

# APPLICAZIONI DELLA GEOFISICA ALLA PROGETTAZIONE, REALIZZAZIONE E MONITORAGGIO PERIODICO DI IMPIANTI DI GESTIONE RIFIUTI MUNITI DI BARRIERA DI MANTENIMENTO IN HDPE E SISTEMA DI MONITORAGGIO PERDITE: IL METODO OHMEX

**Diego Albini** *Technical Director – Geosurveys s.r.l.*

**Christian Comotti** *Chief Geophysicist – Geosurveys s.r.l.*

**Lucia Serraglio** *Environmental Engineer – Geosurveys s.r.l.*

## 1. Il contesto di applicazione

La progettazione di un moderno impianto di trattamento dei rifiuti non può esimersi dalla previsione di un sistema di controllo degli scambi di interfaccia fra le componenti impiantistiche e le matrici ambientali costituenti il contesto di inserimento dell'impianto stesso.

I processi di stoccaggio (di Rifiuti Solidi o di Liquidi potenzialmente aggressivi come i percolati) che in tali impianti hanno necessariamente luogo, necessitano della preventiva costituzione di barriere di contenimento e di impermeabilizzazione utili a separare, con efficienza, il contenuto del bacino di stoccaggio dal terreno d'imposta. Tale barriera viene spesso realizzata alternando strati bentonitici a teli in HDPE.

Il presente articolo, lungi dal voler esaurire l'intera gamma dei possibili **sistemi di monitoraggio in postazione fissa** posizionabili in fase di realizzazione di un impianto per monitoraggio dell'integrità dei teli nel corso del ciclo di vita dello stesso, si propone di descrivere un particolare sistema, basato su principi geofisici, in grado di indagare l'efficienza, nel tempo, degli elementi costituenti una barriera di contenimento.

Le tecniche geofisiche, che meglio si adattano allo scopo prefigurato, sono le indagini geoelettriche. Esse sono in grado di rilevare le "perdite elettriche" e quindi di localizzare eventuali discontinuità fisiche nel telo, "semplicemente" misurando il flusso di corrente, con chiusura del circuito elettrico in corrispondenza del *leak*. Queste perdite elettriche corrispondono a "perdite idrauliche" della fase acquosa, che nel contesto descritto, funge sia da potenziale vettore di trasporto della contaminazione dall'interno all'esterno dei bacini di contenimento che da costituente principale di molte fra le matrici ambientali (acque sotterranee,

acque di scorrimento, ...) su cui eventuali inefficienze di impermeabilizzazione potrebbero gravare.

Quello che di seguito verrà descritto è una particolare applicazione del metodo OHMEX, nel quale i consueti sistemi di energizzazione e di acquisizione elettrica tipici delle indagini geoelettriche, vengono utilizzati in una configurazione *ad hoc* adatta ad un contesto atipico.

L'articolo è contiguo ad un precedente, pubblicato nella sezione Informazioni dalle Aziende, Ingegneria dell'Ambiente n. 4-2022, nel quale si descriveva una applicazione del medesimo metodo ad un bacino per lo stoccaggio di liquidi potenzialmente pericolosi come i percolati di un impianto di trattamento rifiuti, privo di sistema di monitoraggio in postazione fissa.

La metodologia descritta del presente articolo, applicabile, invece, a tutti i processi di stoccaggio di materiali/rifiuti, in grado di generare percolazioni o perdite potenzialmente pericolose, si differenzia dalla precedente in quanto connessa non solo alla gestione dell'impianto ma legata alla sua progettazione ed esecuzione.

## 2. Caso di studio – METODO OHMEX con sensori in postazione fissa: rilievo geoelettrico perdite da teli utilizzati per lo stoccaggio rifiuti solidi

### 2.1 Il metodo

L'attuazione del metodo parte necessariamente dalla fase di progettazione esecutiva e di realizzazione del bacino stesso, sulla base di precisi criteri di natura idraulica e geo-elettrica, che necessitano di essere definiti da una proficua collaborazione fra l'ingegnere progettista dell'impianto ed il geofisico.

