



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea
Magistrale
in Scienze
Ambientali

Tesi di Laurea

**Progetto di bonifica e messa
in sicurezza permanente
della ex discarica controllata
denominata "Ca' Filissine"**

Relatore

Prof. Paolo Pavan

Laureanda

Paola Canton

Matricola 780343

Anno Accademico

2021 / 2022

Sommario

PREMESSA.....	2
1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
2. CRONISTORIA.....	6
3. VALUTAZIONE DEL SITO.....	9
3.1 Rete di monitoraggio.....	10
3.2 Valutazione dello stato di contaminazione	12
4. STATO DI PROGETTO.....	17
5. FASI DELL'INTERVENTO DI BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE	18
6. GESTIONE BIOGAS.....	23
7. GESTIONE PERCOLATO	23
8. MESSA IN SICUREZZA DEI LOTTI DELLA DISCARICA	27
8.1 Messa in sicurezza settore ovest della discarica (lotti 2-4 parziali).....	27
8.2 Messa in sicurezza settore est della discarica (lotti 5-6-7-8).....	28
8.3 Messa in sicurezza settore centrale della discarica (lotti 2-4 restanti)	29
9. BARRIERA DI AIR SPARGING.....	30
9.1 Inquadramento sulle potenziali tecniche di bonifica applicabili.....	30
9.2 Descrizione dell'intervento di bonifica scelto.....	33
9.3 Operazioni preliminari – impianto pilota.....	35
9.4 Realizzazione della barriera di sparging.....	40
9.5 Monitoraggi e controlli.....	42
10. COPERTURA DEFINITIVA DEL CORPO RIFIUTI.....	45
11. CONSIDERAZIONI FINALI	46
12. BIBLIOGRAFIA	48

PREMESSA

Il presente elaborato di tesi è volto ad esporre ed analizzare, nella sua complessità, un'ipotesi progettuale che è finalizzata ad affrontare un problema di contaminazione di falda, nello specifico si tratta della contaminazione della falda sottostante la discarica controllata denominata "Cà Filissine", sita in Comune di Pescantina (VR).

Tale contaminazione è riconducibile alla fuoriuscita di percolato dal fondo della stessa discarica ed è stata rilevata durante una campagna di monitoraggio eseguita nell'anno 2005.

Negli anni sono state elaborate diverse ipotesi progettuali finalizzate alla gestione o risoluzione della problematica. Nel presente elaborato si andrà ad esporre in sintesi ed a valutare il *Progetto di bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine"*, redatto dallo Studio Georicerche S.r.l. nel settembre 2015, con particolare interesse per la tecnica di airsparging, quale strumento per abbattere i contaminanti rilevati in falda. Si specifica che il succitato progetto, anche se valutato favorevolmente ed autorizzato dalle competenti autorità, non è stato realizzato e, successivamente, è stato oggetto di modifiche, non trattate nel presente elaborato, derivanti da aggiornamenti progettuali richiesti sia dall'Amministrazione Comunale (proprietaria della discarica) sia dalla Regione Veneto in diverse occasioni.

In primis il progetto qui esposto ha previsto una valutazione dello stato di contaminazione presente attraverso l'analisi dei dati di monitoraggio sulla qualità della falda sottostante eseguiti dal 2005 al 2015 (ultimi dati reperibili al momento della stesura del progetto).

Alla luce dei risultati emersi, è stato prodotto un modello concettuale del sito che individua le seguenti criticità:

1. morfologia della discarica poco efficiente, che tende a facilitare l'infiltrazione di acque meteoriche all'interno del corpo rifiuti;
2. accumulo elevato di percolato;
3. presenza di perdita dal fondo della discarica (scarpata est), con sversamento di percolato in falda.

I progettisti sono pervenuti, poi, ad un progetto di bonifica e messa in sicurezza permanente, schematizzato come segue:

1. emungimento del percolato presente nel vecchio corpo rifiuti;
2. raggiungimento di una morfologia tale da permettere lo sgrondo delle acque meteoriche;
3. captazione delle acque meteoriche prima che possano infiltrarsi nel vecchio corpo rifiuti;
4. intervento di *air sparging* sulla falda freatica.

Gli interventi 1-2-3 sono interventi primari di messa in sicurezza e di minimizzazione della fonte inquinante (percolato); l'intervento 4 rappresenta il vero intervento di bonifica.

Nel complesso, la finalità del progetto era quella di abbattere le concentrazioni degli inquinanti a valle idrogeologica del sito nel più breve tempo possibile, minimizzando i possibili disturbi per la popolazione (ad es. presenza di odori sgradevoli) ed i costi dell'intervento.

Nei paragrafi seguenti si riporta un breve sunto relativo alla situazione di contaminazione rilevata al momento della redazione del progetto ed una descrizione schematica dell'intervento di bonifica e messa in sicurezza permanente ipotizzato, con un focus sulla tecnica di airsparging, come già anticipato.

1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La discarica in esame si trova nella parte settentrionale del territorio comunale di Pescantina (VR) in località Cà Filissine, come evidenziato dalla seguente figura.



Figura 1: Inquadramento territoriale della ex discarica Cà Filissine. (Elaborazione con QGIS)



Figura 2: Inquadramento su ortofoto di dettaglio della ex discarica Cà Filissine. (Elaborazione con QGIS)

2. CRONISTORIA

Per meglio inquadrare il contesto in cui è stato sviluppato il progetto di bonifica e messa in sicurezza permanente oggetto della presente tesi, si riporta una breve cronistoria dei vari avvenimenti correlati alla discarica stessa ed alle aree circostanti.

In particolare, si farà riferimento anche ad un fondo agricolo, denominato “Vigneto Ferrari”, adiacente alla stessa discarica in merito alla caratterizzazione dell’area e della situazione di contaminazione presente, in quanto è stato anch’esso oggetto di caratterizzazione ed analisi al fine di meglio comprendere la possibile fonte di contaminazione riscontrata, l’estensione areale della stessa e, di conseguenza, definire un progetto coerente di bonifica e messa in sicurezza.

La Discarica di Ca' Filissine ha smaltito i rifiuti solidi urbani di Verona e di gran parte della Provincia di Verona sin dal 1987 e confina ad est con il succitato fondo denominato ‘Vigneto Ferrari’ destinato, a partire dagli anni 60, prima a cava di ghiaia e poi anch’esso a discarica per rifiuti diversi, tra i quali anche rifiuti pericolosi.

Nel 2005 è stato realizzato un piezometro di controllo, aggiuntivo all’esistente rete di monitoraggio della discarica Cà Filissine, situato al confine con il suddetto ‘Vigneto Ferrari’. Tale piezometro evidenziò uno stato di contaminazione della falda freatica dovuto ad anomale concentrazioni di alcuni parametri chimici, quali ione ammonio, manganese e nichel.

A seguito di ciò, la Procura della Repubblica del Tribunale di Verona dispose una perizia tecnica d'ufficio, la quale individuò nella discarica di Ca' Filissine la sola causa di contaminazione; fu così sottoposta a sequestro giudiziario, con blocco del conferimento e del deposito dei rifiuti.

Negli anni successivi si susseguirono diversi studi e valutazioni per pervenire ad un progetto definitivo di bonifica e messa in sicurezza permanente del sito, in seguito ai quali emerse la necessità di approfondire la caratterizzazione dell’adiacente “Vigneto Ferrari”, studio che iniziò nel luglio 2012 e terminò nel settembre dello stesso anno.

Negli anni furono redatti diversi progetti, mai realizzati.

Un progetto proposto nel 2011, ad esempio, prevedeva un’importante opera di movimentazione dei rifiuti già depositati in discarica per mettere a nudo l’impermeabilizzazione della sponda est, la cui rottura si ritiene essere la causa della contaminazione, e procedere quindi al suo ripristino.

Nel corso del 2013 emersero diverse criticità in relazione a questa ipotesi progettuale, che naturalmente non incontrava il favore della popolazione residente, in quanto mettere a nudo l’impermeabilizzazione di fondo avrebbe comportato l’apertura della discarica e la rimozione dei rifiuti già depositati con conseguenti emissioni maleodoranti, creando un notevole disagio alla popolazione locale. Il Comune, ente proprietario della discarica, decise, dunque, di rivedere la soluzione progettuale proposta alla Regione Veneto, impegnandosi a trovare una diversa e migliore ipotesi progettuale che comportasse meno impatti sulla popolazione.

Alla fine del 2014 il Comune di Pescantina ha incaricato il prof. Andreottola del Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell’Università degli Studi di Trento di fare una revisione critica delle soluzioni progettuali presentate per la bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica di Pescantina e per la proposta di un piano operativo di intervento.

Il prof. Andreottola ha concluso che la contaminazione della falda è da addebitare in maniera preponderante alla discarica, anche se non si può escludere un effetto dovuto alla presenza dei vecchi rifiuti al di sotto del vigneto Ferrari. Tale sorgente di contaminazione è stata valutata nel suddetto studio come secondaria, stante anche la vetustà dei rifiuti al di sotto del vigneto Ferrari, valutando dunque come sorgente primaria di contaminazione proprio la discarica Cà Filissine.

Successivamente, nel mese di marzo del 2015 il prof. Andreottola ha presentato una “road map” per la messa in sicurezza e la bonifica della Discarica di Ca’ Filissine, seguita poi a giugno dello stesso anno dalle “Linee Guida Operative per la definizione del progetto complessivo di messa in sicurezza e bonifica della discarica di Ca’ Filissine”.

Le linee guida prevedono una serie di attività, quali:

1. *“individuazione dell’estensione e delle caratteristiche qualitative del plume di percolato a valle della discarica;*
2. *avviamento degli interventi di ripristino delle impermeabilizzazioni provvisorie di ricostruzione degli argini di abbassamento del livello di percolato nel corpo rifiuti e di aspirazione del biogas;*
3. *realizzazione di una “barriera drenante” sulla porzione spondale ad est della discarica mediante la realizzazione di pozzi inclinati drenanti;*
4. *realizzazione di un intervento di bonifica e messa in sicurezza dell’acquifero contaminato mediante la realizzazione di una fascia reattiva di “air sparging”;*
5. *completamento dell’impermeabilizzazione della sponda del 7° e 8° lotto e regolarizzazione delle pendenze per la regimazione delle acque meteoriche;*
6. *realizzazione di una separazione idraulica attiva tra i lotti 2-4 e 5-6-7-8.;*
7. *creazione di una separazione a bassa permeabilità tra il corpo rifiuti esistente (lotti 2 e 4) e realizzazione di un sistema di drenaggio del volume di percolato pensile con elementi drenanti afferenti ad una trincea drenante posta nella depressione al piede della scarpata di detti lotti;*
8. *coltivazione settori 2-4 con impegno coperture provvisorie;*
9. *creazione di una separazione a bassa permeabilità (materiale argilloso a bassa permeabilità e geocomposito bentonitico laminato in PEAD) tra il corpo rifiuti esistenti (lotti 5-6-7-8) e realizzazione di un sistema di drenaggio del percolato pensile con elementi drenanti afferenti a una trincea drenante posta a circa 2/3 della larghezza dei lotti verso il centro della discarica;*
10. *coltivazione dei settori 5-6-7-8 con impiego coperture provvisorie;*
11. *capping definitivo della discarica di Ca’ Filissine secondo le specifiche del D.Lgs. 36/03”.*

Le suddette linee guida, quindi, non prevedono più la ricerca e la sistemazione dell’impermeabilizzazione di fondo (con annessa movimentazione dei rifiuti, elevati costi e significativi impatti per la popolazione), ma si concentrano sull’impermeabilizzazione dei lotti della discarica, sull’emungimento del percolato presente e sul mettere in atto un trattamento in situ della falda che consenta l’abbattimento della maggior parte dei contaminanti rilevati.

Nel 2015 la società Georicerche S.r.l., in collaborazione con l'Università di Trento e con la società di Ingegneria Iser (spin-off della stessa università), ha elaborato la proposta progettuale oggetto della presente tesi, sulla base delle evidenze fornite dai vari studi svolti nel tempo ed in accordo con le suddette linee guida.

3.1 Rete di monitoraggio

La discarica è dotata di una rete piezometrica di monitoraggio composta da 39 piezometri, 3 a monte ed i restanti a valle, così distinti:

- 18 piezometri realizzati tra il 1997 ed il 2009,
- 6 piezometri realizzati nel 2011,
- 15 piezometri realizzati nel 2012.

Tabella 1: Elenco dei piezometri di monitoraggio (Fonte: Georicerche S.r.l., 2015. Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine". Variante sostanziale - Aggiornamento n.1 - Rev. 01. SIA-Quadro di riferimento ambientale. Caratterizzazione)

Nomenclatura	Profondità (m)	Quota b.p. (m s.l.m.)	Data esecuzione	Tipologia di piezometro
M1	76,00	114,55	29/08/98	Profondo
M2	76,50	117,65	10/10/98	Profondo
M3	72,00	115,77	24/07/98	Profondo
M4	74,00	111,50	25/07/98	Profondo
M5	78,00	112,10	03/07/97	Profondo
M6	76,50	110,97	01/08/97	Profondo
M7	77,00	111,41	01/12/05	Profondo
M8	77,00	111,93	23/03/98	Profondo
M9	76,30	110,45	21/01/98	Profondo
M10	75,70	109,32	12/02/98	Profondo
M11	71,00	111,38	20/09/07	Profondo
M12	80,00	111,40	18/09/07	Profondo
M13	69,80	111,23	16/09/07	Profondo
M14	74,00	110,57	10/03/09	Profondo
M15	76,00	110,74	03/03/09	Profondo
M16	77,30	109,58	20/09/09	Profondo
M17	71,20	110,97	17/03/09	Profondo
M18	18,00	110,18	26/02/09	Superficiale
M19	20,00	110,83	26/05/11	Superficiale
M20	19,50	110,00	19/05/11	Superficiale
M21	18,00	109,57	31/05/11	Superficiale
M22	19,50	109,88	17/05/11	Superficiale
M23	78,50	109,40	28/05/11	Doppia canna (sia profondo che superficiale)
M24	76,20	108,81	06/06/11	Doppia canna (sia profondo che superficiale)
SC01	21,0	109,81	20/07/12	Superficiale
SC02	21,0	109,62	23/07/12	Superficiale
SC03	21,0	110,00	24/07/12	Superficiale
SC04	21,0	109,70	25/07/12	Superficiale
SC05	18,0	109,27	27/07/12	Superficiale
SC06	18,3	110,15	26/07/12	Superficiale
SC07	21,0	109,20	31/07/12	Superficiale
SC08	18,0	109,00	02/08/12	Superficiale
SC09	21,0	109,22	02/08/12	Superficiale
M18bis	18,0	109,93	25/07/12	Superficiale
MA06	72,0	111,11	22/08/12	Profondo
MA07	73,5	110,89	20/08/12	Profondo

MA08	71,3	110,11	27/08/12	Profondo
MA10	79,0	110,31	25/07/12	Profondo
MA11	79,0	109,36	08/08/12	Profondo

Nella seguente immagine è riportata l'ubicazione dei diversi piezometri. Come si può notare, una parte è ubicata sul confinante terreno denominato "Vigneto Ferrari", sito ad est rispetto alla discarica, di cui si è già accennato al § 2, e sono stati realizzati in occasione della caratterizzazione dell'area adiacente alla discarica al fine di meglio comprendere e valutare cause e diffusione della contaminazione in corso.

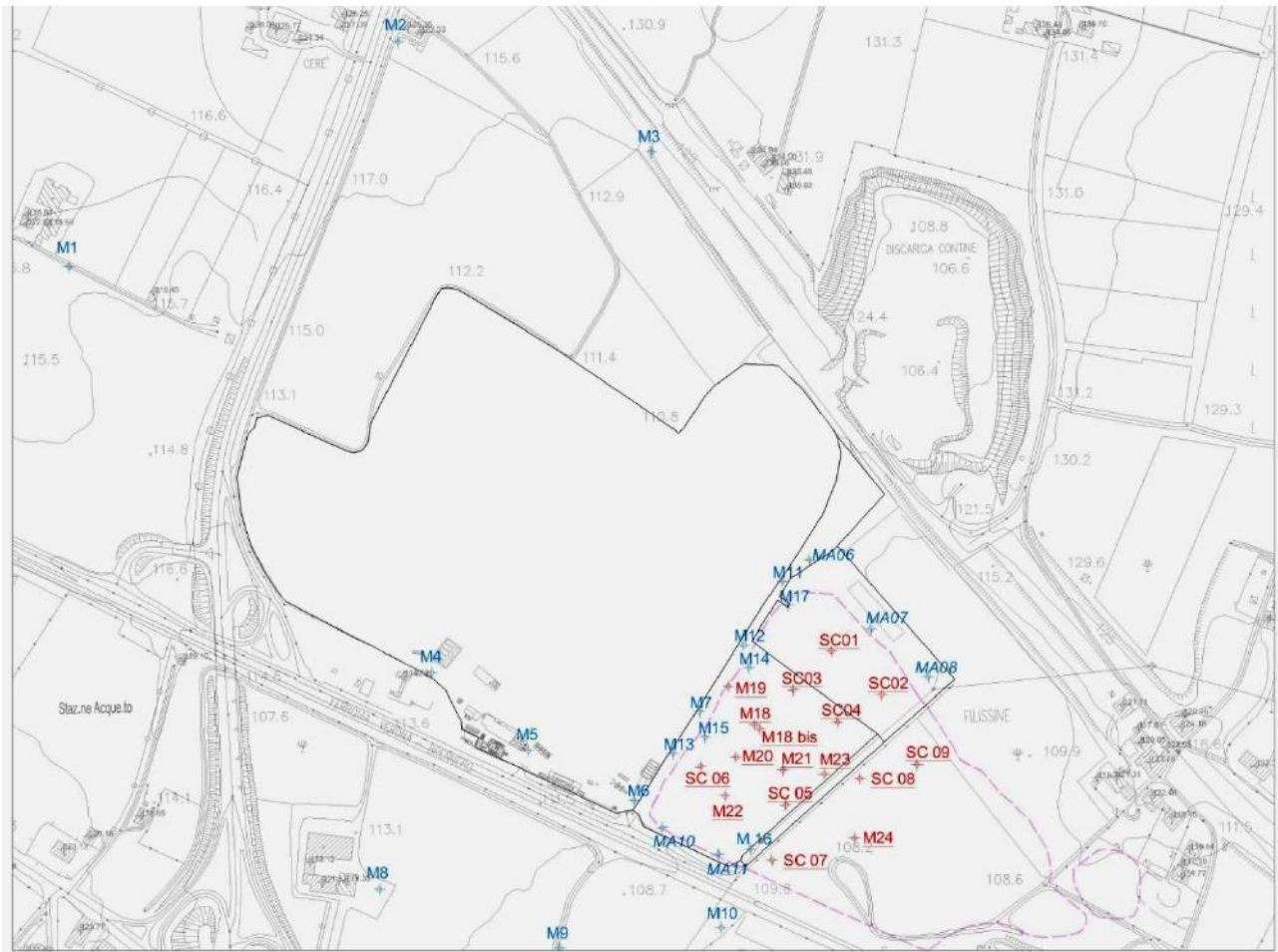


Figura 4: Ubicazione dei piezometri. Piezometri profondi (in blu) e superficiali (in rosso). M23 e M24 sono piezometri doppi (sia profondi che superficiali). (Fonte SIA 2013 redatto da Studio Dell'Acqua e Associati)

3.2 Valutazione dello stato di contaminazione

I monitoraggi svolti negli anni hanno evidenziato la presenza di un pennacchio di contaminazione che si propaga in direzione nord-sud e riscontrato nei terreni confinanti la discarica.

