuate nel sito emerge una marcata soluzione di continuità nelle alluvioni presenti nel sottosuolo dello stabilimento a causa dell'alto morfologico/tettonico precedentemente citato.

Gli spessori maggiori si rinvencono marginalmente a questa struttura, con i valori superiori (>8 metri) che si riscontrano in prossimità dei Bacini sospese, nell'areale della Centrale Termica ed al margine meridionale del "Basso Piave".

Prescindendo da tale struttura, dalla isopache del deposito si osserva, inoltre, la tendenziale riduzione della porzione di terreno alluvionale dal margine superiore del terrazzo verso l'alveo attuale del fiume Bormida.

Nella tabella seguente vengono riportati gli spessori massimi, minimi e medi delle alluvioni.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I	
REL. 02	
Fg. 23 di 112	Rev.
0	

Aree	Spessore massimo		Spessore minimo		Spessore medio (m)	Deviazione Standard
	(m)	Sondaggio	(m)	Sondaggio		
1	4	(A1.30)	0	(A1.7)	2,5	0,97
1 bis	7,3	(A1b.4)	2,8	(A1b.2)	4,5	1,96
2	6,5	(A2.70)	0,5	(A2.23)	3,0	1,19
3	5,9	(A3.29P)	1,4	(A3.18P)	3,9	1,28
4	6	(A4.79)	0,7	(A4.10)	3,4	1,35
4 bis	6,5	(A4b.13)	0	vari	2,4	2,05
5	7,5	(A5.102)	0	vari	2,3	1,98
6	14,4	(A6.55)	0	vari	4,5	3,26
6 bis	11,1	(A6b.59)	0	(A6b.2- A6b.3- A6b.9-A6b.33- A6b.46-)	3,9	2,88

Nella valutazione degli spessori di tali depositi, si deve comunque tener conto delle modificazioni indotte sulla originaria copertura alluvionale, la cui potenza attuale è, talora, il risultato di asportazioni e sostituzioni funzionali alle attività espletate precedentemente nel sito.

Le prove di permeabilità (Lefranc) effettuate all'interno dello strato alluvionale hanno fornito i valori di seguito riportati:

Sondaggio n°	Tratto di Prova (m da p.c.)	Stratigrafia relativa	Permeabilità K m/s
A6.29P	6,50 - 7,00	Saturo (Sabbia marrone grigiastra)	$9,68 \times 10^{-9}$ (*)
A6b.75	10,74 - 11,24	Saturo (Sabbia limosa grigia)	$4,1 \times 10^{-8}$
A6b.34	3,00 - 3,50	Saturo (Ghiaia medio-grossolana)	$1,6 \times 10^{-7}$
A1.23P	1,80 - 2,30	Saturo (Limi sabbiosi)	$2,3 \times 10^{-6}$
A2.41P	4,00 - 4,50	Saturo (Sabbie limose marroni)	$1,3 \times 10^{-6}$

(*) Valore anomalo

5.1.3 Inquadramento idrogeologico

Nell'area dello stabilimento è presente un unico acquifero superficiale rappresentato dal materiale di riporto e dai depositi alluvionali del fiume Bormida, delimitato alla base da un substrato marnoso impermeabile.

L'acquifero, a luoghi semi confinato, presenta modesto spessore (mediamente 2 – 3 m).

L'aquiclude di base che sostiene il deflusso idrico ha uno spessore di ca. 150 m e una estesa continuità areale.

La falda acquifera viene alimentata principalmente dall'infiltrazione delle acque meteoriche nell'area dello Stabilimento, dalle acque provenienti dai rilievi circostanti, che si infiltrano nei terreni posti nella zona a monte lato ferrovia e dalle varie perdite dei canali di adduzione delle acque industriali e civili. Dall'esame delle piezometrie

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 24 di 112	Rev.			
	0			

si può escludere invece che vi sia un'ingressione naturale dalle acque del fiume Bormida nella zona lato Ponte Donegani (zona orientale).

Nel corso della perforazione del pozzo denominato "Tennis" (I.W.2.4) è stato rinvenuto un altro acquifero, in pressione, all'interno dei conglomerati poligenici profondi (il cui tetto è rinvenuto a 159 m circa rispetto al p.c.), caratterizzato comunque da una scarsa produttività.

È da escludersi il contatto tra i due acquiferi, sia per lo spessore della formazione marnosa, in pratica nell'ammasso impermeabile, sia per il limitato rigetto delle strutture tettoniche che, tra l'altro, in profondità dovrebbero risultare riempite di materiale argilloso e quindi impermeabile o addirittura chiuse per effetto delle pressioni di carico. Dimostrazione del fatto i due corpi idrici non sono comunicanti è che il pozzo "Tennis" presenta caratteristiche di artesianità con pressione a testa pozzo di 1,5 kg/cm².

Ricostruzione piezometrie di riferimento

I dati piezometrici vengono periodicamente acquisiti nell'ambito dell'area di Stabilimento e sono distribuiti su un ampio arco temporale che va dal 1989 fino ad oggi. Tali dati, già oggetto di verifica ed elaborazione nel corso di precedenti rapporti, sono stati ulteriormente rianalizzati alla luce dello schema concettuale sopra descritto.

Tre piezometrie sono state quindi elaborate, con riferimento ai mesi di Aprile ed Agosto del 2000 (Fig. 5.1.3.a e Fig. 5.1.3.b) e al mese di Gennaio del 2001 (Fig. 5.1.3.c); le prime due piezometrie possono essere considerate come rappresentative delle condizioni di massima e minima alimentazione al sistema (rif. "Bilancio idrogeologico dell'area dello Stabilimento Acna C.O. S.p.A. in liquidazione (Cengio – SV), B.A.S.I.", maggio 2000), mentre la piezometria del Gennaio 2001 è stata inclusa per la completezza dei dati disponibili soprattutto nei settori interni dello stabilimento dove la densità di misure – contrariamente all'area di barriera – è generalmente piuttosto bassa.

Le piezometrie ricostruite mostrano un andamento divergente dei filetti idrici e una certa omogeneità durante tutto l'anno idrologico, i percorsi preferenziali e le direzioni di deflusso rimangono costanti sia nei periodi di massima ricarica (aprile-maggio) sia nei tempi di massimo svuotamento (agosto-settembre).

Il deflusso sotterraneo avviene secondo due direzioni principali condizionate dalla presenza di un alto morfo-strutturale del substrato, che crea uno spartiacque sotterraneo ben delineato con direzione E-O, in corrispondenza del piezometro S.P.14.4 e del piezometro BA.P.21.4.

Il deflusso avviene in generale dal margine vallivo verso l'alveo del Fiume Bormida evidenziando l'esistenza di una certa componente di l'alimentazione proveniente dalle acque superficiali dei rilievi collinari che s'infiltrano nel sottosuolo e da infiltrazione diretta.

Nel settore settentrionale la falda defluisce verso N-NO con direzioni perpendicolari all'alveo del corso d'acqua, in questa zona la falda ha una direzione di deflusso radiale rispetto al dosso del substrato.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 25 di 112	Rev.			
	0			

Nel settore centrale dello Stabilimento il deflusso della falda avviene verso SO mentre nella parte sud-orientale la falda defluisce verso S-SE.

Immediatamente a sud dell'alto morfo-strutturale del substrato è presente una zona con filetti idrici convergenti (in prossimità del bacino n. 147 ed in corrispondenza dei piezometri BA.P.11.4 e I.P.20.4) che creano un locale e breve asse di drenaggio con direzione NE-SO riconducibile ad un approfondimento del substrato impermeabile.

Nella parte SE dello Stabilimento la piezometria è caratterizzata da una maggiore uniformità dettata dalla regolarità del substrato che in questa zona è privo di incisioni e rilievi, da una maggior omogeneità dei depositi alluvionali e dall'azione della barriera idraulica posta a margine dello Stabilimento.

Nel settore centrale dell'area produttiva, in corrispondenza dei piezometri I.W.10.4 e I.P.15.4, vi è un evidente variazione della spaziatura tra la isopieza 397 e 398 m s.l.m., tale fenomeno è probabilmente riconducibile alla combinazione tra la locale situazione stratigrafica, ossia alla presenza di una lente limo argillosa a bassa permeabilità nella zona a monte e la morfologia semi - pianeggiante del substrato.

Nell'anno 2001 le quote del livello piezometrico variano da un massimo di 412,7÷407,7 m s.l.m. registrati nei mesi piovosi (marzo-aprile) nei piezometri A6.P.103.9 e A6.P.104.9 a quote minime rilevate nello stesso periodo nei piezometri presenti nell'area Basso Piave (386,2÷388,5 m s.l.m.).

I livelli minimi sono stati registrati nei mesi di luglio - ottobre quando nei piezometri A6.P.103.9 e A6.P.104.9 il livello della falda è posto rispettivamente a 407,2÷406,7 m s.l.m., mentre nei piezometri dell'area Basso Piave le quote minime (386,2÷388,5 m s.l.m.) sono rimaste pressoché invariate.

I valori massimi sono stati rilevati nel settore centrale dello Stabilimento in corrispondenza dell'area posta a quote topografiche più elevate, mentre i valori minimi sono registrati in prossimità dell'alveo del Fiume Bormida nel punto più a nord e nel punto posto più a sud dell'area .

Il periodo di maggior ricarica naturale, osservando le escursioni della falda, risulta essere quello compreso tra marzo e maggio.

I valori delle escursioni della falda sono ridotte e comprese generalmente tra 10÷70 cm, le oscillazioni maggiori si hanno nelle zone poste verso il margine del fondovalle (valore massimo 1.4 m), mentre in prossimità del corso d'acqua le variazioni sono, in alcuni piezometri, dell'ordine di qualche centimetro in ragione del controllo esercitato dai pozzi in emungimento.

L'andamento delle piezometrie della falda ha evidenziato come il gradiente idraulico è generalmente elevato e costante sia nelle fasi piovose che di relativa secca, mentre presenta delle variazioni tra le varie zone dello Stabilimento, in relazione alla complessa situazione stratigrafica del sottosuolo.

Nel settore posto a nord del rilievo sepolto del substrato il gradiente idraulico presenta valori elevati che diminuiscono bruscamente spostandosi verso il corso d'acqua, in questa zona il gradiente è compreso tra 1÷6%.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 26 di 112	Rev.			
	0			

Nella zona centrale e nel settore SE dello Stabilimento il gradiente idraulico presenta variazioni più contenute con valori compresi mediamente tra 1.5÷3.5%, si possono distinguere una zona verso il margine vallivo con gradiente maggiore (4÷7.4%) una fascia intermedia in cui si registrano valori di gradiente idraulico inferiori (1÷4%) e una zona in prossimità del corso d'acqua dove il gradiente aumenta (3.2÷8%) in relazione alla presenza della barriera idraulica.

Spessore saturo e soggiacenza

Sulla base dei risultati del processo di regionalizzazione, con particolare riferimento alla ricostruzione della geometria del sistema e all'andamento di alcune piezometrie di riferimento, sono state derivate due mappe di particolare rilevanza, la mappa dello spessore saturo (Fig. 5.1.3.d) e la mappa della soggiacenza, ovvero della profondità della falda dal piano campagna (Fig. 5.1.3.e).

- La mappa dello spessore saturo è stata elaborata con riferimento alla piezometria dell'Aprile 2000. Tale mappa evidenzia valori medi generalmente contenuti entro i 2-3 m per una parte consistente dell'acquifero sottostante lo stabilimento. Al tempo stesso, essa mette però bene in evidenza l'esistenza dell'alto morfo-strutturale (rif. Fig. 5.2.1.a) in corrispondenza del quale si osserva una drastica riduzione fino alla possibile scomparsa dell'acquifero (si tenga conto in tal senso dell'approssimazione del processo di interpolazione). Emerge poi in modo incontrovertibile l'esistenza di almeno due settori in cui lo spessore dell'acquifero aumenta considerevolmente (fino a massimi dell'ordine dei 6-8 m); si tratta del settore immediatamente a S dell'alto strutturale, settore che con spiccata direzione ONO-ESE lo delimita per poi estendersi verso E parallelamente al limite degli affioramenti, e del settore immediatamente a NNO dello stesso alto strutturale. L'andamento degli spessori saturi è in ultima analisi fortemente condizionato dall'assetto del basamento marnoso impermeabile.
- La mappa della soggiacenza è stata anch'essa elaborata con riferimento alla piezometria dell'Aprile 2000. Tale mappa evidenzia la prevalenza di valori nell'ordine dei 2 m per una ampia parte del settore centro-meridionale dello stabilimento. Essa evidenzia poi soprattutto una significativa riduzione dei valori in corrispondenza dell'alto strutturale e in un piccolo settore dell'area orientale, quasi a ridosso degli affioramenti che limitano a N l'area di stabilimento. Il settore occidentale e nord-occidentale, dove la soggiacenza aumenta considerevolmente, perdono invece di significato alla luce della presenza di terreni di riporto. In generale anche la mappa di soggiacenza va letta alla luce dell'assetto strutturale del substrato marnoso, con avvicinamenti evidenti della piezometria alla superficie topografica in corrispondenza proprio di aree di alto del substrato.

Parametri idraulici

I depositi alluvionali mostrano una permeabilità (K), di tipo primario, relativamente elevata (10^{-3} ÷ 10^{-6} m/s) associabile alla natura mediamente grossolana dei materiali. Nell'ambito delle caratterizzazioni eseguite in passato sono state realizzate e interpretate sia prove di pompaggio che prove con traccianti multi e single well eseguite nei punti riportati nelle seguenti tabelle.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 27 di 112	Rev.			
	0			

Sondaggio n°	Tipo	Permeabilità K m/s	Trasmissività T m ² /sec	Coef. Immagazzinamento S
V	Pozzo	1,08x10 ⁻³	2,1x10 ⁻³	0,133
A6.92P	Piezometro	4,07x10 ⁻⁴	1,55x10 ⁻³	
52	Piezometro	3,46x10 ⁻⁶	1.1x10 ⁻⁵	
A2.41P	Piezometro	1,64x10 ⁻³	2,29x10 ⁻³	
A5.34P	Piezometro	2,9x10 ⁻⁵	5,88x10 ⁻⁵	
5 bis	Piezometro	1.22x10 ⁻⁵	2,44x10 ⁻⁵	
98	Piezometro	3,7x10 ⁻⁵	7,44x10 ⁻⁵	0,12
55	Pozzo	4,36x10 ⁻⁴	7,8x10 ⁻²	
96	Piezometro	5,54x10 ⁻³	1,39x10 ⁻²	
97	Piezometro	3,33x10 ⁻³	1,17x10 ⁻²	
98	Piezometro	1,02x10 ⁻³	3,38x10 ⁻³	
99	Piezometro	2,5x10 ⁻⁴	3,38x10 ⁻⁴	
100	Piezometro	4,51x10 ⁻³	1,22x10 ⁻²	
79	Piezometro	4,20x10 ⁻⁵	1,76x10 ⁻²	
84	Piezometro	4,59x10 ⁻⁴	8,26x10 ⁻²	
89	Piezometro	1,65x10 ⁻⁴	8,24x10 ⁻²	
T	Pozzo	2,52x10 ⁻⁵	3,78x10 ⁻³	

Dati riassuntivi delle prove di pompaggio

Piezometro	Velocità di filtrazione (m/g)	Conducibilità idraulica media (m/s)	Direzione
30	0.11	3.8 x 10 ⁻⁵	W-E
33	0.20	7.0 x 10 ⁻⁵	NNE-SSW
45	0.31	1.1 x 10 ⁻⁴	SW-NE
53	0.19	6.6 x 10 ⁻⁵	ESE-WNW
91	0.36	1.3 * 10 ⁻⁴	SW-NE
A4.58P	0.15	5.2 x 10 ⁻⁵	NNE-SSW
A6B.71P	0.32	1.1 x 10 ⁻⁴	E-W

Dati riassuntivi delle prove con traccianti (single well)

Coppie utilizzate Pozzi/Piezometri	Porosità efficace (%)	Velocità reale (m/g)	Portata (m ³ /h)	Valore max I-131 (cp240sec)
A1.6P / 13	21	0.71	0.9	800
V / 23	13	1.15	2.5	42.000
T / 18	21	0.71	1.4	3.000

Dati riassuntivi delle prove con traccianti (multi well)

5.2 Caratterizzazione della formazione marnosa

Nell'ambito dell'individuazione degli interventi finalizzati al piano di risanamento dell'area, è stata verificata agli effetti progettuali l'impermeabilità della formazione marnosa, con particolare riguardo all'area destinata alla messa in sicurezza permanente.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 28 di 112	Rev.			
	0			

Il sito è stato oggetto, dal 1940 in poi, di molteplici indagini tra le quali anche numerose prove specifiche finalizzate a determinare e caratterizzare i valori della eventuale permeabilità secondaria del substrato marnoso. Sono state infatti realizzate in totale n. **104** prove di permeabilità (tipo Lugeon) testate in n. **74** punti variamente distribuiti nell'area dello Stabilimento.

Sempre a tal fine sono stati realizzati, negli ultimi anni dallo scrivente Consorzio BASI, una serie di studi interdisciplinari, via via di maggior dettaglio, sia per individuare le principali lineazioni tettoniche e lo stato di fessurazione dell'ammasso roccioso che la permeabilità associata.

Le attività eseguite sono state:

- studi e ricerche bibliografiche;
- rilievo geologico;
- campagna geofisica;
- indagini geognostiche e prove di permeabilità in sito;
- elaborazione dati.

Il rilievo geologico, attraverso anche fotointerpretazione delle fotografie aeree in visione stereoscopica, è stato mirato ad individuare le principali strutture tettoniche presenti nei pressi dello Stabilimento ed a caratterizzare lo stato di fessurazione del substrato marnoso.

La geofisica, attraverso la metodologia della tomografia elettrica, è stata svolta con l'obiettivo di ubicare con maggiore precisione le lineazioni all'interno dello Stabilimento.

Infine la campagna geognostica, con sondaggi profondi sia verticali che adeguatamente inclinati per intercettare le lineazioni, è stata programmata essenzialmente per eseguire prove di permeabilità in corrispondenza delle aree maggiormente disturbate tettonicamente.

I risultati ottenuti da tali studi, unitamente ai dati desunti dai lavori pregressi, hanno consentito di esprimere una valutazione attendibile sul grado di permeabilità che caratterizza la formazione rocciosa di base.

Qui di seguito sono riportate le sintesi delle indagini eseguite per la determinazione della permeabilità.

5.2.1 Attività svolta ed analisi dei risultati

Studio delle foto aeree

Nell'ambito degli interventi atti a definire l'assetto strutturale dell'area, è stata condotta un'analisi delle foto aeree del sito finalizzata ad individuare i principali elementi lineari, continui o discontinui.

Per lo studio sono state impiegate foto aeree a colori, e scale di dettaglio (1:16.000 e 1: 10.000 circa)

I lineamenti rilevati, riportati su base cartografica 1: 10.000 sono stati distinti sulla base della loro attendibilità in lineamenti certi e lineamenti probabili in funzione della maggiore o minore evidenza degli indizi a sostegno quali ad esempio: scarpate, controllo idrografico, allineamento di elementi morfologici.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I	
REL. 02	
Fg. 29 di 112	Rev.
	0

La Fig. 3 riporta gli elementi fotogeologici rilevati. La possibilità di attribuire tali lineamenti a strutture disgiuntive è stata verificata nel corso delle successive verifiche di terreno.

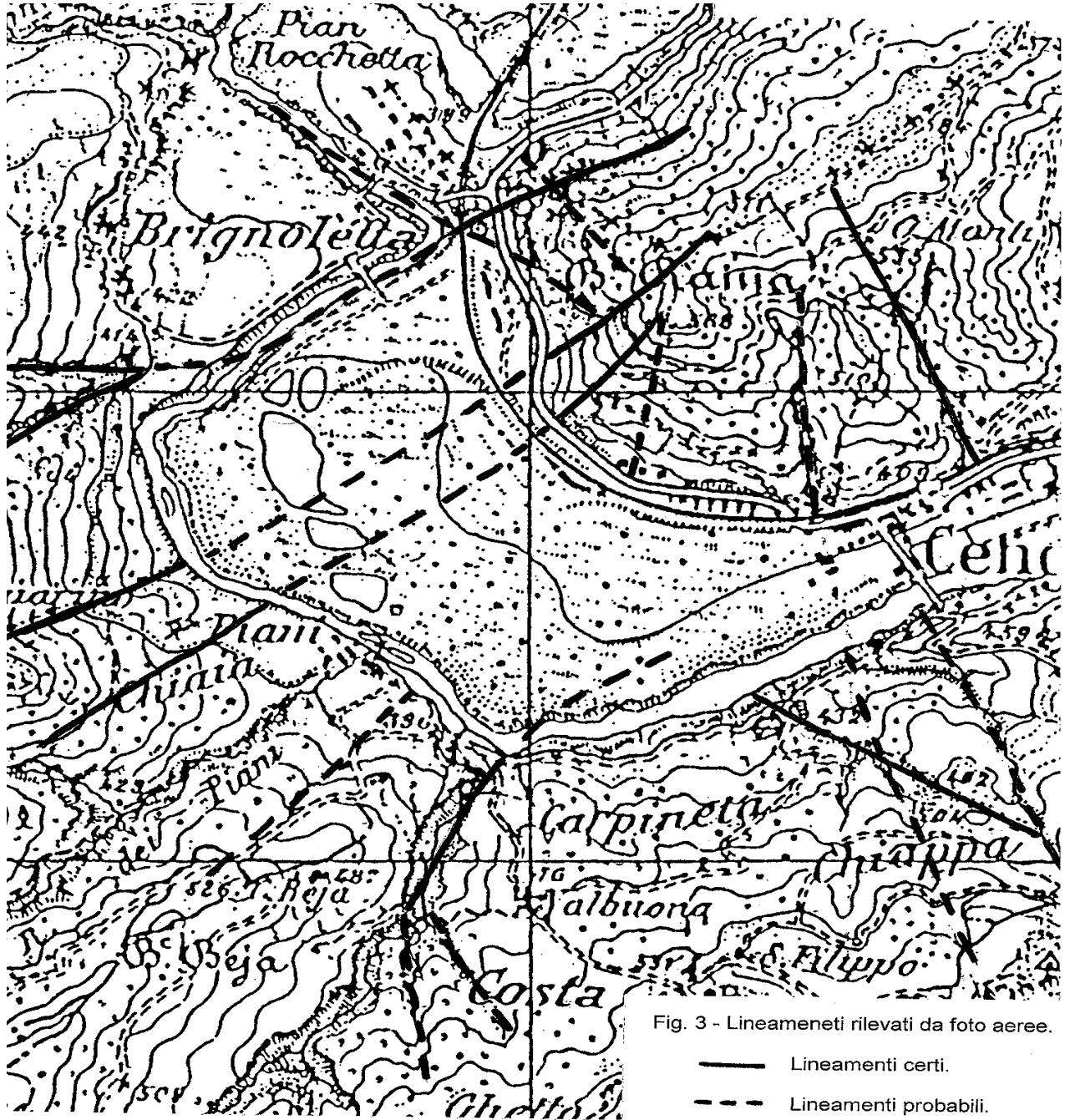


Fig. 3 - Lineamenti rilevati da foto aeree.

- Lineamenti certi.
- - - Lineamenti probabili.

Fig. 3 - Carta dei lineamenti rilevati da foto aeree alla scala 1:10000 Nord

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 30 di 112	Rev.			
	0			

Rilievo geologico

Le formazioni affioranti nell'area in esame, formano una monoclinale immergente mediamente a nord-ovest con basso angolo di inclinazione (0-15°).

Da un punto di vista strutturale si rilevano essenzialmente gli effetti di una tettonica fragile, probabilmente riconducibile alle dislocazioni verificatesi fra il Pleistocene superiore e l'Olocene inferiore, rilevabili in una serie di faglie dirette e sistemi di fratturazione (joints).

Le dislocazioni rilevate interessano l'area dello Stabilimento Bormia secondo tre fasce a direzione ENE-WSW che confermano l'andamento delle strutture che si rilevano a scala regionale (Fig. 4).

Quella più a nord comprende una faglia diretta, rilevata anche dallo studio delle foto aeree, che ribassa la porzione settentrionale e mette a diretto contatto le marne con le sovrastanti arenarie, con un rigetto valutabile in alcune decine di metri. Nella zona a nord-ovest di Bric Rama tale dislocazione è rilevabile da alcuni piani di movimento e da evidenze di tipo morfologico; la sua prosecuzione in direzione SW può essere ipotizzata dalla presenza di alcune strutture, analogamente orientate, ubicate nel fosso Rio Cuneo. Le marne immediatamente a nord di questa faglia presentano alcuni sistemi di fratture.

Nella fascia centrale si rileva una zona cataclastica a sud-ovest del Bric Rama, lungo la strada per Saliceto, dello spessore di una trentina di metri. Le marne, fagliate e cataclasate, contengono al loro interno blocchi di arenaria.

In ogni modo la sua continuazione all'interno dell'area dello Stabilimento, sotto la copertura alluvionale ed eluvio-colluviale, non è stata evidenziata dall'esame stratigrafico dei sondaggi geognostici effettuati nelle varie campagne di caratterizzazione.

Verso WSW un sistema di faglie a basso ed alto angolo, analogamente orientate, si rileva lungo la sponda sinistra del Bormida, a NW di Case Piani. Qui le faglie a basso angolo risultano tra loro coniugate ed associate a sistemi di joints, paralleli alle dislocazioni, con spaziatura inferiore al centimetro.

Sulle superfici di queste faglie sono state osservate strie orientate secondo l'immersione, indicando una componente di movimento essenzialmente verticale.

L'area meridionale, lungo il Fiume Bormida, è interessata da una serie di faglie dirette rilevabili immediatamente a nord del paese di Cengio. Tale sistema trova riscontro anche in direzione SW, lungo la sponda sinistra del Bormida. Tali dislocazioni sembrerebbero giocare un ruolo importante nell'assetto strutturale dell'area come risulta evidenziato dal generale ribassamento della porzione sud-orientale dell'area. I rapporti geometrici tra le dislocazioni individuate in questa e in altre zone indicano che da un punto di vista cronologico, le faglie a direzione N 40 E risultano successive rispetto alle faglie a direzione N 70-80 E.

Al fine di acquisire informazioni sulle caratteristiche di fratturazione delle formazioni affioranti sono stati valutati, in prima approssimazione, i parametri di apertura e spaziatura dei sistemi di frattura rilevati in zone superficili. Essendo la permeabilità secondaria di una formazione litoide funzione principalmente del rapporto tra l'apertura "a" delle singole fratture e la loro spaziatura "s" nell'ammasso roccioso,

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 31 di 112	Rev.			
	0			

l'insieme dei dati raccolti indica che il rapporto "a"/"s" varia tra 0 e 0,2 con punte, in rari casi, fino ad alcuni centimetri; occorre comunque tenere presente che i dati si riferiscono sempre a zone superficiali di affioramento dove fenomeni di alterazione esogena hanno contribuito sia alla fessurazione che in particolare all'apertura delle fratture stesse.

Per quanto concerne la relazione tra elementi disgiuntivi e permeabilità occorre precisare che in corrispondenza delle faglie impostate nei terreni marnosi è stato certamente osservato all'interno di esse un riempimento siltoso-argilloso che le sigilla.

0				
---	--	--	--	--

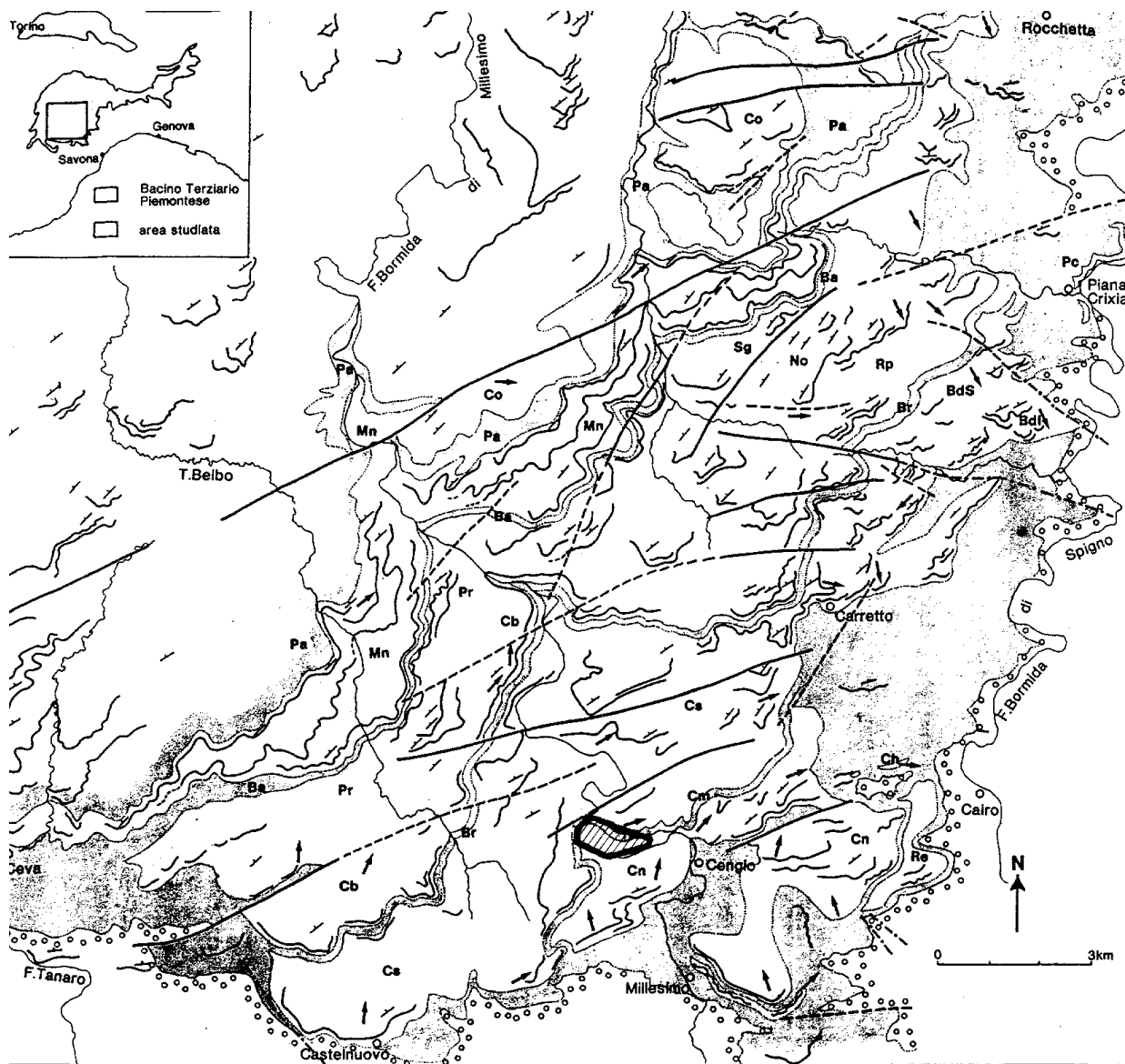


Fig. 4: Carta fotogeologica integrata con i dati di terreno dell'area compresa tra Ceva e Rocchetta (Bacino Terziario Piemontese). In tratteggio è indicata l'area dello stabilimento. (da Cazzola C e Sgavetti M., 1984 - ridis.)

