

POLITECNICO DI MILANO

SCUOLA DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E TERRITORIALE

*Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio
Environmental and Land Planning Engineering*



POLITECNICO
MILANO 1863

La bonifica della cava “Ghiaie di Mezzo” a Noceto (PR)

Relatrice:

Prof.ssa Sabrina Saponaro

Correlatore:

Ing. Giorgio Bressi

Tesi di Laurea Magistrale di:

Simone CORNA

Matricola 841927

Anno Accademico 2016/2017

Ringraziamenti

Voglio ringraziare innanzitutto Giorgio per avermi proposto questo progetto, per l'aiuto costante, i preziosi consigli e per avermi insegnato davvero molto. Ringrazio anche Elisabetta e Stefano per il loro aiuto durante tutte le fasi del lavoro svolto.

Ringrazio la professoressa Sabrina Saponaro per aver supervisionato il lavoro e per avermi indirizzato verso questo tipo di esperienza.

Ringrazio i miei amici del Politecnico per i consigli reciproci e per i bei momenti passati insieme, rendendo indimenticabili le giornate, altrimenti noiose, trascorse in università.

Ringrazio mio papà Fulvio, mia mamma Stefania e mio fratello Luca per aver creduto in me, per avermi sempre supportato e, soprattutto, sopportato.

Ringrazio i miei nonni e tutta la mia famiglia per avermi sempre sostenuto.

Ringrazio Silvia, con la quale ho passato ogni singolo giorno aiutandoci a vicenda nello studio, per il supporto durante il periodo di tesi e per avermi sempre aiutato nei momenti più difficili. Ogni momento passato con te è una gioia.

Indice

Indice delle figure	vii
Indice delle tabelle	ix
Allegati	xi
Tavole	xi
Abstract	xiii
1 Introduzione	1
2 Descrizione dei rifiuti da cartiera	2
2.1 Il ciclo produttivo dell'industria cartaria	2
2.1.1 Fase di pulping	3
2.1.2 Produzione da carta da macero	5
2.2 La produzione di fanghi di cartiera	5
3 Inquadramento normativo	8
3.1 Normativa europea	8
3.2 Normativa nazionale	11
4 La produzione di Ecocal Green	15
4.1 Il ciclo produttivo della BSB Prefabbricati	15
4.2 Autorizzazione	17
4.3 Caratteristiche dei fanghi di cartiera ritirati	18
4.4 Caratteristiche tecniche ed ambientali dell'Ecocal Green	22
4.5 Il passaggio da rifiuto a prodotto ("End of Waste")	24
5 La situazione attuale della cava "Ghiaie di Mezzo"	26
6 Piano di caratterizzazione e risultati	35
6.1 Modello concettuale preliminare	35
6.1.1 Sorgenti di contaminazione	35
6.1.2 Vie di migrazione	37
6.1.3 Bersagli della contaminazione	38
6.2 Piano di indagine	38
6.2.1 Indagini eseguite sui terreni	38
6.2.2 Indagini eseguite su Ecocal Green	43
6.2.3 Indagini eseguite sulle acque di falda	44
6.3 Modello concettuale definitivo	47
6.3.1 Potenziali fonti di contaminazione	48

6.3.2	Grado di estensione della contaminazione del suolo	49
7	Ipotesi progettuali	50
7.1	Rimozione totale del materiale non conforme	50
7.2	Desorbimento termico.....	51
7.3	Lavaggio fisico del suolo (soil washing e soil flushing)	55
7.3.1	Soil washing.....	55
7.3.2	Soil flushing.....	58
7.4	Messa in sicurezza permanente - capping.....	59
7.5	Valutazioni finali	62
8	Proposta progettuale	63
8.1	Intervento di Messa In Sicurezza Permanente.....	63
8.1.1	Predisposizione dell'area	64
8.1.2	Impermeabilizzazione del fondo dell'area.....	66
8.1.3	Collaudo di fondo scavo.....	67
8.1.4	Impermeabilizzazione superficiale del cumulo	68
8.1.5	Gestione dell'eventuale biogas	69
8.1.6	Sistema di drenaggio delle eventuali acque di infiltrazione.....	71
8.1.7	Sistema di allontanamento delle acque piovane	71
8.2	Analisi di Rischio.....	72
8.2.1	Finalità dell'Analisi di Rischio.....	72
8.2.2	Definizione dei dati di input.....	73
8.2.3	Calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica	81
9	Conclusioni.....	90
	Bibliografia	93

Indice delle figure

Figura 2.1. Processo di produzione della carta (Confederation of European Paper Industries, 2009)	2
Figura 2.2. Distribuzione delle tipologie di rifiuti generati dall'industria cartaria (Assocarta, 2016)	6
Figura 2.3. Destinazione dei fanghi di cartiera (Assocarta, 2016)	7
Figura 3.1. Schema dell'economia circolare (Commissione Europea, Direzione Generale Ambiente).....	9
Figura 5.1. Ubicazione dell'area	26
Figura 5.2. Sezione idrostratigrafica est-ovest sulla trasversale Noceto-Madregolo .	27
Figura 5.3. Campo di flusso della falda.....	28
Figura 5.4. Ubicazione dei piezometri	31
Figura 6.1. Distribuzione del manganese in provincia di Piacenza, anno 2009 (conc, media annua in µg/l)	36
Figura 6.2. Ubicazione dei punti d'indagine.....	39
Figura 6.3. Ubicazione di tutti i piezometri installati nei pressi dell'area.....	45
Figura 7.1. Stratigrafia della in sicurezza permanente – Capping.....	60
Figura 8.1. Rilievo dell'attuale stato di fatto della cava con evidenziazione dell'area ritombata con Ecocal Green	64
Figura 8.2. Planimetria dell'area ad intervento ultimato	65
Figura 8.3. Oscillazione del livello della falda e quota di posa della superficie impermeabilizzante	66
Figura 8.4. Sezione della barriera impermeabilizzante del fondo.....	67
Figura 8.5. Sezione della barriera impermeabilizzante superficiale	69
Figura 8.6. Pozzo in calcestruzzo forato in cui vengono inserite le tubazioni verticali del sistema di intercettazione del biogas	70
Figura 8.7. Schema di applicazione dell'AdR	73
Figura 8.8. Schema del modello concettuale.....	76
Figura 8.9. Dimensioni dell'area.	78
Figura 8.10. Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda.....	78
Figura 8.11. Estensione della sorgente nella direzione principale del vento e in quella ortogonale.....	79

Indice delle tabelle

Tabella 3.1. Classificazione dei rifiuti in base all'origine.....	13
Tabella 4.1. Quantitativo di fanghi ritirati.....	19
Tabella 4.2. Valori di concentrazione risultanti dalle analisi sul rifiuto tal quale.....	20
Tabella 4.3. Valori di concentrazione nell'eluato risultanti dai test di cessione	21
Tabella 4.4. Valori di concentrazione nell'eluato risultanti dai test di cessione effettuati sull'Ecocal Green.....	23
Tabella 7.1. Costi per la rimozione totale del materiale non conforme	51
Tabella 8.1. Superamenti rilevati nel suolo profondo.....	74
Tabella 8.2. Calcolo del gradiente idraulico	76
Tabella 8.3. Granulometria del terreno	77
Tabella 8.4. Valori del parametro p	81
Tabella 8.5. Valori limite di rischio.....	84
Tabella 8.6. Analisi di sensitività sul mix di idrocarburi.....	87
Tabella 8.7. Analisi di sensitività sul valore di foc.....	88
Tabella 8.8. Calcolo del rischio e della CSR per la falda.....	89

Allegati

Allegato 1. Risultati delle analisi di caratterizzazione effettuate sull'Ecocal Green

Allegato 2. Risultati dei test di cessione effettuati sull'Ecocal Green

Tavole

Tavola 1. Rete di captazione del biogas

Tavola 2. Rete di captazione del percolato

Tavola 3. Pendenza attribuita alle superfici per il deflusso delle acque piovane

Abstract

A seguito dell'attività di escavazione di una cava di ghiaia nei pressi del comune di Noceto (PR), la cava è stata parzialmente ritombata utilizzando un materiale composto principalmente da fanghi di cartiera e limo, denominato Ecocal Green. L'attività di coltivazione da cava ha reso necessario un monitoraggio dell'acqua di falda sottostante, dal quale è emerso uno stato di contaminazione da manganese. È stato stilato un Piano di Caratterizzazione del sito che ha portato a identificare una sorgente primaria di contaminazione, costituita dall'Ecocal Green, ed una sorgente secondaria di contaminazione, corrispondente a terreno non conforme. Sono state valutate diverse soluzioni progettuali finalizzate alla gestione della fonte primaria di contaminazione ed è stato proposto un intervento di Messa in Sicurezza Permanente (MISP) dell'Ecocal Green: il progetto prevede la rimozione del materiale dall'attuale posizione e la rideposizione in cumulo sulla zona della cava non ritombata con Ecocal Green, in posizione tale da non poter essere lambito dall'acqua di falda sottostante. È stata prevista la completa impermeabilizzazione del cumulo, sia per evitare infiltrazioni di acqua piovana sia a scopo cautelativo nei confronti di un'eccezionale risalita della falda. In aggiunta, il progetto prevede la realizzazione di un sistema di trattamento del biogas eventualmente prodotto dal materiale a seguito di biodegradazione e un sistema di raccolta dell'eventuale percolato che potrebbe formarsi e accumularsi sul fondo impermeabile sotto il cumulo. L'intera area di cava verrà dotata di una pendenza tale da permettere la raccolta delle acque piovane in apposita vasca. Infine, per quanto concerne la contaminazione del terreno, è stata applicata la procedura di Analisi di Rischio sito-specifica per la determinazione delle concentrazioni di soglia di rischio (CSR): sono state svolte diverse simulazioni utilizzando i dati a disposizione e formulando differenti ipotesi sui dati che non è stato possibile acquisire.

Keyword: siti contaminati, messa in sicurezza permanente, analisi di rischio, manganese.

1 Introduzione

Nel 2010 la società Dante Bellicchi S.r.l. ha ottenuto l'autorizzazione per la coltivazione di una cava di ghiaia ubicata in località Ghiaie di Mezzo, nel comune di Noceto (PR). Il progetto prevedeva, al termine dell'attività di escavazione, il ritombamento del sito con materiali di riempimento sia naturali che artificiali; in particolare veniva contemplata la possibilità di impiegare un materiale composto principalmente da fanghi di cartiera e limo, denominato Ecocal Green.

Le attività di coltivazione e ritombamento sono state costantemente monitorate, da una parte mediante il controllo delle quote raggiunte e dall'altra mediante costante monitoraggio dell'acqua di falda sottostante e della qualità dei materiali impiegati per il riempimento. Nella fase di riempimento sono stati impiegati materiali che potevano essere causa di contaminazione delle acque di falda e dei suoli naturali presenti in sito al di sotto del materiale di riempimento.

Gli Enti di controllo hanno quindi innanzitutto richiesto all'impresa di presentare un Piano di Caratterizzazione del sito in esame, con l'obiettivo di individuare e quantificare l'eventuale grado di inquinamento dell'area. E' stato quindi stilato un modello concettuale preliminare dell'area, individuando le sorgenti di contaminazione, le vie di migrazione ed i possibili bersagli; è stato inoltre predisposto ed attuato un piano di investigazione, che ha permesso di definire un modello concettuale definitivo. Sono state quindi identificate la sorgente primaria di contaminazione, costituita dall'Ecocal Green, e la sorgente secondaria di contaminazione, corrispondente a terreno con conforme alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) per uso commerciale/industriale di cui al D.Lgs. 152/06.

Il presente lavoro ha lo scopo di:

- 1) valutare le possibili soluzioni progettuali necessarie alla gestione della fonte primaria di contaminazione, tenendo conto di efficacia e fattibilità economica;
- 2) valutare, anche tramite l'applicazione dell'Analisi di Rischio, l'esistenza di un potenziale pericolo di contaminazione delle acque di falda e/o per la salute umana;
- 3) individuare la scelta progettuale più adatta a costi economici sostenibili;
- 4) progettare la messa in sicurezza permanente (MISP) dell'Ecocal Green presente in sito.

2 Descrizione dei rifiuti da cartiera

L'industria cartaria è il settore manifatturiero composto dalle cartiere all'interno delle quali avviene la produzione di carta, cartoni e paste per carta. Nel panorama dell'economia italiana, occupa una posizione importante con una produzione di carta di oltre 8,6 milioni di tonnellate nel 2014 e un fatturato di 6,75 miliardi di euro nello stesso anno (Assocarta, 2015).

2.1 Il ciclo produttivo dell'industria cartaria

La carta è formata da un sottile strato di fibre di cellulosa, sovrapposte e pressate, che si ricavano dal legno; a sua volta questo è composto da acqua per il 50%, mentre la restante frazione solida è costituita da cellulosa (45%), emicellulosa (25%), lignina (25%) e altri materiali (5%) (Confederation of European Paper Industries, 2014).

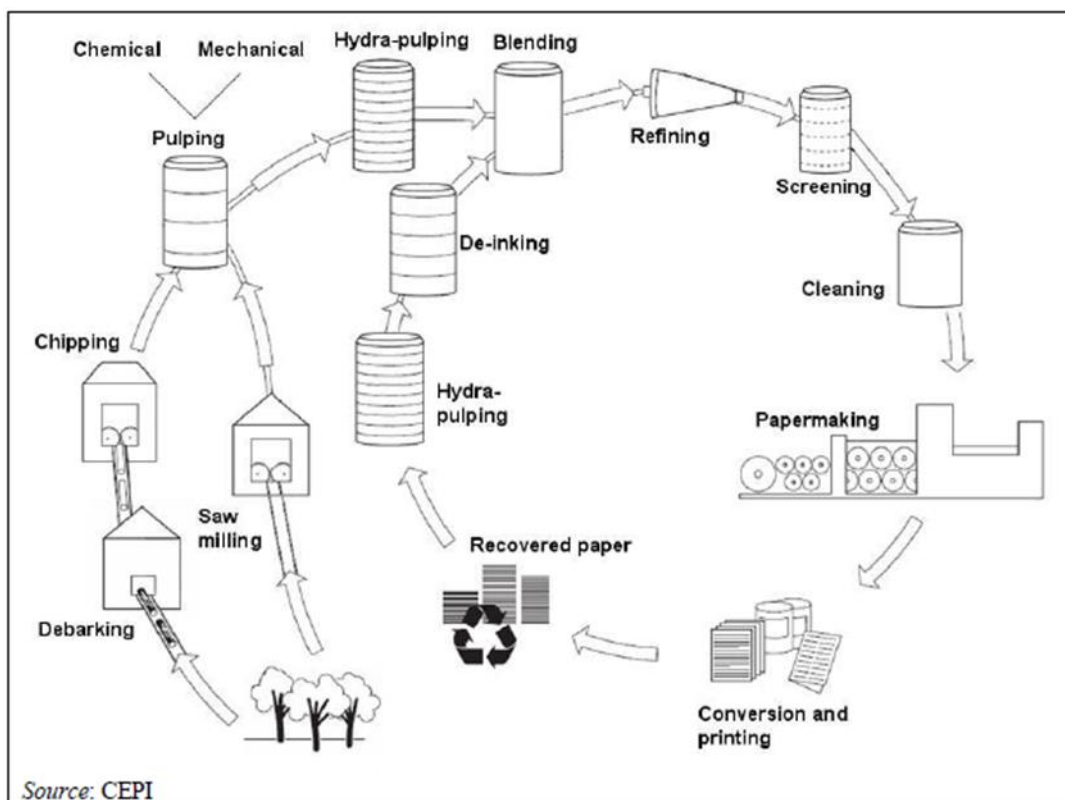


Figura 2.1. Processo di produzione della carta (Confederation of European Paper Industries, 2009)

Nel processo di fabbricazione della carta, schematizzato in Figura 2.1, il legno viene scortecciato e ridotto in piccoli pezzi, detti *chip*. Successivamente viene aggiunta acqua e, per mezzo di processi meccanici o chimici, la lignina viene sfibrata fino ad avere solamente fibre di cellulosa (fase di *pulping* o spappolamento). Il prodotto intermedio che si ottiene alla fine di questo primo processo è una polpa di fibre di cellulosa. Le fibre sono successivamente sottoposte a vagliatura e pulitura e, infine, mischiate con acqua. L'impasto così ottenuto viene mandato su una rete metallica la quale, con rapidi movimenti di tipo vibrazionale, lascia cadere l'acqua attraverso la rete, mentre le fibre tendono a legarsi tra loro. Il materiale ottenuto viene poi pressato così da eliminare ulteriori residui di acqua e in modo tale da renderlo liscio. Infine, la carta viene essiccata, rimuovendo tutta l'acqua che non è stato possibile eliminare tramite azione meccanica, e pressata in rulli di diametro via via inferiore che le conferiscono la forma di fogli (Suhr et al., 2015).

La polpa di cellulosa che si ottiene al termine del processo di *pulping* può essere prodotta, secondo le modalità prima descritte, a partire da fibre vergini oppure, in alternativa, dal rispappolamento della carta da macero. In Europa più del 50% delle fibre usate nella produzione della carta provengono da carta riciclata (Suhr et al., 2015). In questo caso le fibre devono essere pulite da eventuali contaminanti e talvolta deinchiostrate, a seconda della qualità del materiale riciclato e dei requisiti che il prodotto finale dovrà soddisfare. Bisogna tenere conto che le fibre da carta riciclata vanno sempre utilizzate insieme a quelle provenienti da legno vergine, poiché sono queste ultime ad assicurare resistenza alla carta che viene prodotta. Inoltre le fibre possono essere riutilizzate un numero limitato di volte, essendo soggette a *downcycling*, fenomeno che comporta l'indebolimento e la frammentazione delle fibre a seguito dell'uso ripetuto all'interno del ciclo produttivo.

2.1.1 Fase di *pulping*

Particolare approfondimento merita la fase di *pulping*, la più articolata dell'intero processo. Il procedimento di estrazione delle fibre di cellulosa comporta l'isolamento dagli altri componenti del vegetale, in particolare dalla lignina. Il tipo di processo impiegato incide significativamente sulla qualità e sulle prestazioni della cellulosa stessa; inoltre, a seconda del tipo di processo, si ottengono diverse tipologie di pasta di carta: pasta meccanica, pasta chimica, pasta semichimica. Nel primo caso si opera la sola separazione meccanica delle fibre che rimangono quindi avvolte in uno strato di lignina; negli altri casi si procede con una, più o meno spinta, rimozione della

lignina che viene disciolta attraverso l'azione combinata di agenti chimici, calore e pressione all'interno di autoclavi di grosse dimensioni.

Il *pulping* può essere realizzato tramite processi di tipo meccanico o chimico. Nel *pulping* di tipo meccanico il legno, già ridotto in *chips*, viene scortecciato e pressato in presenza d'acqua, per mezzo di una mola rotante e abrasiva. Si ottiene una pasta (detta pastalegno) che viene inviata a un raffinatore, il cui scopo è di renderla idonea a formare un foglio di carta avente le caratteristiche desiderate (Jacobucci, 1998), e successivamente sbiancata con perossido di idrogeno (H_2O_2). Dal momento che il processo non prevede grandi scarti di materiale, la resa risulta particolarmente elevata, pari a circa il 95%.

Nel caso del *pulping* chimico, la pasta chimica viene prodotta cuocendo i *chips* di legno in un digestore assieme a prodotti chimici che hanno la funzione di dissolvere la lignina così da rendere possibile il distacco e la liberazione delle fibre. I processi chimici adottati sono di due tipologie:

- processo al solfito: i *chips* vengono sottoposti ad attacco chimico con soluzioni acquose di biossido di zolfo, solfiti e bisolfiti ad alta pressione ed alte temperature.
- processo al solfato o *kraft*: è il processo chimico più utilizzato poiché permette di ottenere carta più resistente e può essere applicato a tutti i tipi di legno. Le fibre sono liberate dal legno nel momento in cui la lignina e parte dell'emicellulosa sono dissolte utilizzando una soluzione chimica ad alte temperature che porta ad una sorta di “cottura”. Gli agenti chimici utilizzati sono soda caustica (NaOH) e solfuro di sodio (Na_2S). I problemi legati a questo processo sono rappresentati principalmente dalle emissioni maleodoranti dovute allo zolfo che devono essere raccolte in un sistema di cattura e trattamento del gas. Inoltre, la polpa di cellulosa che si genera con questo meccanismo è di colore più scuro rispetto a quella che si forma con un processo che utilizza solfiti, quindi è necessaria una successiva fase di sbiancamento (Castiglioni et al., 2007).

Tutti i processi di tipo chimico conferiscono alla pasta caratteristiche ottiche e prestazioni meccaniche molto elevate alle quali si contrappone però una resa di processo piuttosto bassa (40-50% in media).

2.1.2 Produzione da carta da macero

In Italia il riciclo di carta si attesta intorno all'80% nel 2015 (COMIECO, 2016). Quando si utilizza carta da macero in sostituzione al legno, è necessario che le fibre vengano opportunamente trattate per poter essere idonee alla produzione di nuova carta. Per prima cosa, la carta da riciclare è inserita in un pulper insieme ad acqua dove – grazie a un'agitazione di tipo meccanico o idraulico – viene disintegrata in fibre. La pasta uscente dalla fase di *pulping*, in cui avviene anche una prima pulizia, deve passare attraverso una serie di macchinari studiati appositamente per separare i materiali estranei (plastica, vetro, ferro, colle, paraffina). Il procedimento avviene in più fasi ed a stadi ripetuti, in modo da togliere inizialmente le parti più grossolane e via via le più fini. Una volta terminati tutti i trattamenti previsti, l'impasto ottenuto è pronto per subire lo stesso trattamento dell'impasto da fibre vergini. Nel caso in cui sia richiesto un elevato grado di bianco si rende necessaria anche una fase di disinchiostrazione del macero. Questa prevede un primo stadio di separazione dell'inchiostro dalla fibra per flottazione: l'impasto, estremamente diluito ed addizionato di un tensioattivo, viene inviato in un flottatore nel quale, insufflando aria dal basso, si genera una schiuma che cattura le particelle di inchiostro presenti nell'impasto e viene poi allontanata dal processo. L'impasto viene poi addensato e le impurità ancora presenti vengono finemente ridotte e disperse attraverso una macchina a dischi sagomati contrapposti che ruotano ad alta velocità. Per migliorare l'efficienza di tale procedimento ed allo stesso tempo garantire una maggiore igienicità e pulizia del prodotto, l'impasto può essere precedentemente riscaldato ad una temperatura di circa 100°C (Castiglioni et al., 2007).

2.2 La produzione di fanghi di cartiera

I rifiuti prodotti dall'industria cartaria possono essere ricondotti principalmente a tre categorie: i fanghi generati dal processo di depurazione delle acque, sia di tipo fisico-chimico che biologico, i residui dal processo di riciclo della carta da macero, detti anche fanghi di cartiera, e, infine, altri materiali di scarto di vario tipo (Figura 2.2). Queste tre categorie sono classificate come rifiuti non pericolosi, pertanto possono essere smaltiti in discariche per rifiuti non pericolosi.

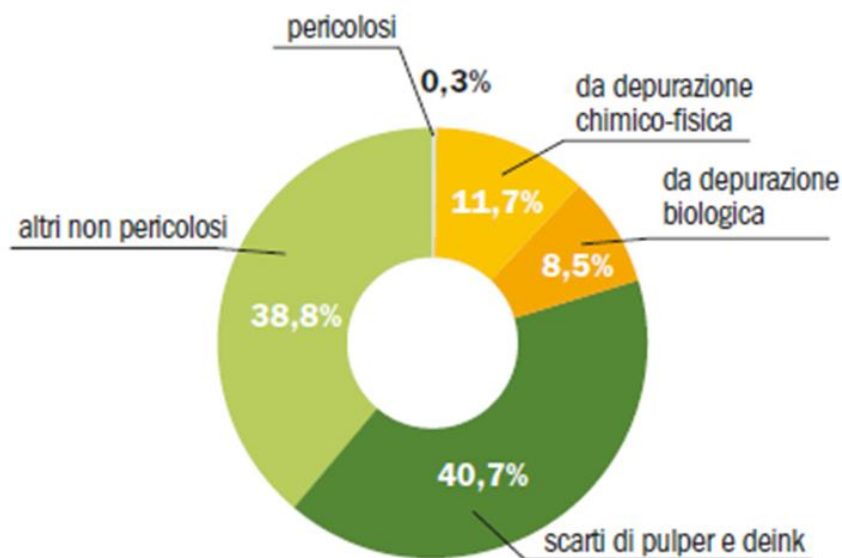


Figura 2.2. Distribuzione delle tipologie di rifiuti generati dall'industria cartaria (Assocarta, 2016)

I fanghi di cartiera sono costituiti principalmente dagli scarti di pulper, composti dalle fibre della carta e del cartone che non possono essere più riciclate e dalle impurità più grossolane; nei fanghi di cartiera possono essere presenti anche i fanghi derivanti dalla fase di disinchiostrazione (Assocarta, 2016).

Suddetti fanghi hanno caratteristiche tali da renderli idonei per essere riutilizzati per diverse applicazioni come nell'industria dei laterizi e nei cementifici, per opere di ripristino ambientale e copertura di discariche o cave, nei conglomerati edilizi, nei rilevati e nei sottofondi stradali. Inoltre la matrice organica e il contenuto estremamente basso di componenti metalliche rendono questo tipo di rifiuti adatti alla termovalorizzazione.

I fanghi derivanti dalla depurazione delle acque reflue di cartiera sono composti dalle fibre di lignina separate insieme all'acqua utilizzata durante varie fasi del processo in ingenti quantità e sono caratterizzati da un contenuto in sostanze organiche di circa il 20% del peso secco (con un potere calorico di circa 2000 kcal/kg); la componente inorganica è composta principalmente da SiO_2 , Al_2O_3 e, in taluni casi, MgO e CaO (Pandolfo et al., 2016). Se sottoposti ad essiccamento o disidratazione tramite nastropresse, potrebbero essere proficuamente utilizzati in cartiera per la produzione di energia, contribuendo al fabbisogno energetico degli impianti produttivi e sottraendo agli impianti di smaltimento quantità rilevanti di rifiuti. In questo senso

la tecnologia è ormai matura e gli ostacoli verso un più deciso orientamento in questa direzione sono oramai di tipo normativo-amministrativo.

Altri residui sono poi costituiti da rifiuti quali gli scarti di ferro, legno e plastica provenienti dalla gestione degli imballaggi, gli oli esausti e i rifiuti assimilabili a quelli urbani.

Le possibili destinazioni dei rifiuti di cartiera sono riassunte in Figura 2.3.

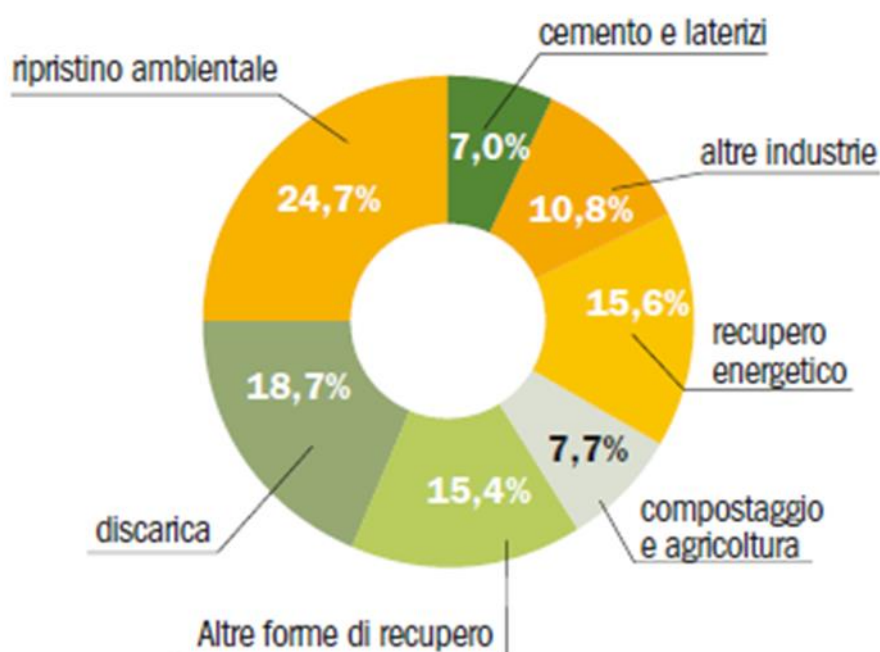


Figura 2.3. Destinazione dei fanghi di cartiera (Assocarta, 2016)

3 Inquadramento normativo

3.1 Normativa europea

A livello europeo la normativa base in tema di gestione dei rifiuti è rappresentata dalla Direttiva 2008/98/CE, nata per precisare alcuni concetti basilari come le definizioni di rifiuto, recupero e smaltimento, per rafforzare le misure da adottare per la prevenzione dei rifiuti, per introdurre un approccio che tenga conto dell'intero ciclo di vita dei prodotti e dei materiali e per concentrare l'attenzione sulla riduzione degli impatti ambientali connessi alla produzione e alla gestione dei rifiuti, rafforzando in tal modo il valore economico di questi ultimi. Gli Stati membri hanno proceduto alla messa in vigore delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative necessarie per conformarsi alla direttiva nei due anni successivi al momento in cui è stata varata, ovvero entro il 2010 (così come fissato dall'art. 40).

