

SCHEDA 2 - DISCARICA DI CROCE AL MARMO

Progetto di bonifica e ripristino ambientale

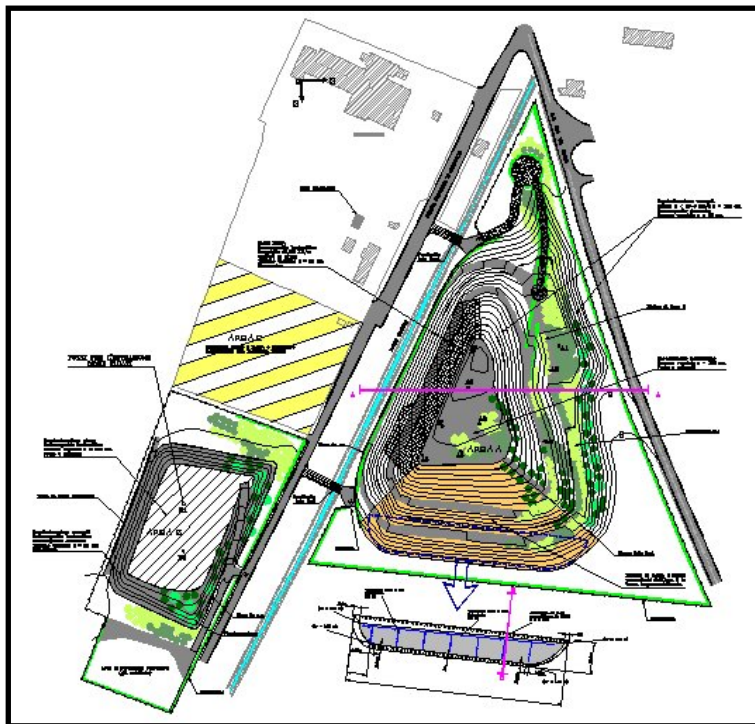
<u>Località:</u>	Pisa – Loc. Ospedaletto
<u>Progettisti:</u>	Ing. Paolo Ghezzi - Ing. Paolo Andreussi,
<u>Direzione Lavori:</u>	Fino al 18/02/2002: Ing. Orazio Latina, Ing. Rocco Sturchio, Ing. Paolo Ghezzi, Arch. G.L. Melis, Geom. Carlo Macchi. Dal 18/02/2002: Ing. Paolo Ghezzi, Ing. Orazio Latina, Arch. G.L. Melis, GEA Servizi per l'Ambiente S.p.A cui è subentrata dal 1 gennaio 2002
<u>Committente:</u>	GEA Servizi per l'Ambiente S.p.A
<u>Esecuzione lavori:</u>	Completamento a Giugno 2002
<u>Importo lavori :</u>	€ 3.207.000 (Tremilioniduecentosettemila Euro)

I motivi per cui si è scelto di presentare la scheda di questo intervento, di particolare complessità sia tecnica che gestionale, sono i seguenti:

- *in esso sono ritrovabili alcuni elementi progettuali specifici inseriti nel documento tecnico, in particolare: nuova discarica, copertura innovativa, sistema di estrazione percolato di tipo pneumatico, viabilità e strutture complesse.*
- *l'intervento racchiude complessità progettuali ed esecutive che ben caratterizzano la professionalità del gruppo di lavoro che si propone ed anche il dettaglio assicurato in fase di costruzione dell'opera.*
- *Se nella scheda 1 si sono evidenziati l'approfondimento progettuale e l'attenzione per i dettagli, in questa scheda si vuole evidenziare lo scrupolo garantito nel controllo di quanto eseguito perché fosse conforme a quanto progettato.*

Descrizione dell'intervento

L'intervento è finalizzato alla bonifica e ripristino ambientale della discarica di Croce al Marmo a Pisa. L'area presentava tre corpi discarica utilizzati per vari anni per lo smaltimento di rifiuti solidi urbani (RSU) e delle scorie provenienti dal vicino impianto di incenerimento. Due aree sono state oggetto di messa in sicurezza permanente ed una di bonifica con ripristino ambientale. Dopo le operazioni preliminari di regolarizzazione dei versanti e realizzazione di nuovi pozzi per la raccolta del percolato sul corpo



principale con impianto di trattamento, è stato costruito un muro in c.a. per il sostegno dei versanti con pali profondi 6 metri è stato posato in opera un sistema di impermeabilizzazione dei versanti in parte naturale ed in parte artificiale previo rinforzo con geosintetici. Il progetto è stato completato con la chiusura sommitale della discarica, sistema di regimazione acque e rinverdimento dell'area. L'area da risanare presentava tre corpi discarica utilizzati per vari anni per lo smaltimento di rifiuti solidi urbani e delle scorie provenienti dal vicino impianto di incenerimento. La discarica contrassegnata con la lettera A, collocata a sud est rispetto all'impianto di incenerimento, era la vecchia discarica degli RSU della città di Pisa, utilizzata a questo scopo fino agli inizi degli anni 80. La discarica contrassegnata con la lettera B, collocata a sud ovest dell'impianto di incenerimento era stata, secondo le informazioni raccolte durante l'indagine, utilizzata per lo smaltimento delle scorie prodotte dall'impianto di incenerimento; la discarica C, adiacente alla B, era stata utilizzata essenzialmente per lo smaltimento di RSU.

