



REGIONE SICILIANA

COMUNE TRAPANI (TP)

PIATTAFORMA TECNOLOGICA PER IL TRATTAMENTO E LA VALORIZZAZIONE
DEI R.S.U. SITA IN C\DA BORRANEA NEL COMUNE DI TRAPANI

LOTTO 1: IMPIANTO DI DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI

CUP: G95I18000160001

PERIZIA DI VARIANTE *in corso d'opera*

L'ufficio della Direzione dei Lavori:

Direttore dei lavori: Arch. Vincenza Di Marco

CSE e Direttore Operativo: Arch. Giacomo Lombardo

Direttore Operativo: Ing. Alessandro Amico

Direttore Operativo: Geol. Gian Vito Graziano

Il Responsabile Unico del Procedimento:

Arch. Pasquale Musso

L'Impresa:

CONPAT SCARL:

Il Procuratore Speciale: Sig. Mario Spina



N. ELABORATO:

11

TITOLO ELABORATO:

O.E.V. - CRITERIO 2 - RELAZIONE ED ALLEGATI

CODICE ELABORATO:

12 PVT1 PV 01 PI 000011 A

n. progressivo

lavoro

fase

lotto

tipo documento

numero elaborato

REV

SCALA:

A

prima emissione

Dicembre 2023

B

C

D

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO



CRITERIO 2

Implementazione dei controlli geotecnici per le verifiche di stabilità dei fronti scavo e degli argini in terre armate e della stabilità globale della discarica - Implementazione e ottimizzazione del sistema di monitoraggio e controllo del fondo vasca

SUBCRITERIO 2.1

Implementazione dei controlli geotecnici per le verifiche di stabilità dei fronti scavo e degli argini in terre armate e della stabilità globale della discarica

I controlli geotecnici degli argini ai fini della tenuta e della stabilità previsti in progetto consistono nell'installazione di 3 tubi inclinometrici sul rilevato di valle di profondità comprese tra gli 11 e i 18 m e di cinque piezometri del tipo "Casagrande" profondi 20 m (2 celle alla profondità di 10 m e 20 m), dei quali tre sul paramento di valle e due su ciascuna strada laterale.

Con riferimento alle letture inclinometriche il "piano di sorveglianza e controllo", prevede una cadenza di misurazione semestrale, mentre è prevista una lettura mensile per il livello di falda riscontrabile nei piezometri. Lo stesso piano prescrive la misurazione topografica attraverso l'installazione di una stazione celerimetrica e di paletti in acciaio zincato all'interno della discarica e di almeno un caposaldo esterno all'area di intervento al fine di verificare eventuali cedimenti dei rilevati da attenzionare eventualmente con livellazioni topografiche. Con riferimento agli apparati di misurazione topografica l'appalto non prevede alcuna fornitura e messa in opera.

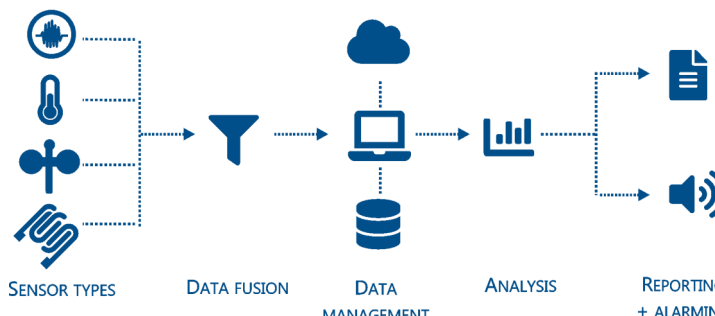
Il progetto prevede prove di accettazione dei materiali provenienti dagli scavi e dalle cave di prestito di tipo standard e prove specifiche sui materiali trattati per la realizzazione dei rilevati in terra rinforzata.

