



Tioxide Europe Srl

COPERTURA SPERIMENTALE IN GESSI ROSSI PER UNA VASCA DI RIFIUTI SOLIDI URBANI

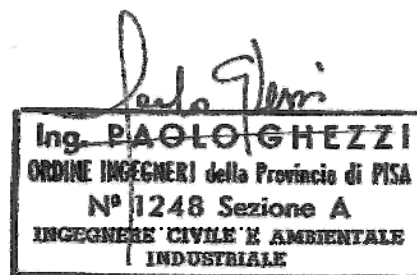
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Tecnica

Febbraio 2011

Emesso da:

Ing. Paolo Ghezzi



Rivisto da:

Dr. Giuseppe Ghezzi

Approvato da:

Dr. Giuseppe Ghezzi

INDICE

	Pagina
1. - PREMESSA	4
2. - UBICAZIONE DELL'AREA DI SPERIMENTAZIONE	6
3. - CARATTERISTICHE DELLA ZONA DI SPERIMENTAZIONE	9
4. - PROGETTO DELLA COPERTURA SPERIMENTALE	14
4.1. - Tipologia delle vasche sperimentali e quantitativi della sperimentazione	14
4.2. - Verifiche di stabilità dei rilevati	17
4.3. - Copertura tradizionale secondo D.Lgs. 36/2003	18
4.4. - Copertura con gessi rossi	20
4.5. - Gestione acque meteoriche, biogas e percolato	24
4.5.1. - Generalità	24
4.5.2. - Pluviometria per il dimensionamento delle canalette	25
4.5.3. - Portate di progetto e dimensionamento delle canalette	27
4.5.4. - Pluviometria per il dimensionamento del sistema di accumulo	30
4.5.5. - Gestione delle acque drenate dal geocomposito drenante	33
4.5.6. - Monitoraggio per il drenaggio dell'eventuale biogas	33
4.5.7. - Gestione del percolato e umidificazione del rifiuto	34
4.5.8. - Alimentazione elettrica	35
4.6. - Qualità dei materiali e prove previste in corso d'opera	36
4.6.1. - Geocomposito drenante per biogas e per le acque meteoriche	36
4.6.2. - Telo impermeabile in HDPE	37
4.6.3. - Geocomposito bentonitico	37
4.6.4. - Gessi rossi come strato di impermeabilizzazione	37
4.6.5. - Geocomposito antierosione in fibra di cocco	42
4.6.6. - Certificati e prove sui geosintetici	43
4.7. - Rinverdimento della discarica	44
4.7.1. - Principi generali	44
4.7.2. - Attecchimento delle specie erbacee su coperture di discariche	45
4.7.3. - Fitostabilizzazione	47
4.7.4. - Tempi di intervento	47
4.7.5. - Modalità e tecniche di intervento	48
4.7.6. - Specie da impiantare	51
4.8. - Prove per il controllo della qualità dei gessi nel tempo	52
4.9. - Rete di monitoraggio dei cedimenti	55

4.10. - Stima dei quantitativi utilizzati per la copertura	55
4.11. - Monitoraggi, misure e controlli	56
4.12. - Limiti di fattibilità delle celle sperimentali	57
4.13. - Cronoprogramma dei lavori	59

ELENCO TAVOLE ALLEGATE ALLA RELAZIONE TECNICA

Tavola 1 – Inquadramento territoriale	scala: 1:10.000
Tavola 2 – Stato di fatto ed inserimento delle vasche sperimentali	scala: 1:2.000
Tavola 3 – Schema costruttivo delle vasche Planimetria e sezioni	scala: varie
Tavola 4 – Sistema di copertura e presidi di monitoraggio	scala: varie
Tavola 5 – Particolari costruttivi	scala: varie

N. 3 Tabelle nel Testo

N. 6 Figure nel Testo

Hanno collaborato al progetto:

Ing. Giovanni Doganieri

Dott. Massimo Pellegrini

Dott. Luca Rizza

Relazione Agronomica: CIBIACI (Università di Firenze) – Tioxide e Tea Sistemi

1. - PREMESSA

Il presente progetto di copertura di una vasca sperimentale riempita con frazioni selezionate di RSU fa parte di una sperimentazione finanziata dalla Regione Toscana per l'uso di gessi rossi derivanti dalla produzione di TiO_2 come materiale per la copertura definitiva di discariche di rifiuti speciali non pericolosi.

Obiettivo della sperimentazione è verificare la fattibilità tecnica e ambientale dell'uso dei gessi rossi a tale scopo. In particolare, verranno studiate le interazioni sia tra il gesso e l'ambiente esterno sia tra il gesso e l'ambiente "discarica", inteso come ecosistema delle popolazioni microbiche che vivono nel suolo e all'interno dell'ammasso dei rifiuti, con lo scopo di verificare che non si presentino condizioni che pregiudichino l'uso dei gessi. Il progetto, che assume carattere di progettazione definitiva, rappresenta un allegato alla relazione più generale in cui già vengono riportate dettagliate notizie in merito alle attività previste nel tempo.

I documenti che seguono, dunque, hanno l'unico scopo di illustrare compiutamente le previsioni tecniche che consentono l'esecuzione della copertura con gessi rossi in sostituzione dei diversi strati previsti dal D. Lgs 36/03 per la copertura finale di una discarica per rifiuti urbani. Alla relazione complessiva dunque, si rimanda per ogni necessità di inquadramento d'insieme del progetto e di approfondimento delle problematiche tecniche di carattere generale. Alla stessa relazione si rimanda per l'analisi delle procedure di monitoraggio previste per valutare gli effetti della sperimentazione.

Tra i mesi di Agosto ed Ottobre 2010 sono state presentate due versioni successive della sperimentazione ipotizzando di realizzare l'intervento presso la discarica Strillaie in Grosseto.

Il Ministero dell'Ambiente per evitare qualsiasi interazione tra la sperimentazione e le attività di gestione della discarica delle Strillaie nonché con quelle connesse alla presenza del SIN ha espresso reiterate perplessità sulla localizzazione del progetto tanto che la Conferenza dei servizi non ha ritenuto possibile approvare la sperimentazione presso il sito delle Strillaie. Tioxide Europe srl è stata così costretta a cambiare la localizzazione della sperimentazione, con la conseguente necessità di rivedere le linee progettuali dell'intervento. La presente relazione si riferisce ad una nuova proposta di copertura che interessa una vasca sperimentale da realizzare all'interno dello stabilimento di proprietà della Tioxide Europe srl.

Per dare significatività alla sperimentazione e per avere un riferimento certo su cui confrontarsi, si rende necessario realizzare un modulo uguale con copertura conforme al D.Lgs 36/03 utilizzando, quindi, argilla naturale di impermeabilizzazione e terreno vegetale per il recupero a verde .

2. - UBICAZIONE DELL'AREA DI SPERIMENTAZIONE

Come detto nelle premesse, la sperimentazione sarà realizzata all'interno dello stabilimento della Tioxide Europe srl situato nel comune di Scarlino, in provincia di Grosseto (Figura 2.1).

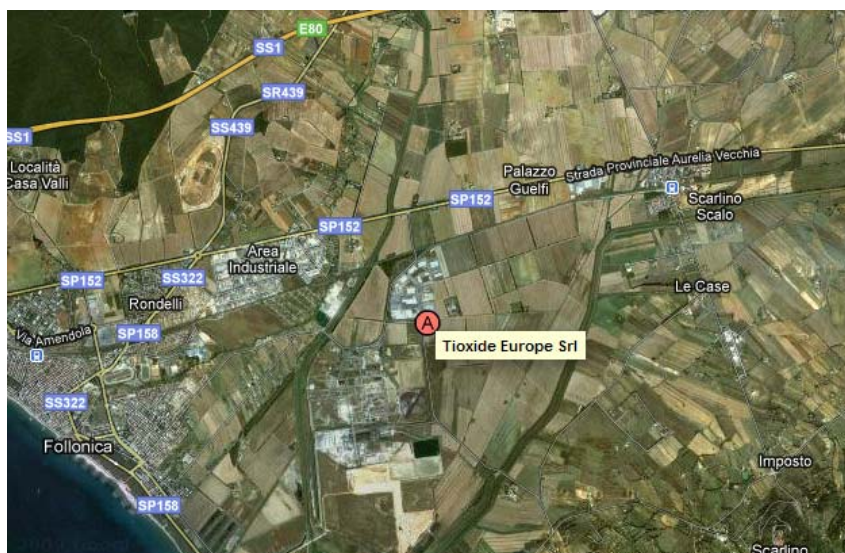


Figura 2.1: Localizzazione dello Stabilimento Tioxide.

La sperimentazione si svolgerà nella zona dello stabilimento in cui è presente la discarica autorizzata dei gessi rossi, ed in particolare in corrispondenza del lotto di coltivazione denominato FASE 3, dotato tra le altre cose di un sistema di impermeabilizzazione alla base(Figura 2.2).

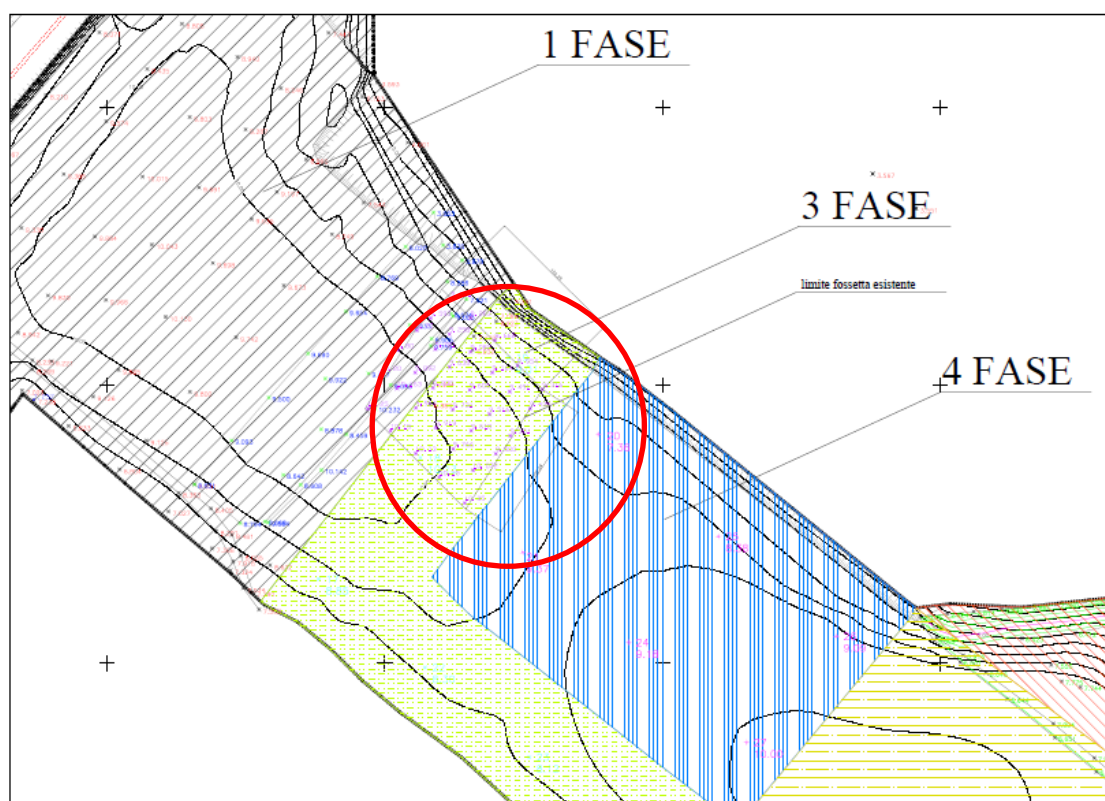


Figura 2.2: Ubicazione del settore di sperimentazione

La zona presa in esame si presta bene alla sperimentazione in quanto:

- È pianeggiante e non presenta particolari vincoli;



- È provvista di un sistema di regimazione esistente;

- La presenza nelle vicinanze di una stazione di rilancio all'impianto di trattamento dello stabilimento consente di risolvere i problemi connessi alla gestione delle acque piovane senza particolari necessità impiantistiche;



- La zona è sufficientemente ampia per poter accogliere, oltre alla vasca di sperimentazione, una seconda vasca su cui realizzare una copertura a norma del DLgs. 36/2003 per avere i necessari termini di confronto;

L'area individuata, inoltre, è ben accessibile attraverso la viabilità interna allo stabilimento e tramite piste di servizio ricavate sui gessi in posto.



L'inquadramento generale è riportato nella Tavola 1.

3. - CARATTERISTICHE DELLA ZONA DI SPERIMENTAZIONE

La zona su cui realizzare la sperimentazione è stata oggetto nel passato di attività connesse a quella industriale, da parte di Montedison prima e Tioxide dopo, e vi si sono svolte nel tempo attività diverse ma sempre fondamentali all'interno del ciclo produttivo.

Allo stato attuale, a seguito delle varie autorizzazioni provinciali e regionali rilasciate alla Tioxide, sono stati attuati diversi interventi che stanno migliorando notevolmente l'aspetto dell'area, promuovendo un recupero ambientale finalizzato alle sistemazioni morfologiche, idrauliche e floristiche.

Sulla base degli atti autorizzativi che si sono susseguiti nel tempo, dettagliati all'interno della relazione sulla sperimentazione alla quale si rimanda per ogni approfondimento, la zona d'intervento è una discarica autorizzata per gessi prodotti dallo stabilimento, coltivata secondo il progetto approvato con DGP N° 273/98.

In dettaglio le fasi gestionali si possono così riassumere:

Fase n° 1: era previsto il raggiungimento della quota di progetto sugli ex bacini 3, 4, 4 bis, bacini gommati e bacini solferro.

Fase n° 2: è costituita dalle zone di raccordo area padule ed area fabbrica, “triangoli” “Per questa area era stata richiesta la impermeabilizzazione del fondo con LDPE.