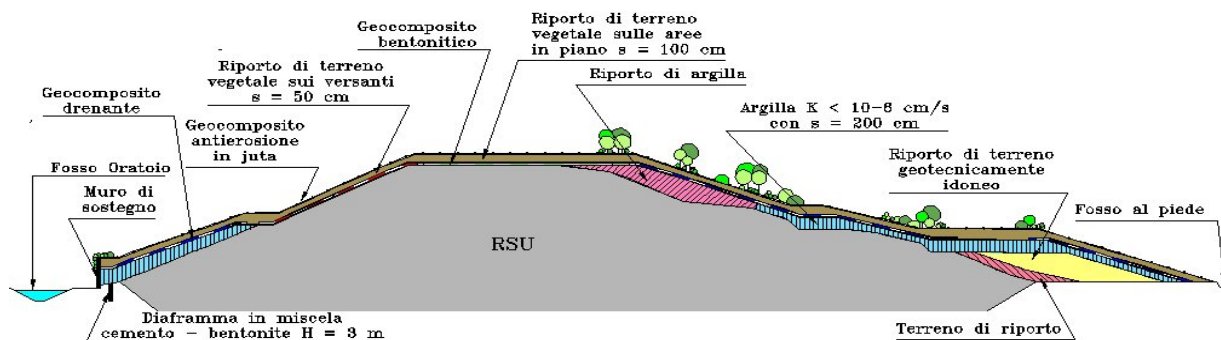
Il progetto complessivo è stato suddiviso in due fasi distinte di lavoro:

Fase 1 - costituita dalle opere preliminari che possono così riassumersi:

- Costruzione degli accessi alla discarica da Via di Granuccio
- Regolarizzazione dei versanti con riporto di terreno
- Perforazione pozzi di estrazione del percolato presente
- Piping e vasche di accumulo per il percolato
- Impermeabilizzazione provvisoria con telo in LDPE
- Costruzione di una nuova discarica di stoccaggio RSU
- Movimentazione delle scorie presenti nell'area C a ridosso dei versanti sul lato Sud della discarica da risanare.
- Estrazione e trattamento del percolato estratto
- Verifica dei cedimenti e monitoraggio della curva di esaurimento

Fase 2 - costituita dalle opere di bonifica, chiusura e reinserimento finali:

- Profilatura finale delle scarpate e della sommità della discarica
- Costruzione di un muro in c.a. per il sostegno dei versanti
- Impermeabilizzazione con geocomposito bentonitico e/o con argilla
- Rinforzo dei versanti con geocompositi
- Piping di seconda fase
- Riporto di terreno vegetale sui versanti ed in sommità
- Chiusura, recupero a verde dell' Area C, regimazione delle acque
- Impianto di irrigazione
- Recinzione definitiva ed accessi.



Il sistema di impermeabilizzazione e chiusura della discarica è stato molto articolato ed ha fatto ricorso più volte all'accoppiamento di materiali sintetici e naturali: geocompositi drenanti, bentonitici, elementi antierosione e griglie di rinforzo. Il tutto per tenere conto delle stabilità delle coperture previste e del terreno vegetale di riporto e successivo rinverdimento. Ciascuna delle due fasi ha previsto alcuni lavori da eseguire mediante stralci indipendenti affidati dall'Ente Committente mediante trattativa privata ed altri, inseriti in un unico appalto, affidati, invece, ad una ditta esecutrice individuata secondo le procedure stabilite dalla "Merloni Ter". Gli stralci indipendenti, previsti dal progetto sono:

STRALCIO 1 - Comprende le opere per l'esecuzione di 1 ponticello di attraversamento sul Fosso Oratoio; il drenaggio al piede dei versanti della discarica esistente; le opere in c.a. per le vasche di contenimento delle cisterne in vetro resina per lo stoccaggio del percolato; il riporto di terreno per la regolarizzazione dei versanti secondo i profili di progetto della FASE1; l'attraversamento stradale di Via di Granuccio di un tubo camicia.

STRALCIO 2 - Comprende la perforazione dei pozzi di estrazione del percolato e dei pozzi di monitoraggio ambientale; la predisposizione del sistema di pompaggio; la predisposizione del piping di 1^a fase; il collocamento delle cisterne in vetroresina per l'accumulo del percolato; l'esecuzione della linea elettrica.

STRALCIO 3 - Comprende la posa in opera della geomembrana in LDPE per l'impermeabilizzazione provvisoria della discarica; l'esecuzione degli ancoraggi della geomembrana e del controllo delle acque di pioggia di FASE1.

STRALCIO 4 - Estrazione del percolato e suo trattamento presso impianto autorizzato

STRALCIO 5 - Esecuzione di un pozzo d'acqua per l'alimentazione dell'impianto di irrigazione.