L'acqua di falda risulta contaminata da numerosi composti, fra i quali si evidenziano i metalli (in primo luogo manganese, arsenico, nichel e ferro) ed i solventi clorurati (tetracloroetilene), per i quali risultano esserci frequenti superamenti dei valori di riferimento della Tab. 2 Allegato 5, Parte IV del D. Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii..

Anche alcuni analiti non riportati nella succitata Tab. 2, ma riferibili ai limiti imposti dal D. Lgs. 31/2001 sulle acque potabili, vengono superati in falda, quali ad esempio ione ammonio, nitrati e la sostanza ossidabile (espressa in Kubel).

È stato creato un database riferito ai monitoraggi della discarica per il periodo 2010-2015 (data di redazione dell'ipotesi progettuale in esame) da cui è emersa la presenza di superi anche nei piezometri a monte in particolare di nitrati, dato che evidenzia una pesante compromissione dell'acquifero ad opera delle attività agricole.

Tabella 2: CSC per la falda e concentrazioni massime rilevate a valle della discarica. (Fonte: "Relazione illustrativa della proposta progettuale". Progetto definitivo. Georicerche S.r.l., 2015). Il numero di cifre decimali presente nei valori di concentrazione deriva dal metodo analitico di prova utilizzato dal laboratorio di analisi.

<u>Contaminante</u>	<u>Udm</u>	<u>CSC Tab. 2</u>	<u>Limiti D. Lgs. 31/01</u>	<u>Conc. max</u>	<u>N° superi</u>
Azoto ammoniacale	mg/l	-	0,5	97	77
Manganese	µg/l	50	-	784	68
Ossidabilità Kubel(O ₂)	mg/l	-	5	41,1	30
Arsenico	µg/l	10	-	60	24
Nichel	µg/l	20	-	41,6	14
Tetracloroetilene	µg/l	1,1	-	8,48	14
Azoto nitrico	mg/l	-	50	64	11
Ferro	µg/l	200	-	7.892	10
Cianuri liberi	µg/l	50	-	67	9
Azoto nitroso	µg/l	500	-	1.497	4
Mercurio	µg/l	1	-	186	4
Benzo (a) pirene	µg/l	0,01	-	0,02	2
Clorometano	µg/l	1,5	-	20	1
Cloruro di vinile	µg/l	0,5	-	2	1
Fenoli e clorofenoli	µg/l	0,5	-	110	1

Tabella 3: CSC per la falda e concentrazioni massime rilevate a monte della discarica. (Fonte: “Relazione illustrativa della proposta progettuale”. Progetto definitivo. Georicerche S.r.l., 2015) Il numero di cifre decimali presente nei valori di concentrazione deriva dal metodo analitico di prova utilizzato dal laboratorio di analisi.

<u>Contaminante</u>	<u>Udm</u>	<u>CSC Tab. 2</u>	<u>Limiti D. Lgs. 31/01</u>	<u>Conc. max</u>	<u>N° superi</u>
Azoto ammoniacale	mg/l	-	0,5	0,12	0
Manganese	µg/l	50	-	143	1
Ossidabilità Kubel(O ₂)	mg/l	-	5	8,1	1
Arsenico	µg/l	10	-	3	0
Nichel	µg/l	20	-	3,64	0
Tetracloroetilene	µg/l	1,1	-	3,4	3
Azoto nitrico	mg/l	-	50	59,9	12
Ferro	µg/l	200	-	10	0
Cianuri liberi	µg/l	50	-	68	3
Azoto nitroso	µg/l	500	-	0	0
Mercurio	µg/l	1	-	0	0
Benzo (a) pirene	µg/l	0,01	-	0,12	1
Clorometano	µg/l	1,5	-	0	0
Cloruro di vinile	µg/l	0,5	-	5	2
Fenoli e clorofenoli	µg/l	0,5	-	0	0

Sono stati rinvenuti anche superi sporadici di tetracloroetilene, cianuri, cloruro di vinile, benzo (a) pirene e manganese, ma vi sono discrepanze tra i dati dei laboratori coinvolti, in quanto a volte i superi sono stati rilevati dal laboratorio ARPA ed a volte dal laboratorio di parte del gestore la discarica. Analizzando i dati della serie storica, è stato valutato come tali superi sporadici possano esser dovuti ad errori analitici o contaminazioni dei contenitori.

Per quanto riguarda i superi registrati a valle, i parametri riscontrati e direttamente associati al percolato o alle condizioni di anossia da questo generate in falda sono:

- *lone ammonio, nitriti e sostanza organica* nel primo caso;
- *ferro, manganese ed arsenico* nel secondo.

Oltre a tali parametri, non considerando i possibili errori analitici o i superi occasionali, gli altri parametri degni di nota sono il *nichel*, connesso probabilmente allo sversamento del percolato, ed il *tetracloroetilene*.

Nel caso specifico dei nitrati, si evidenzia come i valori registrati mostrino un decremento dei valori da monte verso valle, dovuto probabilmente a meccanismi di denitrificazione condotti ad opera della biomassa autoctona favorita dalla presenza di substrato organico apportato dal percolato.

In tabella seguente sono riportati esclusivamente i valori ritenuti significativi.

Tabella 4: CSC per la falda e concentrazioni dei contaminanti indicatori. (Fonte: "Relazione illustrativa della proposta progettuale". Progetto definitivo. Georicerche S.r.l., 2015) Il numero di cifre decimali presente nei valori di concentrazione deriva dal metodo analitico di prova utilizzato dal laboratorio di analisi.

<u>Contaminante</u>	<u>Udm</u>	<u>CSC Tab. 2</u>	<u>Limiti D. Lgs. 31/01</u>	<u>Conc. max</u>
<u>Azoto ammoniacale</u>	mg/l	-	0,5	97
<u>Manganese</u>	µg/l	50	-	784
<u>Ossidabilità Kubel(O₂)</u>	mg/l	-	5	41,1
<u>Arsenico</u>	µg/l	10	-	60
<u>Nichel</u>	µg/l	20	-	41,6
<u>Azoto nitrico</u>	mg/l	-	50	64
<u>Ferro</u>	µg/l	200	-	7.892
<u>Azoto nitroso</u>	µg/l	500	-	1.497

I parametri che sono stati individuati quali traccianti la contaminazione, in quanto più conservativi e che definiscono meglio l'estensione della contaminazione, sono l'azoto ammoniacale (ione ammonio) ed il manganese.

L'analisi della serie storica dei dati di monitoraggio, anche alla luce dei valori forniti dai piezometri realizzati nel 2012, ha consentito di ritenere che la contaminazione presente derivi, molto probabilmente, da una successione di eventi e di fenomeni che hanno luogo al di sotto del corpo discarica.

Questi sono, in primis, il danneggiamento dell'impermeabilizzazione di fondo della discarica lungo la scarpata est e gli elevati battenti di percolato che si sono accumulati nel tempo nel corpo discarica. Tutto ciò comporta un flusso di percolato che dal corpo discarica penetra in falda e, di conseguenza, nell'acquifero superficiale.

Una volta che il percolato giunge in falda, questo si diluisce nell'acquifero che a monte della discarica è ben ossigenato.

La presenza di un substrato biodegradabile e di ossigeno disciolto consente lo sviluppo e la crescita di una biomassa eterotrofa che abbate la contaminazione organica ossidandola. La concentrazione di ossigeno disciolto è il fattore limitante e, infatti, una volta consumato si instaura un processo anossico ove i batteri utilizzano i nitrati presenti per ossidare la materia organica. La concentrazione dei nitrati, in base ai dati raccolti nei diversi monitoraggi, risulta infatti in riduzione da monte verso valle ed inversamente proporzionale alla concentrazione rilevata di NH₄⁺.

L'azoto ammoniacale introdotto in falda dal flusso di percolato non viene consumato in quanto i batteri autotrofi nitrificanti, essendo aerobi obbligati, sono sfavoriti dalla carenza di ossigeno disciolto e dunque non riescono a svilupparsi e ad operare il processo biologico di nitrificazione dell'ammoniaca. Tale processo, probabilmente, riesce ad instaurarsi solamente nella parte più esterna e marginale del plume in quanto ancora ossigenata.

Per quanto riguarda il manganese, le analisi effettuate sia sulla composizione del percolato che sui valori rilevati nei piezometri, mostrano come la concentrazione di manganese che è stato rilevato in falda corrisponda ad un quantitativo estremamente maggiore rispetto a quanto presente nel percolato (concentrazione in falda 11 volte la concentrazione di percolato). Quasi certamente ciò deriva da fenomeni di lisciviazione della componente geologica del terreno, agevolata dalla creazione di un ambiente anossico, fortemente riducente, che tendono a rilasciare il metallo.

Al contrario, le concentrazioni di ferro e di sostanza organica rilevate nei piezometri a valle risultano inferiori rispetto al flusso che proviene dal percolato, dato che indica che una parte di tali sostanze viene abbattuta durante la percolazione nel sottosuolo.

In conclusione, dall'analisi degli ultimi dati disponibili di monitoraggio emerge la presenza di un pennacchio di contaminazione, indotta dalla fuoriuscita di percolato, che dal sedime della discarica si propaga in direzione nord-sud e che ha oramai valicato sia via Filissine sia l'asse ferroviario Brennero-Verona, andando ad interessare anche i terreni confinanti oltre la linea ferroviaria.

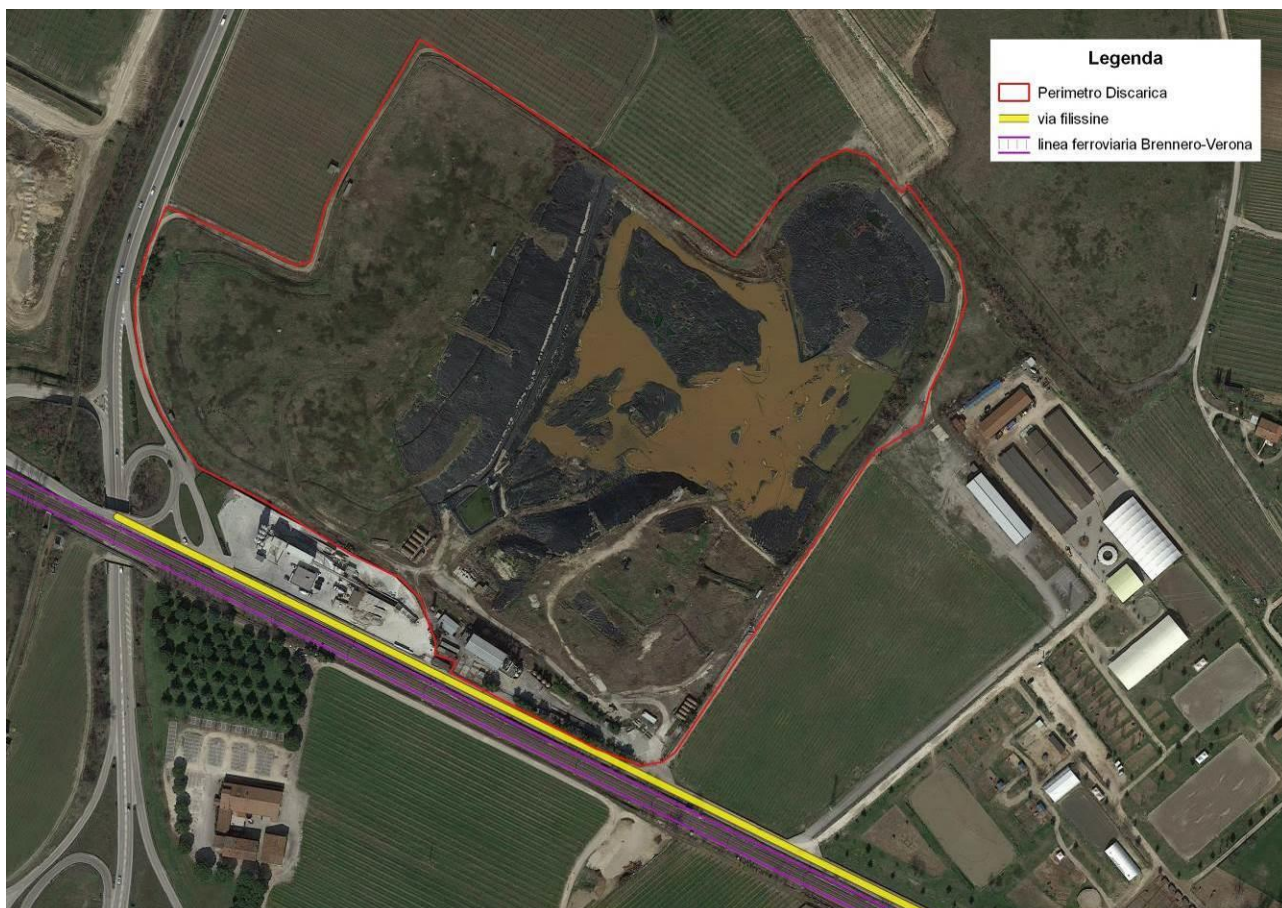


Figura 5: Inquadramento su ortofoto dell'area di scarica, di via Filissine e della linea ferroviaria. Elaborazione GIS

Le analisi e le indagini svolte negli anni hanno reso possibile la elaborazione di un *modello concettuale del sito*, su cui si è basato il progetto di bonifica e messa in sicurezza in esame, che individua le criticità già citate in precedenza e che sono:

- l'attuale area di discarica presenta una morfologia poco efficiente, che facilita l'infiltrazione di acque meteoriche all'interno del corpo rifiuti, anziché allontanarle dallo stesso;
- elevato accumulo di percolato all'interno del corpo discarica;
- presenza di una perdita dal fondo della discarica (individuata su scarpata est) per la rottura dell'impermeabilizzazione di fondo, con conseguente sversamento di percolato nella falda freatica.

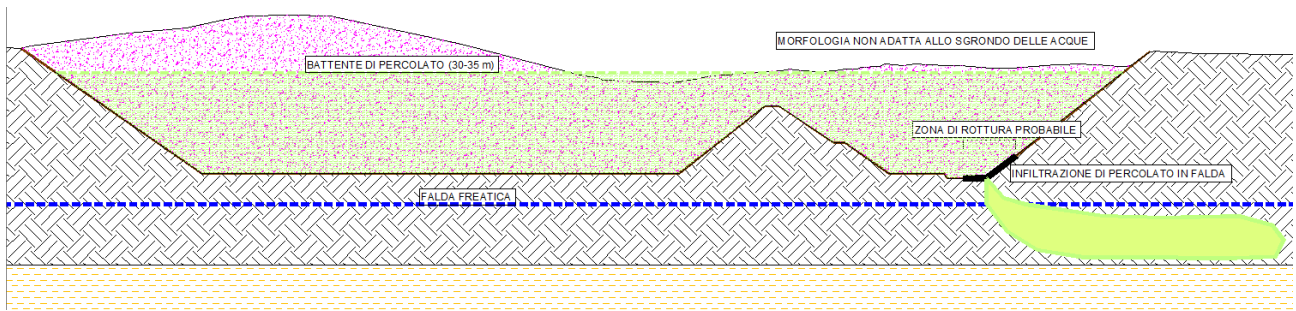


Figura 6: Schematizzazione grafica del modello concettuale del sito (Fonte: A1 *Relazione tecnica* Progetto definitivo. Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine" Variante sostanziale Aggiornamento n. 1 Rev. 01. Georicerche S.r.l.)

L'accumulo di percolato è direttamente correlato all'attuale morfologia della discarica: ad eccezione dei lotti 1 e 3, i restanti erano ancora in fase di coltivazione quando la discarica è stata posta sotto sequestro e, dunque, non si presenta con la morfologia propria della copertura finale e con le pendenze corrette. La situazione in cui si presenta la discarica agevola, al contrario, l'infiltrazione delle acque meteoriche, invece di facilitarne lo sgrondo verso l'esterno, andando a contribuire alla formazione di percolato presente all'interno del corpo rifiuti.

Naturalmente maggiore è il battente di percolato, maggiore sarà la velocità di infiltrazione del percolato in falda, in quanto maggiore è la pressione che questo esercita sul fondo della discarica.

4. STATO DI PROGETTO

A valle di tutti gli studi e le analisi svolte, i progettisti sono pervenuti ad un progetto di bonifica e messa in sicurezza permanente che può essere schematizzato nei seguenti punti:

- l'emungimento (nei tempi più rapidi possibili) del percolato presente nel vecchio corpo rifiuti;
- il raggiungimento di una morfologia tale da permettere lo sgrondo delle acque meteoriche;
- la captazione delle acque meteoriche prima che possano infiltrarsi nel vecchio corpo rifiuti;
- un intervento di *air sparging* sulla falda freatica che permette il rientro (al di sotto dei limiti normativi) dei parametri di inquinamento ambientale.