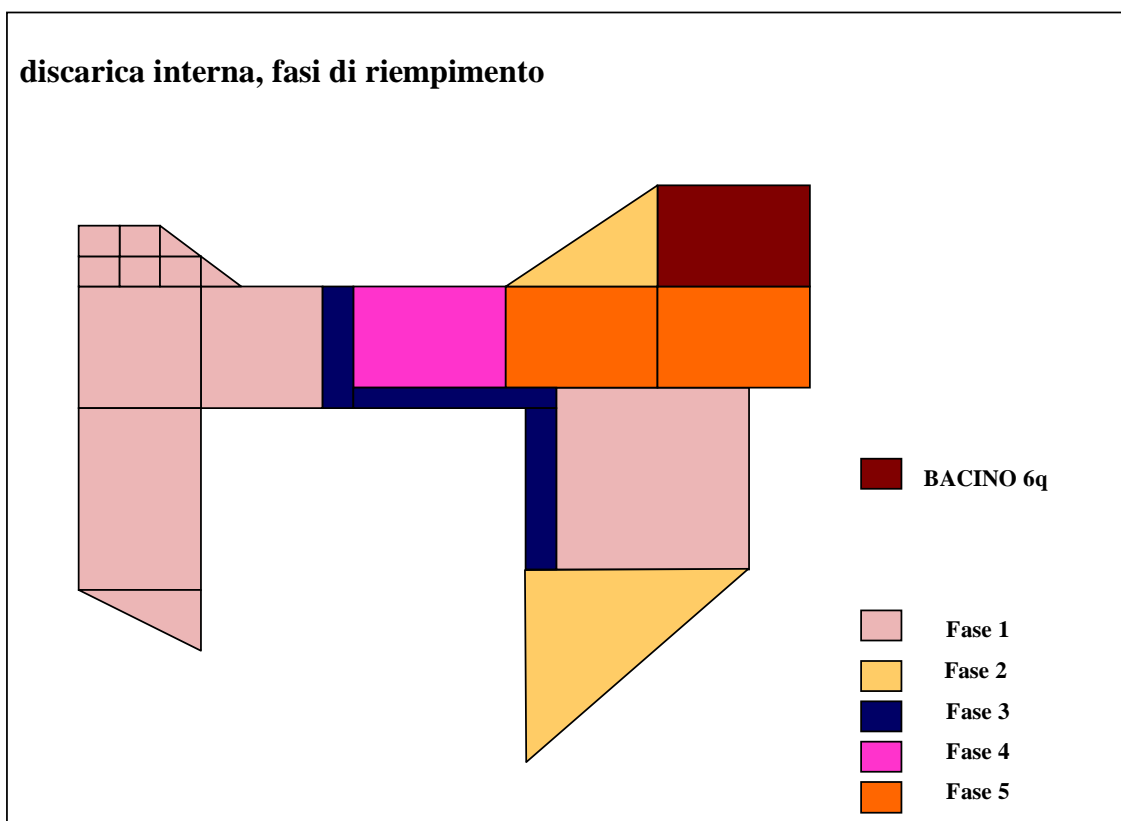
Fase n° 3: o canalone, è costituita dall'area esistente tra i bacini Solmine ed i bacini Tioxide. Per questa area era stata richiesta la

impermeabilizzazione del fondo e degli argini dei bacini di nuova Solmine con LDPE.

Fase n° 4: è l'area occupata dal bacino 6 ed il suo impiego era subordinato alla realizzazione dell'impianto di trattamento reflui deboli.

Fase n° 5: è l'area occupata dai bacini 6 bis e 6 ter.

Attualmente risultano completate le fasi 1,2,3 e 4 quali sede di discarica, ed Arpat ha pubblicato le relative relazioni come da convenzione firmata. La fase 1 è stata oggetto di rinverdimento e collaudo.



Dal punto di vista gestionale, le acque di ruscellamento sono raccolte alla base della discarica mediante una canaletta, già realizzata, le cui dimensioni sono state opportunamente calcolate per garantire il deflusso delle portate di massima piena con tempi di ritorno centennali.

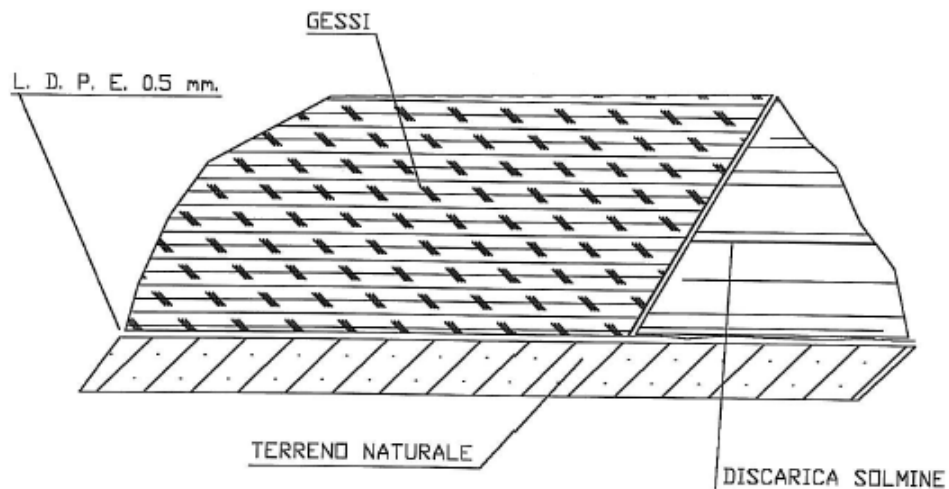
Nella canaletta perimetrale confluiscono anche le acque derivanti dalle cunette stradali dei percorsi, in parte già realizzati, previsti sul corpo di discarica. Le acque meteoriche vengono convogliate a due vasche di raccolta della capienza di mc 4,0 cadauna ed attrezzate con elettropompe sommerse di portata 15,0 l/s e prevalenza m 10. Tale portata garantisce lo svuotamento delle vasche in condizioni di sicurezza durante l'evento meteorico più critico con tempo di ritorno centennale.

Dalle stazioni di pompaggio le acque vengono riprese per essere inviate all'impianto di trattamento dei reflui liquidi della fabbrica. Le opere di regimazione, raccolta e convogliamento garantiscono la non interferenza fra le acque di ruscellamento sul corpo della discarica e le matrici ambientali.

Le acque raccolte nella canaletta perimetrale sono convogliate all'impianto per il trattamento di tutti gli effluenti generati nello stabilimento di Scarlino. Tale impianto consiste di vasche dedicate sia alla neutralizzazione degli effluenti sia alla loro decantazione. Il liquido, le cui caratteristiche chimico fisiche rientrano nei limiti di legge previsti per lo scarico in acque superficiali, sfiora dall'alto del decantatore e fluisce in una vasca di raccolta, dove pompe centrifughe trasferiscono le acque trattate nel laghetto presente nello stabilimento. Il solido sottoforma di fango viene estratto dal fondo del decantatore, ad una concentrazione in solidi pari a circa 100 g/l e viene inviato alla filtrazione prima di essere posto in discarica.

Il fondo della discarica nelle fasi 2 e 3 e la scarpata di interfaccia fra la discarica Solmine e la discarica Tioxide sono state impermeabilizzate mediante la posa in opera di una geomembrana LDPE (Polietilene a bassa densità). Il telo è stato posato su terreno preventivamente regolarizzato ed al quale erano state conferite idonee pendenze per convogliare le eventuali acque di percolazione verso la canaletta perimetrale.

SCHEMA IMPERMEABILIZZAZIONE FONDO



Caratteristiche Tecniche Geomembrana

Materiale	LDPE (Polietilene a bassa densità)
Peso Specifico	> 0.92 g/cmc
Spessore	0.5 mm \pm 5%
Allungamento a rottura	> 500%

Sia per la natura del rifiuto (gesso chimico) sia per le sue caratteristiche di permeabilità, non vi è produzione di percolato; nel gesso posto in discarica non è stata mai riscontrata formazione di percolato.

La produzione dei gas in questo tipo di discarica è assente e ciò è provato sia sperimentalmente sia praticamente in quanto lo stoccaggio a terra è in essere da più di 20 anni. In ogni caso, prima della redazione dello studio per lo stoccaggio definitivo dei gessi rossi approvato nel 1998, furono eseguite anche prove di compatibilità fra i gessi rossi e le ceneri di pirite (benché la loro interfaccia fosse separata da geomembrana); tali prove

confermarono che anche in caso di contatto fra i due rifiuti non si sarebbero avute reazioni di alcun genere.

Dal punto di vista geologico, si rileva che negli ultimi 25 anni sono stati eseguiti molti sondaggi geotecnici nell'area industriale del Casone di Scarlino che hanno rivelato negli strati superficiali la presenza di livelli limosi ed argillosi.

Uno studio eseguito dal Dr. Stefano Bianchi nell'Aprile '98 "Localizzazione dei livelli acquiferi nell'area industriale del Casone di Scarlino e nelle zone contigue – sezioni stratigrafiche" ha evidenziato che la zona umida rappresentata dalla saturazione dei terreni di bonifica non ha interconnessione con le altre falde presenti a quote minime di 18 m di profondità da piano di campagna. Il coefficiente di permeabilità, determinato in posto ed in laboratorio, su tali sedimenti, ha rivelato valori di K compresi fra $1.4 \cdot 10^{-8}$ e 10^{-9} cm/s.

Per quanto riguarda invece la copertura superficiale finale, approvata con D.D. N° 3976 del 01/10/07, viene eseguita mediante rullatura dei gessi posti in opera in strati di cm 50 con energia tale da conferirgli permeabilità dell'ordine di 10^{-7} m/s con conseguente isolamento della massa dei rifiuti dall'ambiente esterno. La permeabilità conferita ai gessi dalla modalità di messa in posto garantisce anche l'isolamento della massa solida dalle infiltrazioni d'acqua.

Sopra il citato strato di 50 cm si apporta uno strato di un metro di gesso ammendato a supporto del verde, come da esperienze Tioxide maturate in oltre 20 anni di applicazioni.

I controlli topografici eseguiti hanno evidenziato che il consolidamento del gesso messo in opera è in linea con quanto previsto a livello progettuale. In altre parole non si sono avuti fenomeni di assestamento e /o di subsidenza localizzata nei siti adibiti a discarica di gessi rossi.

4. - PROGETTO DELLA COPERTURA SPERIMENTALE

4.1. - Tipologia delle vasche sperimentali e quantitativi della sperimentazione

Per poter realizzare la copertura sperimentale, all'interno dello stabilimento della Tioxide, nell'area riportata in Tavola 1, saranno costruite due vasche opportunamente impermeabilizzate secondo il D.Lgs. 36/2003, da riempire con rifiuti urbani: nella prima vasca si procederà con una copertura con gessi rossi, mentre nella seconda la copertura sarà secondo la tipologia prevista dal D.Lgs 36/03.

Le vasche avranno sviluppo fuori terra grazie alla formazione di argini di contenimento dell'altezza di circa 5 metri e pendenza delle sponde di 30°. L'impermeabilizzazione del fondo sarà realizzata attraverso i seguenti strati:

- Regolarizzazione del terreno in posto in modo da avere un piano ben compattato su cui realizzare le vasche. Da una analisi del rilievo topografico esistente della zona, per ottimizzare sterri e riporti, la quota di regolarizzazione deve essere intorno a 9.70 m slm;
- Messa in opera di strato di argilla compattata dello spessore di 1 metro e conducibilità idraulica di 10^{-9} m/s;
- Geomembrana in HDPE dello spessore di 2 mm;
- Geocomposito antipunzonamento;
- Spessore drenante in ghiaia dello spessore di 50 cm.

Per quanto riguarda le sponde della vasca, viste le dimensioni contenute e la presenza di argini eseguiti con gesso costipato, si prevede di sostituire all'argilla uno strato di geocomposito bentonitico senza prevedere lo strato drenante.

Per individuare l'estensione della copertura sperimentale con gessi rossi e quindi delle vasche da realizzare, oltre a far riferimento agli spazi a disposizione è stato applicato in modo scrupoloso l'articolo 211 della parte IV, Titolo 1, Capo IV del D.Lgs 152/2006 che recita:

ART. 211

(autorizzazione di impianti di ricerca e di sperimentazione)

1. I termini di cui agli articoli 208 e 210 sono ridotti alla metà per l'autorizzazione alla realizzazione ed all'esercizio di impianti di ricerca e di sperimentazione qualora siano rispettate le seguenti condizioni:

a) le attività di gestione degli impianti non comportino utile economico;

b) gli impianti abbiano una potenzialità non superiore a 5 tonnellate al giorno, salvo deroghe giustificate dall'esigenza di effettuare prove di impianti caratterizzati da innovazioni, che devono però essere limitate alla durata di tali prove.

2. La durata dell'autorizzazione di cui al comma 1 e' di due anni, salvo proroga che può essere concessa previa verifica annuale dei risultati raggiunti e non può comunque superare altri due anni.

3. Qualora il progetto o la realizzazione dell'impianto non siano stati approvati e autorizzati entro il termine di cui al comma 1, l'interessato può presentare istanza al Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, che si esprime nei successivi sessanta giorni di concerto con i Ministri delle attività produttive e dell'istruzione, dell'università e della ricerca. La garanzia finanziaria in tal caso e' prestata a favore dello Stato.

4. In caso di rischio di agenti patogeni o di sostanze sconosciute e pericolose dal punto di vista sanitario, l'autorizzazione di cui al comma 1 e' rilasciata dal Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, che si esprime nei successivi sessanta giorni, di concerto con i Ministri delle attività produttive, della salute e dell'istruzione, dell'università e della ricerca.

5. L'autorizzazione di cui al presente articolo deve essere comunicata, a cura dell'amministrazione che la rilascia, all'Albo di cui all'articolo 212, comma 1, che cura

l'inserimento in un elenco nazionale, accessibile al pubblico, degli elementi identificativi di cui all'articolo 212, comma 23, senza nuovi o maggiori oneri per la finanza pubblica.

Considerando che la durata della sperimentazione è di 2 anni e che il quantitativo di rifiuti giornalieri non può essere superiore a 5 t/g, il quantitativo di gessi + RSU deve essere inferiore a 3650 tonnellate.

La progettazione eseguita deve essere in linea con questo limite normativo, con la necessità di avere una altezza dei rifiuti solidi urbani di almeno 3 metri e tiene conto dei requisiti tecnologici per la realizzazione dei moduli sperimentali. La vasca sperimentale che ne deriva comporta una superficie in sommità di circa 500 mq, a ridosso della quale se ne prevede una seconda di superficie analoga ma con copertura ai sensi del D.Lgs. 36/2003.

Facendo riferimento alle tavole di progetto, la soluzione individuata prevede di realizzare due vasche affiancate a forma di tronco di piramide con le seguenti caratteristiche geometriche:

- Dimensioni nette in testa $\cong 22,00 \times 22,00$ m;
- Dimensioni al fondo = $5,00 \times 5,00$ m;
- Pendenza sponde = 30° ;
- Altezza totale fuori terra: 5 m;
- Larghezza argine in testa = 5,00 m;
- Larghezza argine in testa tra le due vasche = 8,00 m;
- Larghezza argine al piede = 50 m;
- Rampe di accesso ed uscita con pendenza = 7%;
- Piazzola di scarico in sommità di dimensioni = $5,00 \times 28,00$ m.

Con queste caratteristiche i rifiuti solidi urbani che saranno stoccati in ciascuna vasca ammontano a circa 1050 mc (considerando un peso specifico di 0,8 t/mc costituiscono circa 800 tonnellate per vasca) cui occorre aggiungere il quantitativo di gessi rossi per la

copertura della vasca sperimentale, che come dettagliato più avanti ammontano a circa 1200 tonnellate con peso specifico 1.6 t/mc. Complessivamente la sperimentazione interessa circa 2900 tonnellate di rifiuti in due anni.