I riferimenti tecnici del progetto sono stati:

1. **COMMITTENTE:** GEA Servizi per l'Ambiente S.p.A cui è subentrata dal 1 gennaio 2002 GEOFOR S.p.a
2. **RESPONSABILE DELLA BONIFICA:** Ing. Saverio Sainato
3. **PROGETTO DELLE OPERE:** Ing. Paolo Ghezzi e Prof. Paolo Andreussi
4. **COORDINATORE SICUREZZA PER LA PROGETTAZIONE:** Ing. Paolo Ghezzi, iscritto all'albo degli Ingegneri della Provincia di Pisa al n° 1248 ed abilitato alla redazione dei piani di sicurezza secondo quanto prescritto dalla D.Lgs 494/96 e successive integrazioni
5. **UFFICIO DI DIREZIONE DEI LAVORI:**
Fino al 18 Febbraio 2002 – Ing. Orazio Latina (Coordinatore del gruppo di DL);
Ing. Rocco Sturchio
Ing. Paolo Ghezzi
Arch. G.L. Melis
P.I. Battiato
Geom. Carlo Macchi (Assistenza e Contabilità)

Dal 18 Febbraio 2002 – Ing. Paolo Ghezzi (Coordinatore del gruppo di DL);
Ing. Orazio Latina
Arch. G.L. Melis
Geom. Carlo Macchi (Assistenza e Contabilità)

Di seguito, si riportano alcuni elementi progettuali che hanno particolari punti di contatto con l'opera da progettare.

Come anticipato, è stato necessario costruire una nuova discarica in cui allocare i rifiuti provenienti dalla bonifica dell'area C. Di seguito alcune immagini significative della nuova discarica:



Il pozzo di raccolta ed estrazione del percolato e sistema di impermeabilizzazione

Per ripristinare la stabilità dei versanti è stata regolarizzata la pendenza mediante scavo e/o riporto di terreno dove necessario ed è stata realizzata un'opera di sostegno in c.a al piede del versante. La superficie della discarica è stata impermeabilizzata con materiali naturali (argilla) e sintetici (geocomposito bentonitico), rinforzando i versanti mediante l'utilizzo di geogriglie. E' stato posato, sopra al sistema di impermeabilizzazione, il geocomposito per il drenaggio delle acque meteoriche. La copertura della discarica è stata realizzata con terreno vegetale utilizzando un geocomposito antierosione in fibra di yuta per proteggerne la superficie e favorire l'attecchimento della vegetazione.



Le fondazioni del muro di sostegno profonde 6 metri a ridosso del versante in frana.



Foto n.1



Foto n.2



Foto n.3



Foto n.4



Foto n.5

Foto n.1 – Versante sud della discarica ricoperto con il geocomposito drenante.

Foto n.2 – Posa in opera del geocomposito bentonitico e geocomposito drenante

Foto n.3 – Geocomposito bentonitico ancorato sul gradone intermedio del versante

Foto n.4 – Geocomposito drenante a tergo muro, realizzato per il sostegno del versante.

Foto n.5 – Impermeabilizzazione con argilla della parte alta dell'area A.

Tutto il progetto è stato ricostruito con un modello 3D che ha consentito la ricostruzione di ogni fase progettuale e soprattutto la visualizzazione dell'inserimento paesaggistico finale ed in ogni fase lavorativa.



Foto n.6

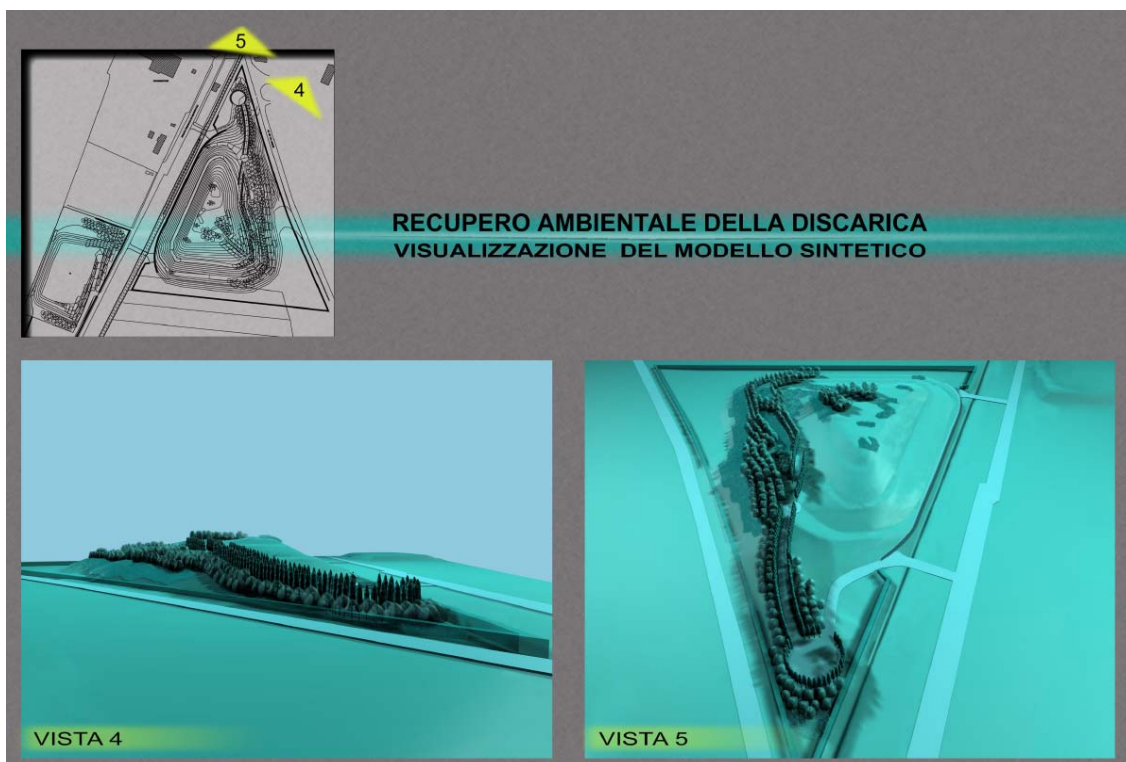


Foto n.7



Foto n.8

Nella Foto n.6 viene riportata la ricostruzione computerizzata dello stato finale del progetto, mentre nelle foto n.7 e 8 vengono riportate le viste panoramiche del versante Ovest e quello Est al termine dei lavori eseguiti e prima del rinverdimento. Di seguito la ricostruzione del modello 3D e di una delle relative vedute.