Si ritiene che le previsioni progettuali, benché valide, siano molto limitate in rapporto all'importanza e alla complessità dell'opera. Il controllo previsto in progetto è limitato ad un numero minimo di punti indagati posizionati sull'argine di valle e con intervallo di misurazione molto rado.

La scrivente propone di integrare quanto previsto in progetto come di seguito esposto:

Progetto	Proposta Migliorativa
Ante Operam	
Campo prova su materiale proveniente dagli scavi stabilizzato a cemento ed eventualmente a calce. La stesa avverrà in lotti di 2,5 m x 2,5 m per 25 cm di spessore. Per la verifica dei parametri di accettabilità post-trattamento sono previste prove di taglio diretto, prove ad espansione laterale libera e prove edometriche.	Campo prova su materiale proveniente dagli scavi <u>stabilizzato a calce</u> , con la collaborazione Laboratorio di Geotecnica della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Palermo. La stesa avverrà in lotti di 10,0 m x 10,0 m per 75 cm di spessore (3 strati di materiale trattato). Per la verifica dei parametri di accettabilità post-trattamento si propone la esecuzione di prove triassiali consolidate non drenate, prove di compressione triassiale non consolidate e non drenate e prove edometriche su campioni prelevati dopo 7, 14, 28 gg dalla messa in opera.  Università degli Studi di Palermo



Progetto	Proposta Migliorativa
Fase realizzativa	
Prescrizioni sulla esecuzione e l'accettazione dei materiali trattati in corso d'opera: - verifica parametri fisici; - determinazione dei parametri di resistenza al taglio mediante prove di taglio diretto e prove ELL;	Prescrizioni sulla esecuzione e l'accettazione dei materiali trattati con calce in corso d'opera: - verifica parametri fisici; - determinazione dei parametri di resistenza mediante prove triassiali consolidate non drenate, prove di compressione triassiale non consolidate e non drenate e prove edometriche su campioni sottoposti a prova dopo 7 e 28 gg dalla messa in opera
	Installazione di Stazione totale laser motorizzata fissa con controllo robotico e di n.20 mire (miniprisma). Le mire saranno distribuite sui fronti di scavo e sui rilevati con lo scopo di rilevare in maniera automatizzata eventuali spostamenti già in corso di realizzazione.
Post Operam	
	Implementazione di un sistema SHM (Structural Health Monitoring) per la raccolta dei dati e il monitoraggio in continuo delle misure piezometriche, inclinometriche e topografiche. 
Controllo della stabilità del paramento di valle mediante la installazione di 3 inclinometri (profondità compresa tra 11 e 15 m). Letture semestrali.	Installazione di 5 tubi inclinometrici, profondi 20 m , attrezzati con sonde inclinometriche fisse. Tre inclinometri saranno installati sul paramento di valle e due inclinometri a monte in prossimità dei fronti di scavo più alti. Letture in continuo attraverso il sistema di SHM.
Installazione di 5 piezometri profondi 20 m con 2 celle di misura a 10 e 20 m. Letture mensili	Installazione di 7 piezometri profondi 20 m con Celle Casa-grande modificate (che consentono l'installazione di trasduttori di pressione), a 10 m e 20 m di profondità. I due piezometri aggiuntivi saranno posizionati a monte in prossimità dei fronti di scavo. Letture in continuo attraverso il sistema di SHM.
Misurazioni topografiche. Apprestamenti non previsti in appalto.	Installazione di Stazione totale laser motorizzata fissa con controllo robotico per la misurazione di eventuali spostamenti del rilevato di valle, dei fronti di scavo e dell'intero corpo della discarica in fase di riempimento ed a riempimento eseguito. Letture in continuo attraverso il sistema di SHM.