Alcuni articoli componenti la Direttiva 2008/98/CE sono attualmente in revisione. Nell'anno 2014 è stata infatti presentata una proposta di modifica di questa direttiva in materia di rifiuti, così come di altre direttive in materia di discariche, imballaggi, vetri fuori uso, pile e rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE). Per queste modifiche, l'iter legislativo è stato avviato il 2 dicembre 2015 ed è stato approvato in prima lettura al Parlamento Europeo il 14 marzo 2017. La proposta è stata presentata contestualmente e coerentemente con il Piano per l'economia circolare. A proposito dell'importanza del concetto di economia circolare, nella comunicazione della Commissione Europea 398 (COM, 2014) si legge: “La gestione, la conservazione e l'uso sostenibile delle risorse naturali sono tra i principali obiettivi dello sviluppo sostenibile. La transizione verso un'economia circolare è al centro dell'agenda per l'efficienza delle risorse stabilita nell'ambito della strategia Europa 2020 per una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva”. Con questo obiettivo, il Piano per l'economia circolare individua misure chiave e aree specifiche di intervento tra cui: la progettazione ecologica, lo sviluppo dei mercati delle materie prime secondarie, l'adozione di modelli di consumo più sostenibili ed, infine, la gestione dei rifiuti.

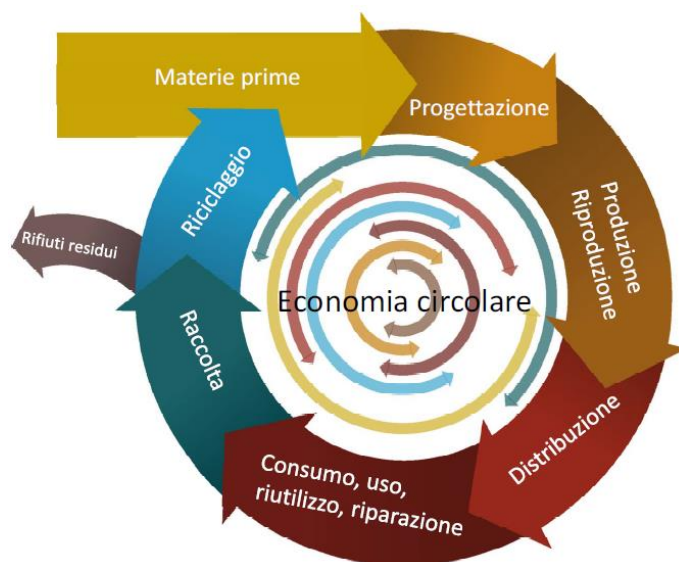


Figura 3.1. Schema dell'economia circolare (Commissione Europea, Direzione Generale Ambiente)

La Direttiva 2008/98/CE, che resta il principale riferimento normativo in materia di rifiuti, stabilisce “misure volte a proteggere l’ambiente e la salute umana prevenendo o riducendo gli impatti negativi della produzione e della gestione dei rifiuti, riducendo gli impatti complessivi dell’uso delle risorse e migliorandone l’efficacia” (art.1). Concetto ripreso anche nell’art. 13 nel quale viene assegnato agli Stati membri il dovere di prendere le misure necessarie per garantire che la gestione dei rifiuti sia effettuata senza danneggiare la salute dell’uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all’ambiente e, in particolare:

- a) senza determinare rischi per l’acqua, l’aria, il suolo, nonché per la fauna e la flora;
- b) senza causare inconvenienti da rumori o odori;
- c) senza danneggiare il paesaggio e i siti di particolare interesse.

Importante punto del testo della direttiva è la definizione di “rifiuto”, che è costituito da “qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l’intenzione o l’obbligo di disfarsi” (art. 3).

Le attività di gestione dei rifiuti vengono riassunte all’interno dell’Art. 4 in una gerarchia articolata su cinque fasi (illustrate nel dettaglio negli articoli da 8 a 12), con l’obiettivo di privilegiare le attività che portano ad un miglior risultato dal punto di vista ambientale. Le opzioni, in ordine di priorità, sono le seguenti:

- 1) prevenzione, ovvero l'adozione di misure da applicare prima che una sostanza, un materiale o un prodotto sia diventato un rifiuto, volte a ridurre la quantità dei rifiuti, gli impatti negativi dei rifiuti prodotti sull'ambiente e la salute umana, il contenuto di sostanze pericolose in materiali e prodotti;
- 2) preparazione per il riutilizzo: qualsiasi operazione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti;
- 3) riciclaggio: qualsiasi operazione di recupero attraverso cui i materiali di rifiuto sono ritrattati per ottenere prodotti, materiali o sostanze da utilizzare per la loro funzione originaria o per altri fini. Include il ritrattamento di materiale organico ma non il recupero di energia né il ritrattamento per ottenere materiali da utilizzare quali combustibili o in operazioni di riempimento;
- 4) recupero di altro tipo: qualsiasi operazione il cui principale risultato sia di permettere ai rifiuti di svolgere un ruolo utile sostituendo altri materiali che sarebbero stati altrimenti utilizzati per assolvere una particolare funzione o di prepararli ad assolvere tale funzione, all'interno dell'impianto o nell'economia in generale;
- 5) smaltimento: qualsiasi operazione diversa dal recupero anche quando l'operazione ha come conseguenza secondaria il recupero di sostanze o di energia.

Nell'applicare la gerarchia dei rifiuti, gli Stati Membri adottano misure volte a incoraggiare le opzioni che danno il miglior risultato ambientale complessivo. A tal fine può essere necessario che flussi di rifiuti specifici si discostino dalla gerarchia laddove ciò sia giustificato dall'impostazione in termini di ciclo di vita in relazione agli impatti complessivi della produzione e della gestione di tali rifiuti (art. 4).

La direttiva stabilisce inoltre, secondo il principio «chi inquina paga», il requisito che i costi dello smaltimento dei rifiuti siano sostenuti dal detentore dei rifiuti, dai detentori precedenti o dai produttori del prodotto causa dei rifiuti.

A livello europeo è stato inoltre predisposto un “Catalogo Europeo dei Rifiuti”, ovvero un elenco di rifiuti armonizzato, seppur non esaustivo, ma in continuo riesame periodico, recentemente modificato con la decisione della Commissione Europea del 18 dicembre 2014. Lo scopo è di attribuire una nomenclatura di riferimento a tutti i rifiuti, siano essi destinati allo smaltimento o al recupero. Il catalogo individua una

sequenza di 20 classi di rifiuto e cataloga tutti i rifiuti con una sequenza numerica di 6 cifre del tipo AB CD EF aventi il seguente significato:

- AB = classe di appartenenza del rifiuto;
- CD = sottoclasse;
- EF = identificazione del rifiuto vero e proprio.

Ad esempio:

- 03 00 00: rifiuti della lavorazione del legno e della produzione di pannelli, mobili, polpa, carta e cartone;
- 03 03 00: rifiuti della produzione e della lavorazione di polpa, carta e cartone;
- 03 03 10: scarti di fibre e fanghi contenenti fibre, riempitivi e prodotti di rivestimento generati dai processi di separazione meccanica.

3.2 Normativa nazionale

A livello nazionale tutte le norme in materia ambientale sono riportate nel Testo Unico Ambiente D.lgs. 152/06. La Parte IV, con le successive modifiche, disciplina la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti inquinati, anche in attuazione delle direttive comunitarie, in particolare della direttiva 2008/98/CE.

Il Testo Unico ha come oggetto la gestione dei rifiuti, compresi quelli pericolosi, degli imballaggi e dei rifiuti d'imballaggio, con il fine di garantire la protezione dell'ambiente attraverso un'attenta gestione dei rifiuti ed in particolare attraverso un meccanismo di controllo, specialmente riguardo ai rifiuti pericolosi.

Negli articoli 179-181 della parte IV riguardante i rifiuti sono definite una serie di competenze delle Pubbliche Amministrazioni che devono sostenere iniziative di riduzione della produzione dei rifiuti e il loro recupero. L'art.179 fissa i criteri di priorità nella gestione dei rifiuti e, in particolare, stabilisce che le Pubbliche Amministrazioni debbano perseguire iniziative dirette a favorire prioritariamente la prevenzione e la riduzione della produzione e della nocività dei rifiuti mediante:

- a) immissione sul mercato di prodotti a basso impatto ambientale (in ogni fase della loro realizzazione);
- b) utilizzo di tecniche appropriate per eliminare le sostanze pericolose contenute in rifiuti che vanno poi recuperati.

L'art.180 promuove nuove forme di prevenzione: la sensibilizzazione dei consumatori, sistemi di qualità, lo sviluppo di marchi ecologici (Ecolabel ad esempio), prodotti a basso impatto ambientale. Le Pubbliche Amministrazioni, nell'istituire le gare d'appalto, devono prevedere delle clausole che favoriscano le migliori competenze tecniche in materia di prevenzione e produzione dei rifiuti. Passando all'art.181, esso prevede agevolazioni per le imprese che modifichino i loro cicli produttivi per ridurre la pericolosità dei rifiuti e favorirne il recupero. Le Pubbliche Amministrazioni promuoveranno accordi con terze parti per favorire il riutilizzo e il riciclaggio e altre forme di recupero dei rifiuti e la raccolta differenziata. Inoltre vengono stabiliti accordi di programma per definire i metodi di recupero dei rifiuti, per le modalità di raccolta e messa in riserva, il trasporto dei rifiuti. Per quanto concerne lo smaltimento dei rifiuti, l'art.182 dispone che quest'ultima fase della gestione dei rifiuti deve avvenire in condizioni di sicurezza e secondo le migliori tecniche disponibili:

- a) realizzando lo smaltimento dei rifiuti urbani non pericolosi in ambiti territoriali ottimali;
- b) permettendo lo smaltimento in impianti appropriati e vicini al luogo di raccolta e produzione del rifiuto stesso.

Nell'art. 184 viene fornita una classificazione dei rifiuti: secondo l'origine, si suddividono in rifiuti urbani e rifiuti speciali mentre, secondo le caratteristiche di pericolosità, in rifiuti pericolosi e rifiuti non pericolosi. Le diverse categorie dei rifiuti in base all'origine sono riassunte in Tabella 3.1.

Tabella 3.1. Classificazione dei rifiuti in base all'origine.

Rifiuti urbani	Rifiuti speciali
Domestici	Provenienti da attività agricole e agro-industriali
Provenienti da locali e luoghi ad uso diverso da quello domestico ma assimilabili ai rifiuti domestici per quantità e qualità	Derivanti da attività di demolizione, costruzione e scavo
Provenienti da spazzamento delle strade	Provenienti da lavorazioni industriali
Giacenti sulle strade ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua	Provenienti da lavorazioni artigianali
Vegetali, provenienti da aree verdi	Provenienti da attività commerciali
Provenienti da attività cimiteriale	Provenienti da attività di servizio
	Derivanti da attività di recupero e smaltimento rifiuti e fanghi prodotti da trattamento delle acque
	Derivanti da attività sanitarie

L'elenco dei rifiuti pericolosi è riportato nell'allegato D; in generale, si tratta di rifiuti caratterizzati da un elevato contenuto di sostanze pericolose (tossiche, infiammabili, corrosive, reattive) o che presentano caratteristiche di mobilità di sostanze pericolose (da verificare con prove di solubilità). La caratteristica di pericolosità del rifiuto viene valutata per mezzo di un'analisi sul tal quale, al fine di ricercare e quantificare eventuali sostanze pericolose.

Inoltre, nell'art. 184 ter, che riprende l'art. 6 della Direttiva 2008/98/CE, è riportata la definizione di End of Waste (EoW), secondo la quale un rifiuto cessa di essere tale quando è stato sottoposto ad un'operazione di recupero e soddisfa criteri specifici da adottare nell'ambito delle seguenti condizioni:

- a) la sostanza o l'oggetto è comunemente utilizzato per scopi specifici;
- b) esiste un mercato o una domanda per tale sostanza od oggetto;
- c) la sostanza o l'oggetto soddisfa i requisiti tecnici per gli scopi specifici e rispetta la normativa e gli standard esistenti applicabili ai prodotti;
- d) l'utilizzo della sostanza o dell'oggetto non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o sulla salute umana.

Tra i decreti ministeriali antecedenti al D.lgs. 152/2006, ma comunque vigenti fino a nuove disposizioni, deve essere in particolare ricordato quello che disciplina il cosiddetto “Regime semplificato per il recupero”: il D.M. 5 febbraio 1998 successivamente modificato dal D.M. 186/06. Esso stabilisce che le attività di recupero possano essere sottoposte a procedure semplificate sulla base di apposite condizioni e norme tecniche che debbano fissare in particolare: le quantità massime impiegabili; la provenienza, i tipi e le caratteristiche dei rifiuti classificabili come non pericolosi, nonché le condizioni specifiche di utilizzo degli stessi; le prescrizioni necessarie per assicurare che i rifiuti siano recuperati senza pericolo per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti e metodi che potrebbero recare pregiudizio dell'ambiente (art. 1). Inoltre all'art. 8 spiega le modalità di campionamento dei rifiuti e le metodiche da svolgere per le analisi necessarie alla caratterizzazione dei rifiuti. All'art. 9, e in particolare nell'Allegato 3, invece vengono descritti i criteri e le modalità con cui vengono effettuati i test di cessione sui rifiuti, necessari per caratterizzarne l'eluato e valutarne la conformità per il recupero in regime semplificato; nell'Allegato 3 sono inoltre presenti i limiti normativi delle varie sostanze con cui confrontare i risultati dei test di cessione.

4 La produzione di Ecocal Green

4.1 Il ciclo produttivo della BSB Prefabbricati

La B.S.B prefabbricati S.r.l., con sede legale ed operativa in via Ghisolfi e Guareschi 2 a Noceto (PR), nasce nel 1981 dal settore prefabbricati dell'Impresa Edile Bellicchi Dante ed entra a far parte del gruppo Bellicchi Dante nell'anno 2005.

Gli specifici orientamenti produttivi dell'azienda sono volti principalmente alla produzione di prefabbricati.

A partire dal 1997, vengono avviate una serie di attività finalizzate all'utilizzazione di nuovi materiali recuperati da rifiuti, per produrre materiali edili a basso costo da impiegare nell'edilizia pubblica e privata.

Nel 1998 viene avviata la realizzazione di un impianto specifico per il recupero dei rifiuti prodotti dai termovalorizzatori identificati con il codice europeo C.E.R 19.01.12 (“Ceneri pesanti e scorie non contenenti sostanze pericolose”). In questo modo la B.S.B Prefabbricati S.r.l. attiva un processo industriale che utilizzando i rifiuti come materia prima, produce materiali per impieghi edili.

Nel corso dell'anno 2004 la B.S.B prefabbricati S.r.l. ottiene dalla Provincia di Parma l'autorizzazione all'attività di recupero di rifiuti speciali non pericolosi da incenerimento R.S.U. con la Determina Dirigenziale n. 4175 del 30/09/2004. La ditta ottiene quindi la possibilità di trattare suddetti rifiuti allo scopo di ottenere il prodotto Ecocal-Aggregato che viene utilizzato come componente in miscele per il calcestruzzo e come aggregato da sottofondo per opere stradali e civili. Infine, con la Determina Dirigenziale n. 4150 del 20/12/2010, viene rilasciata l'autorizzazione per la “gestione di un impianto per messa in riserva e trattamento di rifiuti speciali non pericolosi costituiti da ceneri, scorie e fanghi dell'industria cartaria”.

Con ciò l'azienda amplia lo spettro di applicazione di suddetti processi industriali e provvede anche al recupero dei fanghi di cartiera con la creazione del prodotto Ecocal Green, descritto come un aggregato artificiale, ufficialmente destinato all'impiego in opere di ingegneria e nella costruzione di strade.

A seguito dell'autorizzazione, la ditta B.S.B. Prefabbricati S.r.l. provvede a realizzare una linea produttiva dedicata al recupero dei fanghi provenienti dall'industria cartaria

allo scopo di ricavare un materiale, nello stato di End of Waste, con buone caratteristiche meccaniche ed ambientali.

Di seguito vengono esposte le fasi del processo produttivo dal momento del conferimento dei rifiuti sino alla trasformazione in prodotti finiti:

- 1) ricezione rifiuti: gli automezzi che trasportano i fanghi, identificati con i CER sopra elencati, provenienti dall'industria cartaria, devono procedere su una strada asfaltata che dal cancello di ingresso dell'area di proprietà (via Ghisolfi e Guareschi n°2) conduce alla stazione di ricezione, dove un incaricato dell'azienda riceve e pesa tutti rifiuti in ingresso e regola il traffico interno a tutti i reparti della ditta. Presso la stazione di ricezione l'autista dell'automezzo deve presentare tutta la documentazione di trasporto (formulari) all'addetto.
- 2) pesa: l'addetto che riceve il carico verifica il peso del mezzo mediante un'apposita pesa a ponte affinché corrisponda con il peso verificato al sito di carico (industria cartaria).
- 3) zona di scarico: una volta verificata la regolarità della documentazione allegata ai rifiuti, l'addetto accompagna l'autista nella zona adibita allo scarico del materiale; l'automezzo viene fatto retrocedere in modo tale da ribaltare il carico all'interno delle tramogge di ricevimento o nell'apposita area di stoccaggio.
- 4) impasto e maturazione: il materiale in ingresso viene opportunamente impastato, mediante un'impastatrice, con limo, terreno naturale, calce e ghiaietto. L'aggiunta del ghiaietto contribuisce ad aumentare le caratteristiche meccaniche del prodotto finale. Il prodotto ottenuto mediante impastatrice, viene stoccato in un'apposita area esterna nella zona sud-ovest dell'impianto dove viene lasciato maturare per circa 30 giorni. Dopo la maturazione se il materiale non viene conferito subito all'utilizzatore finale può essere stoccato nell'apposita area in attesa di utilizzo,
- 5) prodotto finale: il materiale originato, denominato “Ecocal Green”, può essere commercializzato come aggregato per sottofondi stradali e per recuperi ambientali.

Conseguenza dei vari miscelamenti è una diminuzione della concentrazione dei composti presenti (in termini di massa di composto su massa di prodotto finito), che risulterà inevitabilmente inferiore rispetto a quella del fango tal quale, garantendo il

riutilizzo dei fanghi trasformati in materie prime secondarie per sottofondi, recuperi ambientali e impasti da utilizzarsi nell'industria dei laterizi. Un ulteriore effetto inertizzante è dato dall'aggiunta di calce nell'impasto, con lo scopo principale di disidratare il materiale.

4.2 Autorizzazione

Si analizza ora l'autorizzazione n. 4150 del 20/12/2010 della provincia di Parma alla ditta B.S.B. Prefabbricati S.r.l. con la quale è stata concessa alla ditta la gestione di un impianto di messa in riserva (R13) e trattamento (R5) di rifiuti speciali non pericolosi, presso il centro localizzato in comune di Noceto (PR) censito al catasto terreni del comune di Noceto, Foglio n. 43 – Mappale n. 94.

Tra i rifiuti ritirabili dalla ditta B.S.B. Prefabbricati S.r.l. per effettuare le operazioni di recupero R5 e R13, sono presenti quelli relativi ai fanghi dell'industria cartaria, aventi il codice 03.03.09 (fanghi di scarto contenenti carbonato di calcio) e il codice 03.03.10 (scarti di fibre e fanghi contenenti fibre, riempitivi e prodotti di rivestimento generati dai processi di separazione meccanica).

La gestione dell'impianto viene vincolata a diverse prescrizioni; di seguito vengono elencate le più significative per quanto concerne il materiale denominato Ecocal-Green:

- 1) i rifiuti vengono recuperati (Recupero dei rifiuti, R5) per l'ottenimento di materiale con stato di End of Waste con metodi autorizzati ai sensi dell'art. 208 del D.lgs. n. 152/2006 e s.m.i., in conformità a quanto stabilito dall'art. 9 – bis del D.L. 6 novembre 2008 n. 172 convertito con modifiche dalla legge 30 dicembre 2008 n. 210, ovvero, sino alla data di entrata in vigore del decreto di cui all'articolo 181 – bis, comma 2, del D.lgs. n. 152/2006 e s.m.i.2 (lettera c), punto 3 della determina);
- 2) i rifiuti costituiti dai fanghi dell'industria cartaria devono essere trattati utilizzando la nuova linea al fine della produzione di una materia prima secondaria composta, oltre che dagli stessi fanghi dell'industria cartaria, anche da limo, terreno, ghiaietto e calce (materiale definito dall'azienda con il nome commerciale Ecocal Green); questo prodotto è inquadrabile come aggregato da sottofondo, con possibilità di utilizzo nei recuperi ambientali, nel ritombamento di cave e per la produzione di impasti per l'industria di laterizi;

- 3) a cadenza semestrale deve essere eseguito a cura di ARPAE sul prodotto finito il test di cessione in acqua deionizzata;
- 4) a cadenza annuale deve essere verificata la composizione merceologica dei materiali prodotti e commercializzati, con certificazione, da parte di soggetti abilitati, del mantenimento delle caratteristiche tecniche contenute negli elaborati di progetto, che ne garantiscono la commerciabilità; la commercializzazione e l'uso dei prodotti ottenuti deve essere comunque eseguita nel rispetto totale delle specifiche normative ambientali e del commercio;
- 5) i materiali ottenuti dal trattamento in parola devono comunque garantire un elevato livello di tutela dell'ambiente senza recare alcun pregiudizio all'ambiente; in particolare, essi non devono presentare caratteristiche di pericolo superiori a quelle dei prodotti e delle materie ottenuti dalla lavorazione di materie prime;
- 6) i prodotti finiti devono essere sempre accompagnati da un certificato di conformità che ne indichi i possibili usi; tale certificato dovrà evidenziare chiaramente la responsabilità dell'uso improprio del materiale da parte dell'acquirente.

4.3 Caratteristiche dei fanghi di cartiera ritirati

A seguito dell'autorizzazione la B.S.B Prefabbricati S.r.l. ha iniziato a ritirare fanghi di cartiera da diversi impianti produttivi. La ditta è stata tenuta a redigere delle relazioni consuntive annuali secondo quanto riportato nelle prescrizioni contenute nell'autorizzazione.

Come riportato nelle relazioni, la ditta ha ritirato dal 14/04/2011, data di inizio della produzione di Ecocal Green, al 12/06/2013, data in cui è avvenuta la sospensione dell'attività di conferimento in cava dell'Ecocal Green a causa della diffida, fanghi di cartiera con codici CER 03.03.09 e 03.03.10 di diversa provenienza.

I fanghi ritirati nel complesso ammontano a 58.584.810 kg come riportato in Tabella 4.1.

Tabella 4.1. Quantitativo di fanghi ritirati

Fanghi ritirati nel 2011 (kg)	15.566.690
Fanghi ritirati nel 2012 (kg)	29.885.940
Fanghi ritirati nel 2013 (kg)	13.132.180
Totale fanghi di cartiera ritirati dal 13/04/2011 al 12/06/2013 (kg)	58.584.810

Le prescrizioni contenute nell'autorizzazione del 20/12/2010 prevedono inoltre, a cadenza annuale, l'effettuazione dell'analisi di classificazione dei rifiuti in ingresso per ogni produttore. I vari campioni prelevati sono stati sottoposti all'analisi sul tal quale per la determinazione della non pericolosità dei rifiuti, mentre solo su alcuni campioni è stato effettuato il test di cessione in acqua deionizzata ai sensi dell'allegato 3 del D.M. 05/02/98 così come modificato dal D.M. 186/06. I risultati delle analisi effettuate dal laboratorio della sezione provinciale ARPAE di Piacenza evidenziano, per quanto riguarda l'analisi sul tal quale, che tutti i rifiuti in ingresso risultano non pericolosi ai sensi del D.Lgs. n. 152/06. Per quanto riguarda i test di cessione effettuati, sono stati riscontrati dei superamenti del limite di concentrazione nell'eluato per quanto riguarda il parametro COD.

I risultati delle varie analisi sui rifiuti tal quale sono riassunti in termini di media e deviazione standard in Tabella 4.2. Invece in Tabella 4.3 sono riportati i risultati dei test di cessione.

Tabella 4.2. Valori di concentrazione risultanti dalle analisi sul rifiuto tal quale

Parametri	Unità di misura	Concentrazione		Numero campioni
		Media	Deviazione standard	
Umidità	g/100g	38	20	7
Sostanza secca	g/100g	62	20	7
Ceneri	g/100g s.s.	51	13	7
Arsenico	mg/kg s.s.	1,7	3,6	9
Cadmio	mg/kg s.s.	0,4	0,4	8
Cobalto	mg/kg s.s.	8	17	7
Cromo totale	mg/kg s.s.	16	11	9
Mercurio	mg/kg s.s.	0,3	0,4	13
Nichel	mg/kg s.s.	7,3	6,4	14
Piombo	mg/kg s.s.	18	24	15
Rame	mg/kg s.s.	54	38	15
Zinco	mg/kg s.s.	80	44	16
Vanadio	mg/kg s.s.	2,2	1,4	7
Ferro	mg/kg s.s.	718	499	6
Idrocarburi leggeri	mg/kg s.s.	17	30	4
Idrocarburi pesanti	mg/kg s.s.	871	603	4

Tabella 4.3. Valori di concentrazione nell'eluato risultanti dai test di cessione

Parametri	Unità di misura	Concentrazioni		Numero campioni	Limiti Tabellari Allegato 3 D.M. 186/06
		Media	Deviazione standard		
pH	-	7,6	0,7	10	[5,5-12]
COD	mgO ₂ /l	346	317	7	30
Cloruri	mg/l	27	21	8	100
Nitrati	mg/l	1,1	1,5	5	50
Solfati	mg/l	37	51	8	250
Fluoruri	mg/l	0,4	0,4	10	1,5
Cianuri	µg/l	7,8	7,5	6	50
Bario	mg/l	0,1	0,2	8	0,54
Zinco	mg/l	0,4	0,5	10	3
Cobalto	µg/l	2,6	1,8	6	250
Nichel	µg/l	10	20	10	10
Vanadio	µg/l	2,7	1,7	4	250
Arsenico	µg/l	2,6	2,6	4	50
Cadmio	µg/l	0,4	0,4	7	5
Cromo totale	µg/l	7	14	5	50
Selenio	µg/l	0,8	0,5	4	10
Mercurio	µg/l	0,7	0,8	7	1

4.4 Caratteristiche tecniche ed ambientali dell'Ecocal Green

Di seguito si riporta la composizione della miscela dei materiali utilizzati per la preparazione dell'Ecocal Green:

- fango dell'industria cartaria (50%);
- terreno naturale/limo (35÷45%);
- ghiaietto 4/12 (0÷10%);
- calce (5%).

Riguardo al prodotto finito, secondo quanto previsto dall'autorizzazione descritta nel capitolo 4.2, è prescritta l'effettuazione a cadenza semestrale del test di cessione in acqua deionizzata previsto dall'Allegato 3 del D.M. 05/02/98, così come modificato dal D.M. 5 aprile 2006, n.186. A tale scopo sono stati prelevati periodicamente dal personale ARPAE di Fidenza i campioni di Ecocal Green. In Tabella 4.4 sono riportati i valori di concentrazione in termini di media e deviazione standard riscontrati negli eluati derivanti da campioni rappresentativi di Ecocal Green.