IMPIANTO ESTRAZIONE DEL PERCOLATO (tratto da relazione tecnica dello Stralcio 2 del progetto esecutivo)

L'intervento eseguito è composto da:

- Perforazione dei pozzi di estrazione del percolato sulla sommità della discarica
- Perforazione pozzi di monitoraggio ambientale
- Sistema di pompaggio per l'estrazione del percolato
- Piping di prima fase per l'allontanamento del percolato
- Vasche in vetroresina per l'accumulo del percolato e collegamenti
- Impianto elettrico

Per consentire l'estrazione e l'allontanamento del percolato, si prevede la realizzazione di:

- 9 pozzi di emungimento per l'estrazione controllata del percolato presente nel cavo A, funzionanti, anche, per la captazione del biogas ;
- 2 pozzi di emungimento per l'estrazione del percolato presente nel cavo C;
- 3 pozzi di monitoraggio (piezometri), ad integrazione di quelli già esistenti;

I pozzi per l'estrazione del percolato e la captazione del biogas saranno disposti sulle sommità dei rispettivi corpi discarica come da planimetria allegata in Tav.1/S2, mentre il percolato estratto verrà trasportato e raccolto in una sezione di stoccaggio presente nella zona antistante l'inceneritore messa a disposizione della GEA S.p.A. Il sistema di pompaggio del percolato è studiato per funzionare in due fasi successive:

Fase 1 - Si riferisce alla fase di estrazione preliminare del percolato e prevede un sistema di smaltimento predisposto in parte sulla morfologia attuale del cavo A in parte su quella modificata con i riporti di terreno del 1° stralcio.

Fase 2 - Si riferisce ad una fase di estrazione successiva, dopo l'esaurimento dei cedimenti, e prevede un nuovo allestimento delle tubazioni e del corpo pompa: i lavori di adeguamento del sistema di pompaggio alla morfologia finale, non sono compresi nel seguente stralcio esecutivo.

I pozzi presenti nel cavo C, saranno sigillati con una miscela cemento – bentonite e dotati di un pozzetto di ispezione interrato. I pozzi presenti nel Cavo A, anch'essi sigillati con una miscela cemento-bentonite, presenteranno una testa pozzo telescopica. L'installazione di un sistema di combustione del biogas sarà valutato in funzione delle caratteristiche chimico-fisiche e di portata risultanti dalle analisi effettuate sul biogas in uscita dai pozzi.

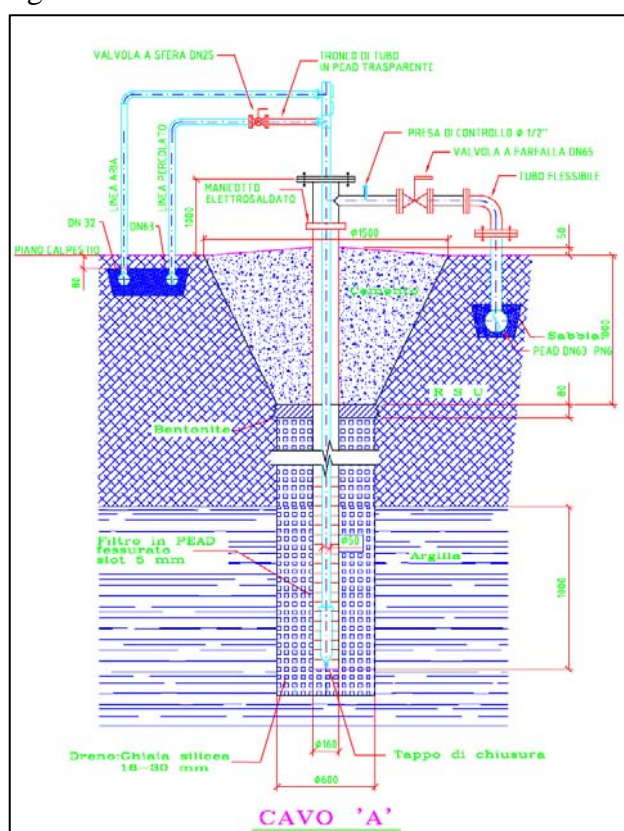


I lavori sono stati completati con l'esecuzione dell'impianto elettrico a supporto sia del compressore di alimentazione della rete ad aria compressa sia delle varie pompe elettriche previste nel progetto sia per le automazioni del cancello di ingresso.

COSTRUZIONE DEI POZZI DI DRENAGGIO E CAPTAZIONE DEL PERCOLATO E BIOGAS

La profondità varierà tra un minimo di 7 metri per i pozzi effettuati nel Cavo C ed un massimo di 25 metri raggiunto nei pozzi perforati sul cumulo della discarica Cavo A. In ogni caso dovrà essere prevista una quota di fondo pozzo inferiore di almeno 1 metro rispetto alla linea di contatto rifiuti – argilla.