Il concorrente:

Le imprese indicate:

Struttura di supporto per la redazione dell'offerta tecnica:





SUBCRITERIO 2.2

Implementazione ed ottimizzazione del sistema di monitoraggio e controllo del fondo vasca

Al fine di riscontrare le osservazioni formulate nel Rapporto di verifica intermedio del 10/10/2020 redatto dal Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei rifiuti, si è previsto di dotare l'impianto di un sistema di monitoraggio della tenuta del telo di fondo da installare nelle tre vasche di nuova realizzazione. L'apparato di monitoraggio proposto dal progetto sfrutta un principio di funzionamento che consiste nell'introdurre corrente elettrica nei terreni soprastanti la geomembrana tramite elettrodi superficiali collegati ad un generatore di corrente. In caso di lacerazione del telo, si registrerà un passaggio di corrente elettrica che sarà registrato dagli elettrodi precedentemente installati al di sotto della barriera fisica costituita dalla geomembrana. Più in dettaglio si è scelto di posizionare novanta elettrodi in acciaio inox al di sotto della membrana impermeabile, secondo una maglia di disposizione di circa 20,0 m x 20,0 m, e di nove elettrodi di energizzazione di medesime caratteristiche al di sopra della stessa geomembrana. Ogni elettrodo sarà cablato attraverso un cavo unipolare di 1 mm rivestito in HDPE e di lunghezza adeguata fino a raggiungere attraverso un collettore che segue longitudinalmente l'intera discarica, fino a giungere al locale dove è ubicata la centralina. Similmente anche i nove elettrodi sistemati superiormente saranno collegati alla centralina attraverso cavi unipolare di 1 mm protetti da HDPE. Ogni elettrodo dovrà essere posizionato topograficamente. In caso di danneggiamento della barriera impermeabile il georesistivimetro che effettuerà le misure di controllo individuerà la posizione del sensore che ha constatato il passaggio di corrente elettrica dovuto all'eventuale perdita.

Il concorrente propone di migliorare il sistema già previsto in progetto attraverso la predisposizione di accorgimenti e apprestamenti aggiuntivi che consentano di rendere più duraturo e accurato il sistema di monitoraggio.

Progetto	Proposta Migliorativa
Monitoraggio geoelettrico con 90 elettrodi sistemati al di sotto della guaina impermeabile e 9 elettrodi sistemati al di sopra della guaina impermeabile. E' previsto che le misure (quella di zero e le successive) vengano effettuate dall'ente gestore con strumentazione e personale propri.	Monitoraggio geoelettrico mediante l'installazione di 96 elettrodi al di sotto della guaina impermeabile e 24 elettrodi al di sopra della guaina impermeabilizzante. È previsto l'utilizzo di elettrodi di forma circolare più efficienti di quelli previsti in progetto.
	Il cablaggio di ogni singolo elettrodo avverrà con cavi unifilari come previsti in progetto. Il percorso dei singoli cavi verrà ottimizzato in maniera che ogni gruppo di cavi unifilari lungo la stessa linea della vasca, convergano in un pozzetto sistemato su un lato dell'argine. L'eventuale danneggiamento di un cavo o di una serie di cavi lungo il loro percorso, interromperà il funzionamento di una sola porzione del complesso di monitoraggio, a differenza di quanto proposto in progetto, dove l'eventuale rottura del collettore di raccolta dei cavi, metterebbe a repentaglio la funzionalità dell'intero sistema. I cavi dei singoli elettrodi convergeranno ad un armadio opportunamente posizionato sull'argine. I cavi termineranno in connettori militari compatibili al georesistivimetro multicanale portatile. In questo modo il collegamento al georesistivimetro sarà più agevole, sicuro e rapido rispetto ai connettori a banana previsti in progetto