Si tratta di una serie di misure multilivello che dovranno agire in contemporanea.

Gli interventi 1 -2 -3 sono da considerarsi come interventi primari di messa in sicurezza e di minimizzazione della fonte inquinante (percolato accumulatosi all'interno del vecchio corpo rifiuti RSU).

L'intervento 4, invece, rappresenta il vero intervento di bonifica, un'operazione di trattamento dell'effetto inquinante in seguito alla perdita di percolato in falda.

Nel complesso, la finalità dei quattro interventi considerati in maniera unitaria è quella di abbattere le concentrazioni degli inquinanti a valle idrogeologica del sito nel più breve tempo possibile, minimizzando i possibili disturbi per la popolazione residente nelle aree circostanti e minimizzando i costi dell'intervento.

La copertura economica di tutti gli interventi deriva dall'apporto di nuovi rifiuti in due settori della discarica idraulicamente autonomi rispetto alle zone della discarica in cui viene eseguita la messa in sicurezza.

Il volume minimo di rifiuti per poter consentire uno sgrondo efficace delle acque meteoriche verso l'esterno è pari a 800.000 mc (definito profilo tecnico), mentre il volume minimo necessario di progetto per la copertura dei costi è pari a 1.700.000 mc (definito profilo di progetto).

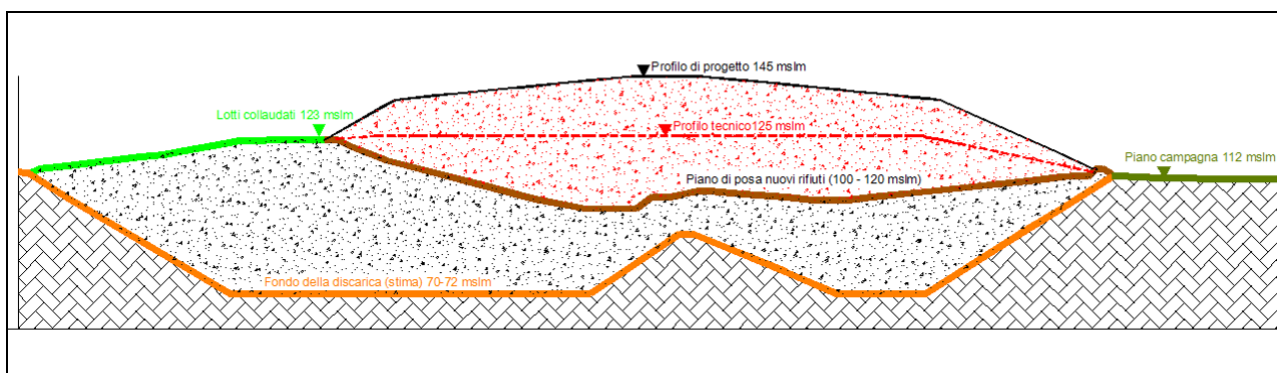


Figura 7: Sezione tipo della discarica ribaulata con i volumi massimi (volume minimo per coprire tutti i costi) e minimi (volume minimo per permettere lo sgrondo delle acque) Chiaramente i profili sono indicati ad assestamenti avvenuti.

(Fonte: AO Relazione illustrativa della proposta progettuale. Progetto definitivo. Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine" Variante sostanziale Aggiornamento n. 1 Rev. 01. Georicerche S.r.l.)

5. FASI DELL'INTERVENTO DI BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE

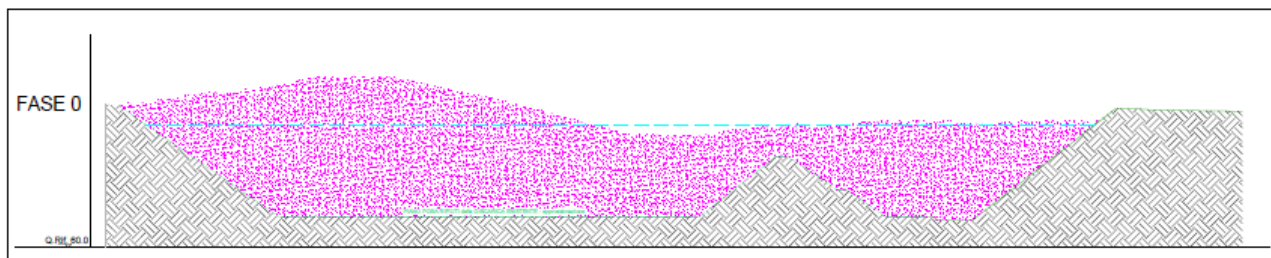
L'intervento nel complesso è stato suddiviso in diverse fasi e ciascuna rappresenta uno "step" del progetto di messa in sicurezza e bonifica in esame.

Di seguito si riporta una breve descrizione di quanto previsto nelle singole fasi, mentre successivamente si andrà a descrivere, senza entrare nei dettagli puramente tecnici, la gestione del biogas, del percolato ed in cosa consta l'intervento di airsparging, il vero e proprio intervento di bonifica.

Si riporta, inoltre, la rappresentazione grafica delle principali fasi tratta dagli elaborati di progetto definitivo in esame (in particolare rif. *Tav. 2 Fasi operative di costruzione e gestione.*)

Fase 0

Rappresenta lo stato dei luoghi al momento della redazione del progetto.



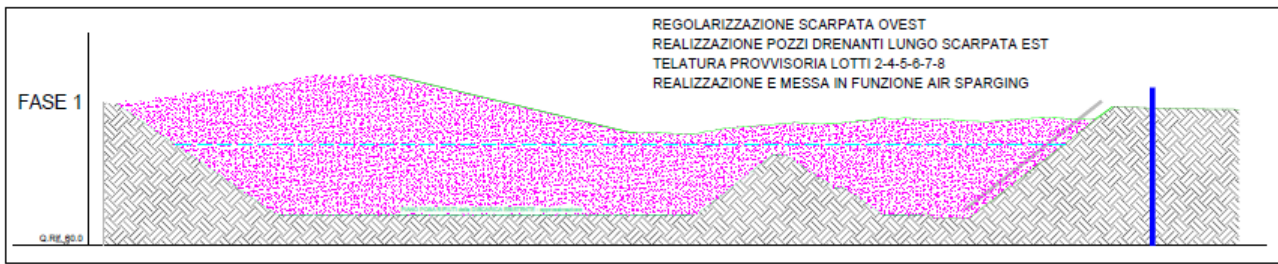
LEGENDA

	Vecchi rifiuti
	Nuovi rifiuti
	Materiale a bassa permeabilità
	Materiale drenante
	Battente di percolato nel vecchio corpo rifiuti

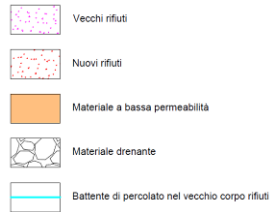
Fase 1

Questa fase prevede i primi interventi per la messa in sicurezza:

- realizzazione della barriera idraulica di pozzi drenanti addossati alla parte est;
- emungimento continuo del percolato;
- regolarizzazione della scarpata ovest (lotti 2-4) per consentire l'allestimento delle nuove vasche di conferimento di nuovi rifiuti;
- telatura provvisoria (LDPE) dei lotti 5-6-7-8 e dei lotti 2-4, dopo la loro regolarizzazione;
- trivellazione di 11 pozzi per la captazione del biogas nel vecchio corpo rifiuti;
- realizzazione e messa in funzione la barriera di "air sparging";
- allestimento zona servizi.



LEGENDA

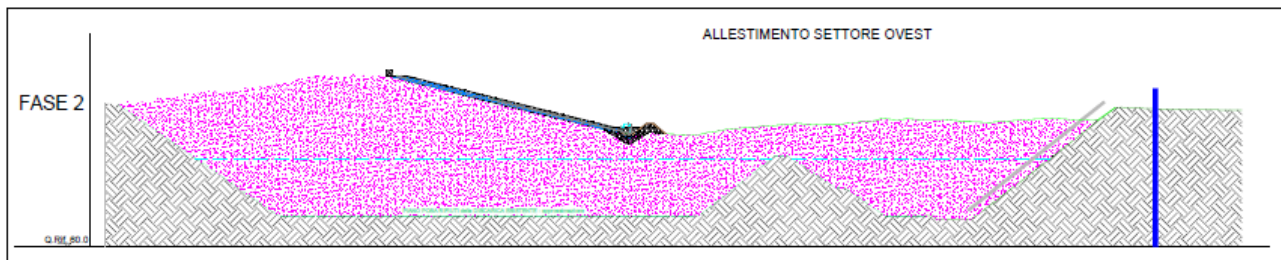


Fase 2

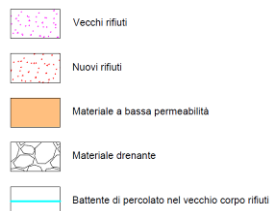
In questa fase continua l'emungimento del percolato, l'azione della barriera di air sparging ed i lotti 5-6-7-8 (parte est della discarica) restano coperti con teli in LDPE.

Inoltre, è previsto:

- allestimento della parte ovest di discarica (lotti 2 e 4) per la coltivazione una volta che il livello di percolato sarà diminuito (almeno 1 metro sotto la corona dell'argine di divisione tra i lotti 2-4 e 5-6-7);
- allestimento di un sistema di drenaggio ed accumulo del percolato prodotto dai nuovi rifiuti per evitare che si infiltri nel corpo rifiuti esistente sottostante. Si tratta di una trincea di accumulo, posta nella parte più depressa della scarpata ovest sui lotti 2-4, nella quale vengono posti dei pozzi di captazione (con interasse 20 metri) in cui è allocata anche una pompa sommersa.

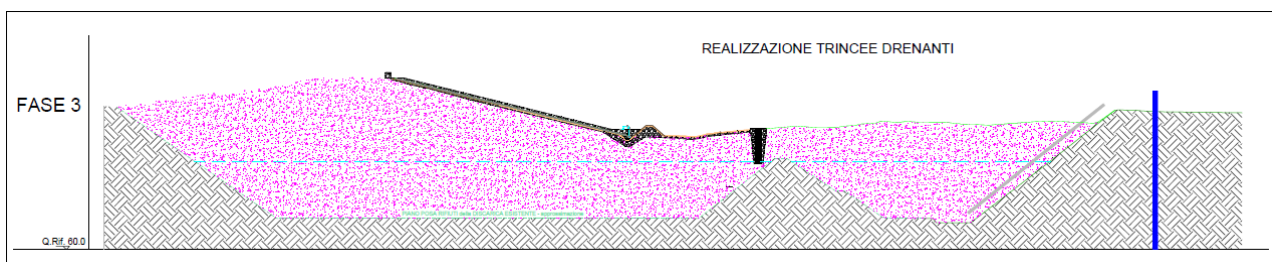


LEGENDA








Fase 3

In tale fase si mantiene quanto previsto nella fase 2, cui si aggiunge la realizzazione della trincea di accumulo del percolato di cui alla fase 2.



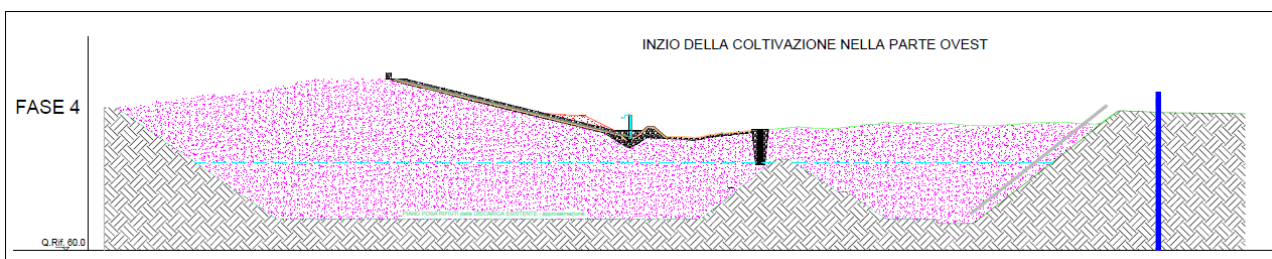
LEGENDA

-  Vecchi rifiuti
-  Nuovi rifiuti
-  Materiale a bassa permeabilità
-  Materiale drenante
-  Battente di percolato nel vecchio corpo rifiuti






Fase 4

Come per la fase 2 e 3, continua l'emungimento del percolato e l'azione della barriera di air sparging.

Se il livello del percolato nel corpo rifiuti esistente è almeno 1 metro al di sotto della corona dell'argine di separazione tra i lotti 2-4 e 5-6-7, si inizia la coltivazione nel settore ovest, cominciando ad abbancare i rifiuti dal basso verso l'alto.



LEGENDA

-  Vecchi rifiuti
-  Nuovi rifiuti
-  Materiale a bassa permeabilità
-  Materiale drenante
-  Battente di percolato nel vecchio corpo rifiuti

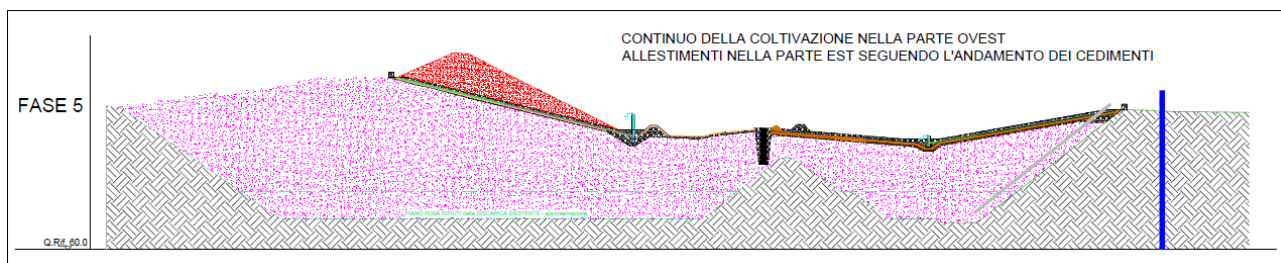
Fase 5

Continua quanto già previsto per la fase 4, cui si aggiungono gli allestimenti nella parte est della discarica (quando presumibilmente l'80% dei cedimenti sarà avvenuto).






È prevista, sempre nella parte est, la realizzazione di una barriera confinante, con una trincea di drenaggio ed accumulo del percolato nella parte centrale del settore in cui i cedimenti saranno maggiori; è quindi

previsto il drenaggio del percolato verso una trincea di accumulo nella quale vengono posti dei pozzi di captazione.

Nel caso i cedimenti attesi nei lotti 5-6-7-8-non siano ancora del tutto avvenuti, si continuerà la coltivazione della porzione ovest della discarica fino alla trincea drenante in maniera da poter coltivare in sicurezza i rifiuti in attesa che i cedimenti si esauriscano sui lotti 5-6-7-8.

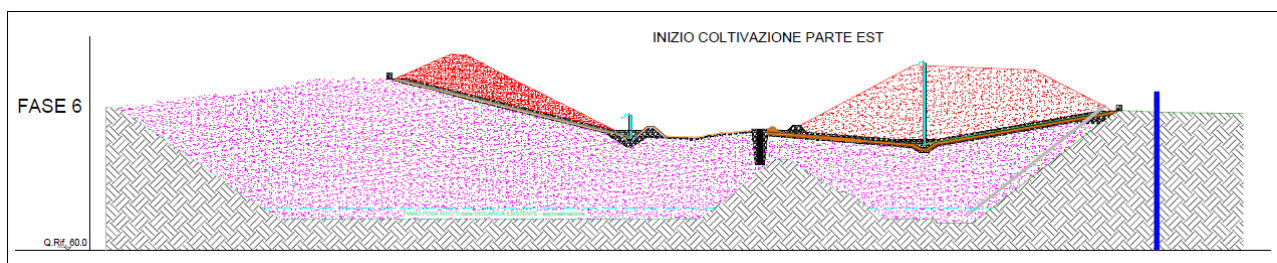


LEGENDA






-  Vecchi rifiuti
-  Nuovi rifiuti
-  Materiale a bassa permeabilità
-  Materiale drenante
-  Battente di percolato nel vecchio corpo rifiuti

Fase 6

Continua l'emungimento del percolato e l'azione della barriera di air sparging; in aggiunta inizia la coltivazione nel settore est.

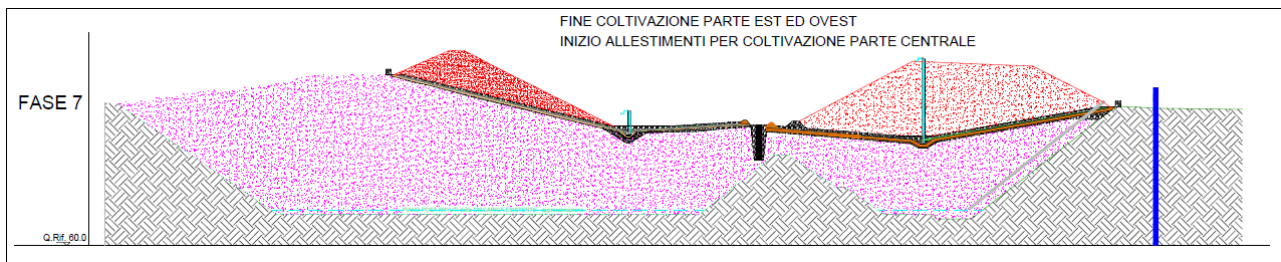


LEGENDA






-  Vecchi rifiuti
-  Nuovi rifiuti
-  Materiale a bassa permeabilità
-  Materiale drenante
-  Battente di percolato nel vecchio corpo rifiuti

Fase 7

Rispetto alla fase precedente, si ha l'allestimento della parte centrale di discarica con la demolizione dell'argine di contenimento provvisorio realizzato per la separazione idraulica dei settori (est ed ovest).



LEGENDA

-  Vecchi rifiuti
-  Nuovi rifiuti
-  Materiale a bassa permeabilità
-  Materiale drenante
-  Battente di percolato nel vecchio corpo rifiuti

Fase 8

Rispetto alla fase precedente, inizia la coltivazione nel settore centrale.