Si riporta uno schema costruttivo dei pozzi di estrazione del percolato e di captazione del biogas.



La perforazione dei pozzi sarà eseguita a rotazione con diametro 600 mm. La profondità dei pozzi sarà tale da raggiungere per un metro lo strato argilloso che giace al di sotto dei rifiuti. A fondo foro sarà posto uno strato di ghiaietto in modo tale da facilitare la captazione del percolato.

Si installerà una tubazione in HDPE fino a fondo foro con DN 160 e diametro interno non inferiore a 145 mm (PN6). Il rivestimento (filtro) sarà fessurato nel tratto compreso tra il fondo foro e -1m dal boccapozzo, e cieco nel restante tratto. Il pozzo dovrà risultare verticale e coassiale con la colonna di trivellazione con una deviazione massima di 5mm per metro.

Il filtro avrà fessurazioni ortogonali all'asse pari a 5 mm. Inoltre dovrà riportare il marchio di qualità, le caratteristiche UNI, il tipo di materia prima utilizzata, il diametro nominale e la classe di appartenenza. Nella corona cilindrica compresa tra il rivestimento ed il terreno e a fondo foro, per uno spessore di 15 cm, sarà posto il dreno costituito da pietrisco lavato, siliceo (non calcareo), arrotondato e calibrato con dimensioni comprese tra 16 e 30 mm. Lo spazio anulare sovrastante il dreno verrà sigillato tramite una miscela cemento-bentonite. L'estremità superiore della tubazione sarà chiusa dall'apposita testa pozzo.

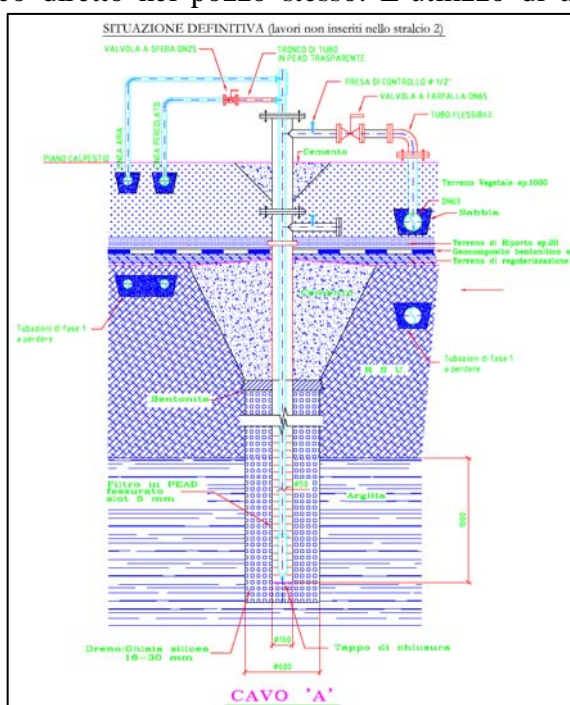
Il manto drenante sarà posto in modo tale che sia fatto assestare perfettamente con una metodologia che consenta la formazione di uno strato uniforme su tutta la lunghezza del dreno, evitando la formazione di ponti che pongano il rivestimento a diretto contatto con il suolo.

Fina dalla fase di progetto è stato previsto un completamento dei pozzi di tipologia differente in funzione dell'area di ubicazione:

Completamento Cavo A:

Alla sonda di captazione verrà saldata la testa pozzo telescopica. Essa ha lo scopo di raccogliere il biogas e convogliarlo nella rete di trasporto permettendo la condensazione del vapore contenuto nel biogas con scarico diretto nel pozzo stesso. L'utilizzo di una valvola a farfalla permetterà la regolazione manuale della portata di biogas. Le caratteristiche costruttive della testa di sonda dovranno rispettare i seguenti requisiti:

- La costruzione dovrà essere interamente in HDPE con lunghezza della parte di contenimento della sonda drenante non inferiore a 1 m.
- La flangia di chiusura superiore in HDPE DN 160 sarà collegata alla flangia dell'eiettore di estrazione del percolato, e la bulloneria sarà in acciaio inossidabile o zincato.
- Sulla diramazione della tubazione del biogas dovranno essere installati, una presa di controllo con valvola in PVC DN 1/2" e tappo di sicurezza, valvola di regolazione a farfalla DN 65 con corpo in ghisa rivestita da vernice epossidica, farfalla e steli di regolazione in AISI 316. Alla presa di controllo potrà essere collegato uno strumento manuale con il quale misurare le caratteristiche chimico-fisiche del biogas:



- % di Anidride Carbonica;
- % di metano;
- Depressione;

Completamento Cavo C:

Al filtro verrà saldato o avvitato un tappo a tenuta stagna in HDPE predisposto per l'attacco della tubazione di trasporto del percolato e con i fori necessari al passaggio dei

cavi elettrici e delle sonde di livello. La tubazione del percolato sarà in HDPE DN63, PN10 e sarà provvista di valvola di intercettazione a sfera con corpo in acciaio zincato e sfera in AISI316 e di un manometro.