Tabella 4.4. Valori di concentrazione nell'eluato risultanti dai test di cessione effettuati sull'Ecocal Green

Parametri	Unità di misura	Concentrazioni		Numero campioni	Limiti Tabellari Allegato 3 D.M. 186/06
		Media	Varianza		
Umidità	g/100g	17,7	3,2	5	-
Sost secca	g/100g	82,3	3,2	5	-
pH	-	11,8	0,3	3	[5,5-12]
COD	mgO ₂ /l	53	62	5	30
Cloruri	mg/l	10,0	4,4	3	100
Nitrati	mg/l	5,6	4,1	3	50
Solfati	mg/l	7,5	4,7	3	250
Fluoruri	mg/l	1,0	1,5	4	1,5
Cianuri	µg/l	3,3	5,8	3	50
Bario	mg/l	0,3	0,3	5	0,54
Zinco	mg/l	0,1	0,1	5	3
Cobalto	µg/l	1,4	1,2	3	250
Nichel	µg/l	8,4	7,5	5	10
Vanadio	µg/l	1,1	0,3	4	250
Arsenico	µg/l	4,8	2,9	4	50
Cadmio	µg/l	0,15	0,08	3	5
Cromo totale	µg/l	5,6	4,6	4	50
Mercurio	µg/l	0,4	0,2	5	10

Si sottolinea che per il parametro nichel sono stati rilevati alcuni superamenti per singoli campioni, nonostante il valore medio sia al di sotto del limite normativo. Per quanto riguarda il parametro COD, dati alcuni superamenti iniziali rilevati sui campioni di Ecocal Green, in sede di Conferenza dei Servizi nel Luglio 2013 si è stabilito di prelevare campioni da un cumulo di Ecocal Green a 4 differenti tempi di maturazione (appena prodotto e dopo 15, 30 e 45 giorni) per valutare l'andamento nel tempo dei parametri oggetto del test di cessione, soprattutto per quanto riguarda il COD, in quanto la maturazione del prodotto finito comporta la stabilizzazione della componente organica della matrice e, di conseguenza, una riduzione del parametro COD nell'eluato.

I risultati hanno evidenziato un superamento del limite di 30 mg/l per il COD nel campione prelevato dal cumulo subito dopo la preparazione, superamento che è stato osservato anche sul campione prelevato dopo 15 giorni di maturazione; come atteso, il valore del parametro COD è poi rientrato al di sotto del limite tabellare per i campioni prelevati dopo 30 e 45 giorni di maturazione. Queste ultime due analisi hanno quindi dimostrato la rispondenza dell'eluato derivato dal prodotto finito Ecocal Green ai limiti previsti dal D.M. 186/06.

4.5 Il passaggio da rifiuto a prodotto (“End of Waste”)

Il prodotto denominato Ecocal Green che la B. S. B. Prefabbricati ha realizzato soddisfa le condizioni di End of Waste poiché:

- a) in base all'autorizzazione se ne prevede l'utilizzo in recuperi ambientali, ritombamento di cave e nella produzione di impasti per l'industria dei laterizi;
- b) l'autorizzazione per l'esercizio dell'attività estrattiva della cava “Ghiaie di Mezzo UC1” prevede l'utilizzo di idonee materie prime secondarie per il recupero dell'area oggetto di escavazione;
- c) è marcato CE in conformità alla norma armonizzata europea UNI EN 13242 (Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade) ed è pertanto a pieno titolo considerabile un prodotto da costruzione conforme al Regolamento Europeo 305/11;
- d) è conforme ai limiti del test di cessione previsto nell'Allegato 3 del DM 186/06 (vedi par. 4.4).

A seguito delle suddette considerazioni è stato possibile utilizzare l’Ecocal Green per gli scopi descritti nell’autorizzazione ed in particolare per il recupero dell’area Cava Ghiaie di Mezzo.

5 La situazione attuale della cava “Ghiaie di Mezzo”

Nel 2009, la società Bellicchi Dante S.r.l. ha presentato domanda di autorizzazione per l'attività di coltivazione di una cava, ubicata nel sito Ghiaie di Mezzo del comune di Noceto (PR), con l'obiettivo di estrarre ghiaia dalla cava. La domanda è stata presentata corredata di relativo piano di coltivazione e di progetto di sistemazione della zona. La società ha quindi ottenuto l'autorizzazione in data 23 novembre 2010. In Figura 5.1 è riportata l'ubicazione dell'area.



Figura 5.1. Ubicazione dell'area

L'area in oggetto è situata nei pressi del fiume Taro e, da un punto di vista geologico, fa parte del cosiddetto conoide del fiume Taro, un corpo sedimentario lentiforme di

elevate dimensioni. La litostratigrafia superficiale del territorio compreso tra il corso del fiume Taro e Noceto, che include l’area Ghiaie di Mezzo, è caratterizzata da un manto di depositi fini che va a ricoprire depositi prevalentemente ghiaiosi posti inferiormente. Le ricostruzioni idrostratigrafiche (Figura 5.2) mostrano come l’area si trovi in un tratto di conoide in cui è presente un acquifero monofalda, che si estende fino ad una profondità dell’ordine dei 50 m dal p.c.

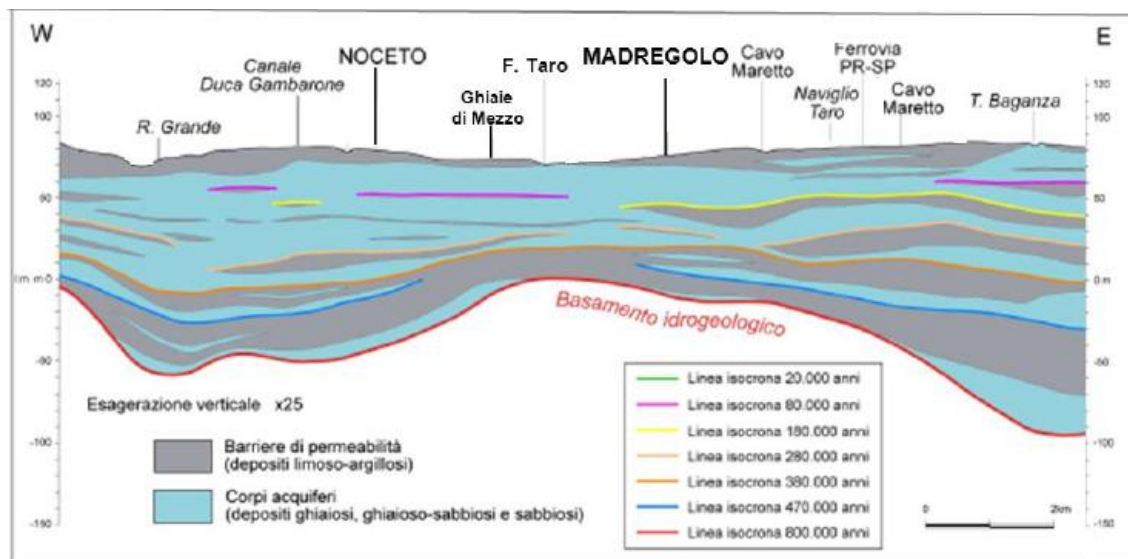


Figura 5.2. Sezione idrostratigrafica est-ovest sulla trasversale Noceto-Madregolo

Per quanto riguarda la piezometria locale, le informazioni sono rese disponibili grazie a misurazioni piezometriche svolte dall’Università di Parma, oltre che da un monitoraggio effettuato dalla stessa Bellicchi Dante S.r.l.

La direzione generale di deflusso sotterraneo nell’area in esame risulta orientata da SE verso NO, come mostrato in Figura 5.3.

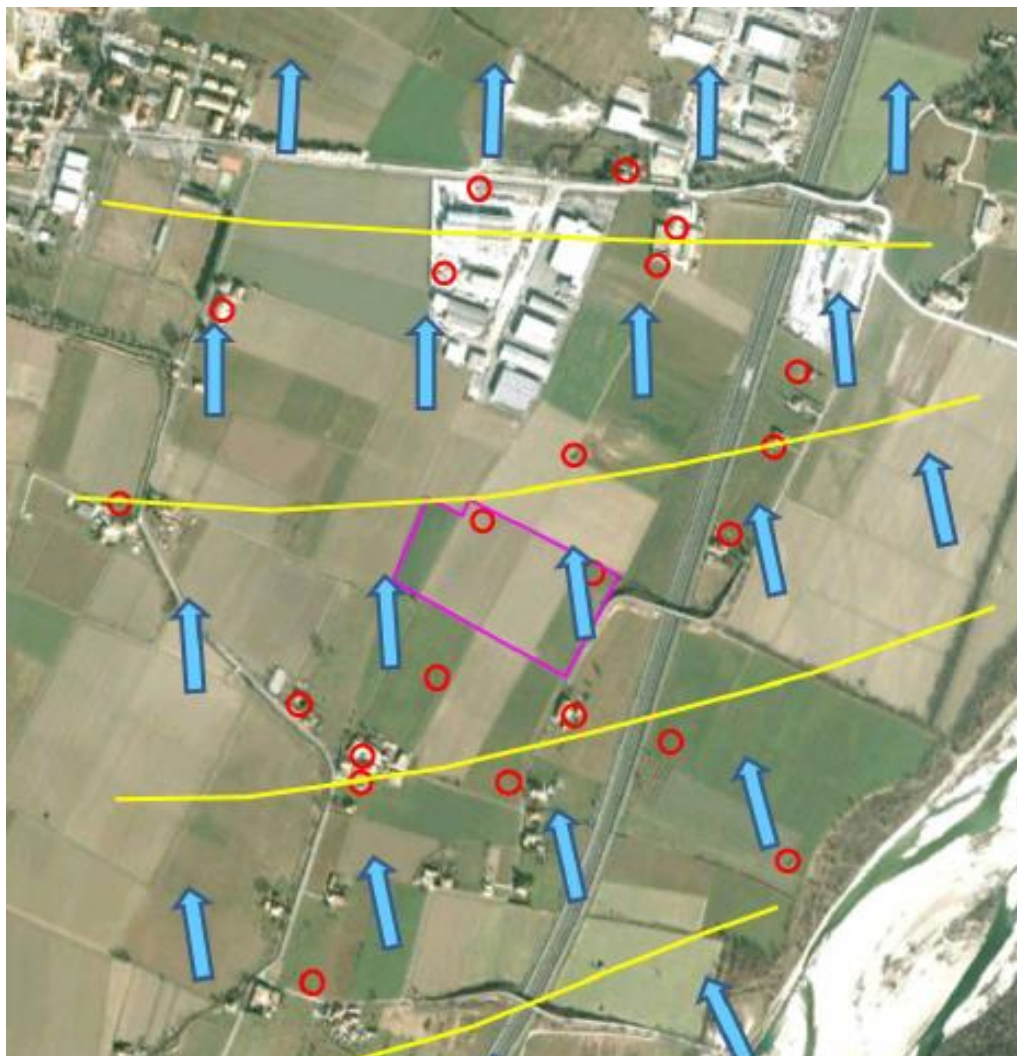


Figura 5.3. Campo di flusso della falda

La soggiacenza della falda freatica nell'intorno della cava di Ghiaie di Mezzo presenta una certa regolarità, con massima elevazione della tavola d'acqua durante il mese di maggio ed una minima elevazione della stessa durante quello di ottobre. In particolare, la massima elevazione della tavola d'acqua raggiunge quote intorno a -5,5 m dal p.c., mentre il massimo abbassamento della stessa raggiunge quote intorno a -9 m dal p.c. Nell'arco di due stagioni consecutive, la fluttuazione appare sempre contenuta entro i 2 m.

L'autorizzazione ottenuta consentiva la coltivazione della cava di ghiaia per un periodo di 5 anni. Nello specifico, l'autorizzazione faceva riferimento ad una superficie di circa 59.000 m², per un volume massimo estraibile di 307.000 m³ di inerti; la profondità massima raggiungibile dalle escavazioni era stata prevista a quota -8 m dal piano di campagna e andava comunque mantenuto un franco di 1 m dalla tavola

d'acqua: questo al fine di garantire che la falda freatica non venisse intercettata nel corso delle operazioni di scavo.

Sempre secondo quanto previsto dall'autorizzazione, la società ha dovuto assumere misure volte al controllo dell'attività estrattiva; in tal senso, dovevano essere installati almeno quattro piezometri per effettuare letture periodiche delle quote piezometriche ed analisi idrochimiche per monitorare la qualità delle acque sotterranee. Alla società è stato chiesto anche di presentare una relazione annuale sullo stato dei lavori comprensiva di cartografia dello stato di fatto della cava e di computo metrico dei materiali.

Inoltre, per la fase di ritombamento, l'autorizzazione prevedeva l'utilizzo di uno o più dei seguenti materiali:

- a) “materiali limo argillosi” provenienti dal processo di trattamento dell'impianto di frantumazione al quale sono destinati i materiali estratti;
- b) “terre e rocce da scavo” approvvigionate allo scopo da varie ditte locali;
- c) materiali che hanno raggiunto lo stato di End of Waste.

L'inizio dei lavori è avvenuto il 13 dicembre 2010 e si è proceduto dividendo la cava in lotti annui di escavazione. Secondo quanto riportato nelle relazioni annuali, subito dopo l'inizio dell'escavazione della risorsa, si è reso necessario far seguire immediatamente la fase di ritombamento, in difformità a quanto stabilito dal progetto che invece prevedeva tale attività a partire dal secondo anno. Questo è avvenuto sia per ragioni legate alla stabilità dei fronti di scavo, sia temporanei che definitivi (dal momento che si è in presenza di terreni limo – sabbiosi non coesivi nella parte superficiale), sia per ragioni legate alla gestione economica dell'attività.

Durante il periodo di attività, dunque, la cava è stata parzialmente ritombata con materiale di varia natura, in prevalenza con il materiale EoW denominato Eocal Green, proveniente dalla ditta B.S.B. prefabbricati S.r.l. In particolare, il terreno agricolo (cappellaccio) ed il terreno scartato durante l'escavazione, già tenuti a disposizione per finalità di ripristino, sono stati utilizzati per il primo riempimento della cava andando a costituire uno strato di base su cui è stato successivamente posto l'Eocal Green. Fino al 12 giugno 2013 il riempimento del vuoto di cava è stato effettuato principalmente con l'Eocal Green proveniente dalla ditta BSB Prefabbricati S.r.l.; successivamente si è proceduto con terre e rocce da scavo e con il materiale di scarto limoso proveniente dall'attività estrattiva. Come risulta dalle

schede contabili della BSB Prefabbricati S.r.l, che ha fornito i materiali, in totale sono state utilizzate per il riempimento del vuoto di cava 103.841 t di Ecocal Green.

Secondo quanto previsto dall'autorizzazione ottenuta dalla B.S.B. prefabbricati S.r.l. per la produzione di Ecocal-Green, ARPAE ha regolarmente eseguito test di cessione in acqua deionizzata sul suddetto materiale. Poiché diversi risultati dei test di cessione hanno evidenziato valori anomali dei parametri COD e nichel, nel giugno 2013 la Provincia di Parma ha emesso un atto di diffida nei confronti della ditta B.S.B. prefabbricati S.r.l.

Secondo le disposizioni presenti nell'autorizzazione per l'attività estrattiva, già citate, nel periodo 2010-2015 è stato effettuato un monitoraggio idrochimico delle acque sotterranee. In particolare sono stati realizzati quattro piezometri, denominati Pz1, Pz2, Pz3 e Pz4, aventi caratteristiche tecniche riportate in Tabella 5.1 e ubicati come mostrato in Figura 5.4.

Tabella 5.1. Caratteristiche tecniche dei piezometri

Piezometro	Diametro interno (dm)	Profondità da p.c. (m)	Ubicazione tratto filtrante (m da p.c.)
Pz1	103	18,5	da 11,5 a 17,5 m
Pz2	1,03	20	da 13 a 19 m
Pz3	1,03	20	da 13 a 19 m
Pz4	1,03	20	da 13 a 19 m



Figura 5.4. Ubicazione dei piezometri

In particolare, nota la direzione generale di deflusso sotterraneo, i piezometri Pz1 e Pz2 risultano posti a monte dell’area, mentre il Pz3 a valle.

Il set analitico ricercato nelle acque di falda è riassunto in Tabella 5.2.

Tabella 5.2. Set analitico ricercato nelle acque di falda

Set analitico di riferimento		
Temperatura	Magnesio	Cromo totale
pH	Nitriti	Cromo esavalente
Conducibilità elettrica	Nitrati	Nichel
Ossigeno disciolto	Cloruri	Manganese
Potenziale redox	Fosforo	Idrocarburi totali
Ione ammonio (NH ₄ ⁺)	Solfati	
Calcio	Piombo	

Il monitoraggio idrochimico condotto nel periodo 2010-2013 non ha evidenziato superamenti per i parametri ricercati.

Le analisi sui campioni di acque di falda relative all'anno 2014 hanno dato risultati al di sotto dei valori limite di legge fissati nel D.Lgs. 152/06 ad eccezione dei parametri nitrati e ferro, su campioni prelevati nella campagna di aprile, e del manganese nella campagna di novembre. Nitrati e ferro hanno fatto registrare superamenti solo nei piezometri di monte e la loro presenza non è pertanto riconducibile all'attività estrattiva, mentre la presenza di manganese è risultata superiore al valore limite, pari a 50 µg/l (Tab. 2, Allegato 5, Parte IV del D.Lgs. 152/06), nel piezometro Pz3 che si trova a valle della cava rispetto alla direzione di flusso della falda. La presenza di manganese in concentrazioni superiori ai limiti normativi è stata riscontrata nuovamente nei campioni prelevati nel piezometro Pz3 nelle campagne di marzo e ottobre 2015 (cfr. Tabella 5.3).

A seguito dei superamenti relativi al manganese, ARPAE ha effettuato delle campagne di indagine finalizzate al monitoraggio dell'acquifero sottostante la cava. I risultati delle analisi hanno evidenziato il rispetto dei limiti previsti dalla Tab. 2, Allegato 5, Parte IV del D.Lgs. 152/06 per tutti i parametri ad eccezione del manganese che è stato rilevato nel campione Pz3 in concentrazione superiori ai limiti normativi.

In Tabella 5.3 vengono riassunti i valori di manganese rilevati nel piezometro Pz3; sono evidenziati in rosso i valori che superano il limite di 50 µg/l.

Tabella 5.3. Concentrazioni di manganese rilevate nel Pz3

Data	Manganese rilevato nel Pz3 (µg/l)	Analisi effettuate da
30/04/2010	<5	Bellicchi Dante Srl
27/12/2010	<5	Bellicchi Dante Srl
14/04/2011	<5	Bellicchi Dante Srl
12/10/2011	7,39	Bellicchi Dante Srl
13/03/2012	<5	Bellicchi Dante Srl
13/03/2013	14,2	Bellicchi Dante Srl
24/04/2014	<1	Bellicchi Dante Srl
04/11/2014	86,6	Bellicchi Dante Srl
27/02/2015	1,49	Bellicchi Dante Srl
19/03/2015	107	Bellicchi Dante Srl
19/03/2015	90	ARPAE
07/10/2015	423	Bellicchi Dante Srl
07/10/2015	484	ARPAE
15/03/2016	1989	ARPAE

Sia i monitoraggi svolti dalla società interessata sia quelli svolti dall’ente di controllo mostrano un aumento delle concentrazioni di manganese nel tempo, probabile risultato di un rilascio progressivo di manganese nell’acqua di falda sottostante la cava, che ha reso necessaria un’interruzione immediata dell’attività estrattiva. Difatti, a seguito della contaminazione rilevata, nel mese di gennaio 2016 il Corpo Forestale dello Stato, su disposizione della Direzione Distrettuale Antimafia di Bologna, ha

sottoposto a sequestro la cava, avviando le indagini per l'accertamento di eventuali illeciti.

Successivamente, il servizio ARPAE Distretto di Fidenza ha reso noto che, a seguito di un sopralluogo eseguito in data 1 marzo 2016 e di un campionamento del materiale di riempimento adoperato dalla ditta Bellicchi Dante S.r.l., tenuto a disposizione presso la stessa, alcuni risultati analitici hanno rivelato delle alterazioni. Nello specifico, il test di cessione sul materiale di cui sopra ha presentando superi rispetto ai limiti indicati dall'allegato 3 del D.M. 05/02/1998; questo ha reso il materiale citato non utilizzabile, non avendo raggiunto lo stato di “End of Waste”.

Infine, in data 6 giugno 2016 ARPAE ha diffidato la Bellicchi Dante S.r.l., in qualità di proprietario e gestore della cava, a presentare uno specifico Piano di Caratterizzazione del sito in esame.

6 Piano di caratterizzazione e risultati

6.1 Modello concettuale preliminare

Nel Piano di Caratterizzazione è stato elaborato un modello concettuale preliminare del sito, sulla base delle informazioni disponibili in merito a:

- a) potenziali fonti di contaminazioni (Sorgenti primarie e secondarie);
- b) caratteristiche delle matrici ambientali (Vie di migrazione);
- c) tipologia dei soggetti esposti (Bersagli).

6.1.1 Sorgenti di contaminazione

Per quanto riguarda l'identificazione delle sorgenti di contaminazione, oltre ai dati di monitoraggio già disponibili, si è tenuto conto che la presenza di manganese nelle acque di falda dell'area costituisce un dato notorio.

Difatti, negli ultimi anni, numerosi studi e rapporti tecnico-scientifici hanno confermato l'elevata presenza di alcuni metalli, quali Mn, Fe, As e Zn, nei suoli e nelle acque sotterranee, presenti in vari e diffusi siti della Pianura Padana come elevati valori di fondo naturale e anche, in modo specifico ed ubiquitario, nella provincia di Parma.

La presenza di manganese nelle acque del parmense è riportata nel rapporto di ARPAE sullo stato delle acque sotterranee in Provincia di Parma nel triennio 2010-2012 (Violanti et al., 2014), in cui viene segnalata la diffusa e ubiquitaria presenza storica di manganese nei pozzi monitorati da anni in provincia di Parma. Infatti, su 338 misure totali effettuate nel triennio tramite le varie stazioni di monitoraggio dislocate nella provincia, ben 96 sono risultate essere maggiori del limite normativo, talvolta superiori anche di un ordine di grandezza. In particolare nel pozzo sito in zona Madregolo, a poche centinaia di metri dalla zona Ghiaie di Mezzo a Noceto, la concentrazione del manganese risulta in concentrazioni analoghe o superiori a quelle rilevate nel piezometro Pz3, sempre in riferimento al triennio 2010-2012.

Può essere utile prendere in considerazione anche il “Report sulla rete di monitoraggio della qualità delle acque sotterranee della provincia di Piacenza – anno 2009” (Russo, Peroncini, & De Crema, 2010), il quale ha mostrato come su 58

piezometri totali dislocati nell'intera provincia, ben 13 hanno presentato una concentrazione media annua di manganese in acqua superiore al limite normativo di 50 µg/l. In particolare, la maggior parte dei superamenti sono stati segnalati nella zona nord-ovest della provincia, ovvero quella confinante con la provincia di Parma, come mostrato in Figura 6.1.

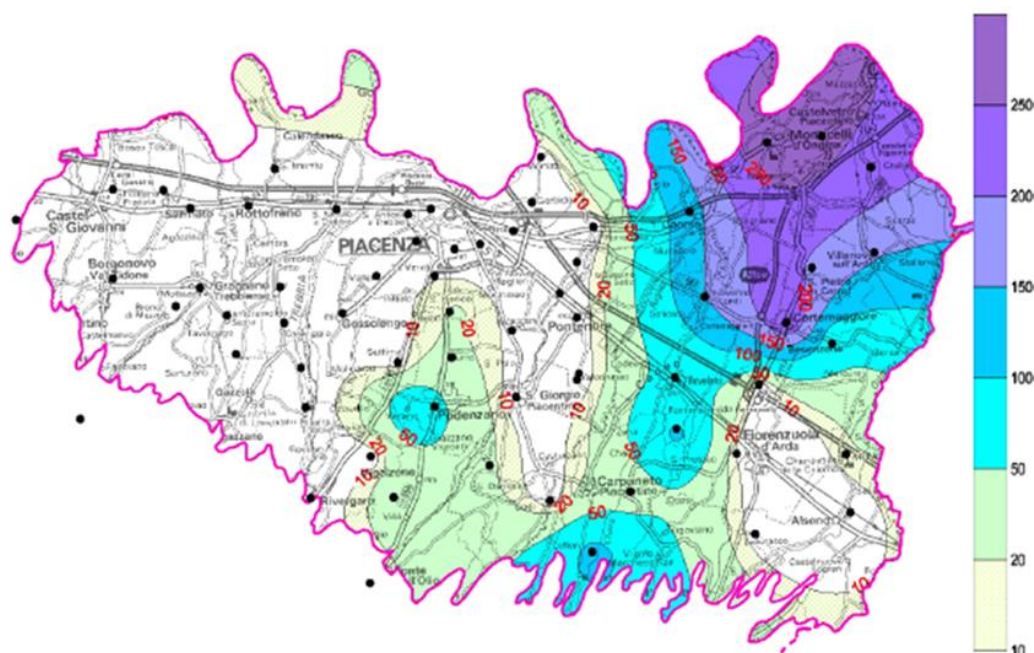
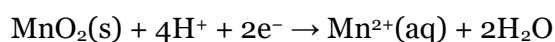


Figura 6.1. Distribuzione del manganese in provincia di Piacenza, anno 2009
(conc, media annua in µg/l)

Una possibile spiegazione della diffusione del manganese negli acquiferi della bassa Pianura Padana può essere che la valle del Po sia caratterizzata da condizioni riducenti generate dalla presenza di litotipi fini superficiali, che inducono un semiconfinamento dell'acquifero e limitano l'infiltrazione di acque di ricarica ben ossigenate; inoltre c'è una diffusa presenza di torbe che, degradandosi, favoriscono il consumo di ossigeno. La condizione di anossia favorisce la reazione di riduzione degli ossidi di manganese:



che porta il Mn^{4+} presente nel diossido di Manganese (insolubile) a ridursi a Mn^{2+} (solubile) con un conseguente aumento della concentrazione di Mn disciolto in acqua. Inoltre, considerando il fatto che la Pianura Padana è la più grande ed importante area produttiva d'Italia, risulta possibile incorrere in sorgenti antropiche dirette di

manganese e influenze indirette sulle loro concentrazioni; queste possono ulteriormente incrementare a livello locale le concentrazioni di manganese, già alte per cause naturali (Rotiroti, Fumagalli, & Bonomi, 2014).

Per l'identificazione della sorgente di contaminazione, è stato inoltre considerato che i materiali impiegati per il riempimento della cava potrebbero essere effettivamente soggetti a fenomeni di rilascio di manganese per effetto dell'esposizione all'infiltrazione delle acque meteoriche; tuttavia le acque di lisciviazione si trovano ad attraversare uno strato di terreno insaturo, naturale o riportato, del quale non si conoscono né le caratteristiche di permeabilità, né l'effettivo spessore, né dunque la potenziale incidenza sulle acque di falda, rendendo le prove di laboratorio effettuate nel corso degli accertamenti non rappresentative dello stato reale.

Alla luce di quanto detto, in questa fase preliminare si è ritenuto plausibile che le elevate concentrazioni di manganese possano anche essere dovute a particolari condizioni locali della falda, causate dalla presenza di una contaminazione già presente a monte idrogeologico oppure a condizioni riducenti in grado di facilitare il rilascio dai suoli di manganese.

6.1.2 Vie di migrazione

Nel caso in cui la sorgente sia rappresentata dai materiali impiegati per il riempimento della cava, i possibili percorsi di migrazione sono:

- a) rilascio nelle acque di infiltrazione degli inquinanti contenuti nei materiali;
- b) diluizione-attenuazione per il trasporto attraverso i suoli insaturi al di sotto dei materiali depositati (se esistenti, in funzione del livello di falda);
- c) miscelazione e dispersione dei contaminanti nell'acquifero superficiale.