Le caratteristiche geometriche dei rilevati sono tali da ottenere una sorta di viabilità di servizio in testa alla vasca che potrà essere utilizzata nella fase di campionamento e di controllo della sperimentazione.

Per la costruzione delle arginature e dei sistemi di accesso saranno necessari circa 16.000 mc di gessi rossi costipati pari a 25.600 tonnellate che non sono da considerarsi come materiale da sperimentazione. Alla base di ciascun argine è prevista la posa in opera di un geotessuto di rinforzo con fibra longitudinale in poliestere e resistenza 150 KN/m e fibra trasversale in poliammide e resistenza 45 KN/m..

Di seguito, una tabella riepilogativa delle quantità utilizzate:

Tipologia	Volumi (mc)	Tonnellate (t)
Frazione selezionata RSU	2100	1680
Gessi rossi per impermeabilizzazione	250	400
Gessi rossi per copertura finale	500	800
Totale	2850	2880

4.2. - Verifiche di stabilità dei rilevati

Sono state eseguite specifiche verifiche di stabilità delle arginature in gessi rossi secondo le normative vigenti. Le verifiche di stabilità, che rispettano i coefficienti previsti dalla norma, sono riportate nell'allegata Relazione Geotecnica.

4.3. - Copertura tradizionale secondo D.Lgs. 36/2003

Come criterio generale le coperture devono rispondere ai criteri di norma esplicitati nel D.Lgs 36/03 ed in particolare:

- Isolamento dei rifiuti dall'ambiente esterno;
- Minimizzazione delle infiltrazioni d'acqua;
- Riduzione al minimo della necessita' di manutenzione;
- Minimizzazione dei fenomeni di erosione;
- Resistenza agli assestamenti ed a fenomeni di subsidenza localizzata.

Per rispondere a tali criteri, in base a quanto previsto dal D. Lgs 36/2003, la copertura sopra una delle due vasche oggetto della sperimentazione sarà realizzata, dall'alto verso il basso, almeno dai seguenti strati:

1. **strato superficiale di copertura con spessore di 1 m** che favorisca lo sviluppo delle specie vegetali di copertura ai fini del piano di ripristino ambientale e fornisca una protezione adeguata contro l'erosione e di proteggere le barriere sottostanti dalle escursioni termiche;
2. **strato drenante** (ghiaia o inerti) protetto da eventuali intasamenti con spessore 0,5 m in grado di impedire la formazione di un battente idraulico sopra le barriere di cui ai successivi punti 3) e 4);
3. **strato minerale compattato dello spessore 0,5 m** e di conducibilità idraulica di 10^{-8} m/s o di caratteristiche equivalenti;
4. **strato di drenaggio del gas** e di rottura capillare, protetto da eventuali intasamenti, con spessore 0.5 m;
5. **strato di regolarizzazione** con la funzione di permettere la corretta messa in opera degli strati sovrastanti.

Uno schema grafico è rappresentato in Figura 4.1.

**COPERTURA TIPO A)
Secondo normativa**

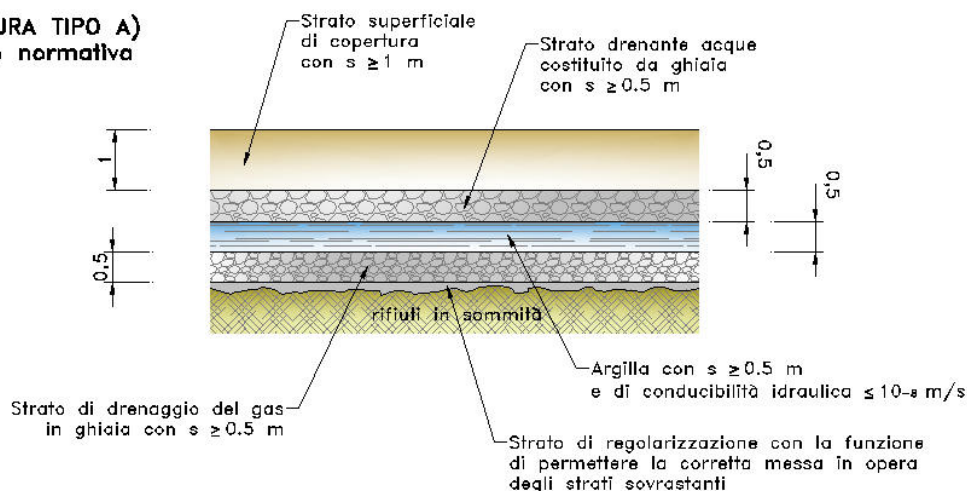


Figura 4.1: Schema grafico di una copertura ai sensi del D.Lgs 36/03.

E' ormai accertato che per consentire la realizzazione efficace in linea con quanto sopra descritto è necessario inserire almeno altri due strati di geotessuti di adeguata portanza a contenimento dei due strati di ghiaia. In totale, dunque, ulteriori 4 strati di TNT di almeno 300 gr/mq e resistenza al punzonamento CBR non inferiore a 3500 N.

Con questi strati l'altezza complessiva della copertura sarà di circa 2.50 metri. Al fine di limitare il dilavamento superficiale, sulle sponde della copertura si prevede la messa in opera di un geocomposito antierosione in fibra di cocco.

Al posto degli strati drenanti in ghiaia naturale, si potranno utilizzare dei geocompositi drenanti con le stesse caratteristiche della vasca sperimentale (vedi paragrafo successivo) e che non alterano l'efficacia del sistema di copertura ma garantiscono uniformità di valutazione dei risultati sperimentali che sono focalizzati sulle performance dei gessi rossi in alternativa ad argilla e terreno vegetale. In questo caso lo spessore della copertura totale sarà analogo a quello della vasca sperimentale e pari ad 1.50 metri.

4.4. - Copertura con gessi rossi

La sperimentazione si propone di testare l'efficacia dei gessi rossi sia come materiale di impermeabilizzazione sia come materiale di copertura finale su cui procedere con il rinverdimento. In sintesi l'utilizzo dei gessi rossi deve sostituire gli strati 1 e 3 della descrizione precedente.

Al fine di diminuire il carico sul corpo rifiuti, di semplificare la posa in opera dei materiali, si propone, inoltre, di utilizzare dei geocompositi drenanti di adeguate proprietà al posto della ghiaia naturale per il drenaggio del biogas e delle acque (strati 2 e 4). E' da sottolineare che le proprietà dei gessi rossi, già testate in applicazioni analoghe dalla Tioxide, sembrano rendere superfluo lo strato drenante per le acque di infiltrazione. Anche questo aspetto vuole essere approfondito nella sperimentazione oggetto della richiesta di autorizzazione.

Per quanto riguarda gli strati impermeabilizzanti e drenanti, quindi, la sperimentazione intende ricorrere a soluzioni alternative coerenti con le norme interpretative espresse nella DGRT n.739 del 18 Luglio 2005, ove si evidenzia che le caratteristiche tecnico costruttive degli impianti devono essere tali da garantire equivalente efficacia rispetto a quanto prescritto dall'allegato 1 al D.Lgs 36/2003.

Per meglio inquadrare il concetto di equivalenza tra argilla ed altri sistemi di impermeabilizzazione per esempio, un geocomposito bentonitico utilizzato comunemente nelle coperture di discarica, si fa riferimento alla formulazione del prof. R. M. KOERNER (Geosynthetic Research Institute, Drexel University, Philadelphia, USA) ricorrente in tutta la letteratura scientifica disponibile sull'argomento.

La funzione essenziale assegnata ad un qualsiasi sistema barriera consiste nella capacità di contenere i liquidi come previsto dalle esigenze del progetto esecutivo. Introducendo il

concetto di flusso o portata, ne richiamiamo la definizione relativa: il volume di acqua che scorre attraverso un'area unitaria in un tempo unitario, e ricorriamo alla formula di Darcy :

$$V = k \frac{H + T}{T}$$

dove k esprime la conducibilità idraulica mentre H indica l'altezza del liquido che è trattenuto dal sistema impermeabilizzante con spessore pari a T. Per poter valutare la permeabilità richiesta ad uno strato minerale costruito con argilla (CCL) e riuscire ad esprimere il concetto di equivalenza di spessore, si ipotizza che il flusso che attraversa il geocomposito bentonitico (GCL) sia uguale al flusso attraverso il CCL:

$$v_{GCL} = v_{CCL}$$

oppure:

$$k_{GCL} \frac{(H + T_{GCL})}{T_{GCL}} = k_{CCL} \frac{(H + T_{CCL})}{T_{CCL}}$$

Se i valori di permeabilità e spessore del CCL sono conosciuti, ed è noto lo spessore del GCL, il valore della permeabilità richiesta al GCL, in equivalenza di spessore, deve essere pari a:

$$(k_{GCL})_{RICHIESTO} = k_{CCL} \frac{T_{GCL}}{T_{CCL}} \frac{H + T_{CCL}}{H + T_{GCL}}$$

Il valore della permeabilità imposta al CCL è pari a: $k_{CCL} = 1 \text{ E}^{-8} \text{ m/s}$, mentre lo spessore $T_{GCL} = 0,01 \text{ m}$, dopo una espansione controllata. Se l'altezza del liquido contenuto, fissata dalle Norme EPA (USA), è $H = 0,3 \text{ m}$, sia per il CCL che per il GCL, allora avremo per uno spessore $T = 0,50 \text{ m}$ di CCL:

$$(k_{GCL})_{RICHIESTO} = 5,16 \text{ E}^{-10} \text{ m/s}$$

In questo caso la situazione di equivalenza è immediata, infatti il valore k , massimo richiesto risultante dalla formula è superiore a quello assicurato dal GCL che risulta:

$$(k_{GCL})_{GARANTITO} = 5,00 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$$

Con la dimostrazione del prof. KOERNER è così possibile esprimere il coefficiente di permeabilità massima, ammissibile per un GCL, in grado di sostituire in maniera corretta uno spessore definito, di uno strato minerale compattato.

E' evidente che il **ricorso all'utilizzo dei gessi rossi** come strato impermeabilizzante non può che ripercorrere le considerazioni valide nel caso di un geocomposito bentonitico.

Le caratteristiche testate già in passato da laboratori accreditati in merito alle proprietà geotecniche dei gessi rossi non inducono a proporre modifiche di spessore ma a guardare con fiducia ad una equivalenza del tempo complessivo di attraversamento dello strato.

Per quanto riguarda, invece, l'equivalenza degli strati drenanti, è da sottolineare che il D.Lgs 36/2003 non indica né permeabilità né trasmissività del materiale drenante da utilizzare, che sono quindi riconducibili ai valori medi della frazione granulometrica considerata. E' comunque noto che i geosintetici drenanti vengono comunemente utilizzati in discarica sia per applicazioni sul fondo e sulle sponde sia in copertura con prestazioni equivalenti alla ghiaia naturale.

La copertura proposta, dunque, è la seguente (Figura 4.2):

1. **strato superficiale di copertura in gessi rossi** con spessore uguale a 1 m
2. **geocomposito drenante** per acque di infiltrazione
3. **strato di gessi rossi** compattati con permeabilità $< 10^{-8}$ m/s con spessore di 50 cm
4. **geocomposito drenante** per drenaggio del biogas;
5. **regolarizzazione** del piano di posa con la funzione di permettere la corretta messa in opera degli strati sovrastanti.

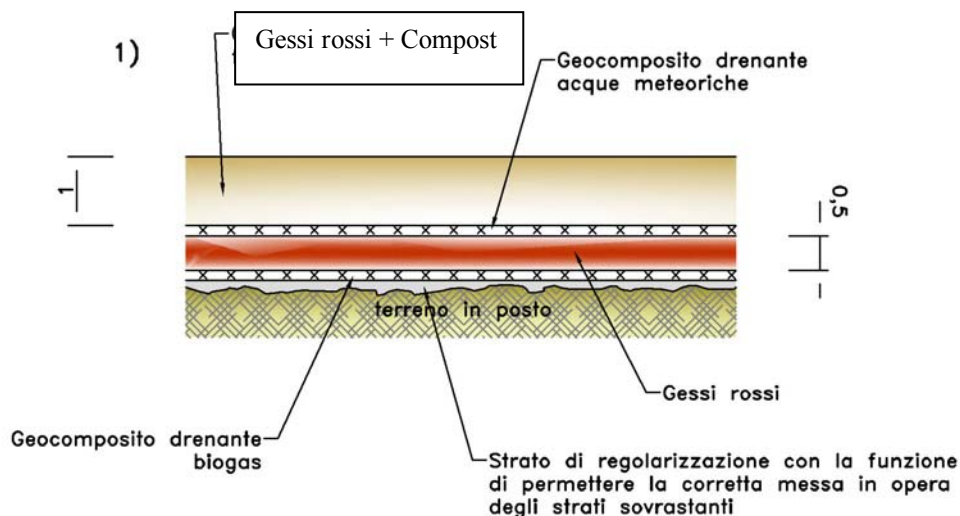


Figura 4.2: Schema grafico della copertura proposta.

In sintesi, mantenendo invariato lo spessore dello strato impermeabile della copertura, pari a 0,50 metri, l'obiettivo è quello di testare la permeabilità dei gessi rossi che dovrà risultare equivalente a quella richiesta dal D. Lgs 36/03 per l'argilla verificandone, al contempo, la sua costanza nel tempo.

Il ricorso all'uso dei geosintetici drenanti appare, invece, opportuno per i seguenti motivi:

- consente, a parità di efficacia, di ridurre di 1 metro circa lo spessore della copertura;
- Riduce i tempi di posa;
- Diminuisce il carico sull'ammasso rifiuti;
- Ottimizza i costi di investimento;
- Riduce al minimo le problematiche di sicurezza in fase di posa;
- Minimizza gli impatti ambientali dovuti al trasporto (1 solo viaggio è sufficiente per la fornitura dell'intero materiale sintetico);
- Garantisce la stessa efficacia per il drenaggio del biogas,
- Garantisce la stessa efficacia per il drenaggio delle acque.

Con questi strati l'altezza complessiva della copertura sarà di circa 1.50 metri ed il quantitativo complessivo di gessi rossi da utilizzare è di circa 1200 tonnellate.

Analogamente a quanto previsto per la copertura tradizionale, al fine di limitare il dilavamento superficiale, sulle sponde della copertura si prevede la messa in opera di un geocomposito antierosione in fibra di cocco.

4.5. - Gestione acque meteoriche, biogas e percolato

4.5.1. - Generalità

Uno degli obiettivi fondamentali della sperimentazione è la corretta gestione delle acque piovane che cadono sulla copertura garantendo uno scarico nella rete acque meteoriche di acque che siano compatibili con i limiti imposti dalla normativa vigente.