Il sistema di monitoraggio e la barriera di contenimento, contenente il telo HDPE, sono progettati insieme

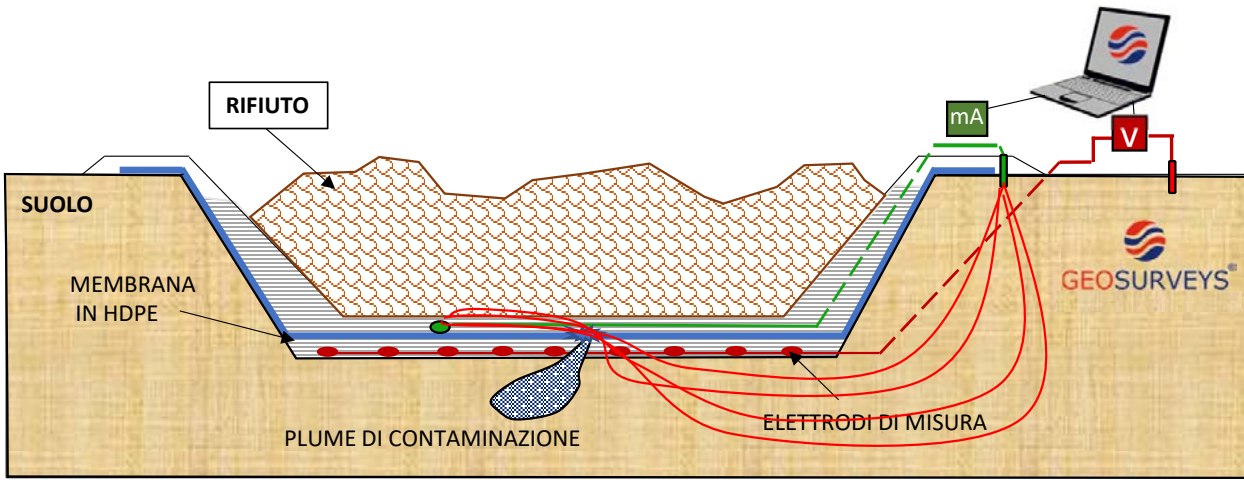


Figura 1. Schema di funzionamento Sistema di monitoraggio.

me e posizionati in fasi consecutive della realizzazione della barriera di contenimento per sistemi a riempimento (es. Discariche).

Quella descritta è pertanto un'applicazione geoelettrica specifica, concepita per valutare l'integrità delle membrane in HDPE e basata sulle proprietà di isolante elettrico della membrana stessa rispetto ai rifiuti ed al terreno naturale sottostante.

Il metodo si basa sulla misura degli effetti indotti dal passaggio di corrente elettrica tra due elettrodi di corrente (A e B) posti a monte e a valle (dal punto di vista idraulico) della barriera di contenimento, lungo le linee di distribuzione del campo elettrico, tramite elettrodi di potenziale opportunamente posizionati ed attivati, posti lungo tale percorso. Le misure utili a leggere tali effetti sono infatti le misure di potenziale elettrico relativo.

In condizioni di corretto funzionamento della membrana, i valori di tale grandezza sono prossimi alle zero e mostrano una distribuzione abbastanza uniforme del potenziale elettrico. Viceversa, in presenza di un'eventuale discontinuità della geomembrana ciò che viene misurato sono delle importanti anomalie di potenziale riconducibili ad un passaggio preferenziale della corrente in corrispondenza della discontinuità stessa.

## 2.2. La Strumentazione impiegata

Il **sistema di monitoraggio** è costituito da **due componenti**: una permanente e una mobile.

La **componente di tipo permanente** consiste in un sistema di elettrodi (piastre metalliche), collocati in precise postazioni rilevanti dal punto di vista idrau-