Nel caso di contaminazione dovuta a condizioni particolari o contingenti delle acque di falda:

- a) rilascio di sostanze naturali (manganese) contenute nel sottosuolo nell'acquifero superficiale;
- b) miscelazione e dispersione dei contaminanti nell'acquifero superficiale.

6.1.3 Bersagli della contaminazione

In questa fase, l'unico bersaglio della potenziale contaminazione che si è ritenuto di prendere in considerazione, è rappresentato dalle acque di falda. Non è stato invece preso in considerazione come bersaglio il recettore umano, dal momento che il manganese è non volatile e che l'acqua sotterranea all'interno del sito non è captata per uso idropotabile.

6.2 Piano di indagine

All'interno del Piano di Caratterizzazione è stato disposto un piano di indagine avente come obiettivi:

- a) verificare l'esistenza di inquinamento del terreno e delle acque sotterranee;
- b) definire il grado e l'estensione volumetrica dell'inquinamento;
- c) delimitare l'eventuale volume delle aree di interrimento del materiale di riempimento non conforme;
- d) individuare le possibili vie di dispersione e migrazione degli inquinanti dalle fonti verso i potenziali ricettori;
- e) ricostruire le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dell'area al fine di sviluppare il modello concettuale definitivo del sito;
- f) ottenere i parametri necessari a condurre nel dettaglio l'analisi di rischio sito specifica;
- g) individuare i possibili ricettori.

Al fine di raggiungere tali obiettivi, sono state svolte indagini di diverso tipo a seconda del comparto considerato (terreni, Ecocal Green, acque di falda).

6.2.1 Indagini eseguite sui terreni

Sulla base delle informazioni emerse dal modello concettuale preliminare, l'indagine ambientale è stata effettuata definendo una strategia di campionamento di tipo ragionato. In totale sono stati realizzati 21 carotaggi, distribuiti in maniera più fitta e regolare nell'area in cui è stato utilizzato Ecocal Green per il riempimento della cava (Area denominata A e colorata in giallo in Figura 6.2) e più rada, ma altrettanto uniforme, nell'area in cui il ritombamento non è avvenuto o è stato effettuato soltanto con terre e rocce da scavo (area B e colorata in grigio in Figura 6.2).

In Figura 6.2 è riportata l'ubicazione dei punti di indagine.

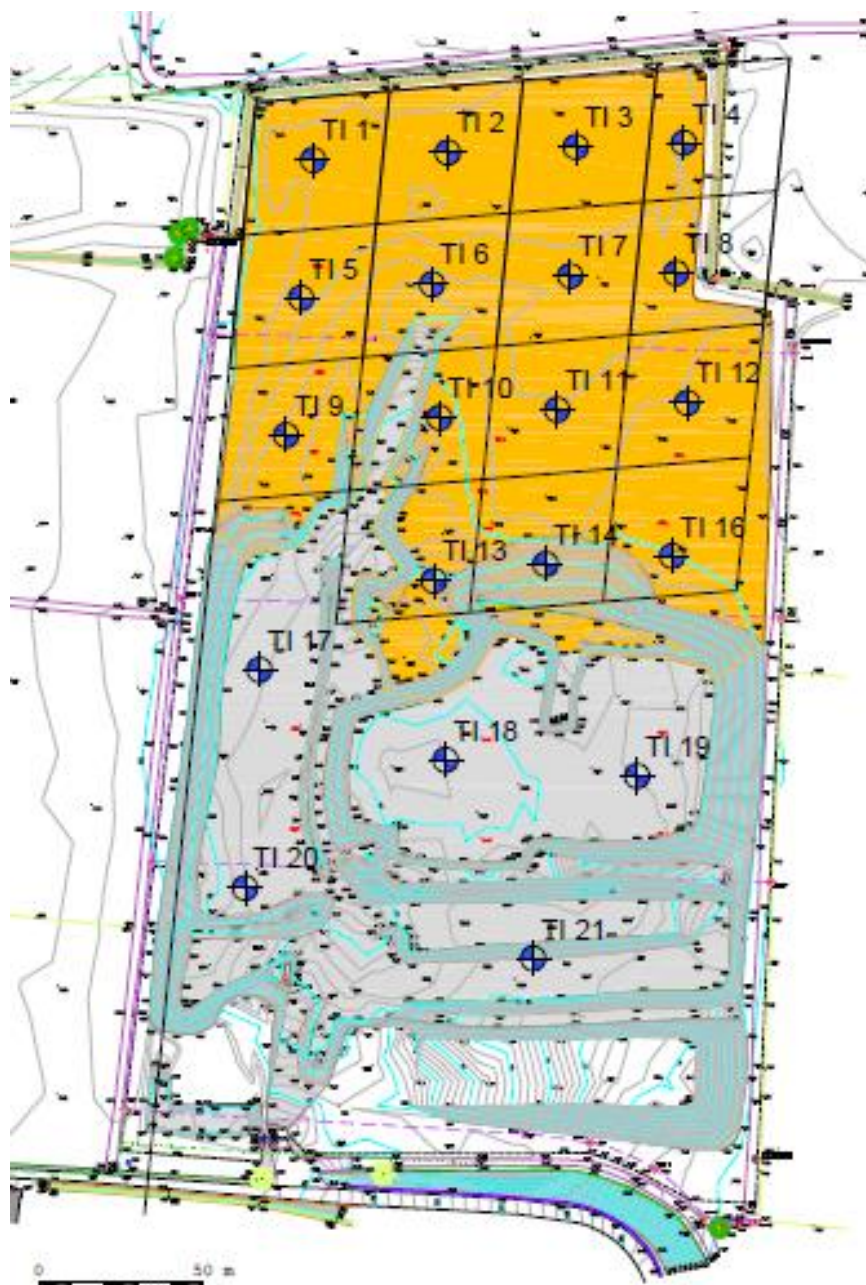


Figura 6.2. Ubicazione dei punti d'indagine

La stratigrafia del terreno è stata ricostruita con carotaggi spinti fino ad una profondità di 10 m dal piano campagna originale. Ai fini della determinazione della qualità dei suoli sarebbe stato sufficiente approfondire il sondaggio fino alla frangia capillare, che nell'area in oggetto si intercetta a circa -9 m dal p.c. Tuttavia, al fine di ricostruire la stratigrafia della cava e definire con maggior precisione l'ubicazione ed il volume dell'Ecocal Green utilizzato per il riempimento, è stato deciso di

approfondire i sondaggi di 2 m oltre la profondità massima raggiungibile autorizzata per l'attività estrattiva (-8 m), arrivando quindi fino ad una profondità di -10 m da p.c.

I principali aspetti di cui si è tenuto conto sono rappresentati da:

- a) metodo di perforazione: l'avanzamento del carotiere è stato condotto con modalità a "secco" senza utilizzare fluidi di perforazione, siano essi acqua o miscele polimeriche. Al fine di evitare l'eccessivo riscaldamento dei materiali, le manovre di avanzamento sono state eseguite con valore di spinta non elevato, in modo da evitare attriti eccessivi in rotazione.
- b) estrazione della carota: particolare importanza è stata posta nella scelta della metodologia di estrazione della carota, in modo da impedire contaminazioni indotte. La carota non è stata infatti estratta per percussione dall'asta o dalla fustella, al fine di non provocare la migrazione della frazione liquida od oleosa. Essa è stata ricavata per azione di un apposito spintore a pistone che ha permesso l'espulsione indisturbata dello spezzone prelevato dal fondo foro. La carota è stata quindi riposta nella apposita cassetta catalogatrice.

Le carote recuperate hanno un diametro minimo di 101 mm. Durante il carotaggio continuo sono state adottate tutte le precauzioni necessarie adatte a mantenere intatte le caratteristiche chimiche dei materiali prelevati nei campioni, consentendo un recupero del terreno superiore all'85%.

In Tabella 6.1 sono riassunte le stratigrafie dei sondaggi.

Tabella 6.1. Riassunto delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti

Nome campione	Profondità da p.c. (m)			
	Strato di Eocal Green	Strato di limo con argilla debolmente sabbiosa	Strato di sabbia con ghiaia	Soggiacenza del piano di falda
TI1	0-6,1	6,1-6,5	da 6,5	8,8
TI2	0-6	6-6,6	da 6,6	9
TI3	0-5,6	5,6-6,2	da 6,2	8,8
TI4	0-5,8	5,8-6,3	da 6,3	9
TI5	0-5,8	5,8-6,5	da 6,5	8,7
TI6	0-5,4	-	da 5,4	8,9
TI7	0-5,4	5,4-5,6	da 5,6	9,2
TI8	0-4,3	4,3-4,6	da 4,6	9
TI9	0-6	-	da 6	8,8
TI10	0-4,8	4,8-5	da 5	8,5
TI11	0-5,4	5,4-5,6	da 5,6	9,1
TI12	0-5,9	5,9-6	da 6	8,4
TI14	0-5,5	-	da 5,5	8,8
TI15	0-6,7	-	da 6,7	8,7
TI16	0-5,5	-	da 5,5	8,9

Una volta definita la stratigrafia, il campionamento è stato effettuato prelevando i seguenti campioni, come mostrato in Tabella 6.2.

Tabella 6.2. Riassunto dei campioni prelevati

Area	Campione prelevato
Area A (ritombamento con Ecocal Green)	Terreno insaturo sottostante l'Ecocal Green
Area B (ritombamento con terre e rocce da scavo)	Terreno a profondità 0÷1 m dal p.c.
	Terreno nell'area di frangia capillare
	Terreno in zona intermedia tra i due campioni precedenti

Ciascun campione è stato diviso in tre aliquote: una destinata al laboratorio per essere analizzata come specifico campione, una seconda consegnata ai tecnici dell'Ente Pubblico di Controllo ed una terza opportunamente conservata per eventuali analisi di verifica e riscontro. Le aliquote di terreno sono state riposte in contenitori di vetro, contrassegnati con i dati necessari all'analisi e sigillati ermeticamente. I campioni sono stati infine conservati alla temperatura di circa 4°C fino all'esecuzione delle analisi chimiche.

Su tutti i campioni di terreno sono state svolte analisi chimiche di laboratorio, ricercando il seguente set analitico:

- metalli (Arsenico, Cadmio, Nichel, Piombo, Rame, Zinco, Mercurio, Cromo tot, Cromo VI, Manganese);
- idrocarburi pesanti C>12;
- idrocarburi leggeri C<12.

La determinazione delle concentrazioni dei parametri ricercati è stata eseguita sulla frazione secca fine (<2 mm), successivamente riproporzionata alla percentuale di frazione fine sul campione di terreno passante al vaglio di 2 cm per il confronto con i limiti normativi imposti.

Dai risultati dell'indagine, ottenuti dal laboratorio di parte, non è emerso alcun superamento dei valori di Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) previsti per siti ad uso commerciale industriale o ad uso verde residenziale (rispettivamente Col. B e A della Tab. 1 dell'All. V alla parte IV del D.lgs. 152/2006).

Il laboratorio di ARPAE ha invece rilevato, per tre diversi punti presenti nell'area A (TI11-TI12-TI14), concentrazioni di idrocarburi pesanti (C>12) superiori ai limiti previsti per la destinazione d'uso verde/residenziale. È stato considerato questo tipo di destinazione d'uso poiché, a causa di diverse opinioni dei vari enti a riguardo, durante una conferenza dei servizi ARPAE ha imposto di considerare una destinazione di tipo verde/residenziale, in ottica di una possibile conversione dell'area ad uso verde/agricolo in futuro. In Tabella 6.3 sono riportati i superamenti rilevati.

Tabella 6.3. Superamenti rilevati nei campioni di terreno

Parametro	U. M.	Nome campione e profondità di prelievo da p.c.			Limiti D.Lgs. 152/06, Parte IV, All. V, Tab 1A
		TI11 6-7 m	TI12 6-7 m	TI14 6-7 m	
Idrocarburi C>12	mg/kg _{s.s}	76	106	60	50

6.2.2 Indagini eseguite su Ecocal Green

Da ogni sondaggio realizzato nell'area in cui è stato utilizzato Ecocal Green per il riempimento della cava è stato prelevato un campione del materiale. In totale sono stati prelevati 15 campioni (TI1÷TI12 e TI14÷TI16). Tali campioni sono stati sottoposti, tal quali, sia al test di cessione sia alle analisi di caratterizzazione.

I risultati completi ottenuti dalle analisi chimiche di laboratorio sono riportati in Allegato 1 e Allegato 2.

Dalle analisi è sinteticamente emerso che:

- il test di cessione in alcuni casi non è conforme ai limiti dell'allegato 3, DM 186/06, per uno o più dei parametri COD, Nichel e Rame;
- l'Ecocal Green posato in cava presenta un elevato contenuto di Mn; inoltre il materiale sottoposto a test di cessione rilascia Mn in quantità superiore ai limiti della Tab. 2 del D.Lgs. 152/06 e, sebbene non ci siano limiti per il parametro manganese per il test di cessione, può essere indice di un suo ruolo nella contaminazione verificatasi.

6.2.3 Indagini eseguite sulle acque di falda

Al fine di verificare la piezometria locale e l'eventuale contaminazione delle acque di falda è stato effettuato un monitoraggio delle stesse utilizzando:

- 1) Piezometri di valle:
 - due piezometri preesistenti, già utilizzati per il monitoraggio della ex cava di Ghiaie di Mezzo, denominati Pz3 e Pz4;
 - due piezometri esistenti (BSBP1 e BSBP2), posti a valle di Pz3;
 - un cluster di nuova realizzazione formato da due piezometri denominati Pz5A e Pz5B, posti a valle di Pz3;
 - un cluster di nuova realizzazione formato da due piezometri denominati Pz3A e Pz3B, ubicati in prossimità del Pz3 già esistente.
- 2) Piezometri di monte:
 - due piezometri preesistenti, già utilizzati per il monitoraggio della ex cava di Ghiaie di Mezzo, denominati Pz1 e Pz2;
 - un cluster di nuova realizzazione formato da due piezometri denominati Pz6A e Pz6B, ubicati in prossimità del confine sud dell'area.

I cluster di nuova realizzazione sono costituiti ciascuno da due piezometri con le seguenti caratteristiche:

- a) Pz#A
 - profondità 10 m;
 - tratto cieco da 0 a -3 m da p.c.;
 - tratto fessurato da -3 a -10 m da p.c.
- b) Pz#B:
 - tratto cieco da 0 a -10 m da p.c.;
 - tratto fessurato da -10 m a -30 m da p.c.

In Figura 6.3 è riportata l'ubicazione dei vari piezometri.



Figura 6.3. Ubicazione di tutti i piezometri installati nei pressi dell’area

Il campionamento dei piezometri, al fine di garantire riscontri significativi, è stato attuato con la seguente procedura:

- 1) misura della profondità del piezometro rispetto al livello di riferimento, per verificarne l’idoneità al campionamento;
- 2) misura del livello idrostatico rispetto al livello di riferimento;
- 3) calcolo del volume d’acqua contenuto nella colonna (volume specifico);

- 4) stima della portata dell'emungimento in funzione delle caratteristiche della pompa e della profondità di prelievo (verificando la curva caratteristica della pompa);
- 5) calcolo del tempo necessario a sollevare 5 volumi specifici;
- 6) verifica delle condizioni di pulizia della pompa;
- 7) posizionamento della pompa a fondo foro (l'estremità inferiore della pompa deve essere sollevata di circa 1 m rispetto la base della colonna d'acqua);
- 8) avviamento del pompaggio e prelievo del campione al termine del sollevamento dei primi 3 volumi specifici, purché sia avvenuta la completa stabilizzazione dei parametri fisici e la chiarificazione dell'acqua prelevata.

Il giorno del campionamento i piezometri Pz5A e Pz3A sono risultati asciutti e non è stato pertanto possibile prelevare il campione.

Su tutti i campioni di acqua di falda estratti è stato analizzato il seguente set analitico:

- metalli (Arsenico, Cadmio, Cromo VI, Cromo tot, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Zinco, Manganese);
- idrocarburi espressi come n-esano.

Il monitoraggio delle acque ha previsto tre differenti campagne, una a gennaio 2017, una a maggio 2017 e una ad agosto 2017.

Per quanto riguarda la campagna condotta a gennaio 2017, le analisi condotte sulle acque di falda hanno riscontrato un superamento dei limiti previsti solamente per il parametro manganese in Tab. 2, Parte IV, All. 5 del D.Lgs. 152/06. La presenza del metallo è stata rilevata in 5 campioni con le concentrazioni riportate in Tabella 6.4.

Tabella 6.4. Concentrazioni di manganese rilevata nei piezometri durante la campagna di gennaio 2017 (CSC = 50 µg/l)

Piezometro	Concentrazione rilevata (µg/l)
Pz6B	6
Pz6A	13
Pz5B	5
Pz3	18
Pz3B	191

Solo il campione Pz3B presenta una concentrazione superiore al limite normativo.

Anche le analisi condotte da ARPAE hanno dato risultati simili, con un unico superamento rilevato nel Pz3B, con valore di concentrazione pari a 194 µg/l.

Con le campagne di maggio ed agosto 2017, invece, le analisi condotte sulle acque di falda non hanno riscontrato alcun superamento dei limiti previsti in Tab. 2, Parte IV, All. 5 del D.Lgs. 152/06.

6.3 Modello concettuale definitivo

L'elaborazione di un Modello Concettuale Definitivo del sito è mirata alla rappresentazione dell'interazione tra lo stato di contaminazione del sottosuolo, ricostruito attraverso i risultati del piano di caratterizzazione, e l'ambiente naturale e/o costruito.

Come previsto dall'Allegato 2 del D.lgs. 152/06, Parte IV, titolo V, il modello concettuale elaborato include:

- a) le caratteristiche specifiche del sito in termini di stato delle potenziali fonti della contaminazione (attive, non attive, in sicurezza, etc.);
- b) il grado di estensione della contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e sotterranee del sito e dell'ambiente da questo influenzato;

- c) i percorsi di migrazione dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli individuati nello scenario attuale (siti in esercizio) o nello scenario futuro (in caso di riqualificazione dell'area).

Sulla base dei risultati del piano di caratterizzazione, nonché delle informazioni inerenti la natura dei materiali adoperati per il riempimento della cava e delle caratteristiche litostratigrafiche/idrogeologiche, si è giunti alla definizione del modello concettuale del sito.

6.3.1 Potenziali fonti di contaminazione

Due sono le potenziali fonti di contaminazione individuate, costituite da:

- 1) **Ecocal Green (Sorgente primaria):** considerati i risultati delle analisi condotte su Ecocal Green riportate nel capitolo precedente, si ritiene che le elevate concentrazioni di manganese riscontrate in alcune campagne di monitoraggio delle acque di falda possano essere correlate alla presenza del materiale di riempimento. Quest'ultimo infatti a contatto con l'acqua rilascia, oltre a Mn, anche sostanza organica (rilevata come COD) che consuma l'ossigeno disciolto in falda. Tutto ciò favorisce la dissoluzione riduttiva degli ossidi di manganese che porta ad aumentare la concentrazione di manganese disciolto in acqua. La condizione di anossia, ed il conseguente rilascio di Mn, si verifica pertanto quando la falda si innalza ed intercetta lo strato di Ecocal Green o, in forma più limitata, quando quest'ultimo viene attraversato dalle acque di infiltrazione. Tale ipotesi è confermata dal fatto che nelle ultime campagne di monitoraggio, effettuate con un livello di falda basso ed in periodo poco piovoso, le concentrazioni di manganese risultavano ridotte, se non assenti.
- 2) **Terreno contaminato da idrocarburi (Sorgente secondaria):** le concentrazioni di idrocarburi pesanti (C>12) superiori ai limiti previsti per la destinazione d'uso verde/residenziale (Col. A della Tab. 1 dell'All. V alla parte IV del D.lgs. 152/06) sono state riscontrate solo in tre campioni profondi (6÷7 m). Essi sono stati prelevati al di sotto dello strato di Ecocal Green, ma non sono autoctoni. Sono infatti costituiti dal terreno superficiale dell'area (rimosso e accantonato nelle prime fasi di coltivazione della cava), che è stato successivamente utilizzato per formare il primo strato di riempimento della cava stessa (strato di base su cui è stato successivamente posto l'Ecocal Green). Il ritombamento della cava è infatti avvenuto, come descritto nelle relazioni

annuali sullo stato dei lavori, sovrapponendo i seguenti strati (dal basso verso l'alto):

- terreno agricolo (cappellaccio) ed il terreno sterile, precedentemente rimossi dallo strato superficiale dell'area;
- Ecocal Green.

Considerato quanto sopra, si ritiene che la contaminazione locale e profonda riscontrata nel sito sia riconducibile ad un possibile sversamento accidentale di idrocarburi sullo strato superficiale dell'area, connesso con la presenza ed il transito dei mezzi pesanti durante lo scavo della cava, ed al successivo rimaneggiamento del terreno.

6.3.2 Grado di estensione della contaminazione del suolo

Per ciò che riguarda l'Ecocal Green, l'ubicazione ed il volume utilizzato per il riempimento della cava sono stati determinati sulla base delle stratigrafie del terreno estratto dai 21 sondaggi del Piano di Caratterizzazione.

La procedura per il calcolo del volume si è basata su un'interpolazione di tipo GIS (Geographic Information System) per ricavare le quote base della superficie interessata dai riporti. Successivamente, determinando la differenza tra le quote della superficie topografica attuale e di quella alla base dei riporti, è stato possibile calcolare il volume del materiale di riporto.

Il valore ottenuto, pari a 101.200 m³, data la scarsa densità del materiale, è confermato anche dal totale delle tonnellate trasportate dal sito di produzione (BSB Prefabbricati) alla Cava Ghiaie di mezzo nel periodo 2011-2013.

Per quanto concerne il terreno contaminato da idrocarburi pesanti, sulla base dei risultati ottenuti dalle indagini eseguite sui terreni sottostante l'Ecocal Green, si ritiene che la contaminazione sia localizzata nell'area che comprende i punti d'indagine TI11, TI12 e TI14.

7 Ipotesi progettuali

Come riportato nel modello concettuale definitivo, i risultati del piano di caratterizzazione hanno portato ad indentificare il materiale utilizzato per il riempimento della cava (Ecocal Green) come una fonte primaria di contaminazione.

Nel presente capitolo vengono riportate le soluzioni progettuali per la gestione del materiale di riempimento non conforme potenzialmente applicabili al caso in esame. Innanzitutto viene vagliata la soluzione più estrema di escavazione ed allontanamento di tutto il materiale non conforme. Successivamente vengono passate in rassegna diverse tecniche, come il soil washing, il soil flushing e il desorbimento termico. Viene infine considerata la possibilità di mettere in sicurezza il materiale non conforme mediante la posa in opera di una barriera impermeabile (capping).

In fase preliminare era stata anche valutata l'ipotesi di trattare il materiale con tecniche di tipo biologico, sia in-situ (bioventing) che ex-situ (biopile e bioreattori), data la presenza di idrocarburi nel tal quale e di superamenti dei limiti alla cessione per il parametro COD. Tuttavia gli idrocarburi rilevati sono risultati essere idrocarburi pesanti, quindi più difficilmente biodegradabili; inoltre, per quanto riguarda le tecniche in-situ, affinché siano efficaci è necessario che l'Ecocal Green abbia buona permeabilità (necessaria per assicurare sufficiente quantità di ossigeno alla reazione biologica), mentre da sopralluoghi effettuati questo non è stato riscontrato. Quindi, dati i costi non indifferenti di tali tecniche, oltre alla bassa probabilità che questi diano risultati soddisfacenti, queste opzioni sono state escluse.

7.1 Rimozione totale del materiale non conforme

La Conferenza dei Servizi del 04 maggio 2017 ha sottolineato che l'Ecocal Green “secondo quanto disposto dall'art. 192 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., dovrebbe essere rimosso. [...] Per valutare eventuali soluzioni alternative si ritiene che la Dante Bellicchi Srl debba documentare puntualmente la non praticabilità e/o sostenibilità della completa rimozione dei rifiuti”. A fronte di ciò, tale ipotesi è stata presa in considerazione per prima ed analizzata.

La rimozione dell'intero abbancamento di Ecocal Green sarebbe stata sicuramente la scelta più efficace e semplice, ma è risultata essere non percorribile dal punto di vista

economico. In Tabella 7.1 si riporta una stima di massima dei costi per lo scavo, il trasporto ed il conferimento in impianto di trattamento/discardica.

Tabella 7.1. Costi per la rimozione totale del materiale non conforme

Quantità	Costo unitario	Costo totale
103.000 t	50 €/t	5.150.000 €

L'importo stimato non risulta economicamente sostenibile da parte della ditta Bellicchi Dante s.r.l.

La rimozione totale del materiale presenta comunque i seguenti vantaggi:

- a) soluzione drastica, ma risolutiva;
- b) tempi relativamente brevi di intervento.

Allo stesso tempo, sono anche state individuate una serie di criticità:

- a) necessità di movimentare all'esterno del sito grandi quantità di materiale;
- b) necessità di reperire quantità ingenti di materiale da depositare nuovamente in cava;
- c) costi troppo elevati.

7.2 Desorbimento termico

Nel desorbimento termico il materiale contaminato viene riscaldato a temperature massime comprese tra 150°C e 540°C, inducendo la vaporizzazione degli inquinanti che vengono veicolati all'esterno dell'unità di desorbimento mediante un gas di trasporto e quindi abbattuti. Si distinguono dai trattamenti di incenerimento, nei quali le temperature di processo sono superiori a 540°C e gli inquinanti vengono ossidati quando sono ancora legati al materiale.

La temperatura massima di esercizio viene scelta in base a vari fattori:

- a) punto di ebollizione e pressione di vapore dei contaminanti;
- b) tempo di residenza del materiale all'interno desorbitore;
- c) grado di miscelazione dei solidi;
- d) portata del gas di trasporto;

e) concentrazioni residue richieste.

In funzione della temperatura massima di esercizio scelta, si ottengono materiali con caratteristiche differenti:

- a) il materiale trattato al di sotto di 320°C non subisce alterazioni fisiche;
- b) tra 320°C e 460°C il materiale subisce la mineralizzazione della frazione organica e la trasformazione degli ossidi di ferro e alluminio;
- c) il materiale trattato tra 460°C e 560°C subisce la perdita degli ossidrili dalle argille e la dissociazione dei bicarbonati, con danni irreversibili alla struttura minerale del terreno; oltre a questo, esiste anche il rischio di formazione di sottoprodotti contaminanti.

La velocità di desorbimento è controllata dai processi di diffusione interparticellari.

Le variabili più importanti che devono essere considerate nell'equilibrio tra i contaminanti e le particelle di materiale, dalle quali dipende la rimozione dei contaminanti stessi sono:

- a) temperatura: incrementi, anche modesti, aumentano notevolmente l'efficienza del processo;
- b) tessitura del materiale: i suoli sabbiosi rispondono meglio al trattamento rispetto a quelli argillosi, poiché rilasciano molto meglio i contaminanti. Inoltre, i suoli con un elevato contenuto di sostanza organica offrono molte superfici adsorbenti ai contaminanti, riducendone il potenziale desorbimento a bassa temperatura;
- c) umidità: l'aumento di umidità riduce le capacità adsorbenti del materiale, ma d'altra parte riduce anche l'efficienza del processo di riscaldamento.

In genere il 90% dei contaminanti è rimosso molto più facilmente del restante 10% che, disposto sullo strato molecolare, è fortemente adsorbito dal materiale.

Dopo l'iniziale fase di escavazione, il materiale deve solitamente essere sottoposto a pre-trattamenti prima di essere inviato al trattamento vero e proprio. Tra questi, è prevista una fase di vagliatura con rimozione delle particelle di diametro superiore a 40÷50 mm, che alternativamente possono essere macinate; dopodiché gli elementi più grossolani vengono preventivamente allontanati. Può anche essere inserita una fase di disidratazione (utile se l'umidità del materiale è superiore al 20%), finalizzata ad evitare l'inutile dispendio di energia termica per l'evaporazione dell'acqua.

Il materiale viene quindi inviato all'unità di desorbimento, nella quale viene riscaldato fino all'evaporazione dell'acqua interstiziale e dei contaminanti organici. Il materiale esce dall'unità di desorbimento con un'umidità intorno all'1%.