Per ciascuna delle due vasche sperimentali, la soluzione di progetto prevede lungo tutto il perimetro della parte interessata dalla copertura, la realizzazione di una canaletta di regimazione che convoglia le acque verso due pozzetti di raccordo da dove le acque vengono indirizzate verso dei serbatoi di accumulo/laminazione della capacità di circa 3 mc.

L'acqua accumulata nel sistema se necessario potrà essere utilizzata per l'irrigazione delle copertura vegetale, ed in parte sarà inviata a gravità verso la stazione di sollevamento presente nei pressi della zona su cui realizzare la sperimentazione. Questa stazione attualmente raccoglie le acque piovane che interessano la zona oggetto della sperimentazione ed è dotata di pompe di rilancio che inviano le acque verso l'impianto di trattamento dello Stabilimento.

Non si ha pertanto necessità di trattare a parte le acque che interessano la copertura, e neppure di generare un nuovo punto di scarico da autorizzare o controllare.

Gli aspetti connessi al dimensionamento delle canalette di regimazione delle acque superficiali ed alle valutazioni in merito alle vasche di accumulo sono riportati nella relazione idrologico-idraulica cui si rimanda per ogni dettaglio. Di seguito, gli elementi essenziali che caratterizzano la proposta progettuale.

4.5.2. - Pluviometria per il dimensionamento delle canalette

E' stata condotta un'analisi idrologica utilizzando i dati pluviometrici della stazione di Follonica, con riferimento alle precipitazioni estreme in un periodo non continuativo che va dal 1965 al 1998 (tabella 4.1).

Data l'incompletezza della serie storica di dati pluviometrici per durate inferiori ad 1 ora, l'analisi è stata effettuata attraverso la distribuzione di probabilità di Gumbel facendo riferimento alle piogge intense con durata superiore ad 1 ora.

In base ai dati disponibili è stata calcolata la relazione della linea segnalatrice di possibilità pluviometrica.

$$h = a \cdot t^v$$

in cui:

*h = altezza di pioggia [mm]
t = tempo di pioggia [ore]
a e v = parametri della linea segnalatrice.*

Nella Figura 4.3 si riporta la variazione della linea segnalatrice in funzione del tempo di ritorno (T_r) e della durata della precipitazione.

Stazione di Follonica 1965-1998					
ANNO	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1965	54.4	54.4	54.4	54.4	54.4
1966	40.8	56.6	75.6	106	157.8
1967	14	20	33.2	58.4	60.2
1968	59.2	59.2	59.2	59.2	69.2
1969	25.6	32.6	42.6	43.6	47.4
1970	32	48	62.4	63.4	63.4
1971	26	35.4	36.4	37.8	40.8
1972	18.2	20.2	28.4	33.8	45.8
1973	38.4	47.8	48.2	48.2	48.2
1974	48.6	90.2	90.8	90.8	90.8
1975	36.2	50.4	52	55.2	75
1976	26.8	33.6	51.6	62.2	62.2
1977	15.2	18.4	28	40.4	46.2
1978	16.6	18.8	20.8	25.8	26
1979	27.4	27.4	27.4	27.4	38
1980	34.2	56.8	64	73.2	73.4
1981	16	26	33	42.6	81
1983	51.6	58.6	58.6	58.8	60.8
1984	27	49.8	73	82	88.2
1985	28.8	30	30.4	30.4	47.6
1986	26.6	40.4	53.2	60.6	60.6
1987	43.4	69.2	75.2	77.4	85.2
1988	22.9	25.6	32.9	34.6	50.8
1989	39.3	93.7	137	138.8	138.8
1990	63.4	88.6	89.8	89.8	89.8
1991	17.2	24	26	30	33.4
1992	16.4	32	38	52.8	63
1993	7.6	19.8	37.8	58.4	62.4
1994	32.8	43.8	55	56	59.8
1995	22.8	48	52.4	52.4	52.4
1996	41.8	75.8	77.4	77.8	77.8
1997	32.2	44.8	54.8	54.8	55.6
1998	23.6	32.2	32.2	35.8	40.4

Tabella 4.1. – *Precipitazioni estreme (in mm) registrate nella stazione di Follonica*

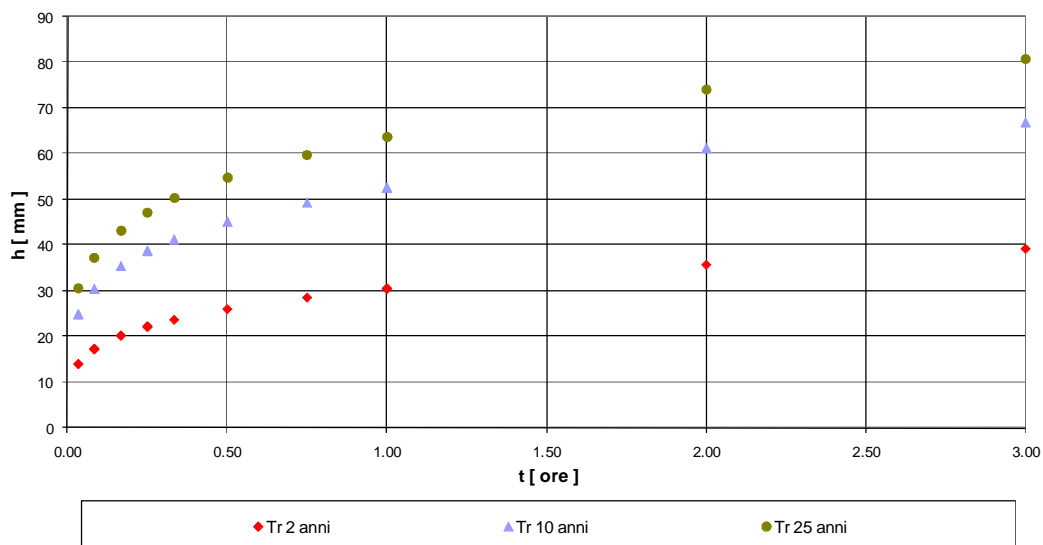


Figura 4.3. – Linea segnalatrice di possibilità pluviometrica per T_r 2, 10 e 25 anni .

4.5.3. - Portate di progetto e dimensionamento delle canalette

Per la determinazione delle portate di progetto della canaletta perimetrale si è utilizzato il metodo cinematico, in base al quale la portata Q che transita nella rete è funzione dell'intensità di pioggia, del coefficiente d'afflusso e dell'area del bacino sotteso dal tratto in esame. La formula utilizzata è:

$$Q = A \cdot \varphi \cdot a \cdot t^{v-1} \quad \text{in cui}$$

A = superficie scolante sottesa dalla rete [m^2];

a e v = parametri della linea segnalatrice (dipendono dal tempo di ritorno);

φ = coefficiente d'afflusso;

t = durata della pioggia [ore];

La soluzione di progetto adottata (Tavola 3) prevede due rami ad "L", perimetrali alla superficie sperimentale, ciascuno della lunghezza di circa 50 metri. La superficie scolante a servizio di ciascun ramo (compreso l'ingombro delle canalette) è stata posta cautelativamente pari a 400 mq. Considerando le ridotte dimensioni dell'area scolante e la

presenza del canale di regimazione, nei calcoli è stato assunto, dunque, un tempo di corrivazione di 5 minuti.

I gessi dello strato superficiale verranno, fresati, additivati con compost e ricoperti da uno strato di paglia. Aggiungendo a questo le basse pendenze che caratterizzano la copertura la quantità di acqua in scorrimento superficiale dovrebbe essere modesta. Nel dimensionamento della canaletta perimetrale, viene preso in esame un coefficiente di afflusso pari a 0,20.

Cautelativamente, considerando la durata della sperimentazione di 2 anni, per il calcolo si è assunto un Tempo di ritorno pari a 10 anni. Con i valori indicati è stata calcolata la portata di progetto che devono smaltire le due canalette. Il calcolo è sintetizzato nella Tabella 4.2.

Tempo di ritorno	10	anni	PORTATA DI PROGETTO
Tempo di corrivazione	0.08	ore	
h = altezza di pioggia GUMBEL	30.51	mm	
I = intensità di pioggia GUMBEL	366.17	mm/h	
A = area scolante	400	mq	
Coefficiente di afflusso	0.20		
Q = portata di progetto	0.01	mc/s	
	0.6	mc/min	

Tabella 4.2 – Portate di progetto della rete

Il calcolo delle dimensioni delle canalette è stato condotto attraverso la formula di Chezy, ipotizzando le condizioni di moto uniforme:

$$V = \chi \sqrt{R \cdot i_f}$$

in cui:

V = velocità [m/s]

R = raggio idraulico [m] = sezione bagnata/perimetro bagnato

i_f = pendenza della canaletta [m/m]

χ = coefficiente di attrito [$m^{1/2}/s$]

Adottando per il coefficiente d'attrito la formula di Gauckler-Strickler che vale

$$\chi = k \cdot R^{1/6}$$

k = parametro dimensionale di scabrezza che dipende dal materiale con cui sono realizzate le canalette.

Le canalette che si prevede di utilizzare sono di tipo prefabbricato in cls; pur considerando la presenza di eventuali materiali di deposito nei calcoli si considera un valore di k pari a $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Per evitare scavi eccessivamente profondi, in virtù delle basse portate di progetto, è stata fissata una pendenza della rete pari al 5/1000.

In base ai parametri considerati dal calcolo e con l'applicazione di un margine di sicurezza, si ottengono delle canalette a sezione semicircolare del diametro minimo $d = 250 \text{ mm}$. Visti i profili che si trovano in commercio si prevede l'uso di canaletta con mezzi tubi del diametro 30 cm.

I due rami delle canalette di raccordo confluiscono in un pozzetto di raccordo in cls avente dimensioni 70x70x100 e dotato di chiusino carrabile.

Dal pozzetto di raccordo, tramite tubazione in polietilene del diametro esterno DE 180 e pendenza del 1-2%, l'acqua drenata sulla copertura viene convogliata verso due vasche con funzione di parziale accumulo e di laminazione .

Il primo tratto della tubazione è interrata mentre il secondo è corre sull'argine e si raccorda con le vasche sostenuto da appositi cavalletti ed è dotato nei pressi della vasca di una curva a gomito per facilitare la caduta dell'acqua nella vasca e di un rubinetto per le operazioni di campionamento.

L'acqua accumulata nelle vasche viene convogliata alla stazione perimetrale di sollevamento mediante tubazione in PVC rigido dotata di relativo sistema di misura .

L'acqua che invece cade all'esterno delle canalette, proprio come accade nelle condizioni attuali, sarà raccolta dalle canalette esistenti ed indirizzata sempre alla stazione di rilancio e quindi all'impianto di trattamento dello stabilimento.

4.5.4. - Pluviometria per il dimensionamento del sistema di accumulo

Non essendoci difficoltà connesse al trattamento dell'acqua, per poter ottimizzare il sistema di accumulo e laminazione, è utile calcolare il volume medio annuo in arrivo drenato dalle vasche in esame.

Considerando la caratteristica dell'opera, le indicazioni sui quantitativi di acqua in arrivo si basano sull'analisi delle piogge mensili.

Come fatto per le piogge intense, sono stati utilizzate le precipitazioni mensili della stazione di Follonica in un periodo non continuativo che va dal 1916 al 2001 (Tabella 4.3).

L'analisi dei dati disponibili evidenzia:

- ✓ la precipitazione media annua è di 616 mm;
- ✓ la precipitazione massima annua è pari a 963 mm;
- ✓ la precipitazione minima annua è pari a 323 mm;

Nelle elaborazioni è stato scartato il dato relativo al 1938, nel quale la precipitazione annua registrata è pari 89.4 mm in quanto il dato non appare in linea con i valori medi rilevati dalla stazione di misura.

Nell'ipotesi di utilizzare come riferimento il valore della precipitazione media annua del periodo a disposizione, il volume medio annuo drenato con la copertura è pari a:

$$V = A \cdot \varphi \cdot h$$

in cui:

A = superficie sottesa [m²]. Considerando anche l'ingombro delle canalette e degli elementi di raccordo pari a circa 800 mq;

φ = coefficiente d'afflusso;

Dall'applicazione della formula emerge che pur considerando un basso valore di coefficiente di afflusso (0,1-0,2) il volume di acqua drenato dalla copertura sperimentale, nell'anno medio é stimabile in circa 60 mc.

Non dovendo garantire funzioni di accumulo ma un effetto di laminazione al fine di eseguire correttamente delle misure, si ritiene sufficiente disporre di una volumetria pari al 5% di quella totale annua drenata e pari a circa 3.0 mc.

Si prevede la posa in opera di un pozzetto in cls di dimensioni 1,5*1.5*1.5 con capacità totale 3.30 mc per ciascuna vasca.