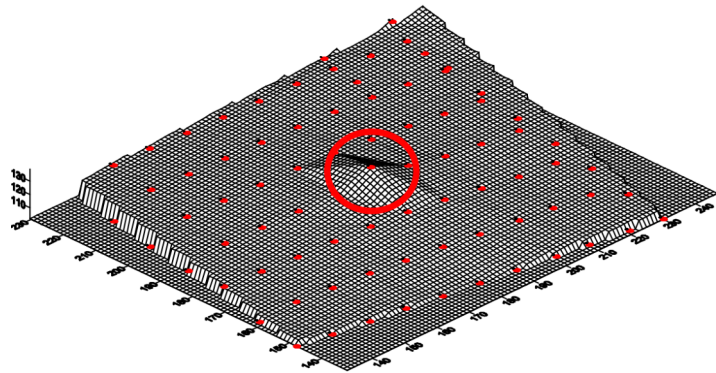
Il concorrente:

Le imprese indicate:

Struttura di supporto per la redazione dell'offerta tecnica:





Progetto	Proposta Migliorativa
	I cavi dei singoli elettrodi convergono ad un armadio opportunamente posizionato e alimentato dove sono predisposti connettori adattabili al georesistivimetro multicanale portatile
	Le più accurate misurazione, determinate dal maggior numero di elettrodi energizzanti al di sopra della guaina, e dal georesistivimetro multicanale, consentiranno di ricostruire un modello tridimensionale della resistività del fondo della discarica, con un grado di dettaglio elevato che consentirà di individuare in maniera precisa l'eventuale perdita del sistema di impermeabilizzazione, più dettagliatamente di quanto previsto in progetto 
	Il concorrente propone di realizzare le misurazioni di zero e ulteriori letture dei dati con l'intervento di un geologo specializzato in geofisica dotato di georesistivimetro multicanale e idonea attrezzatura. Più in dettaglio, oltre la lettura di zero, si prevede l'esecuzione a cura del concorrente di ulteriori misurazioni con cadenza quadrimestrale per i primi 24 mesi di esercizio della discarica. Durante questo periodo sarà realizzata la idonea formazione di personale individuato dal gestore e dotato di attrezzatura idonea 



Implementazione dei controlli geotecnici per le verifiche di stabilità dei fronti scavo e degli argini in terre armate e della stabilità globale della discarica

L'impresa propone di integrare i controlli geotecnici per le verifiche di stabilità dei fronti di scavo, degli argini e della stabilità globale. I controlli sono stati suddivisi in tre fasi operative:

- Ante operam
- Fase realizzativa
- Post operam

In fase **Ante Operam** i controlli previsti in progetto sono demandati alla realizzazione di un campo prova. Il campo prova previsto in progetto risulta poco rappresentativo poiché troppo piccolo e interessa un solo strato di terreno. La scrivente propone di realizzare un campo prova più rappresentativo con più strati e integrare le prove su tale campo anche con l'assistenza, **già concordata**, del laboratorio di geotecnica della facoltà di Ingegneria **dell'Università di Palermo**. Inoltre, si sostituirà la stabilizzazione con cemento con stabilizzazione a calce.



I terreni di scavo che si dovranno trattare per la realizzazione dei rilevati in terra armata sono prevalentemente di natura argillosa. Dalla letteratura scientifica, risulta ampiamente consolidato che, in questi casi, il **trattamento con calce viva è estremamente più efficace rispetto al trattamento a cemento**. Difatti, è ben noto che il trattamento con calce induce reazioni chimiche su due scale temporali diverse (breve e lungo termine). In una prima fase, si verifica una rapida alterazione delle proprietà fisico-chimiche dell'argilla per effetto dello scambio degli ioni calcio Ca^{2+} con i cationi dei minerali argillosi, un consumo di acqua per effetto della reazione di idratazione della calce e un forte aumento del pH. Tali processi producono nel breve termine (poche ore) una riduzione del contenuto d'acqua e della plasticità dell'argilla e un incremento della lavorabilità e della compattabilità della miscela terra-calce. Seguono, differite nel lungo termine (da poche settimane fino ad alcuni mesi), le reazioni pozzolaniche che, in seguito alla dissoluzione nell'ambiente fortemente basico degli ossidi costituenti l'argilla (silice SiO_2 e allumina Al_2O_3) danno luogo a silicati ed alluminati di calcio idrati, che sono prodotti estremamente stabili capaci di creare saldi legami di cementazione tra gli aggregati argillosi. Tali prodotti pozzolanici producono un incremento di resistenza significativamente più marcato rispetto a quello che si otterrebbe con il trattamento a cemento e in un tempo decisamente inferiore. In questo maniera si può ritenere incrementata la stabilità degli argini in terra e della stabilità globale della scarica.