Sulla base della modalità di riscaldamento utilizzata, i possibili processi di desorbimento termico si differenziano in:

- a) sistemi a riscaldamento diretto: il materiale viene scaldato direttamente con un gas di combustione, ad esempio all'interno di un tamburo rotante, con temperature in genere inferiori ai 420°C. I gas generati devono essere inviati all'unità di trattamento e contengono anche i fumi generati dal combustibile.
- b) sistemi a riscaldamento indiretto: il materiale è posto a contatto con superfici metalliche che vengono riscaldate; il trasferimento del calore al materiale avviene per scambio termico con tali superfici. Per questo tipo di sistema, i gas in uscita sono in quantità molto minori e sono costituiti esclusivamente da vapor acqueo e dagli inquinanti rilasciati e di conseguenza il sistema di depurazione può essere ridotto. La temperatura varia da 300°C a 500°C. I contaminanti volatilizzati ed i vapori vengono allontanati utilizzando una miscela di aria e gas esausti provenienti dal sistema di riscaldamento; l'impiego di questi gas esausti, che derivano dalla fase di riscaldamento, evita la formazione di condizioni ossidative e possibili esplosioni. Questo tipo di tecnologia è oggi il più sviluppato.

I composti organici nella fase gassosa in uscita devono essere raccolti e recuperati. È necessaria, quindi, una fase di post-trattamento che consiste in:

- 1) trattamento dei gas in uscita dall'unità di desorbimento; le funzioni del sistema di trattamento fumi sono indirizzate a:
 - rimuovere il particolato, in particolare nel caso di sistemi a riscaldamento diretto. Il particolato può essere rimosso con unità ad umido, come lo Scrubber Venturi, o con unità a secco, come cicloni o filtri a manica;
 - rimuovere i contaminanti volatili; questi possono essere distrutti in unità di post-combustione a 1000÷1200°C o venire rimossi mediante condensatori raffreddati ad acqua che riducono la temperatura dei fumi a 40÷60°C con conseguente abbattimento dei contaminanti organici del 50÷95%. Il particolato può anche essere rimosso con adsorbimento su carboni attivi;

- 2) trattamento della matrice solida (stabilizzazione, collocazione finale). Il particolato può essere aggiunto al materiale depurato oppure reinserito nell'unità di desorbimento a seconda del grado di decontaminazione;
- 3) trattamento dei liquidi: l'umidità condensata può essere filtrata su carboni attivi e riutilizzata per umidificare il materiale trattato o opportunamente smaltita.

Tra i vantaggi del desorbimento termico vi sono:

- a) rimozione della maggior parte dei contaminanti organici tra cui IPA, pesticidi e derivati del petrolio ad alto peso molecolare; vengono rimossi anche alcuni composti inorganici, come il mercurio metallico e il piombo tetraetile;
- b) assenza di contaminanti rilasciati in atmosfera;
- c) semplice verifica del livello di concentrazione di contaminanti nel materiale eseguibile appena terminato il trattamento;
- d) possibilità di reimpiegare in loco il materiale trattato. Al termine del trattamento, se la temperatura non supera i 460°C, il materiale subisce infatti solo modeste modifiche, che non ne precludono alcun impiego futuro.

Allo stesso tempo, questa tecnologia presenta le seguenti criticità:

- a) il principale fattore limitante è la temperatura alla quale viene portato il materiale contaminato. Dal momento che la base del processo è la rimozione fisica dei contaminanti, la temperatura determina il tipo di composti organici che saranno allontanati e l'efficienza del processo; per alcuni tipi di inquinanti potrebbe quindi essere necessario adottare valori di temperatura particolarmente alti, con un dispendio energetico non trascurabile;
- b) il trattamento di materiali fortemente aggregati e di particelle maggiori di 25÷50 mm è di ostacolo al processo;
- c) il mezzo da trattare deve avere un'umidità non troppo elevata;
- d) costi in genere elevati, dipendenti comunque dai contaminanti, dalla volatilità e dalla concentrazione, oltre che dall'umidità della materia organica.

7.3 Lavaggio fisico del suolo (soil washing e soil flushing)

Il soil washing è una tecnologia essenzialmente basata su tecniche fisiche di classificazione ad umido con lo scopo di separare, isolare o concentrare le sostanze inquinanti, mentre il soil flushing si basa sulla lisciviazione dell'inquinante al contatto con il fluido di lavaggio iniettato; in entrambi i casi, i trattamenti fisici non distruggono i contaminanti. Un'ulteriore differenza tra le due tecnologie è che il soil flushing avviene in situ, mentre il soil washing ex situ.

7.3.1 Soil washing

La separazione delle sostanze inquinanti avviene fondamentalmente secondo due principi diversi:

- a) la differenziazione granulometrica del materiale ed il conseguente trasferimento delle sostanze organiche e inorganiche contaminanti (e quindi la concentrazione della contaminazione) nella frazione molto fine sulla quale si trovano preferenzialmente adsorbite/assorbite. Ciò avviene grazie alla superficie specifica estremamente più elevata dei grani di terra fini e ai possibili legami con gruppi funzionali di limi, argille e sostanza umica;
- b) la dissoluzione del contaminante nelle acque di lavaggio in seguito ai differenti sistemi di separazione che verranno descritti in seguito (ciò si verifica innanzitutto per le sostanze facilmente solubili, come alcuni sali metallici). Un trattamento di soil washing prevede quindi, in ogni caso, la predisposizione di una sezione di trattamento e ricircolo acque.

Per favorire le azioni di trasferimento di massa nella fase liquida vengono talora utilizzati sistemi chimici additivanti o reagenti, quali ad esempio tensioattivi, acidi, basi, ecc.

Esistono vari metodi per fare sì che questa dissoluzione/concentrazione avvenga:

- a) utilizzo di energia meccanica oppure cinetica (per esempio tramite mescolatori a veloce rotazione oppure getti d'acqua ad alta pressione). Il risultato di tale trattamento è il disgregarsi della matrice terrosa per mezzo di miscelatori che rendono possibile una separazione granulometrica, o addirittura agire direttamente nel processo di separazione granulometrica con

getti d'acqua ad alta pressione che provocano il distacco delle particelle di contaminante dalla superficie della matrice e le disperdono nelle acque di trattamento. Conseguentemente il contaminante in soluzione, oppure in emulsione, deve essere separato dalle acque con ulteriori sistemi di trattamento;

- b) utilizzo di tensioattivi (detergenti), che agiscono sulla tensione superficiale all'interfaccia tra matrice e contaminante, onde facilitare il dissolversi della fase contaminante nelle acque di lavaggio;
- c) aumento o riduzione dei valori di pH delle acque di lavaggio al fine di rendere più solubili le sostanze di tipo prevalentemente metallico, che si dissolvono in forma ionica.

In condizioni ottimali la separazione fisica delle sostanze inquinanti può fornire rese molto elevate, tuttavia diversi fattori influenzano questo tipo di processo. In particolare:

- a) la composizione granulometrica del materiale contaminato: questa tecnologia mostra un livello di efficacia tecnico-economica particolarmente efficace per materiali la cui frazione granulometrica inferiore ai 63 μm non sia superiore al 10-12% in peso della totalità del terreno da trattare;
- b) la forma chimica dello specifico contaminante ed il suo comportamento chimico fisico con il materiale possono, che possono differenziare l'efficacia del trattamento pur risultando particolarmente idoneo per contaminazioni da idrocarburi (anche gli idrocarburi policiclici aromatici) e da metalli pesanti. Per tale motivo è opportuno definire preventivamente la natura chimica e la concentrazione dei contaminanti, la loro forma fisica e la distribuzione degli inquinanti nei diversi orizzonti o frazioni granulometriche di materiale.

Come risultato dei diversi processi di rimozione sopra descritti, il lavaggio permette di trattare vari tipi di contaminanti con fasce relativamente ampie di concentrazioni degli stessi. In uscita dall'impianto di trattamento si ha:

- 1) il materiale grossolano ($0,063 \text{ mm} < \Phi < 30-40 \text{ mm}$) pulito e separato tramite diversi sistemi di classificazione;
- 2) la frazione delle particelle molto fini ($\Phi < 0,063 \text{ mm}$);
- 3) le acque di trattamento fortemente contaminate.

Questi ultimi due residui richiedono un'ulteriore fase di trattamento prima di poter essere riutilizzati (per quanto riguarda le acque) o smaltiti in apposite discariche o trattati on site con altre tecnologie (per i residui fini).

Per le acque ci si avvale degli stessi sistemi attualmente conosciuti per la depurazione delle acque reflue di origine sia civile che industriale. Generalmente si tratta di trattamenti a ciclo chiuso, che permettono il riutilizzo delle acque (salvo reintegro della parte persa con i fanghi e le frazioni lavate ancora umide), mentre è possibile che lo stesso trattamento delle acque generi altri residui solidi o fangosi.

Il Soil Washing presenta i seguenti vantaggi:

- a) il trattamento è in grado di rimuovere inquinanti sia inorganici sia organici con alti tassi di rendimento (talora >95%);
- b) alta flessibilità nel caso di diverse qualità di contaminazione;
- c) comprovata validità della tecnologia (vasta esperienza maturata in numerosi siti di intervento);
- d) produzione di materiale inerte (aggregati artificiali), granulometricamente selezionato pienamente recuperabile e con valore commerciale, se opportunamente dotato di marcatura CE per la destinazione d'uso;
- e) potenzialità di trattare grandi quantitativi di materiale in tempi relativamente ridotti;
- f) semplice controllo del livello di depurazione raggiunto dal materiale;
- g) disponibilità di impianti di lavaggio mobili in ambito europeo.

Tale tecnologia invece è caratterizzata dalle seguenti criticità:

- a) produzione di residui (da smaltire o addurre ad un secondo stadio di trattamento) dovuta all'impossibilità di rimuovere la contaminazione dalla frazione di materiale con una granulometria inferiore a 63 μm ;
- b) necessità di trattare le acque di lavaggio, di cui una parte persiste nella fanghiglia composta da frazione fine e particelle di contaminante organico;
- c) necessità di escavazione del materiale;
- d) relativa complessità della messa in opera dell'impianto di trattamento e del necessario collaudo del sistema;
- e) costi specifici anche elevati, ma in generale compatibili con le disponibilità derivanti dalle operazioni di bonifica (nel calcolo è necessario dare valenza

economica alla valorizzazione degli aggregati artificiali) e comunque minori di quelli derivanti da processi termici;

- f) modificazione delle caratteristiche originali del materiale dovuta all'asportazione della frazione fine e la non completa rimozione di eventuali tensioattivi (i quali però possono essere biodegradabili), laddove necessari.

7.3.2 Soil flushing

Il soil flushing è un trattamento in-situ che consiste nell'instaurare un flusso d'acqua, eventualmente addizionata con altre sostanze, immessa attraverso pozzi a monte dell'area da trattare ed estratta a valle tramite pozzi. Il fluido estratto, carico delle sostanze contaminanti rimosse, viene trattato in opportuni impianti di depurazione e scaricato in fognatura o ricircolato. I meccanismi di rimozione su cui è basata tale tecnologia sono i seguenti:

- a) solubilizzazione delle sostanze contaminanti nel fluido di lavaggio;
- b) dispersione dei contaminanti nell'agente estraente.

Rispetto al soil washing risulta però più delicata la fase di selezione dell'agente estraente, in quanto nel soil flushing occorre evitare che una quantità eccessiva di fluido o l'errata previsione delle possibili reazioni con le sostanze contaminanti possa peggiorare le condizioni di contaminazione del terreno e delle acque sotterranee.

L'efficacia di tale tecnica dipende dal tempo di contatto tra fluido di lavaggio e terreno, corretta scelta dell'agente estraente, umidità del terreno e dalle caratteristiche del terreno come tessitura e permeabilità.

Il soil flushing presenta due principali vantaggi:

- a) il trattamento è in grado di rimuovere inquinanti sia inorganici sia organici con alti tassi di rendimento (talora >95%);
- b) la possibilità di trattare grandi quantitativi di materiale in tempi relativamente ridotti.

Tra le criticità del soil flushing, invece, si hanno:

- a) necessità di trattare le acque di lavaggio, di cui una parte persiste nella fanghiglia composta da frazione fine e particelle di contaminante organico;
- b) costi specifici anche elevati;
- c) delicata selezione dell'agente estraente;

d) efficace solo con determinati tipi di terreno.

7.4 Messa in sicurezza permanente - capping

Gli interventi di messa in sicurezza permanente vengono applicati ogni qual volta le fonti di contaminazione sono tali che non sia possibile procedere alla loro rimozione pur applicando le migliori tecnologie disponibili a costi sopportabili, secondo i principi della normativa comunitaria. In tal senso la messa in sicurezza permanente non è un intervento orientato alla rimozione della contaminazione, ma consente di isolare la fonte inquinante in modo definitivo rispetto alle matrici ambientali ed ai bersagli circostanti.

A complemento di interventi di messa in sicurezza permanente, devono essere previste azioni di monitoraggio periodico ed eventualmente limitazioni sull'uso dell'area. Parte integrante della progettazione è costituita dalla definizione di accurati piani di monitoraggio e controllo atti a verificare l'efficacia di tali interventi con durata almeno quinquennale. In qualità di misura di sicurezza possono inoltre essere previste esplicite limitazioni rispetto alle previsioni degli strumenti urbanistici.

Interventi di messa in sicurezza permanente vengono spesso utilizzati per discariche incontrollate di rifiuti urbani e/o speciali, in quei casi in cui le volumetrie non consentano di rimuovere i rifiuti stoccati per motivi sia tecnici che economici.

Uno degli interventi di messa in sicurezza più rapido ed efficace è l'impermeabilizzazione superficiale, o capping, avente i seguenti obiettivi:

- a) prevenire o limitare l'infiltrazione delle acque meteoriche, che possono contaminare il suolo o la falda sottostante il sito contaminato;
- b) consentire il recupero dell'area degradata e la sua integrazione con l'ambiente circostante attraverso la piantumazione di arbusti e la semina di una copertura erbacea;
- c) assorbire eventuali cedimenti differenziali senza comportare aumenti di permeabilità;
- d) resistere a condizioni climatiche critiche (cicli gelo-disgelo, essiccamento, etc.).

Risulta allora evidente la necessità di progettare sistemi di copertura multistrato per ottenere una risposta soddisfacente alle esigenze appena menzionate. Una tipica stratigrafia che costituisce la copertura superficiale è riportata in Figura 7.2.

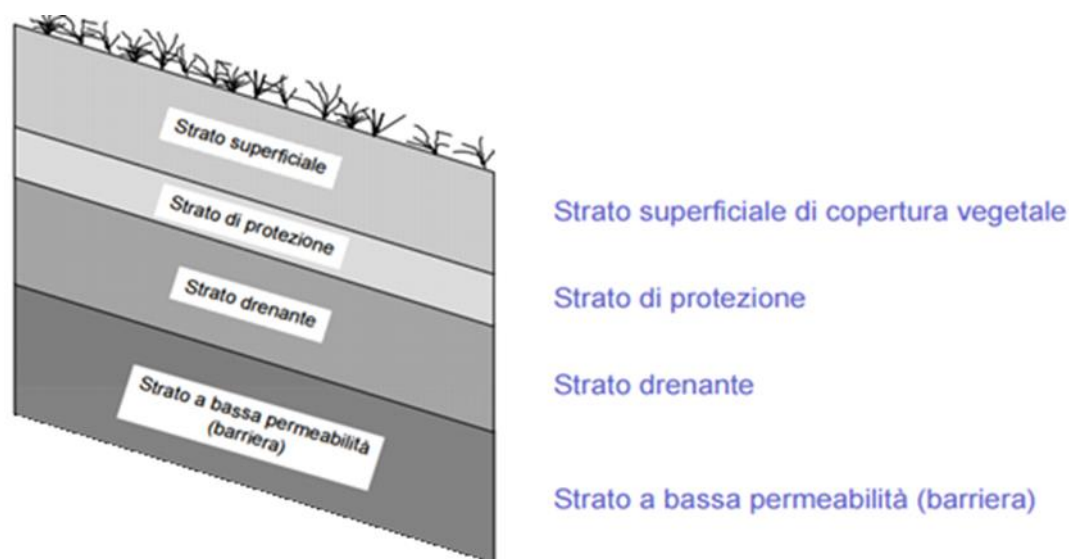


Figura 7.1. Stratigrafia della in sicurezza permanente – Capping

Strato superficiale

Presenta uno spessore che può essere pari a $0,15 \div 0,60$ m. Consente la crescita vegetale, che conferisce al sito un aspetto gradevole, minimizza l'erosione eolica, massimizza l'evapotraspirazione, protegge gli strati sottostanti dall'escursione termica e contribuisce alla stabilità delle scarpate. Il materiale maggiormente utilizzato è costituito da terreno naturale (o di coltivo), mentre altri materiali che si possono utilizzare sono materiali geosintetici o stuoie, ciottoli, materiali di pavimentazione. Tuttavia, i ciottoli non consentono la crescita della vegetazione e permettono l'ingresso di notevoli quantitativi di acqua; i materiali di pavimentazione, d'altro canto, presentano problemi connessi ai fenomeni di assestamento dei rifiuti che potrebbero provocare rotture dello strato.

Strato protettivo

Realizza una separazione fisica tra i rifiuti e le radici delle piante o gli animali scavatori e protegge gli strati sottostanti dai fenomeni di umidificazione-asciugamento o dal gelo. I materiali più utilizzati sono il tout-venant, che ha una buona capacità di ritenzione idrica, i ciottoli, oppure aggregati artificiali o riciclati.

Strato drenante

Ha lo scopo di allontanare le acque di precipitazione, captate attraverso apposite tubazioni di raccolta. È necessaria la presenza di un filtro tra strato di dreno e strato protettivo per evitare fenomeni di occlusione. I materiali utilizzati sono sabbia, ghiaia o georete, combinati con geotessile filtrante o geocompositi drenanti. Lo strato drenante deve avere una conducibilità idraulica non inferiore a 10^{-2} cm/s ed una pendenza minima del 2% per garantire un agevole allontanamento delle acque meteoriche anche dopo il completo assestamento dell'ammasso di rifiuti.

Strato a bassa permeabilità

Ha lo scopo di minimizzare l'infiltrazione dell'acqua nella massa dei rifiuti e controllare il movimento ascensionale di eventuali vapori/biogas. I materiali utilizzati sono argille compattate, geomembrane e barriere composite (geocompositi bentonitici). L'uso dell'argilla compattata determina uno spessore dello strato di $0,3 \div 0,6$ m, con una conducibilità idraulica inferiore a 10^{-6} cm/s. È molto utilizzata, ma presenta anche svantaggi quali: compattazione difficoltosa, pericolo di essiccazione e/o gelo con conseguente fessurazione, rotture a causa di cedimenti differenziali ed è difficilmente riparabile una volta danneggiata. Le geomembrane invece sono fogli di larghezza variabile tra 1.5 m e 10 m, di spessore tra i 2 e i 12 mm. Hanno una buona resistenza a variazioni di temperatura e umidità, asseccano in parte i cedimenti dei materiali sottostanti e sono facilmente riparabili. Anche le geomembrane presentano alcune problematiche: possibilità di forature, invecchiamento e potenziale slittamento geomembrana–materiale di copertura.

Tra i vantaggi della messa in sicurezza permanente, vi sono:

- a) semplicità di progettazione e di gestione;
- b) costo ragionevole;
- c) efficacia su ogni tipo di contaminante.

Al contempo, vengono evidenziate le seguenti criticità:

- a) non vi è rimozione di contaminante;
- b) necessità di manutenzione, controllo e monitoraggio prolungato nel tempo per controllarne l'efficacia.

7.5 Valutazioni finali

Per quanto riguarda la possibilità di rimuovere l'Ecocal Green, è già stato spiegato nel paragrafo dedicato come non sia un'opzione economicamente percorribile. Tecniche come il soil washing, il soil flushing e il desorbimento termico possono, con una certa probabilità, risultare soluzioni abbastanza efficaci al problema, ma presentano dei costi di realizzazione non indifferenti.

La MISP risulta un'opzione semplice e praticabile oltre ad essere una soluzione efficace del problema e, al contempo, risulta meno onerosa dal punto di vista economico. Va anche sottolineato come, secondo quanto riportato dall'allegato 3 del D. Lgs. 152/06, la MISP è da considerare ugualmente valida rispetto agli altri interventi di bonifica ed è da preferire qualora non sia possibile procedere alla rimozione degli inquinanti pur applicando le migliori tecnologie disponibili a costi sopportabili. Per tutti questi motivi, la scelta della tecnologia da adottare è ricaduta sulla MISP.

L'intervento di messa in sicurezza più rapido ed efficace è l'impermeabilizzazione superficiale, o capping, avente l'obiettivo principale di prevenire o limitare l'infiltrazione delle acque meteoriche che possono comportare una migrazione degli inquinanti verso il suolo o la falda sottostante; il capping evita quindi il diffondersi della contaminazione, rendendo possibile il conseguente recupero dell'area.

Nel caso specifico, come meglio descritto nel Capitolo 8, la messa in sicurezza avrà l'obiettivo non solo di impedire che il materiale venga in contatto con l'acqua di infiltrazione naturale (per mezzo di un capping superficiale), ma anche quello di isolarlo da un'ipotetica risalita dell'acqua di falda a causa dell'oscillazione del suo livello nel tempo (ricollocando il materiale ad una quota superiore alla minima soggiacenza registrata in questi ultimi anni e impermeabilizzando il piano di posa con una geomembrana in HDPE).

8 Proposta progettuale

Sulla base dei risultati delle indagini svolte (Capitolo 6), la sistemazione finale dell'area viene attuata allo scopo di intervenire sulle due sorgenti di contaminazione individuate dal Modello Concettuale Definitivo: Ecocal Green (fonte primaria di contaminazione) e terreno non conforme alla destinazione d'uso residenziale (fonte secondaria di contaminazione).

Per quanto concerne la gestione della fonte primaria di contaminazione, è stato definito come soluzione ottimale un intervento di MISP dell'Ecocal Green. Il progetto di MISP, sebbene proposto per risolvere le problematiche di natura ambientale del sito, è stato tuttavia impostato nell'ottica di consentire il trasferimento sull'area di un impianto di lavorazione inerti, attualmente ubicato nel Parco Fluviale Regionale del Taro in località La Vigna, come inizialmente previsto nel progetto di coltivazione della cava approvato.

Per quanto riguarda la contaminazione del terreno invece, ai sensi dell'Art. 242, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. 152/06, “*sulla base delle risultanze della caratterizzazione, al sito è applicata la procedura di Analisi di Rischio sito specifica per la determinazione delle concentrazioni di soglia di rischio (CSR)*”. Nel Capitolo 8.2 vengono pertanto riportate le conclusioni di tale analisi effettuata con l'ausilio del software Risk-net 2.1. L'Analisi di Rischio è stata elaborata considerando uno scenario finale a “verde agricolo”, come richiesto da ARPAE. Si sottolinea inoltre come questa sia una scelta di tipo cautelativo nel contesto dell'Analisi di Rischio.

8.1 Intervento di Messa In Sicurezza Permanente

La messa in sicurezza permanente dell'Ecocal Green è finalizzata ad isolare la fonte inquinante in modo definitivo rispetto alle matrici ambientali

Si procederà, quindi, a:

- 1) rimuovere tutto l'Ecocal Green utilizzato per il ritombamento della cava, ricollocandolo in cumulo, ad una quota superiore dell'attuale (pari a 68,75 m s.l.m.), nella zona non interessata dalla presenza di Ecocal Green, in precedenza opportunamente impermeabilizzata;
- 2) impermeabilizzare l'intero cumulo.

Nel presente capitolo, viene descritta la realizzazione della messa in sicurezza permanente dell'Ecocal Green. In particolare, vengono riportate la nuova ricollocazione e sistemazione del materiale nell'area, la composizione e la posa della barriera artificiale di confinamento (inferiore e superiore), le modalità di captazione e gestione dei gas interstiziali (che potrebbero eventualmente crearsi per fenomeni di biodegradazione della sostanza organica presente nell'Ecocal Green) e del percolato eventualmente prodotto, nonché il sistema di allontanamento delle acque meteoriche.

8.1.1 Predisposizione dell'area

Nel sito in oggetto si possono attualmente distinguere due aree (Figura 8.1):

- Area A: area ritombata con Ecocal Green;
- Area B: area in cui non è presente Ecocal Green.

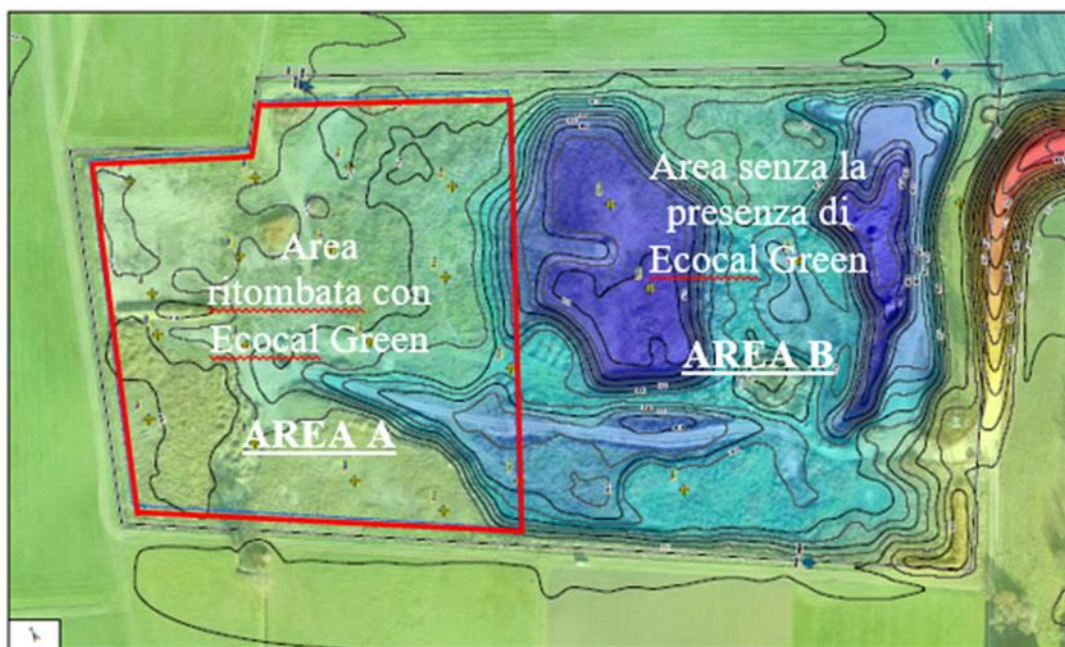


Figura 8.1. Rilievo dell'attuale stato di fatto della cava con evidenziazione dell'area ritombata con Ecocal Green

Il progetto prevede di spostare tutto l'Ecocal Green dall'area A all'area B dove, previa opportuna predisposizione ed impermeabilizzazione, verrà messo in sicurezza permanente. Sull'area B, quindi, verrà allestito un cumulo di Ecocal Green completamente impermeabilizzato, di forma troncopiramidale con altezza pari a 11 m, inclinazione dei lati di 30°, superficie della base maggiore pari a 1400 m² e superficie

- b) la falda, dal 2010 ad oggi, ha raggiunto la quota massima pari a 67,69 m s.l.m (Figura 8.3). Al fine di evitare che la superficie impermeabilizzante inferiore della MISP venga in contatto con l'acqua di falda, la quota di posa della stessa sarà posta cautelativamente ad 1 m sopra la quota di oscillazione massima.