	Anno														
Mese	1916	1917	1918	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932
1	11.0	139.0	18.0	11.8	79.0	34.4	26.0	18.5	33.6	105.5	28.5	0.0	86.0	41.6	35.0
2	54.0	14.0	0.0	53.0	50.0	36.6	33.5	81.5	32.4	54.0	28.5	19.0	75.0	96.7	16.5
3	114.6	99.0	38.0	37.5	45.0	29.0	81.5	33.0	46.4	52.5	187.0	4.5	37.5	104.4	73.7
4	23.0	99.0	144.0	42.5	11.0	53.0	17.5	67.0	37.0	27.5	100.5	59.0	83.0	36.7	67.0
5	5.0	31.0	16.0	34.7	5.0	7.0	54.0	50.0	36.0	18.0	77.5	24.0	62.5	85.9	82.7
6	4.0	2.0	7.0	48.0	11.5	16.0	18.0	16.5	33.0	63.0	0.0	25.0	21.0	3.1	119.8
7	4.0	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	9.5	4.0	49.4	3.5	0.0	0.0	47.5	2.5	63.8
8	27.0	0.0	4.0	15.0	22.5	18.0	23.0	14.5	5.0	0.0	15.0	50.0	19.9	17.5	1.5
9	99.0	12.0	34.0	7.5	75.0	42.0	26.0	16.5	19.4	32.5	105.5	50.0	34.0	56.5	22.3
10	56.0	65.0	93.0	4.0	136.0	0.0	125.0	54.5	11.0	28.5	76.5	75.0	9.8	66.1	95.3
11	175.0	17.0	46.0	71.0	18.5	75.4	3.5	0.0	108.4	33.5	171.5	164.0	20.4	133.9	135.5
12	91.0	35.0	29.0	38.0	57.5	42.8	80.0	0.0	130.6	93.0	49.0	50.0	67.0	13.5	155.5
Totale complessivo	663.6	513.0	429.0	398.0	511.0	354.2	497.5	356.0	542.2	511.5	839.5	520.5	563.6	658.4	868.6
	Anno														
Mese	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1942	1943	1944	1945	1946	1951	1952
1	83.1	6.5	31.5	61.6	100.4	54.6	55.4	35.7	50.3	61.4	13.9	96.0	25.2	112.9	61.5
2	109.4	44.5	51.0	62.3	20.0	14.8	12.2	38.8	126.7	56.6	42.6	7.3	0.0	103.2	54.8
3	29.9	67.0	25.5	91.4	81.5	10.8	59.9	4.4	111.5	52.2	52.7	18.1	91.8	74.4	21.8
4	12.0	58.3	21.0	106.4	34.0	0.0	25.0	0.0	92.7	17.1	0.0	51.8	52.5	47.7	5.2
5	21.8	50.5	28.0	77.6	46.0	0.0	108.0	143.1	56.0	98.7	0.0	25.9	64.4	92.5	18.1
6	35.8	57.2	7.0	26.0	32.0	9.2	69.6	55.0	28.3	2.0	28.5	0.0	18.0	7.6	0.0
7	3.1	15.5	8.0	1.0	9.5	0.0	0.0	16.4	115.5	10.0	27.7	0.2	12.5	6.4	23.2
8	0.2	43.5	46.5	11.6	63.3	0.0	28.0	33.3	20.4	58.8	7.2	13.1	38.3	19.6	22.5
9	69.1	48.0	24.0	99.3	64.4	0.0	136.8	13.0	48.1	66.0	157.7	48.5	0.4	224.9	90.0
10	55.0	22.0	161.0	128.0	44.6	0.0	22.9	91.9	86.0	113.1	212.6	30.4	107.2	71.7	39.3
11	128.2	154.5	137.9	24.0	119.6	0.0	29.7	48.0	115.8	112.4	116.1	89.3	205.2	54.4	62.7
12	94.8	78.7	76.3	46.0	132.0	0.0	100.4	7.6	74.4	112.0	80.5	58.5	63.3	107.6	93.8
Totale complessivo	642.4	646.2	617.7	735.2	747.3	89.4	647.9	487.2	925.7	760.3	739.5	439.1	678.8	922.9	492.9
	Anno														
Mese	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967
1	66.9	42.7	49.6	58.5	74.9	55.7	30.2	83.7	120.0	47.1	77.0	10.1	89.1	62.8	42.8
2	35.5	57.4	106.8	46.8	47.3	3.2	23.3	92.0	13.6	17.0	82.8	54.9	43.2	73.6	69.6
3	0.4	89.8	34.3	63.7	9.2	111.0	95.8	58.7	9.0	117.8	44.0	85.9	25.2	54.0	42.4
4	59.9	33.4	0.8	113.5	57.7	79.7	23.8	63.0	145.6	27.5	69.0	45.9	51.7	20.4	9.0
5	46.1	71.3	7.2	56.9	72.1	19.2	33.8	21.4	30.9	13.7	40.5	16.4	63.4	36.2	47.2
6	82.2	51.7	12.8	42.0	6.0	24.8	22.1	28.0	32.2	2.6	33.7	48.9	28.5	1.2	44.6
7	1.9	57.7	7.8	1.3	42.5	21.3	3.3	16.7	2.6	0.0	35.7	10.4	0.4	53.2	0.0
8	21.9	43.5	15.0	0.0	2.0	0.0	70.3	7.2	0.0	0.0	13.0	23.2	64.4	27.8	22.0
9	10.2	1.6	64.5	67.3	0.0	0.0	104.7	291.6	26.4	22.6	31.3	16.3	59.4	55.2	32.2
10	227.3	3.4	15.4	50.4	37.5	141.8	87.8	83.0	86.2	161.4	32.3	123.1	0.2	114.6	19.2
11	53.0	111.8	80.1	157.3	51.4	84.5	65.7	61.2	184.7	140.3	70.7	105.6	187.0	310.6	104.0
12	81.7	42.2	113.1	23.4	77.5	68.2	140.5	156.8	36.0	26.6	80.8	137.0	23.2	39.0	58.8
Totale complessivo	687.0	606.5	507.4	681.1	478.1	609.4	701.3	963.3	687.2	576.6	610.8	677.7	635.7	848.6	491.8
	Anno														
Mese	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1984
1	27.0	59.0	135.6	62.2	113.6	88.6	77.4	0.8	31.0	88.8	119.6	87.8	71.6	64.8	19.4
2	51.8	100.0	23.8	29.0	101.0	22.0	111.2	80.6	46.0	94.0	88.0	65.8	30.2	16.6	65.4
3	15.8	62.4	57.6	19.6	47.4	9.6	77.8	140.4	34.6	38.4	32.8	41.8	139.2	58.2	45.6
4	38.0	36.4	37.0	14.0	90.8	25.0	83.0	58.7	65.8	16.2	81.4	80.8	10.6	43.8	43.8
5	135.0	47.0	19.0	82.0	17.4	9.2	47.2	55.8	23.6	48.0	36.0	0.0	60.0	33.4	57.6
6	38.0	9.4	74.8	30.6	8.2	9.0	22.2	18.4	13.4	12.0	11.6	23.2	23.6	3.8	17.4
7	80.8	20.8	1.8	0.0	9.2	6.2	3.8	10.6	28.8	22.6	5.8	15.4	0.0	2.2	0.0
8	25.0	91.2	67.6	20.6	28.2	28.4	100.4	190.6	27.2	33.2	3.8	22.6	70.4	0.2	49.0
9	61.4	51.8	1.4	28.4	79.2	101.0	37.4	62.0	56.8	27.0	35.8	88.8	2.8	25.8	213.2
10	112.0	77.8	21.8	27.6	58.0	60.4	67.2	114.2	168.4	65.0	74.6	68.0	144.4	127.0	51.8
11	81.0	62.0	36.0	165.2	44.6	27.6	51.6	133.8	102.4	52.4	29.8	68.6	130.8	2.2	176.2
12	66.4	85.2	72.2	47.0	81.0	31.0	4.4	76.8	103.8	55.4	68.6	79.2	63.2	111.8	50.6
Totale complessivo	732.2	703.0	548.6	526.2	678.6	418.0	683.6	942.7	701.8	553.0	587.8	642.0	746.8	489.8	790.0
	Anno														
Mese	1985	1986	1988	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999		2001
1	61.2	143.2	53.2	18.6	9.8	21.8	1.2	55.0	11.8	50.6	85.6	76.0	53.0		74.2
2	5.2	64.2	24.8	11.4	63.0	0.0	7.2	46.8	25.4	80.8	23.8	71.0	11.0		14.4
3	100.8	47.2	26.0	50.0	43.2	9.6	32.0	3.6	38.8	34.4	15.2	31.2	48.0		40.2
4	0.6	98.4	118.2	93.2	53.2	12.2	57.4	79.2	52.2	121.0	56.4	36.2	50.6		33.6
5	35.4	0.0	70.8	2.6	91.0	23.2	8.6	31.6	44.8	34.2	25.8	34.6	9.0		33.6
6	8.6	83.2	36.4	24.8	16.6	36.0	10.6	35.8	8.6	25.2	58.8	3.2	46.2		4.0
7	0.0	87.8	0.0	10.4	1.6	6.4	0.2	65.8	0.0	9.4	7.8	0.4	0.0		13.4
8	50.2	6.0	8.0	8.8	6.2	6.0	10.8	0.0	37.6	70.8	104.8	26.6	26.0		0.0
9	15.2	48.4	3.2	104.6	104.4	50.6	132.2	32.6	66.2	175.8	9.6	75.8	75.2		47.6
10	51.2	15.6	83.2	181.2	122.4	160.6	131.2	36.8	56.0	45.6	71.8	10.4	109.2		3.4
11	119.8	52.2	15.4	79.6	123.6	59.2	100.0	93.0	26.6	81.2	197.0	14.6	126.2		41.0
12	33.2	33.8	20.4	57.0	4.0	95.8	14.2	31.8	90.4	50.8	62.2	60.6	47.2		17.6
Totale complessivo	481.4	680.0	459.6	642.2	639.0	481.4	505.6	512.0	458.4	779.8	718.8	440.6	601.6		323.0

Tabella 4.3. – Precipitazioni mensili della stazione di Follonica



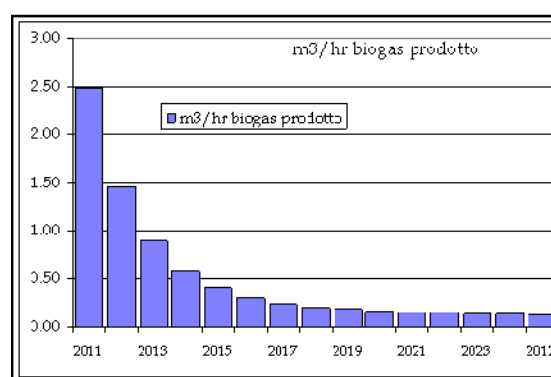
4.5.5. - Gestione delle acque drenate dal geocomposito drenante

Il progetto prevede l'uso di un geocomposito drenante per le acque meteoriche di infiltrazione. Il geocomposito drena le acque convogliandole verso due rami di tubazione fessurata in HDPE DE 75 inserita in una trincea di dimensioni 50x20 cm riempita di ghiaia. Prove già condotte da Tioxide dimostrano che i gessi non compattati assolvono ad una efficace funzione di assorbimento delle acque meteoriche: il sistema proposto, dunque, vuole tenere sotto monitoraggio questa proprietà dei gessi.

Per questo, anche al fine di non dover approfondire troppo i sistemi di recapito delle acque, i due rami della tubazione drenante, ciascuno con un tratto cieco finale, convogliano le acque drenate verso l'esterno della superficie coperta. I due tubi che spuntano dalla copertura saranno dotati di una saracinesca e di un elemento a gomito che consente di convogliare le acque verso un piccolo serbatoio di accumulo di 200 litri. Il serbatoio consentirà la misura dell'acqua di infiltrazione che periodicamente potrà essere scaricata nella vicina canaletta di regimazione, e quindi inviata all'impianto di trattamento.

4.5.6. - Monitoraggio per il drenaggio dell'eventuale biogas

Il progetto prevede l'uso di un geocomposito drenante per captare il biogas prodotto dai rifiuti. Viste le dimensioni della vasca e di conseguenza i ridotti quantitativi di rifiuti solidi stoccati, è prevedibile che la quantità di biogas prodotta sia contenuta. Una simulazione con 1000 t di rifiuto stoccato non



è ovviamente particolarmente attendibile da un punto di vista scientifico ma costituisce un riferimento di massima che dimostra la minima quantità di biogas in gioco senza dover fare ricorso in questa fase alla previsione di particolari sistemi di trattamento.

Per tale motivo si prevede per ciascuna vasca un pozzo di captazione, monitoraggio e controllo del biogas, senza però prevedere sistemi di aspirazione né sistemi di abbattimento. In base ai risultati del monitoraggio, qualora le concentrazioni di metano fossero significative, si installerà tra le due vasche un sistema a biofiltro o similare. I pozzi saranno in polietilene con tubo fessurato DE160 corredati da apposita testa pozzo e da tubazioni di drenaggio sempre in polietilene del diametro DE75. Il Pozzo sarà ben collegato al geocomposito drenante. La sommità dei pozzi sarà sigillata e dotata di un rubinetto di sfiato al quale collegare la strumentazione per il prelievo dei campioni, di una valvola di sfiato e di un misuratore di flusso

4.5.7. - Gestione del percolato e umidificazione del rifiuto

Il sistema di gestione del percolato prevede un pozzo di estrazione e monitoraggio ed uno di ricircolo che consente di variare il grado di umidità dei rifiuti in modo da accelerare i processi di degradazione. Il pozzo di estrazione/monitoraggio sarà realizzato con una tubazione fessurata in polietilene del diametro DE 500. Il pozzo, realizzato durante la fase di riempimento della vasca, si attesterà su una depressione di 1 metro da eseguire sul fondo, delle dimensioni 0,60 x 0,60 metri.

Per attestare il pozzo si prevede la realizzazione di una piccola soletta in cls dello spessore di 5 cm armata con rete elettrosaldata a maglia quadrata 15x15 del diametro $\Phi 10$. Per evitare intasamenti nell'intorno del pozzo sarà realizzato un filtro in ghiaia silicea con diametro delle particelle 1-2 cm.

All'interno del pozzo sarà installata una elettropompa per liquidi aggressivi conforme alla normativa ATEX avente prevalenza minima di 15 metri e portata 10-15mc/h. La parte sommitale del pozzo sarà cieca e dotata di tappo di chiusura con aperture per il passaggio dei cavi elettrici di alimentazione e della tubazione di mandata della pompa. La tubazione di mandata della pompa sarà in polietilene 2" dotata in sommità di un elemento a gomito, di un tratto rettilineo, di un rubinetto di campionamento, di un conta litri, di un ulteriore

tratto rettilineo in polietilene per il convogliamento del liquido fino alla piazzola di manovra in modo da consentire il carico delle autobotti per lo smaltimento del percolato e di una saracinesca di chiusura.

Considerando che il conferimento del rifiuto avverrà in pochi giorni e che subito dopo si prevede la chiusura delle celle, è possibile che il quantitativo di acqua presente nel rifiuto non sia ottimale per favorire le reazioni di degradazione della parte organica del rifiuto con conseguente produzione di biogas e percolato.

Per garantire le condizioni di normale umidità del rifiuto e favorirne i processi di degradazione è previsto un sistema per inserire acqua nella celle. Il sistema è in pressione ed alimentato con acqua.

In sostanza si prevede un reticolo in tubazioni disperdenti in polietilene che corre sopra i rifiuti. Si tratta di un'unica tubazione del diametro DE 63 con le due estremità che escono dalla copertura; la prima serve per l'alimentazione, la seconda sarà dotata di rubinetto per controllare che il sistema funzioni e che l'acqua abbia raggiunto tutte le parti della discarica.

L'alimentazione avverrà tramite collegamento con autobotte, dal quale l'acqua sarà convogliata in pressione nella rete.