Fase 9

In questa ultima fase, continua l'emungimento del percolato e l'azione della barriera di air sparging.

Nel frattempo, termina la coltivazione dei nuovi rifiuti con il raggiungimento della morfologia finale di progetto e viene realizzata la barriera di copertura definitiva.

6. GESTIONE BIOGAS

La discarica è dotata di un impianto di raccolta e captazione del biogas che si produce all'interno del corpo rifiuti per le reazioni anaerobiche di fermentazione delle componenti organiche dei rifiuti.

Il progetto in esame prevede la posa di nuovi rifiuti, ma si tratta di rifiuti a ridotta o nulla putrescibilità che, pertanto, non dovrebbero comportare una significativa produzione di biogas.

È prevista l'implementazione dell'esistente rete di captazione con nuovi pozzi, afferenti a nuove sottostazioni, le quali invieranno il gas alla torcia di termodistruzione, come già avveniva a discarica in esercizio.

La gestione del biogas verrà solamente implementata, senza alcuna modifica dal punto di vista tecnologico.

7. GESTIONE PERCOLATO

La gestione del percolato prodotto prevede la sua captazione, raccolta in apposite cisterne e conferimento ad impianti terzi di smaltimento.

Il progetto prevede l'implementazione della rete di captazione con la realizzazione di:

- ✓ nuovi pozzi inclinati addossati alla parete est della discarica,
- ✓ nuovi pozzi presenti all'interno del setto drenante,
- ✓ nuovi pozzi realizzati sul vecchio corpo rifiuti,
- ✓ nuovi pozzi realizzati sul nuovo corpo rifiuti.

Date le caratteristiche dei pozzi, è stato stimato che per raggiungere la quota necessaria per iniziare i lavori di allestimento della parte ovest della discarica per la coltivazione (livello di percolato almeno 1 metro sotto la corona dell'argine di divisione tra i lotti 2-4 e 5-6-7-8) sono necessari circa 265 gg, nel caso di emungimento in continuo da tutti i pozzi presenti nel vecchio corpo rifiuti.

È stato stimato, inoltre, che sarebbero necessari ulteriori 430 gg per estrarre la restante parte di percolato dal vecchio corpo rifiuti.

Per quanto riguarda i *nuovi pozzi drenanti inclinati* addossati alla parete est della discarica, si tratta di una serie di nuovi pozzi (n. 16) per l'estrazione di percolato necessari per implementare l'esistente sistema di estrazione del percolato e contribuire ad abbattere la spinta idraulica del percolato sulla scarpata est, in cui si ritiene esserci la perdita.

La profondità prevista dei nuovi pozzi è pari a 35 m circa, al fine di posizionarli a circa 3 metri dal fondo stimato della discarica, con inclinazione di circa 40-45°. Tale profondità è indicativa in quanto la profondità precisa viene calibrata in funzione delle stratigrafie emerse durante la perforazione: l'obiettivo è quello di realizzare pozzi che siano il più profondi possibile, ma in sicurezza senza rischio di danneggiare l'esistente impermeabilizzazione di fondo, già danneggiata.

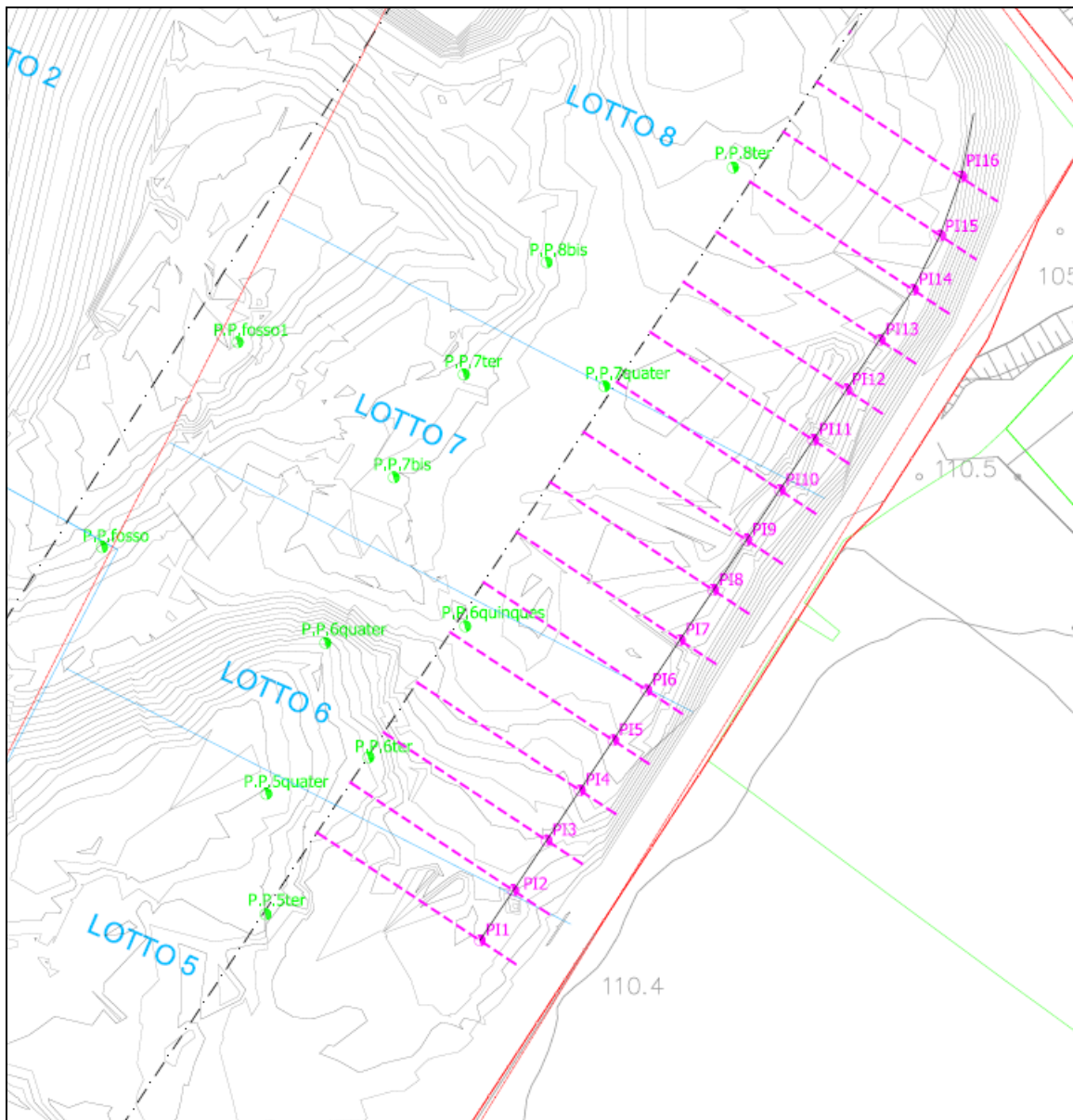


Figura 8: Estratto tav. 11A Pozzi percolato inclinati parete est Ubicazione e dettagli. Progetto definitivo. Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine" Variante sostanziale Aggiornamento n. 1 Rev. 01

Un ulteriore intervento previsto per incrementare l'estrazione del percolato è rappresentato dalla realizzazione di un *setto drenante con pozzi di estrazione percolato* tra i lotti 2-4 e 5-6-7-8. Il setto è posizionato nei lotti 2 e 4, a ridosso dell'argine di separazione di base.

Tale sistema funge da impianto di contenimento atto a separare i lotti 2-4 dai lotti 5-6-7-8.

I pozzi all'interno del setto drenante hanno lo scopo di abbattere il livello del percolato nei lotti ovest (2 e 4) fino al raggiungimento, almeno, della quota che consenta l'allestimento di tali lotti, ovvero la quota di almeno un metro al di sotto della sommità dell'argine di separazione esistente.

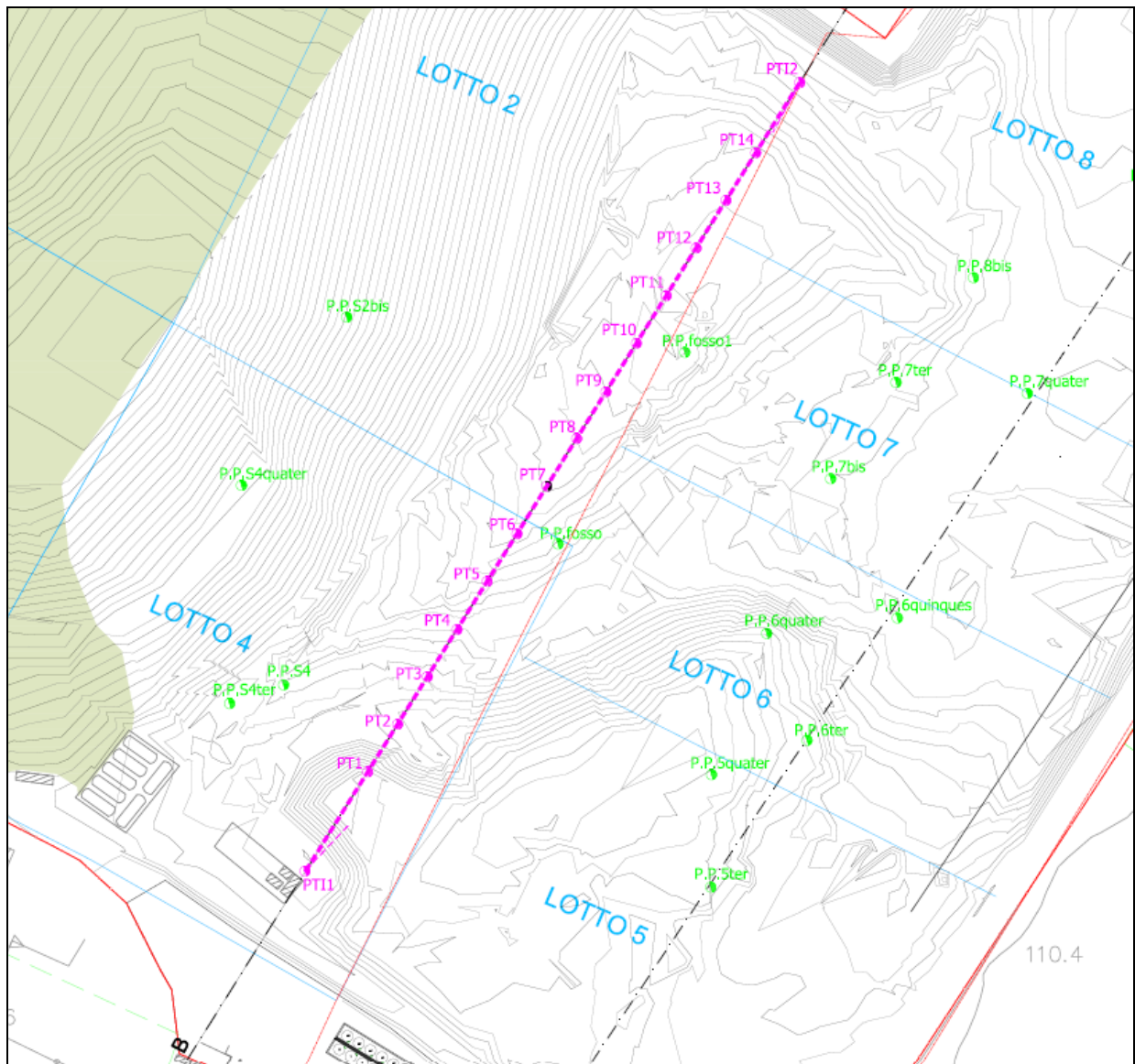


Figura 9: Estratto tav. 11B Setto drenante Ubicazione e dettagli. Progetto definitivo. Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine" Variante sostanziale Aggiornamento n. 1 Rev. 01

Il setto drenante previsto ha le seguenti caratteristiche geometriche:

- Profondità: 6m dal piano di lavoro;
- Spessore: >1 m;
- Lunghezza complessiva: ~250 m.

All'interno dello scavo realizzato dall'escavatore, è prevista la posa di un geotessile di separazione al cui interno viene posata ghiaia pulita di pezzatura 40-70 cm; il tutto chiuso con uno spessore di 0,5 m di argilla.

SEZIONE LONGITUDINALE TIPOLOGICA SETTO DRENANTE
SCALA 1:100

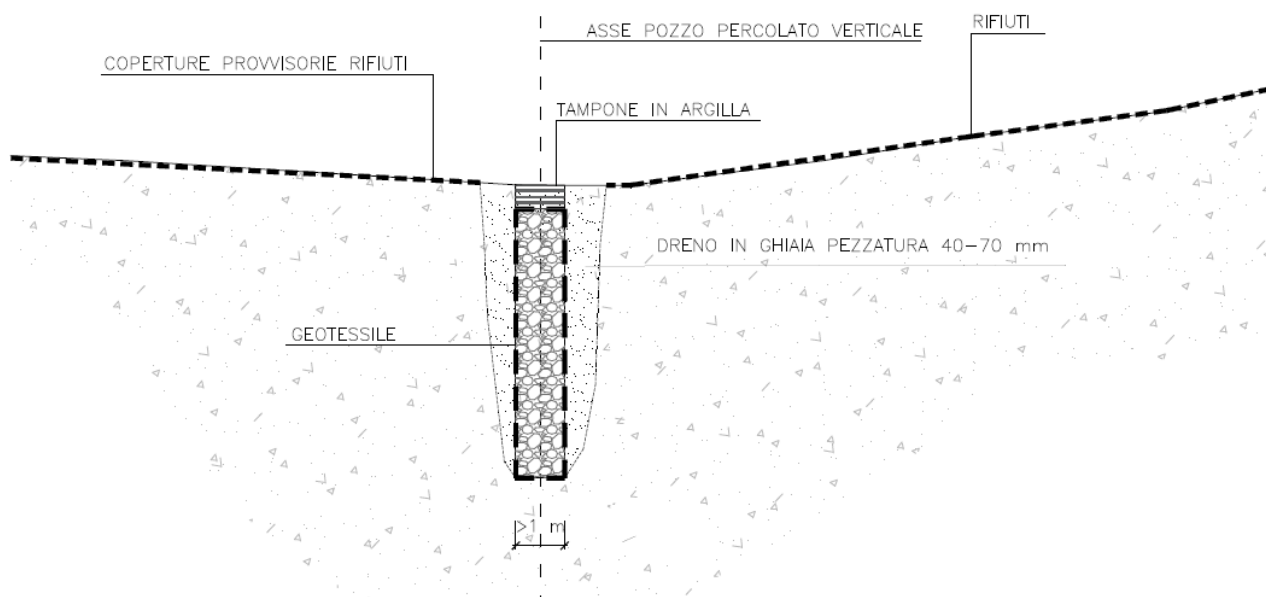


Figura 10: Estratto *tav. 11B Setto drenante Ubicazione e dettagli*. Progetto definitivo. Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine" Variante sostanziale Aggiornamento n. 1 Rev. 01

Alle estremità nord e sud del setto drenante è prevista la posa di pozzi percolato inclinati: tale accorgimento si rende necessario in quanto non è sicuro realizzare pozzi verticali nelle estremità del setto drenante per il rischio di intercettare, e dunque danneggiare, le pareti laterali della discarica e la relativa impermeabilizzazione.

8. MESSA IN SICUREZZA DEI LOTTI DELLA DISCARICA

8.1 Messa in sicurezza settore ovest della discarica (lotti 2-4 parziali)

Dagli studi svolti non risulta esserci alcuna perdita da tale settore e per tale motivo gli interventi di messa in sicurezza sono focalizzati a:

- ✓ minimizzare l'apporto di acque meteoriche sul vecchio corpo rifiuti, con conseguente riduzione di formazione di percolato,
- ✓ incentivare il drenaggio del percolato che si andrà a formare a seguito della coltivazione di nuovi rifiuti, evitandone l'infiltrazione nel vecchio corpo rifiuti sottostante.

Il pacchetto è composto, partendo dal basso verso l'alto, da:

- strato di regolarizzazione e stabilizzazione eseguito con materiale portante, di spessore variabile (≥ 50 cm);
- geogriglia bi-assiale (due reti mono-direzionali accoppiate) che permetta una migliore ripartizione dei carichi e consenta di distribuire in maniera efficace eventuali cedimenti differenziali che possono provocarsi nel vecchio corpo rifiuti;
- geotessile tessuto non tessuto (1.000 gr/mq) posto a protezione dello strato superiore di argilla;
- strato a bassa permeabilità di argilla ($k < 10^{-6}$ cm/s) di spessore pari a 50 cm;
- geotessile tessuto non tessuto (1.000 gr/mq) posto a protezione dello strato inferiore di argilla;
- strato di drenaggio del percolato eseguito con materiale granulare.

La pendenza dello strato drenante convoglia in una trincea drenante continua riempita di materiale grossolano della stessa pezzatura, in cui sono posti i pozzi per la captazione del percolato.