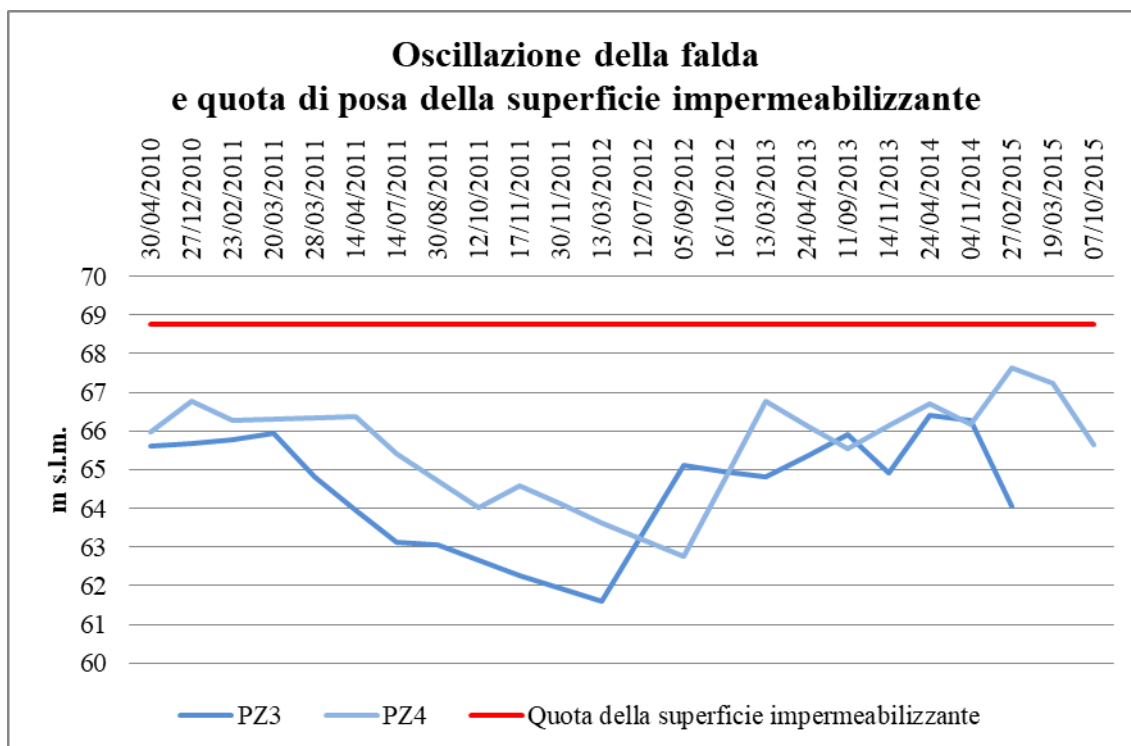


Figura 8.3. Oscillazione del livello della falda e quota di posa della superficie impermeabilizzante

8.1.2 Impermeabilizzazione del fondo dell'area

A seguito della regolarizzazione superficiale, si procederà con la posa della barriera artificiale di confinamento costituita, a partire dal basso, dai seguenti strati (Figura 8.4):

- 1) telo di tessuto non tessuto da 300 g/m², al fine di garantire la protezione alla geomembrana soprastante;
- 2) geomembrana in HDPE, al fine di garantire da una parte l'impermeabilizzazione all'acqua di falda, in caso di una improbabile e straordinaria risalita della falda, e dall'altra di impedire un eventuale rilascio di percolato nel caso in cui si dovesse formare ed accumulare sul fondo dell'ammasso di Ecocal Green;

- 3) strato di materiale sciolto ad elevata permeabilità all’acqua, di spessore pari a 0,15 m, idoneo alla formazione di un cammino preferenziale ed al drenaggio dall’eventuale percolato prodotto dall’Ecocal Green attraverso tubazioni fessurate in HDPE.
- 4) telo di tessuto non tessuto da 300 g/m², al fine di preservare la permeabilità dello strato drenante.

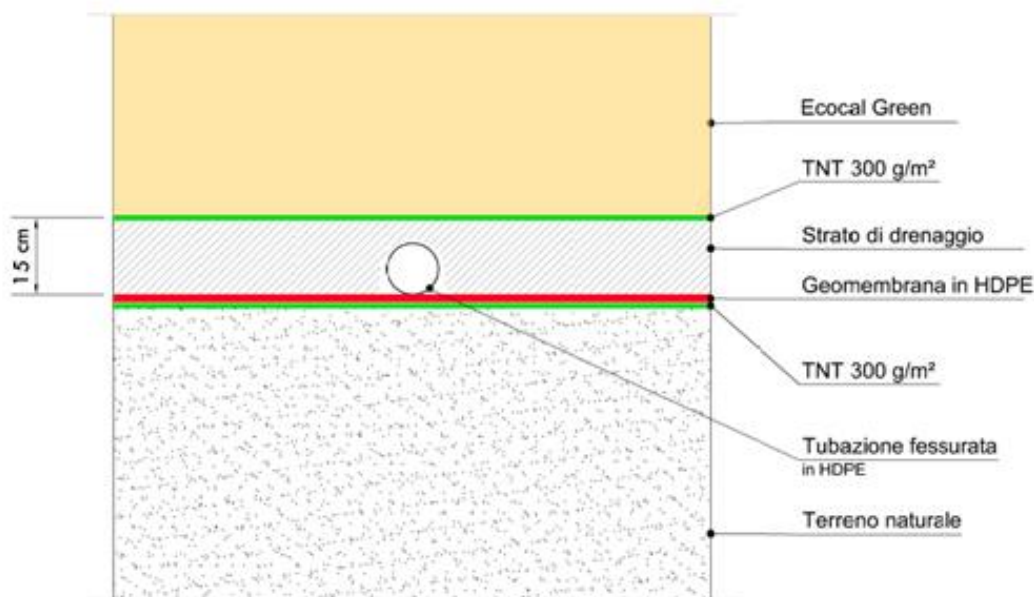


Figura 8.4. Sezione della barriera impermeabilizzante del fondo

8.1.3 Collaudo di fondo scavo

Conclusa la rimozione dell’Ecocal Green dall’area A, verrà svolta una campagna di collaudo per la verifica della conformità dei suoli sottostanti alle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) di cui al Capitolo 8.2.3. Sono state previste una serie di indagini che riguarderanno il fondo degli scavi, mirate alla ricerca del solo parametro Idrocarburi pesanti ($C>12$), che ha presentato superamenti della CSC in fase di caratterizzazione.

Al fine di garantire un numero rappresentativo di campioni, si è deciso di ubicare i punti di collaudo sulla base di una maglia regolare: nell’area in cui le analisi del piano di caratterizzazione hanno riscontrato superamenti dei limiti normativi, la disposizione dei punti sarà più fitta e ogni punto è rappresentativo di circa $600 \div 700 \text{ m}^2$; nell’area restante, invece, la disposizione sarà più rada ed ogni punto è rappresentativo di $1.200 \div 1.500 \text{ m}^2$.

La campagna di collaudo sarà effettuata adottando tutti gli accorgimenti necessari ad evitare fenomeni di contaminazione indotta e di ulteriore diffusione dei composti contaminanti.

La determinazione delle concentrazioni dei parametri ricercati per il confronto con i limiti normativi di riferimento, verrà eseguita sulla frazione secca fine (<2 mm), successivamente riproporzionata alla percentuale di frazione fine sul campione di terreno passante al vaglio di 2 cm.

8.1.4 Impermeabilizzazione superficiale del cumulo

Al termine della completa rimozione del materiale di riempimento e del suo ricollocamento nell'Area B sopra l'area impermeabilizzata, si procederà alla posa in opera della barriera artificiale di confinamento sull'intero cumulo.

La barriera artificiale di confinamento sarà costituita, a partire dal basso, dai seguenti strati (Figura 8.5):

- 1) geomembrana in HDPE, al fine di garantire l'impermeabilizzazione alle infiltrazioni delle acque meteoriche;
- 2) telo di tessuto non tessuto da 300 g/m², al fine di garantire la protezione alla punzonatura della geomembrana sottostante.
- 3) terreno vegetale.

La geomembrana posta sul fondo del cumulo e la geomembrana posta a copertura del cumulo stesso saranno saldate tra loro in modo da formare un sistema chiuso ed impermeabile su tutti i lati.

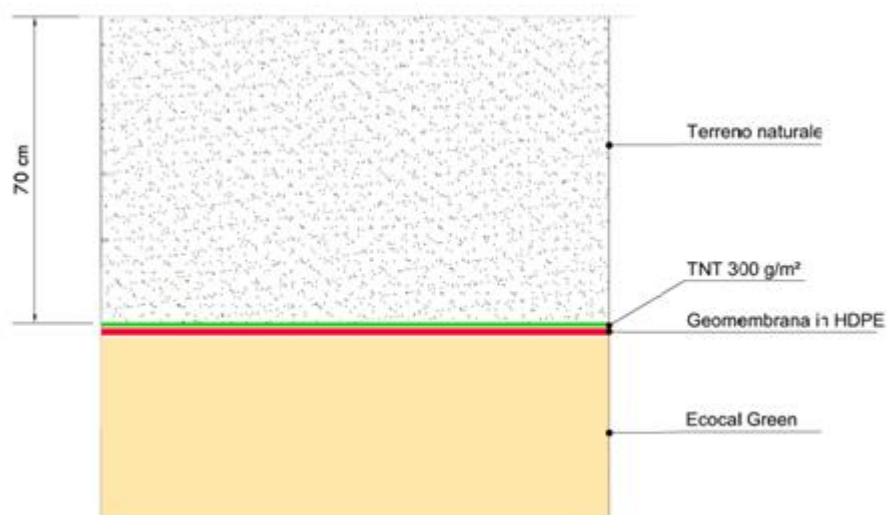


Figura 8.5. Sezione della barriera impermeabilizzante superficiale

8.1.5 Gestione dell’eventuale biogas

Risultando i contaminanti rilevati nell’area prevalentemente di natura poco volatile, la formazione di vapori viene ritenuta trascurabile, mentre non si può escludere la formazione di biogas derivante dalla biodegradazione della componente organica del materiale (Ecocal Green) isolato all’interno delle geomembrane di fondo e del capping. A scopo cautelativo verrà pertanto realizzata una rete di captazione dei gas interstiziali: questa verrà utilizzata, in una prima fase, solo per il monitoraggio della qualità del gas interstiziale e, se necessario, potrà essere utilizzata anche per l’estrazione dello stesso attraverso l’eventuale successiva posa in opera di idoneo impianto di aspirazione, da installare presso un locale tecnico appositamente realizzato. Le tubazioni verranno posizionate secondo lo schema indicato in Tavola 1

La rete di captazione del gas interstiziale sarà costituita da 8 tubazioni fessurate in HDPE di diametro pari a 100 mm, posate in verticale nel cumulo, in modo da attraversarlo in tutto il suo spessore ed intercettare l’eventuale biogas a diverse profondità. Per favorire l’intercettazione e l’eventuale estrazione del biogas le tubazioni verticali saranno poste all’interno di materiale permeabile all’aria, contenuto in appositi pozzi. Durante la formazione del cumulo di Ecocal Green, verranno infatti a tal fine costruiti dei pozzi forati (Figura 8.6), utilizzando anelli prefabbricati componibili in calcestruzzo, riempiti di aggregati naturali o riciclati marcati CE di pezzatura 15/30 mm.

La parte finale del pozzo sarà esterna alla geomembrana, ma raccordata con essa attraverso una saldatura ad estrusione, al fine di garantire la continuità della superficie impermeabilizzante della MISP. La sommità dei pozzi sarà infine chiusa con coperchi in calcestruzzo muniti di appositi fori per permettere la fuoriuscita delle tubazioni di intercettazione dei gas.



Figura 8.6. Pozzo in calcestruzzo forato in cui vengono inserite le tubazioni verticali del sistema di intercettazione del biogas

Su ogni tratto di tubazione esterno al pozzo in calcestruzzo verrà installato, a partire dall'alto (Tavola 1):

- 1) un camino di sfiato dotato di filtro a cartuccia per permettere la dispersione naturale delle eventuali emissioni gassose;
- 2) una valvola di intercettazione;
- 3) un raccordo a T collegato con una tubazione cieca in HDPE di diametro pari a 100 mm, che converge nel locale tecnico nel quale sarà possibile effettuare il campionamento dei vapori/emissioni.

8.1.6 Sistema di drenaggio delle eventuali acque di infiltrazione

A seguito della posa di geomembrane impermeabilizzanti, saldate tra loro, poste sia sopra che sotto il materiale, si ritiene che non dovrebbero verificarsi infiltrazioni d'acqua all'interno del cumulo. In termini cautelativi verrà comunque realizzata una rete di captazione dell'eventuale percolato, costituita da tubazioni fessurate poste sul fondo del cumulo, atta a convogliare l'eventuale percolato verso un pozzetto di raccolta. La disposizione del sistema di drenaggio è riportata in Tavola 2.

Il deflusso verso le tubazioni sarà garantito dalla presenza di uno strato di materiale drenante di adeguato spessore e permeabilità, nonché dalla pendenza attribuita alla superficie della geomembrana.

Il monitoraggio, così come l'eventuale raccolta del percolato, sarà effettuato con l'ausilio di una pompa ad immersione o una idrovora attraverso una tubazione verticale posizionata all'interno di un pozzo in calcestruzzo nel medesimo tipo utilizzato per la rete di intercettazione del biogas.

Per la costituzione dello strato drenante si prevede la posa di uno strato di aggregato naturale o riciclato (di pezzatura 15/30 mm), ad elevata permeabilità all'acqua, di spessore pari a 0,15 m, idoneo a permettere la formazione di un cammino preferenziale delle acque di infiltrazione.

Il sistema di drenaggio delle acque garantirà nel periodo di riempimento ed accumulo del materiale anche il deflusso delle acque meteoriche che si infiltreranno nell'Ecocal Green e che potrebbero contenere contaminanti in concentrazioni superiori a quelle concesse per il limite allo scarico in acque superficiali (Tab. 3, Allegato 5, Parte III del D.Lgs. 152/06).

8.1.7 Sistema di allontanamento delle acque piovane

Al fine di evitare la formazione di un battente idrico al di sopra della geomembrana di copertura e soprattutto delle sue saldature, che ovviamente costituiscono uno dei punti più critici del sistema, è importante poter garantire il regolare deflusso delle acque piovane dal cumulo. A tal fine verrà attribuita una minima pendenza alla superficie di copertura del cumulo, atta a convogliare le acque piovane verso la vasca di raccolta posta a nord del cumulo, come già accennato.

Poiché l'intero sito risulta ribassato di 3 m rispetto al piano campagna, al fine di agevolare l'allontanamento delle acque piovane ed evitare eventuali accumuli d'acqua, durante le opere di regolarizzazione superficiale anche all'intera area della cava verrà attribuita una minima pendenza, atta a convogliare le acque piovane verso la vasca di raccolta Tavola 3.

La vasca di raccolta sarà realizzata impermeabilizzata mediante una geomembrana in HDPE e sarà dotata di un pozzetto in cui ubicare una pompa per il sollevamento e lo scarico delle acque nel canale poso a nord dell'area. Tali acque non dovrebbero presentare alcuna problematica ambientale, in quanto andranno a contatto solo con suoli non contaminati prima del loro scarico nel canale.

8.2 Analisi di Rischio

8.2.1 Finalità dell'Analisi di Rischio

L'applicazione dell'Analisi di Rischio (AdR) si propone generalmente il raggiungimento di due obiettivi consequenziali:

- 1) stabilire se l'area in questione pone effettivamente una minaccia per la salute dei bersagli viventi coinvolti (esseri umani) o per la qualità delle matrici ambientali (falda);
- 2) individuare le concentrazioni soglia di rischio (CSR), che rappresentano gli obiettivi locali da conseguire con l'eventuale azione di risanamento.

Nel caso in esame l'Analisi di Rischio avrà l'obiettivo di verificare la presenza di eventuali rischi al termine delle attività di rimozione della sorgente primaria di contaminazione (Ecocal Green) e della successiva messa in sicurezza permanente, e di calcolare conseguentemente le CSR per i terreni che rimarranno in situ al termine dell'intervento. Tutte le scelte effettuate nell'applicazione dell'AdR sono state prese seguendo le linee guida contenute nei “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” (APAT, 2008).

Le modalità di applicazione dell'AdR sono riassunte in Figura 8.7: nel caso in cui durante la caratterizzazione del sito vengano misurati valori di concentrazione superiori rispetto alle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) nel suolo o in acqua di falda, la norma prevede che si proceda con l'applicazione dell'AdR che, secondo l'approccio diretto (forward), porta ad una stima del rischio, mentre

attraverso l'approccio inverso (backward) fornisce i valori delle CSR. Questi valori devono poi essere confrontati con le concentrazioni misurate.

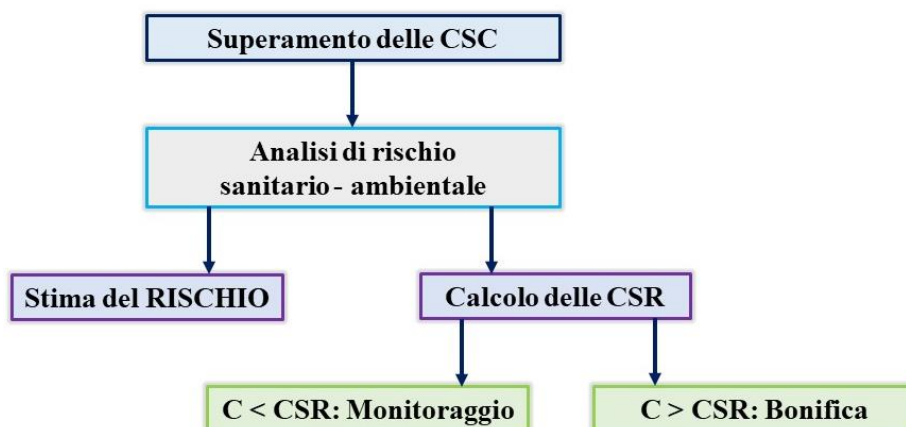


Figura 8.7. Schema di applicazione dell'AdR

Risulta utile precisare che tutte le scelte effettuate e i risultati dell'AdR riportati si riferiscono alla situazione dell'area ad intervento concluso (scenario finale).

Poiché non è stato possibile servirsi di un numero adeguato di parametri sito-specifici, si prevede di effettuare una nuova campagna di misura, in contraddittorio con ARPAE, durante i lavori. In particolare si intende sfruttare il momento in cui sarà messo a nudo il suolo di fondo al di sotto dell'Ecocal Green, che sarà stato nel frattempo rimosso dall'Area A. Tale campagna sarà utile sia per verificare in modo più completo la presenza di terreni con concentrazioni maggiori delle CSC (uso verde/residenziale) sia per la determinazione dei parametri sito-specifici, che permetteranno di applicare nuovamente il modello di AdR e conseguentemente di effettuare una nuova stima del rischio con la determinazione delle CSR, massime concentrazioni di contaminanti ammissibili per i suoli che permarranno in sito.

8.2.2 Definizione dei dati di input

Superamenti delle concentrazioni limite

In fase di caratterizzazione sono stati individuati alcuni superamenti dei valori limite previsti dalla Col. A, Tab. 1, All. 5, Parte IV, Tit. V del D.Lgs. 152/06 per siti con destinazione a verde pubblico, privato e residenziale. In ottemperanza all'iter

procedurale previsto dall'art. 242 del D.Lgs. 152/06, in caso di superamento delle CSC risulta necessario procedere con l'implementazione dell'AdR sito-specifica.

I superamenti relativi al suolo profondo (che si ricorda sono stati rilevati dal solo laboratorio ARPAE, mentre il laboratorio di Parte non ha rilevato alcun superamento delle CSC in tutti i campioni prelevati), sono riportati in Tabella 8.1.

Tabella 8.1. Superamenti rilevati nel suolo profondo

Campione e profondità di prelievo	Parametro non conforme e Concentrazione rilevata (mg/kg s.s.)	Limite D. Lgs. 152/06, Parte IV, All. 5; Tab 1, Col. A
TI11 (6-7 m)	Idrocarburi pesanti (C>12) 76	50
TI12 (6-7 m)	Idrocarburi pesanti (C>12) 106	50
TI14 (6-7 m)	Idrocarburi pesanti (C>12) 60	50

Al fine di valutare i rischi derivanti dalle concentrazioni residue rilevate nei terreni è stato utilizzato in via cautelativa, come valore di concentrazione di input, il valore massimo ottenuto dal laboratorio ARPAE.

Per quanto riguarda le acque di falda, l'unico superamento emerso in fase di caratterizzazione è relativo al parametro manganese, la cui concentrazione è risultata pari a 194 µg/l. Per valutare il rischio è poi necessario determinare la concentrazione dello stesso nel punto di conformità. Se si trascura, a fini cautelativi, l'attenuazione derivante dal percorso di migrazione, la concentrazione da considerare nell'Analisi di Rischio coincide con la concentrazione assunta come rappresentativa della sorgente.

L'Analisi di Rischio può essere approfondita a vari livelli, secondo un approccio graduale di valutazione. Il primo livello consiste essenzialmente nel confrontare la contaminazione del sito con dei valori di screening. Generalmente il valore di concentrazione di ciascun contaminante da sottoporre a confronto è il valore massimo di concentrazione rilevato. Per il calcolo del rischio nel primo livello si usano modelli semplificati e, cosa fondamentale, si presume che i soggetti potenzialmente esposti siano localizzati in prossimità della sorgente. Il secondo livello prevede l'impiego di dati “site specific” e di localizzare il punto di esposizione e quello di conformità al di

fuori della sorgente di inquinamento e non immediatamente al di sopra di essa, come invece previsto dal primo livello. Le concentrazioni limite derivanti da un'Analisi di Rischio di secondo livello saranno evidentemente meno conservative e più vicine alla realtà, grazie all'impiego di dati propri dello scenario di rischio in esame. Il terzo livello prevede di creare dei modelli sito-specifici per simulare in dettaglio il comportamento degli inquinanti e la loro diffusione nel terreno e nella falda.

In questo caso, vista l'effettiva presenza di bersagli umani sul sito in esame, si è proceduto all'analisi di livello 2 mediante il software “Risk-net 2.1”; il livello 2 rappresenta un buon compromesso tra i valori tabellari del livello 1 e i metodi più complessi del livello 3.

Definizione del modello concettuale

Nella costruzione del modello concettuale è fondamentale valutare attentamente il particolare contesto ambientale in cui il sito si colloca, in quanto non tutti i percorsi di migrazione possibili (acque sotterranee, acque superficiali, aria, suolo, catena alimentare) risultano di fatto “attivi”. Tra le possibili vie di esposizione, si è tenuto conto di quelle evidenziate in Figura 8.8.

Per tutti i recettori, sia on-site che off-site, è stato scelto il modello adjusted, che tiene in considerazione entrambe le tipologie di ricettore (adulto e bambino). Questa risulta essere una scelta particolarmente cautelativa, dal momento che la zona si presenta come scarsamente abitata e le abitazioni più prossime risultano essere a circa 180 m dal sito in esame.

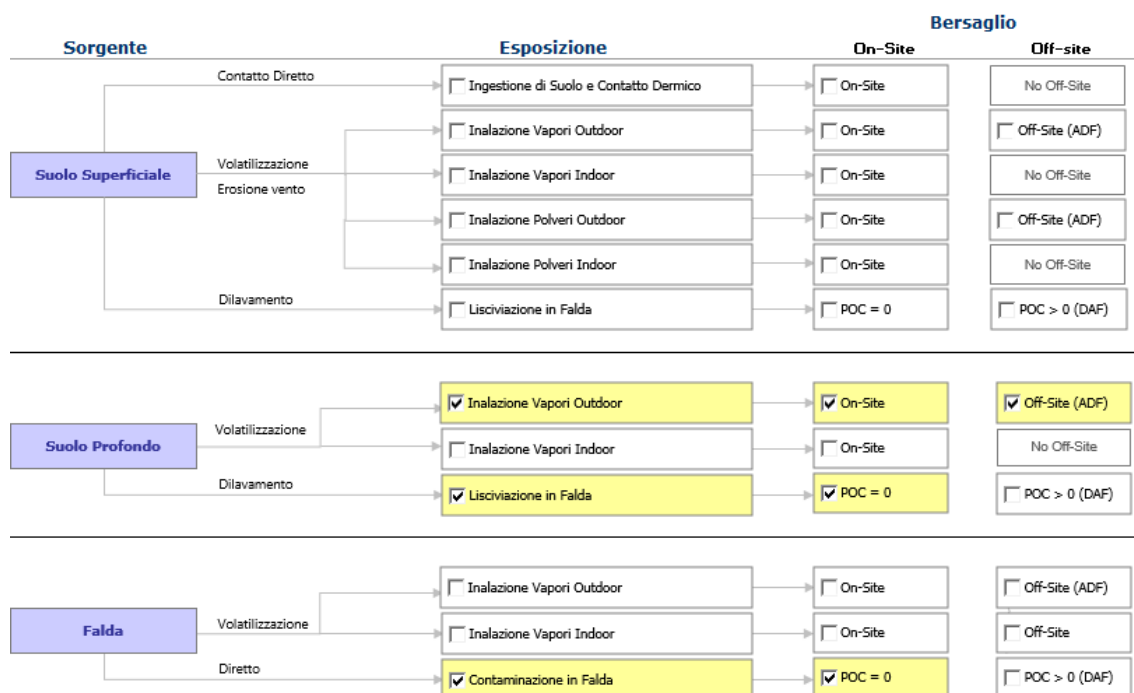


Figura 8.8. Schema del modello concettuale

Caratteristiche del sito e definizione dei parametri sito specifici

Innanzitutto, è stato calcolato il gradiente idraulico, come mostrato in Tabella 8.2.

Tabella 8.2. Calcolo del gradiente idraulico

	Pz2	Pz3
Soggiacenza (m s.l.m.)	65,96	62,60
ΔS_{Sogg} (m)	3,36	
Distanza tra i piezometri (m)	466	
Gradiente idraulico	7,2‰	

Inoltre, è stata effettuata l’analisi granulometrica su tre diversi campioni di terreno, prelevati a profondità differenti, ottenendo le granulometrie riportate in Tabella 8.3. Dalle analisi granulometriche si evince come il terreno sia costituito prevalentemente da sabbie e ghiaie, pertanto nel modello Risk-net è stata scelta la configurazione “SAND”.

Sulla base del litotipo scelto, sono stati utilizzati i seguenti parametri sito-specifici, seguendo le linee guida APAT:

- Porosità efficace del terreno in zona insatura (θ_e): 0,385;
- Contenuto volumetrico di acqua (θ_w): 0,068;
- Contenuto volumetrico di aria (θ_a): 0,317;
- Porosità efficace del terreno in zona satura ($\theta_{e\text{ sat}}$): 0,385.

Tabella 8.3. Granulometria del terreno

Campione	Profondità di prelievo da p.c.	Granulometria
A	6-7 m	Sabbia (55,1%) con ghiaia (36,2%) debolmente limoso-argillosa (8,7%)
B	9-10 m	Ghiaia (71,8%) con sabbia (26,7%) limo in tracce (1,6%)
C	14-15 m	Ghiaia (62,5%) con sabbia (34,8%) limo in tracce (2,7%)

La densità del terreno è stata assunta pari a 1,7 g/cm³. Per quanto riguarda la conducibilità idraulica del terreno saturo (K_{sat}), è stato calcolato il valore 3,95·10⁻⁵ m/s, ricavato mediando i risultati delle prove di Lefranc eseguite. Infine il pH è stato assunto pari a 6,8, in assenza di un dato misurato direttamente.

Schematizzazione del sito

Il sito in questione (Figura 8.8) è stato schematizzato come un rettangolo di superficie pari a circa 29.700 m².

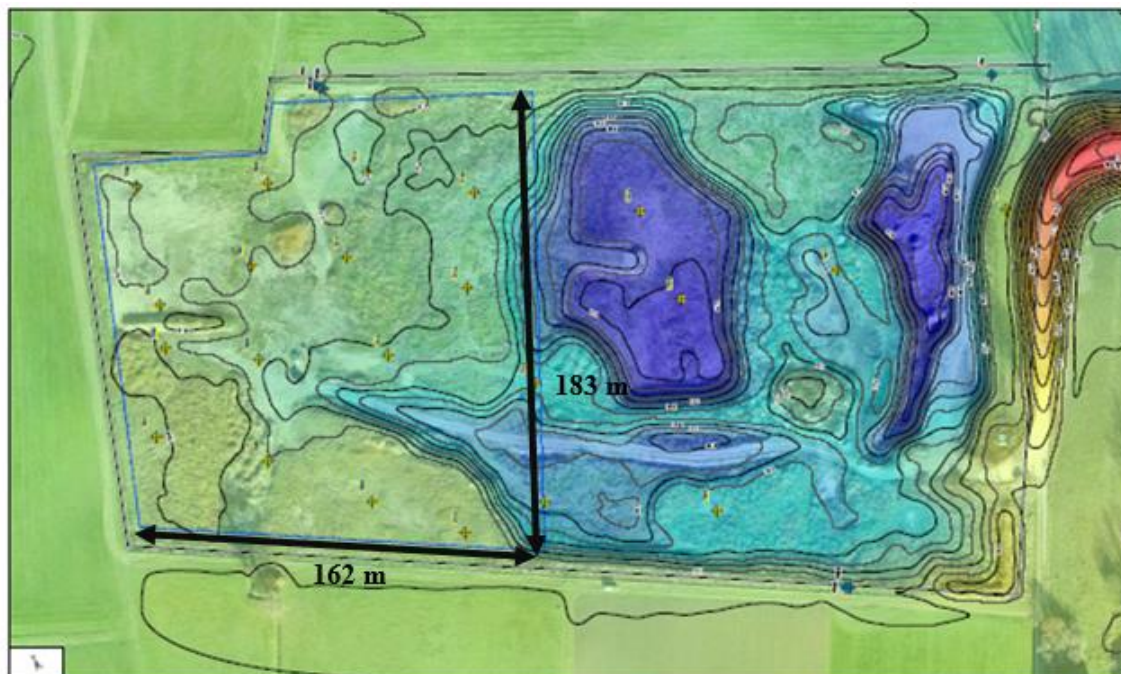


Figura 8.9. Dimensioni dell'area.