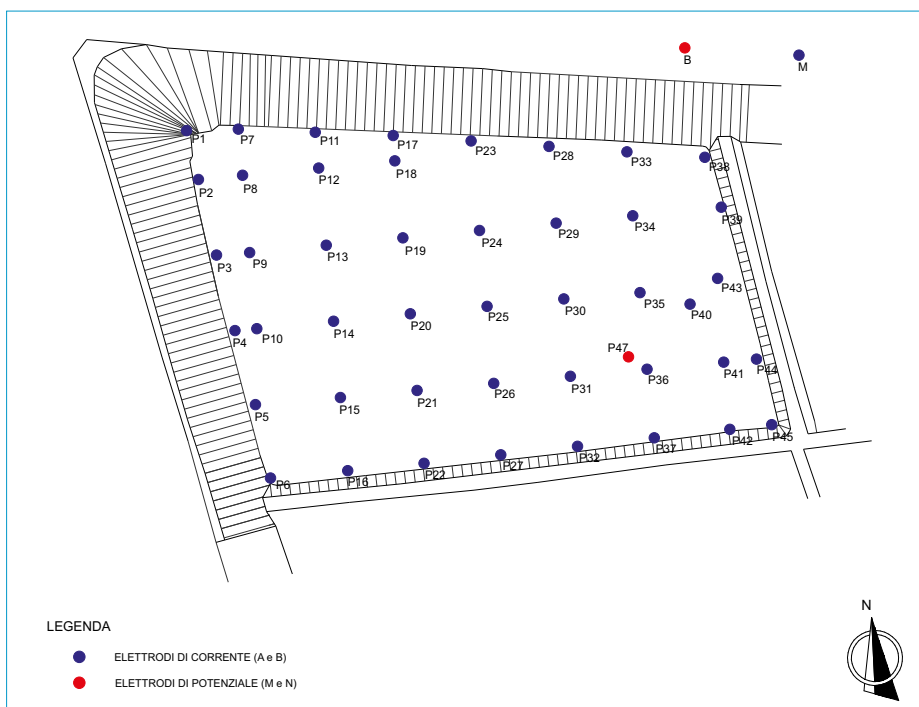


Figura 2. Pianta del Bacino con grigliato di acquisizione.

lico (e quindi elettrico) rispetto alla posizione del telo in HDPE:

- sopra (a livello bentonitico);
- sotto (a livello bentonitico);
- pannello di controllo in postazione fissa;
- collegamenti elettrici (tramite conduttori, raccolti tramite tubi protettivi) fra le piastre ed il pannello di controllo.

La **componente mobile** è costituita da:

- un sistema per l'immissione di corrente nel terreno;
- cavi mobili di connessione elettriche;
- picchetti in acciaio inossidabile da posizionare fuori dal bacino di discarica;
- georesistivimetro per la misura della differenza di potenziale e per l'immissione di corrente ad intensità controllata (georesistivimetro della MAE, modello X612EM+).

### 2.3 La Progettazione del sistema fisso

Il dimensionamento della componente di tipo permanente è volta alla definizione del numero e dell'interdistanza degli elettrodi di acquisizione (piastre) da posizionare in postazione fissa a livello bentonitico sopra e sotto il telo in HDPE), in funzione dei requisiti dimensionali dei bacini di stoccaggio e di una valutazione economica e di precisione del dato acquisito.

Ciascun bacino viene dotato di pannello di controllo, a sua volta, dimensionato in modo da consentire il collegamento elettrico e la successiva acquisizione, tramite georesistivimetro, da ciascuna postazione di elettrodo di potenziale e di corrente (Fig. 3).

Uno schema tipo di sistema di acquisizione, applicato ad un bacino di discarica è riportato in Fig. 1 e Fig. 2 (*Sistema di monitoraggio Schema di funzionamento*, Fig. 1 e *Distribuzione in pianta*, Fig. 2).

In Fig. 2 è riportata un'applicazione ad un bacino di discarica avente un'estensione di circa 11.700 mq il cui sistema di monitoraggio è costituito da:

- N° 45 Elettrodi (P1-P45) installati al di sotto del telo in HDPE che rappresentano l'elettrodo N (elettrodi di potenziale), disposti secondo una griglia regolare;
- N° 1 Elettrodo (P47) installato al di sopra del telo in HDPE che rappresenta l'elettrodo A;
- N° 2 Elettrodi posizionati al di fuori del bacino di discarica che rappresentano rispettivamente l'elettrodo B e l'elettrodo M;
- Quadro di controllo.

### 2.4 Metodologia ed acquisizione dati: fase di monitoraggio tramite componente mobile

L'ARRAY (schema di acquisizione) è funzione dello schema di progetto.



Figura 3. Acquisizione dati da quadro di controllo.