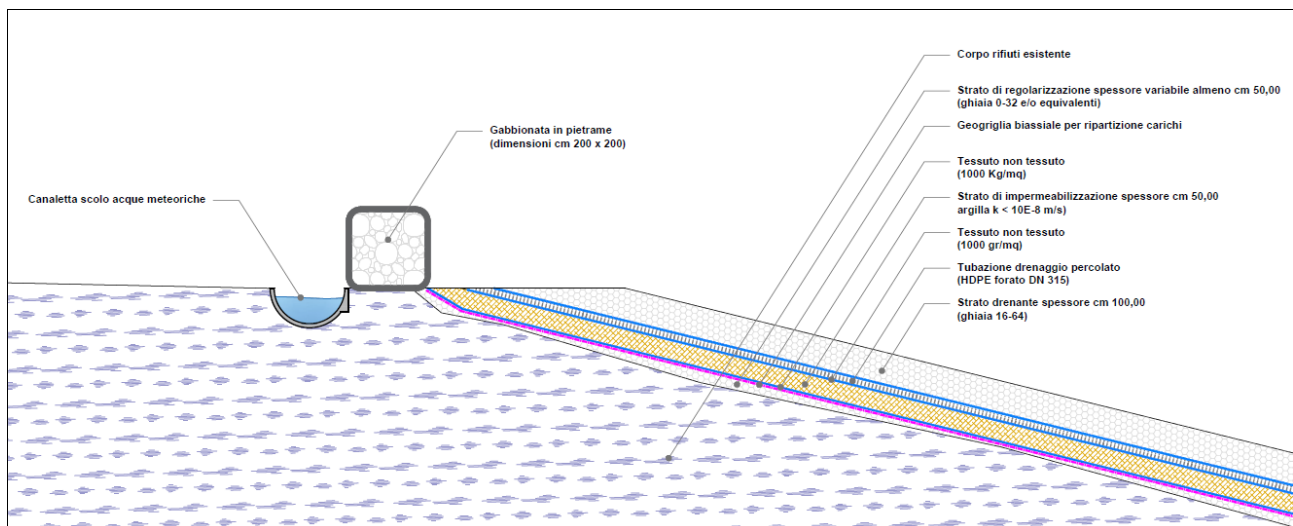


Figura 11: Estratto *tav. 10 Particolari costruttivi*. Progetto definitivo. Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine" Variante sostanziale Aggiornamento n. 1 Rev. 01

8.2 Messa in sicurezza settore est della discarica (lotti 5-6-7-8)

La perdita causa della contaminazione dell'acqua di falda è stata ipotizzata proprio su tale settore, in particolare è probabilmente ubicata a pochi metri dal piede della scarpata est.

Per tale motivo la messa in sicurezza di tale area prevede diversi interventi, quali:

- ✓ realizzazione di una barriera idraulica interna al vecchio corpo rifiuti costituita da una batteria di pozzi di estrazione del percolato al fine alleggerire il battente idraulico sulla parete est della discarica stessa;
- ✓ realizzazione di uno strato di confinamento che consenta di annullare l'apporto di acque meteoriche sul vecchio corpo rifiuti (riduzione della formazione di percolato) e che contemporaneamente funga da pacchetto di drenaggio per il percolato di nuova formazione, a seguito della coltivazione dei nuovi rifiuti.

La posa del pacchetto multistrato, e la seguente coltivazione del settore est, è vincolata ai cedimenti sui lotti 5-6-7-8: si presume che gli assestamenti su questi lotti avvengano almeno per il 70-80% del complessivo (condizione necessaria per procedere con gli allestimenti) nel giro di 4 o 5 anni.

Il pacchetto sarà così composto, partendo dal basso verso l'alto:

- strato di regolarizzazione e di stabilizzazione eseguito con materiale portante, di spessore variabile (≥ 50 cm);
- geogriglia bi-assiale (due reti mono-direzionali accoppiate) che permetta una migliore ripartizione dei carichi e consenta di distribuire in maniera efficace eventuali cedimenti differenziali che possono provocarsi nel vecchio corpo rifiuti;
- geotessile tessuto non tessuto (1.000 gr/mq) posto a protezione dello strato superiore di argilla;
- strato a bassa permeabilità di argilla ($k < 5 \times 10^{-8}$ cm/s) di spessore pari a 150 cm; verrà rullato e compattato in situ fino al raggiungimento di tali caratteristiche;
- materassino bentonitico (geocomposito coesionato meccanicamente), con $k < 5 \times 10^{-9}$ cm/s;
- telo in HDPE (ad aderenza migliorata), con spessore di 2,5 mm;
- geotessile tessuto non tessuto (1.000 gr/mq) posto a protezione dello strato inferiore di argilla;
- strato di drenaggio del percolato eseguito con materiale granulare (pezzatura 16-64).

A miglior protezione dell'angolo spondale verrà eseguito un argine in argilla (2m di corona, 2 m di altezza e scarpate massimo a 45°), sopra i quali verranno portati i teli (geocomposito bentonitico e HDPE) che a loro volta saranno saldati con le telature previste dalla copertura definitiva.

Le pendenze dello strato drenante convogliano in una trincea drenante continua riempita di materiale grossolano della stessa pezzatura, in cui sono posti in corrispondenza delle tubazioni drenanti in HDPE dei pozzi per la captazione del percolato.

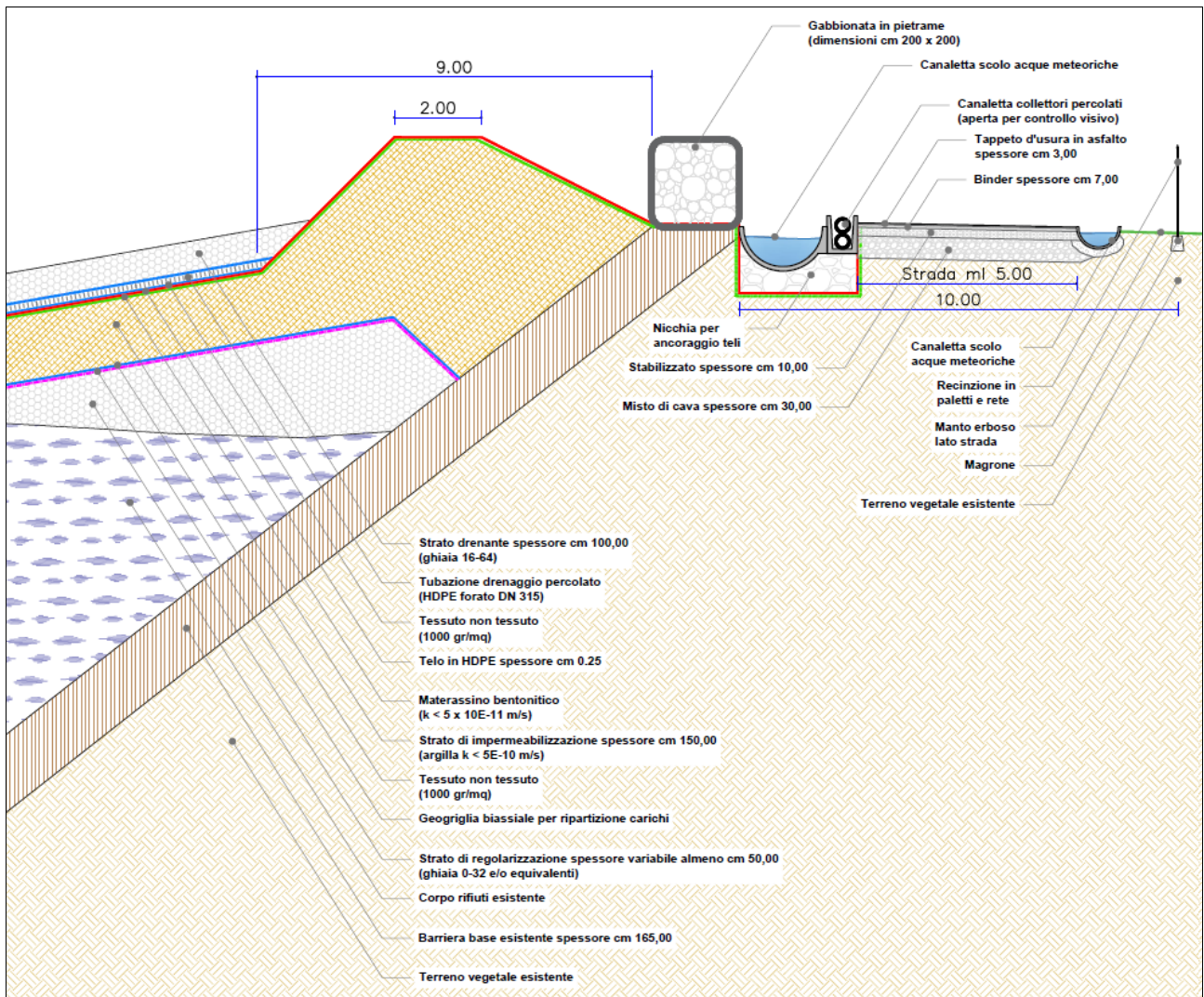


Figura 12: Estratto *tav. 10 Particolari costruttivi*. Progetto definitivo. Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine" Variante sostanziale Aggiornamento n. 1 Rev. 01

8.3 Messa in sicurezza settore centrale della discarica (lotti 2-4 restanti)

Una volta abbancati i rifiuti sui settori ovest ed est, si allestirà un pacchetto multistrato in continuità con quello realizzato nel settore ovest.

È prevista la demolizione dell'argine di contenimento/separazione e la prosecuzione verso il centro della discarica. Le caratteristiche del pacchetto saranno le medesime indicate per il settore ovest.

9. BARRIERA DI AIR SPARGING

La barriera di air sparging rappresenta il vero e proprio progetto di bonifica in quanto le altre azioni costituiscono prevalentemente delle opere di messa in sicurezza.

In tale capitolo si espone brevemente in cosa consiste la tecnica air sparging e come è stata applicata, a livello progettuale, al caso in esame. Come già riferito, il progetto di bonifica e messa in sicurezza, anche se autorizzato, non è stato realizzato e, dunque, non vi sono dati da poter utilizzare per confrontare i risultati ipotizzati a livello teorico con quanto realmente ottenuto.

Il progetto specifico di airsparging è stato realizzato dalla società di Ingegneria Iser, a firma dell'Ing. Loris Dallago, la quale, tenuto conto delle richieste dell'Amministrazione comunale, della tipologia di contaminanti presenti e della loro distribuzione, della tipologia della matrice inquinata (liquida in quanto si tratta di acqua di falda), delle linee guida redatte dal prof. Andreottola, dell'assetto geomorfologico ed idrogeologico locale e delle indicazioni derivanti dalla normativa di settore (D. Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii, Allegato 3 alla Parte IV "*Criteria generali per la selezione e l'esecuzione degli interventi di bonifica e ripristino ambientale, di messa in sicurezza nonché per l'individuazione delle migliori tecniche d'intervento a costi sopportabili*"), ha proposto la tecnica di airsparging, ovvero la realizzazione di un trattamento in-situ mediante iniezione in falda di ossigeno per la rimozione dell'azoto ammoniacale e la precipitazione dei metalli.

Un'altra soluzione possibile era rappresentata da un barrieramento idraulico con l'emungimento delle acque e la realizzazione di un impianto chimico-fisico e biologico di trattamento finalizzato all'abbattimento dei metalli ed alla rimozione dei composti azotati. Tale ipotesi è stata scartata data l'elevata permeabilità dell'acquifero e l'estensione della contaminazione, in quanto avrebbero comportato il trattamento di un volume di acqua estremamente importante, che si sarebbe tradotto in elevata complessità impiantistica ed elevati costi, aspetto che l'Amministrazione comunale voleva evitare.

Di seguito si riporta un breve inquadramento circa le diverse tecniche di bonifica potenzialmente applicabili per il trattamento di una contaminazione in falda come nel caso in esame.

9.1 Inquadramento sulle potenziali tecniche di bonifica applicabili

Al giorno d'oggi sono disponibili un discreto numero di metodi di bonifica di acque, terreni ed emissioni gassose, ma non sempre è facile individuare la metodologia di trattamento più consona. In particolare, la situazione risulta complessa quando la matrice da trattare è il sottosuolo.

La scelta della tecnologia da applicare è un passo fondamentale nella progettazione ed i primi aspetti da tenere in considerazione sono il tipo di inquinanti da abbattere e la matrice oggetto di trattamento (solida: terreno, fanghi,... ; liquida: acqua di falda o superficiali, percolato, ... ; gassosa: vapori liberati durante trattamenti o emissioni gassose dal terreno).

Vi sono, inoltre, indicazioni normative che pongono dei criteri da seguire per la scelta della metodologia da applicare, e più in generale della miglior tecnologia disponibile (BAT – Best Available Techniques).

L'Allegato 3 alla Parte IV del D. Lgs. 152/2006 riporta i "*Criteria generali per la selezione e l'esecuzione degli interventi di bonifica e ripristino ambientale, di messa in sicurezza nonché per l'individuazione delle migliori tecniche d'intervento a costi sopportabili*" e specifica tali criteri:

- a) *privilegiare la riduzione permanente e significativa delle concentrazioni e degli effetti tossici e la mobilità delle sostanze,*
- b) *privilegiare i trattamenti in situ e on site, riducendo i rischi di trasporto e messa in discarica,*

- c) privilegiare le tecniche che bloccino le sostanze in composti chimici stabili,
- d) privilegiare tecniche che permettono il trattamento e il riutilizzo in sito anche dei materiali eterogenei o di risulta,
- e) prevedere il riutilizzo del suolo trattato off site sia nel sito che in altri siti,
- f) privilegiare l'impiego di materiali organici di adeguata qualità provenienti da attività di recupero di rifiuti urbani,
- g) evitare rischi aggiuntivi di inquinamento di aria, acque sotterranee e superficiali, suolo e sottosuolo e inconvenienti derivanti da rumori e odori,
- h) evitare rischi igienico-sanitari per la popolazione durante lo svolgimento degli interventi,
- i) adeguare gli interventi di ripristino ambientale alla destinazione d'uso,
- j) per la messa in sicurezza, ridurre il volume di rifiuti prodotti e la loro pericolosità,
- k) adeguare le misure di sicurezza alle caratteristiche del sito e dell'ambiente,
- l) evitare peggioramenti dell'ambiente e del paesaggio dovuti alle opere da realizzare.

L'ente americano FRTR (Federal Remediation Technology Roundtable) ha sviluppato una matrice di screening delle tecniche di bonifica applicabili: la Remediation Technologies Screening Matrix (FRTR, 2002; FRTR, 2005).

Questa prende in considerazione diversi parametri, fra i quali i contaminanti trattati, la tempistica richiesta, i costi correlati, l'affidabilità della tecnica e la combinazione con altri trattamenti ed in base ai dati di input classifica le diverse tecniche in applicabili, potenzialmente applicabili e non applicabili.

Di seguito si riporta un esempio di matrice FRTR per le acque sotterranee.

TABLE 3-2: TREATMENT TECHNOLOGIES SCREENING MATRIX																
Rating Codes ● Above Average ○ Average ○ Below Average N/A - "Not Applicable" ID - "Insufficient Data" ◇ - Level of Effectiveness highly dependent upon specific contaminant and its application	Development Status	Treatment Train	Relative Overall Cost & Performance					Availability	Nonhalogenated VOC's	Halogenated VOC's	Nonhalogenated SVOC's	Halogenated SVOC's	Fuels	Inorganics	Radionuclides	Explosives
			O&M	Capital	System Reliability & Maintainability	Relative Costs	Time									
Ground Water, Surface Water, and Leachate																
3.0 In Situ Biological Treatment																
4.20 Enhanced Bioremediation	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.30 Monitored Natural Attenuation	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.31 Phytoremediation	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3.10 In Situ Physical/Chemical Treatment																
4.32 Air Sparging	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.33 Biosparging	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.34 Chemical Oxidation	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.35 Directional Wells (enhancement)	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.36 Dual Phase Extraction	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.37 Thermal Treatment	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.38 Hydrofracturing Enhancements	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.39 In-Well Air Stripping	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.40 Passive/Reactive Treatment Walls	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3.11 Ex Situ Biological Treatment																
4.41 Bioreactors	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.42 Constructed Wetlands	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3.12 Ex Situ Physical/Chemical Treatment (assuming pumping)																
4.43 Adsorption/Absorption	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.44 Advanced Oxidation Processes	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.45 Air Stripping	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.46 Combed Activated Carbon/Liquid Phase Carbon Adsorption	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.47 Groundwater Pumping/Pump & Treat	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.48 Ion Exchange	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.49 Precipitation/Coagulation/Flocculation	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.50 Separation	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.51 Sprinkler Irrigation	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3.13 Containment																
4.52 Physical Barriers	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.53 Deep Well Injection	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3.14 Air Emissions/Off-Gas Treatment																
4.54 Biotiltration	○	N/A	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	ID	
4.55 High Energy Destruction	○	N/A	ID	ID	○	○	ID	○	○	○	○	○	○	ID	○	
4.56 Membrane Separation	○	N/A	ID	ID	○	○	ID	○	○	○	○	○	○	ID	○	
4.57 Oxidation	●	N/A	○	○	○	○	ID	○	○	○	○	○	○	ID	○	
4.58 Scrubbers	●	N/A	○	○	○	○	ID	○	○	○	○	○	○	ID	ID	
4.59 Vapor Phase Carbon Adsorption	●	N/A	○	○	○	○	ID	○	○	○	○	○	○	ID	○	

Figura 13: Matrice FRTR per le acque sotterranee.

Nel caso specifico della discarica Cà Filissine, sulla base delle caratteristiche del sito e della specifica matrice FRTR redatta, le tecniche risultate come applicabili o potenzialmente applicabili sono:

- Pompaggio seguito da un trattamento di fitodepurazione
- Pompaggio seguito da un trattamento di adsorbimento
- Pompaggio seguito da un trattamento di scambio ionico
- Pompaggio seguito da un trattamento di flocculazione coagulazione e precipitazione
- Barrieramento

Si tratta di interventi ex situ, ad eccezione del barrieramento, ovvero del contenimento fisico della contaminazione, ma si tratta di tecniche che in genere presentano costi elevati per l'elevata complessità impiantistica.

La matrice di FRTR presenta il limite di considerare i contaminanti solamente suddivisi in macroaree, senza entrare nella valutazione del singolo composto e non considera neppure le alternative di bonifica dell'ammoniaca.

Esistono, infatti, molteplici tecniche di rimozione di ferro, manganese ed arsenico, sia come trattamenti ex-situ che in-situ.

Nei trattamenti ex-situ l'acqua viene pompata in superficie e trattata in specifici impianti sulla base di processi come l'ossidazione chimica seguita dalla filtrazione, l'aerazione seguita da filtrazione e lo scambio ionico.

Per il trattamento di ferro e manganese si segnalano i processi di ossidazione chimica con ozono, permanganato di potassio o cloro attivo, e l'aerazione con ossigeno atmosferico.

Anche per il trattamento dell'arsenico esistono diversi metodi, quali ad esempio la rimozione dell'arsenico dal mezzo acquoso attraverso l'impiego di allumina come agente adsorbente o carbone attivo, il trattamento con idrossido di ferro, l'impiego di resine a scambio ionico e la coagulazione.