L'estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda è stata considerata pari a 210 m, nota la direzione di scorrimento della stessa. Questo è visibile in Figura 8.9, dove la freccia blu indica la direzione della falda.

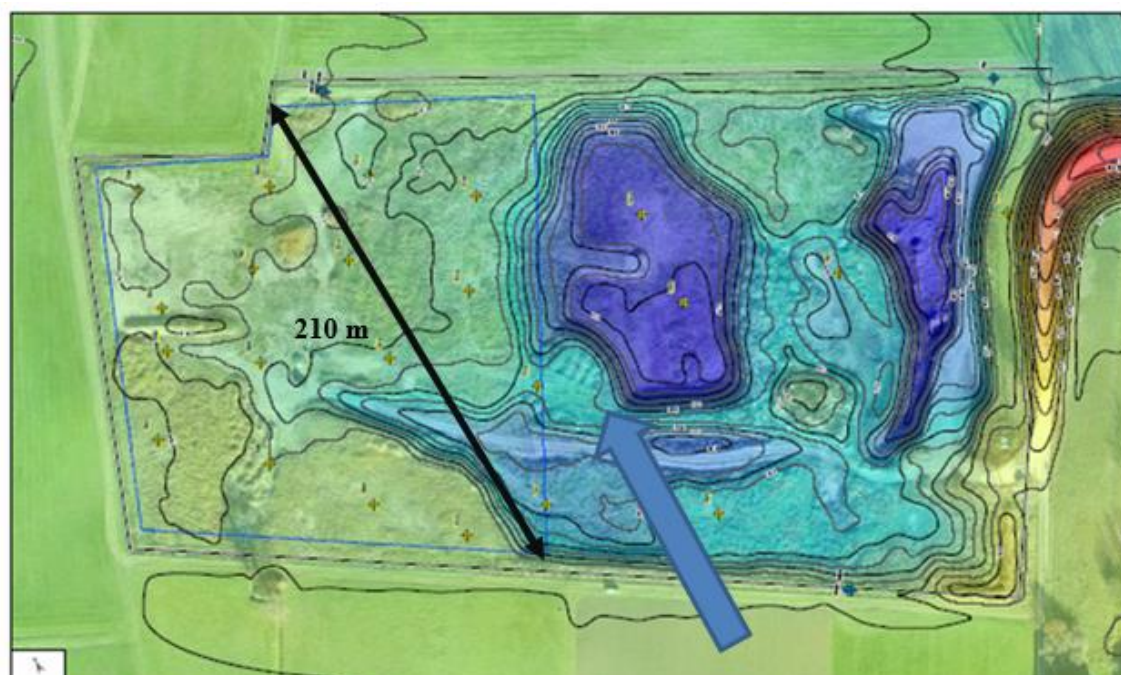


Figura 8.10. Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda

L'estensione della sorgente nella direzione principale del vento (Figura 8.10), è stata posta pari a 235 m, mentre quella in direzione ortogonale è stata posta pari a 210 m, sulla base dei dati rilevati della centralina ARPAE San Pancrazio nel corso degli ultimi 10 anni, in base ai quali è stata individuata la direzione ovest come quella prevalente di provenienza del vento. Inoltre, poiché l'asse est-ovest corrisponde alla diagonale del rettangolo che schematizza l'area e quindi al tratto di maggiore estensione, questa risulta essere una scelta cautelativa.

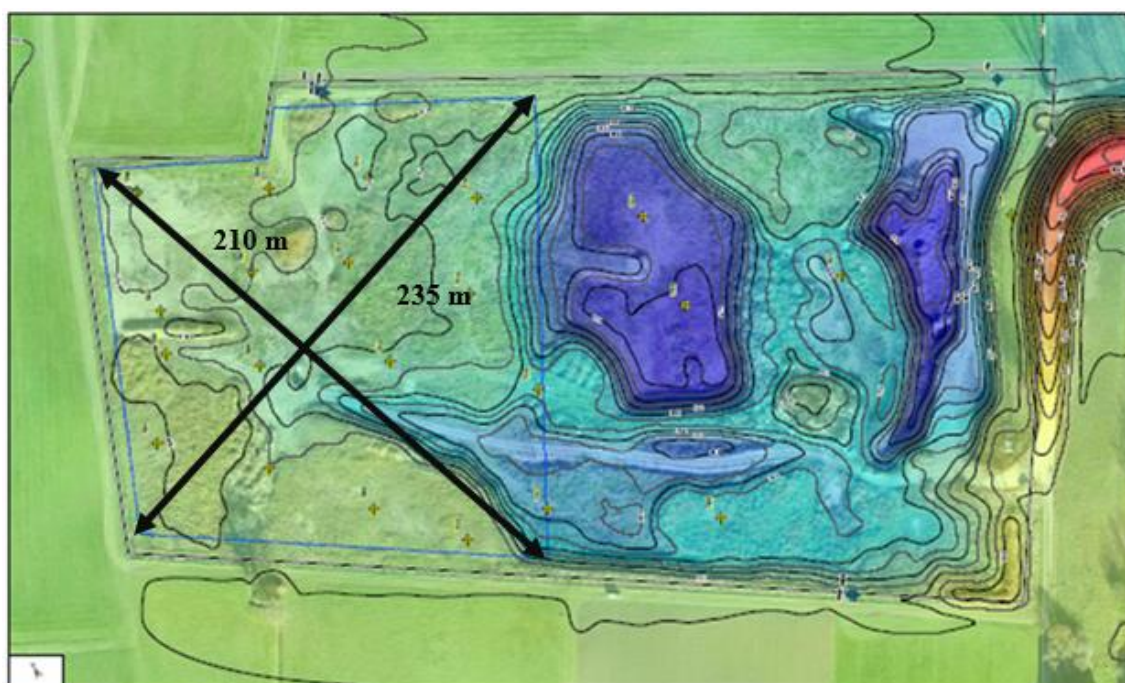


Figura 8.11. Estensione della sorgente nella direzione principale del vento e in quella ortogonale

La profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al fondo dell'area è stata definita in seguito all'interpretazione delle stratigrafie dei punti d'indagine eseguiti in fase di caratterizzazione; è stato scelto il valore -1,75 m dal fondo dell'area, posto a 68,75 m s.l.m., che corrisponde alla profondità dell'interfaccia tra Ecolal Green e terreno sottostante nel punto più superficiale. Anche in questo caso è stata operata una scelta molto conservativa poiché è stata considerata la sorgente nel punto di massima potenza.

Idrogeologia e caratteristiche locali dell'acquifero

L'acquifero è costituito da ghiaia sabbiosa. Come valore di soggiacenza da utilizzare nell'AdR si è scelto il livello rilevato durante la campagna di monitoraggio svolta nel

mezzo di gennaio 2017, in un momento in cui il piano di falda era posto a quota inferiore rispetto al terreno contaminato (vale a dire in condizioni di terreno insaturo) a quota -3,55 m dal fondo dell'area. Fissata la soggiacenza della falda a 3,55 m di profondità rispetto al fondo dell'area, lo spessore della sorgente nel suolo profondo è stato indicato cautelativamente pari a 1,7 m, in modo da considerare la sorgente come estesa fino alla soggiacenza del piano di falda.

Come rilevato da alcuni studi precedentemente svolti, la struttura idrostratigrafica locale, in corrispondenza della località Ghiaie di Mezzo, è costituita da un acquifero monofalda che si estende fino ad una profondità dell'ordine dei 50 m dal p. c., scelto come spessore dell'acquifero.

Il punto di conformità per la falda è definito come il punto “teorico” o “reale” di valle idrogeologico, in corrispondenza del quale l'Ente di Controllo deve richiedere il rispetto degli obiettivi di qualità delle acque sotterranee. Esso è stato posto in corrispondenza della sorgente di contaminazione, che risulta essere la situazione di maggior criticità, trascurando gli effetti di attenuazione dovuti al trasporto nel terreno saturo.

Precipitazioni e infiltrazione efficace

L'infiltrazione efficace è stata posta pari a 15,8 cm/anno, tenuto conto della pioggia media annuale (938 mm/anno), calcolata sulla base dei dati della centralina ARPAE di Salsomaggiore negli anni 1991-2016, considerando la superficie dell'area in esame come priva di pavimentazione e la litologia SAND.

Velocità del vento

La velocità del vento (U_{air}) è stata considerata costante sull'area di interesse e pari al valor medio dei dati di velocità media giornaliera scalare del vento a 10 m dal suolo, rilevati dalla centralina ARPAE di San Pancrazio nel periodo 2007-2016 e pari a 2 m/s.

Poiché i valori di velocità del vento forniti dalla centralina meteorologica corrispondono a misure effettuate alla quota di z_1 pari a 10 m dal p.c., per stimare il valore di velocità alla quota z_2 pari a 2 m, ovvero in corrispondenza della zona di miscelazione, è possibile applicare la seguente relazione empirica:

$$\frac{U_{air}(z_1)}{U_{air}(z_2)} = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^p$$

dove il parametro p è funzione della classe di stabilità atmosferica e della rugosità del suolo.

In Tabella 8.4 si riportano i valori di p per due tipi di rugosità, area urbana e rurale, e per le sei classi di stabilità atmosferica, secondo la classificazione di Pasquill-Gifford, dove la classe A corrisponde a quella più instabile mentre la classe F a quella più stabile.

Tabella 8.4. Valori del parametro p

Tipologia di suolo	Valori del parametro p					
	Classi di stabilità atmosferica, secondo la classificazione di Pasquill-Gifford					
	A	B	C	D	E	F
Urbano	0,15	0,15	0,20	0,25	0,40	0,60
Rurale	0,07	0,07	0,10	0,15	0,35	0,55

Come classe di stabilità atmosferica rappresentativa del sito, è stata scelta cautelativamente la classe F, mentre il suolo è stato posto come rurale, non trattandosi di una zona densamente abitata. Di conseguenza, il valore di velocità del vento a 2 m dal suolo è risultato essere pari a 0,825 m/s. Anche i coefficienti di dispersione trasversale e verticale sono stati calcolati in condizioni di suolo rurale e classe di stabilità F.

8.2.3 Calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica

Considerazioni generali sul calcolo del rischio

L'applicazione della procedura di analisi assoluta di rischio secondo la modalità diretta permette il calcolo del rischio associato al recettore esposto, derivante da una sorgente di contaminazione di concentrazione nota.

Ai fini dell'Analisi di Rischio, le sostanze inquinanti vengono classificate come cancerogene oppure non cancerogene. Le sostanze chimiche non cancerogene hanno una soglia minima di non effetto, mentre per quelle cancerogene tutti i dosaggi comportano una, seppur minima, risposta indesiderata.

Nel caso di comportamento di tipo non cancerogeno si è proceduto con il calcolo dell'Indice di Rischio Cronico o Indice di Pericolo (Hazard Quotient – HQ), determinato dividendo la dose media giornaliera (calcolata sulla durata effettiva di esposizione alla sostanza n per una via di esposizione m) per la dose di riferimento:

$$HQ_{n,m} = \frac{C_n \cdot E_m}{RfD} = \frac{CDI_{n,m}}{RfD}$$

dove:

- C_n (mg/kg_{ss}) = concentrazione di inquinante nel comparto ambientale al punto di esposizione (aria, acqua, suolo, alimenti);
- E_m (kg_{ss}/(kg_{peso_corporeo}·d)) = tasso di esposizione, rappresenta la quantità media di ciascun mezzo ambientale (acqua, aria, terreno) ingerito, inalato o contattato per unità di peso corporeo e per unità di tempo di esposizione;
- RfD (mg/kg_{peso_corporeo}·d) = reference dose, stima del valore dell'esposizione giornaliera che non produce effetti avversi apprezzabili sull'organismo umano durante il corso della vita;
- $CDI_{n,m}$ (mg/kg_{peso_corporeo}·d) = dose media giornaliera assunta (Chronic Daily Intake).

L'indice di rischio cronico, parametro adimensionale, esprime quante volte la dose media giornaliera, calcolata sulla base dell'effettivo periodo di esposizione, supera la dose di riferimento. Se $HQ \leq 1$ non c'è rischio, mentre se $HQ > 1$ potrebbero potenzialmente prodursi effetti non cancerogeni, ma patologici sulla popolazione.

Per il caso di un comportamento di tipo cancerogeno si deve calcolare il rischio $R_{n,m}$:

$$R_{n,m} = C_n \cdot E_m \cdot SF = CDI_{n,m} \cdot SF$$

dove:

- SF [(mg/kg_{peso_corporeo}·d)⁻¹] = Slope Factor, indica la probabilità di casi incrementali di tumore nel corso della vita per unità di dose.

L'indice $R_{n,m}$ rappresenta l'incremento di probabilità di contrarre un tumore nel corso della vita a causa dell'esposizione ad una singola sostanza n ed è dato dal prodotto della dose media giornaliera (calcolata per la durata della vita e per una specifica via di esposizione m) per lo Slope Factor. Il numero di eventi così determinato è da

considerarsi in eccesso rispetto al numero di casi di cancro che normalmente colpiscono un'analogha popolazione non esposta (popolazione di controllo).

Il rischio cancerogeno, derivante dall'esposizione ad una singola sostanza, non dovrebbe superare il range $10^{-6} \div 10^{-4}$. Il valore limite di rischio cancerogeno è stato assunto pari a 10^{-6} , per esposizione ad una singola sostanza, e pari a 10^{-5} per quanto riguarda il rischio cumulativo dovuto alla presenza di più sostanze nella stessa sorgente di contaminazione.

In caso di esposizione contemporanea a più di una specie chimica inquinante, si effettua solitamente una stima conservativa dell'esposizione ad una contaminazione multipla sommando il rischio (o l'indice di pericolo) di ogni singola specie chimica contaminate. Quindi il calcolo del rischio per la salute umana associato a più specie chimiche inquinanti e a una o più modalità di esposizione (Rischio cumulativo) è il seguente:

$$R_{TOT} = \sum_{i=1}^n R_i$$

$$HI_{TOT} = \sum_{i=1}^n HI_i$$

dove R_{TOT} e HI_{TOT} rappresentano il Rischio cumulativo e l'Indice di Pericolo cumulativo causati dall'esposizione contemporanea alle n sostanze inquinanti.

Infine, per quanto concerne il criterio di cumulazione dovuta a più vie d'esposizione, il calcolo del rischio per la salute umana viene svolto in funzione delle sorgenti di contaminazione considerate, vale a dire suolo superficiale, suolo profondo e falda. Per ogni sorgente di contaminazione, il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor) e il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor).

Inoltre è necessario calcolare anche il rischio per la risorsa idrica sotterranea R_{GW} , che si ricava ponendo a rapporto il valore di concentrazione del contaminante in falda, in corrispondenza del punto di conformità (C_{POE}^{GW}) con i valori di riferimento per la falda (Concentrazioni Soglia di Contaminazione, CSC_{GW}) previsti dalla normativa vigente per i siti contaminati, utilizzando quindi la seguente formula:

$$R_{GW} = \frac{C_{POE}^{GW}}{CSC_{GW}}$$

Per essere accettabile, R_{GW} deve assumere valori pari o inferiori all'unità.

In Tabella 8.5 sono riassunti i valori limite di rischio.

Tabella 8.5. Valori limite di rischio individuale e cumulativo

Parametro	Limite del rischio individuale	Limite del rischio cumulativo
R	10^{-6}	10^{-5}
HI	1	1
R_{GW}	1	1

Considerazioni generali sul calcolo degli obiettivi di bonifica

L'applicazione della procedura di Analisi di Rischio secondo la modalità inversa permette il calcolo degli obiettivi di bonifica sito-specifici per ciascuna sorgente di contaminazione, ossia del valore di concentrazione massimo ammissibile, in corrispondenza ad ogni sorgente secondaria di contaminazione (la Concentrazione Soglia di Rischio), compatibile con il livello di rischio ritenuto tollerabile per il recettore esposto.

Il calcolo della CSR viene svolto utilizzando le stesse equazioni applicate per il calcolo del rischio. Il valore della CSR viene calcolata in funzione della sorgente di contaminazione e del bersaglio considerato. Ai fini del calcolo è necessario stabilire: l'esposizione accettabile, la concentrazione nel punto di esposizione e quindi la concentrazione in sorgente.

Per chiarezza di trattazione la procedura è stata suddivisa in 3 step successivi:

- 1) Calcolo dell'esposizione accettabile: innanzitutto si fissano i valori di rischio tollerabili, TR per le sostanze cancerogene e THQ per quelle non cancerogene; solitamente vengono posti pari ai valori limite riportati in Tabella 7.5. Definito il rischio tollerabile è possibile ricavare l'esposizione accettabile (E_{acc}) per ogni contaminante, utilizzando le formule:

$$E_{acc} = TR \cdot SF \text{ (per sostanze cancerogene)}$$

$$E_{acc} = THQ \cdot SF \text{ (per sostanze non cancerogene)}$$

- 2) Calcolo della concentrazione nel punto d'esposizione: definita l'esposizione accettabile è possibile ricavare la concentrazione accettabile nel punto di esposizione ($C_{POE,acc}$) mediante l'applicazione dell'equazione:

$$C_{POE,acc} = E_{acc}/E_m$$

- 3) Calcolo degli obiettivi di bonifica sito-specifici: stabilita l'esposizione accettabile e la concentrazione nel punto di esposizione è quindi possibile individuare il valore dell'obiettivo di bonifica nella matrice ambientale sorgente di contaminazione (Concentrazione Soglia di Rischio, CSR) con la seguente relazione:

$$CSR = C_{POE,acc}/FT$$

dove con FT si indicano i fattori di trasporto che tengono conto dei fenomeni di attenuazione che intervengono durante la migrazione dei contaminanti tra sorgente e bersaglio.

Risultati ottenuti

Nel corso delle indagini di caratterizzazione del sito non è stato possibile ottenere alcuni dati sito-specifici di rilevante importanza per l'esecuzione dell'Analisi di Rischio nella matrice suolo profondo: la speciazione degli idrocarburi e la frazione di carbonio organico nel suolo insaturo f_{oc} . Quindi si è ritenuto opportuno effettuare un'analisi di sensitività su questi parametri per stabilire quali siano le classi di idrocarburi e il valore di f_{oc} più critici.

L'analisi di sensitività eseguita preliminarmente sugli idrocarburi ha dimostrato che le classi di idrocarburi alifatici C9-C18 e aromatici C11-C22 (nomenclatura secondo la classificazione MADEP - Massachusetts Department of Environmental Protection) risultano le più critiche. Sulla base di queste informazioni, sono state effettuate diverse elaborazioni fissando il valore di f_{oc} pari a 0,01, valore di default, e modificando il mix di idrocarburi secondo le seguenti opzioni:

- 1) idrocarburi composti interamente da alifatici C9-C18;
- 2) idrocarburi composti interamente da aromatici C11-C22;

- 3) mix di idrocarburi composto dal 50% di alifatici C9-C18 e dal 50% di aromatici C11-C22;
- 4) mix di idrocarburi composto dal 60% di alifatici C9-C18 e dal 40% di aromatici C11-C22;
- 5) mix di idrocarburi composto dal 40% di alifatici C9-C18 e dal 60% di aromatici C11-C22.

Si sottolinea che per l'implementazione dell'AdR attraverso il software Risk-net 2.1 è stata disattivata l'opzione “considera Csat per calcolo del Rischio e delle CSR” a scopo cautelativo, poiché in questo modo vengono sovrastimati i rischi legati all'inalazione di vapori.

Come riportato nel manuale d'uso di Risk-net (Verginelli, 2016), le CSR individuali non costituiscono però gli obiettivi di bonifica, in quanto le concentrazioni calcolate rispettano esclusivamente la condizione di rischio tollerabile per esposizione a singola sostanza. Pertanto le CSR individuali non rispettano necessariamente la condizione di rischio cumulativo tollerabile (ad es. $R=10^{-5}$ e $HI=1$).

Per tenere conto degli effetti di cumolazione del rischio è necessario ridurre ulteriormente le concentrazioni delle specie presenti rispetto ai valori definiti dalle CSR individuali, fino a garantire il raggiungimento di valori di concentrazioni tali da rispettare la condizione di rischio cumulativo accettabile.

A tal fine in Risk-net vengono calcolati in forma tabellare, per ciascuna via di esposizione, i rischi (R) e gli indici di pericolo (HI) associati alle Concentrazioni Soglia di Rischio individuali calcolate. In fondo alla tabella vengono riportati i rischi cumulativi (ovvero la somma dei rischi di ciascun contaminante). Tale somma deve essere inferiore al rischio ed all'indice di pericolo cumulativo accettabile (ad es. $R=10^{-5}$ e $HI=1$). Se tale condizione non risultasse soddisfatta (valori evidenziati in arancione) è facoltà dell'utente applicare un fattore correttivo (f, terza colonna della tabella) che riduca la concentrazione soglia di rischio e conseguentemente il rischio associato. Tale riduzione può essere effettuata proporzionalmente per tutti i contaminanti o intervenendo in maniera ragionata sui singoli contaminanti fino a che il rischio e l'indice di pericolo cumulativo calcolati risultino inferiori al limite accettabile.

Le CSR che rispettano i limiti individuali e cumulativi costituiscono gli obiettivi di bonifica sito-specifici della matrice contaminata. Le CSR per il sito relative ai diversi comparti contaminati e tali da rispettare l'additività dei rischi sono riportate in

Tabella 8.6 (da cui si evince che le CSR proposte rispettano sia i rischi individuali, sia i rischi cumulati).

Tabella 8.6. Analisi di sensitività sul mix di idrocarburi

Contaminante	Concentrazione alla sorgente (mg/kg s.s.)	Calcolo del Rischio			Calcolo CSR					
		HQ tot on-site	HQ tot off-site	R _{GW}	Fattore di correzione f	CSR (mg/kg _{s.s.})	CSR del mix di idrocarburi (mg/kg _{s.s.})	HQ tot on-site	HQ tot off-site	R _{GW}
Opzione 1										
Alifatici C9-C18	106	0,869	0,239	0,0053	-	122	122	1	0,276	0,006
Opzione 2										
Aromatici C11-C22	106	0,343	0,0944	0,718	-	148	148	0,477	0,131	1
Opzione 3										
Alifatici C9-C18	53	0,606	0,167	0,362	1,4	87,2	155	0,965	0,266	0,531
Aromatici C11-C22	53				1,9	77,7				
Opzione 4										
Alifatici C9-C18	63,6	0,658	0,181	0,290	1,4	87,2	145	0,965	0,266	0,531
Aromatici C11-C22	42,4				1,9	77,7				
Opzione 5										
Alifatici C9-C18	42,4	0,553	0,152	0,433	1,4	87,2	129	0,965	0,266	0,531
Aromatici C11-C22	63,6				1,9	77,7				

Dai risultati ottenuti, l'opzione 1 risulta essere la più critica, poiché restituisce il valore di CSR più basso. Nell'AdR, in via cautelativa, si è pertanto ipotizzato che tutti gli idrocarburi presenti nel suolo profondo siano costituiti interamente dalla classe alifatici C9-C18.

Successivamente è stata svolta un'analisi di sensitività anche sul valore di frazione di carbonio organico f_{oc} . Valori tipici per il parametro sono solitamente compresi tra 0,01 e 0,05. Sono state pertanto effettuate tre differenti simulazioni utilizzando i valori 0,01, 0,03 e 0,05. I risultati sono riportati in Tabella 8.7. Si può osservare come la situazione più critica sia riconducibile a quella simulata utilizzando un valore di f_{oc} pari a 0,01, a cui corrisponde un valore di CSR per il parametro idrocarburi C>12 pari a 122 mg/kg s.s.

Tabella 8.7. Analisi di sensitività sul valore di f_{oc}

Contaminante	Concentrazione alla sorgente (mg/kg s.s.)	f_{oc}	Calcolo del Rischio			Calcolo CSR				
			HQ tot on-site	HQ tot off-site	R _{GW}	Fattore di correzione f	CSR (mg/kg _{s.s.})	HQ tot on-site	HQ tot off-site	R _{GW}
Opzione 1										
Alifatici C9-C18	106	0,01	0,869	0,239	0,0053	-	122	1	0,276	0,006
Opzione 2										
Alifatici C9-C18	106	0,03	0,566	0,156	0,0018	-	187	1	0,276	0,003
Opzione 3										
Alifatici C9-C18	106	0,05	0,339	0,094	0,001	-	312	1	0,276	0,003

L'Analisi di Rischio condotta per la falda invece ha portato ad ottenere un valore di CSR per il parametro manganese pari alla CSC di Tab. 2 All. 5 Parte IV Tit. V del D.Lgs. 152/06, come evidenziato in Tabella 8.8.

Tabella 8.8. Calcolo del rischio e della CSR per la falda

Contaminante	Concentrazione alla sorgente ($\mu\text{g/l}$)	CSC ($\mu\text{g/l}$)	R_{GW}	CSR falda ($\mu\text{g/l}$)
Manganese	194	50	3,88	50

I risultati dimostrano che il rischio R_{GW} risulta non accettabile, essendo superiore a 1, la CSR risulta inferiore della concentrazione rinvenuta nella sorgente, pertanto l'obiettivo di bonifica non è raggiunto.

Come illustrato all'inizio introducendo l'AdR, al fine di eseguire una simulazione più accurata, implementata con un numero più consistente di dati sito-specifici, si propone di condurre una campagna di caratterizzazione in occasione del collaudo del fondo scavo al termine della rimozione dell'Ecocal Green.

Tale campagna sarà utile per:

- a) verificare in modo più completo la presenza di terreni con concentrazioni maggiori delle CSC (con il limite residenziale)
- b) determinare i parametri sito-specifici
- c) permettere di applicare nuovamente il modello di Analisi di Rischio e conseguentemente di effettuare una nuova stima del rischio con la determinazione delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR), massime concentrazioni di contaminanti ammissibili per i suoli che permarranno in sito.

Durante questa campagna verranno ricercati (in contraddittorio con ARPAE) tutti i dati sito specifici mancanti e potrà essere implementato un modello di Analisi di Rischio dettagliato, partendo dalle medesime ipotesi descritte nella presente relazione, e condiviso con gli Enti di Controllo.

In merito alla contaminazione delle acque di falda, si propone di sottoporre l'area a un monitoraggio periodico al fine di individuare il trend della contaminazione da manganese e di proporre eventuali interventi di bonifica qualora lo stato di contaminazione dovesse confermarsi durante i futuri monitoraggi periodici.

9 Conclusioni

Visti i risultati ottenuti dal Piano di Caratterizzazione ed analizzate le diverse ipotesi progettuali per la gestione del materiale di riempimento non conforme, è stato scelto di realizzare una Messa in Sicurezza Permanente (MISP).