Inoltre, indicando preliminarmente alle operazioni di campo il **trattamento con calce come unica tecnica adottabile** (e non, come indicato in progetto, come ultima opzione solamente dopo il trattamento con cemento, l'incremento del contenuto d'acqua, l'aggiunta di sabbia e ghiaia) e fornendo già delle indicazioni importanti sulle variabili di trattamento (contenuto di calce pari a 2%, 4% e 6%, compattazione Proctor Standard alle condizioni di ottimo preliminarmente ricavate in laboratorio, dimensione massima degli aggregati di argilla dopo la fresatura pari a 31.5 mm e passante allo staccio 4.76 mm maggiore del 60%, pH del terreno dopo il trattamento > 12.4) si ottimizzeranno gli studi di formulazione specifici, si aumenterà la significatività del campo prove e si avrà la possibilità di prelevare e sottoporre a prove geotecniche un numero maggiore di campioni indisturbati. Per aumentare ulteriormente la confidenza con le caratteristiche meccaniche dell'argilla post-trattamento, sui campioni prelevati dal campo sperimentale si eseguiranno, oltre alle prove meccaniche già previste, delle prove triassiali consolidate non drenate e non consolidate non drenate dopo 7, 14 e 28 gg dal trattamento. Tali prove sono preferibili alle prove di taglio diretto poiché queste ultime possono sovrastimare la resistenza a taglio, a causa della imposizione della superficie di rottura. In questa maniera si fornirà un ulteriore contributo sui controlli geotecnici ai fini della stabilità degli argini in terra e della stabilità globale della discarica.

In fase **Post Operam** si propone l'implementazione di un sistema di monitoraggio del tipo "Structural Health Monitoring" (SHM). Il sistema analizza i dati da una serie di sensori, opportunamente distribuiti, e restituisce **"lo stato di salute"** dell'opera nonché segnala, grazie al **monitoraggio H24**, e localizza, le condizioni che possono portare a un danno. L'installazione dei sensori è appositamente studiata in maniera tale da non essere invasiva nei confronti del comportamento globale dell'opera. Il concorrente si impegna a fornire al gestore il sistema SHM per la discarica, implementando quanto previsto in sede di offerta per il controllo geotecnico delle terre armate, dei fronti di scavo e della stabilità globale dell'intera struttura.

Il monitoraggio delle condizioni di salute dell'opera avverrà attraverso l'analisi dei dati forniti da:

- **n.5 tubi inclinometrici** attrezzati con sonde inclinometriche fisse (il progetto ne prevedeva 3);
- un **sistema topografico** costituito da una stazione totale motorizzata fissa (precisione ± 2 mm) e da **n. 20 miniprismi** da monitoraggio installati su appositi pilastri resi solidali al corpo dell'argine e ai fronti di scavo (non previsto in progetto);
- **n. 7 piezometri** a presa localizzata, attrezzati con sensori elettici di misura per la rilevazione delle pressioni interstiziali all'interno dell'argine e del pendio stesso (il progetto ne prevedeva 5);

Le sonde inclinometriche e i piezometri elettrici trasmetteranno in continuo le misure al sistema di controllo, nel rispetto del concetto di SHM. Il Piano di sorveglianza e controllo di progetto verrà rivisto dal concorrente per renderlo coerente con quanto proposto. Le connessioni tra i data logger, i sensori e i pannelli solari avverranno attraverso connettori a tenuta stagna IP68. I **data logger sono configurabili facilmente ed espandibili per future integrazioni strumentali**, senza necessità di particolari competenze elettroniche e informatiche. Essi saranno alloggiati all'interno di armadi da esterno IP67, ubicati in zone strategiche dell'area di interesse, e protetti da eventuali danneggiamenti vandalici. Dopo la connessione sarà sufficiente accendere il data logger e il sistema comincerà ad inviare dati sul web server attraverso un **sistema di telecomunicazione GPRS**. Un'apposita **applicazione software trasferirà i dati acquisiti in tempo reale**.