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 33 di 112	Rev.			
	0			

Morfologia del substrato marnoso

Il substrato litoide presente nel sottosuolo dello Stabilimento, è rappresentato dalla formazione di Rocchetta. Tale formazione, in quest'area, è costituita da marne grigiastre ben stratificate con subordinati livelli arenacei. Il litotipo è molto consistente.

Sulla scorta dei dati disponibili circa le quote di rinvenimento del tetto di questa formazione, è stato possibile ricostruire in figura 5.2.1.a l'andamento del substrato marnoso.

Al tetto della formazione è stata spesso riscontrata una coltre superficiale d'alterazione, che raramente sviluppa una potenza superiore a 2 metri. Degradazione meteorica, squilibri meccanici sulle masse affioranti, unitamente agli effetti connessi al contatto acqua-roccia, costituiscono i principali fenomeni a cui attribuire lo sviluppo di tale coltre superficiale.

Le quote di rinvenimento del substrato variano generalmente tra 383 e 405,4 m slm. Relativamente all'andamento, come già accennato nel paragrafo precedente, l'elemento più appariscente dell'intera area è l'esistenza di un alto morfologico, ampio circa 200 m, che si estende dal bordo nord est dello stabilimento fin circa all'altezza dell'Ex-Oleum [126], dove il salto morfologico si attenua sino ad annullarsi.

I dislivelli maggiori, anche superiori alla decina di metri, caratterizzano le porzioni più alte della struttura, quelle prossime al margine di monte del terrazzo.

Al piede del fianco meridionale della struttura menzionata, si intravede inoltre una leggera depressione lineare, la cui esistenza potrebbe essere ricondotta agli effetti erosivi di un antico canale fluviale.

Indagini finalizzate alla determinazione delle caratteristiche idrogeologiche delle marne

Nell'ambito delle campagne di indagine BASI sono stati realizzati n. 51 prove di permeabilità in 27 punti così distribuiti:

- ◆ 16 sondaggi nel 1998 di cui 9 verticali utilizzati per verificare la permeabilità nei primi metri sottostanti il tetto del substrato marnoso e 7 inclinati (lunghi 50 m ed ubicati per intercettare le principali linazioni) con l'esecuzione 18 prove di permeabilità;
- ◆ 11 nel 2001 di cui 6 profondi 50 m ed ubicati su indicazione del Servizio Geologico d'Italia dove sono state effettuate 18 prove tipo Lugeon; gli altri 5 sondaggi hanno testato la marna nei metri più superficiali.

Tutti i sondaggi sono stati eseguiti a carotaggio continuo, con rivestimento nel tratto di copertura detritica o alluvionale sovrastante il substrato marnoso.

Di ogni sondaggio profondo è stato determinato l'R.Q.D. (Rock Quality Designation) che esprime il grado di continuità di una massa rocciosa ed è espresso come il rapporto tra la somma delle singole lunghezze dei pezzi di carota superiori ai 10 cm

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 34 di 112	Rev.			
	0			

e la lunghezza della battuta carotata. Il valore dell'RQD è risultato nella maggior parte dei sondaggi sempre superiore al 90%.

In ogni sondaggio i test di permeabilità sono stati eseguiti in corrispondenza dei tratti che all'esame delle carote apparivano meno integri (le camere di prova sono state fissate, nei sondaggi più lunghi con uno spazio di 5 m).

Per quanto riguarda l'esecuzione delle prove, ciascun gradino di portata (a regime) è stato mantenuto per 10-20 minuti, in salita e discesa.

I gradini di pressione sono stati realizzati in funzione della profondità del tratto di prova.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Fg. 35 di 112	Rev.		
	0		

5.2.2 Risultati delle prove di permeabilità

I risultati delle prove di permeabilità riportati nelle tabelle seguenti vanno letti tenendo presente che, nonostante le cautele adottate, sono più conservativi (con valori di permeabilità maggiori) rispetto alla realtà in quanto risentono delle condizioni di test più gravose. Ciò per le pressioni di prova comunque sempre più elevate rispetto ai carichi idraulici attesi in sito, o per la tenuta dei paker che delimitano le camere di prova.

I gradini di pressione a bocca pozzo generalmente utilizzati nelle prove sono stati infatti, 1 - 2 - 4 -2- 1 Atm. (in alcune prove sono state raggiunte anche 10 Atm.).

Nella tabella 5.a sono riportati i risultati "storici" delle prove di permeabilità eseguite, durante la perforazione dei sondaggi, nella porzione prossima al tetto del substrato marnoso (ad eccezione del pozzo I.W.2.4, la profondità max di prova dal top delle marne è di 13,8 m), nelle Tab. 5.b e 5.c sono richiamati i valori di permeabilità riscontrati negli studi appositamente realizzati per testare la tenuta delle marne anche a maggiori profondità in aree maggiormente disturbate tettonicamente.

Sigla sondaggio (m)	Prof. prova dal top marna	K (m/s)	Sigla sondaggio (m)	Prof. Prova dal top marna	K (m/s)	Sigla sondaggio (m)	Prof. prova dal top marna	K (m/s)
BP.S.47.5	0,3	5,9E-08	M.P.6.4	1,1	2,7E-10	Scd2	4,3	0,0E+00
A.P.2.5	0,7	4,0E-10	M.S.4.4	1,5	1,0E-13	Scd3bis	1,6	0,0E+00
A.P.5.5	0,4	1,0E-09	S.P.12.4	1,7	1,0E-10	Scd3bis	4,0	0,0E+00
A.P.6.5	0,8	2,0E-10	S.P.14.4	1,0	1,0E-11	Scd5	3,8	5,5E-10
A.S.19.5	3,1	1,0E-10	S.P.18.4	1,8	1,0E-11	Sde0	4,5	2,4E-10
A.S.2.6	3,4	1,0E-11	S.P.22.4	0,7	6,7E-10	Sde1	1,9	1,0E-07
A.S.8.5	1,2	1,0E-09	S.P.4.4	1,7	1,0E-11	Sde1	4,1	1,0E-07
A1.S.37.9	4,0	1,6E-07	S.P.7.4	2,0	1,0E-11	Sde2	1,7	1,0E-07
A4B.S.19.9	2,3	4,5E-09	S.S.11.4	3,0	1,0E-11	Sde2	4,1	1,0E-08
A6.S.40.9	3,0	2,3E-08	S.S.12.4	3,7	1,0E-11	Sde3	0,7	1,0E-08
A6B.S.36.9	2,5	2,0E-07	S.S.13.4	0,8	1,0E-11	Sde3	4,2	1,0E-07
A6B.S.73.9	2,3	2,3E-09	S.S.14.4	4,4	1,0E-11	Sde3	9,2	1,0E-08
B.S.2.5	0,4	1,0E-09	S.S.24.4	5,0	1,0E-09	Sde5	8,5	0,0E+00
BA.P.10.4	2,9	5,8E-10	S.S.3.4	1,4	1,0E-10	Sde6	10,0	3,0E-06
BA.P.14.4	0,8	3,6E-10	S.S.36.4	3,6	1,0E-09	Sde6	13,8	0,0E+00
BA.S.11.4	1,4	1,0E-11	S.S.4.4	3,0	2,0E-08	Sde7	8,0	0,0E+00
BA.S.14.4	1,9	1,0E-11	S.S.7.4	3,1	1,0E-11	Spb1	4,7	0,0E+00
BA.S.29.4	0,8	1,4E-08	S1 (*)	1,3	0,0E+00	Spb10	5,0	0,0E+00
BA.S.32.4	1,7	2,4E-08	S2 (*)	2,3	3,1E-09	Spb11	4,7	0,0E+00
BA.S.7.4	3,4	1,0E-11	S3 (*)	7,6	5,0E-08	Spb12	6,7	0,0E+00
BA.S.76.4	0,8	3,7E-08	S4 (*)	1,8	0,0E+00	Spb12	9,7	0,0E+00
BP.P.11.4	2,0	1,0E-11	Sab1	1,2	5,0E-07	Spb13	4,8	0,0E+00
BP.P.13.4	2,0	1,0E-09	Sab1	4,1	0,0E+00	Spb14	5,0	0,0E+00

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Fg. 36 di 112			Rev.
0			

Sigla sondaggio (m)	Prof. prova dal top marna	K (m/s)	Sigla sondaggio (m)	Prof. Prova dal top marna	K (m/s)	Sigla sondaggio (m)	Prof. prova dal top marna	K (m/s)
BP.P.15.4	2,0	1,0E-09	Sab2	1,4	1,0E-08	Spb15	4,6	0,0E+00
BP.P.18.4	2,0	1,0E-11	Sab2	4,5	0,0E+00	Spb16	4,6	1,2E-09
BP.P.3.4	0,8	1,0E-11	Sab3	0,7	0,0E+00	Spb16	6,6	0,0E+00
BP.S.26.6	0,6	1,0E-13	Sab3	3,9	1,0E-09	Spb16	8,7	0,0E+00
BP.S.40.5	3,8	1,0E-09	Sab4	0,8	9,8E-07	Spb16	10,2	0,0E+00
BP.S.46.6	1,7	1,0E-09	Sab4	2,7	0,0E+00	Spb17	4,6	0,0E+00
BP.S.53.4	0,4	1,0E-13	Sab5	4,5	3,3E-09	Spb17	6,6	0,0E+00
C.P.1.5	2,5	2,7E-10	Sab6	4,9	0,0E+00	Spb17	8,6	0,0E+00
C.S.5.5	1,8	1,0E-09	Sab6bis	2,4	0,0E+00	Spb18	4,5	0,0E+00
C.S.7.5	1,6	1,0E-10	Sbc1	1,0	0,0E+00	Spb19	4,5	0,0E+00
D.P.1.5	1,5	2,0E-10	Sbc1	4,0	0,0E+00	Spb2	4,4	0,0E+00
D.P.2.5	2,2	6,7E-10	Sbc2	0,5	1,0E-07	Spb20	4,5	0,0E+00
D.S.14.6	2,1	1,0E-09	Sbc2	2,3	0,0E+00	Spb3	4,0	0,0E+00
D.S.16.6	2,1	1,0E-09	Sbc3	1,9	1,0E-08	Spb4	5,0	2,5E-08
D.S.8.6	0,5	1,0E-09	Sbc3	4,0	0,0E+00	Spb4	7,7	0,0E+00
DI.S.3.4	2,1	3,8E-08	Sbc4	1,9	1,4E-06	Spb5	5,3	0,0E+00
E.S.16.5	0,9	1,0E-13	Sbc4	4,4	5,0E-08	Spb5	9,8	1,3E-08
E.S.19.5	1,5	1,0E-09	Sbc6	3,3	0,0E+00	Spb5	11,3	0,0E+00
E.S.3.6	1,1	1,0E-09	Sbc7	5,7	7,5E-09	Spb6	5,1	0,0E+00
E.S.8.5	4,1	1,0E-09	Sbc8	7,0	5,4E-09	Spb7	5,3	0,0E+00
I.W.2.4	54,0	1,0E-14	Scd1bis	0,4	5,0E-07	Spb8	4,3	0,0E+00
M.P.2.4	0,4	5,7E-10	Scd1bis	2,1	0,0E+00	Spb9	7,4	1,4E-08
M.P.4.4	0,7	7,5E-10	Scd2	1,3	0,0E+00	Spb9	10,4	0,0E+00

(*) Prove effettuate dal collegio peritale nell'area Basso Piave su incarico della procura di Savona (1989)

Tab. 5.a: Valori di permeabilità "storici" misurati nelle prove eseguite dal 1940 ad oggi

Queste indagini pregresse hanno una distribuzione abbastanza casuale su tutta l'area dello stabilimento (si veda la Fig. 5.2.2.a) e quindi i dati di permeabilità possono essere considerati come adeguatamente rappresentativi della permeabilità generale della Formazione di Rocchetta in area Stabilimento.

I valori che presentano permeabilità $K > 10^{-7}$ m/s sono stati rilevati nei punti Sde6 e Sbc4 (rispettivamente a 10 m e 1,9 m dal top delle marne) con una permeabilità $K = 3,00E-6$ m/s e $K = 1,44E-6$ m/s. Negli stessi punti la medesima prova effettuata in strati immediatamente più profondi, rispettivamente a 13,8 m e 4,4 m dal top delle marne, raggiunge già valori di $K < 10^{-8}$ m/s.

Alcuni semplici indicatori statistici possono rappresentare oggettivamente quanto osservato dal campione di dati e che hanno portato alle affermazioni su riportate.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 37 di 112	Rev.			
	0			

Infatti il 75° percentile è dell'ordine di 10^{-9} m/sec, mentre il valore più ricorrente nell'intervallo di dati corrisponde a valori di assorbimento nulli.

L'analisi spaziale dei dati evidenzia inoltre che i valori di permeabilità sono distribuiti in maniera omogenea e che non vi sono particolari zone che si distinguono per elevate o basse misure di permeabilità.

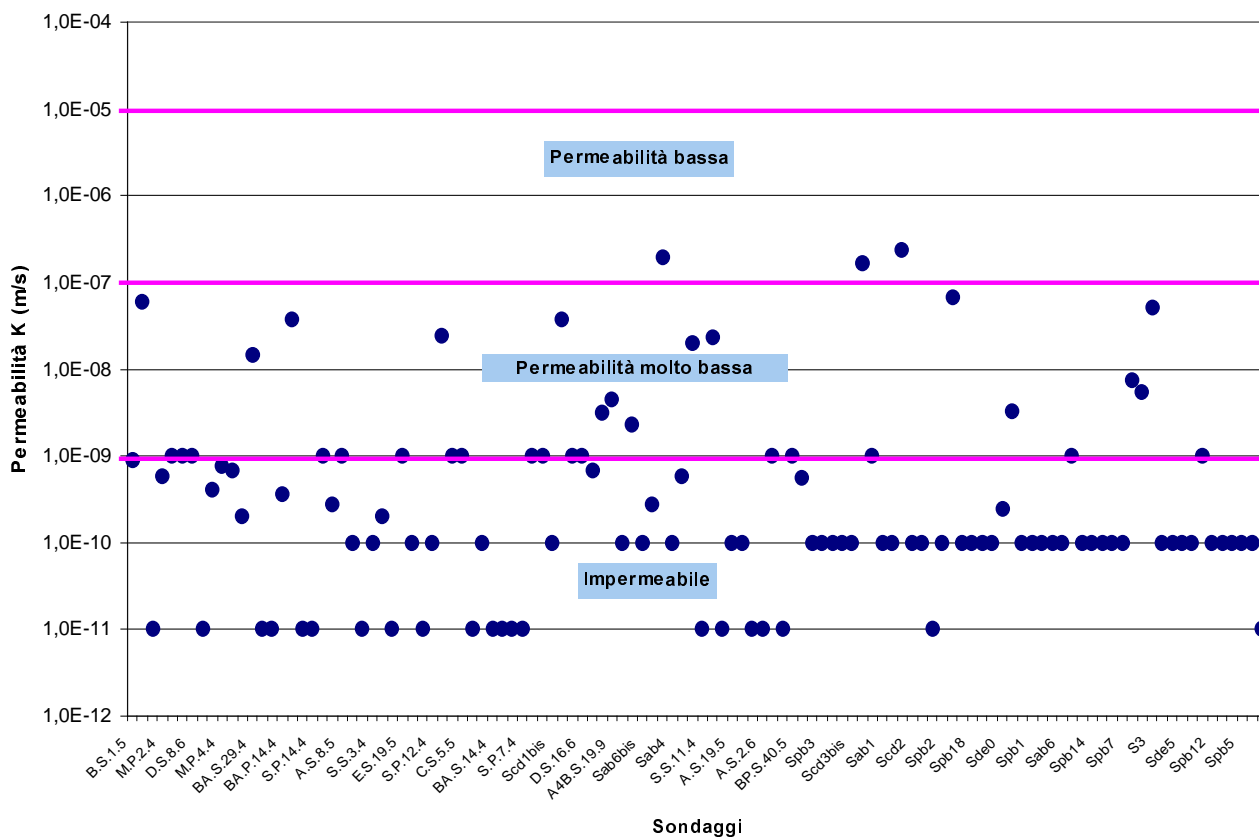


Fig. 5: Grafico ricostruito utilizzando i valori "storici" dei coefficienti di permeabilità misurati durante diverse campagne di indagine dal 1940 ad oggi e considerando i valori delle prove effettuate nella parte più bassa del sondaggio.
 N.B.: Per motivi di rappresentatività i valori di permeabilità con assorbimenti nulli ($K=0,0E+00$) sono stati sostituiti con i valori $K=1,0E-11$ m/s.

Come si può osservare la maggior parte dei valori di permeabilità sono tutti estremamente bassi: essi rientrano infatti nella classe dei terreni impermeabili ($K < 10^{-9}$ m/sec).

Solamente 12 valori presentano un dato di permeabilità leggermente più elevato che comunque rientra nella classe di permeabilità paragonabile a quella di un'argilla limosa.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Fg. 38 di 112	Rev.		
	0		

Sondaggio – prova	Profondità		Permeabilità
	da (m)	a (m)	K (m/sec)
lm1 3	5,50	9,10	1,14E-06
lm1 2	20,10	23,70	1,62E-07
lm1 1	32,50	36,20	0,00E+00
lm2 3	6,90	10,60	2,86E-08
lm2 2	19,70	23,40	3,51E-06
lm2 1	31,80	35,50	4,47E-09
lm3 3	5,7	9,3	3,26E-07
lm3 2	15,8	19,4	7,94E-08
lm3 1	29,4	33,0	9,15E-08
lm4 3	6,20	9,90	2,99E-06
lm4 2	20,10	23,80	0,00E+00
lm4 1	29,60	33,30	0,00E+00
lm5 3	11,70	15,20	0,00E+00
lm5 2	20,50	24,00	0,00E+00
lm5 1	31,50	35,00	0,00E+00
lm6 2	16,90	21,20	1,26E-09
lm6 1	21,20	25,5	6,21E-08
lm7 1	9,20	35,3	2,73E-08

Tab. 5.b: Valori di permeabilità misurati durante la campagna BASI del 1998

Dall'analisi dei dati della Tab. 5b, nonostante queste prove siano state volutamente eseguite in corrispondenza degli orizzonti più disturbati, e quindi dove erano da attendersi valori di permeabilità maggiori, si sono ottenute permeabilità il più delle volte nulle o comunque molto basse a conferma di un diffuso processo di sigillatura delle fratture.

Infatti solo in 3 prove su 18 si sono ottenuti valori di permeabilità bassi ($10^5 > K > 10^7$ m/sec); in 7 valori molto bassi ($10^{-7} > K > 10^{-9}$ m/sec) ed in 8 prove permeabilità nulle o comunque attribuibili alla classe dei terreni impermeabili

Statisticamente la moda, cioè il valore più rappresentato, è pari a $K=0$ ($K < 10^{-9}$ m/sec). Pertanto anche negli orizzonti più disturbati, in corrispondenza dei quali sono state eseguite le prove, gli indicatori statistici evidenziano un valore di permeabilità molto basso.

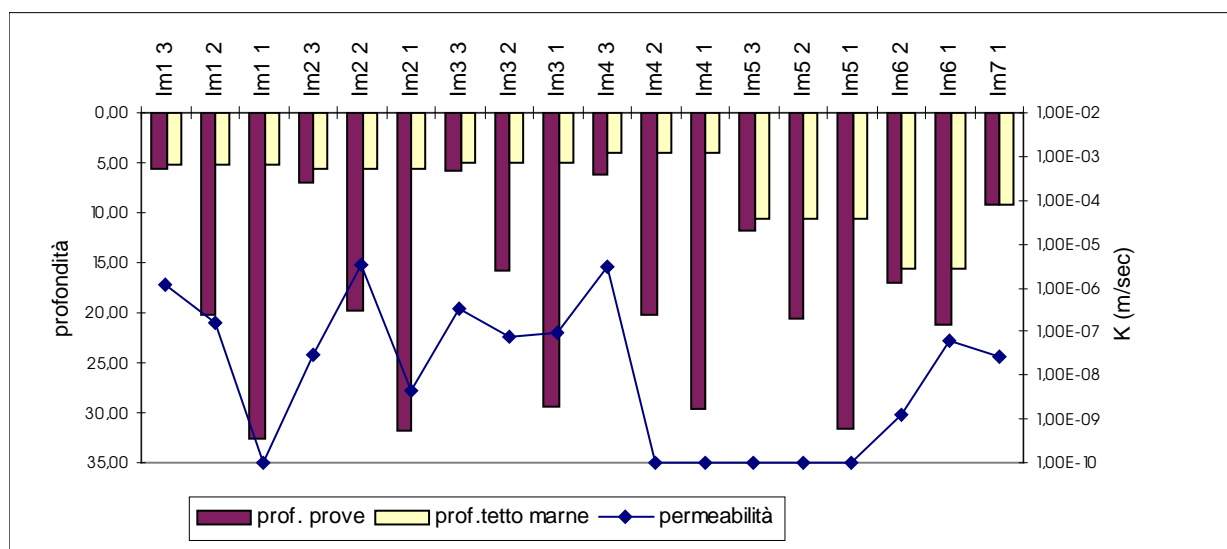


Fig. 6: Confronto tra la profondità delle prove ed il tetto del substrato marnoso diagrammato insieme ai valori di permeabilità misurati con le prove Lugeon.

SONDAGGIO – prova	Profondità (m)		Permeabilità (m/s)
	da (m)	a (m)	
A4b.35	2,50	5,60	1E-05
A4b.35	12,7	15,7	0E+00
A4b.35	41,0	43,0	0E+00
A4b.51	4,0	9,50	9,79E-07
A4b.51	17,0	21,8	5,98E-08
A4b.51	46,0	51,0	1,1E-07
A6.64	8,5	12,35	1,06E-08
A6.64	15,0	17,9	6,12E-09
A6.64	22,5	25,7	2,64E-07
A6.64	46,0	50,0	2,31E-08
A4.07	10,0	13,5	2,5E-07
A4.07	16,0	19,2	8,53E-08
A4.07	40,5	43,5	1,46E-09
A4.92	9,0	12,0	2,12E-07
A4.92	28,0	31,2	1,1E-07
A4.92	47,0	50,0	1,25E-08
BP.S.73.4	22,0	25,5	6,41E-08
BP.S.73.4	36,0	39,45	1,63E-08
BP.S.73.4	48,0	51,0	0E+00

Tab. 5.c: Valori di permeabilità misurati durante la campagna BASI 2001

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Fg. 40 di 112	Rev.		
	0		

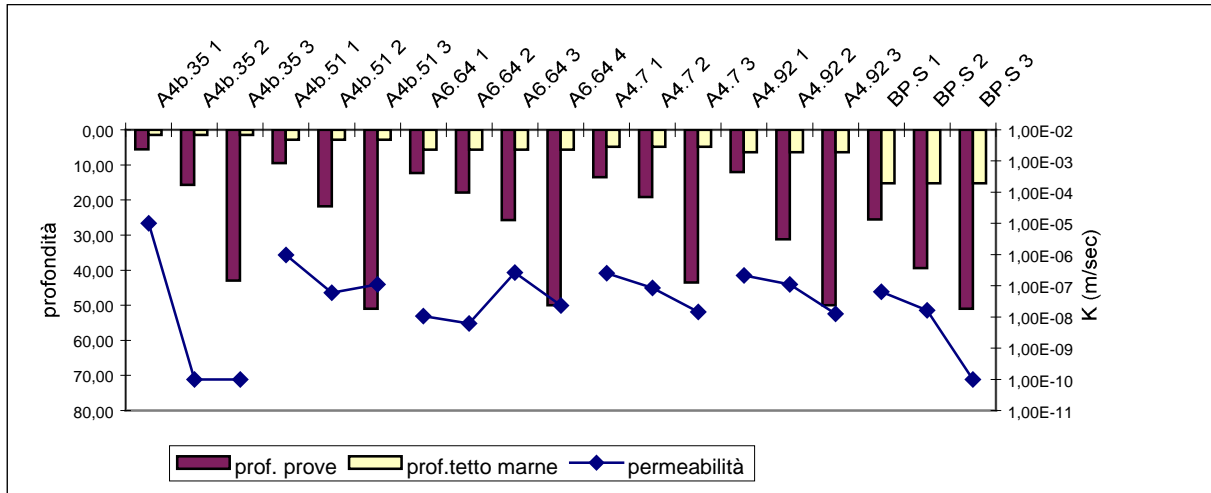


Fig. 7: Confronto tra la profondità delle prove ed il tetto del substrato marnoso VS i valori di permeabilità Lugeon (campagna integrativa BASI 2000)

Dall'esame delle figure 6 e 7 si nota che i valori più alti di permeabilità (compresi comunque nella classe di permeabilità bassa) si sono ottenuti, in genere, subito sotto il tetto delle marne, dove le prove possono avere risentito sia di uno stato fessurativo legato all'alterazione superficiale più spinta del substrato che delle modalità di esecuzione delle prove, mentre negli strati profondi le permeabilità sono di gran lunga inferiori a dimostrazione del fatto che le eventuali fessurazioni sono comunque occluse per fenomeni di argillificazione o calcitizzazione.

Questo dato conferma anche le osservazioni fatte in campagna, quando si sono registrati i limitati stillicidi di acqua e chiazze di umidità in corrispondenza di alcuni affioramenti delle marne della Formazione di Rocchetta.

Infatti questi stillicidi si rinvengono lungo alcune pareti subverticali ma mai con uno spessore sovrastante di marne troppo elevato, per cui si ritiene che questa limitata circolazione sia legata prevalentemente ai livelli più superficiali del substrato, che hanno risentito di un'alterazione più spinta perché esposti agli agenti esogeni, e quindi è confinata a percorsi limitati nello spazio, sia in senso orizzontale che verticale.

A conferma della mancanza di circolazione idrica all'interno della formazione marnosa si può osservare che nella zona non esistono pozzi che emungono acqua dalle marne. A parte i pozzi che attingono direttamente nelle falde di subalveo presenti nel materasso alluvionale, gli altri unici pozzi censiti sfruttano la circolazione nei livelli arenacei della Formazione di Monesiglio, sovrastante la formazione marnosa di Rocchetta, che funge proprio da acquicludo dei sovrastanti acquiferi, sia che questi siano i depositi alluvionali o i banconi arenacei fratturati litostratigraficamente più elevati.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 41 di 112	Rev.			
	0			

5.2.3 Considerazioni conclusive

I risultati del rilievo geologico-strutturale, della prospezione geofisica e delle perforazioni condotte per definire ulteriormente il grado di permeabilità della formazione marnosa sottostante lo Stabilimento permettono di concludere quanto segue.

Si può affermare che la Formazione di Rocchetta presenta valori di permeabilità nulli o molto bassi (dato confermato dall'analisi dei dati storici).

In alcuni rari casi, nelle porzioni più superficiali, può presentare localmente valori di permeabilità secondaria più elevati (legati a presenza di alterazione al tetto dell'ammasso) e che comunque rientrano sempre nella classe di permeabilità bassa. Queste zone superficiali più permeabili sono comunque poco frequenti all'interno dell'area dello Stabilimento e interessano porzioni circoscritte e senza continuità laterale. Inoltre si deve considerare che negli strati inferiori le permeabilità diminuiscono sensibilmente e che le profondità massime di prova (circa 50 m) corrispondono ad 1/3 dello spessore dell'intera formazione.

La campagna di rilievi e di indagini mirate in corrispondenza delle zone più critiche dello stabilimento, per le quali erano da attendersi gli eventuali valori più elevati di permeabilità legati allo stato di fessurazione della Formazione di Rocchetta, ha confermato la tenuta idraulica del substrato presente al disotto dell'area dello Stabilimento. Infatti la maggioranza delle prove ha dato valori di permeabilità nulli o molto bassi, nonostante le situazioni investigate siano quelle più critiche attese per la zona di interesse.

Considerando inoltre che:

- le caratteristiche di acquicludo che vengono attribuite alle formazioni marnose e marnoso-argillose dalla vasta bibliografia in materia sono ben note;
- i risultati delle prove di permeabilità realizzate in sito, sia quelle storiche che quelle eseguite dal BASI, forniscono comunque valori molto bassi benché con queste ultime si siano investigate le situazioni più critiche messe in evidenza dai rilievi diretti (di campagna) ed indiretti (fotointerpretazione);
- le prove di permeabilità sono state realizzate in condizioni sicuramente più gravose rispetto a quelle imposte dalla falda freatica presente in sito e che localmente potrebbero aver indotto un aumento della permeabilità misurata;
- i valori più elevati di permeabilità si riscontrano nella porzione sommitale altero fessurata della formazione marnosa di spessore limitato;
- non è stata mai rilevata circolazione idrica all'interno dell'ammasso marnoso;
- la serie numerosa e rappresentativa di valori nulli di permeabilità misurati,
- il notevole spessore e la continuità laterale e verticale della formazione marnosa;

si conclude che la Formazione marnosa sottostante l'intera area di Stabilimento garantisce condizioni di tenuta idraulica di assoluta sicurezza.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 42 di 112	Rev.			
	0			

5.3 Modello matematico di flusso

5.3.1 Calibrazione del modello: conclusioni generali

Un modello matematico di flusso delle acque sotterranee per l'area dello stabilimento BORMIA di Cengio (SV) è stato implementato in condizioni stazionarie mediante il codice di calcolo alle differenze finite Modflow (Harbaugh A.W., 1995; Harbaugh A.W. e McDonald, M.G., 1988; Harbaugh A.W. e McDonald M.G., 1996) nell'ambito del sistema di modellazione GMS 3.1 (Brigham Young University, 2001).