L'intervento proposto prevede di:

- a) scavare e rimuovere tutto il materiale non conforme, posizionandolo all'interno della cava, ma ad una quota tale da non poter mai essere intercettata dall'acqua di falda sottostante, neppure nei periodi di massima ascesa (valutati sull'escursione del piano d'acqua negli ultimi 7 anni);
- b) proteggere il cumulo con una copertura impermeabilizzante sintetica (geomembrana) per evitare che l'acqua piovana possa infiltrarsi al suo interno;
- c) proteggere a scopo cautelativo con una barriera impermeabile artificiale (geomembrana) anche la base del cumulo a protezione di un'improbabile eccezionale risalita della falda;
- d) captare eventuali emissioni di biogas (che il materiale potrebbe produrre a seguito della biodegradazione di materiale organico) mediante una rete di pozzi di aspirazione collegati ad un sistema di aspirazione;
- e) realizzare un sistema di raccolta dei fluidi che dovessero essere rilasciati nel tempo dall'ammasso di materiale non conforme o dell'eventuale percolato che potrebbe prodursi ed accumularsi sul fondo del cumulo.

Per la gestione della sorgente secondaria (suoli contaminati da idrocarburi C>12), sulla cui esistenza, estensione e caratteristiche esistono al momento attuale ancora molti dubbi (che potranno essere rimossi solo al termine della fase di rimozione del materiale non conforme), è stato necessario effettuare alcune simulazioni modellistiche al fine di valutare con un'Analisi di Rischio l'esistenza di un rischio per la salute umana e per l'ambiente.

La situazione di maggior criticità è stata ottenuta nella simulazione in cui la sorgente sia costituita interamente dalla classe di idrocarburi alifatici C9-C18 e il parametro foc sia pari a 0,01. Tuttavia anche in questo caso viene dimostrato come i rischi siano accettabili e la CSR per il parametro idrocarburi C>12 (pari a 122 mg/kg s.s.) risulti accettabile poiché è maggiore della concentrazione (CRS) rinvenuta nella sorgente (pari a 106 mg/kg s.s.). Pertanto il terreno sottostante l'Ecocal Green (in cui ARPAE

ha rilevato superamenti delle CSC residenziali) non costituisce un rischio per la salute umana e per l'ambiente e di conseguenza non necessita di un intervento di bonifica e può permanere in loco.

Bibliografia

- 152/06, D. L. (2006). Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 Norme in materia ambientale.
- APAT. (2008). Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati, 156. Retrieved from <http://www.isprambiente.gov.it/files/temi/siti-contaminati-02marzo08.pdf>
- Assocarta. (2015). L'industria cartaria nel 2014.
- Assocarta. (2016). Rapporto ambientale dell'industria cartaria italiana - Dati 2013-2014.
- Castiglioni, F., Boldea, F., Ghimpau, M., Anghelihar, B., Coppola, A., & Oprea, C. (2007). Linee guida sui rifiuti speciali cartiere.
- COM. (2014). Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti.
- COMIECO. (2016). COMIECO sostenibile.
- Confederation of European Paper Industries. (2009). Annual Statistics 2008. European Pulp and Paper Industry.
- Confederation of European Paper Industries. (2014). Pulp and Paper Industry Definitions: Definitions and concepts.
- D. M. 186/06. (2006). Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero, 1998, 1–85.
- Direttiva 2008/98/CE. (2008). DIRETTIVA 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive, 3–30.
- Jacobucci, G. (1998). La raffinazione impasti nell'industria cartaria.
- Pandolfo, R., Russo, F., Molfese, D., & Colangelo, F. (2016). I residui dell'industria cartaria : la depurazione dei reflui e possibilità di riutilizzo dei fanghi.
- Rotiroti, M., Fumagalli, L., & Bonomi, T. (2014). Come gestire potenziali contaminazioni da As, Fe e Mn nelle acque sotterranee della bassa Pianura

Padana: una proposta dal caso studio di Cremona. *Acque Sotterranee-Italian Journal of Groundwater*, (2/136), 009–016. <https://doi.org/10.7343/AS-070-14-0096>

Russo, E., Peroncini, E., & De Crema, M. (2010). Report dei dati anno 2009 - Rete di monitoraggio della qualità delle acque sotterranee della provincia di Piacenza.

Suhr, M., Klein, G., Kourti, I., Gonzalo, M. R., Santonja, G. G., Roudier, S., & Sancho, L. D. (2015). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp , Paper and Board*. <https://doi.org/10.2791/370629>

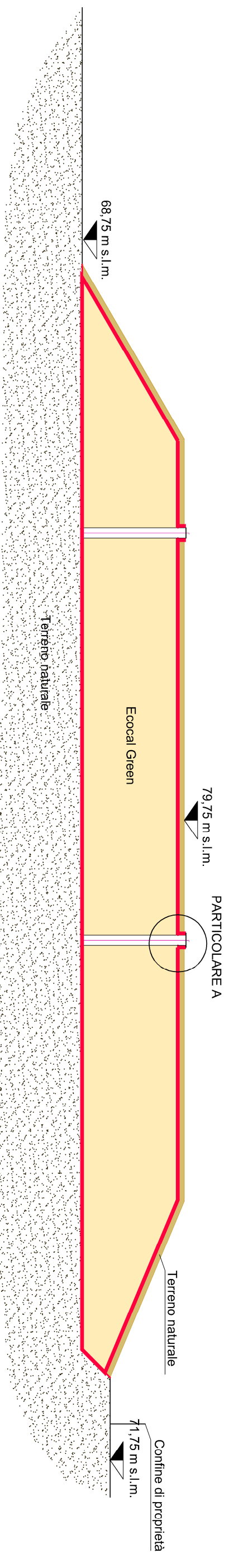
Verginelli, I. (2016). Risk-Net, Manuale d'uso versione 2.1, 1–126.

Violanti, S., Reverberi, S., Dellantonio, B., Berselli, A., Melegari, C., & Balzani, L. (2014). Report sullo stato delle acque sotterranee in provincia di Parma - Triennio 2010-2012.

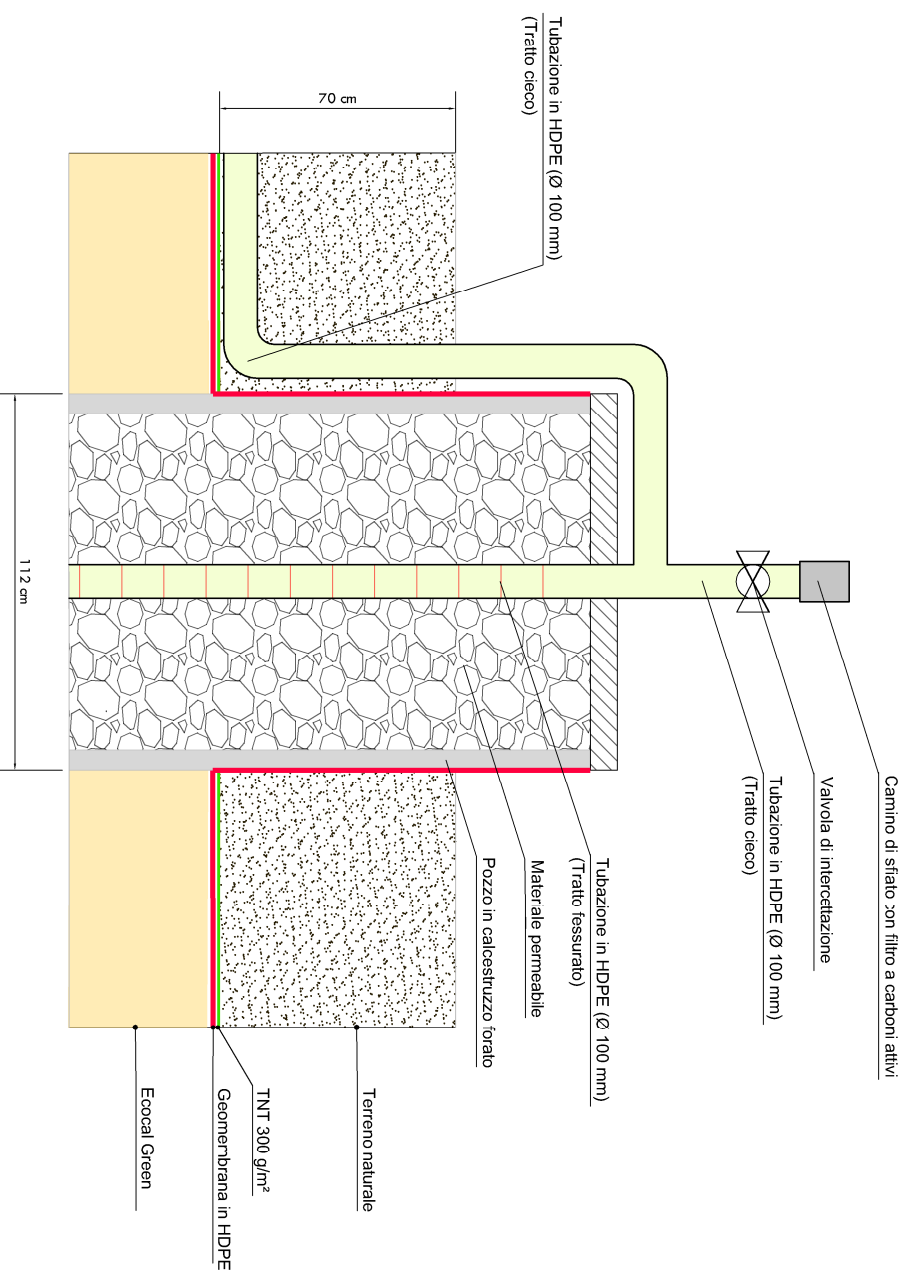
Allegato 1. Risultati delle analisi di caratterizzazione effettuate sull'Ecocal Green

PARAMETRI	UM	IDENTIFICAZIONE CAMPIONI															
		TI 10-5.5 m	TI 11-0-5.5 m	TI 12-0-6 m	TI 14-0-5.5 m	TI 15-0-5.5 m	TI 16-0-5.5 m	TI 7-0-5.5 m	TI 8-0-5.5 m	TI 9-0-5.5 m	TI 10-0-5.5 m	TI 11-0-5.5 m	TI 12-0-6 m	TI 14-0-5.5 m	TI 15-0-5.5 m		TI 16-0-5.5 m
Stato fisico	---	solido	solido	solido	solido	solido	solido	solido	solido	solido	solido	solido	solido	solido	solido	solido	Regolamento della Commissione
Aspetto	---	terreno	terreno	terreno	terreno	terreno	terreno	terreno	terreno	terreno	terreno	terreno	terreno	terreno	terreno	terreno	---
Colore	---	grigio	grigio	grigio	grigio	grigio	grigio	grigio	grigio	grigio	grigio	grigio	grigio	grigio	grigio	grigio	---
Odore	---	chetonico	chetonico	chetonico	chetonico	chetonico	chetonico	chetonico	chetonico	inodore	inodore	inodore	chetonico	chetonico	indefinito	indefinito	---
pH	u.pH	8,2	8,1	8,2	8,3	7,5	7,9	8,1	8,2	8,1	8,2	8,1	8,2	8,1	8,3	8,1	(2-11,5)
Residuo a 105°C	%	70,9	71,6	70,4	76,1	78,8	70,6	73,2	69,2	70,1	67,2	64,3	64,3	69,3	63,8	63,8	---
Residuo a 600°C	%	59,9	61,4	61,9	65,7	73,2	63,0	65,6	60,5	63,7	58,10	55,2	55,2	61,5	53,3	53,3	---
Arsenico	mg/Kg	2,4	2,4	2,5	3,1	2,4	2,4	2,0	2,5	1,9	2,0	2,3	2,3	2,8	2,5	2,5	Acute Tox3 H331 H301 - Aquatic Acute 1 H400 Aquatic Chronic 1 H410
Cadmio	mg/Kg	<1,00	<1,00	<1,00	30,4	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	Acute Tox4 H332 H312 H302 - Aquatic Acute 1 H400 Aquatic Chronic 1 H411
Cromo	mg/Kg	104,0	96,7	100,0	102,0	87,1	92,3	423,0	80,8	75,2	77,6	81,7	100,0	115,0	115,0	115,0	1000 - Carc. 1B H350 - Skin Sens. 1 H317 - Aquatic Acute 1 H400 Aquatic Chronic 1 H410
Cromo VI	mg/Kg	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1000 - Carc. 1B H350 - Skin Sens. 1 H317 - Aquatic Acute 1 H400 Aquatic Chronic 1 H410
Mercurio (composti organici ed inorganici)	mg/Kg	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1000 - Acute Tox 1 H310 Aquatic Acute 1 H400 Aquatic Chronic 1 H410 STOT RE 2 H737 Acute Tox 2 H330 H300
Manganese	mg/Kg	1195,0	1070,0	1190,0	1605,0	1457,0	1384,0	1464,0	1133,0	1247,0	1070,0	825,0	1284,0	694,0	694,0	694,0	1000 Carc. 1A H350 - STOT RE 1 H372 - Skin Sens. 1 H317 R53 come NiO
Nichel	mg/Kg	50,0	41,3	49,8	60,5	42,6	49,1	194,0	41,7	39,1	37,2	39,3	47,8	71,8	71,8	71,8	3000 Repr. 1A H360 - Acute Tox 4 H332 H302 - STOT RE 2 H737 - Aquatic Acute 1 H400 Aquatic Chronic 1 H410
Piombo	mg/Kg	109,0	116,0	96,3	82,0	72,6	81,2	397,0	74,7	80,9	88,4	66,5	98,1	70,8	70,8	70,8	50000 - Acute Tox 4 H302 - Aquatic Acute 1 H400 Aquatic Chronic 1 H410 come Cu2O
Rame	mg/Kg	96,5	104,0	84,2	65,3	45,3	65,1	383,0	60,6	49,1	65,9	52,9	111,0	67,1	67,1	67,1	Aquatic Acute 1 H400 Aquatic Chronic 1 H410 come Zn e/o polveri stabili
Zinco	mg/Kg	90,6	99,3	85,6	66,3	44,3	69,5	308,0	54,1	53,4	64,9	66,9	74,8	59,6	59,6	59,6	25000 - Aquatic Acute 1 H410
Idrocarburi Alifatici C5-C8	mg/Kg	7,4	11,2	7,0	<5,0	31,2	43,5	34,6	51,3	24,2	38,7	44,1	51,0	29,3	29,3	29,3	250000 - Aquatic Chronic 1 H411
Idrocarburi (C10-C40)	mg/Kg	641,0	918,0	715,0	357,0	1297,0	1439,0	1024,0	1229,0	995,0	1155,0	923,0	1043,0	1041,0	1041,0	1041,0	1000 - Flam. Liq. 2 H225 - Carc. 1A H350 Muta. 1B H340 STOT RE 1 H372 Asp. Tox 1 H304 Eye Irr 2 H319 Skin Irrit 2 H315 nota P H319 Skin Irrit 2 H315 nota P
Benzene	mg/Kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	Flam. Liq. 2 H225 Acute Tox 4 H332 Flam. Liq. 3 H226 Acute Tox 4 H332 Eye Irrit 2 h319 Skin Irrit 2 H315 30000 - Flam. liq. 2 H225 Repr 2 H361d Asp. Tox1 H304 STOT RE 2 H373 Skin Irrit 2 H315 STOT SE3 H336
Etilbenzene	mg/Kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	Flam. Liq. 3 H226 Acute Tox 4 H332 H312 Skin Irrit 2 H315
Stirene	mg/Kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1000 - Press. Gas - Flam. Gas 1 H220 - Muta. 1B H340 - Carc. 1A H350
Toluene	mg/Kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1000 - Flam. Liq. 3 H226 - Skin Irrit 2 H315 - Skin Sens. 1 H317 - Aquatic Acute 1 H400 - Aquatic Chronic 1 H410
Xileni	mg/Kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
1,3-butadiene	mg/Kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
Dipentene	mg/Kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	

COMPOSTI ORGANICI AROMATICI



PARTICOLARE A



Laureando:
Simone Corna

Relatore:

Prof.ssa Sabrina Saponaro

Correlatore:

Ing. Giorgio Bressi

A.A. 2016/17

TITOLO TESI

**La bonifica della cava "Ghiaie di Mezzo"
a Noceto (PR)**

OGGETTO

Rete di captazione del biogas

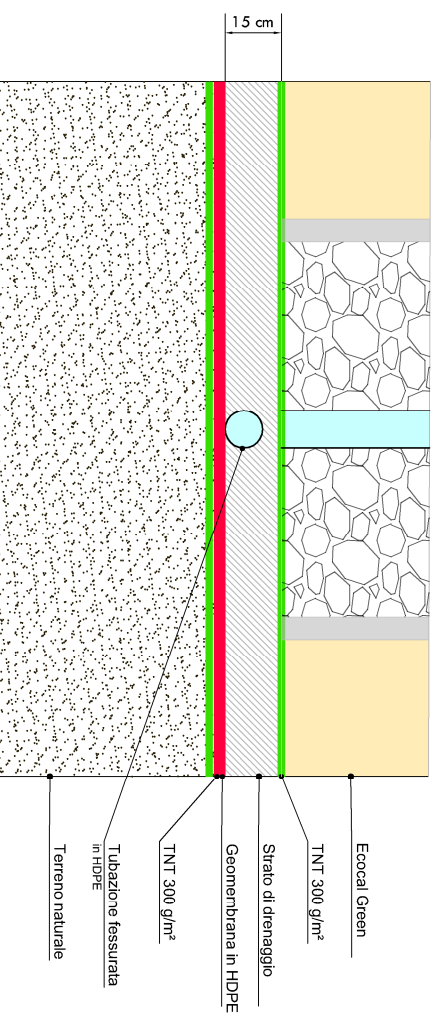
SCALA

Grafica

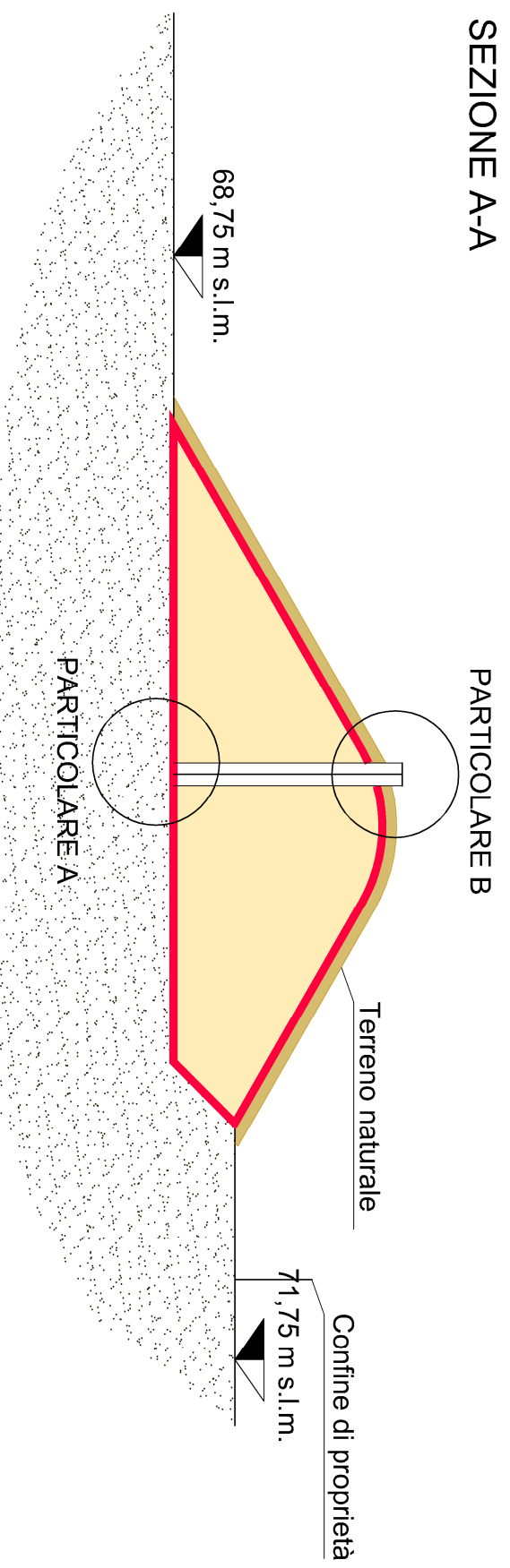
TAVOLA

1

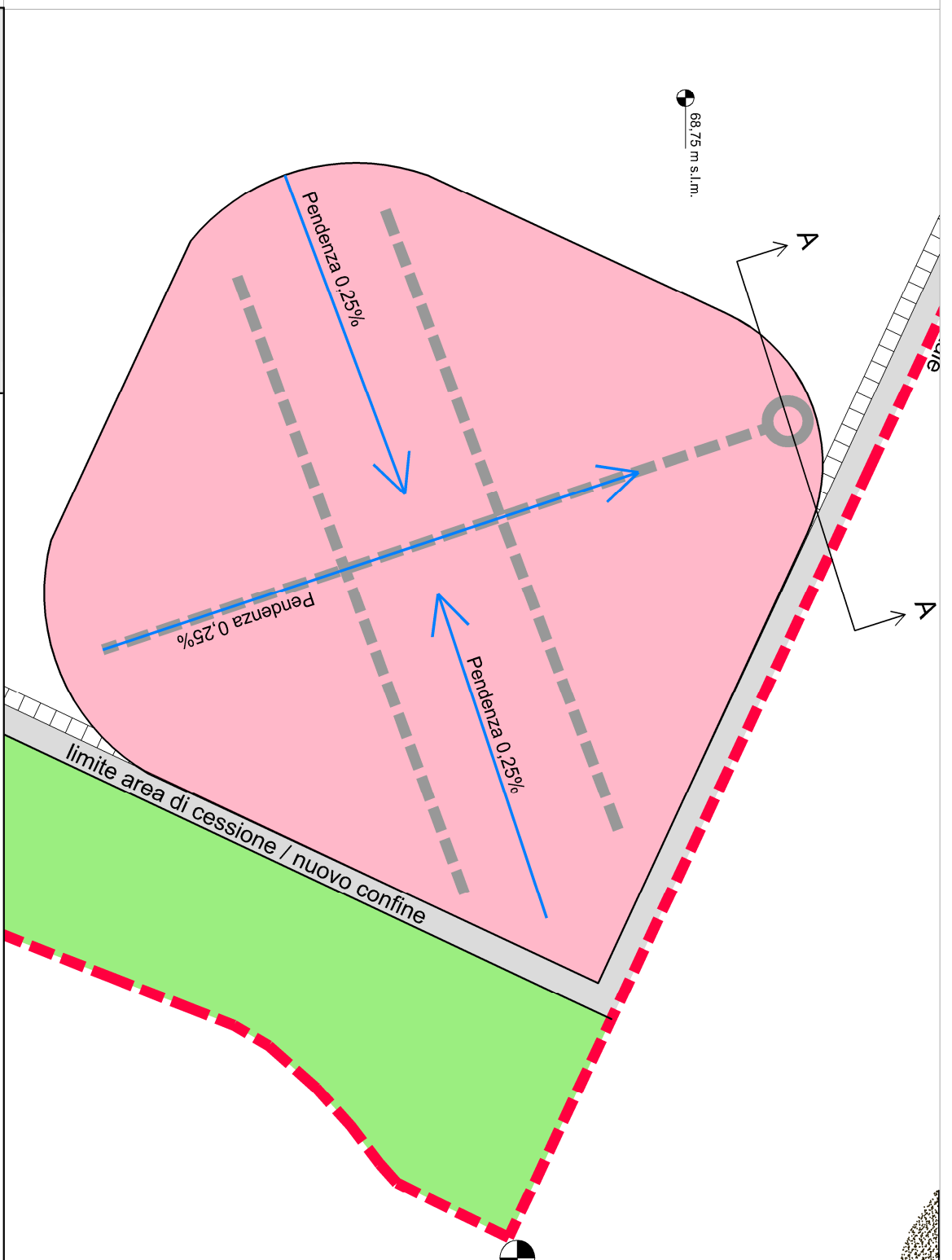
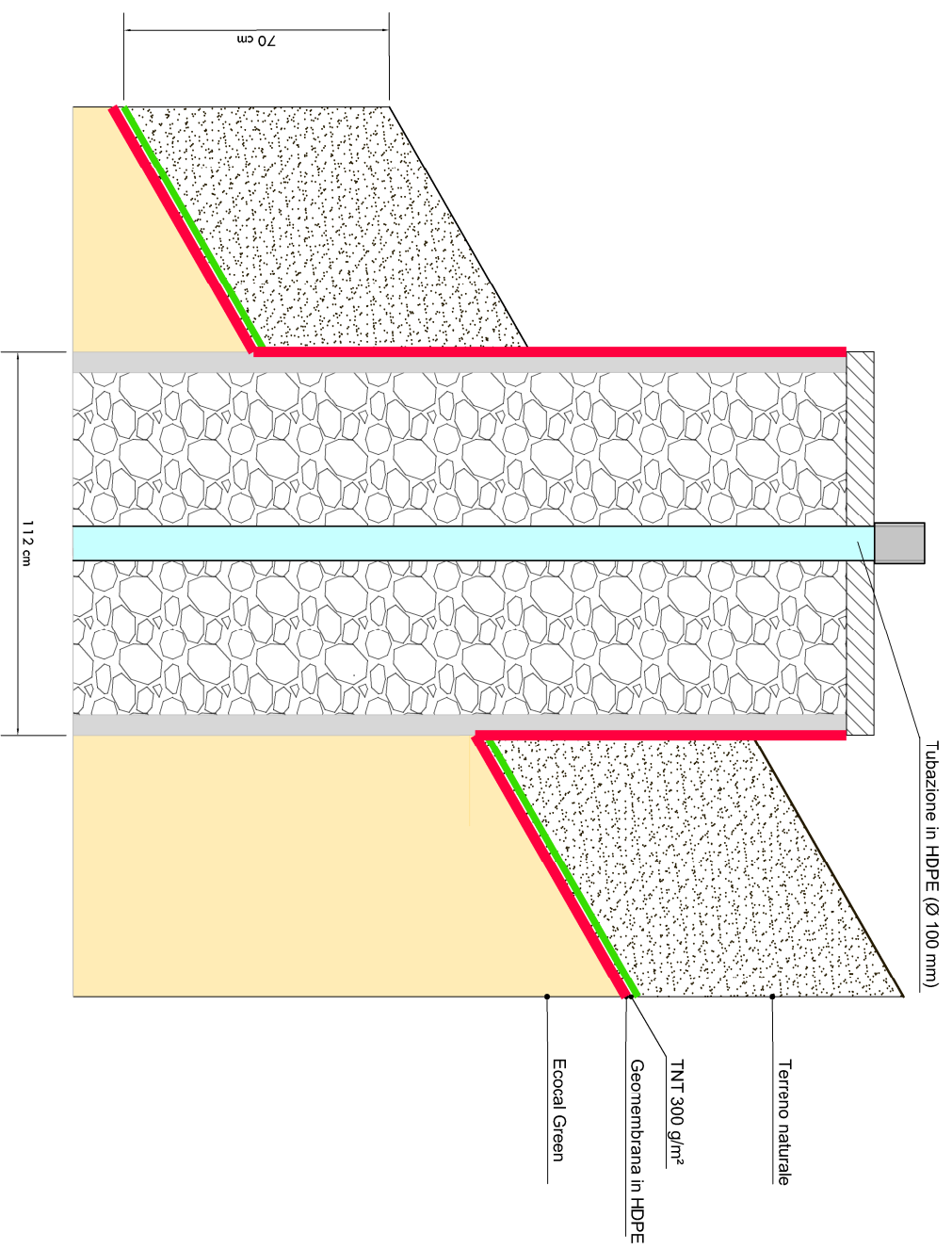
PARTICOLARE A



SEZIONE A-A



PARTICOLARE B



Laureando:
Simone Corra

Relatore:
Prof.ssa Sabrina Saponaro
Correlatore:
Ing. Giorgio Bressi

A.A. 2016/17

TITOLO TESI

**La bonifica della cava "Ghiaie di Mezzo"
a Noceto (PR)**

OGGETTO

Rete di captazione del percolato

SCALA

Grafica

TAVOLA

2



Laureando:
Simone Corna

Relatore:
Prof.ssa Sabrina Saponaro
Correlatore:
Ing. Giorgio Bressi

A.A. 2016/17

TITOLO TESI

**La bonifica della cava "Ghiaie di Mezzo"
a Noceto (PR)**

OGGETTO

**Pendenza attribuita alle superfici per il
deflusso delle acque piovane**

SCALA

Grafica

TAVOLA

3