4.5.8. – Alimentazione elettrica

L'alimentazione elettrica è garantita all'interno dello stabilimento. Sarà la stessa Tioxide, secondo norma vigente e conformemente agli schemi impiantistici esistenti, a fornire adeguata alimentazione ad un quadro elettrico indipendente in prossimità dei sistemi di sollevamento e controllo remoto con relativa posa dei cavi di alimentazione

4.6. - Qualità dei materiali e prove previste in corso d'opera

4.6.1. - Geocomposito drenante per biogas e per le acque meteoriche

Si tratta dei due geocompositi, da posizionare uno subito a contatto con il terreno di copertura in posto, , ed il secondo tra lo strato di gessi rossi con funzione impermeabilizzante e quello in sostituzione del terreno vegetale. I geocompositi saranno costituiti da un nucleo drenante realizzato in filamenti aggrovigliati di polipropilene, in modo da creare una struttura tridimensionale con almeno il 90% di vuoti; tale nucleo deve essere racchiuso tra due geotessili non tessuti filtranti termosaldati realizzati sempre con filamenti in polipropilene. Le caratteristiche principali richieste sono:

Proprietà del nucleo drenante

Tipo di polimero:	polipropilene
Volume di vuoto	>90%
Spessore del nucleo drenante:	> 12 mm

Proprietà del non tessuto filtrante

Peso:	110	gr/mq
Spessore del non tessuto:	0,40	mm
Resistenza a trazione MD:	7.3	kN/m
Allungamento a rottura:	60	%
Resistenza al punzonamento CBR	1100	N
Resistenza perforazione dinamica	36	mm

Capacità drenante del geocomposito

Il geocomposito deve avere una capacità drenante in verticale sotto una pressione di 20 kPa non inferiore a 7560 l/h/m con un gradiente idraulico pari ad 1 ottenuta secondo la norma N ISO 12158.

4.6.2. - Telo impermeabile in HDPE

Le membrane dovranno avere spessore 2 mm al netto delle asperità con una tolleranza del 10%. Il peso specifico del materiale deve essere $0.94 \div 0.96 \text{ g/cm}^3$, la resistenza a trazione $> 16 \text{ N/mm}^2$, l'allungamento a rottura $> 700\%$. Prima di iniziare la posa in opera delle geomembrane si dovrà provvedere alla verifica e all'eventuale risistemazione del relativo piano di posa, controllando l'assenza di materiale che potrebbe danneggiare la geomembrana. I teli della geomembrana dovranno essere uniti tra loro, previa accurata molatura delle superfici da saldare, con "saldatura automatica ad estrusione e per sovrapposizione" (all'asciutto ed a temp. $> 5^\circ \text{C}$) o con "saldatura a doppia pista" secondo le indicazioni riportate per la geomembrana in polietilene ad alta densità.

La geomembrana dovrà essere ruvida da ambo i lati.

4.6.3. - Geocomposito bentonitico

Il geocomposito bentonitico da mettere in opera sulle sponde della vasca deve essere costituito da un geotessuto di polipropilene da 150 g/m^2 , collegato meccanicamente ad un altro geotessuto in polipropilene da 150 g/m^2 , con strato interposto di bentonite sodica naturale per un dosaggio minimo garantito di 5 Kg/m^2 trattata con legante idrosolubile.

I due geotessili dovranno essere collegati tra loro tramite un rinforzo meccanico incrociato per assicurare il confinamento della bentonite. La resistenza a trazione del prodotto, secondo norma EN ISO, non deve essere inferiore a 20 KN/m in direzione longitudinale con deformazione superiore al 15% e non inferiore a 18 KN/m in direzione trasversale, con allungamento non inferiore al 14%.

4.6.4. - Gessi rossi come strato di impermeabilizzazione


La sperimentazione in campo si basa su presupposti confortanti da un punto di vista geotecnico. Infatti, nel 2006, Tioxide Europe ha provveduto ad una campagna di caratterizzazione del materiale presso i laboratori dell'Università di Pisa dove venne

eseguita una classificazione granulometrica e definizione del contenuto d'acqua ottimo, una Edometria (ED) ed una prova di permeabilità a parete flessibile.

- *Le prove di permeabilità sono state eseguite su provini ricostituiti in laboratorio. Tale operazione è stata effettuata facendo riferimento al valore ottimo del contenuto d'acqua ricavato da una prova Proctor Standard.*
- *L'apparecchiatura utilizzata per le prove di permeabilità è una cella mediante la quale è possibile applicare tra le basi superiore ed inferiore del provino cilindrico una differenza di quota piezometrica, inoltre è possibile applicare uno stato tensionale isotropo.*
- *Ogni singola prova consta di quattro processi di filtrazione per singolo provino, per ognuno dei quali il moto dell'acqua di filtrazione si può considerare stazionario. I quattro processi di filtrazione differiscono per la tensione di consolidazione applicata, la quale varia tra 20 e 100 kPa.*

I risultati della prova di permeabilità su campioni ricostruiti all'ottimo Proctor (contenuto d'acqua $19 \div 20\%$) hanno dato valori di conducibilità idraulica in linea con quelli previsti dal D. Lgs. 36/2003 per lo strato minerale.

Nell'allegato H alla relazione generale si riporta lo studio dell'Università di Pisa in cui si evidenzia che, compattando il materiale all'ottimo Proctor, la permeabilità dei gessi misurata con permeametro a pareti flessibili, risulta inferiore ai limiti del D. Lgs 36/03.

 UNIVERSITA' DI PISA DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE LABORATORIO DI GEOTECNICA via Diotisalvi, 2 - 56125 PISA tel. 0039 050 550421 - fax 0039 050 553573								
DETERMINAZIONE DELLA CURVA DI ADDENSAMENTO MEDIANTE PROCEDURA PROCTOR STANDARD								
Determinazione	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
Recipiente n°	110	405	24	57	8	3	12	120
Peso recipiente + terra umida	297.2	296.2	239.9	254.1	233.2	229	238	310.1
Peso recipiente + terra secca	274.98	273.05	225.66	245.34	211.36	205.82	209.3	263.08
Peso recipiente	72.5	94.7	94	94.9	72.7	83.7	73.5	70.5
Peso forma + terra addensata	5520.0	5562.7	5632	5706.1	5902.3	5900.4	5072.3	5023.2
Peso forma	4132	4132	4132	4132	4132	4132	4132	4132
Volume forma	937.39	937.39	937.39	937.39	937.39	937.39	937.39	937.39
Peso acqua	12.2	13.1	14.1	18.8	21.6	23.2	28.7	47.0
Peso terra secca	202.5	199.4	141.7	150.5	138.7	122.1	135.8	192.6
UMIDITA' PERCENTUALE	6.0	7.0	10.0	12.5	15.6	19.0	21.1	24.4
Peso terra addensata	1398.8	1430.7	1500.0	1574.1	1670.3	1768.4	1740.3	1651.2
DENSITA' UMIDA	1.462	1.525	1.600	1.679	1.792	1.907	1.957	1.804
DENSITA' SECCA	1.357	1.427	1.455	1.493	1.539	1.586	1.533	1.450

I gessi rossi andranno messi in opera con rullo compattatore preferibilmente a piede di pecora o piastra, in strati successivi di spessore non superiore alla lunghezza dei piedi del rullo; orientativamente a fine compattazione lo spessore del singolo strato dovrà essere <25 cm. Per favorire la compattazione, il gesso, se necessario, dovrà essere inumidito e/o fresato con erpice. Il materiale da utilizzare per la realizzazione dell'impermeabilizzazione di copertura dovrà risultare idoneo ad essere compattato all'optimum Proctor in sito e tale da fornire il valore di permeabilità richiesto. Le prove dovranno altresì indicare, oltre ai valori dell'optimum, l'intervallo di contenuto d'acqua e di densità all'interno del quale potranno variare i valori del materiale umidificato e compattato in sito, per rispondere ai requisiti di permeabilità richiesti.

a) Controllo materiali di origine

I controlli avranno lo scopo di accertare l'idoneità e la costanza delle caratteristiche del materiale prelevato in stabilimento ed in particolare le prove da eseguire saranno curva granulometrica e contenuto d'acqua. I risultati delle prove dovranno essere conformi alle caratteristiche del materiale prescelto e testato con le prove Proctor. Considerando il quantitativo di gessi utilizzato per l'impermeabilizzazione si prevede di eseguire almeno 2 prove sul materiale prelevato dallo stabilimento.

b) Controllo prima della stesa

Nell'area adiacente ai moduli sperimentali, contestualmente alla realizzazione della copertura sperimentale sarà eseguito uno specifico programma di prove in sito ed in laboratorio. Più in dettaglio, sarà allestita una specifica area da destinare a campo prove, avente le dimensioni di 15 metri x 30 metri e sarà suddivisa in due settori (Figura 4.4):

- Il primo, di larghezza pari a 6 metri, su cui sperimentare l'effetto di un rullo compattatore liscio monotamburo di larghezza 2 metri e peso di 10÷15 tonnellate;

- Il secondo, di larghezza pari a 7 metri, su cui sperimentare l'effetto di un escavatore cingolato del peso di circa 30 tonnellate;

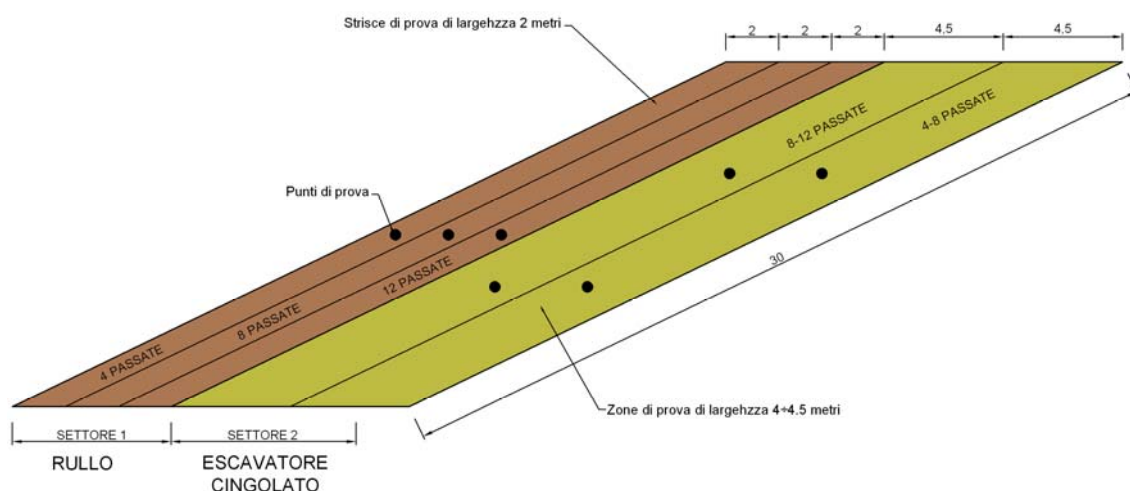


Figura 4.4: Schema dell'area di prova

Si prevede di utilizzare un quantitativo di circa 225 mc di gessi rossi su cui eseguire 2 prove di controllo dell'umidità iniziale al fine di verificarne la congruità con l'ottimo proctor già definito (19-20%) nelle prove dell'Università di Pisa.

Compattazione con Rullo: la compattazione deve avvenire su tre strisce di larghezza pari a quella del tamburo (2 metri), sulle quali il mezzo deve effettuare un numero di passate variabile in funzione delle evidenze di compattazione visive. In linea di massima si possono prevedere:

- 4 passate per la prima striscia;
- 8 passate per la seconda striscia;
- 12 passate per la terza striscia;

L'operazione dovrà essere ripetuta per entrambi gli strati che costituiscono lo spessore richiesto e per ogni strato saranno prelevati due campioni su cui eseguire prove di densità ed umidità da mettere a confronto con la prova Proctor già

disponibile. Le prove saranno eseguite al centro della striscia in modo da escludere gli effetti di bordo dovuti ad eventuali sovrapposizioni delle rullate.

Compattazione con escavatore: considerando la larghezza dei cingoli dell'escavatore e la diversa capacità di manovra, la compactazione non può avvenire su strisce ben definite; si potranno pertanto individuare due zone di larghezza $4\div4.5$ metri, sulle quali il mezzo effettuerà un diverso range di passate. In linea di massima si possono prevedere:

- $4\div8$ passate per la prima zona;
- $8\div12$ passate per la seconda zona;

L'operazione dovrà essere ripetuta per entrambi gli strati che costituiscono lo spessore richiesto e per ogni strato saranno prelevati due campioni su cui eseguire prove di densità ed umidità da mettere a confronto con la prova Proctor già disponibile. I punti dove eseguire le prove saranno uniformemente distribuiti sull'area compattata.

Inserendo i dati ottenuti dalle prove Proctor nel grafico della curva di compactazione di laboratorio, si verificherà se e con quale metodologia, è stato raggiunto un peso di volume secco del 90-95%, ottenendo così delle valide indicazioni per il controllo del processo in fase di esecuzione della copertura. Per avere un ulteriore controllo diretto in sito, si prevede di eseguire una prova con permeametro di Boutwell per ogni settore oggetto della sperimentazione in campo dopo averne sopraelevato di circa 40 cm una porzione adeguata all'esecuzione della prova.

Di conseguenza si prevede l'esecuzione delle seguenti prove:

- n° 2 prove di umidità per determinare il valore iniziale
- n° 14 prove di densità ed umidità su materiale del campo prova
- n° 5 prove di Boutwell a fine compactazione

c) Controllo messa in opera

Alla fine della messa in opera e della compattazione di ogni singolo strato di gessi, dovrà essere controllato lo spessore effettivo raggiunto dallo strato, il grado di umidità e la densità del materiale in situ che dovranno rientrare nell'intervallo di valori certificato con le prove Proctor per il raggiungimento dei requisiti di permeabilità richiesti; le prove dovranno essere almeno 2 per strato, opportunamente distribuite sulla superficie realizzata. La stesura del materiale avverrà per strati successivi di circa 20 cm

d) Controllo permeabilità alla fine della posa

La permeabilità dovrà essere controllata a fine posa dello strato di impermeabilizzazione (H = 50 cm). Si eseguiranno prelievi di campioni indisturbati (almeno 5) uniformemente distribuiti su tutta la superficie realizzata sui quali verranno effettuate prove di permeabilità in laboratorio in cella triassiale a carico variabile (UNI CEN ISO/TS 17892-11, ASTM D 2434-68).

4.6.5. - Geocomposito antierosione in fibra di cocco

Per minimizzare al massimo il dilavamento dello strato di gessi rossi utilizzato come terreno vegetale, si prevede l'utilizzo di un geocomposito antierosione biodegradabile in fibra di cocco sulle scarpate. Le caratteristiche richieste al geocomposito sono le seguenti:

Proprietà della georete

Peso unitario	400 gr/mq \pm 5%
Apertura della maglia	ca 2 cm
Resistenza a trazione long. A secco	10 kN/m
Resistenza a trazione trasv. A secco	9 kN/m
Allungamento a rottura in entrambe le direzioni	8%

Il materiale deve essere tagliato in strisce di opportuna lunghezza e steso sul piano e lungo la direzione di massima pendenza delle scarpate pur se di modesto sviluppo. Il materiale deve essere, poi, ancorato in apposite trincee di profondità di circa 30x30 cm. La rete deve essere fissata al terreno per mezzo di picchetti in ferro acciaioso ad aderenza migliorata conformati ad U, di lunghezza non inferiore a 30 cm e diametro non inferiore a 8 mm. La densità dei picchetti deve essere valutata in funzione delle condizioni locali del terreno, in ogni caso però non deve essere inferiore a 1 ogni 4 mq.