In primo luogo sono stati trattati tutti gli aspetti di base relativi alla concettualizzazione del sistema fisico e funzionali alla implementazione del modello numerico. Nell'ordine:

- Il bilancio idrogeologico, quale riferimento iniziale risultante da un precedente studio idrologico (BASI, 2000);
- il modello concettuale iniziale, con riferimento agli aspetti geologici (modello litostratigrafico), tettonici ed idrogeologici (distribuzione spaziale di ricarica interna allo stabilimento e lungo i settori a monte, conducibilità idrauliche, coefficiente di immagazzinamento, ecc...). Uno specifico sforzo è stato dedicato alla ricostruzione della geometria del sistema in condizioni 3D, fondamentale per una corretta comprensione degli andamenti dei deflussi sotterranei;
- Andamenti piezometrici storici ed attuali. Distribuzioni derivate di spessori saturi e soggiacenza;
- Andamento storico e distribuzione spaziale dei prelievi, con riferimento soprattutto alla disaggregazione lungo i diversi settori della barriera esistente sul lato fiume;
- ruolo delle opere antropiche sulla ricarica per pioggia (edifici, aree pavimentate, aree verdi) e sulla ricarica per perdite dalle reti tecnologiche (canale adduttore industriale, rete interna delle acque industriali, rete fognaria e bacini);
- valutazione dei termini di ricarica lungo il limite a monte, riconducibili a ruscellamento superficiale (contestualmente con eventi piovosi significativi), eventuali contributi per perdite da sistemi di canalizzazione superficiale (es. canale a monte della strada nel settore orientale) ovvero possibili contributi profondi;
- Analisi del settore E; ubicato all'estremità orientale dello stabilimento, esso si caratterizza per prelievi dai pozzi molto elevati e per la presenza di un canale adduttore industriale ed associata stazione di pompaggio per la distribuzione alla rete interna). Tale canale è caratterizzato storicamente da portate di prelievo molto elevate, sensibilmente ridotte solo negli ultimi 3-4 anni, a seguito della fermata degli impianti produttivi ed attualmente attestata intorno ai 200-250 m³/h. Il canale è

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 43 di 112	Rev.			
	0			

responsabile di perdite significative come risulta da specifiche prove realizzate recentemente.

Sulla base delle evidenze emerse nel corso del processo di calibrazione (a partire dal modello concettuale iniziale), sono state discusse criticamente le ipotesi modellistiche conclusive, con particolare riferimento alla distribuzione dei parametri idrogeologici, della ricarica diretta (per infiltrazione efficace sulle aree libere e non pavimentate) e della ricarica laterale lungo il limite a monte. Il ruolo determinante delle perdite dalle reti tecnologiche nell'alimentazione al sistema idrico sotterraneo (ruolo già riconosciuto nel sopraccitato studio idrologico) è stato oggetto di una specifica analisi.

Sono state discusse le condizioni di calibrazione (stazionario riferito al Gennaio 2001 e successive verifiche relative ai mesi di Aprile e Luglio 2000), i criteri di validazione (confronto tra andamenti calcolati ed osservati, parametri statistici di riferimento) ed i risultati finali (elementi interpretativi, bilancio idrogeologico risultante),

I risultati ottenuti sono molteplici e riconducibili in primo luogo ad un effettivo miglioramento nella comprensione dell'assetto idrogeologico dell'area e del comportamento del sistema a fronte delle sollecitazioni esterne. In tal senso gli elementi di maggior rilevanza possono essere ricondotti a:

- Revisione dettagliata dell'assetto strutturale dell'area e degli effetti sulla circolazione idrica sotterranea. Dall'analisi dei dati disponibili e della successiva interpretazione idrogeologica, è emersa una articolata compartimentazione del sistema idrico sotterraneo (fig. 5.4/1), che si riflette con evidenza sugli andamenti piezometrici. In particolare è risultata evidente una prima distinzione (peraltro molto netta) in due sottoaree, in corrispondenza di un alto morfologico che si estende grossomodo dall'area dell'impianto di trattamento delle acque, inizialmente verso S-O per continuare poi verso O. Ulteriori compartimentazioni sono emerse in sede di successiva analisi: di particolare importanza risulta essere quella che riguarda il settore dei bacini. Tale settore, ubicato all'estremità sud-occidentale dello stabilimento, appare relativamente isolato rispetto ad eventuali alimentazioni dirette sotterranee e, di conseguenza, presumibilmente alimentato per perdite dalle reti tecnologiche. Una ulteriore distinzione del settore più orientale dell'area è sostanzialmente basata su alcune evidenze piezometriche e, in mancanza di indizi strutturali relativi all'andamento del substrato impermeabile, può essere tentativamente mantenuta. Tali settori sono stati schematicamente indicati (fig. 5.4/1) come settore 1 (orientale), settore 2 (centrale), settore 3 (area bacini) e settore 4 (area N, o Basso Piave);
- Approfondimento delle problematiche inerenti l'entità e la distribuzione spaziale delle alimentazioni al sistema idrogeologico. E' stato sostanzialmente riconfermato l'apporto dalle reti tecnologiche delle acque bianche. Con l'unica eccezione del canale adduttore industriale, per il quale è stata condotta una analisi dettagliata, non è stato possibile discriminare nel dettaglio le varie componenti, ricondotte per lo più a perdite fisiologiche distribuite sul dominio

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 44 di 112	Rev.			
	0			

di modellazione. Il bilancio idrico finale ha condotto ad una valutazione della ricarica complessiva di queste perdite dell'ordine dei 60 m³ /h di cui circa la metà attribuibili al canale industriale. La valutazione della alimentazione dal settore a monte dello stabilimento (immediatamente a N della linea ferroviaria) è stata infine riconfermata per il settore nord-occidentale (settore 4), pur attestandosi su valori stimabili in circa 10 m³ /h più contenuti rispetto alle stime iniziali. Perdite interne al settore dovrebbero anche in questo caso contribuire alla chiusura del bilancio idrogeologico; l'ipotesi, inizialmente scartata in ragione dello sviluppo pressochè nullo della rete fognaria, è stata poi ripresa in ragione del fatto che l'impianto ITAR (con i suoi circa 18000 m³) con associate strutture di canalizzazione è proprio ubicato all'interno di questo settore. La ricarica lato monte è stata anche rivista criticamente lungo i settori centro-orientali (nell'ordine settori 2 e 1); alla luce degli ultimi dati disponibili, tale ricarica laterale è stata tentativamente stimata nell'ordine del 10-15 % della ricarica complessiva al sistema. Si tratta di valori decisamente inferiori rispetto alle componenti stimate di ricarica areale (per perdita dal canale industriale e dalla stessa rete fognaria, che in particolare nel settore 1 funziona unicamente in caso di pioggia. Si ribadisce in tal senso l'esistenza di condizioni idrogeologiche all'interno dello stabilimento di Cengio molto particolari: aree presumibilmente secche (o comunque con spessori saturi molto limitati), la comparsa di settori compartimentati, ovvero il ruolo determinante delle opere antropiche; tutti fattori che contribuiscono ad un quadro generale quasi al limite di applicabilità della modellistica matematica relativa al flusso in mezzi porosi saturi. La ricarica diretta interna allo stabilimento e riconducibile ad infiltrazione efficace risulta poi abbastanza contenuta in ragione della estesa copertura (edifici, aree asfaltate, bacini) dell'area di studio.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I	
REL. 02	
Fg. 45 di 112	Rev.
	0

SCHEMA INTERPRETATIVO FINALE

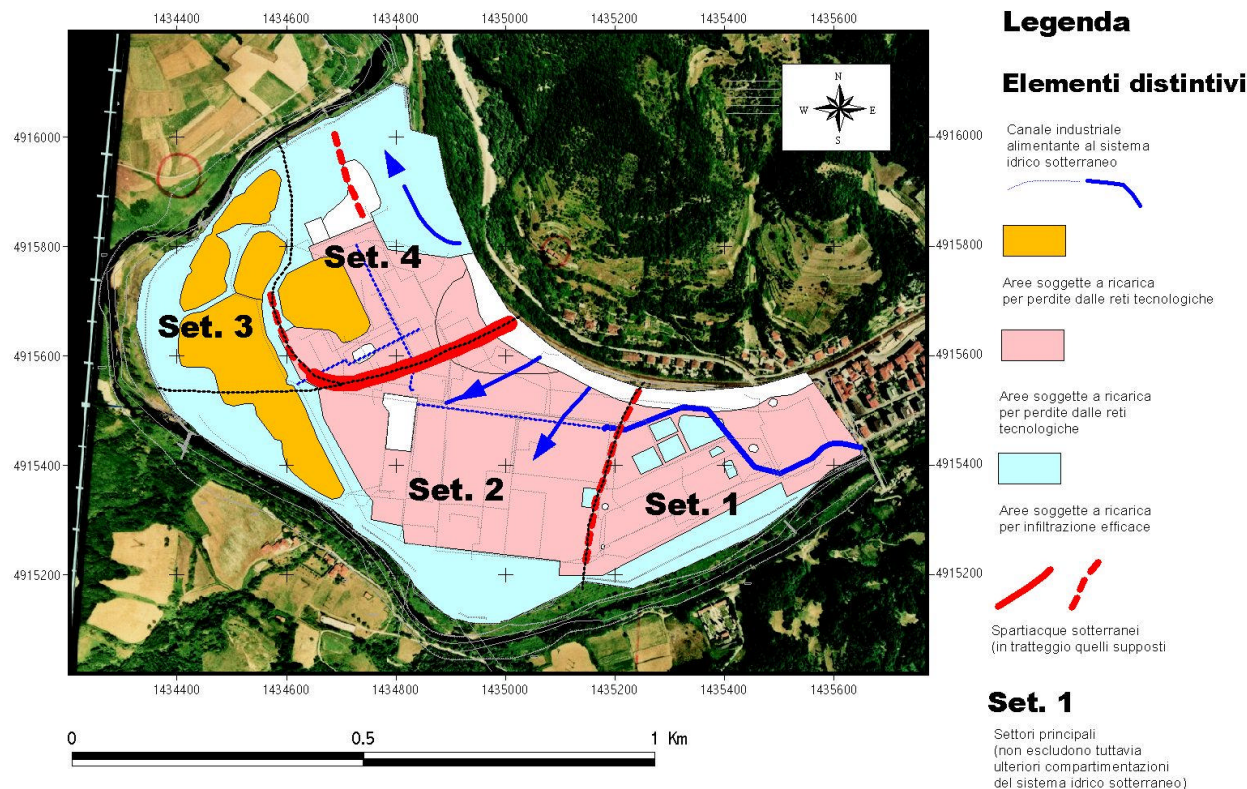


Fig. 5.4/1 - Interpretazione conclusiva: compartimentazione del sistema idrogeologico

5.3.2 Simulazioni

Sulla base del modello calibrato è stata realizzata una simulazione di flusso per valutare l'impatto di una opera di sbarramento (fig. 5.4/2), che si estenderà dal settore meridionale della barriera (in prossimità dei pozzi C) verso Nord, in corrispondenza dell'alto morfologico, per poi proseguire in direzione dell'impianto ITAR e quindi proseguire parallela al limite con gli affioramenti nel settore settentrionale (settore 4).

La simulazione è stata realizzata introducendo l'opera di sbarramento in forma di barriera di permeabilità. Il modello calibrato per il Gennaio 2001 è stato utilizzato quale riferimento iniziale, in quanto esso ha rappresentato, già in sede di calibrazione, un riferimento privilegiato in ragione della maggiore densità di punti di osservazione disponibili (soprattutto nelle aree interne allo stabilimento). Si noti per completezza che le osservazioni generali inerenti la calibrazione rimangono valide anche in fase di simulazione: ci si riferisce in particolare al fatto che le variazioni di

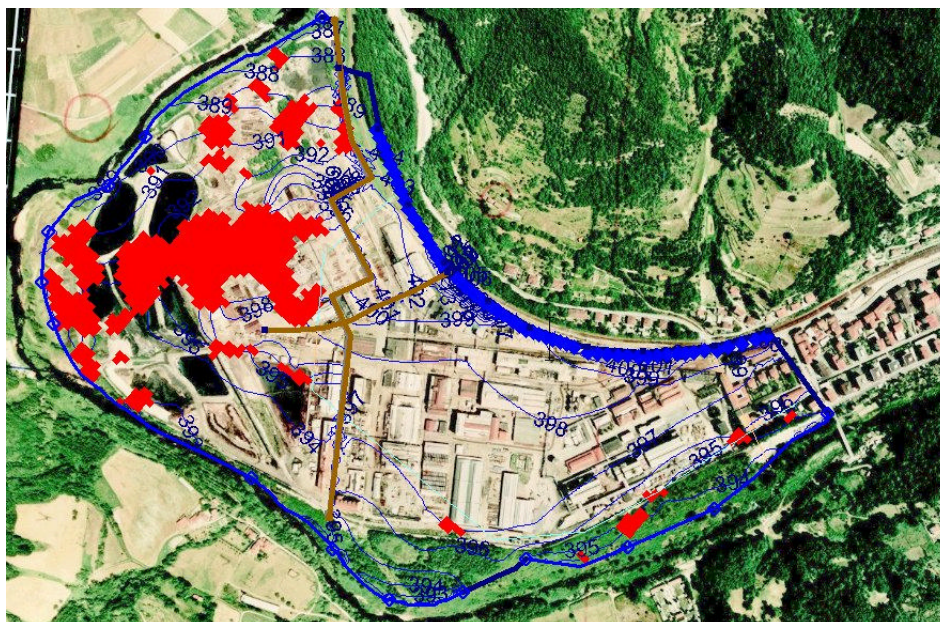
CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 46 di 112	Rev.			
	0			

ricarica al sistema (siano esse naturali o legate a variazioni delle perdite dalle reti tecnologiche) non sembrano affatto modificare l'andamento delle direzioni di deflusso. Queste ultime rimangono sostanzialmente inalterate, nonostante gli incrementi di carico piezometrico; nello specifico contesto idrogeologico, l'andamento piezometrico è infatti essenzialmente controllato dalla morfologia del substrato. Detto questo, se ne deduce che i risultati ottenuti da questa simulazione rimangono sostanzialmente rappresentativi anche per altri mesi, fatta eccezione ovviamente per l'entità complessiva dei deflussi ovvero per condizioni anomale locali non previste in questa simulazione (es. una perdita improvvisa e localizzata)

Come prevedibile, sulla base di una mera osservazione degli andamenti piezometrici e delle direzioni di deflusso (dalla cartografia piezometrica), come peraltro confermato in sede di calibrazione del modello matematico di flusso e soprattutto come risultante della specifica simulazione (fig. 5.4/2), un impatto apprezzabile si osserva nel settore meridionale dello stabilimento (settore 2), immediatamente a S dell'alto morfologico. Questo settore si caratterizza infatti per conducibilità idrauliche relativamente più elevate rispetto a quelle delle aree circostanti nonché per uno spessore saturo apprezzabile (anche dell'ordine di qualche metro). La realizzazione dell'opera di sbarramento indurrebbe una variazione piezometrica importante, il cui valore massimo sarebbe stimabile nell'ordine di 1.5-2 m nel settore centro-meridionale (fig. 5.4/3); questo comporterebbe peraltro un riallagamento di buona parte delle aree altrimenti non sature presenti nella parte meridionale dello stabilimento, a cavallo tra i settori 1 e 2.

Per quanto riguarda poi il settore più settentrionale del setto impermeabile, è evidente che la specifica collocazione che lo vede intrappolato tra il limite degli affioramenti immediatamente a NE e l'alto morfologico immediatamente a S ne rappresenta la criticità principale. E' fondamentale in questo settore prevedere la realizzazione di opere di drenaggio che siano in grado di intercettare i flussi in alimentazione lungo il lato monte (lato ferrovia). Al contempo è altrettanto importante verificare l'eventuale esistenza di perdite localizzate in prossimità ad esempio dell'impianto ITAR e prevederne l'interruzione o comunque l'intercettazione lungo il settore immediatamente a monte della barriera stessa; si ricordi in tal senso che le attività di calibrazione del modello matematico hanno effettivamente evidenziato come la ricarica per infiltrazione diretta e la ricarica lungo il lato monte, per quanto apprezzabili, non siano presumibilmente l'unica causa di alimentazione al sistema idrico sotterraneo in questo settore.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Fg. 47 di 112	Rev.		
	0		



In colore marrone l'ubicazione del setto impermeabile e l'asse dell'alto morfologico

Fig. 5.4/2 – Simulazione 1: piezometria risultante a seguito della costruzione del setto impermeabile

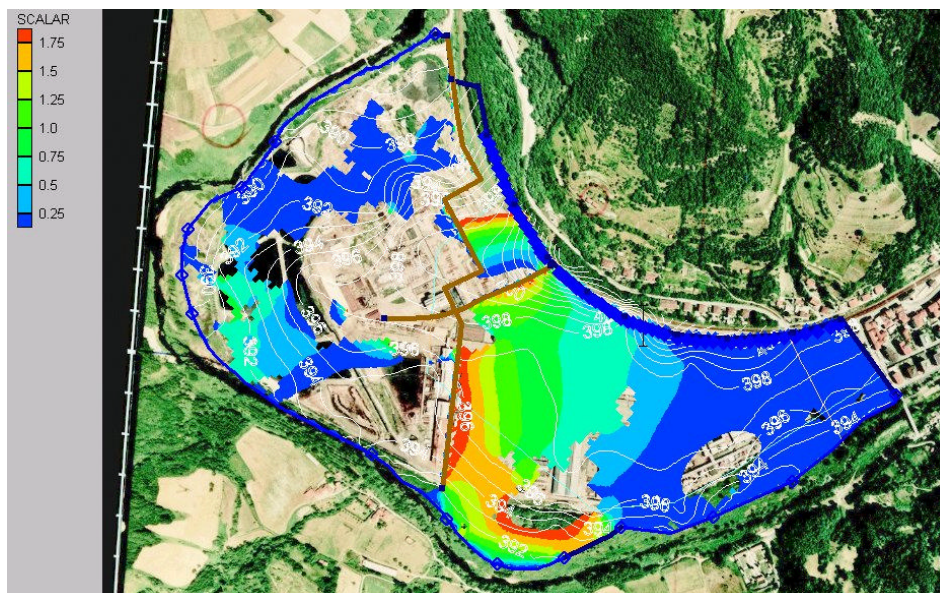


Fig. 5.4/3 – Simulazione 1: differenze piezometriche indotte dalla costruzione del setto impermeabile

In conclusione, va quindi detto che il modello matematico costituisce un riferimento fondamentale per la valutazione di opere di intervento o di messa in sicurezza dello stabilimento. Lo dimostra l'analisi dell'impatto dell'opera di contenimento, attualmente in discussione, sulla circolazione idrica sotterranea. Valutare con anticipo l'entità delle modifiche piezometriche indotte può essere infatti

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 48 di 112	Rev.			
	0			

fondamentale nel considerare possibili interazioni (anche indesiderate) con opere antropiche e nel valutare le opportune misure di contenimento, sia in termini di variazioni delle portate da prelevare lungo la barriera lato fiume che in termini di eventuali opere di drenaggio interne allo stabilimento. In generale poi la ricostruzione delle alterazioni indotte sull'andamento delle direzioni di deflusso consente all'idrochimico, proprio a partire dalle potenziali sorgenti concentrate di contaminazione, di tentare una valutazione anticipata delle eventuali variazioni delle caratteristiche chimiche delle acque intercettate lungo i diversi settori della barriera pozzi.

Come tutti i modelli, anche questo ha alcune limitazioni che è opportuno siano ben chiare a chi ne voglia fare uso. Tali limitazioni sono sostanzialmente riconducibili a 2 considerazioni fondamentali:

□ il sistema idrogeologico sottostante lo stabilimento è, come ben evidente dalla ricostruzione concettuale del sistema, decisamente discontinuo. Alcune aree (ci si riferisce a tutto l'alto morfologico, al settore 3, e all'area che divide i settori 1 e 2, all'estremità meridionale dello stabilimento) risultano caratterizzate da spessori saturi molto contenuti e presumibili discontinuità ed interruzioni del sistema acquifero. In particolare l'alto morfologico funge proprio da separatore netto tra il dominio settentrionale (settore 3) e quello centro orientale (settori 2 ed 1). E' evidente quindi che questi settori critici sono assai prossimi ai limiti di applicabilità di un modello di flusso in condizioni sature; il modello matematico risulta quindi avere buone caratteristiche previsionali prettamente nel settore 4, nel settore 2 e nella parte orientale del settore 1, dove l'acquifero è di fatto abbastanza continuo ed in alcuni casi anche di spessore apprezzabile. Nelle altre aree, il modello, pur mantenendo una preziosa validità concettuale, perde necessariamente specifiche capacità deterministiche di simulazione;

□ il sistema idrogeologico sottostante lo stabilimento è fortemente controllato in ricarica da perdite dalle reti tecnologiche. Si pensi in tal senso come gli esempi puntuali evidenti, quali il canale industriale (nell'ordine dei 30-35 m³/h) ed i pozzi interni (nell'ordine 15 m³/h) già da soli contribuiscano per ben più del 50% ai flussi risultanti lungo la barriera lato fiume (i prelievi complessivi dai pozzi consentono l'analisi della chiusura del bilancio). E questo senza aver modo di procedere ad una puntuale localizzazione di altre perdite, che, in ragione dei flussi in gioco (il canale industriale ha portate dell'ordine dei 200-250 m³/h, la rete acque bianche si stima si aggiri intorno a valori dell'ordine dei 150-200 m³/h) potrebbero risultare consistenti in termini di volume anche rimanendo modesti in termini percentuali. Ci si trova quindi di fronte ad una situazione fortemente antropizzata, in cui la modellazione delle acque sotterranee riguarda solo marginalmente lo stato naturale del sistema; i termini di ricarica (diretta e laterale), pur apprezzabili in termini assoluti, tendono a rimanere mediamente contenuti in termini percentuali mentre la corretta valutazione delle perdite si scontra con gli oggettivi limiti di localizzazione spaziale. In tal senso il limite del modello matematico riguarda proprio l'incertezza nell'ubicazione di queste fonti antropiche di alimentazione e nella scelta quindi di ricondurle, sia pure solo in parte, ad una perdita distribuita su un dominio arealmente più ampio. Questa limitazione si riflette ovviamente sulle capacità di simulazione, qualora l'attenzione si concentri su settori particolarmente limitati, caso questo – ad esempio – evidente

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 49 di 112	Rev.			
	0			

per il settore compreso tra il setto di separazione proposto e gli affioramenti presenti lungo il tratto nord-occidentale dello stabilimento (settore 4). Solo un ulteriore approfondimento di indagine, finalizzato alla valutazione delle portate in entrata ed in uscita dai singoli rami della rete industriale e della rete acque bianche, potrebbe contribuire ad una ulteriore disaggregazione spaziale di tali contributi; tuttavia, a meno di forti perdite concentrate, tale approfondimento non dovrebbe comunque comportare alcuna sostanziale modifica del modello concettuale di circolazione nel sistema in analisi.

Tenendo quindi presenti le limitazioni di cui sopra, il modello matematico, potrebbe essere utilizzato in futuro per la simulazione del comportamento del sistema idrogeologico a fronte di ipotesi diverse di sollecitazione naturale o antropica. Il confronto attualmente in corso, relativamente alla realizzazione di opere di compartimentazione interne all'area di stabilimento o di protezione al limite orientale dello stesso, potrà trarre beneficio sia dalla accresciuta comprensione dei meccanismi che governano l'alimentazione e la circolazione idrica nel sistema che dalle nuove simulazioni degli specifici cambiamenti indotti dalle opere sulla piezometria e sugli andamenti di deflusso sotterraneo.

5.4 Riferimenti bibliografici

Brigham Young University (2001) - GMS V 3.1. Reference manual. The Department of Defense Groundwater Modeling System

Harbaugh, A.W., (1995) - Direct solution package based on alternating diagonal ordering for the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-288, 46 p.

Harbaugh, A.W., e McDonald, M.G. (1988) – A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations, book 6, chap. A1, 586 p.

Harbaugh, A.W., e McDonald, M.G., (1996) - Programmer's documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-486, 220 p.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 50 di 112	Rev.			
	0			

6 OBIETTIVI DEGLI INTERVENTI

6.1 Premessa

Sulla base del quadro generale fisico e qualitativo del sito, definito a partire dai risultati del Piano di Caratterizzazione, viene confermato quanto indicato nell'Accordo di Programma del dicembre 2000, suddividendo il sito in quattro zone fisicamente distinte e di caratteristiche omogenee, come illustrato in Fig 6.a, qui di seguito descritte.

La suddivisione tra la zona A1 ed A2 viene realizzata attraverso un setto impermeabile (Rel. 09). Il tracciato del setto è stato definito in funzione dell'ottimizzazione dell'estensione della Zona A2, destinata alla reindustrializzazione, sulla base delle condizioni idrogeologiche del sito, della qualità dei terreni e dell'intervento di riposizionamento dello scarico.

ZONA A1

Questa zona è ubicata nella porzione Ovest dello stabilimento e comprende l'area Basso Piave, l'area Deposito Infiammabili, il rilevato "M" e la Zona Bacini. In questa zona predominano, in maniera pressoché esclusiva, materiali di rifiuto, con stato fisico solido o semisolido, di origine industriale derivanti dalle attività produttive dello stabilimento, e terreni frammisti a rifiuti in maniera indistinguibile a contaminazione molto differenziata i cui rapporti verticali ed orizzontali sono molto eterogenei.

ZONA A2

Questa zona, che copre il corpo centrale e la porzione est dello stabilimento, è caratterizzata dalla presenza degli ex impianti produttivi e delle infrastrutture industriali. In questa zona non si riscontra la presenza di rifiuti nel sottosuolo ma solo di porzioni di terreno a diverso grado di contaminazione.

ZONA A3

Questa zona comprende le aree esterne all'insediamento industriale di quasi esclusiva proprietà di BORMIA SpA poste in fregio al muro di cinta dello stabilimento e la barriera di contenimento e prospiciente l'alveo del fiume Bormida, dove si rinvengono accumuli di rifiuti e terreni contaminati.

ZONA A4

Con tale zona si indica l'area di Pianrocchetta, ubicata in un'ansa in destra idrografica del fiume Bormida. Posta ad un chilometro ad ovest dell'insediamento industriale, tale area risulta occupata per circa un terzo della sua estensione da una discarica di residui industriali e rifiuti solidi urbani.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 51 di 112	Rev.			
	0			

6.2 Descrizione

L'obiettivo degli interventi definiti dal Progetto Preliminare è il risanamento dell'intero sito mediante bonifica, bonifica con misure di sicurezza e messa in sicurezza permanente, in linea con quanto previsto dal già citato Accordo di Programma del dicembre 2000.

Questi consisteranno, zona per zona in:

◆ ZONA A1

- allocazione dei materiali contaminati in un'unica area, peraltro già occupata da rifiuti;
- separazione di questi dall'ambiente fisico circostante, evitando la diffusione dei contaminanti dal sito verso aree non inquinate;
- isolamento idraulico e controllo delle acque interne;
- separazione con l'area destinata a nuove attività produttive.

Questi saranno raggiunti attraverso la realizzazione dei seguenti interventi:

- demolizione di edifici obsoleti,
- bonifica mediante rimozione e smaltimento dei reflui salini attualmente presenti nei bacini di "lagunaggio",
- abbancamento dei rifiuti e dei terreni contaminati derivanti dalle opere di bonifica delle Zone A2, A3, A4; dalle opere di messa in sicurezza e dalle demolizioni;
- messa in sicurezza permanente dell'intera area, sfruttando la presenza del substrato marnoso impermeabile, mediante la realizzazione di opere di contenimento (setti impermeabili) e drenaggio perimetrali, opere di difesa spondale e impermeabilizzazione superficiale dell'intera area;
- ripristino a verde dell'area.

La messa in sicurezza permanente dell'area verrà realizzata utilizzando parte delle opere di contenimento già realizzate o in fase di realizzazione.

◆ ZONA A2

Rendere fruibile l'area per futuri insediamenti di attività produttive.

Questo obiettivo sarà raggiunto attraverso la realizzazione dei seguenti interventi:

- la demolizione degli edifici obsoleti;
- la bonifica mediante asportazione dei terreni contaminati della zona insatura, e successivo ritombamento, ad esclusione dei terreni che si collocano al di sotto di quegli edifici industriali ed impianti produttivi che saranno conservati al fine della reindustrializzazione;

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 52 di 112	Rev.			
	0			

- la bonifica con misure di sicurezza dei terreni nella zona satura e delle acque sotterranee.
- Analisi di Rischio sito specifica;

◆ ZONA A3

- la bonifica delle aree golenali;
- il ripristino e la regolarizzazione della sezione fluviale.

Questi saranno raggiunti attraverso la realizzazione dei seguenti interventi:

- l'asportazione dei rifiuti e dei terreni contaminati;
- la riprofilatura ed il ripristino a verde dell'area;

Sulla base delle destinazioni d'uso indicate dal Piano Regolatore Generale Adottato del Comune di Cengio, che prevede una distinzione dell'area in oggetto in zone ad uso a verde e zone ad uso industriale, la bonifica verrà di conseguenza eseguita in accordo alla normativa relativa rispettivamente ai siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale e ai siti ad uso commerciale o industriale.

◆ ZONA A4

- la bonifica dell'area;
- il ripristino e la regolarizzazione della sezione fluviale.

Questi saranno raggiunti attraverso la realizzazione dei seguenti interventi:

- l'asportazione dei rifiuti depositati nell'area;
- la demolizione degli edifici obsoleti;
- la riprofilatura ed il ripristino a verde dell'area;

CONTRATTO DI3419/00/FG/I	
REL. 02	
Fg. 53 di 112	Rev.
	0

7 DESCRIZIONE DELL'INQUINAMENTO

7.1 Premessa

Si sintetizzano nel seguito i risultati ottenuti dalla elaborazione dei dati analitici relativi ai campioni di terreno e delle acque della locale falda prelevati nell'ambito dell'indagine condotta dal Consorzio BASI nel sito industriale BORMIA di Cengio nell'agosto 2000 – marzo 2001 (contratto 030.00/DIMP/PG), secondo le modalità descritte nel dettaglio in REL. 12/1802A0 (Consorzio BASI, 02.04.01) e tenendo conto di quanto indicato in DM 471/99 del Ministero dell'Ambiente.

Per quanto concerne la caratterizzazione qualitativa dei terreni per meglio comprendere l'entità delle attività condotte nell'ambito dello studio nella tabella successiva si riporta, per ognuna delle aree in cui è stata suddiviso il sito, il numero di sondaggi eseguiti ed i campioni prelevati per la determinazione delle sostanze non-volatili, con la indicazione dei campioni relativi ai diversi livelli litologici e quelli rappresentativi di evidenze.