Per quanto concerne il trattamento in-situ di ferro e manganese, si cita il processo Vyredox: viene creata direttamente nel terreno una zona altamente ossidante posta attorno ad un pozzo di emungimento. La zona ossidante viene creata mediante l'iniezione di acqua satura di ossigeno effettuata mediante pozzi disposti su una geometria radiale. La tecnica si basa sulla eliminazione di ferro e manganese disciolti prima del pompaggio dell'acqua in superficie. Il processo di arricchimento viene eseguito in un apposito impianto posto sopra la zona di trattamento.

In merito all'arsenico, vi è un nuovo approccio di airsparging in situ in fase sperimentale che ne consentirebbe la rimozione (ossidazione e co-precipitazione) dall'acqua di falda in maniera efficace, ma in presenza di una quantità sufficiente di ferro.

In merito alla contaminazione da azoto ammoniacale, si può fare riferimento ai trattamenti biologici (bioremediation), i quali sfruttano batteri e microorganismi per decontaminare sia suoli che acque di falda. Questi sono in grado di nutrirsi di molti composti chimici organici, degradandoli e trasformandoli in altre sostanze, meno complesse e meno pericolose per la salute umana e per l'ambiente.

Elementi fondamentali per un corretto sviluppo delle comunità batteriche sono un'adeguata temperatura, un corretto pH e la presenza di nutrienti. Per consentire la crescita batterica eterotrofa sono necessari carbonio (presente negli inquinanti organici), azoto e fosforo, mentre per i batteri autotrofi è necessaria la presenza di carbonio inorganico (CO₂).

I processi biologici richiedono, inoltre, la presenza di un accettore di elettroni: ossigeno nel caso di degradazione aerobica e composto chimico (es. solfati, nitrati, idrocarburi) nel caso di degradazione anaerobica.

Possono essere condotti sia in-situ che ex-situ: nel primo caso si utilizzano pozzi o trincee per immettere nel sottosuolo un accettore di elettroni ed eventualmente una soluzione nutriente, consentendo il trattamento sia della falda che del terreno. Nel secondo caso, i trattamenti vengono condotti in reattori appositamente realizzati ed offrono migliori risultati sui contaminanti persistenti e refrattari alla degradazione.

A seconda del tipo di contaminante da rimuovere, i processi biologici applicati possono essere di tipo aerobico (in presenza di ossigeno) oppure anaerobico (in assenza di ossigeno, operati ad esempio da batteri solforiduttori o metanigeni). Nei processi aerobici l'accettore di elettroni è l'ossigeno e questo può essere fornito al terreno sia con l'insufflazione di un gas (aria od ossigeno puro) che disciolto in acqua.

Si parla nel dettaglio di bioventilazione nel caso si operi nella zona insatura e di bioinsufflazione per la zona satura.

In caso di necessità, queste tecniche prevedono l'aggiunta di nutrienti al fine di stimolare la crescita batterica, quali soluzioni di fosfati e composti azotati mediante irrigazione superficiale, trincee drenanti o pozzi di iniezione.

9.2 Descrizione dell'intervento di bonifica scelto

Una volta valutate le tecniche di bonifica potenzialmente applicabili e tenuto conto delle specifiche richieste dell'Amministrazione comunale, la soluzione scelta è risultata essere quella di un processo in-situ di sparging, finalizzato a:

- *“sviluppare nell'area di trattamento una popolazione autotrofa per la completa nitrificazione dell'ammoniaca a nitrato (bio-barriera reattiva nitrificante);*
- *sviluppare una popolazione di batteri eterotrofi per la completa ossidazione della componente organica residua ancora presente in falda;*
- *attivare le reazioni chimiche e biochimiche per l'ossidazione delle forme ridotte di ferro, manganese ed arsenico con la formazione di composti a bassa solubilità che precipitano e vengono intrappolati nella matrice ghiaioso-sabbiosa dell'acquifero;*
- *co-precipitare parzialmente il nichel contestualmente all'abbattimento degli altri metalli”.*

La soluzione prospettata garantisce, dai dati di letteratura e dalle sperimentazioni avviate in laboratorio, un'ottima resa di abbattimento per ione ammonio, manganese e arsenico, mentre il ferro ha fornito una resa di abbattimento estremamente bassa. Il nichel potrebbe presentare efficienze inferiori, in quanto nei test ha presentato un comportamento anomalo, fornendo valori di uscita dalla colonna maggiori di quelli in ingresso.

È stata realizzata, infatti, una sperimentazione in laboratorio dall'Università degli Studi di Trento in collaborazione con il Comune di Pescantina al fine di verificare la trattabilità della falda e le rese di

abbattimento ottenibili in un microcosmo controllato, realizzato con campioni di sottosuolo prelevati da precedenti sondaggi geognostici e di acqua di falda prelevata da uno dei piezometri esistenti.

Nel caso specifico relativo all'impianto di Pescantina, l'ipotesi progettuale prevede l'installazione di una barriera di sparging alimentata ad ossigeno puro, localizzata sulla strada che costeggia la discarica in corrispondenza del vigneto Ferrari.

Il dosaggio di ossigeno viene realizzato mediante una rete di 30 pozzi di iniezione con diffusore ceramico posto sul fondo del primo acquifero, a circa 70/75 m da p.c.

Una rete di 4 piezometri dotati di sonde di misura in continuo dell'ossigeno ed ulteriori 6 piezometri di campionamento consentono il controllo del sistema di aereazione. L'ossigeno viene fornito da un serbatoio di stoccaggio di capacità pari a 10.000 kg, connesso ad un sistema di vaporizzazione ed alla rete di distribuzione.

La successione temporale degli interventi è stata schematizzata in tre fasi funzionali più le operazioni di chiusura:

FASE I: Operazioni preliminari

1. Realizzazione del campo prove con installazione del serbatoio di ossigeno temporaneo
2. Verifica dell'efficienza del processo di sparging e dei parametri operativi

FASE II: Realizzazione della barriera ed installazione del serbatoio definitivo

3. Eventuale ricalibrazione della distanza pozzo-pozzo in funzione degli esiti dei test di campo
4. Realizzazione dell'intero sistema di sparging, con localizzazione dei punti di iniezione e dei piezometri di controllo
5. Ripristino delle quote originarie del terreno del vigneto Ferrari

FASE III: Monitoraggio del processo biologico e dei processi chimico-fisici

6. Monitoraggio dei processi

CHIUSURA: Operazioni conclusive e abbattimento completo del battente di percolato (lotti 5,6,7,8)

7. Fermo impianto e verifica delle acque di falda
8. Monitoraggio per un anno della falda
9. Smontaggio degli impianti dopo certificazione di avvenuta bonifica della parte satura.

Di seguito si riporta una descrizione dei passaggi più rilevanti.

9.3 Operazioni preliminari – impianto pilota

Le operazioni preliminari consistono nella realizzazione di un *impianto pilota* o *campo prove*, al fine di effettuare una sperimentazione sul campo e verificare l'efficienza di quanto ipotizzato teoricamente. Una volta che i monitoraggi daranno una risposta positiva al funzionamento del campo prove, si potrà procedere con la realizzazione dell'intera barriera di sparging, di cui il campo prove ne rappresenterà una prima parte.

Per il funzionamento dell'impianto pilota si utilizza un serbatoio di ossigeno di capacità ridotta rispetto a quello che impiegato una volta che la barriera è completa ed a regime.

Oltre alla posa del serbatoio di ossigeno, che prevede la costruzione di uno specifico basamento in calcestruzzo armato, è necessario posizionare i punti di insufflazione, i piezometri di monitoraggio e realizzare la linea di distribuzione dell'ossigeno ai punti di iniezione.

Nel caso specifico è stata scelta per il campo prove un'area in cui si sono registrati i valori di massima concentrazione di contaminanti e in adiacenza ad un punto di monitoraggio esistente, in modo tale da poter utilizzare i dati storici di monitoraggio per dei confronti. Sono previsti 3 punti di insufflazione ed a valle idrogeologico 4 punti di monitoraggio, sempre dislocati seguendo la direzione di flusso della falda sottostante.

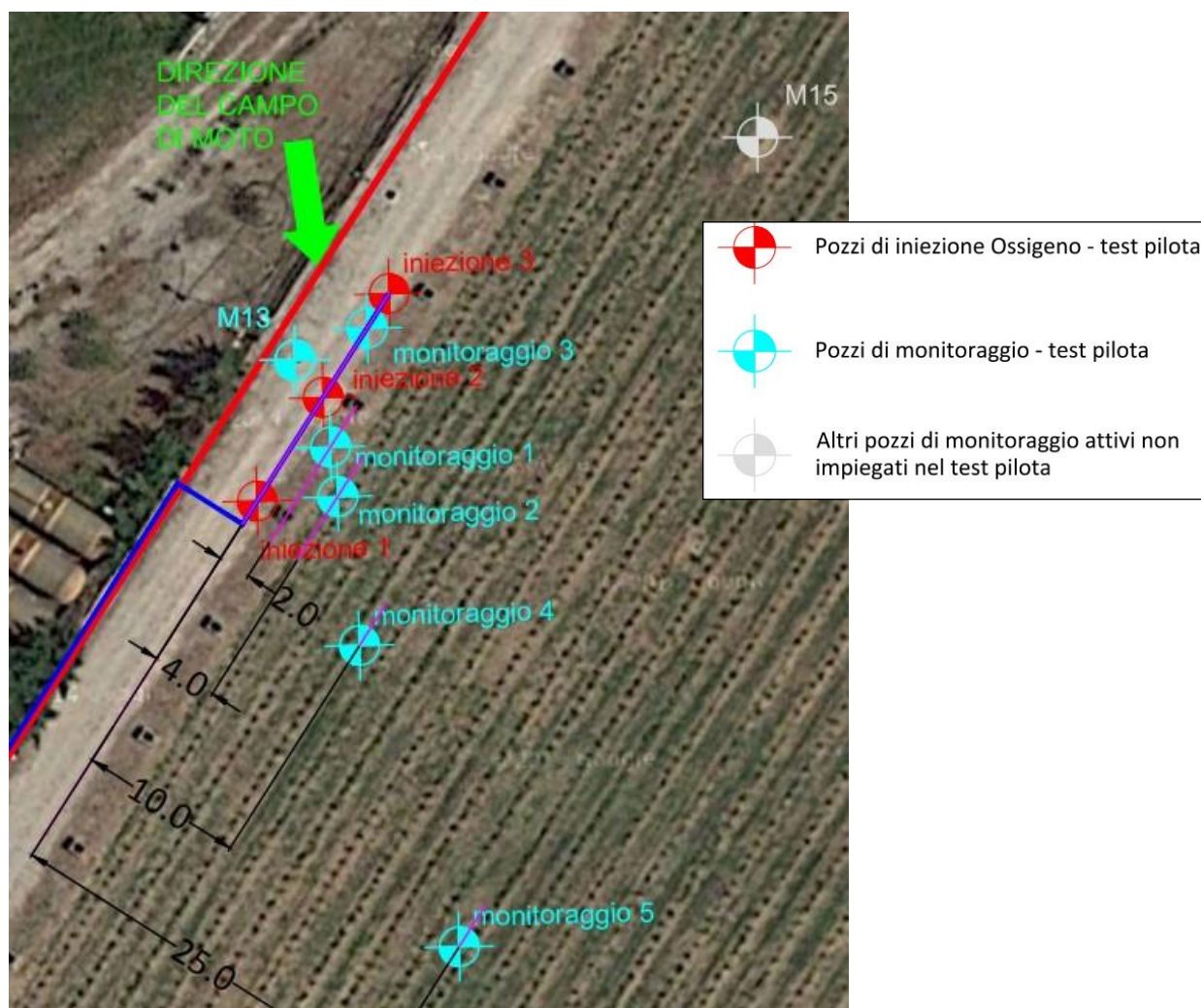


Figura 14: Estratto tav. 03 Planimetria impianto pilota. Progetto operativo di messa in sicurezza Acque di falda. I.S.E.R. S.r.l.

I primi due pozzi, denominati monitoraggio 1 e monitoraggio 2, devono essere dotati di sonda in continuo per la misura e la memorizzazione delle concentrazioni dell'ossigeno disciolto. In questo modo sarà possibile monitorare il flusso di ossigeno disciolto e verificare le prestazioni della barriera attiva.

Una volta installato il campo prove, si procede con l'esecuzione di test sperimentali in campo finalizzati a:

- verificare la capacità di trasferimento dell'ossigeno;
- verificare l'area di influenze del singolo pozzo;
- verificare le prestazioni del trattamento.

A valle di ciò, in base ai dati resi dai test, è possibile apportare modifiche che dovessero rendersi necessarie.

La verifica della capacità di trasferimento dell'ossigeno viene fatta attraverso una prova: viene iniettato ossigeno su un singolo punto (nel caso specifico è iniezione 2) a portata nota ($2 \text{ m}^3/\text{h}$), successivamente si va a misurare nei 4 punti di monitoraggio (monitoraggio 1, 2, 3 e M13) la variazione delle concentrazioni dell'ossigeno disciolto nel tempo.

L'insufflazione di ossigeno viene interrotta una volta che il valore di concentrazione di ossigeno disciolto rilevato da tutte le sonde risulta stabile.

Il test in linea generale dura qualche ora e la frequenza di acquisizione dei dati è, di solito, inferiore ai 30 secondi.

Ciò che si ottiene graficamente è una curva, definita curva di ossigenazione della falda, la quale permette di calcolare la capacità di trasferimento del sistema di aerazione.

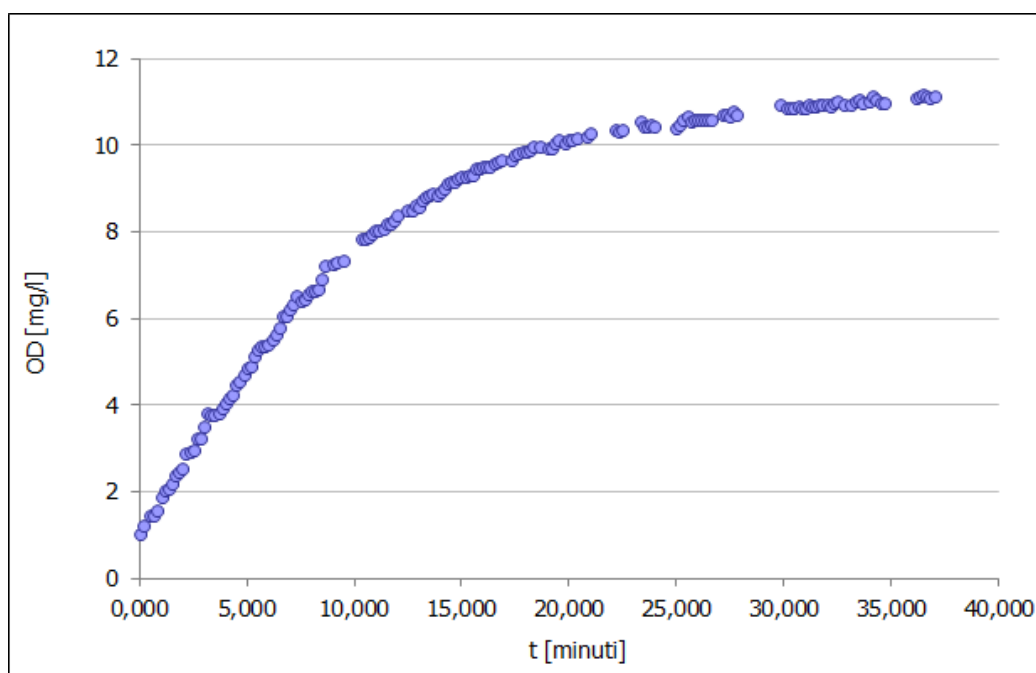


Figura 15: Esempio di andamento della curva di ossigenazione. (Fonte: Progetto operativo di messa in sicurezza Acque di falda. I.S.E.R. S.r.l.)

La verifica dell'area d'influenza avviene in maniera analoga a quanto descritto per verificare la capacità di trasferimento dell'ossigeno: si attiva l'iniezione di ossigeno su un punto singolo e si monitorano i punti circostanti.

Nel caso specifico, il pozzo di iniezione di ossigeno è sempre quello centrale (iniezione 2), mentre il monitoraggio verrà effettuato sui piezometri M13, monitoraggio 1, 2, 3 e 4.

Durante l'esecuzione di questo test oltre alla concentrazione di ossigeno disciolto in falda, si misureranno i livelli piezometrici per evidenziare eventuali effetti di innalzamento, oltre a pressioni e portate di iniezione dell'ossigeno.

Il test, infatti, prevede prove con portate di iniezione e pressioni diverse (definiti gradini di portata). Per ogni gradino di portata si ripetono in ciascun pozzo di monitoraggio le misure sopra indicate a determinati intervalli di tempo. Generalmente, i parametri saranno acquisiti a 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 60, 90, 120 e 180 minuti per poi continuare con cadenza oraria sino alle 12 ore e poi secondo le possibilità sino a 24/48 ore.

Per quanto riguarda la verifica delle prestazioni del trattamento, ovvero se le efficienze in campo sono in linea con le attese ed i risultati di laboratorio, è necessario valutare nel corso dei mesi il funzionamento di una mini-barriera, ovvero il funzionamento dei tre punti di insufflazione realizzati.

I monitoraggi, in questo caso, avvengono in maniera differente nei diversi punti di monitoraggio e secondo la seguente modalità:

- punti di monitoraggio 1 e 2: installazione di un misuratore in continuo per la misura di ossigeno disciolto e redox.
- M13, monitoraggio 3, monitoraggio 4 e 5: misure giornaliere nella prima settimana, ogni due giorni per i primi 21 giorni e settimanali per il resto della fase sperimentale dei parametri temperatura, redox, pH, conducibilità, ossigeno disciolto.
- M13, M15, monitoraggio 2 e monitoraggio 4: prelievo settimanale delle acque di falda ed analisi di azoto ammoniacale, TOC, nitriti, nitrati e metalli.
- M13: monitoraggio mensile dei nutrienti (P,S,K,Mg,Na).

I volumi di ossigeno iniettati e le relative pressioni dovranno essere sempre monitorati e registrati.