Il fissaggio deve essere eseguito assicurando la massima aderenza tra il terreno e la rete. In trincea e lungo le sovrapposizioni il materiale deve essere ancorato al terreno per mezzo di picchetti delle dimensioni previste in progetto e con una frequenza di 1 per metro lineare. Sulla parte piana è prevista, invece, la posa in opera di uno strato di paglia che assolve la stessa funzione.

4.6.6. - Certificati e prove sui geosintetici

Ogni fornitura per entrambi i geocompositi e per il geocomposito in fibra di cocco deve essere documentata da una dichiarazione di conformità redatta dal produttore secondo le modalità previste dalla norma EN 45014, attestante la quantità, il tipo e le caratteristiche del materiale fornito, con preciso riferimento alla data ed alla località di consegna.

Qualora il materiale fosse prodotto da aziende operanti secondo gli standard della certificazione ISO sarà sufficiente eseguire una sola prova sull'intera fornitura di tutte le caratteristiche richieste, presso laboratorio autorizzato.

In caso contrario, si dovrà eseguire una prova di laboratorio ogni 1500 mq di materiale posato in opera. Il fornitore dovrà presentare una lista di referenze al fine di provare la effettiva capacità di produrre materiali assemblati con cuciture ed utilizzati in applicazioni simili a quelle previste dal progetto.

4.7. - Rinverdimento della discarica

4.7.1. - Principi generali

Essendo la sperimentazione in oggetto limitata ad un periodo massimo di due anni viene previsto necessariamente solo il rinverdimento con specie erbacee e non il successivo rinverdimento con specie arbustive e arboree.

Precedenti esperienze di Tioxide sulla propria discarica interna allo stabilimento, dove i gessi sono stati utilizzati come copertura, indicano comunque che è possibile far attecchire e sviluppare specie erbacee, specie arbustive e arboree su gesso rosso opportunamente ammendato. Le esperienze acquisite in merito alla sopravvivenza delle specie arboree ed arbustive indicano ottimi risultati in termini di attecchimento ove la piantumazione sia effettuata dopo almeno due anni dall'attecchimento del prato.

Le esperienze condotte da Tioxide consentono di affermare che la rinaturalizzazione agronomica dei gessi è favorita dal loro ammendamento con fanghi dalla depurazione di acque civili o da compost, e porta alla loro attivazione biologica permettendo quindi il loro recupero funzionale come “terreno di coltura” idoneo a sostenere una certa gamma di specie erbacee, arbustive e arboree, la cui crescita è stata testata a distanza ormai di più di venti anni.

Resta da approfondire l'idoneità delle specie scelte, riguardo la capacità di adsorbire o meno metalli pesanti all'apparato radicale o di accumularne internamente a questo o altri distretti, con particolare riferimento alle parti aeree. La sperimentazione sarà in grado di evidenziare anche questa importante funzione.

Lo strato colturale previsto avrà lo spessore di 100 cm, come indicato dal D. Lgs. 36/2003. La potenza di questo spessore consentirà un buon attecchimento alla vegetazione reintrodotta, con minori rischi di retrogradazione della copertura vegetale.

Rispetto all'uso di un normale suolo vegetale, si utilizzeranno i medesimi principi e tempi di intervento già adottati con successo nelle esperienze di rinverdimento dei depositi di gesso interni al sito Tioxide, con profondità di lavorazione del substrato di circa 50 cm, uso di ammendanti e semina coadiuvata da pacciamatura naturale. Il Gesso per sua natura è una sostanza inorganica e quindi richiede di essere ammendato con compost nella misura di ca 4-6 kg/mq. Inoltre, data la tipicità dell'area di intervento con piogge concentrate nei periodi autunnale e invernale, seguita da importanti periodi di siccità, è risultato molto valido un apporto di paglia nella misura di 1-1.5 Kg/m².

La paglia svolge il ruolo di “volano” per l'umidità, favorendo la sopravvivenza dei germogli in condizioni di siccità. Per il mantenimento dell'impianto a regime è altresì ipotizzabile l'impiego dei residui di sfalcio della stessa coltura vegetale quale pacciame per la coibentazione termica, il controllo dell'umidità, la concimazione e la promozione della successione ecologica naturale.

4.7.2. - Attecchimento delle specie erbacee su coperture di discariche

La scelta delle tecniche di rinaturalizzazione da utilizzarsi nello svolgimento delle attività progettuali deve tener conto del contesto ambientale entro il quale le attività sono inserite. Particolare attenzione deve esser posta alla caratterizzazione ambientale, al fine di inserire specie erbacee che, pur presentando un buon adattamento ad un substrato difficile, siano anche ben inserite nelle comunità vegetali naturali.

Tale attenzione, oltre a permettere i migliori risultati, risponde alla necessità di conservare l'originaria biodiversità del luogo relativamente alle fitocenosi erbacee. Resta altresì da considerare come l'iniziale semina di essenze alloctone (aliene), o comunque da semente commerciale, nel sito di intervento, non potrà in alcun modo evitare che nel corso degli anni si instauri un naturale avvicendamento con quelle autoctone o avventizie già presenti nel sito (è proprio per questa prospettiva che si è resa necessaria una valutazione preliminare dell'interazione pianta-suolo anche delle specie spontanee).

Un'essenza vegetale, per essere considerata utilizzabile per la copertura definitiva di discariche, deve presentare tre caratteristiche principali:

- Resistenza a stress idrico;
- Apparato radicale superficiale (profondità massima di 1,5 m);
- Resistenza alla presenza di metano.

Bisogna considerare che il sistema di copertura della discarica non consente un contributo dal sottosuolo di acqua per risalita capillare; pertanto l'unico apporto idrico per lo strato di terreno superficiale è costituito dall'infiltrazione delle precipitazioni. Di conseguenza, la vegetazione potrà facilmente approvvigionarsi di acqua nei mesi più piovosi, mentre nei mesi estivi non si avrà alcuna riserva sfruttabile immagazzinata in profondità.

Escludendo l'utilizzo di un sistema di irrigazione fisso, che implicherebbe dei costi di realizzazione e manutenzione troppo elevati, la sopravvivenza di eventuali specie sarà legata alla capacità idrica di campo (capacità di ritenzione idrica dello strato superficiale di terreno). La crescita dell'apparato radicale deve essere limitata in senso verticale: deve essere evitata la penetrazione delle radici nello strato impermeabile, che darebbe origine a fessurazioni e, quindi, a infiltrazioni. Per quanto sopra esposto, nella selezione dei miscugli di semina è opportuno introdurre specie in grado di sfruttare al massimo l'umidità notturna, catturata attraverso l'apparato fogliare, ai fini della crescita.

Per ciò che concerne il rischio associato alla presenza di metano, dovuto a possibili fughe di biogas dal sistema di captazione, esso è legato essenzialmente all'eventuale tossicità di questo gas nei confronti delle piante che possono assorbirlo attraverso le radici e l'apparato fogliare. Tuttavia il sistema di drenaggio previsto nella copertura ed il sistema di impermeabilizzazione proposto dovrebbero essere sufficienti al controllo del biogas.

4.7.3. - Fitostabilizzazione

Come accennato in premessa, la sperimentazione prevede anche la verifica della capacità di fitostabilizzazione sui gessi rossi da parte di specie erbacee capaci di limitare l'uptake (assorbimento e trasferimento) di metalli pesanti nell'apparato foliare, scongiurando la diffusione dei metalli nella catena alimentare. Le prove in campo aperto serviranno per verificare la capacità di adattamento delle piante fitostabilizzanti.

Le specie che si propone di impiantare sono definite “escluditrici”, in quanto riescono a mantenere bassa la concentrazione fogliare dei metalli, senza essere quindi influenzate dalla loro presenza, talvolta eccessiva, nei suoli. Queste specie, attraverso l'adsorbimento o l'accumulo a livello radicale, o la precipitazione dei metalli nella rizosfera, ne riducono la mobilità, contribuendo ad abbassarne la biodisponibilità, a contenere i rischi derivanti da processi erosivi, e a limitare quelli di contaminazione della catena alimentare.

La tecnica che fa uso di queste piante è detta appunto fitostabilizzazione, e la sua validità per i terreni inquinati da metalli è stata largamente studiata. L'impiego di specie escluditrici può quindi considerarsi a ragione la più appropriata per il rinverdimento dei gessi rossi, dal momento che queste piante, oltre a contenere la diffusione dei metalli, concorrono a stabilizzare la struttura del substrato aumentandone la stabilità chimico-fisica e l'integrità strutturale, qualità richieste per l'utilizzazione dei gessi nel ripristino ambientale e nell'isolamento di discariche esaurite.

4.7.4. - Tempi di intervento

L'esecuzione del recupero ambientale del lotto interessato dalla sperimentazione si protrarrà per almeno un anno, al termine del quale i nuovi impianti vegetativi avranno ricevuto cure sufficienti per proseguire la propria evoluzione stabile e naturale verso una fitocenosi compatibile con le caratteristiche ambientali del luogo.

La lavorazione del terreno si articolerà nelle seguenti fasi:

- livellamento

- lavorazione profonda dei gessi con mezzi assimilabili ai rip.
- Preparazione del letto di semina ed e ammendamento dei gessi con compost;
- Spandimento della paglia o altro pacciame assimilabile (residui di sfalcio o simili)
- Semina di un idoneo miscuglio prativo;
- Cura del prato (sfalci). Il materiale risultante verrà lasciato in posto al fine di fornire ulteriore apporto vegetale – pacciame – utile a favorire la riattivazione agronomica del gesso.

4.7.5. - Modalità e tecniche di intervento

Una volta ultimati i lavori di deposito dei gessi ed effettuato il livellamento a quota definitiva, si procederà alla prima fase del recupero che consisterà nelle seguenti operazioni:

Livellamento e lavorazione profonda

Si prevede di sistemare, sopra lo strato di sigillatura e lo strato drenante, 100 cm di gesso opportunamente trattato come materiale in sostituzione dello strato di terreno vegetale. In seguito alla stesura dello strato di un metro di gessi, questi saranno opportunamente livellati e stesi uniformemente per compensare le aree di differente densità e per conferire il profilo morfologico desiderato. Il livellamento avrà quote non uniformi e non pianeggianti, ma seguirà un andamento declive fino a disegnare la forma di una modesta collinetta degradante (pendenze modeste tipo 2-4 % sono sufficienti), al fine di evitare il ristagno di acque meteoriche, che si è dimostrato in concreto il principale ostacolo allo sviluppo e crescita delle specie vegetali.

Alla fase di livellamento seguirà una fase di lavorazione profonda dei gessi, eseguita con ripper in passate incrociate alla profondità di oltre 50 cm (propedeutica alla ricostruzione dello strato edifico). Questa fondamentale operazione consentirà di areare la massa del

gesso e di rompere gli aggregati compatti che si potrebbero essere formati. Questo tipo di lavorazione dello strato finale di 1 metro, al contrario del sottostante strato rullato, consentirà di mantenere una certa leggerezza e stato fisico di minor compattezza. Questo operazione è funzionale inoltre ad accrescere la capacità di assorbire acque meteoriche da parte dei gessi e quindi contenere/ limitare i fenomeni erosivi. A questo punto i gessi sono pronti per la successiva operazione di ammendamento.

Ammendamento e lavorazione superficiale

Sulla scorta delle esperienze consolidate, la rinaturalizzazione del gesso, al fine di renderlo idoneo alla vita di molte specie vegetali, richiede apporto di sostanza organica, distribuita in dosi e modalità frutto degli studi eseguiti. Questi in particolare evidenziano la necessità di trattare (ammendare) i gessi prevalentemente in superficie, dato che l'ammendamento in profondità viene offerto dalle piogge e dalla diffusione nel substrato. Per la fase di ammendamento sarà utilizzato compost di qualità. Tale sostanza organica verrà distribuita direttamente sul gesso mediante distribuzione con mezzo meccanico tipo spandiconcime rotativo in ragione di 4-6 Kg/mq. Subito dopo verrà distribuita sul gesso paglia di cereali (o materiale affine), da reperire sul mercato locale in rotopresse e distribuire anche con mezzi spandiletame in dosi di non meno di 1-1.5 Kg/mq. Dopo l'uniforme distribuzione delle due materie organiche si procederà all'incorporamento del compost e paglia nel gesso.

La sostanza organica aggiunta deve essere solo lievemente incorporata nello stato superficiale, ca 30 cm. Questa operazione è necessaria per preparare uno strato di modesto spessore di gesso e sostanza organica in grado di ospitare la prima evoluzione radicale delle piante. Le piante che ne risulteranno procederanno in autonomia a spingersi a profondità maggiori e ad accrescersi. Per questo tipo di lavorazione si impiegheranno quindi attrezzature di pieno campo quali erpici a disco leggeri. In ogni caso dovrà essere evitato il completo interrimento di tutta la paglia

che dovrà rimanere in superficie per costituire un primo strato di pacciamatura, assai utile per migliorare il successivo attecchimento del prato. La successiva fase è appunto la semina del prato.

Semina della copertura erbacea

Su questo strato di gesso ammendato sarà quindi effettuata la semina del miscuglio erbaceo per l'impianto del prato. La stagione migliore per l'impianto sarà quella autunnale, ma in caso di condizioni avverse potrà essere anche seminato verso la fine dell'inverno (febbraio/marzo).

Per il sistema di semina, compatibilmente con la condizione dei gessi, potrà essere impiegata una comune seminatrice da prato, ovvero, dato un buon apporto di compost e paglia in superficie, potrà essere preferita la semina a spaglio (meccanizzata con spandiconcime rotativo); successivamente tutta la superficie dovrà essere stabilizzata con rullo tipo *cultipaker* per migliorare la copertura del seme evitando inutili interramenti ma scongiurandone altresì il dilavamento. Questo fattore si è dimostrato essere fondamentale per la buona riuscita del prato.

Manutenzione

Nella stagione successiva all'impianto tutte le superfici interessate dalla semina del prato saranno seguite costantemente dal personale abilitato, verificando l'attecchimento e la completa copertura ed eventualmente procedendo a ripassi manuali di semi delle aree non sufficientemente coperte (>70%). La cura colturale consiste essenzialmente nello sfalcio del manto erboso accresciuto.

Questa operazione, effettuata con idonea attrezzatura manuale meccanizzata, non dovrà comportare l'asportazione di alcun residuo dal sito, ma piuttosto lo spargimento omogeneo dello sfalcio stesso, tale da favorirne l'arricchimento e l'evoluzione secondo i principi già elencati sopra per la tecnica colturale della pacciamatura. E' da valutare l'eventuale necessità di un'irrigazione estiva di soccorso

in relazione all'andamento stagionale e alla disponibilità di acqua nelle vasche, da effettuarsi con apparecchiature ad aspo e con volumi di adacquamento idonei al soccorso.