Monitoraggio topografico attraverso stazione totale motorizzata e miniprismi



L'inclinometro fisso biassiale

(completamente realizzato in acciaio inox) permette di **monitorare in continuo l'inclinazione** di tubi inclinometrici, evitando la necessità di recarsi in situ.



Nella **Cella Casagrande modificata** l'elemento poroso è collegato ad una colonna di tubi in PVC che permette l'inserimento di un trasduttore di pressione che si incastra su una sede conica, munita di o-ring di tenuta, ricavata nella parte superiore della cella.



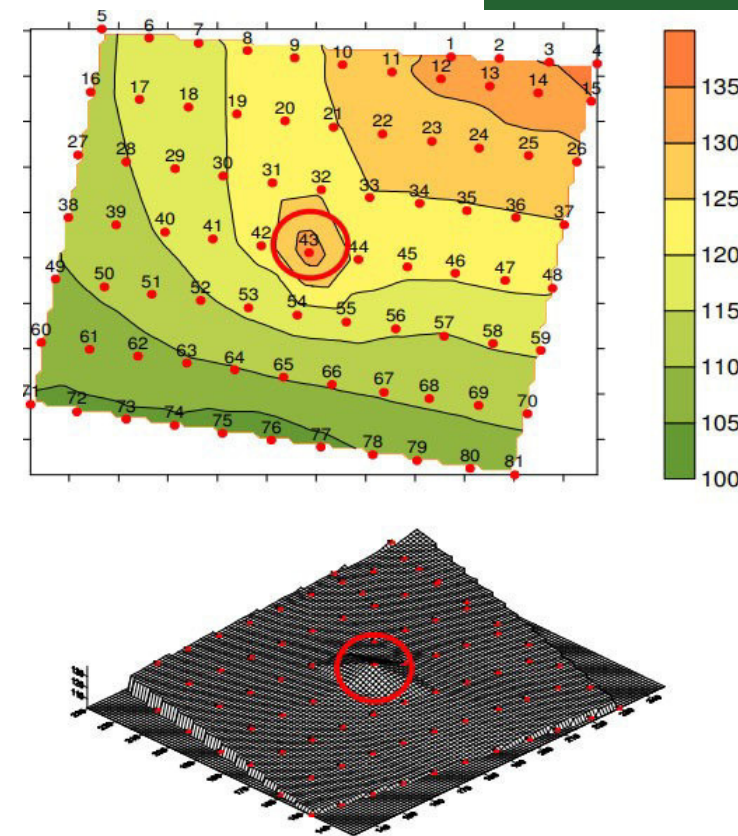
Implementazione ed ottimizzazione del sistema di monitoraggio e controllo del fondo vasca

Il sistema di monitoraggio previsto in progetto è costituito da 90 elettrodi in acciaio inox posizionati al di sotto della membrana impermeabile, secondo una maglia di disposizione di circa 20,0 m x 20,0 m, e di nove elettrodi di energizzazione di medesime caratteristiche al di sopra della stessa geomembrana.