Area	n. campioni prelevati per non-volatili						n. Campioni prelevati	n. Sondaggi eseguiti
	Livello di riporto		Livello alluvioni		Marne Alterate			
	Totali	Evidenze	Totali	Evidenze	Totali	Evidenze		
1 bis	4	-	8	1	3	-	15	4
1	40	-	58	10	23	-	121	39
2	68	-	111	15	55	-	234	70
3	37	-	61	6	32	-	130	36
4	83	1	166	39	67	-	316	85
4bis	52	3	77	15	35	2	164	50
5	228	62	173	19	35	-	436	144
6	98	3	199	28	66	1	363	99
6bis	116	30	141	16	55	-	312	85
TOTALI	726	99	994	149	371	3	2091	612

Per la determinazione delle sostanze volatili di protocollo si sono prelevati campioni distinti dagli stessi sondaggi, come indicato nella successiva tabella; per tali sostanze si è riscontrata una contaminazione molto contenuta, come indicato nel successivo paragrafo.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I	
REL. 02	
Fg. 54 di 112	Rev. 0

Area	n. campioni prelevati per volatili						n. Campioni prelevati	n. Sondaggi eseguiti
	Livello di riporto		Livello alluvioni		Marne Alterate			
	Totali	Evidenze	Totali	Evidenze	Totali	Evidenze		
1 bis	4	-	8	-	-	-	12	4
1	40	-	77	-	2	-	117	39
2	69	-	148	13	-	-	217	70
3	36	-	78	7	-	-	114	36
4	84	-	207	48	-	-	291	85
4bis	53	7	85	15	2	2	140	50
5	232	78	202	21	4	1	438	144
6	100	2	182	24	2	1	284	99
6bis	119	31	159	20	2	-	280	85
TOTALI	737	118	1146	148	10	4	1893	612

Indagini di caratterizzazione erano state condotte in precedenza sulle stesse aree ed estese alle zone di accumulo rifiuti; per queste ultime si aveva avuto conferma della presenza di residui di lavorazione. I risultati sono riportati nei rapporti tecnici: Rel. 007 (Consorzio BASI, contratto G69974/8/RG, Novembre 1998) e Rel. 03 (Consorzio BASI, contratto G69911/7/G, Giugno 1997), successivamente riassunti in Rel.12/1802/A0 (consorzio BASI, Aprile 2001).

Ad integrazione del quadro qualitativo descritto nel paragrafo successivo si riportano in Annesso 2 carte di distribuzione relative ai risultati analitici per i vari contaminati, per singola famiglia e per i 3 livelli litologici oggetto di campionamento e carte qualitative riassuntive.

Nel presente capitolo è riportato anche il quadro qualitativo delle acque sotterranee. Una prima descrizione della qualità delle acque sotterranee è riportata nella caratterizzazione del sito BORMIA di Rel. 12/1802A0; in questa sede il quadro qualitativo riportato è quello che emerge considerando i risultati analitici relativi alle acque prelevate con campionamento statico stratificato eseguito nelle 5 campagne di monitoraggio condotte successivamente nel corso dell'anno 2001 (Rel. 25/1802A0) e nelle quali sono stati prelevati in totale 367 campioni, nei pozzi/piezometri indicati in Figura 7.3.a; tale processamento produce lo stato qualitativo più conservativo poiché evidenzia i caratteri del livello più contaminato ed è da considerare il più rappresentativo avendo l'indagine coperto un intero anno idrologico.

Per opportunità di trattamento e descrizione dei dati di qualità delle acque, lo stabilimento è funzionalmente suddiviso in due regioni:

- Regione occidentale: corrispondente grosso modo alla ZONA A1;
- Regione orientale: corrispondente grosso modo alla ZONA A2.

Alla descrizione dei risultati ottenuti si associano carte di qualità con la distribuzione areale delle concentrazioni (Annesso 1).

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 55 di 112	Rev.			
	0			

7.2 Diffusione della contaminazione nei terreni

Le sostanze ed i composti appartenenti alle varie famiglie di cui il protocollo analitico prevedeva il controllo sui terreni risultati effettivamente superiori alla CLA sono i seguenti:

- metalli normati - 9 su 10 (il cromo esavalente è risultato sempre inferiore alla CLA);
- ammine aromatiche - 29 su 79;
- nitrobenzeni - 7 su 8;
- aromatici clorurati - 9 su 10;
- fenoli non clorurati e consimili - 2 su 11;
- fenoli clorurati - 1 su 8;
- idrocarburi policiclici aromatici -14 su 18;
- naftalensolfonici/antrachinonsolfonici e consimili - 20 su 34;
- solventi aromatici - 1 su 5;
- composti alifatici clorurati cancerogeni - 1 su 12;
- composti alifatici clorurati non cancerogeni – nessun composto su 7.

Per quanto riguarda PCB e PCDD+PCDF si segnala che la presenza fuori norma di sostanze appartenenti all'una o all'altra famiglia è stata riscontrata su 16 dei 62 campioni selezionati per tale controllo; questi campioni sono caratterizzati dalla presenza di individuati precursori di tali sostanze e sono, inoltre, compromessi per la presenza fuori limite di alcune delle sostanze di protocollo. I PCB sono risultati fuori norma in un numero di campioni superiori (n. 12 campioni); PCDD+PCDF sono, invece, meno presenti (n. 5 campioni). Il livello più compromesso è risultato essere quello superficiale dei riporti (n. 9 campioni), comunque tali composti possono raggiungere in alcuni punti anche il livello delle marne alterate.

Per una sintesi dei risultati ottenuti dalla elaborazione dei dati analitici relativi ai campioni di terreno prelevati nell'ambito dell'indagine condotta sul sito BORMIA di Cengio nell'agosto 2000 – marzo 2001 si riportano nella sottostante tabella riassuntiva, per ogni area di indagine, i campioni risultati contaminati da sostanze non-volatili in termini percentuali, sia totali che suddivisi per tipologia litologica.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I	
REL. 02	
Fg. 56 di 112	Rev. 0

Area	% campioni contaminati da non-volatili						% Campioni	% Sondaggi
	Livello di riporto		Livello alluvioni		Marne Alterate			
	Totali	Evidenze	Totali	Evidenze	Totali	Evidenze		
1 bis	0	-	0	0	0	-		
1	5.0	-	0	0	0	-	1.6	5.0
2	8.8	-	18.9	26.7	18.2	-	15.8	31.4
3	21.6	-	8.2	33.3	6.2	-	11.5	27.8
4	31.3	-	7.8	5.1	8.9	-	14.2	41.2
4bis	26.9	33.3	31.2	33.3	25.7	0	28.6	48.0
5	54.4	77.4	37.6	73.7	57.1	-	47.7	73.7
5 settori E, D-E (*)	44.6	100	45.2	50.0	61.5	-	46.4	73.7
5 restanti settori (**)	56.4	77.0	29.7	70.6	50.0	-	45.9	70.9
6	24.5	66.7	10.5	3.6	16.7	0	15.4	41.4
6bis	45.7	66.7	23.4	37.5	27.3	-	33.3	65.9
TOTALI	35.4	71.7	18.3	22.8	19.7	0	24.6	48.4

(*) settori dell'area 5 destinati ad uso verde pubblico

(**) settori dell'area 5 destinati ad uso industriale

Per le sostanze organiche volatili i fenomeni di contaminazione sono risultati contenuti e limitati ad un esiguo numero di campioni come più avanti descritto.

In Annesso 2 si riportano carte di distribuzione dei risultati analitici per i metalli più diffusi (Tavv. 7.a e 7.b) e per le altre sostanze oggetto di controllo analitico aggregate per famiglia chimica, in significativi intervalli di concentrazione, per i 3 livelli litologici campionati (Tavv. 7.c - 7.h); in Tav. 7.i è riportata la situazione riassuntiva che indica tutti i punti risultati, in almeno un campione, contaminati da almeno una delle sostanze di protocollo; in Tav 7.l, infine, sono indicati per la Zona A2 i punti risultati contaminati nei livelli insaturi da almeno una delle sostanze di protocollo.

In conclusione risultano contaminati per almeno una delle sostanze di protocollo il 24.6% dei campioni distribuiti sul 48.4% dei sondaggi; prevalgono le contaminazioni nel primo livello dei riporti (35.4% dei campioni), mentre si dimezzano percentualmente i campioni di alluvione contaminati (18.3% dei campioni) e di marne alterate campionate (19.7% dei campioni). In ordine di consistenza di contaminazione le aree si presentano nel seguente ordine:

area 5: per i settori E e D-E di tale area è prevista una destinazione ad uso verde pubblico, mentre per i restanti settori è prevista una destinazione ad usi industriali; nell'insieme il 47.7% dei campioni sono contaminati e corrispondono al 73.7% dei sondaggi; la contaminazione più rilevante è riscontrata nei settori ad uso industriale, in particolare i settori A, A-B e C-D (collinette), nel livello dei rifiuti, mentre nel settore corrispondente a Basso Piave il fenomeno è meno rilevante. Complessivamente per l'intera area i campioni di riporto contaminati corrispondono al 54.4%, mentre quelli rappresentativi delle alluvioni sono inferiori (37.6% dei

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 57 di 112	Rev.			
	0			

campioni); la marna alterata poco presente annovera il 57.1% dei campioni prelevati contaminati. L'area è interamente in zona A3.

Per quanto concerne i settori dell'area 5 destinati ad uso industriale il confronto dei dati ottenuti con i limiti normati individua il 45.9% dei campioni fuori norma corrispondente al 70.9% dei sondaggi; per livelli litologici i fenomeni di contaminazione sono così distribuiti: 56.4% dei campioni di riporto campionati, 29.7% dei campioni di alluvione campionati, 50.0% dei campioni di marna alterata campionati; è da tener presente che quest'ultima forma litologica è poco presente. Per questi settori la diffusione per famiglia delle sostanze analizzate è in sintesi la seguente:

- La contaminazione da metalli è elevata, predomina la presenza di As e secondariamente quella di Hg; Hg è presente nei soli rifiuti mentre As prevale in questi estendendosi parzialmente nelle alluvioni, ma entrambi non raggiungono mai le marne alterate quando presenti; i settori coinvolti dalla contaminazione sono quelli caratterizzati dalla presenza delle collinette, marginalmente il settore attiguo a Basso Piave;
- i naftalensolfonici e consimili hanno una diffusione inferiore ai metalli, ma risultano percentualmente più diffusi che nelle altre aree; sono presenti principalmente nelle alluvioni e secondariamente nelle sottostanti marne alterate; i settori coinvolti dell'area sono sia quelli corrispondenti alle collinette che a Basso Piave;
- le ammine aromatiche sono a minore diffusione ed esclusivamente presenti nei rifiuti dei settori collinette;
- i fenoli non clorurati sono allo stesso livello di diffusione dei precedenti, ma risultano percentualmente più diffusi che nelle altre aree; sono quasi esclusivamente nei rifiuti dei settori collinette ad eccezione di un unico punto nel settore Basso Piave;
- gli IPA, ancora meno diffusi, sono esclusivamente presenti nei rifiuti, principalmente delle collinette del settore A e meno diffusamente delle collinette del settore D-E;
- I nitrobenzeni sono a bassa diffusione ed esclusivamente presenti nei rifiuti delle collinette dei settori C-D e D-E;
- gli aromatici alogenati, anch'essi a bassa diffusione sono esclusivamente presenti nei rifiuti delle collinette del settore A;
- il Benzene è presente nei rifiuti di 3 punti appartenenti al settore A (collinette).

Per quanto concerne i settori E e D-E destinate a verde pubblico il confronto dei dati ottenuti con i più restrittivi limiti normati individua il 46.4% dei campioni fuori norma corrispondente al 73.7% dei sondaggi; per livelli litologici i fenomeni di contaminazione sono così distribuiti: 44.6% dei campioni di riporto campionati, 45.2% dei campioni di alluvione campionati, 61.5% dei campioni di marna alterata campionati. Le famiglie di sostanze in ordine decrescente di contaminazione sono le seguenti:

- i metalli, in particolare As è il più diffuso sia nei livelli alluvionali che nei riporti;
- le ammine aromatiche;
- i naftalensolfonici e consimili, IPA, nitrobenzeni;
- Betanaftolo, aromatici alogenati, Benzene, clorurati alifatici

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 58 di 112	Rev.			
	0			

area 6bis: presenta il 33.3% dei campioni contaminati corrispondenti al 65.9% dei sondaggi; la contaminazione è preponderante nel livello dei riporti (45.7% dei campioni) e si dimezza nei sottostanti livelli di alluvioni e marne alterate (rispettivamente 23.4% e 27.3%); i settori più coinvolti dal fenomeno sono quello estremo settentrionale, quello meridionale sotto il bacino N e la fascia limitrofa occidentale intorno allo stesso bacino N; l'area è quasi interamente in zona A1.

La diffusione per famiglia delle sostanze analizzate è in sintesi la seguente:

- La contaminazione da metalli è massima in questa area con la predominanza di As; meno consistente è la presenza di Hg; sono interessati prevalentemente i riporti, meno le alluvioni e non sono mai raggiunte le marne alterate;
- I nitrobenzeni sono meno diffusi, ma più presenti che altrove;
- i naftalensolfonici e consimili hanno una diffusione ancora inferiore, i punti contaminati sono principalmente addensati nella fascia occidentale oltre il bacino N e prevalentemente nei livelli inferiori delle alluvioni e delle marne alterate;
- le ammine aromatiche presentano contaminazioni di tipo isolato in tutti i 3 livelli litologici indagati;
- allo stesso livello è la presenza di aromatici alogenati, anche se più presenti che altrove e prevalentemente nei riporti;
- i fenoli non clorurati sono allo stesso livello di diffusione dei precedenti ed esclusivamente nei riporti;
- gli IPA risultano essere le sostanze meno diffuse, presenti principalmente nell'estremo settore nord e altrove isolati; interessano quasi esclusivamente i riporti;
- Benzene e tetracloroetilene sono presenti in unico punto ubicato tra il bacino N ed i cumuli di Basso Piave.

area 4bis: presenta il 28.6% dei campioni contaminati corrispondenti al 48.0% dei sondaggi; la contaminazione coinvolge in maniera più consistente il livello delle alluvioni (31.2% dei campioni), mentre è relativamente più ridotta nei riporti (26.9% dei campioni) e nelle sottostanti marne alterate (25.7%); molti dei punti in oggetto ricadono in zona A1 (estremo settore settentrionale e centro-orientale); il settore contaminato posto nella parte sud-orientale dell'area ricade invece interamente in zona A2, in quest'ultimo soltanto in pochi punti il fenomeno interessa la zona insatura.

La diffusione per famiglia delle sostanze analizzate è in sintesi la seguente:

- I metalli sono i contaminanti a maggiore diffusione, predomina la presenza di As, sono inoltre presenti Pb, Cu, su singoli punti Hg, Cd e Ni; sono interessati essenzialmente i riporti;
- i naftalensolfonici e consimili hanno una analoga diffusione, interessano prevalentemente il settore meridionale (zona A2) e sono localizzati nel livello delle alluvioni e secondariamente nelle sottostanti marne alterate;
- le ammine aromatiche presentano una diffusione analoga e prevalgono in un settore centro-orientale (gran parte in zona A1), essenzialmente nei riporti;

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 59 di 112	Rev.			
	0			

- i nitrobenzeni sono a minor diffusione, interessano l'estremo vertice settentrionale (zona A1), principalmente il livello di marne alterate, ed esigue estensioni del settore meridionale (zona A2) nel livello dei riporti;
- gli aromatici alogenati sono presenti in ristretti settori localizzati nell'estremo vertice settentrionale (zona A1), distribuiti in tutti i 3 livelli litologici ed in 1 solo punto del settore meridionale (riporti e alluvioni, zona A2);
- i fenoli non clorurati sono poco presenti ed in punti tra loro isolati e nel solo livello delle alluvioni;
- gli IPA risultano raramente presenti a confine con l'area 6 (zona A2);
- Tetracloroetilene è anch'esso raramente presente nell'estremo settore meridionale.

area 6: presenta il 15.4% dei campioni contaminati corrispondenti al 41.4% dei sondaggi; la contaminazione è preponderante nel livello dei riporti (24.5% dei campioni) e si riduce in maniera consistente nei sottostanti livelli di alluvioni e marne alterate (rispettivamente 10.5% e 16.7% dei campioni); il settore contaminato nord-occidentale ricade in gran parte in zona A1 ed in minima parte in zona A2; il settore contaminato orientale ricade, invece, interamente in zona A2; in il 30% circa dei sondaggi contaminati rientranti in zona A2 presentano contaminazione nel livello insaturo.

La diffusione per famiglia delle sostanze analizzate è in sintesi la seguente:

- I metalli sono i contaminanti a maggiore diffusione, predomina la presenza di Hg, prevalentemente nel settore orientale e limitatamente ai riporti, segue As anch'esso predominante nello stesso settore; sono inoltre presenti in maniera più occasionale in ordine di abbondanza Pb, Cd, Zn, Cu e Se principalmente nei riporti;
- i nitrobenzeni hanno una diffusione nettamente inferiore e sono distribuiti in un settore nord-orientale (prevalentemente in zona A2) e centro-meridionale a confine con l'area 4 ed interessano i 3 livelli controllati;
- gli aromatici alogenati hanno una diffusione leggermente inferiore ai precedenti e si distribuiscono negli stessi settori e negli stessi livelli;
- i naftalensolfonici ancora a minor diffusione, sono presenti in un limitato settore orientale a confine con l'area 4; interessano i 3 livelli controllati;
- le ammine aromatiche con una limitata presenza, coinvolgono una zona poco estesa del settore nord-occidentale principalmente nei livelli alluvionali e della marna alterata;
- i fenoli non clorurati allo stesso livello di diffusione dei precedenti sono presenti in punti tra loro nettamente isolati, prevalentemente nel solo livello dei riporti;
- gli IPA sono presenti in un limitato numero di punti, in prevalenza in un settore centro-meridionale a confine con le aree 4 e 4bis ed essenzialmente nei riporti.

area 4: presenta il 14.2% dei campioni contaminati corrispondenti al 41.2% dei sondaggi; la contaminazione è essenzialmente nel livello dei riporti (31.3% dei campioni) e si riduce a circa ¼ dei campioni nei sottostanti livelli di alluvioni e marne alterate (rispettivamente 7.8% e 8.9%); nel 40% circa dei punti la contaminazione coinvolge lo strato insaturo dei terreni; l'area è interamente in zona A2.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 60 di 112	Rev.			
	0			

La diffusione per famiglia delle sostanze analizzate è in sintesi la seguente:

- I metalli sono i contaminanti a maggiore diffusione, predomina la presenza di Hg nel solo settore nord orientale e limitatamente ai riporti, segue As in parte nello stesso settore ed in punti isolati altrove, sono inoltre presenti in maniera occasionale Pb, Se, Cu e Cd principalmente nei riporti;
- i naftalensolfonici e consimili hanno una minore diffusione, interessano contenute aree del settore occidentale e prevalentemente il livello dei riporti;
- le ammine aromatiche presentano una diffusione ancora inferiore, coinvolgono una zona poco estesa del settore nord-occidentale, principalmente i livelli profondi della marna alterata e pochi altri punti isolati;
- gli IPA risultano presenti con analoga diffusione dei precedenti, coinvolgono riporti e alluvioni e interessano una zona poco estesa del settore meridionale e pochi altri punti tra loro isolati;
- i nitrobenzeni ancora meno diffusi, coinvolgono essenzialmente una zona poco estesa del settore centro-settentrionale che si estende poi oltre nell'area 6; interessano i livelli alluvionali e le marne alterate;
- gli aromatici alogenati sono presenti in pochi isolati punti di settori settentrionali, principalmente nel livello dei riporti;
- i fenoli non clorurati sono presenti in pochi punti tra loro isolati dell'estremo settore nord-orientale a confine con l'area 6 e nel solo livello dei riporti.

area 2: presenta il 15.8% dei campioni contaminati corrispondenti al 31.4% dei sondaggi; la contaminazione è preponderante nei due livelli più profondi (alluvioni: 18.9% dei campioni; marne alterate: 18.2% dei campioni), mentre è meno consistente nei riporti (8.8% dei campioni); il settore occidentale è quello più compromesso e prevalentemente nei livelli più profondi; il 20% circa dei sondaggi presenta contaminazione nel livello insaturo; l'area è interamente in zona A2.

La diffusione per famiglia delle sostanze analizzate è in sintesi la seguente:

- le ammine aromatiche sono i contaminanti a maggiore diffusione, coinvolgono il settore occidentale; sono in prevalenza presenti nel livello delle alluvioni, ma sono anche presenti nei livelli più superficiali e in quelli più profondi;
- i nitrobenzeni hanno una diffusione leggermente inferiore e sono in prevalenza nello stesso settore dell'area; più coinvolti sono i livelli più profondi delle marne e delle alluvioni;
- I metalli sono ancora meno presesenti, in ordine di diffusione si riscontrano As, Hg, Pb, Zn, Cu e Ni su pochi e isolati punti nei livelli di riporto o alluvioni;
- i naftalensolfonici ancora a minor diffusione, sono presenti sempre nel settore occidentale e interessano i livelli più profondi;
- gli aromatici alogenati sono presenti in pochi punti tra loro prossimi nel settore orientale e limitatamente ai primi 2 livelli;
- i fenoli non clorurati sono anch'essi presenti in pochi punti tra loro isolati ubicati in prossimità del lato recinzione/fiume;
- gli IPA sono presenti in un solo punto nel livello dei riporti.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 61 di 112	Rev.			
	0			

area 3: presenta l'11.5% dei campioni contaminati corrispondenti al 27.8% dei sondaggi, prevalentemente ubicati nel settore occidentale dell'area; la contaminazione è preponderante nei riporti (21.6% dei campioni) e decisamente più ridotta nei due livelli più profondi (alluvioni: 8.2% dei campioni; marne alterate: 6.2% dei campioni); la gran parte dei sondaggi presenta contaminazione nel livello insaturo; l'area è interamente in zona A2.

La diffusione per famiglia delle sostanze analizzate è in sintesi la seguente:

- gli IPA ed in particolare il naftalene sono i contaminanti a relativamente maggiore presenza, in prevalenza nei riporti.
- I metalli sono a più bassa diffusione; predomina Hg, mentre As, Pb e Cu sono presenti occasionalmente;
- i nitrobenzeni sono ancora meno presenti;
- occasionale è risultata la presenza di ammine aromatiche, fenoli non clorurati e aromatici alogenati.

area 1: presenta soltanto 2 campioni contaminati; i punti sono tra loro isolati e la contaminazione è limitata al solo livello superficiale dei riporti insaturi; i contaminanti riscontrati sono i metalli Pb e Zn. L'area è interamente in zona A2.

area 1bis: non presenta contaminazioni; l'area è interamente in zona A2;

In Zona A1 sono presenti aree che sono state oggetto di caratterizzazione nel 1997-98, adottando le metodiche descritte in dettaglio in Rel. 007 (Consorzio BASI, contratto G69974/8/RG, Novembre 1998). Le aree in oggetto sono denominate:

- Depositi Infiammabili;
- Basso Piave;
- Montagna M;
- Bacini.

Si sintetizzano di seguito i risultati ottenuti

Area Depositi Infiammabili

L'Area Depositi Infiammabili ha un'estensione pari a circa 15000 m² ed è stata adibita allo stoccaggio di oli combustibili e materie utilizzate nel ciclo di produzione (Toluolo e Benzolo).

Le indagini analitiche condotte su campioni medi del 50% dei sondaggi realizzati nell'area, evidenziano presenze significative per le sostanze appartenenti alle seguenti famiglie: alifatici alogenati, clorobenzeni, ammine aromatiche, clorofenoli e PCDD+PCDF. Nel settore sud dell'area, prossimo all'area Basso Piave, il gas survey ha evidenziato una consistente presenza di sostanze organiche volatili associate ai terreni più superficiali, prevalentemente idrocarburi alifatici. Minori presenze di sostanze volatili di natura aromatica sono state riscontrate invece in ristrette zone della parte settentrionale dell'area.

Area Basso Piave

L'Area Basso Piave ha un'estensione pari a circa 34000 m² ed è stata utilizzata in passato come zona di discarica interna .

L'area si presenta come un rilevato alto circa 10 m dal piano campagna di Stabilimento, caratterizzato dalla presenza di 2 cumuli adiacenti. L'ammasso è

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 62 di 112	Rev.			
	0			

composto essenzialmente dalla sovrapposizione, spesso a strati, ma anche con frequenti interdigitazioni e diversificazioni laterali, di residui industriali con materiali inerti, questi ultimi collocati in sito presumibilmente con lo scopo di migliorare le caratteristiche di stabilità dei cumuli. Questa particolarità rende l'ammasso non differenziabile.

La quantità di residui industriali presente nei due cumuli è lievemente differente; infatti il cumulo posto più a nord presenta nella sua composizione una maggior quantità di terreni di riporto. I rifiuti industriali sono composti da fanghi di diversa tipologia (molliti, plastici, catramosi, polverulenti, gommosi, etc.) e colore. Sono inoltre presenti materiali di scarto tipici di attività industriale e cioè sostanze coibenti, stoffe, sacchi di nylon, legno, carta, plastica, pezzi di ferro, etc. Il riporto è composto principalmente da materiale di risulta da demolizioni (laterizi e calcestruzzo) e terreni costituiti da limi sabbiosi, sabbie miste a frammenti litoidi.

Dalla caratterizzazione chimica condotta su campioni medi del 60% dei sondaggi realizzati nell'area, emerge una elevata e diffusa presenza del ferro e dei solfati. Le sostanze che singolarmente o in associazione tra loro sono risultate maggiormente presenti sono le seguenti: cromo esavalente, rame, piombo, mercurio, IPA (prevalentemente naftalene), betanaftolo, m-AF, nitrobenzeni, anilina e derivati, composti naftalensolfonici e consimili, PCDD+PCDF.

Area Montagna M

L'Area definita Montagna M ha un'estensione pari a circa 15000 m² ed è stata utilizzata in passato come zona di discarica interna.

I cumuli presenti nell'area sono contraddistinti da un'alternanza irregolare di terreni con rifiuti industriali indifferenziabili. I materiali residuali delle lavorazioni sono composti essenzialmente da ossidi di ferro, fanghi neri gommosi che si induriscono all'aria, fanghi di colore dal fulvo al giallastro, gessi. Il riporto è composto da limi e sabbie misti a ciottoli, laterizi, frammenti litici, conglomerati cementizi.

Gli spessori dell'accumulo arrivano fino a 16,5 m con valori medi di circa 10 m; i fanghi hanno uno spessore medio, nell'intera area, di 7,3 m con valori massimi di 12,8 m.

La caratterizzazione chimica condotta su campioni medi del 50% dei sondaggi realizzati nell'area evidenzia abbondante presenza di solfati, superando in alcuni punti i 100 g/kg. Le sostanze che sono risultate maggiormente presenti sono le seguenti: cromo esavalente, mercurio, aromatici alogenati, cloroaniline, naftalene, betanaftolo, m-AF, composti naftalensolfonici, antrachinonsolfonici e consimili, PCDD+PCDF.

Area Bacini

L'Area Bacini ha un'estensione pari a circa 37000 m² ed è stata utilizzata in passato come zona di lagunaggio di reflui provenienti dal ciclo produttivo.

La caratterizzazione chimica condotta su campioni medi del 50% dei sondaggi realizzati nell'area evidenzia la presenza significativa delle seguenti sostanze: cromo esavalente, piombo, mercurio, benzene, clorobenzeni, cloroaniline, m-AF, betanaftolo, naftalene, composti naftalensolfonici, e antrachinonsolfonici; le massime concentrazioni sono misurate negli strati più profondi.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 63 di 112	Rev.			
	0			

Si possono distinguere settori contraddistinti da alcuni metri di materiale rossiccio e zone in cui predominano residui neri (ossidi di Fe) e gessi.

Per approfondire e ricostruire la presenza e la distribuzione dei rifiuti al di sotto delle aree di lagunaggio, il Consorzio BASI ha redatto una apposita relazione tecnica (Rel. 21/1800A0, Consorzio BASI, novembre 2000) da cui vengono tratte le seguenti considerazioni:

- L'analisi critica degli studi pregressi e delle testimonianze raccolte, la ricostruzione idrogeologica del sottosuolo nonché le caratterizzazioni eseguite nelle zone perimetrali, hanno consentito di definire il quadro fisico e qualitativo dell'area Bacini e delle zone immediatamente adiacenti.
- Viene confermata l'ipotesi che, su tutta l'area oggetto di indagine, sono presenti in maniera diffusa ed indifferenziata rispetto al terreno, rifiuti e materiali vari di riporto assimilabili a rifiuti.
- Il degrado qualitativo è associabile ai periodi in cui i bacini non erano impermeabilizzati e la compromissione dei terreni è sicuramente estesa ai vari livelli di profondità.

Zona A4 - Pianrocchetta

La Zona A4 è costituita dall'area Pian Rocchetta che occupa il lobo interno di un meandro del fiume Bormida, esterno e a valle al sito industriale; ha un'estensione pari a circa 65.000 m², di cui 21.000 m² utilizzata in passato come discarica di materiali, in parte anche provenienti dalle attività produttive BORMIA. Tale area è stata oggetto di caratterizzazione nel 1997 (Consorzio BASI, contratto G69911/7/G, Giugno 1997).

La caratterizzazione qualitativa dei terreni e dei riporti dell'area è stata eseguita mediante realizzazione di 27 sondaggi (6 su terreno prevalentemente naturale e 21 su aree con presenza di rifiuti e residui industriali), analisi chimiche sui campioni più significativi di ognuno dei sondaggi.

Il corpo dei rifiuti è suddivisibile in 3 sub-aree definibili dalla qualità merceologica e organolettica delle carote campionate:

1. un'area caratterizzata dalla presenza omogenea di residui neri plastici individuati come fanghi residuali costituiti principalmente da ossidi di ferro e solfati, dallo spessore medio di 4,3 m; questi residui industriali si presentano come materiale di granulometria finissima (equiparabile a ceneri) di colore nero, a volte tendente al rossastro, con patina e corpuscoli di colore variabile dal rosa al giallo, al verdastro; l'aspetto varia dal pastoso-oleoso al compatto;
2. una zona distinta dalla presenza di materiale sempre di origine industriale, ma più eterogeneo e frammisto a materiali di altra natura, con presenza di accumuli localizzati di prodotto franco; si rilevano così fanghi bruni localmente maleodoranti e presenze di altra natura quali frammenti di laterizi, calcestruzzo, nylon, gomma, ferro, legno, ceneri nere, nonché livelli di residui di lavorazione industriale di consistenza vetrosa; lo spessore medio di questa tipologia di rifiuti si aggira intorno ai 5 m;

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 64 di 112	Rev.			
	0			

3. un'area con prevalente componente di rifiuti non di origine industriale, rifiuti solidi urbani ed inerti (materiali di risulta da demolizione), con spessori intorno ai 4 m.

Il corpo principale dei rifiuti è disposto nel settore di bordatura del meandro, a forma semicircolare. Si sottolinea che in considerazione della natura e delle modalità di apporto dei rifiuti, i limiti e le suddivisioni tipologiche non sono a volte così nette e delineate.

Dal controllo analitico i materiali di riporto che si presentano come fanghi industriali, sono principalmente costituiti da ossidi di ferro e solfato di calcio, miscelati a terreno naturale. Il tenore dei fanghi è molto variabile sia in senso areale che verticale; in alcune zone dell'area tali prodotti rappresentano oltre il 25% del materiale presente. Nei rifiuti si riscontra la presenza di: Cr, Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, As e Hg. La contaminazione di tipo organico è caratterizzata da: fenoli, aromatici non alogenati, alifatici alogenati, cloro e nitro derivati aromatici, IPA, ammine aromatiche, ammine aromatiche clorurate e composti solfonati.