SISTEMA DI POMPAGGIO CAVO A

Ognuno dei 9 pozzi sarà equipaggiato di un eiettore ad **azionamento pneumatico**, alimentato da una linea di aria compressa prodotta da un gruppo di compressione installato nella zona stoccaggio.

Le pompe sono costituite da un corpo eiettore interamente in acciaio inossidabile AISI 304 con tenute in PTFE caricate con grafite, e valvola di fondo in AISI 316. Il motore è costituito da un cilindro speciale con testata e stelo in AISI 316 con tenute a basso attrito in PTFE caricato con grafite e raschia stelo in AISI 316.



Le prestazioni sono dipendenti dalla regolazione della pressione di alimentazione e dal numero delle battute impostate, comunque possono essere così riassunte:

- Alimentazione: Aria compressa filtrata e secca
- Pressione minima aria: 2.5 bar
- Pressione massima aria: 8 bar
- Temperatura di funzionamento: -15 / +50 °C
- Portata massima di liquido: 1000 lt/hr
- Prevalenza massima: 60 m.c.l.

Le pompe saranno collegate alla testa di pozzo mediante flangia in alluminio DN160, e collegate alle tubazioni in HDPE DN 32, PN10 mediante attacco filettato in spessore o saldatura di testa. Si dovrà prevedere l'installazione di una valvola a sfera DN35 con corpo in acciaio zincato e sfera in AISI316 per l'intercettazione della linea di mandata.

L'azionamento degli eiettori è effettuato tramite l'aria compressa prodotta da un elettrocompressore con le seguenti caratteristiche:

- Pressione di esercizio: 7 bar
- Resa d'aria effettiva: 5 m3/hr
- Potenza assorbita: 30 KW

Sulla linea di mandata del compressore dovranno essere previsti un filtro con grado di filtrazione di 1µm, un serbatoio di accumulo di capacità pari a 850 litri, un essiccatore ed un filtro con grado di filtrazione paria 0.1µm.



SISTEMA DI POMPAGGIO CAVO C

I 2 pozzi saranno equipaggiati con pompa elettrica sommersa dotata di valvola di ritegno; visto che il liquido da estrarre è percolato di discarica e data la sua capacità corrosiva, dovranno essere utilizzate pompe costruite interamente in acciaio inossidabile AISI316 o superiori. Le pompe saranno collegate alla superficie con una tubazione in HDPE DN63. Le giunzioni dei vari spezzoni dovranno essere del tipo filettato in spessore o mediante saldatura di testa.

A boccapozzo le condutture dovranno essere dotate di una valvola di regolazione a sfera in acciaio inossidabile AISI 316 con diametro nominale 65mm e di un manometro.

All'interno di ciascun pozzo dovrà essere installato un sensore a tre sonde di livello posizionato ad una profondità tale da garantire che la pompa risulti sempre sottobattente. L'installazione dovrà essere possibile in pozzi di diametro pari a 6 pollici.

STOCCAGGIO

Le tubazioni in uscita dai pozzi verranno convogliate in un unico collettore in HDPE da DN 63 PN 10 per il cavo C e da DN 75 PN 10 per il Cavo A, i quali andranno ad alimentare i due serbatoi cilindrici orizzontali in vetroresina, di volume ciascuno pari a 50 m³. Le tubazioni dovranno essere adagiate sui versanti già rimodellati secondo i profili di Fase 1 (Stralcio 1). I due serbatoi saranno posizionati su selle poggianti su di una platea in cemento armato.

Sono previsti muretti di contenimento in modo tale che il volume della vasca risulti pari a circa 68 m³, ovvero superiore al volume di un serbatoio come prevede la delibera del Comitato Interministeriale per i Rifiuti del 27/07/1984.

I due serbatoi saranno provvisti di un controllo automatico del livello che agirà, nel caso di raggiungimento del livello massimo, sull'alimentazione elettrica delle pompe e del compressore. Il sensore di livello è costituito da un interruttore elettromeccanico con galleggiante in propilene, stagno all'immersione, con chiusura multipla sul passacavo e dal cavo in PVC. Inoltre un indicatore permetterà, per ciascun serbatoio, di verificare in campo il rispettivo livello.

Il sistema è stato completato con un impianto elettrico che dovrà alimentare le utenze necessarie all'estrazione del percolato, all'irrigazione ed all'automazione del cancello automatico preposto all'accesso in discarica. In particolare:

- n. 2 pompe sommerse per l'estrazione del percolato dal Cavo C
- n. 2 pompe per l'estrazione di percolato da pozzi di drenaggio
- n. 1 pompa per l'irrigazione delle discariche Cavo A e Cavo B (non oggetto di questo appalto)
- n. 1 compressore necessario all'azionamento degli eiettori pneumatici
- Quadri elettrici

PROVE PREVISTE DAL CAPITOLATO DI PROGETTO ED ESEGUITE IN CORSO D'OPERA

Il capitolato Speciale di appalto prevedeva diverse tipologie di prova per il controllo delle opere eseguite. In particolare è possibile suddividere le prove nelle seguenti classi:

1. Prove sulle opere in cemento armato
2. Prove sul terreno di riporto
3. Prove sull'argilla di impermeabilizzazione
4. Prove sui geosintetici
5. Prove sulle strutture in terra rinforzata



PROVE SULLE OPERE IN CEMENTO ARMATO

Le prove previste ed eseguite in corso d'opera sul cemento armato sono state dettagliate in una apposita relazione a strutture ultimate redatta per ogni manufatto. Di seguito si riporta uno stralcio delle prove più significative eseguite.