4.7.6. - Specie da impiantare

Come anticipato, sono state individuate delle specie escluditrici adatte alle caratteristiche chimico-fisiche dei gessi rossi, in particolare tolleranti la presenza di elevate concentrazioni metalli quali ferro, zinco e vanadio, e capaci di ridurre la mobilità. E' prevista la selezione di specie vegetali metallo-escluditrici riportate dalla letteratura più autorevole in questo contesto, tenendo conto anche della loro attuale reperibilità commerciale. In questa ottica la scelta è ricaduta su quelle specie erbacee ritenute adatte alla formazione di ambienti prativi e caratterizzate da apparati radicali sviluppati ma non troppo profondi.

Si propone quindi la rinaturalizzazione dell'area in oggetto di intervento con una miscela di semi di opportune specie escluditrici con elevata tolleranza ai metalli (*Lolium*, *Festuca*, *Agrostis*, *Poa*, *Trifolium*) ed eventualmente di quelle specie che sono già state coltivate con successo in precedenti tentativi di inerbimento dei gessi rossi, ma non ancora indagate per la fitostabilizzazione (*Avena fatua*, *Bromus erectus*, *Cynodon dactylon*, *Vicia faba*, *Hedysarum coronarium*, *Lotus corniculatus*, *Medicago sativa*).

Di particolare importanza per la prima messa a dimora dell'impianto è la presenza, nel miscuglio delle sementi, di *Medicago sativa*, per la sua capacità di fissazione dell'azoto nel terreno e per la forte resistenza allo stress idrico, essendo capace di assorbire l'umidità dell'aria attraverso l'apparato fogliare.

Visto il carattere sperimentale di questo primo impianto, si riserva la possibilità di seminare alcune particelle di terreno di modesta estensione (ca. 1 mq. Ciascuna) con specie uniche o miscele di sementi differenti da quelle disponibili in commercio, per valutare

eventuali variazioni comportamentali delle piante in relazione alle diverse forme associative. In particolare si ritiene utile “anticipare”, per quanto possibile, gli esiti di un’evoluzione a lungo termine dell’impianto, utilizzando in coltura pura o combinata alcune tra le specie più significative e diffuse della flora spontanea locale, quali *Beta macrocarpa*, *Chenopodium album*, *Plantago* □ *ermea* met, *Silybum marianum* o *Dactylis glomerata*, in vista di un loro potenziale, elevato contributo alla biomassa totale prodotta dall’impianto a regime.

Nel caso da tali prove collaterali dovessero emergere, nel corso dell’anno di sperimentazione, interessanti evidenze e suggerimenti per un contributo migliorativo al funzionamento dell’impianto in generale, sarò possibile accelerarne l’evoluzione intervenendo in maniera mirata ai “ripassi manuali di semi” già previsti nella fase di manutenzione.

4.8. - Prove per il controllo della qualità dei gessi nel tempo

Al fine di poter verificare le performance dei gessi come materiale di impermeabilizzazione da utilizzare nello strato di copertura delle discariche, si prevedono dei controlli periodici sia in laboratorio che in situ per entrambe le tipologie di coperture realizzate.

In particolare l’obiettivo è quello di verificare l’invariabilità dei valori di permeabilità nel tempo, che dovranno risultare conformi ai risultati di collaudo già descritti e comunque inferiori ai limiti imposti dal D. Lgs 36/03. Le prove previste sono le seguenti:

- prove di Boutwell in situ
- Prove di laboratorio per la determinazione della permeabilità (UNI CEN ISO/TS 17892-11, ASTM D 2434-68);
- Prove di densità ed umidità (CNR 22 ; ASTM D 1556 ; ASTM D 2167)


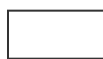
Per consentire l'esecuzione dei campionamenti destinati al laboratorio è necessario disporre di uno strato continuo di gesso senza interposizione di geosintetici che, se perforati, andrebbero irrimediabilmente a compromettere la qualità del campione prelevato. Il prelievo dei campioni indisturbati avverrà tramite fustella spinta nel terreno con l'ausilio di escavatore posizionato sulla vicina pista che circonda la vasca.

Per consentire al meglio le prove di Boutwell, invece, è necessario individuare con sufficiente precisione la suddivisione dei due strati di gesso utilizzati.

A tal fine si prevede, sull'intero sviluppo del lato Sud di ciascuna delle due coperture, una fascia di larghezza 2 metri dedicata all'esecuzione dei test e in cui non saranno posati in opera i geosintetici drenanti ma solo i gessi, costipati per i primi 50 cm secondo modalità già descritte cui sovrapporre il metro di gessi con compost in sostituzione del terreno vegetale.

Tra i due strati si prevede la posa di un geotessuto di separazione a strisce alternate di lunghezza 3-4 metri.

<i>Prova Boutwell</i>	<i>Prova Laboratorio</i>	<i>Prova Boutwell</i>	<i>Prova Laboratorio</i>
-----------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------

-  Fascia di 3-4 metri con separazione in geotessuto tra i due strati di gesso
-  Fascia di 3-4 metri con continuità tra i due strati di gesso

Il permeametro di Boutwell è un apparecchio relativamente semplice in grado di fornire risultati soddisfacenti; presenta inoltre il vantaggio di permettere di determinare la permeabilità sia verticale che orizzontale attraverso due fasi distinte di prova.

Le due fasi di prova vengono condotte a carico variabile, interrompendole quando l'assorbimento risulta a "regime": i valori di conducibilità tendono a stabilizzarsi nel tempo. L'adozione di un capillare di misura consente di apprezzare con estrema precisione piccole variazioni di carico idraulico, anche in condizioni di bassa permeabilità ($10^{-8} \div 10^{-9}$ m/sec).

Da un punto di vista operativo, l'apparecchio costituito da un tubo in PVC Ø 100 mm e dal tubo capillare di misura, viene inserito nel terreno in prova mediante un perforo Ø 110÷150 mm circa, realizzato con sonda manuale e l'intercapedine viene sigillata con boiacca di cemento/bentonite onde evitare risalite laterali preferenziali dell'acqua.

Nel caso specifico si procederà con un prescavo di larghezza 1 metro x 1 metro e di profondità 70 cm. Si continuerà poi con l'approfondimento mediante trivella fino a trovare il geotessuto di separazione che sarà tagliato per poi procedere all'approfondimento alla quota desiderata per la determinazione della permeabilità.

Si procederà ad una prima prova a carico variabile (a) nella quale il flusso idrico avviene dalla sola base e ricavando la conducibilità idraulica verticale. La prova si ritiene conclusa quando il valore di k si stabilizza nel tempo. Nella seconda fase si procederà ad un approfondimento del foro per mezzo di un campionatore a pareti sottili, prestando attenzione a non danneggiare la sigillatura laterale; la prova viene quindi eseguita a foro scoperto, cioè permette di determinare la permeabilità laterale.

Ogni prova dura mediamente 3÷4 giorni. Le determinazioni della permeabilità vengono eseguite ricorrendo alla relazione di Hvorslev (1949).

4.9. - Rete di monitoraggio dei cedimenti

Il corpo dei rifiuti di una discarica è interessato nel tempo da fenomeni di riduzione volumetrica indotti dalla maturazione o degradazione dei rifiuti stessi con conseguenti fenomeni di assestamento.

In linea generale, il controllo dei cedimenti differenziali, pur non rientrando direttamente fra i sistemi di monitoraggio degli aspetti strutturali di una discarica, va tuttavia tenuto in considerazione in quanto l'azione combinata di assestamenti anomali dei rifiuti, di scarso attecchimento della copertura vegetale, di eventi meteorologici significativi, potrebbe mettere a rischio la stabilità dei sistemi di copertura in presenza di pendenze elevate, originando movimenti gravitativi di masse di terreno e di masse di rifiuto più superficiale.

Al fine di monitorare la stabilità della copertura e dei suoi strati, per entrambe le coperture realizzate si prevede una rete di monitoraggio dei cedimenti mediante l'installazione di 10 punti di controllo, di cui 4 in testa agli argini, 2 su ciascuna delle coperture e 2 sul piano campagna in zone non interessate dal passaggio di mezzi o altre attività lavorative.

I punti di controllo sono costituiti da mire topografiche a terra, affogate in un getto di calcestruzzo avente dimensione minime 30x30x30 ed individuati tramite paline topografiche a strisce bianche e rosse piantata nel terreno. La posizione dei punti di controllo è riportata in Tavola 5.

4.10. - Stima dei quantitativi utilizzati per la copertura

I quantitativi dei materiali necessari per realizzare le vasche e le coperture sono dettagliati nel computo metrico allegato al progetto.

4.11. - Monitoraggi, misure e controlli

Di seguito si elencano le misure ed i controlli tecnici sulle coperture previsti nel tempo una volta installato il sistema di copertura (Tavola 5). Per il monitoraggio completo si rimanda al Piano di Monitoraggio e Controllo della sperimentazione (allegato A alla relazione generale).

Acque di ruscellamento

- Le vasche sono dotate di due livellostati automatizzati che consentono la lettura in continuo dei livelli e quindi delle portate in arrivo.
- All'ingresso della vasca, sulla tubazione di scarico che arriva dalla copertura, sarà installato un rubinetto di campionamento;
- All'uscita della vasca sarà presente un conta litri ed un secondo rubinetto di campionamento;

Acque di infiltrazione

Le acque drenate dal geocomposito drenante vengono convogliate attraverso una tubazione in HDPE DE 75 verso due piccoli accumuli per ciascuna vasca, della capacità di 200 litri, che in sostanza consentono di controllare l'acqua che attraversa il primo strato di gessi. Sempre tramite questi accumuli l'acqua potrà essere campionata per valutarne la qualità. Qualora l'acqua accumulata nei serbatoi diventa significativa, sulla tubazione sarà installato un conta litri e l'acqua convogliata direttamente alle canalette di drenaggio perimetrali e quindi all'impianto di trattamento.

Monitoraggio livelli del percolato

Il controllo del percolato avverrà tramite i pozzi realizzati al centro della vasca nel quale sarà alloggiata una sonda di livello a comando remoto.

Biogas

Sono previsti monitoraggi e campionamenti nei 2 pozzi previsti. Il monitoraggio sarà manuale e consentirà di valutare la possibilità di inserire un impianto di trattamento a biofiltro del biogas. La misura della portata di biogas sarà garantita da misuratore di flusso.

Verifica dell'impermeabilizzazione e dei gessi nel tempo

Si prevedono 4 campagne di prove, presumibilmente una per ogni stagione, distribuite uniformemente sulla fascia appositamente realizzata. Ogni campagna sarà costituita da 3 prove Boutwell e 2 prove di laboratorio effettuate secondo le modalità descritte nel paragrafo 4.9.

Verifica dei cedimenti della copertura

Sono state previste 2 sezioni di misura dei cedimenti con un rilievo delle quote a fine copertura e successivamente ogni 6 mesi.

Misura del grado di copertura vegetale

E' previsto un controllo del grado di copertura vegetale ogni tre mesi dalla semina.

4.12. – Limiti di fattibilità delle celle sperimentali

Come anticipato, le dimensioni progettuali delle vasche sono vincolate ad alcune condizioni al contorno che ne consentono lievi margini di modifica senza, tuttavia, alterare significativamente la sostanza della proposta. Le condizioni al contorno che devono essere assolutamente rispettate sono le seguenti:

- Spessore minimo di rifiuti che non può scendere al di sotto dei 3.5 metri.
- Altezza totale degli argini che, di conseguenza, non può scendere al di sotto dei 5.0 metri.

- Quantitativo massimo di rifiuti per la sperimentazione (Frazione selezionata di RSU + gessi di impermeabilizzazione + gessi di copertura) che non può superare 3650 tonnellate
- Superficie di posa dei rifiuti (piano finito della ghiaia di drenaggio) che non può scendere al di sotto di circa 40-50 mq per consentire l'esecuzione del pozzo di drenaggio del percolato e relative manovre di compattazione.

La proposta progettuale riportata nelle tavole 1 ÷ 5 rispetta tutti questi parametri. In particolare gli argini di contenimento sono posti ad una distanza di 5 metri (distanza tra il ciglio interno) l'uno dall'altro generando un piano di appoggio dell'argilla del sistema barriera di 25 mq mentre la superficie di appoggio dei rifiuti, misurata sul piano finito della ghiaia di drenaggio, è di 100 mq.

Questa proposta progettuale garantisce adeguati spazi di manovra e di costipazione dei materiali, consente un'adeguata estensione della zona di rifiuti con spessore maggiore di 3 metri, permette la costruzione del pozzo con spessore di argilla secondo normativa e l'esecuzione delle attività di gestione e coltivazione in piena sicurezza.

Qualora, tuttavia, fosse ritenuta necessaria una ulteriore riduzione dei volumi in gioco delle superfici delle celle di sperimentazione è possibile prevedere un avvicinamento dei cigli arginali di contenimento fino ad una distanza massima di 2.50 metri. In questo caso la superficie di appoggio dell'argilla si riduce a 6.25 mq alla base inferiore ed a 36 mq su quella superiore mentre il reale piano di appoggio dei rifiuti sulla ghiaia di drenaggio è prevedibile su una superficie di circa 60 mq. Questo costituisce il limite inferiore di variazione dimensionale del progetto al di sotto del quale si ritiene impossibile procedere.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei parametri significativi del progetto nelle due condizioni estreme e per entrambe le vasche.

	Distanza ciglio argini 5 metri		Distanza ciglio argini 2.5 metri	
	Volumi (mc)	Tonnellate (t)	Volumi (mc)	Tonnellate (t)
<i>Frazione selezionata RSU</i>	2100	1680	1500	1200
<i>Gessi rossi per impermeabilizzazione</i>	250	400	180	288
<i>Gessi rossi per copertura finale</i>	500	800	360	576
Totale	2850	2880	2040	2064

4.13. - Cronoprogramma dei lavori

La durata totale dei lavori di costruzione della copertura è stimata in 50 giorni lavorativi che significano 70 giorni naturali e consecutivi pari a 10 settimane. stima per le singole attività

Di seguito si riporta un dettaglio della stima della durata delle singole attività previste in cantiere. La sovrapposizione delle lavorazioni è stata definito secondo una logica di consequenzialità delle operazioni ma potrebbe subire, come comprensibile, modifiche in corso d'opera.

Il cronoprogramma non considera ritardi dovuti a condizioni meteo avverse di cui si dovrà, invece, tenere conto in fase di realizzazione con possibilità di slittamento dei tempi previsti da documentare a cura della direzione Lavori.

CRONOPROGRAMMA DELLE ATTIVITA'

[illegible]

Il crono programma delle attività è riferibile a giornate di lavoro effettivo.