Per i terreni naturali sottostanti la contaminazione risulta spinta al punto da rendere gli stessi assimilabili a rifiuti.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 65 di 112	Rev.			
	0			

7.3 Diffusione della contaminazione nelle acque di falda

Come indicato in premessa nel presente paragrafo è riportato il quadro qualitativo delle acque sotterranee circolanti nella locale falda emerso considerando i risultati analitici ottenuti sulle acque prelevate con campionamento statico stratificato, eseguito nelle 5 campagne di monitoraggio condotte in una fase successiva alle attività di caratterizzazione del sito BORMIA nel corso dell'anno 2001 (Rel. 25/1802A0), nei pozzi/piezometri indicati in Figura 7.3.a (Annesso 1).

Per opportunità di trattamento e descrizione dei dati di qualità, lo stabilimento è funzionalmente suddiviso in due regioni:

- **Regione occidentale:** corrispondente grosso modo alla ZONA A1 – area rifiuti (Bacini, Depositi infiammabili, discariche Basso Piave e Montagna M), area 6bis e parte dell'area 4bis, oltre a parte della ZONA A3 golenale interna alle barriere; in essa sono ubicati n. 18 punti da cui sono stati prelevati n. 184 campioni;
- **Regione orientale:** corrispondente grosso modo alla ZONA A2 – area da reindustrializzare oltre a parte della ZONA A3 golenale interna alle barriere; in essa sono ubicati n. 18 punti da cui sono stati prelevati n. 183 campioni.

La descrizione sulla presenza delle diverse specie considera i parametri normati da concentrazione limite ammissibile (CLA) in DM 471/99 e quelli per i quali è stata indicata una concentrazione limite ammissibile dagli Enti di controllo. A questa si associano delle carte di qualità con la distribuzione areale delle concentrazioni (Annesso 1). Tali carte sono presentate per i parametri inorganici più presenti e per le specie organiche (dette parametri indice), rappresentative delle diverse classi di composti e sono ottenute da un tentativo di regionalizzazione (per mezzo di una procedura di krieging) sui dati più recenti relativi ai campioni di fondo prelevati nel corso della V campagna in statico (03-14 sett. 2001). La giustificazione della scelta dei campioni di fondo per le rappresentazioni cartografiche risiede nella volontà di rappresentare la situazione più conservativa risultante dai fenomeni di stratificazione riscontrate nell'acquifero (vedi Rel 12/1802A0, Aprile 2001).

Parametri inorganici

Solfati

Regione occidentale - Su tutti i campioni prelevati sono stati misurati tenori di solfati rilevabili, a tenori medi di circa 8300 mg/L con un massimo di 52030 mg/L (punto BA.P.15.4 campione di fondo; IV campagna). Il 80,4% dei campioni supera la CLA.

Regione orientale - Su tutti i campioni prelevati, sono stati misurati tenori di solfati rilevabili, a tenori medi di circa 600 mg/L con un massimo di 5843 mg/L (punto I.P.6.4 campione di fondo; III campagna). Il 49,7% dei campioni supera la CLA.

Dalla distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.b) rilevate sui campioni di fondo prelevati nel corso della V campagna dell'anno 2001 si può apprezzare che l'interessamento da alte concentrazioni di solfati (tenori superiori a 10000 mg/L) è tipica della regione occidentale. Qui è evidente una situazione a diversi massimi in tre zone ben identificate: al margine occidentale a ridosso della barriera idraulica; in

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 66 di 112	Rev.			
	0			

corrispondenza dei punti BA.P.15.4 e DI.P.4.4/ S.P.19.4. Si può apprezzare che comunque persiste un'isola a basso tenore di solfati centrato in BA.P.7.4. Al contrario, la regione orientale manifesta delle concentrazioni di solfati minori e più uniformi, pur se con punti che superano i 1000 mg/L in I.P.5.4; I,W.3.4 e E.P.40.1.

Alluminio

Regione occidentale - Su tutti i campioni prelevati sono state misurate concentrazioni di alluminio rilevabili, a tenori medi di circa 2,2 mg/L con un massimo di 107 mg/L (punto BA.P.7.4 campione di fondo; III campagna). Il 65,2% dei campioni supera la CLA.

Regione orientale - Su tutti i campioni prelevati, sono state misurate concentrazioni di alluminio rilevabili, a tenori medi di circa 1,3 mg/L con un massimo di 38,31 mg/L (punto I.W.6.4 campione di fondo; IV campagna). Il 53,6% dei campioni supera la CLA.

Dalla distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.c) si può apprezzare che l'interessamento da alte concentrazioni di alluminio (tenori superiori a 1 mg/L) è evidente nella regione occidentale, a ridosso della barriera di contenimento (in corrispondenza di BA.P.19.4 e BP.P.28.1) ed al centro, in BA.P.7.4. Anche il margine nord della regione orientale è caratterizzato da acque a tenori d'alluminio uguali o maggiori di 1 mg/L, così come lo sono porzioni nella parte orientale e sul margine meridionale. Al contrario, nell'area centrale dello stabilimento sono rilevati tenori inferiori a 0,1 mg/L.

Arsenico

Regione occidentale - Su 172 campioni sono state misurate concentrazioni di arsenico rilevabili, a tenori medi di circa 0,18 µg/L con un massimo di 810 µg/L (punto B.P.40.2 campione di fondo; I campagna). Il 72,8 % dei campioni supera la CLA.

Regione orientale - Su 135 campioni sono state misurate concentrazioni di arsenico rilevabili, a tenori medi di circa 0,11 µg/L con un massimo di 1320 µg/L (punto I.P.5.4 campione di fondo; III campagna). Il 38,8 % dei campioni supera la CLA.

Dalla distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.d) si può apprezzare che l'interessamento da alte concentrazioni di arsenico (tenori superiori a 100 µg/L) è caratteristica di zone ben identificate: lungo gran parte del margine occidentale prospiciente la barriera di contenimento (nell'intorno di BP.P.28.1/D.I.4.4 e nella zona di B.P.40.2/BA.P.15.4), ed al centro dello stabilimento (in corrispondenza di I.W.5.4). La zona più a monte in senso idrogeologico, la porzione più ad est della regione orientale ed il punto singolare BA.P.7.4 nella regione orientale manifestano invece tenori inferiori alla CLA.

Cadmio

Regione occidentale - Su 62 campioni sono state misurate concentrazioni di cadmio rilevabili, a tenori medi di circa 2 µg/L con un massimo di 11,3 µg/L (punto BA.P.7.4 campione di fondo; III campagna). Il 6% dei campioni supera la CLA.

Regione orientale - Su 27 campioni sono state misurate concentrazioni di cadmio rilevabili, a tenori medi di circa 1 µg/L con un massimo di 11,7 µg/L (punto I.W.6.4 campione di fondo; IV campagna). Quest'ultimo campione è l'unico a superare la CLA.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 67 di 112	Rev.			
	0			

Cromo totale e Cromo VI

Regione occidentale - Su tutti i 184 campioni prelevati, sono state misurate concentrazioni di cromo rilevabili, a tenori medi di circa 75 µg/L con un massimo di 557 µg/L (punto M.P.1.4 campione di fondo; III campagna). Il 42,4% dei campioni supera la CLA. Il cromo VI non è mai stato rilevato in quest'area.

Regione orientale - Su 165 campioni sono state misurate concentrazioni di cadmio rilevabili, a tenori medi di circa 12 µg/L con un massimo di 126 µg/L (punto S.P.10.4 campione unico; IV campagna). Il 2,2% dei campioni supera la CLA. Il cromo VI non è mai stato rilevato in quest'area.

Ferro

Regione occidentale - Su tutti i campioni prelevati, sono state misurate concentrazioni di ferro rilevabili, a tenori medi di circa 14 mg/L con un massimo di 136 mg/L (punto BA.W.12.4 campione di fondo; V campagna). Il 94% dei campioni supera la CLA.

Regione orientale - Su tutti i campioni prelevati, sono state misurate concentrazioni di ferro rilevabili, a tenori medi di circa 30 mg/L con un massimo di 280 mg/L (punto I.W.7.4 campione di fondo; III campagna). Il 96,7% dei campioni supera la CLA.

Dalla distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.e) si può apprezzare che l'interessamento da alte concentrazioni di ferro (tenori anche superiori a 100 mg/L) è maggiormente evidente nella regione orientale. Si rilevano comunque tre zone estese a tenori importanti (maggiori di 10 mg/L) e sono: tutta l'area centrale dello stabilimento fino al confine meridionale delle barriere di contenimento, l'estremo occidentale in corrispondenza di BA.W.12.4, ed un'area limitata sul lato più orientale. Gran parte della regione occidentale è invece a tenori di ferro minori.

Manganese

Regione occidentale - Su tutti i campioni prelevati, sono state misurate concentrazioni di manganese rilevabili, a tenori medi di circa 1,3 mg/L con un massimo di 5,45 mg/L (punto DI.P.4.4 campione intermedio; III campagna). Il 98,4% dei campioni supera la CLA.

Regione orientale - Su tutti i campioni prelevati, sono state misurate concentrazioni di manganese rilevabili, a tenori medi di circa 1,3 mg/L con un massimo di 5,1 mg/L (punto I.W.6.4 campione intermedio; II campagna). Il 93,4% dei campioni supera la CLA.

Dalla distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.f) si può apprezzare che la situazione presenta una certa uniformità e l'interessamento da concentrazioni di manganese importanti è diffusa su tutto il sito. Si rilevano trasversalmente a tutta l'area indagata zone a tenori di manganese piuttosto elevati (maggiori di 1 mg/L): tali zone sono l'area centrale ed in un'area sul margine meridionale della regione orientale (centrate rispettivamente sui punti I.P.5.4, I.W.6.4 e D.P.10.1) a cui si aggiunge gran parte della regione occidentale (in particolare in corrispondenza dei punti BA.P.7.4 e DI.P.4.4).

Mercurio

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 68 di 112	Rev.			
	0			

Regione occidentale - Su 157 campioni sono state misurate concentrazioni di mercurio rilevabili, a tenori medi di circa 5 µg/L con un massimo di 70 µg/L (punto BP.P.18.1 campione superficiale; I campagna). Il 40,2% dei campioni supera la CLA.
Regione orientale - Su 102 campioni sono state misurate concentrazioni di mercurio rilevabili, a tenori medi di circa 1 µg/L con un massimo di 7,1 µg/L (punto I.P.18.4 campione si fondo; IV campagna). L'8,2% dei campioni supera la CLA.

Nichel

Regione occidentale - Su 181 campioni sono state misurate concentrazioni di nichel rilevabili, a tenori medi di circa 80 µg/L con un massimo di 450 µg/L (punto B.P.40.2 campione di fondo; III campagna). Il 58,2% dei campioni supera la CLA.
Regione orientale - Su 180 campioni sono state misurate concentrazioni di nichel rilevabili, a tenori medi di circa 15 µg/L con un massimo di 168 µg/L (punto S.P.10.4 campione unico; IV campagna). Il 23,5% dei campioni supera la CLA.

Piombo

Regione occidentale - Su 183 campioni sono state misurate concentrazioni di piombo rilevabili, a tenori medi di circa 80 µg/L con un massimo di 783 µg/L (punto BP.P.28.1 campione di fondo; IV campagna). Il 58,2% dei campioni supera la CLA.
Regione orientale - Su 170 campioni sono state misurate concentrazioni di nichel rilevabili, a tenori medi di circa 50 µg/L con un massimo di 1648 µg/L (punto I.W.8.4 campione di fondo; III campagna). Il 44,8% dei campioni supera la CLA.

Dalla distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.g) si può apprezzare che l'interessamento da alte concentrazioni di piombo (tenori superiori a 10 µg/L) è caratteristica di zone ben identificate: lungo tutto il margine orientale prospiciente la barriera idraulica (con massimi oltre 100 µg/L centrati su BP.P.28.1 e BA.P.19.4), e su un'area trasversale della regione orientale (passante per massimi oltre 100 µg/L centrati su D.P.10.1, I.W.8.4 e S.P.10.4). Tutta l'area centrale dello stabilimento manifesta invece tenori inferiori alla CLA.

Rame totale

Regione occidentale - Su 183 campioni sono state misurate concentrazioni di rame rilevabili, a tenori medi di circa 230 µg/L con un massimo di 5500 µg/L (punto BA.P.15.4 campione di fondo; III campagna). Il 6% dei campioni supera la CLA.
Regione orientale - Su 182 campioni sono state misurate concentrazioni di rame rilevabili, a tenori medi di circa 12 µg/L con un massimo di 236 µg/L. Nessun campione supera la CLA.

Selenio

Regione occidentale - Su 13 campioni sono state misurate concentrazioni di selenio rilevabili, a tenori medi di circa 30 µg/L con un massimo di 134 µg/L (punto B.P.40.2 campione superficiale; II campagna). Il 3,3% dei campioni supera la CLA.
Regione orientale Su 13 campioni sono state misurate concentrazioni di selenio rilevabili, a tenori medi di circa 4 µg/L con un massimo di 8 µg/L. Nessun campione supera la CLA.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 69 di 112	Rev.			
	0			

Zinco

Regione occidentale - Su tutti i campioni prelevati, sono state misurate concentrazioni di zinco rilevabili, a tenori medi di circa 0,18 mg/L con un massimo di 2,9 mg/L. Nessun campione supera la CLA.

Regione orientale - Su tutti i campioni prelevati, sono state misurate concentrazioni di zinco rilevabili, a tenori medi di circa 0,035 mg/L con un massimo di 1,4 mg/L. Nessun campione supera la CLA.

Specie organiche

Solventi Aromatici

Regione occidentale - Tutte le 5 specie determinate sono state riscontrate nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica più presente, è il benzene, rilevato su 164 dei 184 campioni. Esso ha un valore medio dei valori rilevati di 0,159 mg/L, ed un valore massimo di 1,3 mg/L (punto I.P.3.4 campione di fondo; I campagna). Per tale parametro, il 79,3 % dei campioni risulta superare la CLA.

Regione orientale - Tutte le 5 specie determinate sono state riscontrate nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica qui più presente è ancora il benzene, rilevato su 87 dei 183 campioni. Esso ha un valore medio dei valori rilevati di 0,032 mg/L, ed un valore massimo di 0,191 mg/L (punto D.P.10.1 campione unico; I campagna). Per tale parametro, il 47,5 % dei campioni risulta superare la CLA.

Il composto appartenente a tale gruppo di sostanze che, per la frequenza di rilevazione, i tenori riscontrati e la frequenza di superamento della CLA, risulta compromettere maggiormente la qualità delle acque sotterranee del sito è il benzene che quindi è scelto quale parametro indice per i solventi aromatici. Al benzene segue, in ordine di frequenza ed abbondanza, il toluene ed una presenza minoritaria degli altri composti. Tutti questi composti si presentano inoltre in associazione fra loro.

Considerando quindi il benzene, la distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.h) configura un interessamento da alte concentrazioni (tenori superiori a 10 µg/L) che è caratteristica soprattutto della regione occidentale, dove si identificano tre zone: lungo il margine occidentale prospiciente la barriera idraulica (con massimi oltre 100 µg/L centrati su B.P.10.1 e A.P.20.1), e su un'area estesa nella parte più settentrionale (con massimi oltre 100 µg/L centrati su BP.P.10.1, S.W.1.4 e S.P.19.4). Il punto S.P.25.4, centrale a tale regione, manifesta invece tenori inferiori alla CLA. Al contrario, la regione orientale manifesta tenori più bassi di benzene, con una differenziazione fra tenori maggiori di 10 µg/L in corrispondenza di D.P.10.1 e I.W.7.1 ed il resto della regione, che per circa il 50 % soddisfa il limite normato.

Composti alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni

Regione occidentale - Dei 12 composti alifatici alogenati cancerogeni e 7 non cancerogeni ne sono stati riscontrati rispettivamente due (tetracloroetilene e tricloroetilene) ed uno (1,2-dicloroetilene) nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica più presente, è il tetracloroetilene, rilevato su 139 dei 184 campioni. Esso ha un valore medio dei

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 70 di 112	Rev.			
	0			

tenori rilevati di 0,296 mg/L, ed un valore massimo di 10,4 mg/L (punto BA.P.11.4 campione di fondo; II campagna). Per tale parametro, il 75,5 % dei campioni risulta superare la CLA.

Regione orientale - Dei suddetti composti alifatici alogenati cancerogeni e non cancerogeni sono stati riscontrati nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità rispettivamente i già detti tetracloroetilene e tricloroetilene, ed il 1,2-dicloroetilene. In particolare la specie chimica più presente, è anche in questa regione il tetracloroetilene, rilevato su 110 dei 183 campioni. Esso ha un valore medio dei tenori rilevati di 0,194 mg/L, ed un valore massimo di 2,28 mg/L (punto I.P.6.4 campione di fondo; IV campagna). Per tale parametro, il 45,5 % dei campioni risulta superare la CLA.

Il composto appartenente a tale gruppo di sostanze che, per la frequenza di rilevazione, i tenori riscontrati e la frequenza di superamento della CLA, risulta compromettere maggiormente la qualità delle acque sotterranee del sito è il tetracloroetilene che quindi è scelto quale parametro indice per i composti alifatici alogenati. Assieme al tetracloroetilene troviamo il tricloroetilene, in ordine di frequenza ed abbondanza molto vicino al suo omologo, ed a seguire l'1,2-dicloroetilene. Tali composti risultano inoltre presentarsi in associazione fra loro.

Considerando quindi il tetracloroetilene, la distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.i) configura un interessamento diffuso soprattutto nella zona occidentale. In realtà le situazioni caratterizzate da alte concentrazioni (tenori superiori a 100 µg/L) sono localizzate su due zone: una centrata su M.P.1.4, e l'altra su un'area a cavallo della separazione fra le due regioni (con massimi oltre 100 µg/L centrati su I.P.6.1 e BA.P.11.4. Infine la parte rimanente della regione orientale manifesta tenori più bassi di tetracloroetilene, maggiori di 10 µg/L solo in I.P.18.4.

Ammine aromatiche

Regione occidentale - Delle 79 specie determinate, 30 sono state riscontrate nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica più presente, è il l'o-cloroanilina, rilevata su 171 dei 184 campioni. Tale sostanza ha una concentrazione media dei valori rilevati di circa 1 mg/L, ed un valore massimo di 11,4 mg/L (punto BP.P.10.1 campione superficiale; II campagna). Per tale parametro, il 76,6 % dei campioni risulta superare la CLA.

Regione orientale - Delle 79 specie determinate, 25 sono state riscontrate nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica qui più presente, è ancora l'o-cloroanilina, rilevata su 116 dei 183 campioni. Tale sostanza ha una concentrazione media dei valori rilevati di circa 1 mg/L, ed un valore massimo di 7,97 mg/L (punto I.W.6.4 campione di fondo; I campagna). Per tale parametro, il 49,7 % dei campioni risulta superare la CLA.

Per quanto detto, il composto appartenente a tale gruppo di sostanze che, per la frequenza di rilevazione, i tenori riscontrati e la frequenza di superamento della CLA, risulta compromettere maggiormente la qualità delle acque sotterranee del sito è l'o-cloroanilina che quindi è scelto quale parametro indice per tale classe. All'o-cloroanilina seguono comunque numerosi consimili con frequenze e concentrazioni massime prossime a quelle del parametro indice. Tutti questi composti risultano presentarsi inoltre in associazione fra loro.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 71 di 112	Rev.			
	0			

Considerando quindi la o-cloroanilina, la distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.l) configura un interessamento diffuso sia nella regione occidentale che orientale. Le aree caratterizzate da alte concentrazioni (tenori superiori a 100 µg/L) sono estese lungo gran parte della barriera di contenimento e nella parte centrale dello stabilimento. Infine la parte rimanente della regione orientale manifesta tenori più bassi di o-cloroanilina, minori di 10 µg/L nell'estremo ad est.

Composti nitro-aromatici

Regione occidentale - Delle 8 specie determinate, 7 sono state riscontrate nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica più presente, è il p-nitroclorobenzene, rilevato su 79 dei 184 campioni. Tale sostanza ha una concentrazione media dei valori rilevati di circa 0,68 mg/L, ed un valore massimo di 8,16 mg/L (punto BA.P.11.4 campione di fondo; I campagna). Per tale parametro, il 39,7 % dei campioni risulta superare la CLA. Anche i consimili m-nitroclorobenzene, o-nitroclorobenzene, nitrobenzene e 2,5-dicloronitrobenzene sono presenti quasi quanto il p-nitroclorobenzene, pure se con concentrazioni leggermente inferiori.

Regione orientale- Delle 8 specie determinate, 6 sono state riscontrate nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica più presente, è l'o-nitroclorobenzene, rilevato su 84 dei 183 campioni. Tale sostanza ha una concentrazione media dei valori rilevati di circa 0,29 mg/L, ed un valore massimo di 5,54 mg/L (punto I.W.6.4 campione di fondo; I campagna). Per tale parametro, il 37,2 % dei campioni risulta superare la CLA. Anche i consimili p-nitroclorobenzene, m-nitroclorobenzene, nitrobenzene e 3,4-dicloronitrobenzene sono presenti quasi quanto l'o-nitroclorobenzene, con concentrazioni massime anche superiori (es. 7,46 mg/L di 3,4-dicloronitrobenzene).

I composti appartenenti ai nitroaromatici che, per la frequenza di rilevazione, i tenori riscontrati e la frequenza di superamento della CLA, risultano compromettere maggiormente la qualità delle acque sotterranee del sito sono gli isomeri del nitroclorobenzene: fra questi il p-nitroclorobenzene è l'isomero mediamente più abbondante e quindi è scelto quale parametro indice per tale classe. Ad esso seguono come detto comunque numerosi consimili con frequenze e concentrazioni massime prossime a quelle del parametro indice che risultano presentarsi inoltre in associazione fra loro.

Considerando quindi il p-nitroclorobenzene, la distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.m) configura un interessamento sia della regione occidentale che orientale. Infatti le aree caratterizzate da alte concentrazioni (tenori superiori a 10 µg/L) sono a cavallo delle due regioni individuate dalla separazione fra le zone A1/A2. I punti a massime concentrazioni (maggiori di 100 µg/L) sono I.P.6.4, BA.P.11.4 e S.P.19.4. Le parti rimanenti della regione occidentale ed orientale manifestano tenori minori di 1 µg/L.

Composti cloro-aromatici

Regione occidentale - Delle 11 specie determinate, 10 sono state riscontrate nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica più presente è il clorobenzene, rilevato su 181 dei 184 campioni. Tale sostanza ha una concentrazione media dei valori rilevati di circa 1 mg/L, ed un valore massimo di 13,0 mg/L (punto DI.P.4.4 campione di fondo; IV campagna). Per tale

CONTRATTO DI3419/00/FG/I	
REL. 02	
Fg. 72 di 112	Rev.
	0

parametro, il 70,7 % dei campioni risulta superare la CLA. Anche i consimili 1,2,4-triclorobenzene e i tre isomeri del diclorobenzene, sono molto presenti (rilevati in oltre 100 campioni con tenori medi di circa 0,1-0,25 mg/L), pure se con concentrazioni inferiori al clorobenzene. In particolare l'1,4-diclorobenzene, a causa di una CLA molto bassa, risulta il composto con il massimo di numero di situazioni di superamento del limite (76,1 %).

Regione orientale - Tutte le specie determinate sono state riscontrate nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica più presente è il clorobenzene, rilevato su 136 dei 183 campioni. Tale sostanza ha una concentrazione media dei valori rilevati di circa 0,6 mg/L, ed un valore massimo di 5,77 mg/L (punto I.P.6.4 campione superficiale; I campagna). Per tale parametro, il 43,7 % dei campioni risulta superare la CLA. Anche i consimili 1,2,4-triclorobenzene e i tre isomeri del diclorobenzene, sono molto presenti (rilevati in circa 100 campioni con tenori medi di circa 0,2-0,7 mg/L). In particolare l'1,4-diclorobenzene, a causa di una CLA molto bassa, risulta il composto con il massimo di numero di situazioni di superamento del limite (51,4 %).

I composti appartenenti a tale classe che, per la frequenza di rilevazione, i tenori riscontrati e la frequenza di superamento della CLA, risultano compromettere maggiormente la qualità delle acque sotterranee del sito sono il clorobenzene, gli isomeri del diclorobenzene e l'1,2,4-triclorobenzene. Fra questi il clorobenzene è il composto mediamente più abbondante che quindi è scelto quale parametro indice per i composti cloroaromatici. Ad esso seguono comunque, come detto, numerosi consimili con frequenze e concentrazioni massime prossime a quelle del parametro indice. Tutti questi composti risultano presentarsi inoltre in associazione fra loro.

Considerando quindi il clorobenzene, la distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.n) configura un interessamento diffuso sia della regione occidentale che orientale. Le aree caratterizzate da alte concentrazioni (tenori superiori a 100 µg/L) sono estese su gran parte del sito, in particolare nell'intorno dei punti DI.P.4.4 e A.P.20.1 e nella parte centrale dello stabilimento. L'estremo est della regione orientale manifesta tenori più bassi di clorobenzene (minori di 10 µg/L).

Fenoli non clorurati e clorurati

Regione occidentale - Degli 11 fenoli non clorurati ed 8 fenoli clorurati ne sono stati riscontrati rispettivamente 7 e 7 nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica più presente è il fenolo, rilevato su 140 dei 184 campioni. Tale parametro, per il quale non è espressa alcuna CLA, ha una concentrazione media di circa 0,09 mg/L. Al contrario altri composti hanno CLA che determinano situazioni di superamento per oltre il 50 % dei campioni: 55,4 % per il betanaftolo; 62 % per il meta-amminofenolo; 58,2 % per il 2,4,6-triclorofenolo. Gli stessi mostrano rispettivamente una concentrazione media di circa 10 mg/L per il betanaftolo (concentrazione massima di 65,9 mg/L in BA.P.15.4, campione di fondo, IV campagna), circa 67 mg/L per il meta-amminofenolo (concentrazione massima di 381 mg/L in B.P.40.2, campione di fondo, I campagna), circa 0,35 mg/L per il 2,4,6-triclorofenolo (concentrazione massima di 8,39 mg/L in DI.P.4.4, campione superficiale, I campagna).

Regione orientale - Degli 11 fenoli non clorurati ed 8 fenoli clorurati ne sono stati riscontrati rispettivamente 6 e 7 nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica più presente è il betanaftolo, rilevato su

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 73 di 112	Rev.			
	0			

81 dei 183 campioni. Tale sostanza ha una concentrazione media di circa 0,09 mg/L. Assieme al betanaftolo, per il quale il 20,8 % dei campioni manifesta una situazione di superamento della CLA, anche altri composti determinano situazioni di superamento apprezzabili: 22,4 % per il meta-amminofenolo; 7,1 % per il 2,4,6-triclorofenolo. Gli stessi mostrano rispettivamente una concentrazione media di: circa 0,1 mg/L per il betanaftolo (concentrazione massima di 0,895 mg/L in D.P.10.1, campione unico, V campagna), circa 1,5 mg/L per il meta-amminofenolo (concentrazione massima di 10,02 mg/L in D.P.10.1, campione unico, V campagna), circa 0,04 mg/L per il 2,4,6-triclorofenolo (concentrazione massima di 0,4 mg/L in I.W.6.4, campione di fondo, I campagna).

I composti appartenenti a tali classi di sostanze che, per la frequenza di rilevazione, i tenori riscontrati e la frequenza di superamento della CLA, risultano compromettere maggiormente la qualità delle acque sotterranee del sito sono il betanaftolo e il meta-amminofenolo che quindi sono scelti quali parametri indice per i fenoli.

Considerando i suddetti parametri indice, la distribuzione delle concentrazioni (Figg. 7.3.o e 7.3.p) configura un interessamento consistente della regione occidentale. Qui le zone caratterizzate da alte concentrazioni (tenori superiori a 1 mg/L per il betanaftolo e 10 mg/L per il meta-amminofenolo) sono estese sulla maggior parte dell'area prospiciente la barriera di contenimento (in particolare nell'intorno dei punti BP.P.28.1 e B.P.40.2 e A.P.20.1) e più all'interno in corrispondenza dei punti BA.P.15.4/BA.P.11.4). Nella regione orientale esiste un punto con concentrazioni apprezzabili (maggiori di 1 mg/L) in I.P.6.4 e, limitatamente al betanaftolo, nella parte centrale dello stabilimento, in I.W.7.4, maggiori di 0,1 mg/L. La parte rimanente della regione orientale manifesta tenori più bassi (minori di 0,1 mg/L per il betanaftolo e di 1 mg/L per il meta-amminofenolo).

Idrocarburi policiclici aromatici

Regione occidentale

Delle 18 specie determinate, è stato riscontrato nella regione in esame il solo naftalene con tenori maggiori del limite di rilevabilità (rilevato su 167 dei 184 campioni). Tale sostanza ha una concentrazione media dei valori rilevati di circa 0,56 mg/L, ed un valore massimo di 4,52 mg/L (M.P.1.4, campione di fondo, V campagna). Per tale parametro il 65,8 % dei campioni risulta superare la CLA.

Regione orientale - Delle 18 specie determinate, 3 sono state riscontrate nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica più presente è il naftalene, rilevato su 124 dei 183 campioni. Tale sostanza ha una concentrazione media dei valori rilevati di circa 0,075 mg/L, ed un valore massimo di 0,738 mg/L (I.W.7.4, campione di fondo, I campagna). Per tale parametro il 40,4 % dei campioni risulta superare la CLA. Su un solo campione sono stati rilevati gli altri IPA, a concentrazioni comunque molto minori.

Il composto appartenente a tale gruppo di sostanze che, per la frequenza di rilevazione, i tenori riscontrati e la frequenza di superamento della CLA, risulta compromettere maggiormente la qualità delle acque sotterranee del sito è il naftalene che quindi è scelto quale parametro indice.

Considerando quindi il suddetto parametro indice, la distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.q) rilevata sui campioni di fondo prelevati nel corso della V campagna dell'anno 2001 configura un interessamento consistente soprattutto della

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 74 di 112	Rev.			
	0			

regione occidentale. Qui le zone caratterizzate da alte concentrazioni (tenori superiori a 0,1 mg/L) sono estese sulla maggior parte dell'area prospiciente la barriera di contenimento (in particolare nell'intorno dei punti BP.P.28.1 e B.P.40.2 e A.P.20.1) nella zona più arretrata in corrispondenza del punto BA.P.11.4). Nella regione orientale esistono due punti con concentrazioni apprezzabili (maggiori di 0,1 mg/L) in I.P.6.4 e in I.W.7.4. La parte rimanente della regione orientale manifesta tenori di naftalene più bassi (minori di 0,01 mg/L).