Ponticello Fosso Oratoio Lato Nord: (Rel. Aprile 2002-All. 13-14-15)

- 3 provini per getto di platea di fondazione
- 3 provini per le spalle del ponticello
- 1 provino per il piano di calpestio
- 3 prove a trazione delle tipologie di barre utilizzate
- Pratica al genio Civile

Ponticello Fosso Oratoio Lato Sud: (Rel. Aprile 2002-All. 20 e 23)

- 3 provini per getto di platea di fondazione
- 3 provini per le spalle del ponticello
- 3 prove a trazione delle tipologie di barre utilizzate
- Pratica al genio Civile

Muro lato sud Area A: (Rel. Aprile 2002-All. 21 e 22)



Tutte le prove sui calcestruzzi e sui ferri sono state eseguite e riportate nella relazione a strutture ultimate.

Muro lato Est Area B: (Rel. Aprile 2002-All. 20 e 22)

Tutte le prove sui calcestruzzi e sui ferri sono state eseguite e riportate nella relazione a strutture ultimate che non è disponibile perché consegnata direttamente in originale dal Collaudatore al Genio Civile.

Muro lato Ovest Area A: (Rel. Aprile 2002-All. 20 e 24)

- 12 provini sui pali di fondazione
- 4 provini sul cordolo di fondazione
- 8 provini sulla struttura in elevazione
- 9 prove a trazione per i ferri di armatura
- Pratica al genio Civile

PROVE SUL TERRENO DI RIPORTO

Il capitolato prevedeva per il riporto di terreno geotecnicamente idoneo prove da eseguire ogni 100 cm ed in numero minimo di 5 per ogni lato di intervento. I lati Ovest e Sud non sono stati oggetto di riporti di terreno per cui le prove sono state eseguite solo sui versanti Nord ed Est.



In corso d'opera, viste le frequenti modifiche morfologiche dovute ad esigenze geotecniche, sono stati variati gli spessori di terreno riportato e di conseguenza le prove in situ sono state di volta in volta concordate dall'Ufficio di Direzione Lavori per assicurare una adeguata copertura del controllo pur se in parziale difformità dalle quantità previste dal capitolato.

In totale, le prove di densità ed umidità eseguite per il controllo della posa in opera dei terreni sono state 56 sul lato Est e 26 sul lato Nord. Negli allegati 25, 27 sono riportate le planimetrie di ubicazione dei punti di prova ed i relativi certificati del laboratorio incaricato (CSA ed ICNOGEO).

PROVE SULL'ARGILLA DI IMPERMEABILIZZAZIONE

Il capitolato prevedeva prove di diversa natura (in laboratorio o in situ) da eseguire sull'argilla di impermeabilizzazione della nuova vasca lato Sud dell'area A e per il capping con materiale minerale. Le prove sono risultate tutte positive.

Nuova vasca lato sud – erano previste 8 prove Boutwell in situ sul fondo vasca, 8 prove di densità ed umidità ed 8 prove di permeabilità in cella triassiale. Le prove erano previste sul fondo in quanto le pareti erano già ipotizzate in argilla fase progettuale. Avendo ravvisato la necessità di una verifica anche delle sponde impermeabilizzate con riporto di argilla, le prove sono state eseguite secondo le seguenti quantità: 8 prove di Boutwell sul fondo vasca, 4 prove di permeabilità in cella triassiale e 4 prove di densità in situ; sono



state inoltre eseguite sulle scarpate 3 prove Boutwell ed 8 prove di densità ed umidità. La qualità e l'integrità dell'argilla sono state oggetto di una apposita analisi.

Capping – erano previste 10 controlli di permeabilità in laboratorio da eseguirsi su diversi spessori dell'impermeabilizzazione (40 cm e 100 cm). In accordo con l'Amministrazione provinciale si è deciso di procedere a prove in situ di tipo Boutwell o di tipo "pozzetto". Inoltre è stato deciso, per saggiare un numero più elevato di punti, di procedere ad una verifica con controllo dell'umidità e densità su 21 punti caratteristici. In totale sono quindi state eseguite 6 prove Boutwell sul lato Est, 2 prove Boutwell sul lato Ovest, 2 prove in cella triassiale sul lato Sud.



PROVE SUI GEOSINTETICI

L'Impresa ha utilizzato materiali di marca nota e di risaputa qualità. Tutte le Imprese che hanno fornito geosintetici dispongono di certificazione di qualità. E' stato quindi necessario un solo campione per ogni materiale utilizzato. I materiali utilizzati con le relative ditte produttrici sono:

- Geocomposito drenante per acque meteoriche (SEIC)
- Geocomposito drenante per percolato (SEIC)
- Membrana in HDPE ruvida (Michelangeli)
- Geocomposito antipunzonamento (SEIC)
- Geocomposito bentonitico sui versanti (SEIC)
- Geocomposito bentonitico in sommità (LAVIOSA)
- Antierosione in fibra di cocco (SEIC)
- Antierosione in fibra di juta (SEIC)
- Geogriglia di rinforzo (SEIC)
- Geodete antierosione (SIEC)
- Geogriglia per muro rinforzato (HUESKER)



La Direzione Lavori, che ben conosceva le ditte produttrici e la qualità del materiale, ha acconsentito alla posa dei geocompositi dopo aver prelevato in contraddittorio i campioni pur in attesa dei risultati di laboratorio, delle certificazioni di qualità e dell'altra documentazione formale prevista dal capitolato.