La periodicità del monitoraggio, invece, può essere calibrata in funzione dei particolari regimi autorizzativi previsti per la regolazione dell'impianto di cui il sistema di monitoraggio sarà a servizio, delle criticità di contesto o della tipologia di rifiuto stoccato: è possibile, infatti, prevedere sistemi di acquisizione in continuo o con periodicità definita. Anche se caratterizzati da differenti livelli di automazione, spesso i due sistemi coesistono. Alcuni Regimi autorizzativi li prevedono entrambi: il primo di solito è in capo all'Ente Gestore, il secondo in capo a fornitori qualificati esterni o a disposizione di Enti di verifica con funzioni di controllo periodico sul rispetto del regime autorizzativo.

Qualunque sia la periodicità definita, nonché il livello di automazione, l'acquisizione consiste nella realizzazione di una serie di misure in cui vengono mantenuti fissi gli elettrodi di corrente (A e B) e l'elettrodo di potenziale (M), mentre varia di volta in volta l'elettrodo N di riferimento.

In particolare:

- Un primo elettrodo di corrente è rappresentato da un picchetto in acciaio inossidabile posizionato fuori dal bacino di discarica.
- Il secondo elettrodo di corrente è rappresentato da una piastra metallica del Sistema di Monitoraggio Permanente posizionata sopra il telo in HDPE (in Figura 2 è il picchetto n. P47, alternativamente indicato come picchetto A).
- L'elettrodo di potenziale (M) è rappresentato da un picchetto in acciaio inossidabile posizionato fuori dal lotto in esame.
- L'elettrodo di potenziale (N) è rappresentato alternativamente dalle varie piastre metalliche del Sistema di Monitoraggio da P01 a P45, posizionate al di sotto del telo in HDPE, all'interno dello strato bentonitico e distribuiti secondo una griglia regolare.

Per impianti di grandi dimensioni è possibile prevedere disposizioni modulari del medesimo impianto di monitoraggio.

L'induzione del passaggio di corrente elettrica tra due elettrodi posti uno all'esterno del bacino delimitato dal telo in HDPE ed uno posto al suo interno (al di sopra della geo-membrana) determina la formazione di un campo elettrico le cui caratteristiche sono funzione della continuità elettrica lungo il percorso fra i due elettrodi. Durante la fase di induzione, si eseguono misure di potenziale su elettrodi opportunamente posizionati sia all'interno che al di fuori del bacino. In base alla funzione svolta si distinguono elettrodi di corrente (i primi) da elettrodi di potenziale (i secondi).

In condizioni normali, ovvero di integrità della geo-membrana non si genera un flusso elettrico tra gli elettrodi di corrente e la misura del potenziale elettrico relativo mostra dei valori minimi con una distribuzione abbastanza uniforme del campo elettrico. In presenza di un'eventuale discontinuità della geo-membrana, invece si genera un flusso di correnti, con chiusura del circuito elettrico, e ciò che viene misurato sono delle importanti anomalie di potenziale riconducibili ad un passaggio preferenziale della corrente in corrispondenza della discontinuità stessa.

### 2.5 Restituzione dei risultati

I dati di voltaggio registrati sul campo, processati ed elaborati dall'equipe tecnica di Geosurveys, anche tramite software specialistici (software Surfer 11) sono restituiti tramite rappresentazione planimetrica della distribuzione del potenziale normalizzato in funzione dell'intensità di corrente ("V/I"). Tale modalità rappresentativa favorisce la visualizzazione grafica sia dell'intensità di variazione di potenziale normalizzato che delle eventuali isolinee con andamento concentrico lungo la superficie indagata. L'assenza di queste ultime, associata al riscontro di variazioni contenute nel potenziale normalizzato, rappresentano circostanze che consentono di escludere, al momento della misura la presenza di eventuali discontinuità nel telo in HDPE posto sotto esame.

In Figura 4 è pertanto riportato un esempio di possibile risultato grafico: nel caso in specie non si osservano importanti anomalie di potenziale normalizzato. Il