Composti naftalensolfonici, antrachinonsolfonici e consimili

Regione occidentale - Delle 34 specie determinate, 19 sono state riscontrate nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica più presente è il l'acido 1,6-naftalendisolfonico, rilevato su 157 dei 184 campioni. Tale sostanza ha una concentrazione media dei valori rilevati di circa 1000 mg/L, ed un valore massimo di 5567 mg/L (BP.P.28.1, campione superficiale, I campionamento). Per tale parametro il 77,7 % dei campioni risulta superare la CLA. Ad esso si aggiungono altri 12 consimili tutti con situazioni di superamento della CLA su oltre il 60 % dei campioni. Fra questi si rileva che è l'acido 2,7-naftalendisolfonico ad esprimere il massimo di superamenti della CLA (78,3 %), mentre la massima concentrazione rilevata è di 9625 mg/L per l'alfa sale (BA.P.15.4, campione di fondo, V campionamento).

Regione orientale - Delle 34 specie determinate, 18 sono state riscontrate nella regione in esame con tenori maggiori del limite di rilevabilità. In particolare la specie chimica più presente è il l'acido 1,6-naftalendisolfonico, rilevato su 109 dei 183 campioni. Tale sostanza ha una concentrazione media dei valori rilevati di circa 35 mg/L, ed un valore massimo di 552 mg/L (I.P.6.4, campione di fondo, V campionamento). Per tale parametro il 45,4 % dei campioni risulta superare la CLA. Ad esso si aggiungono altri 8 consimili tutti con situazioni di superamento della CLA su oltre il 30 % dei campioni. Fra questi si rileva che la massima concentrazione rilevata è di 858 mg/L per l'alfa sale (I.P.6.4, campione di fondo, V campionamento).

Il composto appartenente a tale gruppo di sostanze che, per la frequenza di rilevazione, i tenori riscontrati e la frequenza di superamento della CLA, risulta essere rappresentativo della qualità delle acque sotterranee del sito è l'acido 1,6-naftalendisolfonico che quindi è scelto quale parametro indice per tale classe. All'acido 1,6-naftalendisolfonico seguono comunque numerosi consimili con frequenze e concentrazioni massime prossime a quelle del parametro indice. Tutti questi composti risultano presentarsi inoltre in associazione fra loro.

Considerando quindi il suddetto parametro indice, la distribuzione delle concentrazioni (Fig. 7.3.r) rilevata sui campioni di fondo prelevati nel corso della V campagna dell'anno 2001 configura un interessamento consistente soprattutto della regione occidentale. Qui le zone caratterizzate da alte concentrazioni (tenori superiori a 100 mg/L) sono estese sulla maggior parte delle aree bacini e discarica, lungo la barriera di contenimento (in particolare nell'intorno dei punti BP.P.28.1 e B.P.40.2) oltre che in posizione più interna in corrispondenza dei punti BA.P.15.5 e BA.P.11.4). Nella regione orientale esistono due punti con concentrazioni elevate: I.P.6.4 (maggiori di 100 mg/L) I.W.7.4 (maggiori di 10 mg/L). La parte rimanente della regione orientale manifesta tenori di acido 1,6-naftalendisolfonico più bassi (minori di 1 mg/L).

CONTRATTO DI3419/00/FG/I	
REL. 02	
Fg. 75 di 112	Rev.
	0

7.3.1 Sintesi dei caratteri qualitativi delle acque di falda per zone

Considerando la **regione orientale** dell'acquifero, e procedendo nel senso del gradiente idraulico, le acque sotterranee attraversano nel loro percorso i terreni sottostanti le aree dello stabilimento adibite ad impianti di produzione oltre che, in area golenale, le "collinette" dei settori C e C -D, e mostrano un arricchimento apprezzabile delle specie chimiche determinate.

A meno dei metalli praticamente ubiquitari (Al, Fe e Mn) sempre rilevati a concentrazioni relativamente elevate, le acque sotterranee di tale regione mostrano frequentemente tenori al di sopra delle CLA per diversi degli altri metalli pesanti. Volendo inquadrare la contaminazione relativa ai solfati ed alle specie metalliche, sulla base delle situazioni di superamento delle CLA, i diversi parametri sono ordinati secondo l'importanza relativa:

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| - Superamenti >90% | Fe, Mn |
| - Superamenti 60-90% | - |
| - Superamenti 30-60% | Al, Pb, As, Solfati |
| - Superamenti 10-30% | Ni |
| - Superamenti <10% | Hg, Cr tot., Cd |
| - Nessuno Superamento | Cu, Se, Cr VI, Zn |

(NOTA: in grassetto i parametri con almeno il 30% di valori maggiori della CLA)

Le varie famiglie di sostanze organiche analizzate sono, in tale regione, sempre presenti con tenori che variano spazialmente con tendenza all'aumento nel medesimo senso dell'andamento della falda. Allo stesso modo delle specie inorganiche, l'inquadramento della contaminazione relativa alle specie organiche, può essere razionalizzato sulla base delle situazioni di superamento delle CLA per le varie classi di composti: queste sono ordinate secondo l'importanza relativa:

- | | |
|----------------------|--|
| - Superamenti 30-60% | Ammine aromatiche
Solventi aromatici
Alifatici Alogenati cancerogeni
NS e AQS
Clorobenzeni
IPA
Nitrobenzeni |
| - Superamenti 10-30% | Fenoli non clorurati
Aloalifatici non cancerogeni |
| - Superamenti <10% | Fenoli clorurati |

(NOTA: in grassetto le classi dove si ha il parametro indice con almeno il 30% di valori maggiori della CLA)

Da est verso ovest si passa da un utilizzo delle aree per attività produttive (area impianti) ad un utilizzo come stoccaggio per rifiuti (nell'area bacini e aree discarica "Basso Piave" e "Montagna M"). La presenza delle diverse specie chimiche legate alle lavorazioni pregresse è via via più evidente considerando le acque sotterranee della parte più occidentale, passando dall'area industriale (Zona A2) all'area rifiuti (Zona A1).

CONTRATTO DI3419/00/FG/I	
REL. 02	
Fg. 76 di 112	Rev.
	0

Le acque sotterranee della **regione occidentale**, si caricano sia di specie chimiche organiche che inorganiche con concentrazioni che assumono valori rapidamente crescenti in direzione del flusso, presentando i massimi all'arrivo alla barriera di contenimento del margine occidentale, dove peraltro sono localizzate anche le "collinette" occidentali in area golenale (settori A e A-B). In tale regione si manifesta una consistente presenza di solfati. Considerazioni analoghe valgono per i metalli che proprio nelle suddette zone presentano i massimi tenori ed il numero più consistente di superamenti delle rispettive CLA. Volendone inquadrare la contaminazione sulla base delle situazioni di superamento delle CLA, i diversi parametri sono ordinati secondo l'importanza relativa:

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| - Superamenti >90% | Mn, Fe |
| - Superamenti 60-90% | Al, As, Solfati |
| - Superamenti 30-60% | Pb, Ni |
| - Superamenti 10-30% | Cr tot., Hg |
| - Superamenti <10% | Cd, Cu, Se |
| - Nessuno Superamento | Cr VI, Zn |

(NOTA: in grassetto i parametri con almeno il 60% di valori maggiori della CLA)

Allo stesso modo, le varie famiglie di sostanze organiche analizzate sono, in tale regione, sempre presenti con tenori che variano spazialmente con tendenza all'aumento muovendosi da monte verso valle. L'inquadratura della contaminazione relativa alle specie organiche, è ottenuta sulla base delle situazioni di superamento delle CLA per le varie classi di composti. Queste sono ordinate secondo l'importanza relativa:

- | | |
|-----------------------|--|
| - Superamenti >90% | - |
| - Superamenti 60-90% | Solventi aromatici |
| | NS e AQS |
| | Ammine aromatiche |
| | Alifatici Alogenati cancerogeni |
| | Clorobenzeni |
| | IPA |
| | Fenoli non clorurati |
| - Superamenti 30-60% | Fenoli clorurati |
| - Superamenti 10-30% | Nitrobenzeni |
| | Aloalifatici non cancerogeni |
| - Superamenti <10% | - |
| - Nessuno Superamento | - |

(NOTA: in grassetto le classi dove si ha il parametro indice con almeno il 60% di valori maggiori della CLA)

Va richiamato inoltre che il sistema idrico sotterraneo del sito è piuttosto articolato (vedi Rel. 12/1802A0 e Rel. 15/1802A0) e presenta una principale compartimentazione dovuta all'alto morfologico che divide l'acquifero in un settore nord-occidentale ed un sud-orientale. La falda ha una piezometria con andamento circa radiale dal margine a monte "lato ferrovia" al margine a valle "lato fiume Bormida", dove sono site le barriere di contenimento idraulico, ed ha una potenza modesta (ridotti spessori dell'acquifero saturo e basse velocità di deflusso). Lo studio idrogeologico ha individuato che le acque circolanti in tale falda sono attribuibili per un 70-75% alle perdite dalle reti tecnologiche (canale industriale

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 77 di 112	Rev.			
	0			

adduttore, rete fognaria, etc.), per un 10-15 % nella ricarica naturale da monte e per il resto a fenomeni di infiltrazione dalle superfici non pavimentate. Ciò influisce nell'inquadramento della qualità chimica delle acque.

Volendo comunque valutare la correlazione fra quanto riscontrato nei terreni e le specie rilevate in falda (vedi le carte di qualità allegate e quelle contenute in Rel, 12/1802A0), si nota come esista una sostanziale congruenza. In effetti le diverse specie chimiche rilevate nei campioni di terreno contaminati (in particolar modo i riporti) della zona insatura e satura, spiegano la contaminazione delle acque sotterranee. Queste, nel loro percorso, si arricchiscono delle sostanze via via incontrate in funzione della loro mobilità (solubilità e proprietà di ripartizione acqua/suolo). Ovviamente la correlazione qualitativa è più forte fra l'acqua di falda ed i campioni di terreno prelevati in zona satura, rispetto ai campioni provenienti dalla zona insatura. In particolare è evidente una correlazione per diversi metalli pesanti, per i composti organici più solubili (nella fattispecie gli acidi naftalensolfonici e consimili) ed a seguire gli altri, fino agli IPA che, a meno del naftalene sufficientemente solubile, non sono quasi mai presenti in falda perché praticamente insolubili. Per i composti organici volatili (solventi aromatici ed alifatici alogenati) parzialmente solubili, anche se raramente rilevati a tenori apprezzabili nei terreni, sono invece presenti in falda perché "fissati" in fase acquosa a concentrazioni rilevabili.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Fg. 78 di 112	Rev.		
	0		

7.4 Caratteri tossicologici e di pericolosità dei contaminanti

In relazione alla caratterizzazione del sottosuolo del sito BORMIA SpA In Liquidazione ed all'acquisizione dei dati analitici ottenuti, si è voluto sviluppare una tabella contenente dati di sintesi tossicologici e di pericolosità, delle sostanze organiche risultate presenti almeno su un campione di terreno a concentrazioni superiori al limite previsto dal DM 471/99.

Le sostanze in oggetto sono quelle di seguito riportate, elencate per famiglia chimica:

METALLI			
1	Arsenico	5	Selenio
2	Mercurio	6	Cadmio
3	Rame	7	Zinco
4	Piombo	8	Nichel

AMMINE AROMATICHE			
1	Anilina	14	2,6-dicloroanilina
2	o-toluidina	15	2,4,5-tricloroanilina
3	4-metilnilina	16	2,3,4-tricloroanilina
4	2,5-dimetilanilina	17	2-cloro-5-nitroanilina
5	2,4,6-trimetilanilina	18	4-nitro-2-cloroanilina
6	p-cloroanilina	19	4-cloro-N-metilnilina
7	o-cloroanilina	20	2,6-dicloro-4-nitroanilina
8	m-cloroanilina	21	2-etossianilina
9	3,4-dicloroanilina	22	3,3'-dimetilbenzidina
10	2,4-dicloroanilina	23	4-anisidina
11	2,3-dicloroanilina	24	o-anisidina
12	3,5-dicloroanilina	25	Betanaftilammina
13	2,5-dicloroanilina	26	1-naftilammina

NITROBENZENI			
1	Nitrobenzene	5	p- nitroclorobenzene
2	o-dinitrobenzene	6	3,4-dicloronitrobenzene
3	m- nitroclorobenzene	7	2,5-dicloronitrobenzene
4	o-nitroclorobenzene		

COMPOSTI ORGANICI ALOGENATI			
1	Clorobenzene	6	1,2,4-triclorobenzene
2	1,2-diclorobenzene	7	Tetraclorobenzene
3	1,3-diclorobenzene	8	Pentaclorobenzene
4	1,4-diclorobenzene	9	Esacclorobenzene
5	1,2,3-triclorobenzene		

FENOLI E CONSIMILI			
1	Betanftolo	3	Pentaclorofenolo
2	m-amminofenolo		

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Fg. 79 di 112	Rev.		
	0		

IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI			
1	Naftalene	8	Benzo(k)fluorantene
2	Fenantrene	9	Crisene
3	Antracene	10	Benzo(g,h,i)perilene
4	Benzo(j)fluorantene	11	Indeno-1,2,3,-(cd)pirene
5	Benzo(a)antracene	12	Pirene
6	Benzo(a)pirene	13	Fluorantene
7	Benzo(b)fluorantene		

COMPOSTI NAFTALENSOLFONICI E CONSIMILI			
1	Ac. Amminoisogamma	11	Ac. 2-OH-3,6,8-naftalendisolfonico
2	Ac. ammino G	12	Ac. 2-OH-5-naftalendisolfonico
3	Ac. solfanilico	13	Ac. Shaffer
4	Ac. Metanilico	14	Ac. G
5	Ac. 1,5-naftalendisolfonico	15	Ac. R
6	Ac. 1,6-naftalendisolfonico	16	Alfa Sale
7	Ac. 2,3 BON	17	Beta Sale
8	Ac. 2,6-naftalendisolfonico	18	Ac. m-nitrobenzensolfonico
9	Ac. 2,7-naftalendisolfonico	19	Ac. Stebbins
10	Ac. 2-OH-1,6-naftalendisolfonico		

SOSTANZE ORGANICHE VOLATILI			
1	Benzene	2	1,1,2,2-Tetracloroetilene

MICROINQUINANTI AROMATICI CLORURATI			
1	PCB	2	PCDD+PCDF

Nella tabella riportata in Allegato 4 sono indicati per le sostanze sopra in elenco:

- N° CAS:** Numero d'identificazione della sostanza (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances);
- SOSTANZE:** Nomenclatura chimica della sostanza;
- ETICHETTATURA, CLASSIFICAZIONE DI LEGGE:** Sono riportati i simboli di pericolo e le frasi di rischio R del DM 28 aprile 1977 (art.37, comma 1 e 2), del D.Lgs 3 febbraio 1997 n°52, concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose, e, Direttiva 2001/59/CE della Commissione del 6 agosto 2001 recante 28° adeguamento al progresso tecnico della Direttiva 67/548/CEE;
- ETICHETTATURA, CLASSIFICAZIONE PROVVISORIA:** Sono riportati i simboli di pericolo e le frasi di rischio R indicati sui cataloghi Fluka 2001/2002, Aldrich 2000/2001, oppure laddove non vi siano evidenze cartacee si è stabilita una classificazione provvisoria in base ai dati tossicologici a disposizione e/o assimilando la sostanza in questione con altre simili per struttura e composizione chimica;
- DATI TOSSICOLOGICI:** Sono indicate, le informazioni tossicologiche di Tossicità Acuta orale, dermale, inalatoria. I dati di tossicità sono stati reperiti su:

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 80 di 112	Rev.			
	0			

NIOSH-RTECS 1985-86 (Registry of Toxic Effects of Chemical Substances), su Irving Sax 7° edizione del 1989 (Dangerous Properties of Industrial Materials), e, su reviews tossicologiche prodotte da Istituti Universitari Italiani (Banca Dati cartacea ACNA 1989-90). Per le sostanze per cui non sono stati reperiti dati tossicologici sono stati adottati dei criteri di paragone con altre sostanze assimilabili per composizione e struttura chimica, per le quali si hanno informazioni dettagliate;

- IGIENE INDUSTRIALE:** Sono riportati i Valori limite di soglia ACGIH 2000 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) da AIDII (Associazione Italiana Igienisti Industriali). Per le sostanze per cui non esistono TLV sono stati adottati ove possibile dei criteri di paragone, ove non possibile si è usato il termine N.D. (non determinato).

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 81 di 112	Rev.			
	0			

8. RASSEGNA DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA APPLICABILI AI RIFIUTI E AI TERRENI CONTAMINATI DEL SITO

In questo capitolo viene eseguita l'analisi delle tecnologie di bonifica adottabili per il trattamento dei rifiuti e dei terreni del sito di Cengio/Saliceto.

8.1 Specificità del sito

I criteri di scelta dell'intervento di bonifica, così come previsto nell'Allegato 4 del D.M. 471/99, si basano sulle condizioni specifiche del sito che di seguito si richiamano:

- l'Accordo di Programma del Dicembre 2000;
- la prevista reindustrializzazione del sito;
- i volumi considerevoli di rifiuti e terreni contaminati presenti nelle diverse aree del sito (2 813 000 m³);
- la presenza in Zona A1 di una rilevante volumetria (1 590 000 m³) di rifiuti e di terreni contaminati che a meno dei reflui salini sono completamente frammisti;
- le caratteristiche di tossicità dei rifiuti che determinano la necessità di ridurre al minimo la loro movimentazione;
- la presenza del substrato marnoso impermeabile,
- la protezione dal rischio idraulico del sito attraverso la realizzazione di opere arginali e di contenimento/drenaggio;
- la co-presenza nei terreni e nelle acque di una contaminazione da composti organici (organosolfonici, fenoli, ammine aromatiche, nitroaromatici, aromatici clorurati, nitro-cloroaromatici) ed inorganici (metalli pesanti);
- l'avviata attività per il trattamento e lo smaltimento di reflui salini (300 000 m³) che consente di recuperare volumi in Zona A1 per attività di deposito;
- la presenza nel sito di un impianto di trattamento delle acque reflue (ITAR) dedicato al trattamento del percolato e l'esistenza di opere di contenimento e drenaggio.

8.1.1 Volumi dei materiali oggetto di intervento

I materiali contaminati oggetto dell'intervento di risanamento ambientale presenti nel sito sono costituiti da:

- 2 050 000 m³ di rifiuti che comprendono i reflui salini che saranno trattati e smaltiti (300 000 m³);
- 763.000 m³ di terreni contaminati.

8.2 Analisi delle possibili tecnologie di intervento sui rifiuti

8.2.1 Rifiuti contenuti nei bacini di lagunaggio

Per quanto riguarda i reflui salini (300 000 m³) è stata adottata sulla base di prove industriali, un processo che prevede:

- estrazione dai bacini,

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 82 di 112	Rev.			
	0			

- fusione e messa a titolo,
- essiccamento e confezionamento in big bags,
- trasporto via ferroviaria in Germania,
- messa adimora in miniere di sale.

8.2.2 Altri rifiuti contenuti nel sito

Le aree, nelle quali è avvenuto in passato l'abbancamento di rifiuti sono:

- la Zona A4,
- la Zona A3, specificatamente le aree denominate "Collinette",
- la zona A1, nelle aree denominate "Basso Piave" e "Montagna M" e bacini.

I rifiuti, presenti in tali zone, risultano attualmente frammisti con i terreni naturali in modo indifferenziabile.

Tale stato impedisce qualsiasi trattamento selettivo e distinto dei rifiuti e dei terreni naturali contaminati.

8.2.2.1 Analisi delle possibili tecnologie di trattamento dei rifiuti

L'Accordo di Programma prevede la gestione, ai sensi del Dlgs 22/97, dei rifiuti proveniente dalla bonifica delle diverse zone del sito in Zona A1, con un intervento di messa in sicurezza permanente della stessa. Tra tali rifiuti sono da considerare quelli provenienti dalle attività di demolizione delle strutture impiantistiche e dei fabbricati.

Al fine di valutare la praticabilità di un eventuale trattamento di tali rifiuti sono stati utilizzati gli studi effettuati nell'ambito dei lavori di caratterizzazione dell'area di Pianrocchetta, In tali studi erano stati raccolti dal sito dei campioni di rifiuti, caratterizzati dalla presenza sia di metalli pesanti che di inquinanti organici, e sottoposti ai seguenti test:

- test di inertizzazione,
- test di strippaggio dei composti volatili;
- test di lavaggio.

In Allegato 3 viene riportata la relazione tecnica "Fattibilità di interventi di bonifica con metodi chimico-fisici e biologici" (Rel 04 BASI Luglio1997), le cui principali risultanze sono:

Test di inertizzazione. Per l'esecuzione delle prove di inertizzazione è stata necessaria una fase preliminare di essiccamento dei rifiuti campionati.

I test hanno provato che solo con l'aggiunta del 30% di miscela inertizzante, costituita da cemento Portland+Silicati+Sabbia, e un tempo di maturazione di 28 si sono ottenuti risultati significativi per la stabilizzazione dei metalli pesanti.

Le concentrazioni di inquinanti organici sono state semplicemente diluite.

Test di strippaggio dei composti volatili. La risultanza di tali prove è stata la non significativa rimozione di composti organici, a causa della tipologia dei contaminanti, della natura compatta e fine del materiale e il grado di umidità che ha impedito il

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 83 di 112	Rev.			
	0			

flusso della fase gassosa.

Test di lavaggio. I test sono stati condotti sospendendo i campioni di rifiuto in acqua distillata, in soluzione acquosa acida ed in soluzione acquosa basica. In ciascuna delle tre prove alla completa decantazione del solido, è stato eliminato il surnatante, raccogliendolo in un contenitore a parte, e reintegrata la soluzione acquosa.

Al termine è stato raccolto il rifiuto sedimentato e sottoposto a centrifugazione.

Le analisi sul solido hanno evidenziato una bassa rimozione sia dei metalli pesanti che dei composti organici.

Per quanto sopra esposto, si esclude la praticabilità efficace di un trattamento tramite lavaggio o aspirazione sotto vuoto, mentre l'efficacia del trattamento di inertizzazione è inficiata dai seguenti fattori:

- l'unicità indistinguibile della massa dei rifiuti e del terreno naturale comporta una notevole eterogeneità dei materiali e la conseguentemente difficile individuazione della miscela ottimale inertizzante;
- i rifiuti sono caratterizzati da granulometria molto fine, con elevata ritenzione idrica ed elevata compattezza, comportando notevoli difficoltà nella omogeneizzazione completa con i materiali inertizzanti e di conseguenza una minore efficacia del processo;
- incremento dei volumi di circa il 30%;
- l'inefficacia nei confronti della contaminazione prevalente di origine organica.

Un trattamento di inertizzazione inoltre implica fasi di: movimentazione, caricamento dell'impianto di inertizzazione, miscelazione e stoccaggio prima dell'abbancamento. Tali attività, a causa della complessa cantierabilità dovuta alle condizioni logistiche del sito e soprattutto per le caratteristiche dei rifiuti, comportano notevoli rischi per la sicurezza dei lavoratori e per l'igiene nell'ambiente di lavoro.

Per i suddetti motivi, il trattamento di inertizzazione risulta inapplicabile.

I risultati sperimentali ottenuti per i rifiuti di Pianrocchetta, consentono una estrapolazione a quelli rinvenuti nelle zone A1 e A3 in quanto le stesse caratteristiche e tipologie di residui sono state rilevate nelle diverse zone identificate come aree adibite a deposito di rifiuti (zone A4, A3 e A1).

Pertanto, i limiti evidenziati nelle ipotesi di trattamento dei rifiuti di Pianrocchetta risultano valide anche per i rifiuti provenienti dalle altre zone.

8.3 Analisi delle possibili tecnologie di intervento sui terreni

In questa sezione nel rispetto di quanto previsto dal DM 471/99 si procede ad una valutazione delle diverse tecnologie di intervento finalizzate a:

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 84 di 112	Rev.			
	0			

- “stabilire l’efficacia delle diverse tecnologie applicate nelle condizioni specifiche del sito”
- individuare il trattamento ottimale, in accordo con il principio di selezionare “tecnologie adottabili a costi economicamente sostenibili”.

8.3.1 Screening preliminare

L’eterogeneità e la co-presenza di diverse tipologie di contaminazione e la diversità della matrice naturale determinano notevoli differenziazioni nella distribuzione spaziale della contaminazione e della sua concentrazione. Infatti, le risultanze della caratterizzazione hanno evidenziato una contaminazione ad *hot spot*, con riferimento a specifiche famiglie di contaminanti

Con riferimento alle condizioni sito specifiche e agli obiettivi della bonifica unitamente ai programmi di reindustrializzazione vengono di seguito analizzate con maggiore attenzione le tecnologie di tipo intensivo rispetto a quelle di tipo estensivo escludendo quindi tecnologie quali ad esempio la fitodepurazione, dato che queste oltre all’incertezza dei risultati implicano tempi lunghi di risanamento.

Nel presente screening preliminare e nel successivo screening di dettaglio, sono analizzate le tecnologie di bonifica consolidate.

Di seguito vengono presentati in rassegna le seguenti tipologie di trattamento:

- **trattamenti biologici;**
- **trattamenti termici;**
- **trattamenti chimico-fisici.**

8.3.1.1. Trattamenti biologici

I fenomeni biodegradativi degli inquinanti organici avvengono attraverso processi biochimici ad opera di microorganismi, in condizioni aerobiche o anaerobiche. L’accelerazione dei processi degradativi naturali si ottiene aumentando la capacità degradativa, nelle zone contaminate, della flora microbica, intervenendo sui fattori che ne limitano lo sviluppo.

La velocità di biodegradazione dei contaminanti nei suoli è influenzata da fattori chimico-fisici (temperatura, permeabilità, pH, salinità del suolo e presenza di sostanze organiche capaci di adsorbire i contaminanti limitandone la disponibilità all’attacco biodegradativo), nutrizionali (disponibilità di acqua, azoto, fosforo, micronutrienti) e tossicologici (natura e concentrazione degli inquinanti). I tempi di biodegradazione sono direttamente proporzionali alla concentrazione del contaminante organico biodisponibile.(1)

Applicabilità al sito in esame

Da un’analisi dei contaminanti e della matrice naturale si è proceduto a una valutazione sulla eventuale applicabilità di un processo di biorisanamento.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 85 di 112	Rev.			
	0			

Sulla base dei dati di letteratura le diverse famiglie di contaminanti presenti nel sito possono essere definite biodegradabili, nello stesso ordine di efficacia qui di seguito riportato (2) (11):

idrocarburi > fenoli > ammine aromatiche > cloroaromatici > IPA > PCDF, PCDD.

Si sono inoltre presi in considerazione anche i risultati di una serie di test effettuati in passato nella zona di Pianrocchetta (Rel 04 BASI Luglio 97) che danno conferma dell'ordine di biodegradabilità precedentemente riportato, con l'evidenza empirica della maggiore biodegradabilità dei nitrobenzeni rispetto agli IPA, ma più bassa rispetto alle ammine aromatiche.

I test eseguiti hanno mostrato una biodegradabilità non significativa delle contaminazioni caratteristiche del sito legata presumibilmente ai seguenti fattori:

- inibizione da metalli pesanti eventualmente presenti, in particolare il mercurio (rilevato ad esempio nei test di trattamento biologico di Pianrocchetta);
- co-presenza di composti recalcitranti (ammine aromatiche, composti clorurati e IPA);
- eterogeneità della matrice naturale ed elevata variabilità della distribuzione degli inquinanti.

La natura recalcitrante dei composti inquinanti presenti nel sito è ulteriormente confermata dalla consolidata esperienza dell'impianto di trattamento delle acque reflue che solo attraverso la messa a punto di un sistema di trattamento molto complesso ed oneroso che prevede la sequenza di quattro stadi di trattamento chimico fisico, biologico a carboni attivi, resine a scambio ionico e Fentox, consente la depurazione delle acque reflue.

E' quindi esclusa l'applicabilità di trattamenti di tipo biologico nel sito.

8.3.1.2 Trattamenti termici

I trattamenti termici sono tecnologie di bonifica che possono essere utilizzati sia per abbattere direttamente i composti organici (termodistruzione) che per abbatterli previo trasferimento alla fase gassosa (desorbimento termico).

Il processo di termodistruzione, che trova forti contrasti per il rilevante impatto ambientale, inoltre non viene preso in considerazione per la sua insostenibilità economica.

I trattamenti di desorbimento termico si basano sul principio del trasferimento delle sostanze volatili dalla matrice solida del terreno ad una fase gassosa che viene successivamente trattata prima di essere immessa nell'atmosfera.

Il desorbimento termico a bassa temperatura (tra 90°C e 320 °C) ha come obiettivo principale la rimozione dei composti organici non alogenati ed i leggeri; quello ad alta temperatura (tra 320°C e 560°C) la rimozione di composti organici non volatili, dei composti policiclici aromatici, dei PCB, dei pesticidi e dei metalli volatili. (5)

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 86 di 112	Rev.			
	0			

I trattamenti di desorbimento termico non sono efficaci per le contaminazioni da metalli pesanti.

Costi elevati del solo trattamento che variano tra 150-300 Euro/ton, possono aumentare con la presenza di materiali con granulometria fine.

Applicabilità al sito in esame

Considerando che i terreni del sito presentano le seguenti caratteristiche:

- una contaminazione di tipo misto: metalli e composti organici non volatili (organosolfonici, ammine, IPA, clorurati, PCDD, PCDF),
- presenza di materiali di granulometrie fine (limi, argille),

l'efficace applicabilità del desorbimento termico viene inficiata dalle seguenti criticità:

- la presenza di mercurio, quale metallo volatile, comporta difficoltà nella gestione dell'impianto e nell'abbattimento delle emissioni;
- i composti organosolfonici presentano temperature di ebollizione > 450 °C, ciò comporta notevoli difficoltà nel desorbire tali composti;
- la presenza di microinquinanti e organoclorurati rende particolarmente accurata ed onerosa l'attività di trattamento e monitoraggio delle emissioni in atmosfera;
- l'eterogeneità pedologico-stratigrafica dei terreni naturali richiede un continuo adattamento del processo, in funzione della tipologia di terreno in entrata, con conseguente incremento dei costi operativi di gestione.

Sulla base di queste considerazioni, l'opzione del trattamento termico è da escludere.

8.3.1.3 Trattamenti Chimico-Fisici

Questo gruppo di tecnologie opera un'azione di risanamento del terreno attraverso opportuni trattamenti che sfruttano le caratteristiche dei contaminanti di:

- solubilizzarsi in soluzioni acquose ed organiche;
- reagire con altre molecole per assumere delle forme chimiche di minor mobilità;
- essere assorbiti in matrici inorganiche con maggiore grado di solidità;
- ossidarsi in presenza di opportuni reagenti trasformandosi in forme chimiche inerti;
- essere strappati dalla fase solida per l'azione combinata della temperatura e della pressione.