I certificati relativi ad alcuni materiali posati in opera hanno mostrato valori a volte inferiori alle prescrizioni di capitolato pur con riferimento a specifiche caratteristiche di supporto a quelle

principali per cui il geocomposito doveva funzionare (per esempio il geocomposito drenante pur avendo una capacità di drenaggio in linea con le richieste mostra un valore di resistenza a trazione dei tessuti leggermente inferiore). La qualità dei materiali posati è indubbia essendo prodotti da ditte di primaria importanza a livello internazionale. Nel complesso le certificazioni di qualità prodotte ed i risultati di laboratorio disponibili fanno ritenere i materiali posati in opera adeguati allo scopo.



La documentazione prodotta è stata la seguente:

- Certificazione di qualità della ditta GSE per guaina in HDPE
- Dichiarazione di conformità della ditta GSE
- Mappatura di ubicazione dei teli della guaina in HDPE
- Verbali di verifica delle saldature a doppia pista su guaina in HDPE
- Certificazione di qualità della ditta Laviosa
- Certificazione di qualità della ditta HUESKER per geogriglia muro
- Certificazione di qualità della ditta SEIC
- Certificato del laboratorio Enel Hydro di Milano per Geogriglia FortraC 35/20 – 20
- Certificato del laboratorio Enel Hydro di Milano per Georete Enkamat 7010
- Certificato di Enel Hydro per Geocomposito drenante Enkadrain E8H/5-25 D 110 P
- Certificato del laboratorio Enel Hydro di Milano per Geocomposito HATE B 800
- Certificato del laboratorio Enel Hydro di Milano per Geomembrana HDPE 2.5 mm
- Certificato del laboratorio Enel Hydro di Milano per Geomembrana HDPE 2.0 mm
- Certificato del laboratorio Enel Hydro di Milano per Geostuoia in fibra di juta
- Certificato del laboratorio Enel Hydro di Milano per Geostuoia in fibra di cocco (Coconet CL4)
- Certificato di Enel Hydro di Milano per Geotessile di filtrazione per ghiaia C 00.520
- Certificati del laboratorio Enel Hydro di Milano per Geocomposito bentonitici Geobent Hi-Tec (4 campioni)

PROVE SUL MURO IN TERRA RINFORZATA



Il capitolato prevedeva l'esecuzione di una prova su piastra ogni 50 metri di muro e prove di densità ed umidità ogni 2 strati ed ogni 50 metri di muro. Sono state eseguite 2 prove su piastra e 3 prove di densità ed umidità. Le prove su piastra, che forniscono i dati di maggiore interesse, hanno dato valori nettamente superiori a quelli attesi (100 Kg/cm^2). Le prove di densità ed umidità hanno dato valori superiori ai limiti richiesti dal capitolato pur evidenziando valori di costipazione anomali e troppo elevati ($> 120\%$).



DIAFRAMMA PERIMETRALE IN CEMENTO E BENTONITE

Come da richiesta di capitolato, sono state caratterizzate 3 miscele scegliendone la migliore che presentava permeabilità $K=9.15 \cdot 10^{-8}$ cm/s.

Per avere una miscela meno flocculata possibile e quindi molto stabile la Direzione lavori ha accettato di modificare il range di variazione della viscosità Marsh della bentonite da 35-55 secondi a 30-35 secondi. Per le prove di laboratorio da eseguire per il collaudo finale è stato deciso che le prove sui provini (5 ogni 120 mc di miscela posata) a 28 e 60 giorni di maturazione sarebbero state eseguite dal laboratorio Laviosa di Livorno mentre a 90 giorni da altro laboratorio certificato.



Il diaframma è stato eseguito nel periodo tra il 22/6/2001 ed il 13/9/2001. Durante tutta la fase esecutiva l'Impresa ha controllato il peso specifico della miscela, la viscosità e la decantazione sia della miscela che della bentonite; in totale sono disponibili 30 prove.

I valori di permeabilità raggiunti nelle 10 prove sono tutti soddisfacenti ed indicano permeabilità sempre inferiori ad $1 \cdot 10^{-7}$ cm/s contro valori attesi di $1 \cdot 10^{-6}$ cm/s. Tutti i certificati di prova, il tracciato planimetrico del diaframma, i verbali e le lettere di sollecito sono stati consegnati alla Stazione Appaltante.

Il sottoscritto Dottor Giuseppe Ghezzi, nato a Monza (MI) il 05/12/1930 in qualità di Amministratore Unico della società GETAS-PETROGEO s.r.l.- e

il sottoscritto Ingegnere Paolo Ghezzi, nato a Piacenza (PC) il 12/11/1963 in qualità di ingegnere senior della società GETAS-PETROGEO s.r.l.

Dichiarano

che la scheda di sintesi di cui sopra è relativa a progetto redatto in esecuzione di incarico di progettazione effettivamente affidato, ed è stato approvato dall'Ente Competente.

Ing. Paolo Ghezzi

Dott. Giuseppe Ghezzi

Pisa, 14 settembre 2009