Il sistema di monitoraggio proposto dal concorrente migliora sensibilmente quanto previsto in progetto attraverso la predisposizione di accorgimenti e apprestamenti aggiuntivi che consentano di rendere più duraturo e accurato il sistema di monitoraggio:

- aumento del numero di elettrodi da installare al di sotto della membrana (**96** anziché 90);
- aumento del numero di elettrodi da installare al di sopra della membrana (**24** anziché 9);
- utilizzo di elettrodi circolari più efficienti di quelli quadrati previsti in progetto;
- **percorso dei singoli cavi ottimizzato** così da evitare che un eventuale danneggiamento di un cavo o di una serie di cavi lungo il loro percorso, interromperà il funzionamento dell'intero sistema;
- connettori adattabili alla misura con **georesistivimetro multicanale** portatile;
- misurazioni al tempo zero a cura di **geologo specializzato in geofisica dotato di georesistivimetro multicanale** e idonea attrezzatura (non prevista in progetto);
- piano di misurazioni offerto con **cadenza quadrimestrale per i primi 24 mesi** di esercizio della discarica;
- **idonea formazione** del personale individuato dal gestore e dotato di attrezzatura idonea per il successivo monitoraggio.

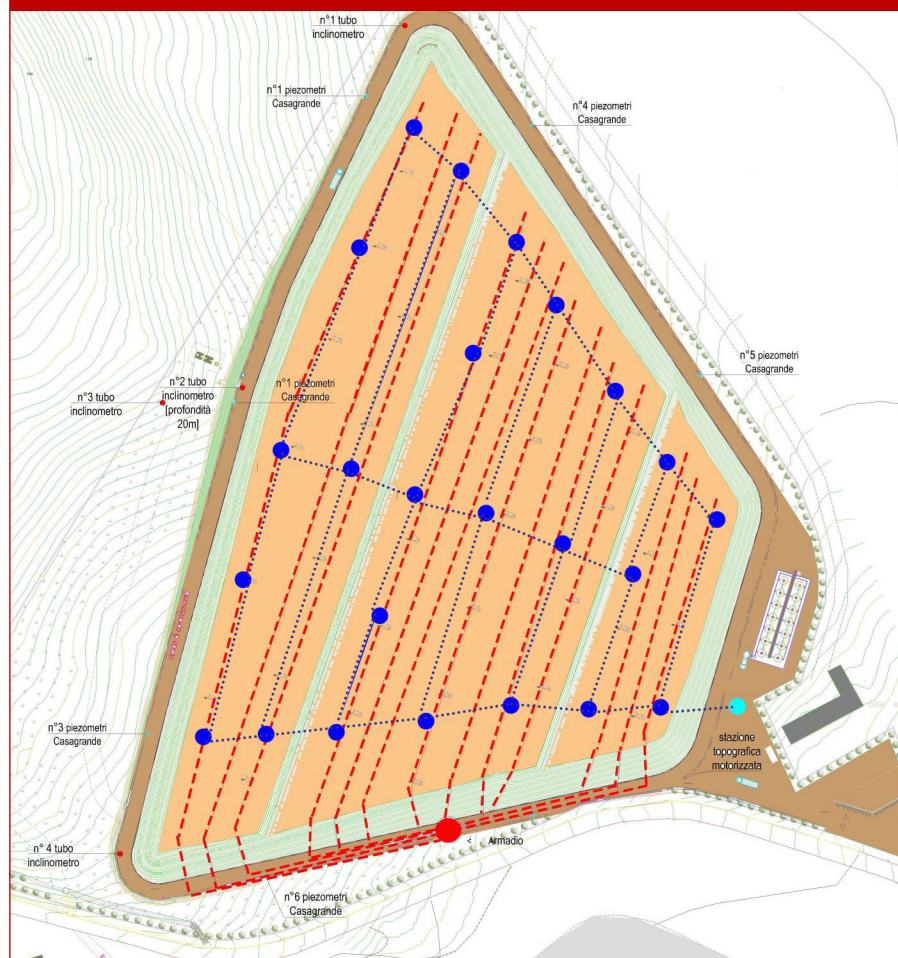
Il sistema di monitoraggio proposto si basa sul metodo geofisico GMS (Geoelectrical Monitoring System). Questo metodo si basa sull'elevato contrasto di resistività elettrica della geomembrana rispetto ai rifiuti ed al terreno in posto. Mediante l'applicazione di una tensione elettrica e la lettura del relativo potenziale elettrico, è possibile verificare la continuità dell'isolamento idraulico imposto dalla geomembrana e quindi la sua completa impermeabilizzazione idraulica. In condizioni di perfetta integrità fisica della geomembrana, la massa dei rifiuti risulta infatti elettricamente isolata dall'ambiente circostante la discarica, mentre in presenza di una lacerazione il monitoraggio elettrico misura una variazione del campo elettrico in corrispondenza della discontinuità. Tali anomalie di potenziale sono riconducibili al passaggio preferenziale di corrente elettrica e quindi a probabili lacerazioni nella geomembrana impermeabilizzante.