I trattamenti chimico-fisici sono caratterizzati da:

- efficacia nei confronti di contaminati sia organici che inorganici,
- tempi più ridotti rispetto alle tecniche biologiche,
- costi inferiori rispetto alle tecniche termiche.

Conseguentemente lo screening di dettaglio farà riferimento a questo gruppo di tecnologie, in considerazione dei fattori di sito specificità.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 87 di 112	Rev.			
	0			

8.3.2 Screening tecnologico di dettaglio

Le tecnologie chimico-fisiche, maggiormente diffuse ed applicabili potenzialmente ai terreni del sito, sono le seguenti:

- Soil flushing, tecnica *in situ*,
- Soil Vapor Extraction, tecnica *in situ*,
- Steam Stripping, tecnica *in situ*,
- Soil washing, tecnica *on site*,
- Estrazione con solvente, tecnica *on site*,
- Inertizzazione, tecnica *on site*,
- Ossidazione chimica, tecnica *on site*.

Nei successivi paragrafi verranno prima analizzate le tecnologie in situ, quali tipologie di intervento di bonifica estensive che per le condizioni specifiche del sito risultano applicabili con maggiore difficoltà e, successivamente le tecnologie on site di carattere intensivo e per tal motivo di maggiore interesse per le tipologie di inquinamento che caratterizzano il sito.

8.3.2.1 Tecnologie in situ

Soil flushing

Il soil flushing consiste nell'estrazione dei contaminanti dal terreno per lisciviazione utilizzando un fluido acquoso, il quale viene immesso da pozzi ubicati a monte dell'area contaminata ed estratto a valle di essa tramite pozzi di captazione, per essere poi trattato e quindi riciclato.

Il fluido estraente che viene utilizzato nella maggior parte dei casi è acqua, eventualmente addizionata con le seguenti famiglie di composti, allo scopo di migliorare l'efficacia del trattamento:

- detergenti per la rimozione di composti idrocarburici,
- composti acidi o basici per la rimozione di composti inorganici,
- agenti complessanti, selettivi per la rimozione di metalli pesanti,
- cosolventi selettivi per la rimozione di composti organici poco solubili in acqua.

I contaminanti che possono essere rimossi con maggiore facilità sono quelli più solubili in acqua, es.: composti aromatici a basso PM, composti organo-clorurati leggeri (alifatici clorurati), sali solubili di metalli.

L'acqua è usata soprattutto per rimuovere sali organici idrofilici e sali metallici solubili. Le sostanze organiche idrofobiche a bassa solubilità, (PCB, composti non volatili, solventi aromatici) possono essere rimosse con idonei surfattanti.

L'uso di tamponi alcalini nella soluzione di lavaggio viene applicato per la rimozione di composti inorganici; mentre soluzioni debolmente acide possono aumentare la solubilità di alcuni metalli pesanti.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 88 di 112	Rev.			
	0			

Infine, agenti chelanti, come l'EDTA, possono rimuovere alcuni composti metallici insolubili.

Spesso, acidi, agenti chelanti o riducenti vengono usati in sequenza per migliorare l'efficienza di rimozione dei metalli.

L'efficacia del processo di flushing dipende da diversi fattori:

- tempo di contatto tra la soluzione dilavante e la zona contaminata,
- coefficiente di adsorbimento al suolo dei contaminanti,
- permeabilità e caratteristiche sedimentologiche dei suoli (8),
- contenuto di carbonio organico del suolo.

L'analisi dei costi elaborata per tale tecnologia ha individuato un range di 75÷210 Euro/ton, quali valori riferiti al solo trattamento con esclusione quindi dei costi di realizzazione del sistema.

Applicabilità al sito in esame

L'applicazione di tale tecnologia nel sito in esame evidenzia le seguenti criticità (21) :

- tempi di bonifica lunghi;
- difficoltà nella gestione del processo e nella impossibilità di programmare la durata temporale dell'intervento, date le condizioni stratigrafiche del sito;
- difficile controllo idraulico delle operazioni di immissione e capatazione;
- le caratteristiche per hot spot dell'inquinamento comportano una articolazione impiantistica puntuale, nelle diverse zone contaminate, di difficile gestione;

Per le motivazioni sopra esposte si esclude l'impiego di tale tecnologia nel sito.

Soil Vapor Extraction

Il soil vapor extraction (SVE) è una tecnologia *in situ*, utilizzata nella bonifica di terreni contaminati da composti organici della zona insatura del sottosuolo.

Il sistema opera tramite l'installazione di una serie di pozzi, dai quali viene applicata una depressione nel suolo, in modo da indurre un flusso controllato di aria che attraverso i pori interstiziali del suolo possa rimuovere i composti volatili.

Oltre alla riduzione dell'inquinamento ottenuta per estrazione, il flusso d'aria favorisce i processi di degradazione biologica, attraverso l'ossigenazione del suolo.

La velocità di trattamento dipende dalle portate d'aria che possono essere immesse nel terreno e dalle caratteristiche dei contaminanti a trasferirsi dalla fase solida a quella gassosa.

Il flusso di aria viene convogliato in un sistema di abbattimento, composto normalmente da una batteria di carboni attivi o da un combustore catalitico.

L'efficacia di tale tecnica dipende sia dalle caratteristiche pedologiche del suolo che da quelle chimico-fisiche dell'inquinante; trova applicazione nella rimozione dei composti volatili e viene impiegata nella bonifica della zona insatura di terreni ad alta e media permeabilità.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Fg. 89 di 112	Rev.		
	0		

Questa tecnica risulta efficace solo per i composti organici volatili con valori di pressione di vapore indicativamente superiori a 5 mm Hg a 25°C e valori della costante di Henry maggiori di 5×10^{-4} atm·m³/mol, che è direttamente proporzionale alla concentrazione in fase vapore del composto chimico. (19)

Di seguito sono riportate le caratteristiche salienti ed i requisiti principali per l'applicazione della tecnologia in esame:

- è richiesta una granulometria dei terreni inquinati uniforme;
- non è efficace per i metalli;
- applicabile solo ai terreni della zona insatura;
- implica il trattamento della fase gassosa estratta;
- applicabile solo ai composti organici volatili;

la sua efficacia dipende:

- dalla permeabilità del suolo;
- dal grado di umidità del terreno.

I costi di questa tecnologia sono compresi tra 20÷80 Euro/ton, sempre riferendosi al solo costo di trattamento, sono pertanto esclusi i costi di realizzazione del sistema.

Applicabilità al sito in esame

Per una valutazione caso-specifica, vengono riportati nella seguente tabella 8.3.a i valori di pressione di vapore e relative costanti di Henry a 25°C di alcuni composti chimici, rappresentativi delle principali famiglie di contaminanti presenti nel sito (14):

Tabella 8.3.a

Composto	Famiglia Contaminanti	Pressione di vapore (mm Hg)	Costante di Henry (atm x m ³ /mol)
Fenolo	Fenoli	0.53	n.r.
Mercurio	Metalli pesanti	0.0012	n.r.
Clorobenzene	Aromatici clorurati	11.8	3.8×10^{-3}
Naftalene	IPA	0.89	4.83×10^{-4}
Benzo(a)pirene	IPA	4.9×10^{-9}	1.13×10^{-6}
Nitrobenzene	Nitroaromatici	0.15	n.r.
PCB-1260	PCB	4.05×10^{-5}	n.r.
Anilina	Ammine aromatiche	0.3	1.9×10^{-6}

Le diverse tipologie di contaminanti presenti nel sito sono classificabili come composti non volatili.

Sono stati riportati in tabella 8.3.a i composti più leggeri, quali rappresentanti le diverse famiglie di contaminazione del sito. Dai dati tabellari si evince l'inefficacia di tale sistema per il trattamento di tali composti

Prendendo in considerazione la gamma completa dei composti chimici inquinanti con pesi molecolari superiori a quelli sopra evidenziati, risulta evidente l'inefficacia di questa tecnica di bonifica per il tipo di contaminazione in esame.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 90 di 112	Rev.			
	0			

Steam stripping

La tecnica consiste nell'immissione nel terreno di vapore acqueo a temperature variabili tra 150°C e 230°C e nell'aspirazione dello stesso da appositi pozzi di estrazione. In tal modo si interviene nella matrice del terreno, promuovendo il riscaldamento del terreno medesimo producendo la parziale ossidazione, la mobilizzazione e la volatilizzazione dei contaminanti verso i pozzi di estrazione.

La miscela di vapori ed inquinanti gassosi viene preliminarmente raffreddata in un condensatore, dal quale i vapori incondensabili vengono avviati ad un sistema di trattamento con filtri a carboni attivi e il condensato liquido inviato ad un apposito sistema di trattamento acque.

Questa tecnologia può essere applicata a tutti i tipi di contaminanti, con punto di ebollizione tra 100° e 250°C.

L'estrazione con vapore è applicabile sia nello strato insaturo che in quello saturo; mentre nel primo strato il sistema di strippaggio con vapore viene utilizzato principalmente per consentire la volatilizzazione dei contaminanti e la rimozione in fase vapore degli stessi, nel secondo il sistema viene applicato principalmente per produrre una riduzione nella viscosità ed un aumento della mobilità dei composti contaminanti presenti in fase separata, consentendone anche il loro recupero in fase liquida tramite pozzi di emungimento.

Lo steam stripping è quindi una tecnologia ad elevata complessità impiantistica e ad elevata onerosità economica.

Le limitazioni della tecnologia sono qui di seguito menzionate:

- l'applicazione è possibile solo al di sotto del 1,5 m dal p.c.;
- ridotta efficacia in presenza di suoli a bassa permeabilità (limi, argille);
- difficoltà di progettazione dell'impianto in caso di forte eterogeneità dei terreni e della contaminazione;
- alto contenuto di carbonio organico nel suolo che riduce il tasso di estrazione del contaminante.

I costi del solo trattamento variano tra le 150÷400 Euro/ton. Sono esclusi i costi della realizzazione del sistema

Applicabilità al sito in esame

Nella tabella seguente 8.3.b vengono riportati i punti di ebollizione per i composti capostipiti delle diverse famiglie di contaminanti presenti nel sito.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Fg. 91 di 112	Rev.		
	0		

Tabella 8.3.b

Composto	Famiglia Contaminanti	Punto di ebollizione (°C)
Fenolo	Fenoli	182
Mercurio	Metalli pesanti	356
Clorobenzene	Aromatici clorurati	130
Naftalene	IPA	218
Benzo(a)pirene	IPA	>250
Nitrobenzene	Nitroaromatici	211
Anilina	Ammine aromatiche	184
Nitroclorobenzene	Cloro-nitro aromatici	240
β Naftalensolfonico	Organosolfonici	>500

I composti sopra riportati, in seno a ciascuna famiglia di contaminanti, rappresentano quelli a più basso peso molecolare e comunque presentano temperature di ebollizione intorno ai 200°C con l'eccezione del composto organosolfonico con caratteristiche altobollenti e temperature di ebollizione superiori ai 500°C. Fa eccezione il clorobenzene, che coerentemente agli altri valori chimico-fisici (tab. 8.3.a) viene considerato maggiormente volatile.

I composti contaminanti del sito hanno i valori delle temperature di ebollizione medio-alte, ciò comporta l'impossibilità pratica dell'applicazione di tale tecnologia (10).

8.3.2.2 Tecnologie on site

Soil washing

Il soil washing è una tecnologia che utilizza acqua, talvolta con l'aggiunta di additivi, e processi meccanici di separazione per rimuovere gli inquinanti dai suoli.

I principi alla base di questa tecnologia sono:

- lisciviazione dei contaminanti dalle varie frazioni per effetto della loro solubilità e per l'azione fisica esercitata dal fluido;
- separazione granulometrica e conseguente concentrazione dei contaminanti meno solubili nelle frazioni più fini che, avendo un maggiore rapporto superficie/volume, offrono maggiori punti di contatto per l'adsorbimento delle molecole dei contaminanti.

Il processo consiste nel separare mediante vagliatura le componenti di granulometria maggiore e meno inquinate da quelle fini più inquinate.

Alla vagliatura segue il trattamento del sottovaglio con agenti estraenti che trasferisce i contaminanti dalla fase solida a quella liquida. I contaminanti, le frazioni granulometriche più fini ed i composti solubili, seguono il flusso della fase liquida, che separata dalla fase solida viene avviata alle fasi successive di trattamento.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Fg. 92 di 112	Rev.		
	0		

La separazione delle frazioni granulometriche più fini viene effettuata per classificazione ad umido, con l'utilizzo di idrocycloni o flottatori.

L'agente estraente viene trattato con tecnologie di trattamento acque reflue.

Questa tecnologia è particolarmente efficace su terreni sabbiosi con permeabilità medio-alta; la vasta esperienza ne suggeriscono l'uso su terreni con contenuto di limo e argilla inferiore al 30% (13).

Gli aspetti salienti di questa tecnica possono essere così riassunti:

- applicazione sia a contaminazioni da inorganici che da organici;
- risulta non applicabile né economica per terreni con granulometrie fini;
- richiede particolare attenzione nel rapporto addizione/estrazione di fluido.

I costi di tale trattamento variano notevolmente in funzione della tipologia del materiale contaminato, del contaminante, dei limiti da raggiungere e dalla presenza di strutture impiantistiche ausiliarie di trattamento delle acque reflue, essi variano tra 60÷180 Euro/ton.

Applicabilità al sito in esame

Viene di seguito riportata una tabella riassuntiva dei valori di solubilità in acqua dei principali contaminanti presenti nel sito e del parametro chimico-fisico: logaritmo della costante di ripartizione ottanolo/acqua (Tab. 8.3.c) (6).

Tabella 8.3.c

Tipologia di contaminanti	Log Kow	Solubilità in acqua a 20°C (g/l)
IPA		
Pirene	5,32	0.16*10 ⁻³
Naftalene	3.28	31*10 ⁻³
Benzo(a)pirene	5.98	1.6*10 ⁻⁶
AMMINE AROMATICHE		
Anilina	0,9	34
NITROAROMATICI		
Nitrobenzene	1.85	1.9
AROMATICI CLORURATI		
Clorobenzene	2,8	0.49
ORGANOSOLFONICI		
Acido Naftalensolfonico	Dati non disponibili	> 100
FENOLI		
Fenolo	1,46	82

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 93 di 112	Rev.			
	0			

Elevati valori di Kow e, quindi, del logaritmo di Kow danno una indicazione sulla difficoltà di deadsorbimento del composto dalla fase solida e passaggio in fase liquida, mentre valori bassi di Kow e del suo logaritmo indicano una opposta tendenza, ovvero maggiore capacità di lisciviazione.

I contaminanti organici, per i quali tale tecnologia risulta potenzialmente applicabile, dovranno presentare una costante di ripartizione Kow minore di 1000 (Log Kow < 3) (7) (8).

Tra questi i composti con valori più elevati di solubilità in acqua vengono rimossi tramite la sola azione di dilavamento da parte della soluzione di lavaggio, a prescindere dall'efficacia della separazione granulometrica (es. organosolfonici, fenoli).

I contaminanti volatili organici sono in genere maggiormente rimovibili dal terreno con efficienza di rimozione del 90-99% (EPA, 1991 D). I contaminanti organici non volatili, invece, danno in genere luogo a rendimenti di rimozione meno elevati (40-90%) e richiedono solitamente l'aggiunta di tensioattivi all'acqua di lavaggio.

La presenza di miscele di contaminanti e/o la frequente variazione della composizione dei contaminanti nel terreno da trattare, rendono estremamente difficile la scelta di un fluido estraente efficace per tutti i contaminanti presenti nei terreni del sito (7).

La tecnica di bonifica in oggetto comporta inoltre difficoltà applicative vista l'eterogeneità della matrice che si presenta talora con granulometria finissima.

L'ordine di solubilità, ovvero di capacità di lisciviazione dei contaminanti presenti nel sito è il seguente:

IPA < aromatici clorurati < nitroaromatici < ammine aromatiche < fenoli < organosolfonici.

Prove di Lavaggio

Sulla base delle considerazioni sito specifiche sopra esposte presso BORMIA (Allegato 1) sono state effettuate due campagne di prove di lavaggio. La prima in laboratorio, la seconda su impianti pilota.

La prima serie di prove ha riguardato una selezione iniziale di modalità e di solventi da impiegare sia per il lavaggio di terreni contaminati da composti naftalensolfonici e simili, sia da metalli con concentrazioni elevate per entrambe le famiglie.

La seconda serie di prove è stata mirata alla rimozione dei composti naftalensolfonici e simili in quanto le prove di laboratorio relative avevano fornito risultati incoraggianti.; nel corso di queste prove pilota è stata monitorata anche la concentrazione dei metalli per verificare l'eluizione degli stessi.

Ad ogni prova in campo è stata associata una prova testimone di laboratorio, effettuata perciò sullo stesso campione di terreno, in modo da poter valutare l'influenza del passaggio di scala dal laboratorio al pilota .

Le prove sono state effettuate al fine di determinare la quantità di contaminante che si trasferisce, in condizioni di staticità, dalla matrice terrosa, nella sua totalità, alla

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 94 di 112	Rev.			
	0			

fase liquida.

I terreni, perciò, sono stati trattati senza effettuare separazioni fisiche preliminari. Le caratterizzazioni chimiche sono state condotte su campioni di terra fine in accordo con il Decreto Ministeriale del 13 settembre 1999 (Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo ") e sulla fase liquida risultante dal lavaggio.

Per il calcolo delle percentuali di rimozione dei singoli contaminanti si è fatto riferimento alla quantità iniziale, ricavata dall'analisi del terreno fine, ed alla quantità rimossa, ricavata dall'analisi della fase acquosa dopo il lavaggio. E' stato controllato anche il terreno dopo ogni lavaggio. Sono stati analizzati quindi i campioni di terreno prima e dopo ciascuna prova e i campioni di soluzione acquosa dopo ogni eluizione.

I risultati delle prove condotte evidenziano, per i composti naftalensolfonici, una difficoltà a rientrare con il trattamento nelle specifiche per siti industriali e commerciali ed una impossibilità di eluire i metalli con acqua, semplice o addizionata, al fine di ridurne le concentrazioni presenti.

Le prove esplorative di laboratorio indicano che i metalli di origine antropica ove presenti sono sotto forma chimica di composti insolubili anche in soluzione acquose acide e alcaline. Solamente trattamenti fortemente ossidanti, non applicabili su scala industriale, hanno un parziale effetto di rimozione.

Conseguentemente, sulla base delle considerazioni precedentemente svolte, un eventuale trattamento dei terreni dovrebbe prevedere un processo di vagliatura per separare le frazioni a granulometria più fine e maggiormente inquinate da quelle grossolane che potrebbero essere recuperate e riutilizzate, all'interno del sito, previa la loro caratterizzazione.

La vagliatura risulta efficace solo per quei terreni che presentano almeno uno scheletro del 30%.

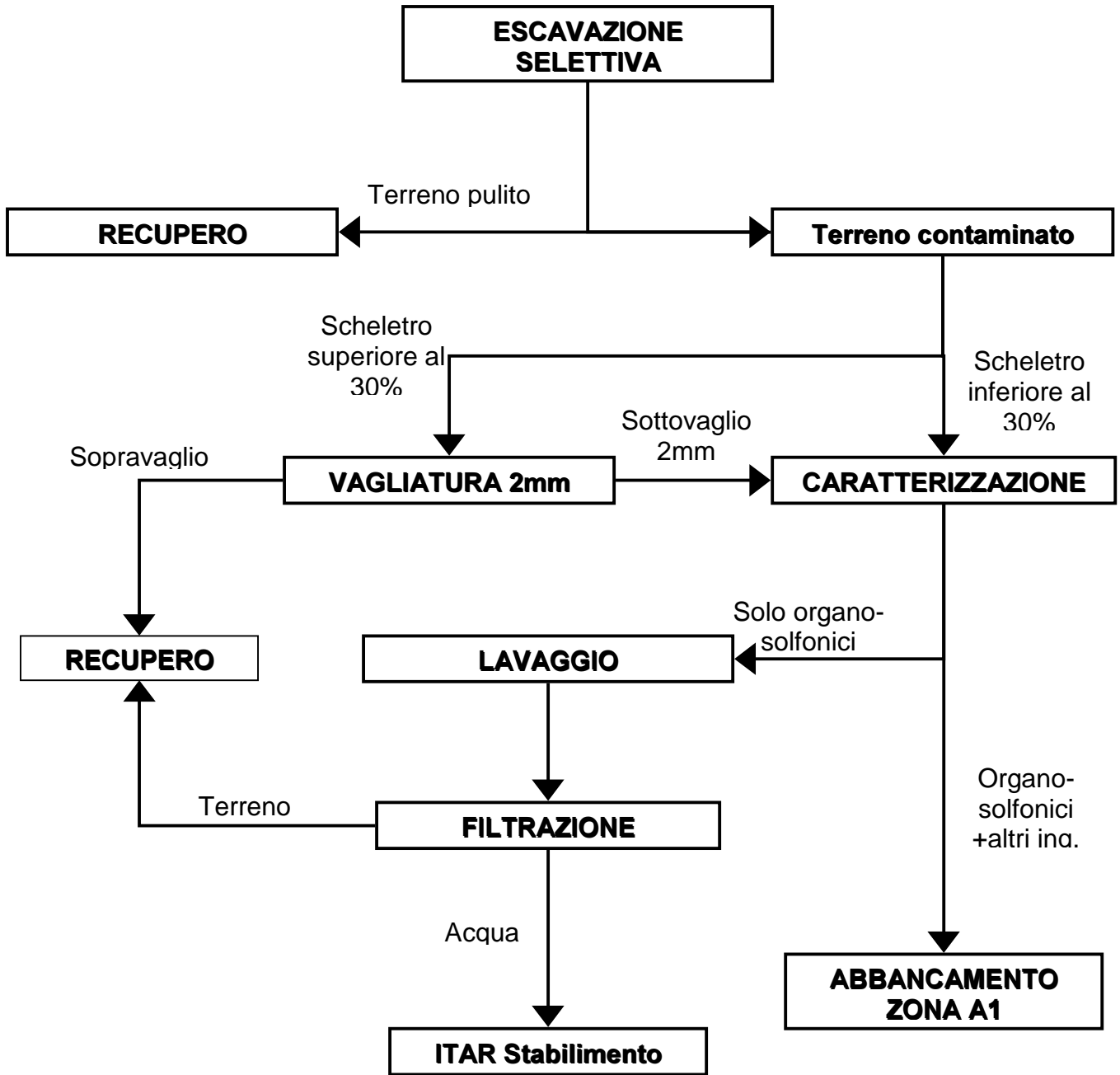
A valle della escavazione selettiva il processo industriale di trattamento dei terreni contaminati potrebbe configurarsi come segue:

- vagliatura di terreni con scheletro superiore al 30%; destinazione del sopravaglio al recupero, se nei limiti delle CLA, e caratterizzazione del sottovaglio;
- lavaggio con acqua dei terreni e delle frazioni fini contaminati solo da organo-solfonici; abbancamento degli altri terreni, non trattati in Zona A1;
- filtrazione e recupero dei terreni lavati e detossificati, invio delle acque di lavaggio all'impianto ITAR;

secondo lo schema di trattamento di seguito riportato

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 95 di 112			Rev.	
0				

SCHEMA DI TRATTAMENTO



CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 96 di 112	Rev.			
	0			

Alla luce di quanto esposto, il trattamento di soil washing non è proponibile in quanto sarebbe applicabile solo a terreni contaminati da soli composti organosolfonici che rappresentano meno del 10 % dei terreni contaminati del sito e le prove pilota, inoltre, non hanno fornito garanzie sufficienti a trasferire il processo su scala industriale.

In questo caso la non applicabilità della tecnologia viene rafforzata dal fatto che i terreni lavati, comunque, non troverebbero collocazione all'interno del sito se non abbancandoli nella Zona A1, a fronte di costi complessivi di alcune decine di milioni di Euro e di una riduzione della contaminazione/tossicità complessiva del tutto trascurabile.

Estrazione con solvente

La tecnologia di estrazione con solvente è una tecnica di bonifica *on site* e viene generalmente utilizzata per la rimozione di contaminanti recalcitranti. (9)

La differenza dal trattamento di soil washing consiste nel tipo di agente di estrazione, un solvente organico.

Una prima fase di trattamento del terreno consiste in operazioni di vagliatura e di addizione di solvente, seguita dalla fase di estrazione caratterizzata da un'intensa miscelazione tra solvente e terreno.

Il flusso della miscela solvente-estratto viene avviata ad una fase di separazione dei contaminanti organici dal solvente, applicando un processo di distillazione selettiva che consente il recupero del solvente con rese superiori al 90%.

Il terreno in uscita dalla fase di estrazione viene avviato al post-trattamento, consistente in una fase di essiccazione a basse temperature (60°÷90°) per eliminare tramite volatilizzazione il solvente adsorbito nella matrice suolo.

Tale tecnica viene utilizzata con successo nel trattamento di terreni contaminati da PCB e da composti organici recalcitranti ad elevato PM.

Nel caso di presenza di composti inorganici, tra i quali i metalli pesanti, i processi di estrazione con solvente non sono efficaci.

L'efficienza può essere ridotta dalla presenza di elevate concentrazioni di complessi metallo-organici, composti organici ad elevato PM (es. paraffine), e dipende notevolmente dalla corretta scelta del solvente.

L'utilizzo di tale tecnica presenta lo svantaggio dell'utilizzo di un solvente che nella maggior parte dei casi è costituito da un composto infiammabile e richiede l'adozione di particolari misure di sicurezza nella gestione del processo e rilevanti costi fissi e di esercizio. (7)

Alcuni dei fattori di maggiore criticità per l'adozione di questa tecnologia sono:

- gestione del ciclo del solvente;
- influenza dell'eterogeneità e del grado di umidità del terreno;
- difficoltà riscontrabili nella rimozione del solvente residuo dai terreni e sua permanenza nel suolo anche dopo le fasi di post-trattamento;
- alta specificità del solvente per classi di contaminanti;
- costi considerevoli, associati al solvente;
- inefficacia sui metalli.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 97 di 112	Rev.			
	0			

Dati sperimentali reperiti su applicazioni di tale tecnica evidenziano l'impiego di rapporti terreno/solvente da 1:0,5 fino a 1:1. Risulta quindi evidente l'ingente quantitativo di solvente che è necessario utilizzare per una estrazione.

I costi di questa tecnologia sono dell'ordine di 150÷250 Euro/ton, al netto dei costi di movimentazione dei terreni.

Applicabilità al sito in esame

Quanto esposto evidenzia che l'eventuale applicazione di tale tecnologia al sito in esame presenta notevoli criticità, qui di seguito elencate:

- difficoltà nel mettere a punto l'alimentazione di ingresso dei terreni da trattare per l'eterogeneità del terreno e della contaminazione presente;
- un rilevante impatto ambientale dovuto ai notevoli quantitativi di solvente da impiegare, dato il rapporto terreno/solvente da applicare per ottenere adeguata efficacia nell'estrazione;
- difficoltà ed incertezze nella separazione del solvente dal suolo;
- rischi maggiori per la sicurezza dei lavoratori e per l'igiene ambientale per l'impiego del solvente;
- inefficacia nei confronti dei metalli pesanti;
- costi considerevoli.

Si ritiene tale tecnologia non applicabile al sito.

Inertizzazione

L'inertizzazione ha come obiettivo l'insolubilizzazione dei metalli e l'adsorbimento dei composti organici in matrici più solide.

Il trattamento di inertizzazione consiste nella miscelazione e omogeneizzazione del terreno con additivi inertizzanti, di solito di due classi tipologiche: la prima contempla gli additivi per la stabilizzazione chimica dei contaminanti ovvero la loro trasformazione in forme meno mobili e più inerti, la seconda per la solidificazione chimico-fisica dell'intera matrice suolo-inertizzanti ovvero, il passaggio dei contaminanti a stati più compatti della matrice solida.

Dopo la fase di miscelazione, la pasta suolo-inertizzanti viene posta a maturazione per una durata variabile in funzione della composizione della miscela. Infine, si provvede alla messa in dimora presso apposita area confinata, qualora ne fosse inibito il riutilizzo.

Gli additivi possono essere sia di natura inorganica (cemento, calce, argilla) che organica (sostanze termoplastiche, polimeri organici). Tuttavia, la maggioranza delle applicazioni di inertizzazione sono basate su processi a base cementizia. Le tipologie proponibili sono sia di tipo *on site/off site* che *in situ*, quest'ultime sono raramente applicate per le difficoltà tecnico-operative di additivare e omogeneizzare *in situ* i composti inertizzanti.

Nell'utilizzo di tale tecnica talora è necessario pretrattare il terreno per ridurre l'interferenza causata dalla presenza di sostanza organica e monitorare il

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 98 di 112	Rev.			
	0			

comportamento a medio-lungo termine del materiale inertizzato (7).

Vengono di seguito riassunti alcuni aspetti salienti della tecnologia:

- il trattamento non comporta la rimozione della contaminazione, ma riduce la mobilità dei contaminanti inorganici (metalli) e subordinatamente di alcuni composti organici;
- l'aggiunta di sostanze consolidanti nell'impasto, permette il consolidamento del materiale dopo un opportuno e determinato periodo di maturazione, dando origine a materiali con maggiore grado di solidità;
- l'utilizzo di materiali assorbenti (bentonite o silicati di sodio) migliora l'incapsulamento dei contaminanti (va comunque valutato in termini di costi);
- si ha un incremento ponderale del rifiuto finale.

Il costo del trattamento di inertizzazione varia tra i 20 e i 60 Euro/ton, escludendo i costi di escavazione e movimentazione dei terreni presso l'area trattamento e i costi di eventuali sistemi di abbattimento emissioni gassose, nonché l'eventuale costo di stoccaggio.

Applicabilità al sito in esame

Le prove di inertizzazione effettuate sui materiali provenienti da Pianrocchetta hanno evidenziato le seguenti criticità:

- una riduzione dei metalli pesanti nell'eluato dei test di cessione sui rifiuti inertizzati;
- una semplice diluizione degli inquinanti organici presenti;
- la disgregazione dei materiali contaminati per ottenere un impasto di buona omogeneità è risultata difficoltosa;
- il processo comporta un aumento volumetrico del rifiuto del 30%;
- il trattamento dei campioni con un certo contenuto di umidità risulta notevolmente oneroso;
- il materiale inertizzato deve essere comunque smaltito.

Date le caratteristiche dei terreni da trattare, le concentrazioni e le caratteristiche della contaminazione, per quanto sopra detto, l'applicazione di tale tecnologia al sito viene esclusa.

Ossidazione chimica

Questo trattamento interessa la componente organica del terreno e la sua contaminazione, che viene ossidata da un opportuno agente in composti elementari non tossici quali H₂O, CO₂ ed O₂.

L'ossidante può essere iniettato nel terreno (*in situ*) oppure mescolato a questo in apposito miscelatore (*on site*). La prima ipotesi richiede una particolare uniformità del sottosuolo.