È stata stimata una durata di cinque mesi circa per eseguire i test, di cui tre o quattro mesi impiegati per la colonizzazione ed un periodo di test di circa uno o due mesi, al cui termine si valuteranno i risultati ottenuti.

Se i test forniscono risultati positivi e dimostrano l'applicabilità a scala reale del sistema, si può implementare il sistema realizzando l'intera barriera.

Naturalmente terminata la fase sperimentale, i dati ricavati andranno valutati al fine di definire la necessità o meno di apportare delle modifiche impiantistiche/operative.

Successivamente si procede al dimensionamento della barriera, attraverso:

- la stima dell'ampiezza del *plume*, della direzione della falda e della localizzazione della barriera;
- calcolo del flusso di massa dei contaminanti e determinazione della richiesta di ossigeno del sistema;
- dimensionamento dello spessore della barriera;
- dimensionamento dei dispositivi di aerazione.

Risulta fondamentale, infatti, definire la direzione di deflusso della falda. Inoltre, i dati storici dei monitoraggi effettuati forniscono un quadro della contaminazione presente e dell'area interessata.

Nel caso specifico è stato definito come il centro della contaminazione emerge dal perimetro della discarica nell'area compresa tra M13 e M7 dove si colloca, in tutto il periodo analizzato, il picco di contaminazione, che è stata registrata anche in M10. La contaminazione risulta diffusa fino a M6 in direzione sud ed in M12 in direzione nord. Per stabilire l'area interessata, sono stati utilizzati i dati relativi ai contaminanti definiti "traccianti", ovvero manganese e ione ammonio.

Di seguito si riporta il caso dell'azoto ammoniacale.



Figura 16: Distribuzione spaziale della contaminazione di azoto ammoniacale nel 2014. (Fonte: Progetto operativo di messa in sicurezza Acque di falda. I.S.E.R. S.r.l.)

I monitoraggi eseguiti nel 2015 e coordinati dall'Università degli Studi di Trento evidenziano che la contaminazione interessa l'intero sviluppo verticale dell'acquifero; è stato, dunque, stabilito che la barriera attiva, dal punto di vista geometrico, copra spazialmente l'area compresa tra M6 e M12 e si sviluppi su tutta la profondità dell'acquifero.

L'ubicazione più corretta della barriera è risultata essere quella nella porzione più prossima alla sponda est della discarica, ovvero sulla strada del vigneto Ferrari. Per essere maggiormente cautelativi ed avere maggior certezza di intercettare l'intera fascia di contaminazione, è stato scelto di posizionare una parte della barriera anche lungo via Filissine all'incrocio con l'estremità sud della sponda est, creando una sorta di L rovesciata verso ovest.

Così facendo la barriera ipotizzata risulta essere lunga circa 217 m.

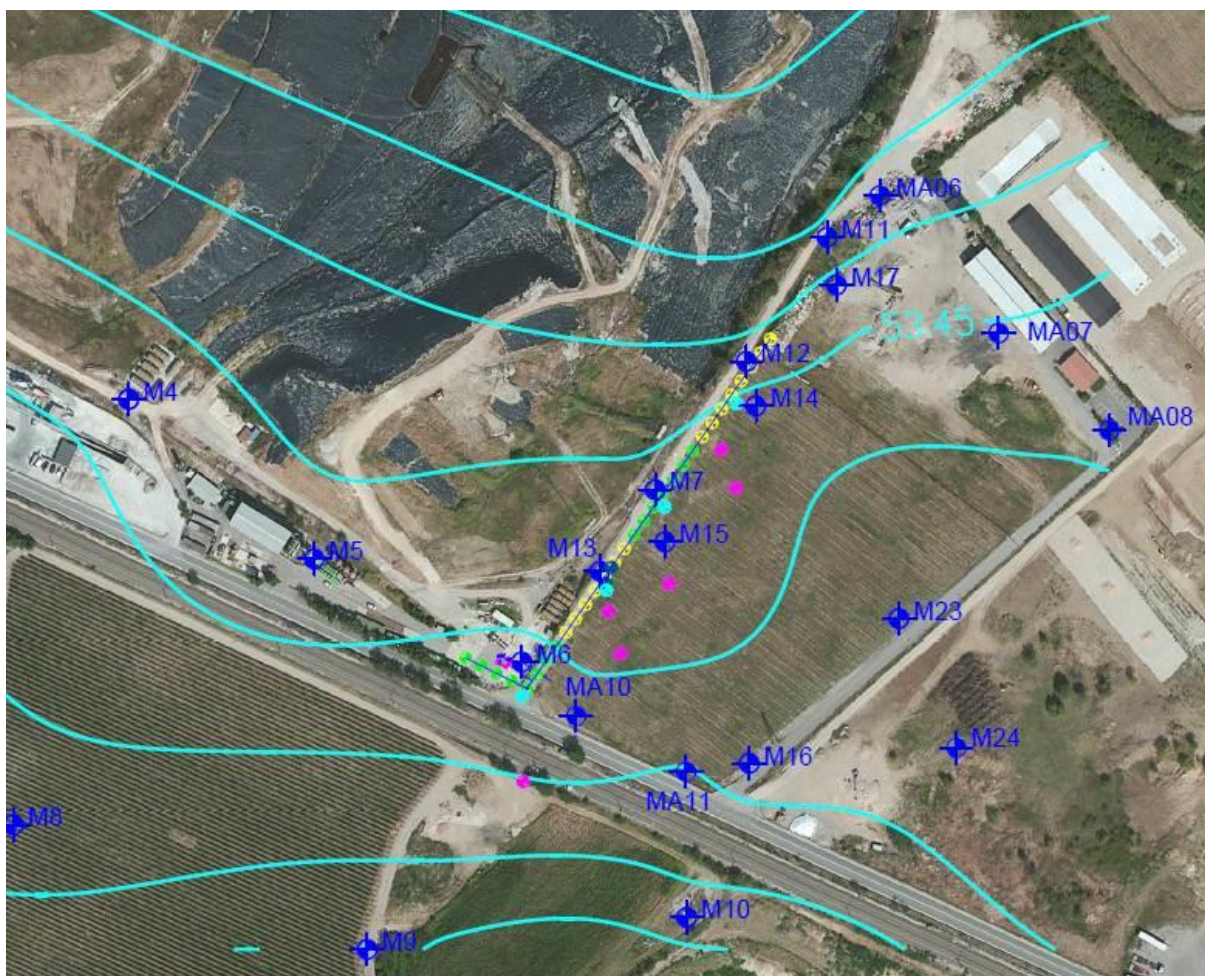


Figura 17: Posizione planimetria della barriera (pozzi indicati in giallo e verde). (Fonte: Progetto operativo di messa in sicurezza Acque di falda. I.S.E.R. S.r.l.)

Come riportato in precedenza, la contaminazione interessa l'intero sviluppo verticale dell'acquifero e quindi i pozzi di insufflazione avranno il tratto di insufflazione posato sulla base del primo acquifero.

Uno dei parametri fondamentali di dimensionamento in un intervento di air sparging è il raggio di influenza (ROI) (raggio di influenza) del singolo punto di iniezione. Ciò è strettamente correlato alla tipologia di sottosuolo presente. I valori riportati nella letteratura per i ROI variano da un minimo 1,5 m in terreni fini fino a 30 m in terreni grossolani.

Dall'analisi geologica dell'area si evince che, generalmente, negli orizzonti dove è presente l'acquifero si trova ghiaia, a tratti sabbia ghiaiosa, con la presenza di alcuni livelli di conglomerato. Sulla base di dati di letteratura, è stato scelto di utilizzare come valore di progetto una distanza tra i punti di iniezione pari a 7,5 m, per un numero totale di punti di iniezione pari a 30.

Naturalmente tale parametro deve essere sempre verificato e confermato nei test dell'impianto pilota.

Come riferito più volte, l'intervento in esame va a "lavorare" sul pennacchio di contaminazione e non sulla sorgente della stessa. I bilanci di massa vanno verificati, dunque, sul trasporto della contaminazione dell'acquifero.

L'area è stata ampiamente studiata e valutata e da dati idrogeologici di studi precedenti è stata ricavata la velocità di falda, che risulta essere a pari 78,8 m/ anno.

In seguito, è stata ricavata la velocità normale di attraversamento della barriera, stimando l'angolo medio di incidenza del flusso liquido sulla barriera. Questi dati, unitamente allo spessore medio dell'acquifero ed alle concentrazioni dei pozzi, sono utilizzati per stimare il flusso di massa della concentrazione e, quindi, il relativo fabbisogno di ossigeno per la degradazione.

Si riporta di seguito la tabella, tratta dalla relazione tecnica di ISER S.r.l., relativa al bilancio stechiometrico di ossigeno calcolato per il caso della discarica di Cà Filissine.

Pozzo	Nichel	Ammoniaca	Arsenico	Manganese	Ferro	Ossidabilità Kubel
Flusso massa totale (g/d)	4,14	13.819,3	6,29	96,2	69,5	4.809,2
Rapporto stechiometrico ossigeno/contaminante	--	4.57	0.22	0.29	0.14	1
Richiesta stechiometrica ossigeno		63.154,2	1,4	27,9	9,7	4.809,2

Figura 18: Bilancio stechiometrico ossigeno.

(Fonte: Progetto definitivo. Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine" Variante sostanziale Aggiornamento n. 1 Rev. 01. Relazione tecnica. Georicerche S.r.l.). Il numero di cifre decimali presente nei valori di concentrazione deriva dal metodo analitico di prova utilizzato dal laboratorio di analisi.

Come si può notare, vi è una notevole differenza fra il fabbisogno di ossigeno richiesto per l'ossidazione di ammoniaca e sostanza organica rispetto a quello richiesto per l'ossidazione di arsenico, manganese e ferro, che risulta quasi trascurabile nel complesso.

Una volta definito il fabbisogno di ossigeno, si procede con il dimensionamento del sistema di aerazione, per definire la portata media di ossigeno da fornire, e delle pressioni di insufflazione.

9.4 Realizzazione della barriera di sparging

Ottenuti riscontri positivi dalle prove sperimentali dell'impianto pilota, è possibile implementare il sistema realizzando l'intera barriera di sparging.

Ciò comporta il posizionamento di un serbatoio di ossigeno di capacità adeguata, la realizzazione dei punti di iniezione dell'ossigeno, dei punti di monitoraggio e la pose delle condotte di ossigeno e di tutti gli altri servizi necessari.

Per garantire una maggior efficienza e flessibilità, la barriera non è pensata come un sistema unico, ma è suddivisa in quattro sezioni o zone denominate area 1, 2, 3 e 4, indipendenti una dall'altra.

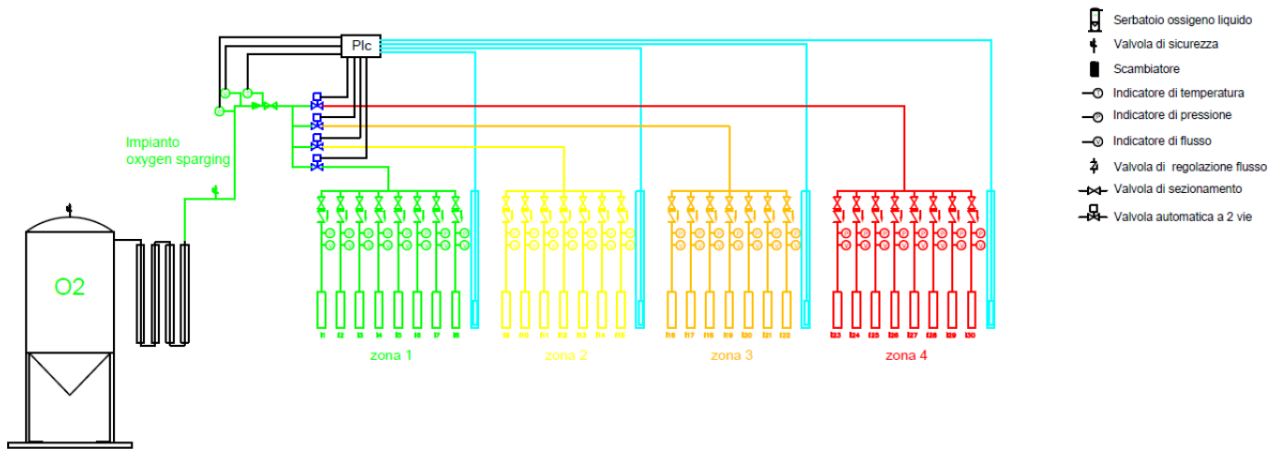


Figura 19: Schema della barriera. (Fonte: Progetto operativo di messa in sicurezza Acque di falda. I.S.E.R. S.r.l.)

Le aree 1 e 4 sono quelle periferiche, composte ciascuna da 8 pozzi; le aree 2 e 3, composte ciascuna da 7 punti di iniezione, sono quelle centrali dove è maggiore il flusso specifico di contaminanti.

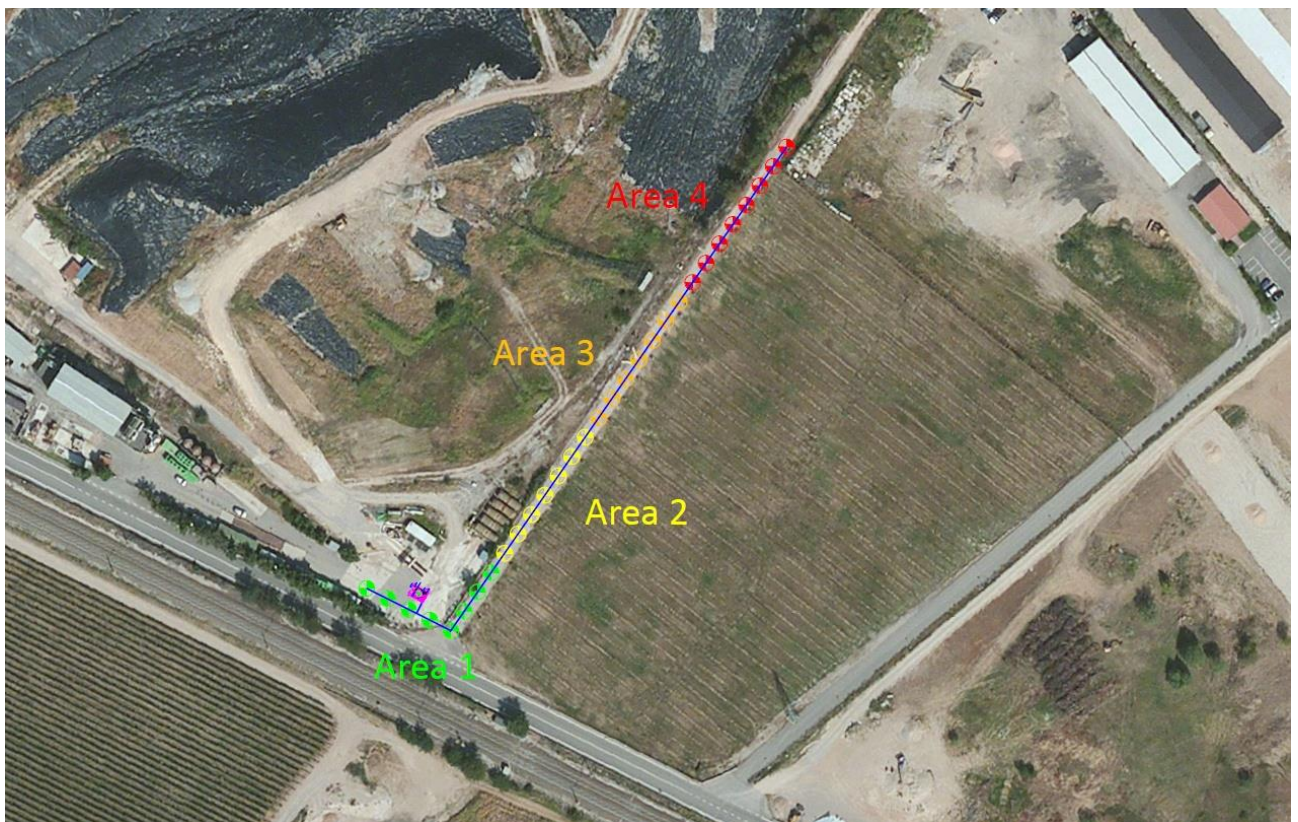


Figura 20: Suddivisione della barriera in zone. (Fonte: Progetto operativo di messa in sicurezza Acque di falda. I.S.E.R. S.r.l.)

Ogni area ha un punto di monitoraggio posto nella parte centrale del tratto e distante 4 metri dall'asse dello sparging, per il monitoraggio in continuo della concentrazione di ossigeno disciolto e del redox.



Figura 21: Planimetria barriera e punti di monitoraggio (Fonte: Progetto operativo di messa in sicurezza Acque di falda. I.S.E.R. S.r.l.)

9.5 Monitoraggi e controlli

I monitoraggi sono fondamentali per poter comprendere l'andamento del processo di bonifica.

Vi sono parametri utili a monitorare la presenza di un ambiente ossidante in falda, necessario per lo sviluppo delle reazioni necessarie al risanamento ricercato, quali la concentrazione di ossigeno disciolto ed il potenziale Redox.

Altri parametri, quali il pH, la concentrazione dei nutrienti principali, la concentrazione dell'azoto ammoniacale e delle altre forme azotate, il TOC ed i metalli, servono per verificare l'andamento del processo di bonifica.

Inoltre, devono essere monitorati e tenuti sotto controllo anche i valori di portata dell'ossigeno, la pressione di insufflazione, ... e tutti i diversi parametri connessi con il funzionamento di un impianto di sparging.

I monitoraggi possono essere distinti fra monitoraggi e controlli dell'impianto di sparging e monitoraggi delle acque di falda.