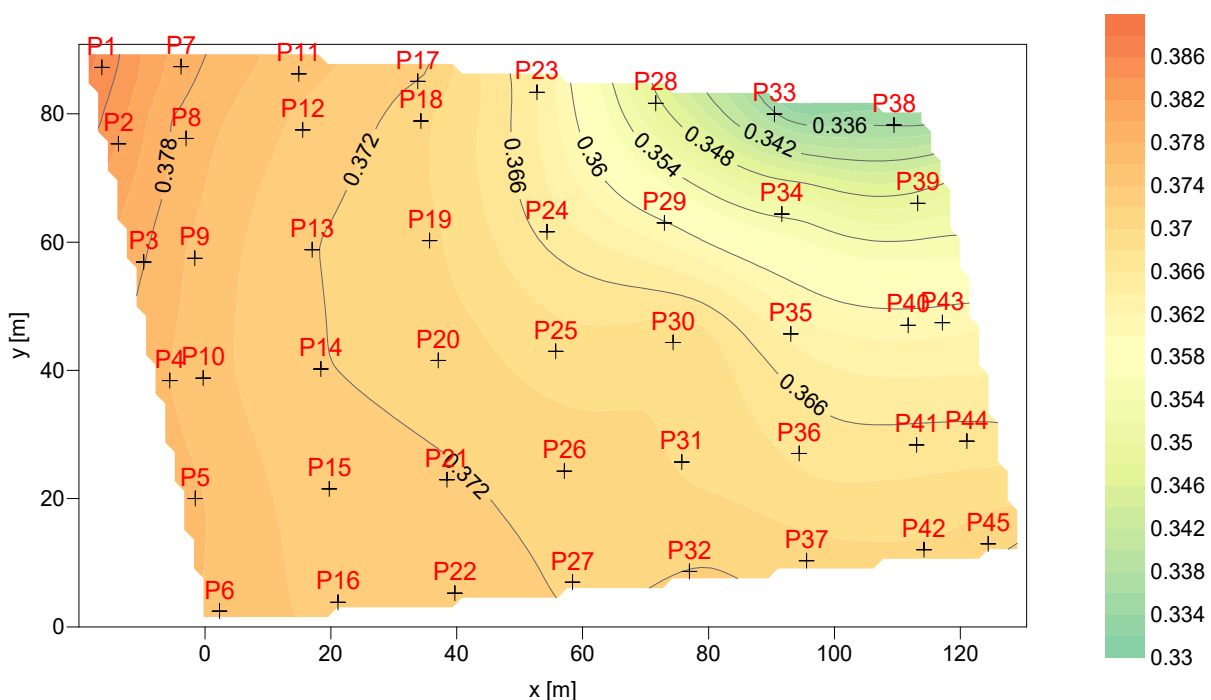
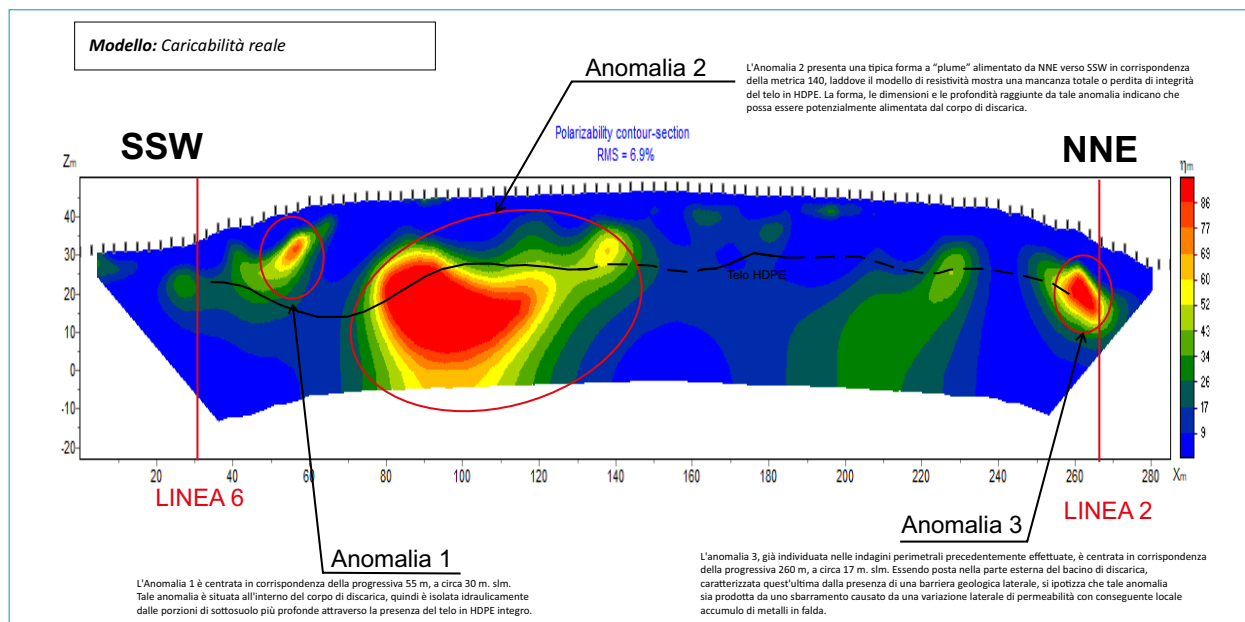


Figura 4. Rappresentazione in pianta dell'andamento del potenziale normalizzato lungo il telo HDPE per il bacino indagato.





**Figura 5.** Tomografie elettriche 2D per la ricerca di sacche di percolato o di plume da possibile perdita di impermeabilità.

range di valori del potenziale normalizzato oscilla tra 0.33 e 0.40, perciò conformi con le caratteristiche della geomembrana in HDPE, che isola elettricamente (ed idraulicamente) i rifiuti interni al bacino dal terreno circostante. Il riscontro di una simile condizione permette di escludere la presenza di eventuali discontinuità nel telo in HDPE del Bacino esaminato.

### 3. Indagini collegate

#### 3.1 Misura della resistività elettrica dei terreni finalizzata al dimensionamento di sistemi di protezione da correnti vaganti degli impianti interrati

Il sistema di monitoraggio proposto rientra nella tipologia degli impianti interrati, integralmente o parzialmente realizzati in metallo. Tale tipologia impiantistica è naturalmente soggetta a corrosione a causa delle correnti vaganti che si verificano quando la terra agisce da conduttore elettrico.

Il fenomeno è legato ad una proprietà intrinseca del sottosuolo: la Conducibilità elettrica e quindi al suo inverso la Resistività. Essa va misurata con tecniche specialistiche e, la sua conoscenza è alla base della progettazione di interventi di protezione galvanica degli impianti interrati.

Fra le applicazioni della geoelettrica rientrano anche misure destinate alla definizione delle proprietà elettriche dei suoli destinati ad ospitare i sistemi di

monitoraggio: il metodo impiegato è generalmente la Tomografia Elettrica di Resistività (ERT), sia bi-dimensionale che tri-dimensionale, con sequenze delle misure di acquisizione generate *ad hoc* (Wenner-Schlumberger e Polo-Dipolo le sequenze tipo).

#### 3.2 Tomografie elettriche 2D e 3D per la ricerca di sacche di percolato o di plume da possibile perdita di impermeabilità

Le tecniche tomografiche applicate alla geoelettrica sono spesso utilizzate per mappare le anomalie del sottosuolo, pertanto fra le varie finalità può esservi quella di ricerca e circoscrizione di sacche di percolato all'interno di corpi di discarica. Array ad hoc, consentono di ricostruire ubicazione ed estensione delle stesse anche in rapporto ad eventuali sistemi di contenimento. In Figura 5 un esempio di individuazione di plume di percolato che attraversa la barriera di contenimento, individuata tramite tomografia elettrica 2D.

### 4. Conclusioni

L'equipe tecnica di Geosurveys è in grado di supportare con il proprio know how progettisti e gestori di impianti di trattamento rifiuti con tecniche specifiche anche non standard rispondenti a diverse delle problematiche riscontrabili all'interfaccia fra le componenti impiantistiche e le matrici ambientali costituenti il contesto di inserimento degli impianti stessi. ■

SOCIAL: [www.linkedin.com/company/geosurveys/](http://www.linkedin.com/company/geosurveys/)  
SITO WEB: [www.geosurveys.it](http://www.geosurveys.it)  
CONTATTI: Tel.: +39 0759142348  
Direzione Tecnica:  
dott. geol. Diego Albini | cell. +39 3477334566 | [diego.albini@geosurveys.it](mailto:diego.albini@geosurveys.it)

Tecnico Commerciale:  
dott. ing. Lucia Serraglio | cell. +39 3420684587 | [lucia.serraglio@geosurveys.it](mailto:lucia.serraglio@geosurveys.it)  
Ufficio Tecnico:  
dott. geol. Christian Comotti | dott. geol. Nicola Ippoliti | [tecnico@geosurveys.it](mailto:tecnico@geosurveys.it)