Gli ossidanti che possono essere utilizzati sono l'ozono, il permanganato di potassio, il biossido di cloro, l'ipoclorito, l'acqua ossigenata e il reattivo di Fenton. Il processo di ossidazione non è selettivo e conseguentemente reagiscono, nel caso

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Fg. 99 di 112	Rev.		
	0		

di applicazione ai terreni, anche i diversi composti organici naturali (humus, enzimi, sali inorganici).

Inoltre, si rende necessario controllare i valori di pH nel suolo che, a secondo dell'agente ossidante impiegato, devono essere mantenuti entro determinati range per permettere l'innesco delle reazioni ossidative.

L'ossidazione chimica *in situ* comporta difficoltà applicative, a causa delle seguenti criticità:

- raggi di influenza ridotti,
- elevata variabilità del raggio di influenza dell'ossidante dal punto di iniezione,
- possibile formazione di sottoprodotti di reazione più tossici dei contaminanti originari,

che ne sconsigliano l'adozione.

Per un eventuale trattamento dei terreni *on site* tramite utilizzo di adeguato impianto di miscelazione, si riassumono di seguito alcune delle caratteristiche salienti:

- si hanno elevate rese di reazione in tempi brevi;
- si ha un costo dell'ossidante che aumenta con l'aumentare della frazione organica;
- i metalli non sono trattabili.

Il costo di un trattamento *on site* è di 100÷300 Euro/ton, al netto dei costi di escavazione e movimentazione dei terreni.

Applicabilità al sito in esame

L'efficacia di tale tecnologia di bonifica dipende principalmente dalla capacità ossidativa del reattivo chimico aggiunto, la cui natura non selettiva comporta una sua azione verso qualsiasi composto organico ossidabile, ciò significa che maggiore è la presenza di carbonio organico naturale, maggiore è il consumo di agente ossidante e minore può risultare l'abbattimento nei confronti dei contaminanti organici presenti.

Nel caso sito specifico in funzione di un eventuale trattamento *on site*, riportiamo nella seguente tabella 8.3.d alcuni dati riepilogativi delle concentrazioni di carbonio organico nei suoli naturali di alcune delle zone del sito, suddividendo i valori ottenuti in funzione della tipologia dello strato di appartenenza:

Tabella 8.3.d

Zone del sito	Tipologia stratigrafica	Concentrazioni medie di carbonio organico (%)	Concentrazioni massime di carbonio organico (%)
Zona A2	Alluvioni	0.4	20
Zona A2	Riperti	1	4.3
Zona A3	Alluvioni	0.4	1.1
Zona A3	Riperti	0.85	3.7
		0.67 (medio)	

Le concentrazioni di carbonio organico danno una indicazione sugli eventuali

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 100 di 112	Rev.			
	0			

quantitativi di prodotto ossidante da additivare. I valori sopra riportati confermano la necessità di dover aggiungere un significativo quantitativo di agente ossidante per poter raggiungere un soddisfacente abbattimento dei contaminanti. Quanto detto comporta l'incremento dei costi dovuti all'acquisto dei chemicals, che rappresentano la voce principale nel costo totale dell'intervento.

Per quanto sopra detto l'applicazione al sito di questa tecnologia viene esclusa.

8.4 Conclusioni

Lo screening tecnologico precedentemente rappresentato consente di sintetizzare le seguenti conclusioni:

Trattabilità dei rifiuti

L'intervento di messa in sicurezza di emergenza, attualmente in via di attuazione consente di bonificare il sito dai rifiuti a maggior criticità ambientale in esso presenti (300 000 m³ di reflui salini stoccati in bacini).

Ciò premesso non sono state individuate tecnologie applicabili tecnicamente e/o a costi sostenibili per la riduzione della tossicità dei restanti rifiuti presenti nelle diverse aree del sito

Trattabilità dei terreni contaminati

La eterogeneità della contaminazione presente nel sito fa emergere l'evidenza dell'inefficacia della singola tecnologia esaminata a perseguire gli obiettivi di bonifica attesi.

Solo l'applicazione in serie o parallelo di sistemi combinati di trattamento potrebbe forse consentire il raggiungimento di risultati di un certo interesse.

Una tale ipotesi di lavoro, che richiederebbe comunque un lungo ed importante studio applicativo, a fronte di notevoli difficoltà operative di cantierizzazione, di impatti certi e già identificabili sull'ambiente e sulla sicurezza dell'operazione, presenterebbe inevitabilmente oneri economici assolutamente improponibili.

Anche trattamenti parziali di riduzione della tossicità (per famiglie di contaminanti, ad esempio derivati solfonici) presentano costi rilevanti con notevoli difficoltà operative e problematiche legate alla sicurezza dell'operazione a fronte di una effettiva riduzione di impatto ambientale trascurabile sia in termini assoluti che, a maggior ragione, in relazione al contesto della sistemazione generale del sito.

Pertanto si ritiene che l'applicazione della escavazione selettiva rappresenti l'unica metodologia operativa consolidata che consente di separare, recuperare e riutilizzare un'ingente quantitativo di terreno (oltre il 50 % dei volumi movimentati) necessario per la sistemazione finale dell'area.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 101 di 112	Rev.			
	0			

8.5 Bibliografia

- (1) E. de Fraja Frangipane, F. Tatano – Siti contaminati
- (2) National Research Council – *In Situ* Bioremediation
- (3) R.J. Ayen, S.L. Hoeffner, J.D. Navratil – Siti contaminati
- (4) William L. Troxler – Thermal Desorption
- (5) A. Nardella – La bonifica biologica di siti inquinati da idrocarburi
- (6) Schede di sicurezza Carlo Erba + Schede tossicologiche_EPA
- (7) G Andreottola – Siti Contaminati
- (8) SRS – Soil Washing Technology Evaluation
- (9) A. Nardella – La bonifica biologica di siti inquinati da idrocarburi
- (10) Jay Dablow – Dynamic Underground Stripping and hydrous pyrolysis/oxidation for remediation of DNAPLs
- (11) asel, Longoni, Bluestone – Ossidazione Chimica
- (12) PA – Remediation Technologies Screening Matrix. DOD Environmental Technology Transfer Committee, October 1994
- (13) Handbook of Diagnostic Procedures for Petroleum-Contaminated Sites edited by p. Lecomte and C. Mariotti
- (14) Sims and Sims (1991b)
- (15) American Society for Testing and Materials (ASTM, 1995). Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites. E 1739-95 (RBCA)
- (16) wman et al., (1993)
- (17) Standard guide for remediation of groundwater by natural attenuation. ASTM E 1943-98, Conshohocken, Pennsylvania (1998).
- (18) Rittmann, B.E. et al. (2000). Natural Attenuation for Groundwater Remediation – National Academy Press, Washington DC.
- (19) ENSR per U.S. Army Corps of Engineers (1995), Soil Vapor Extraction and bioventing – Engineer Manual, EM 1110-4001
- (20) ENSR per U.S. Army Corps of Engineers (1997), *In situ* Air Sparging – Engineer Manual, EM 1110-4005

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 102 di 112	Rev.			
	0			

- (21) GWRTAC (1997) In situ remediation Status Technology Report: In Situ Flushing, TS-97-01, Groundwater Remediation Technology Analysis Center.-
- (22) USEPA (1991 A) "In situ steam extraction treatment", EPA PB91-228064
- (23) USEPA (1991 D) "In situ soil vapor extraction treatment", EPA/540/2-91/006
- (24) J.I.A. Koene, H.J. van Veen - Trattamenti fisico-chimici di suoli contaminati – Siti contaminati – Tecniche ottimali di risanamento, 1995
- (25) Leahy, J.G. and R.R. Colwell (1990) Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. Microbiol. Rev., 54: 305-315
- (26) Smith, M.R.(1990) The biodegradation of aromatic hydrocarbons by bacteria. Biodegradation, 1:191-206
- (27) Hyman M. and Bagaasen L. – "Select a site cleanup technology" Chemical Engineering Progress, 93(8), 1997
- (28) EPA (1998) "Field application of in-situ remediation technologies: chemical oxidation", Report 542-R-98-008

CONTRATTO DI3419/00/FG/I	
REL. 02	
Fg. 103 di 112	Rev.
	0

9 ANALISI DI RISCHIO

Vengono di seguito riassunte le conclusioni dell'Analisi di Rischio sito specifica per utenti finali post-bonifica eseguita per la Zona A2.

Si rimanda alla Rel. 03 per i principi e i dettagli di calcolo

La procedura di Analisi di Rischio adottata e le scelte eseguite per la sua applicazione hanno sempre seguito il principio della massima conservatività del sistema, ovvero della priorità di scelte a favore della salute e dell'ambiente in rapporto a quelle "industriali".

E' stato adottato un modello di calcolo italiano, il ROME sviluppato dall'ANPA, in modo da poter eventualmente avere una ampia possibilità di confronto in merito alla procedura ed ai risultati.

I rischi derivanti da inalazione di vapori outdoor sono stati esclusi infatti è stata eseguita una simulazione considerando lo stato del sito a valle degli interventi di bonifica (asportazione dei terreni insaturi contaminati e demolizione di una porzione di fabbricati) e tenendo conto che l'area non coperta da edifici sia già bonificata e pavimentata laddove necessario.

Nello scenario d'esposizione è stato pertanto calcolato il rischio per la salute umana, per bersagli operanti in stabili all'interno dell'area oggetto d'indagine, derivante da esposizione per:

- ✓ inalazione di vapori che possono infiltrarsi attraverso le piccole fessure delle infrastrutture.

La simulazione permette di evidenziare i seguenti risultati, validi per la situazione a valle degli interventi di bonifica:

- 1) Non saranno presenti rischi (R) apprezzabili dovuti alle sostanze cancerogene presenti, per lavoratori operanti direttamente sul sito relativamente a tutte le vie di esposizione esaminate.
- 2) Saranno presenti rischi potenziali (HI) dovuti ad effetti non cancerogeni in corrispondenza alla seguente specie chimica:
 - ✓ Mercurio, per inalazione di vapori indoor provenienti da suolo superficiale e profondo.

Il superamento del limite accettabile ($HI = 1$) è minimo nel primo caso, essendo 1,08, mentre è apprezzabile nel secondo (2,87). Tale scenario, estremamente conservativo, deriva soprattutto dal fatto che è stato lasciato il valore di fratturazione delle fondazioni/solette degli edifici pari al 1% del totale (valore di default del modello).

Da quanto elaborato emerge una situazione di potenziale rischio indoor molto limitata in merito alle sostanze presenti nel sito, in quanto tra le oltre 140 sostanze riscontrate ben 28 di esse sono state individuate come indicatori da utilizzare nell'Analisi di Rischio (assegnando a quelle identificate come rappresentative di un gruppo il valore somma di tutte le sostanze appartenenti al medesimo) e solo 1 di

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 104 di 112	Rev.			
	0			

esse (Mercurio) può determinare un rischio potenziale e limitato alla sola inalazione di vapori/polveri.

La conservatività scelta nel calcolo del rischio relativa alla frazione di fratturazione delle solette di fondazione, che come descritto costituisce l'elemento principale di criticità, guida automaticamente anche le possibili azioni di intervento mirate ad annullare il rischio definito, seppur potenziale. Infatti possono:

- essere svolte indagini mirate a definire attraverso misure e verifiche dirette il reale grado di fratturazione presente, oppure;
- essere adottate misure di sicurezza come la ripavimentazione o l'impermeabilizzazione delle solette degli edifici non demoliti.

Così facendo si può ridurre il livello di fratturazione potenziale ad un fisiologico 0,2 – 0,3%, con il quale – ripetendo la simulazione e senza variare nessun altro parametro, il rischio (o meglio l'HI) risulta sempre inferiore ad 1 e quindi accettabile.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 105 di 112	Rev.			
	0			

10 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Gli interventi proposti per il sito BORMIA di Cengio tengono conto di:

- dell'Accordo di Programma del Dicembre 2000;
- del quadro quali-quantitativo emerso dal Piano di Caratterizzazione;
- dell'uso attuale e futuro del sito e delle sue diverse zone;
- le risultanze della rassegna tecnologica;
- del contesto sito specifico

Nel seguito si espone una rassegna sintetica degli interventi proposti; per i dettagli si rimanda alle relazioni specifiche in allegato.

10.0 Interventi di bonifica adottati

Zona A1

La bonifica in questa area consisterà nello svuotamento dei bacini (300 000 m³), il trattamento dei reflui salini ivi contenuti e lo smaltimento successivo in discariche esterne, inquadrato come intervento di messa in sicurezza d'emergenza.

Zona A2

La bonifica dei terreni in zona insatura avverrà per asportazione degli hot spot attraverso moduli iniziali di 5mx5m, nell'intorno del sondaggio risultato contaminato, e successivo controllo del fondo e delle pareti dello scavo.

I terreni contaminati verranno abbancati in Zona A1.

I terreni presenti in zona satura e le acque sotterranee sono bonificati con misure di sicurezza.

Gli interventi sono corredati da Analisi di Rischio.

Zona A3

Si prevede la bonifica mediante asportazione dei rifiuti e dei terreni contaminati.

L'escavazione dei terreni avverrà in maniera selettiva recuperando le sezioni di terreno non contaminato.

I rifiuti e i terreni contaminati verranno abbancati in Zona A1

Una volta bonificata e riprofilata per consentire il naturale deflusso delle acque superficiali verso il fiume Bormida, venendo a mancare i presupposti della presenza delle vecchie opere di presidio in area golenale per la presenza del nuovo sistema di contenimento lungo il perimetro dello stabilimento, si prevede di abbandonare tali opere.

Prima di tale intervento si procederà alla verifica del raggiungimento dell'obiettivo della bonifica tramite il controllo della qualità delle acque sotterranee.

Zona A4

Si prevede la bonifica mediante asportazione della totalità dei rifiuti presenti e loro abbancamento in Zona A1.

Dato lo stato fatiscente degli edifici presenti ormai dismessi da decenni si ritiene opportuno procedere alla loro demolizione.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 106 di 112	Rev.			
	0			

10.1 Descrizione delle tecnologie di messa in sicurezza adottate

La procedura adottata nella definizione progettuale degli interventi individuati come percorribili è quella di intervenire operando secondo una serie di priorità e di consequenzialità legate alle situazioni locali e alle relazioni esistenti tra i singoli interventi da effettuarsi.

In particolare, relativamente agli interventi di messa in sicurezza, si distinguono:

- interventi di messa in sicurezza di emergenza;
- interventi di messa in sicurezza permanente.

Di fatto, tale distinzione, in accordo a quanto indicato nella Normativa Vigente, si basa sulla priorità di esecuzione di alcuni interventi per il conseguimento di alcuni degli obiettivi descritti al §. 6 e così sintetizzabili:

- rimuovere le fonti inquinanti;
- evitare la diffusione dei contaminanti dal sito verso aree non inquinate.

A tal fine gli interventi di messa in sicurezza di emergenza consistono in:

- a) smaltimento dei reflui salini contenuti nei bacini situati nella Zona A1;
- b) adeguamento tecnologico delle opere di contenimento del percolato;
- c) costruzione di opere di protezione arginale dal rischio idraulico e di contenimento e drenaggio del percolato;
- d) asportazione e deposito in area Basso Piave (Zona A1) dei rifiuti (collinette), attualmente posti esternamente all'area di stabilimento in area golenale (Zona A3).

Per quanto riguarda eventuali interventi di limitazione delle ingressioni delle acque da monte, individuati a suo tempo come interventi di messa in sicurezza di emergenza questi consisteranno in interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere di captazione delle acque meteoriche esistenti e disposte lungo il lato dello stabilimento a monte adiacente alla linea ferroviaria TO-SV. Questo al fine di intercettare e convogliare le acque di ruscellamento al fiume Bormida, che altrimenti si infiltrerebbero nella zona A2 dell'area di stabilimento. In relazione ai risultati del modello idrogeologico del sito (§ 5.4) non risulta necessaria la realizzazione del previsto diaframma drenante a monte della Zona A2, lungo il ponte "Donegani", mentre si prevede un intervento di manutenzione straordinaria sul canale di adduzione dell'acqua industriale.

In Figura 10.a è riportato il "layout" degli interventi di messa in sicurezza di emergenza nell'area dello stabilimento.

Di queste attività alcune risultano già avviate ed in particolare la bonifica dei reflui salini contenuti nei bacini della Zona A1. (§ par 11 – Fig. 11.a).

Per quanto riguarda le nuove opere di protezione arginale dal rischio idraulico e di contenimento e drenaggio del percolato, queste sono in fase di progettazione esecutiva; esse consisteranno in uno sbarramento ubicato in corrispondenza di tutto il confine di stabilimento prospiciente il fiume Bormida.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I	
REL. 02	
Fg. 107 di 112	Rev.
	0

Si evidenzia che un sistema di contenimento del percolato, ubicato in area golenale lungo il perimetro dello stabilimento, è già esistente e su di esso sono in fase di esecuzione interventi di miglioramento tecnologico.

Il nuovo sistema di contenimento in progetto risulta arretrato rispetto a quello esistente per liberare le aree golenali dai presidi e consiste in un diaframma impermeabile che, immerso nella formazione marnosa di base, costituisce una barriera impermeabile per il flusso sotterraneo di acque contaminate verso il fiume. A tergo del diaframma è posto un sistema di captazione ed emungimento delle acque provenienti dallo stabilimento per impedire la propagazione di sostanze inquinanti verso l'ambiente esterno.

Tale sistema di captazione che andrà a sostituire quello attualmente in esercizio in alveo fluviale sarà attivo fino al completamento della messa in sicurezza permanente della Zona A1 e per il periodo successivo necessario al completo drenaggio della Zona.

Per maggiori dettagli sulle caratteristiche dell'opera si rimanda alla Rel. 06 del presente Progetto Preliminare.

Si sottolinea che tale opera, che è inserita nell'ambito di un intervento di messa in sicurezza di emergenza, stante la metodologia di dimensionamento adottata in fase progettuale, è parte integrante dell'intervento di confinamento di tutta la Zona A1 che rappresenta, appunto, un intervento di messa in sicurezza permanente.

Le opere arginali destinate alla mitigazione del rischio idraulico per esondazione, e dimensionate per il contenimento di livelli di piena connessi a portate di 1750 m³/s, consisteranno in:

- o realizzazione di un nuovo muro di cinta, posto lungo il confine dello stabilimento prospiciente il fiume Bormida, nei tratti in cui è prevista la realizzazione del sistema di contenimento del percolato sopra descritto e di cui tale muro costituirà il coronamento fuoriterra;
- o innalzamento del muro posto a coronamento del sistema di contenimento già esistente (Zona Parshall) ed in fase di realizzazione in zona B-C per garantire un franco di 1 m rispetto al livello di piena della portata di 1750 m³/sec;
- o realizzazione di un muro di cinta lungo il lato dell'ingresso est dello stabilimento di altezza tale da garantire un franco di 1 m rispetto al livello di piena della portata di 1750 m³/sec.

Tra gli interventi di messa in sicurezza di emergenza, per l'esigenza di eliminare un'ulteriore fonte di inquinamento nel caso di esondazione del fiume Bormida, rientra lo spostamento delle collinette, poste in area golenale, tra il muro di cinta dello stabilimento e l'attuale barriera di contenimento.

Per esigenze operative dovrà essere realizzato prima della costruzione delle opere arginali e di contenimento, dove le collinette si trovano a ridosso delle stesse.

Tali materiali contaminati saranno depositati nell'area Basso Piave appositamente preparata allo scopo e sita internamente nella Zona A1.

Per poter procedere all'esecuzione dei sopracitati interventi di messa in sicurezza di emergenza, ed in particolare, per lo stoccaggio provvisorio di materiali contaminati provenienti dagli scavi, è prevista la realizzazione di un apposito deposito preliminare ("stoccaggio a moduli") ubicato in Zona A1, con una capacità di stoccaggio complessiva di 50 000 m³.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 108 di 112	Rev.			
	0			

Nella “fase” di messa in sicurezza permanente rientrano i seguenti interventi:

- diaframma di separazione tra le Zone A1 e A2;
- deposito definitivo in Zona A1 dei materiali provenienti dalle attività di bonifica;
- impermeabilizzazione superficiale della Zona A1;
- riposizionamento dello scarico in zona A2;
- demolizioni;
- recupero a verde delle aree di intervento.

L'esecuzione del diaframma plastico di separazione tra le zone A1 e A2, rientra nel completamento del sistema di confinamento per la messa in sicurezza permanente della Zona A1, iniziato con l'esecuzione delle opere arginali e di contenimento (messa in sicurezza di emergenza).

Il suo sviluppo planimetrico (vedi Fig. 10.a) sarà tale da dividere fisicamente la Zona A1 dalla Zona A2 raccordandosi alle estremità al sistema di contenimento posto lungo il confine della Zona A1.

Posto a monte della Zona A1, tale diaframma eviterà le ingressioni delle acque sotterranee da monte.

Intervento propedeutico alla separazione fisica delle due zone tramite la realizzazione del diaframma impermeabile sopra descritto, è lo spostamento dello scarico di stabilimento, attualmente ubicato nella Zona A1, in Zona A2 al fine di liberare la Zona A1 da servitù (§ Rel. 10).

Una volta pressoché completata l'attività di svuotamento dei bacini dei sali sodici, saranno portate a termine le attività di bonifica delle zone A3, A4 e A2.

Sarà infatti possibile procedere, previa preparazione delle aree al fine di formare singoli bacini di stoccaggio, al deposito definitivo dei:

- rifiuti e materiali contaminati provenienti dalla bonifica delle aree esterne allo stabilimento (zone A3 e A4);
- terreni provenienti dagli scavi dei lavori delle opere di messa in sicurezza di emergenza e degli “hot spot” derivanti dagli interventi di bonifica;
- materiali di risulta delle demolizioni;

Una volta completato lo stoccaggio, l'intera Zona A1 verrà riprofilata per permettere il deflusso a gravità delle acque meteoriche verso un unico punto dello stabilimento (accesso Basso Piave) e per attribuire profili stabili nel tempo sia dei nuovi depositi che di quelli di rifiuti già presenti (Basso Piave e Montagna “M”).

Tale zona sarà isolata dall'ambiente aereo esterno tramite impermeabilizzazione superficiale. In tal modo insieme alla realizzazione della rete di regimazione delle acque meteoriche e relativo scarico a fiume, piantumazione e recupero finale a verde dell'intera zona, verrà operata la chiusura definitiva della Zona A1.

Il monitoraggio post-operam garantirà nel tempo il controllo dell'efficienza delle misure adottate.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I			
REL. 02			
Fg. 109 di 112	Rev.		
	0		

10.2 Stima dei volumi dei terreni e dei rifiuti oggetto degli interventi

I volumi di terreni e di rifiuti oggetto degli interventi di risanamento ambientale sono indicati nella tabella seguente.

Tabella 10.2.1: Stima dei volumi oggetto dell'intervento

PROVENIENZA	Volumi da MOVIMENTARE		
	Volumi Totali	RIFIUTI	TERRENI CONTAMINATI
	m ³	m ³	m ³
Bonifica bacini sali sodici (ZONA A1)	300.000	300.000	
Bonifica ZONA A2	150.000		150.000
Bonifica ZONA A3 (collinette + aree golenali)	510.000	200.000	310.000
Bonifica ZONA A4 (PIANROCCHETTA)	200.000	200.000	
DEMOLIZIONI	60.000	60.000	
Terreni da scavo opere di contenimento	108.000		108.000
Terreni da scavo nuove opere di contenimento	195.000		195.000
TOTALE VOLUMI DA MOVIMENTARE	1.523.000	760.000	763.000
TOTALE VOLUMI NON MOVIMENTATI (Zona A1)	1.290.000	1.290.000	
TOTALE FINALE	2.813.000	2.050.000	763.000

I volumi di terreno necessari per i rinterri e le riprofilature delle Zone A1, A2, A3 ed A4 sono indicati nella tabella seguente.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 110 di 112	Rev.			
	0			

Tabella 10.2.2: Stima dei volumi dei terreni necessari per i rinterri e le riprofilature

Terreni per rinterri e riprofilatura Zona A3 (terreni con concentrazioni < CLA siti destinati ad <u>uso industriale o commerciale</u>)	210.000	m ³
Terreni per rinterri e riprofilatura Zona A2 (terreni con concentrazioni < CLA siti destinati ad <u>uso industriale o commerciale</u>)	115.000	m ³
Terreni per rinterri e riprofilatura Zone A1, A3 e A4 (terreni con concentrazioni < CLA siti destinati a <u>uso residenziale e verde pubblico</u>)	575.000	m ³

Lo studio sito specifico volto al trattamento dei terreni indica (§ 8) che l'unico processo applicabile consiste nell'escavazione selettiva dei volumi contaminati che consente di ottenere:

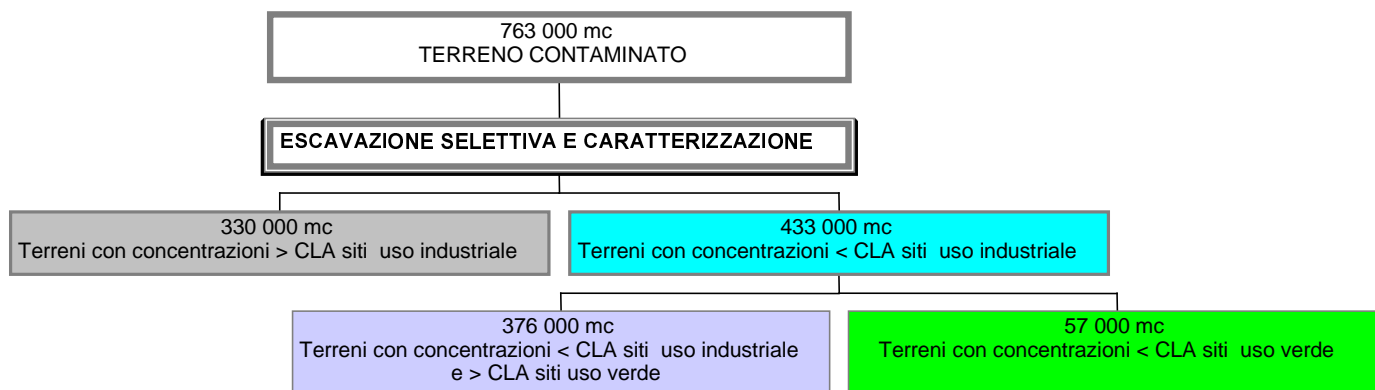
- Terreni con concentrazioni di contaminanti maggiori delle CLA per siti destinati ad uso industriale.
- Terreni con concentrazioni di contaminanti minori delle CLA per siti destinati ad uso industriale ma maggiori delle CLA per siti destinati ad uso residenziale e verde pubblico
- Terreni con concentrazioni di contaminanti minori delle CLA per siti destinati ad uso residenziale e verde pubblico.

Si stima che l'applicazione di tale processo porti al recupero di complessivi 433 000 m³ di terreni riutilizzabili in siti industriali ed in siti ad uso verde pubblico e residenziale, rispettivamente per:

- 57 000 m³ ad uso verde pubblico e residenziale;
- 376 000 m³ ad uso industriale o commerciale.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 111 di 112	Rev.			
	0			

Riassuntivamente, nello schema seguente si riporta quanto sopra descritto



In conclusione allorché la sito specificità impedisca, come già ampiamente trattato, il recupero sostanziale di terreni per uso a verde pubblico privato e residenziale, attraverso la escavazione selettiva sarà possibile recuperare tutte le quantità di terreno necessario per i reinterri nelle zone ad uso industriale.

Di conseguenza tutti gli interventi di bonifica per asportazione saranno eseguiti con escavazione selettiva con successivo deposito definitivo della componente contaminata e delle eventuali eccedenze di terreni entro le CLA per uso industriale o commerciale in Zona A1; questo comporterà l'abbancamento complessivo in tale area di circa 841 000 m³ di materiali contaminati di cui 460 000 m³ costituiti da rifiuti.

CONTRATTO DI3419/00/FG/I				
REL. 02				
Fg. 112 di 112	Rev.			
	0			

11 CRONOGRAMMA DEGLI INTERVENTI

Nel cronogramma degli interventi vengono riportati i tempi di esecuzione distinguendo:

1. gli interventi di messa in sicurezza di emergenza, che comprendono attività già in fase di avvio o realizzazione: *Cronogramma 1* (Fig. 11.a);
2. gli interventi di bonifica e messa in sicurezza previsti nel presente progetto preliminare: *Cronogramma 2* (Fig. 11.b).

Circa la successione degli interventi del *Cronogramma 2* si evidenzia che:

- la realizzazione dello spostamento dello scarico di stabilimento e le demolizioni risultano essere lavori propedeutici agli interventi di messa in sicurezza;
- in Zona A2 le attività di bonifica vengono previste fin dall'approvazione del Progetto Preliminare di Bonifica, in quanto si procederà per stralci in funzione delle opportunità di reindustrializzazione;
- la aree di deposito definitivo in Zona A1 saranno disponibili in funzione della attività di svuotamento dei bacini. I materiali delle collinette potranno essere depositati in area Basso Piave, previa esecuzione delle demolizioni previste in tale area. Di conseguenza si potrà procedere fin da subito alla messa in sicurezza di emergenza della collinette (§ Rel. 08), mentre per la bonifica della Zona A4 (Pian Rocchetta) e delle restanti aree della Zona A3 occorrerà attendere il pressoché completo svuotamento dei bacini.

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/1				
REL. 02/ALL. 1				
Fg. 1 di 1	Rev.			
	0			

Allegato 1

Prove Lavaggio Terreni - BORMIA Spa in liquidazione.

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/1				
REL. 02/ALL. 2				
Fg. 1 di 1	Rev.			
	0			

Allegato 2

Rel. 03 – Analisi di Rischio sito-specifica – Consorzio BASI – Aprile 2001.

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/1				
REL. 02/ALL. 3				
Fg. 1 di 1	Rev.			
	0			

Allegato 3

Rel. 04 – Fattibilità di interventi di bonifica con metodi chimico fisici e biologici –
Pianrocchetta – Consorzio BASI – Luglio 1997.

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/1				
REL. 02/ALL. 4				
Fg. 1 di 26	Rev.			
	0			

Allegato 4

Tabelle: Caratteri tossicologici e di pericolosità dei contaminanti.

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/1				
REL. 02/ALL. 5				
Fg. 1 di 3	Rev.			
	0			

Allegato 5

Stima dei costi degli interventi

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/1				
REL. 02/ALL. 5				
Fg. 2 di 3	Rev.			
	0			

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/1				
REL. 02/ALL. 5				
Fg. 3 di 3	Rev.			
	0			

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/1				
REL. 02/ANN. 1				
				Rev.
				0

Annesso 1

Figure

Consorzio *BASI*

Ambiente Aquater

CONTRATTO DI3419/00/FG/1				
REL. 02/ANN. 2				
	Rev.			
	0			

Annesso 2

Tavole