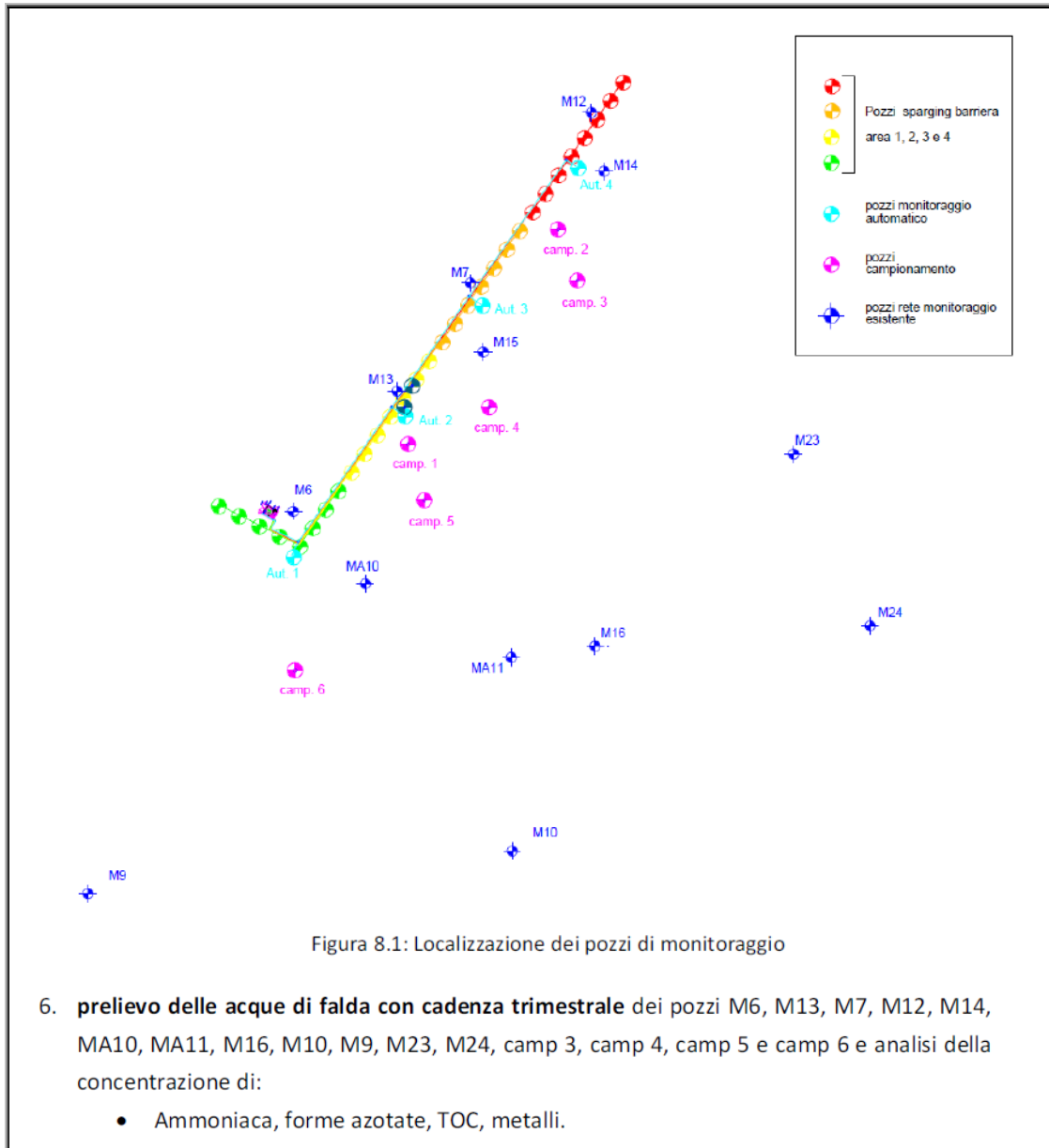
Nel caso dell'impianto di Cà Filissine, i progettisti hanno redatto un protocollo di monitoraggio e sulla base dei risultati dei suddetti monitoraggi i parametri di gestione dell'impianto, quali ad esempio i volumi di ossigeno inviati in acquifero, possono essere modificati, con la finalità di ottimizzare l'intero processo.

Il protocollo prevede il monitoraggio sia dell'impianto di sparging che dell'acqua di falda. I parametri monitorati sono per l'impianto di sparging, ad esempio, la portata iniettata, la temperatura, le pressioni di iniezione di ciascun pozzo ed il quantitativo totale di ossigeno fornito.

Per l'acqua di falda i parametri monitorati sono concentrazione O₂ disciolto, il potenziale Redox, pH, temperatura, conducibilità, azoto ammoniacale, forme azotate, TOC, metalli, conta microbica (UFC), fosforo e potassio.

Si riporta di seguito un estratto del Progetto operativo di messa in sicurezza Acque di falda – Relazione tecnica, redatto da I.S.E.R. S.r.l., relativo al suddetto piano di monitoraggio.

1. **monitoraggio dell'impianto di sparging per i primi 6 mesi**
 - misura e memorizzazione in continuo sul PLC della portata iniettata, della temperatura, della pressione della linea di iniezione e dell'area trattata;
 - misura settimanale delle portate e delle pressioni di iniezione di ciascun pozzo;
 - misura dei quantitativi totali di ossigeno forniti all'impianto;
2. **monitoraggio dell'impianto di sparging dopo i primi 6 mesi**
 - misura e memorizzazione in continuo sul PLC della portata iniettata, della temperatura, della pressione della linea di iniezione e dell'area trattata;
 - misura mensile delle portate e delle pressioni di iniezione di ciascun pozzo;
 - misura dei quantitativi totali di ossigeno forniti all'impianto;
3. **monitoraggio della falda per i primi 6 mesi di funzionamento:**
 - Misura settimanale per il primo mese e quindicinale per i restanti cinque mesi con sonda multiparametrica dei seguenti parametri su tutti i pozzi indicati in Figura 8.1
 - 1) concentrazione O₂ disciolto
 - 2) ORP
 - 3) pH
 - 4) temperatura
 - 5) conducibilità
4. **monitoraggio della falda dopo i primi 6 mesi di funzionamento:**
 - Misura quindicinale con sonda multiparametrica dei seguenti parametri su tutti i pozzi indicati in Figura 8.1
 - 1) concentrazione O₂ disciolto
 - 2) ORP
 - 3) pH
 - 4) temperatura
 - 5) conducibilità
5. **prelievo delle acque di falda con cadenza mensile** dei pozzi camp 6, camp 1, M15, camp 2 e analisi della concentrazione di:
 - Ammoniacale, forme azotate, TOC, metalli, conta microbica (UFC), fosforo e potassio.



In ultimo, in fase di chiusura dell'intervento di bonifica è necessario effettuare dei monitoraggi che attestino e certifichino l'avvenuto raggiungimento degli obiettivi di bonifica.

Una volta terminata la fase di messa in sicurezza della parte est di discarica (lotti 5-6-7-8) ed al raggiungimento dei battenti minimi di percolato, si procederà fermando l'iniezione di ossigeno in falda, si andranno a monitorare i parametri chimico-fisici dei diversi pozzi e le concentrazioni degli inquinanti.

Nel caso in cui i risultati non evidenzino incrementi significativi e rimangano inferiori alle CSR per almeno 2 mesi, si procederà in contraddittorio all'esecuzione di tre campagne di misura con cadenza trimestrale su tutti i pozzi. Se le risultanze analitiche confermeranno il raggiungimento degli obiettivi di bonifica, l'intervento di bonifica potrà essere considerato concluso; in caso contrario il processo di bonifica sarà riattivato.

10. COPERTURA DEFINITIVA DEL CORPO RIFIUTI

Una volta che il corpo rifiuti si sarà completamente stabilizzato, sia biologicamente, sia dal punto di vista degli assestamenti, si potrà procedere con la chiusura finale della discarica mediante la realizzazione della *copertura definitiva*.

Tale copertura superficiale finale ha lo scopo di separare i rifiuti dall'ambiente esterno, limitare e controllare l'infiltrazione di acqua nell'ammasso di rifiuti e le emissioni di biogas.

Sarà realizzata una volta che il corpo rifiuti risulterà completamente stabilizzato biologicamente e si saranno conclusi gli assestamenti dell'ammasso di rifiuti RSU, assestamenti monitorati con misurazioni topografiche a cadenza costante.

La copertura definitiva della discarica sarà costituita, dal basso verso l'alto, dai seguenti strati:

- un geotessile tessuto non tessuto (1.000 gr/mq) posto a protezione dello strato superiore di argilla;
- strato di impermeabilizzazione minerale composto da 50 cm di argilla compatta al fine di isolare l'ammasso dei rifiuti;
- un geotessile tessuto non tessuto (1.000 gr/mq) posto a protezione dello strato inferiore di argilla;
- un telo in HDPE (ad aderenza migliorata), con spessore di 2,5 mm; ha lo scopo di contribuire a minimizzare le infiltrazioni di percolato nel corpo discarica;
- strato drenante minerale composta da 50 cm di ghiaia (16-32 mm) per il drenaggio delle acque meteoriche di infiltrazione dalla copertura;
- geotessile filtrante, con funzione filtrante e protettiva;
- strato vegetativo di copertura finale composto da 100 cm di terreno vegetale.

Lo strato di rottura capillare del biogas (che il D.Lgs. 36/03 e ss.mm.ii., fissa in 50 cm) è sostituito dagli argini perimetrali di contenimento che saranno realizzati in materiale tecnico a granulometria elevata proprio per garantire la funzionalità di captazione di eventuali biogas che si dovessero formare all'interno del nuovo corpo rifiuti.

11. CONSIDERAZIONI FINALI

Obiettivo dell'intervento è la messa in sicurezza permanente della discarica Cà Filissine e la bonifica della falda sottostante dalla contaminazione in atto, con il rientro al di sotto dei valori CSC di riferimento.

Dopo valutazioni fondate sulle caratteristiche del sito e della contaminazione, dopo aver considerato l'applicabilità di diverse tecniche di bonifica ed i costi correlati alle stesse, il team di progettazione in accordo con l'Amministrazione comunale ha scelto di applicare la tecnica di airsparging al sito in esame.

Questa tecnica presenta sia aspetti positivi che negativi. Un aspetto sicuramente favorevole è la resa di abbattimento di alcuni dei composti principali, oltre al fatto che non necessita di movimentare grandi quantità di acqua come nelle tecniche ex-situ.

Sulla base dei dati di letteratura e dei risultati ottenuti dalla sperimentazione in laboratorio svolta dall'Università degli Studi di Trento, si può sostenere, infatti, che l'impianto di airsparging fornisce risultati incoraggianti per alcuni dei contaminanti presenti, in particolare per lo ione ammonio, il manganese e l'arsenico, che nella sperimentazione in laboratorio hanno presentato rese di abbattimento rispettivamente del 99,7%, 97,4% e 86,3%. La tecnica non fornisce riscontri consistenti per quanto riguarda il ferro, con resa di abbattimento pari al 7% circa.

Il nichel nella sperimentazione ha presentato un comportamento definito come "anomalo", in quanto ha presentato un notevole arricchimento in concentrazione lungo lo sviluppo della colonna. Una possibile spiegazione è legata all'eventualità che vi sia stata una contaminazione pregressa del reattore che ha ceduto il nichel al flusso di acqua.

I risultati della sperimentazione in laboratorio sono incoraggiante anche per il trattamento del mercurio in quanto risulta abbattuto per quasi il 90%.

Si ricorda, però, che il progetto di bonifica e messa in sicurezza esposto in questa sede, anche se è stato autorizzato dalle competenti autorità, non è stato realizzato e non sono quindi disponibili i dati "reali" di funzionamento della tecnica di sparging; non è dunque possibile effettuare un confronto fra le rese stimate in laboratorio e quelle effettive derivanti dalla messa in esercizio dell'impianto.

Un altro fattore positivo correlato all'intervento progettato è il fatto che non è necessario, in quanto intervento in-situ, movimentare acque di falda, rifiuti o terre potenzialmente contaminate, che poi dovrebbero essere trattate (se possibile) o conferite in apposite discariche, contribuendo ad aumentare i costi.

La movimentazione di questi rifiuti comporterebbe anche rilevanti problemi in termini di odori, circostanza che l'Amministrazione comunale voleva assolutamente evitare per limitare il più possibile i disturbi arrecati alla popolazione locale.

Sempre in relazione alla questione odori e disturbo alla popolazione, era già stata scartata in precedenza l'ipotesi di riaprire la discarica e movimentare i rifiuti per mettere a giorno l'impermeabilizzazione di fondo per la ricerca della rottura (o più punti di rottura). Da un punto di vista tecnico, essendoci una perdita potrebbe essere corretto pensare di trovare la perdita e ripristinare l'integrità dell'impermeabilizzazione di fondo, così da interrompere il flusso di percolato nel sottosuolo. Un simile intervento presenterebbe costi elevati, significativi impatti ambientali (in particolare sulla popolazione), comporterebbe lo spostamento di un ingente quantitativo di rifiuti ed il problema di trovare dove collocarli. Inoltre, la resa dipenderebbe dall'affidabilità della localizzazione della perdita, che è solamente stata stimata in base alle elaborazioni dei dati di monitoraggio ed alla direzione di flusso della falda calcolata.

Una possibile critica al progetto di bonifica così come è stato ipotizzato deriva, invece, dall'aver considerato solamente i contaminanti definiti "principali" e, nonostante ciò, il trattamento di sparging non fornisce rese di abbattimento alte e significative per tutti. La gamma di inquinanti trattati con successo risulta ancora più limitata.

Non sono stati presi in considerazione alcuni composti rilevati in alcuni campionamenti, come il tetracloroetilene, i cianuri, il mercurio, il clorometano, il cloruro di vinile ed i clorofenoli.

Si precisa che cianuri, mercurio, clorometano, cloruro di vinile e clorofenoli sono stati rinvenuti solo in alcune campagne di monitoraggio e solo dal laboratorio ARPA e non dal laboratorio di parte del gestore della discarica. Vista la presenza saltuaria degli stessi e l'esser stati rinvenuti solamente da un laboratorio, ha fatto pensare a possibili errori analitici o di contaminazione dei campioni. La definizione dei contaminanti oggetto di intervento è stata, dunque, realizzata filtrando i dati di diversi laboratori a volte discordanti.

A titolo informativo si precisa che successivamente alla presentazione del progetto è stato richiesto l'aggiornamento dei composti da ricercare, in particolare è stato inserito il monitoraggio dei PFAS che prima non era mai stato eseguito. I campionamenti seguenti hanno rilevato la presenza di tali composti nei piezometri sia a monte che a valle della discarica, ma per questi l'intervento di sparging risulterebbe assolutamente inefficace.

Una criticità del progetto è connessa alla riapertura della coltivazione della discarica con il conferimento di ulteriori rifiuti, anche se non pericolosi. Questo aspetto risulta, però, necessario sia per correggere la morfologia della discarica (per farlo serve del materiale da posizione in copertura), sia per ricavare i fondi economici necessari a sostenere l'intervento, aspetto questo prevalente.

L'idea, però, di conferire nuovi rifiuti in una discarica posta sotto sequestro per l'inquinamento della falda sottostante ha incontrato molte resistenze da parte dell'opinione pubblica, suscitando un forte dissenso e molte critiche. In merito a tale aspetto, il 21 luglio 2017 il ministero dell'Ambiente ha emanato un DPCM che prevede uno specifico stanziamento (circa 65.000.000 euro) per le attività di messa in sicurezza del sito, così da non dover ricorrere al conferimento di nuovi rifiuti.

Un aspetto da non sottovalutare è quello economico, fondamentale nel definire se un intervento possa essere realizzato o meno.

Quando si opera in una situazione di contaminazione, e più in generale quando gli interessi umani incontrano la necessità di tutela ambientale, risulta necessario "scendere a patti", cercando di realizzare la soluzione migliore possibile applicando la miglior tecnologia disponibile, ma tenendo in considerazione la questione economica, il contesto in cui si opera e le richieste delle amministrazioni locali, le quali a loro volta fanno proprie le perplessità e le richieste della popolazione.

Nel caso della ex discarica controllata denominata "Ca' Filissine" di Pescantina, l'obiettivo è stato quello di fornire un progetto di bonifica e messa in sicurezza che affrontasse il problema della contaminazione della falda, con una richiesta economica limitata ed apportando il minor disturbo possibile alla popolazione locale.

In conclusione, l'intervento proposto risulta essere un corretto compromesso fra le necessità di bonifica e le richieste dell'amministrazione comunale in quanto minimizza i possibili disturbi alla popolazione, limita gli oneri di intervento e tratta i contaminanti principali.

12. BIBLIOGRAFIA

Boni M.R., Collivignarelli C., Vagliasindi F.G.A. (2014). Siti contaminati. Esperienze negli interventi di risanamento. Edizioni CSISA.

Gorla M. (2012). Siti contaminati. Caratterizzazione - Analisi di rischio. Tecniche di disinquinamento. Dario Flacovio Editore

ISER S.r.l., Dallago L. (2015). Progetto operative di messa in sicurezza acque di falda. Are discarica Cà Filissine. Relazione tecnica.

Georicerche S.r.l. (2015). Progetto definitivo. Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine" Variante sostanziale Aggiornamento n. 1 Rev. 01.

Georicerche S.r.l. (2015). Progetto definitivo. Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine" Variante sostanziale Aggiornamento n. 1 Rev. 01. Relazione tecnica.

Georicerche S.r.l. (2015). Progetto definitivo. Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine" Variante sostanziale Aggiornamento n. 1 Rev. 01. Relazione illustrativa della proposta progettuale.

Georicerche S.r.l. (2015). Bonifica e messa in sicurezza permanente della discarica controllata denominata "Cà Filissine". Variante sostanziale - Aggiornamento n.1 - Rev. 01. SIA-Quadro di riferimento ambientale. Caratterizzazione).

Andreottola (2015). Linee Guida Operative per la definizione del progetto complessivo di messa in sicurezza e bonifica della discarica di Ca' Filissine.

Studio Dell'Acqua & Associati (2012). Approfondimenti del piano di caratterizzazione dell'ambito di progetto ed indicazioni relative alla caratterizzazione delle aree poste ad est dello stesso.

Studio Dell'Acqua & Associati (2012). Report: Approfondimenti del piano di caratterizzazione dell'ambito di progetto ed indicazioni relative alla caratterizzazione delle aree poste ad est dello stesso.

Studio Dell'Acqua & Associati (2013). Bonifica e messa in sicurezza permanente della ex discarica controllata denominata "Cà Filissine". Studio di Impatto Ambientale.