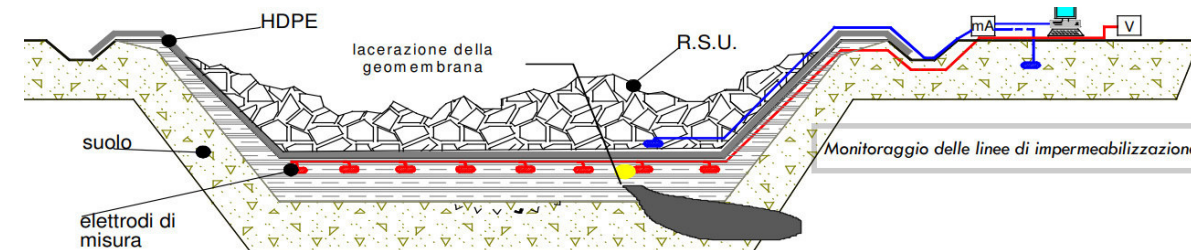
SCHEMA DI PROGETTO



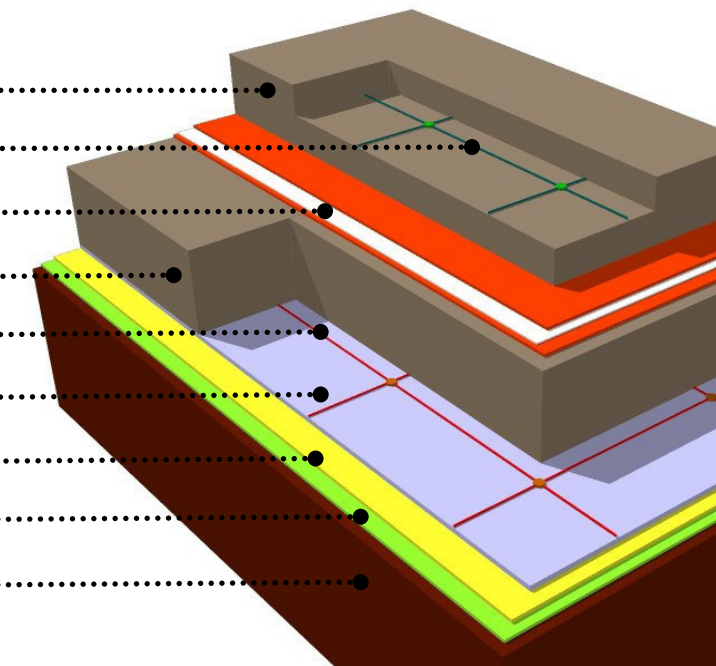
SCHEMA PROPOSTA MIGLIORATIVA



Andamento del potenziale elettrico in presenza di lacerazione nella geomembrana



- Strato drenante
- Elettrodi di energizzazione (24)
- Geomembrana in PEAD liscia/ruvida
- Strato drenante
- Elettrodi di grigliato (96)
- Geocomposito protettivo
- Geocomposito bentonitico (primo strato)
- Geocomposito bentonitico (secondo strato)
- Strato di argilla



Il concorrente:

Le imprese indicate:

Struttura di supporto per la redazione dell'offerta tecnica: