

UTILIZZO DI METODI GEOFISICI NEL CAMPO AMBIENTALE

TRE ESEMPI SU CASI REALI

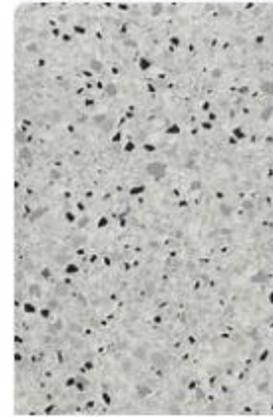
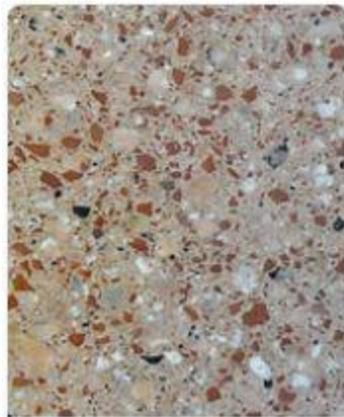
geol. Aldo Canziani

Cividale del Friuli (UD)

v. Carlo Alberto 39

PRIMO CASO : ANALISI DI CARATTERIZZAZIONE IN UNA DISCARICA ABUSIVA CONTENENTE FANGHI DI PRODUZIONE DI MARMETTE CON ALTO TENORE DI Pb ED ALTRI METALLI

- LO SCOPO DELL'INDAGINE ERA LA CARATTERIZZAZIONE DI UN INVASO DOVE ERANO STATI SVERSATI, TRA GLI ANNI '60 E '80 DEL SECOLO SCORSO, FANGHI DI PRODUZIONE DELLE MARMETTE (PIASTRELLE PER INTERNI/ESTERNI COSTITUITE DA UN LIVELLO DI CALCESTRUZZO E UN SOVRASTANTE PIANO DI USURA IN GRANIGLIA DI MARMO E FRAMMENTI LIOTOIDI POLIGENICI E POLICROMATICI LEGATI CON CEMENTO)



- GLI ALTI CONTENUTI DI PIOMBO, CROMO E ALTRI METALLI PESANTI DERIVAVANO DALL'UTILIZZO DI OSSIDI PER LA COLORAZIONE DELLE MARMETTE
- LA DISCARICA SI TROVA NELLA BASSA PIANURA FRIULANA, IN VICINANZA DELL'ARGINE DESTRO DI UN FIUME DI RISORGIVA, ED HA UNA SUPERFICIE DI CIRCA 3.0 ha



- **LA CARATTERIZZAZIONE DEL SITO, COME PREVEDE LA NORMATIVA (D. L.S 152/06), AVEVA I SEGUENTI OBIETTIVI :**

1. Ricostruzione storica delle attività produttive svolte sul sito;
2. Elaborazione del Modello Concettuale Preliminare del sito e predisposizione di un piano di indagini ambientali, finalizzato alla definizione dello stato ambientale di suolo, sottosuolo e delle acque sotterranee;
3. Elaborazione del Piano di indagini;
4. Elaborazione dei dati raccolti e rappresentazione dello stato di contaminazione del suolo del sottosuolo e delle acque sotterranee;
5. Elaborazione del Modello Concettuale Definitivo.

IN QUESTO AMBITO SONO STATE SVOLTE:

- UNA SERIE DI **INDAGINI CHIMICHE** SU ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE E TERRENI, CON PRELIEVO DI CAMPIONI;
- UN DISCRETO NUMERO DI **PROVE PENETROMETRICHE**;
- UNA CAMPAGNA DI **INDAGINI GEOFISICHE** CHE NASCEVANO, OLTRE CHE DALL'ESIGENZA DI VERIFICARE GLI SPESSORI E LA CONSISTENZA DEI FANGHI, ANCHE DA UNA CONSIDERAZIONE DERIVANTE DALL'ANALISI DELLE FOTO AEREE STORICHE DELL'AREA CHE, PRIMA CHE LA VEGETAZIONE SI INSTAURASSE IN MODO PARTICOLARMENTE FITTO, POTEVANO FAR IPOTIZZARE LA PRESENZA DI UN PALEOALVEO O MEGLIO DI UN PALEOMEANDRO ALL'INTERNO DELL'INVASO



- Le indagini geofisiche comprendevano n.3 prospezioni sismiche a rifrazione, eseguite tramite stendimenti di lunghezza pari a 115 m (SR1, SR2) e 92 m (SR3) di 24 geofoni verticali e orizzontali equi-spaziati rispettivamente di 5 m (SR1, SR2) e 4 m (SR3), ed elaborate con metodo sismico tomografico a rifrazione, per la modellazione sismo-stratigrafica del sottosuolo mediante la discretizzazione della velocità di propagazione delle onde di corpo P.
- Le indagini sono state eseguite col molteplice scopo di ricavare:
 - le geometrie del sottosuolo;
 - il grado di addensamento dei depositi;
 - la conferma della presenza del paleomeandro e una indicazione sulla profondità di questa struttura.

LOCALIZZAZIONE DEGLI STENDIMENTI SISMICI



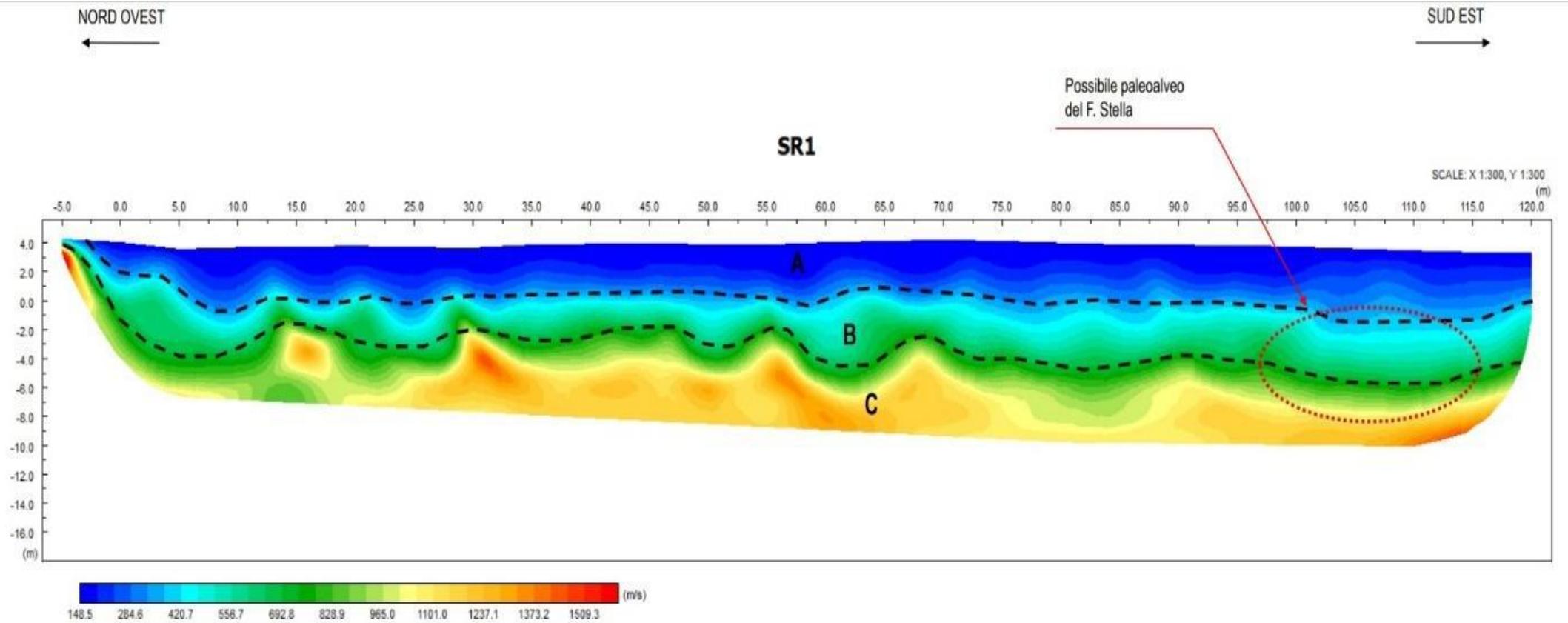
Le prospezioni sismiche condotte, elaborate in onde P, hanno permesso di distinguere livelli caratterizzati da diverso grado di addensamento, con un generale incremento delle caratteristiche meccaniche con la profondità. Sono stati discretizzati in particolare tre livelli con caratteristiche differenti in termini di grado di addensamento. In tutte e tre le prospezioni sismiche effettuate si rinviene :

- ✓ un primo livello (**A**) caratterizzato da velocità delle onde P inferiori a 330 m/s che rappresentano depositi di riporto riconducibili a fanghi di lavorazione delle marmette, da non a poco addensati. Presenta uno spessore variabile, da un minimo di 1.0 – 1.5 m verso gli estremi dell'invaso a circa 4.0 m all'interno dell'invaso;
- ✓ segue in profondità un livello (**B**) caratterizzato da velocità delle onde P maggiori, comprese generalmente tra 330 m/s e 700 m/s, si tratta di depositi alluvionali da poco a mediamente addensati. Lo spessore medio di questo livello è variabile tra 1.5 m e 3.5 m.
- ✓ Infine si distingue un ultimo livello (**C**) che presenta velocità delle onde P superiori a 700 m/s, si tratta di depositi alluvionali da mediamente addensati ad addensati.

Il paleoalveo risulta essere intercettato dalle tomografie sismiche SR1 e SR2. Nello specifico sulla tomografia SR1 dalla progressiva 102.5 m a 112.5 m si riscontra un avvallamento morfologico, dettato da un approfondimento delle velocità delle onde P; mentre nella tomografia SR2 la medesima caratteristica morfologica si riscontra dalla progressiva 42.5 m a 52.5 m.

Dalle tomografie è possibile stimare la profondità del letto del paleoalveo a circa 10 m dall'attuale p.c.

Sulla base di questa informazione è stato possibile posizione i punti di campionamento mediante GeoProbe sulla verticale del paleoalvo.

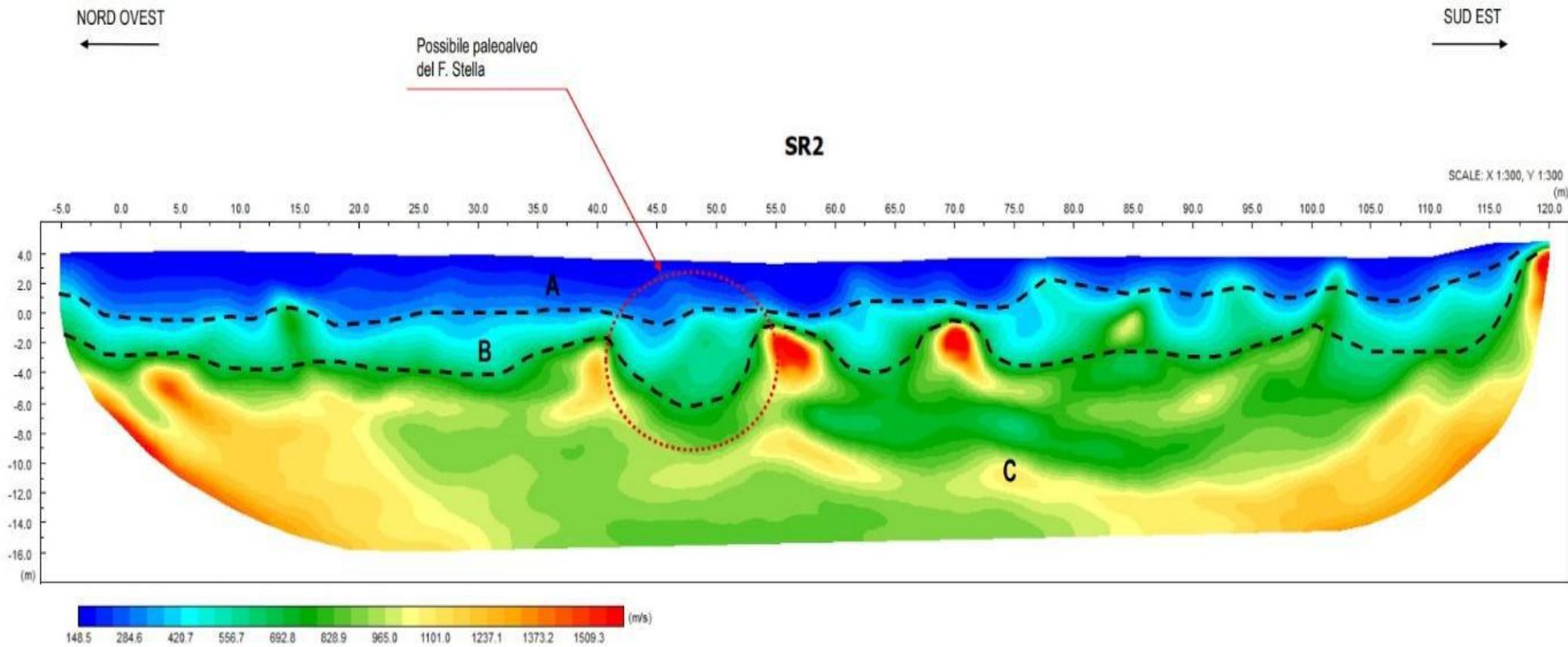


LEGENDA:

A = Riporto, depositi non addensati ($V_P < 330$ m/s circa)

B = Depositati alluvionali da poco a mediamente addensati ($330 \text{ m/s} < V_P < 700 \text{ m/s}$ circa)

C = Depositati alluvionali da mediamente addensati ad addensati ($V_P > 700$ m/s circa)



LEGENDA:

- A = Riperto, depositi non addensati ($V_P < 330$ m/s circa)
- B = Depositi alluvionali da poco a mediamente addensati ($330 \text{ m/s} < V_P < 700$ m/s circa)
- C = Depositi alluvionali da mediamente addensati ad addensati ($V_P > 700$ m/s circa)

OVEST – SUD OVEST

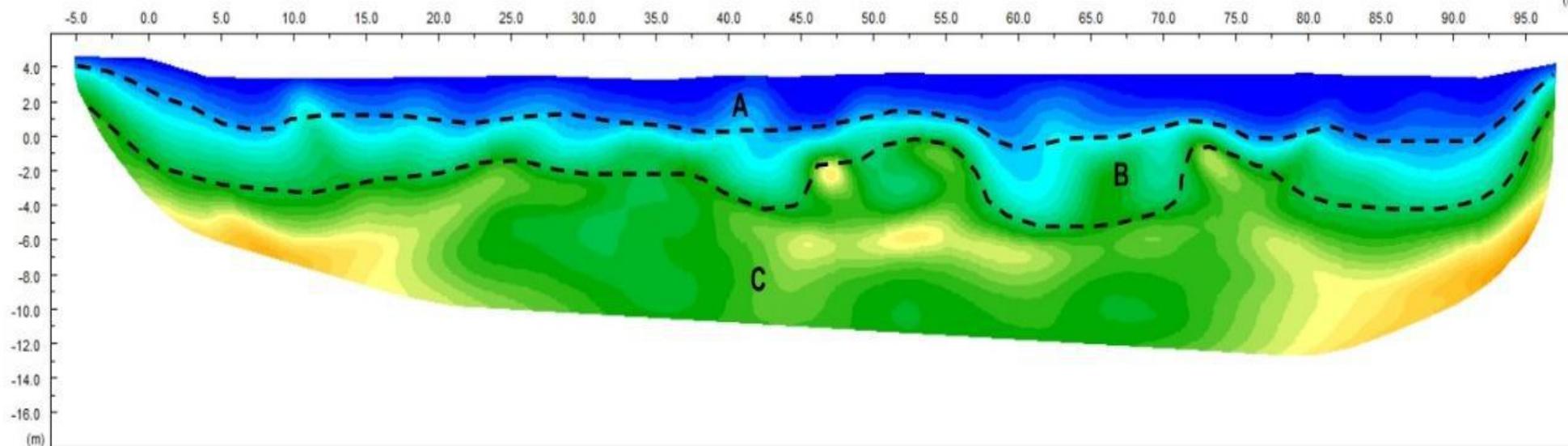


EST – NORD EST



SR3

SCALE: X 1:300, Y 1:300
(m)



LEGENDA:

A = Riporto, depositi non addensati ($V_P < 330$ m/s circa)

B = Depositi alluvionali da poco a mediamente addensati ($330 \text{ m/s} < V_P < 700$ m/s circa)

C = Depositi alluvionali da mediamente addensati ad addensati ($V_P > 700$ m/s circa)

I RISULTATI DELL'INDAGINE GEOFISICA SONO STATI MOLTO UTILI ED HANNO CONSENTITO DI VERIFICARE LO SPESSORE DEI FANGHI LUNGO DUE DIRETTIRICI FONDAMENTALI, NONCHE' DI VALUTARE LA PROFONDITA' DEL PALEOMEANDRO CHE, COME E' STATO CONFERMATO CON SUCCESSIVE E PUNTUALI INDAGINI GEOTENICHE, HA UNA PERMEABILITA' MAGGIORE RISPETTO AI SEDIMENTI ALLUVIONALI LATERALI, CON LA POSSIBILITA' DI COSTITUIRE UNA VIA PREFERENZIALE DI MIGRAZIONE DELLE ACQUE CHE TRASCINANO IN SOSPENSIONE I FRAMMENTI DI FANGHI INQUINATI E CHE, PERTANTO, POTREBBERO ESSERE VEICOLATI VERSO L'ATTUALE CORSO DEL FIUME, ESSENDOSI LA CONNESSIONE MORFOLOGIA TRA PALEOMEANDRO E ALVEO.

SI E' POTUTO, PERTANTO, INDIRIZZARE LA PROGETTAZIONE IN MODO DA EVITARE IL DIFFONDERSI ED ESPANDERSI DELL'INQUINAMENTO.

SECONDO CASO : TRATTAMENTO DEI RIFIUTI PRESENTI IN UNA DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI, COLLOCATA NEL MEDIO FRIULI, FINALIZZATO AL RECUPERO DI ULTERIORI VOLUMI DI STOCCAGGIO ED A MIGLIORARE LO STATO DI ADDENSAMENTO DEI RIFIUTI STESSI

La tecnica che si è adottata è quella della **Compattazione Dinamica** (nella terminologia anglosassone “**Heavy Tamping**”). La compactazione dinamica applicata ai piani di coltivazione di discarica prevede un’azione meccanica di urto che riveste il principale scopo di accelerare la compactazione naturale del rifiuto, aumentandone la densità e riducendone i vuoti. Di conseguenza, la chiusura dei vuoti e l’allontanamento di liquidi e gas interstiziali, dovute all’aumento delle pressioni neutre, facilita l’addensamento dei rifiuti.

La metodologia Dynamic Compaction rappresenta l'estensione, in scala reale, del metodo di prova di costipamento standard utilizzato per i terreni. La procedura di costipamento prevede l'utilizzo di una gru che solleva fino ad una determinata altezza un pesante maglio, lasciandolo cadere al suolo. Il costipamento può essere ottenuto fino a una certa profondità in funzione del peso (o della massa) del maglio, dell'altezza di caduta e del tipo di terreno. Nel costipamento dinamico dei rifiuti il maglio presenta una massa variabile da 10 a 22 tonnellate ed è lasciato cadere da altezze comprese da 10 e i 22 metri e in diversi punti regolarmente spazati, aventi forma quadrata con passaggi ripetuti su di essa ed eseguiti con uno spostamento costante.

ESEMPIO DO PROCEDURA HEAVY TAMPING SU TERRENI

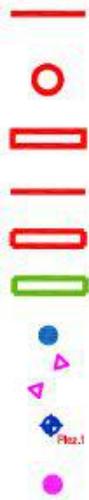


Gli interventi di compattazione del piano della discarica prevedono la realizzazione di un campo prova sperimentale per definire i parametri che verranno utilizzati durante la fase operativa. Nel campo prova sono state individuate 4 celle sperimentali



Particolare del campo prova

LEGENDA



Tubazione in HDPE

Pozzo percolato

Nuova posizione cisterna raccolta percolato

Attuale posizione tubazione in HDPE

Attuale posizione cisterna raccolta percolato

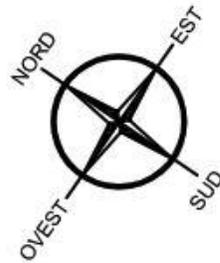
Area di intervento Heavy Tamping

Punti Fissi di Controllo Topografico

Stendimenti Sismici Misure Onde di Taglio Vs

Piezometro a Corda vibrante

Geofono



La sperimentazione nelle celle ha riguardato sia gli effetti dinamici delle onde d'urto generate dalla caduta dei gravi sulle strutture di contenimento della discarica, definendo se il fenomeno fosse avvertito anche al di fuori della stessa, che le mutazioni fisiche dello stato della massa dei rifiuti.

Per quanto attiene questi ultimi parametri, sono state eseguite, al centro di ciascuno dei quattro quadrati sperimentali, rilievi incrociati MASW, prima e dopo il trattamento dinamico.

Per il controllo della propagazione delle onde d'urto e del loro possibile effetto sulle strutture di contenimento della discarica e sulle strutture esterne ad esse (anche edifici residenziali) sono state eseguite misure dell'attenuazione dell'ampiezza dei segnali in funzione della distanza e di ampiezza assoluta delle vibrazioni indotte. I risultati dei rilievi sono infine stati inquadrati nelle norme DIN 4150 che stabiliscono i limiti di tolleranza delle vibrazioni indotte in funzione della destinazione d'uso delle aree oggetto dei rilievi.

Nelle quattro celle del campo di prove sono state effettuate sperimentazioni di compattazione con diversi tipi di maglio e diverse altezze di caduta. Sono stati utilizzati magli cilindrici da 11 e 13 t rispettivamente ed un maglio prismatico da 15 t. Le altezze di caduta sono variate da 11 a 15 m. Prima e dopo il trattamento di compattazione, per ogni cella sono state eseguite due MASW incrociate.



MISURE DI MASW LUNGO UNA CELLA DI PROVA



PER BREVITA' SI RIPORTANO I RISULTATI DELLA SOLA CELLA DI PROVA 2 CHE E' RISULTATA QUELLA PER LA QUALE LE CARATTERISTICHE DELLA COMPATTAZIONE HANNO FORNITO I MIGLIORI RISULTATI, CHE HANNO POI GUIDATO LE SUCCESSIVE OPERAZIONI NEL RESTO DELLA DISCARICA

DIAGRAMMA PROFONDITA'/VELOCITA' DELLE ONDE S ALLINEAMENTO E-W

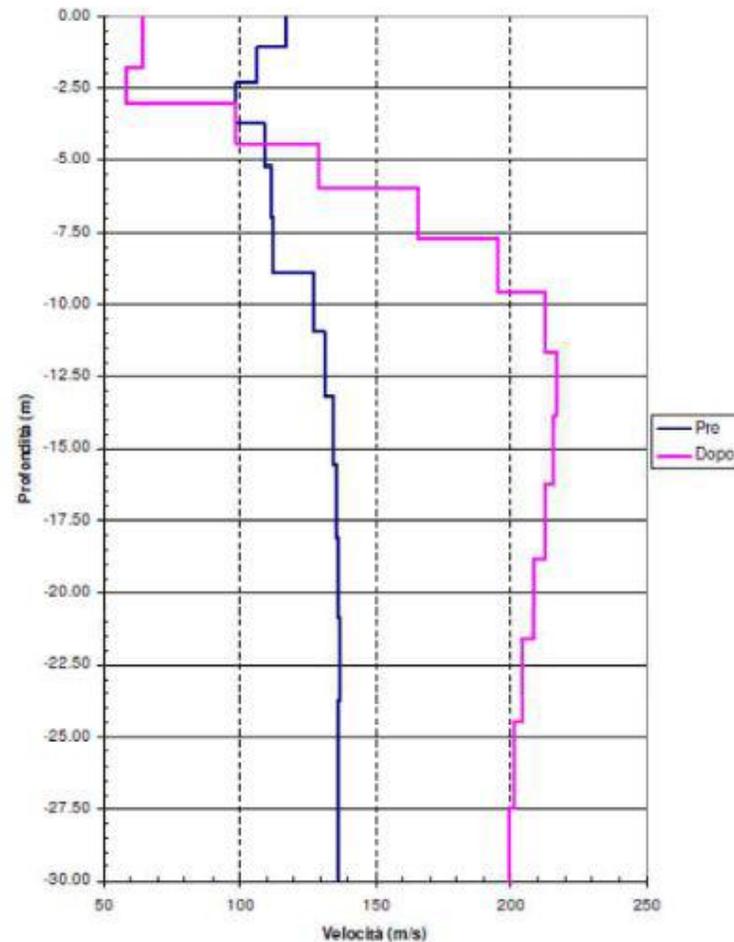
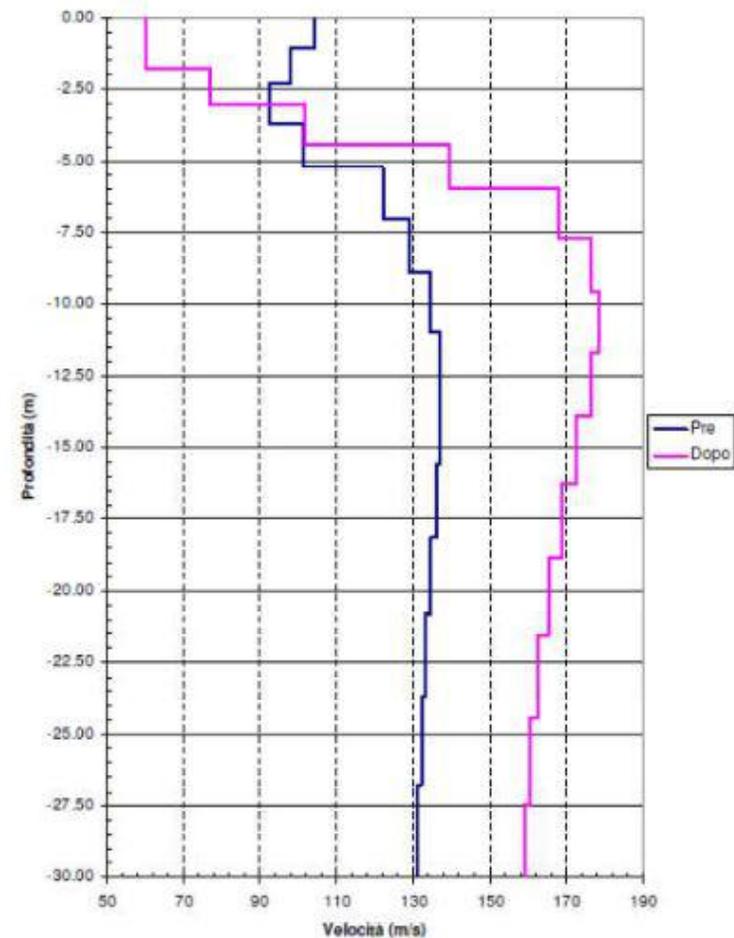
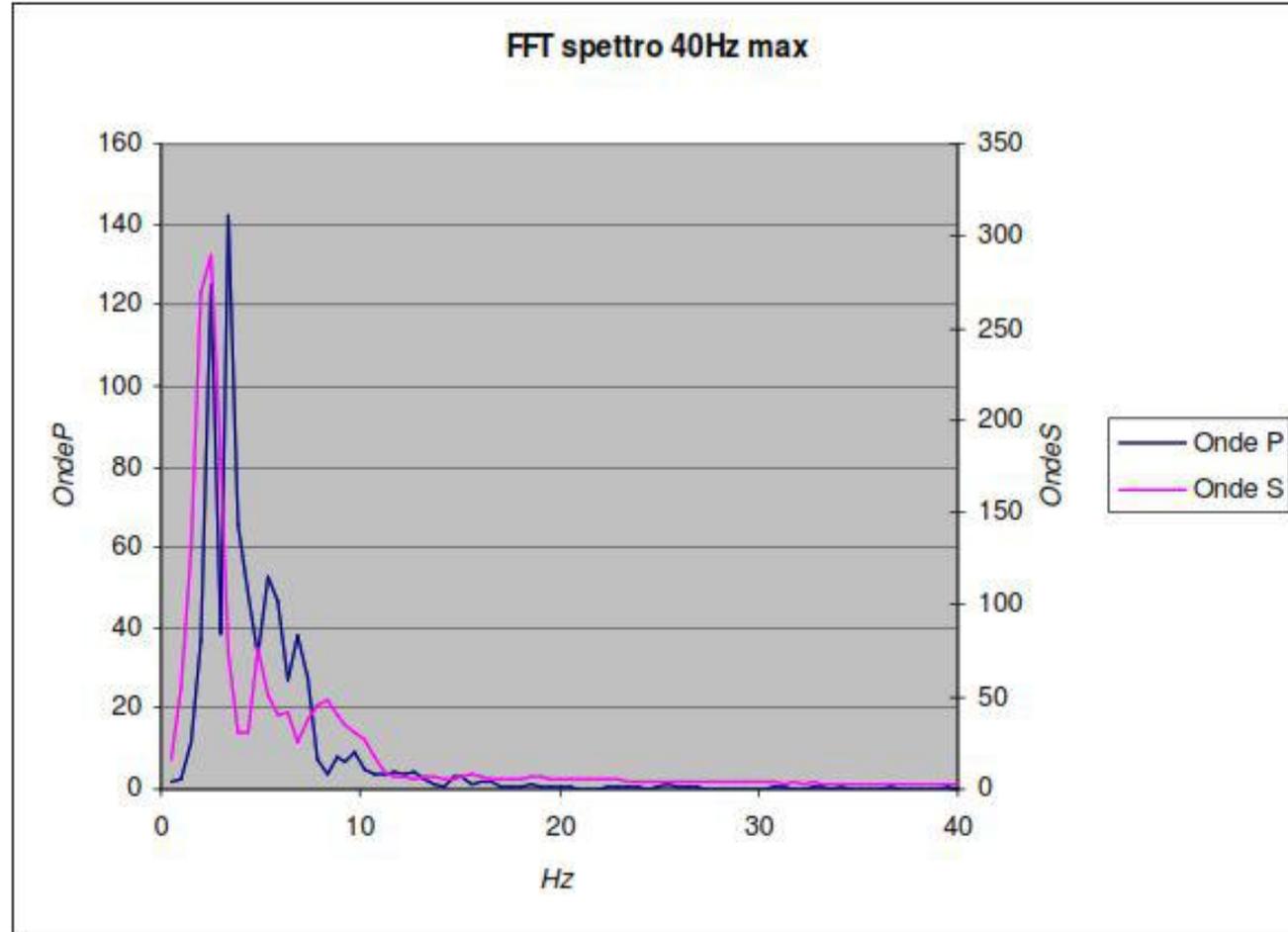


DIAGRAMMA PROFONDITA'/VELOCITA' DELLE ONDE S ALLINEAMENTO N-S



- Dalla quota -5.0 m dal piano di lavoro alla quota di circa - 15.0 m le onde sismiche di taglio V_s hanno raggiunto velocità via via crescenti e si sono attestate ad un valore importante e superiore ai 200 m/sec alla quota di -10.0 m. Dal grafico emerge inoltre che l'effetto sostanziale del Tamping inizia dopo i 7.5 m dal piano di lavoro con un consistente aumento della densità del rifiuto dai 10 m in giù .
- Per quanto riguarda l'abbassamento dal piano di lavoro ottenuto con il Tamping, si è potuto rilevare una subsidenza di circa 90 cm.
- Le misure di ampiezza e attenuazione delle vibrazioni sono analoghe alle prove sismiche a rifrazione: le misure vengono infatti effettuate lungo un allineamento utilizzando più geofoni, valutando l'ampiezza e l'attenuazione subita dal segnale durante la propagazione lungo lo stesso allineamento. Il criterio di analisi di attenuazione dei segnali si è basato sull'analisi dell'ampiezza relativa considerando come 100% del segnale trasmesso l'ampiezza del primo arrivo del geofono posto in prossimità della sorgente (5 m) e utilizzando le ampiezze dei segnali lungo l'allineamento.

Viene riportato a titolo di esempio uno spettro delle vibrazioni indotte dall'impatto del maglio in una stazione in una delle celle di prova



Una volta raccolti e sistematizzati tutti i dati relativi alle misure si evidenzia che gli spostamenti assumono dei valori abbastanza elevati, in alcuni casi superiori a 2 mm/s, che risultano percepibili in modo diretto; tuttavia l'inserimento dei valori nelle tavole di riferimento DIN 4150, che stabiliscono i limiti di tolleranza alle vibrazioni in funzione della frequenza delle stesse per diverse categorie di manufatti, mette in luce che i valori riscontrati risultano decisamente inferiori ai massimi valori di tolleranza stabiliti per la categoria I, in cui va inserita l'area in esame.

Anche in questo caso **l'utilizzo di metodi geofisici ha consentito di valutare il tipo di intervento**, che poi è stato realizzato su tutta la discarica, ottenendo un volume utilizzabile di circa 50.000 mc superiore a quello previsto dal progetto. Inoltre, con il grado di compattazione profonda che era stato raggiunto, i cedimenti successivi alla chiusura della discarica sono risultati molto contenuti ed hanno consentito di realizzare, sopra la copertura, un parco fotovoltaico.

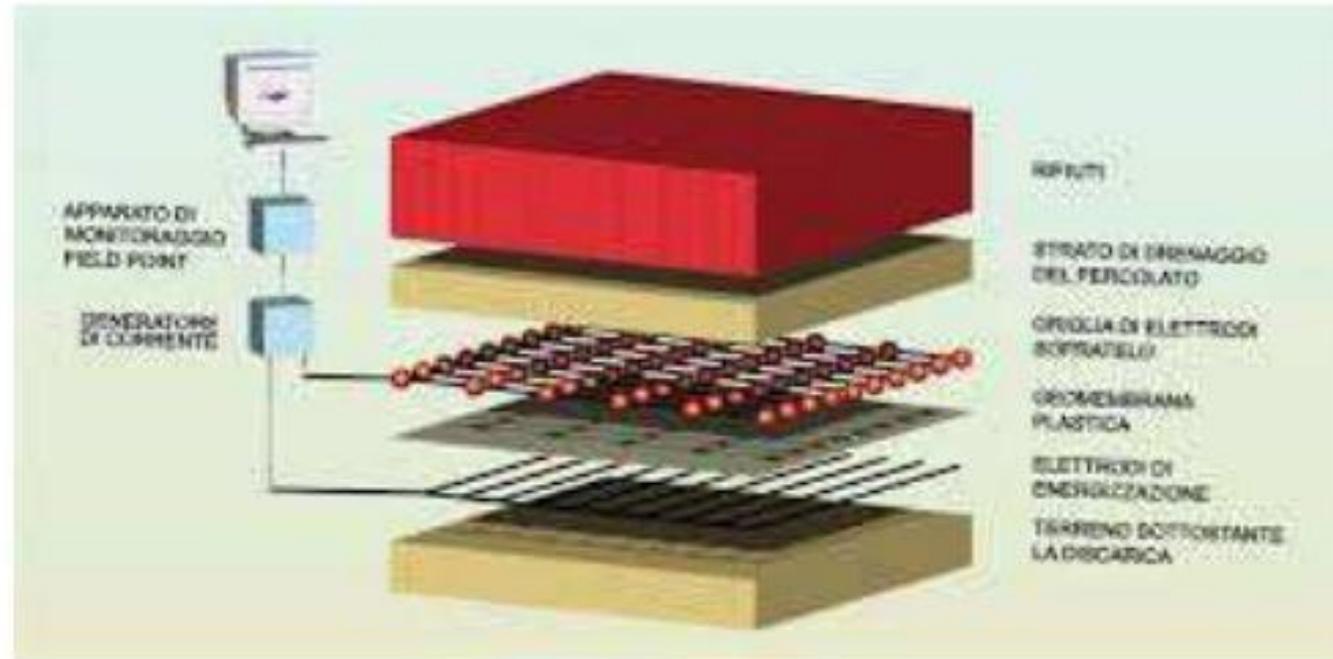
TERZO CASO : MONITORAGGIO CONTINUO DELLA TENUTA DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DI FONDO DI UNA DISCARICA

IN QUESTO CASO, CHE RIGUARDA UNA DISCARICA IN FASE DI PROGETTAZIONE, MA NON ANCORA COSTRUITA, DA LOCALIZZARE IN PROVINCIA DI UDINE, SI PREVEDE DI APPLICARE UN SISTEMA GEOELETTRICO PER IL CONTROLLO IN CONTINUO DELLA IMPERMEABILIZZAZIONE DEL FONDO E, NEL CASO DI LACERAZIONI, DI INDIVIDUARE IL PUNTO (O MEGLIO L'AREA RISTRETTA) NEL QUALE IL FENOMENO SI VERIFICA

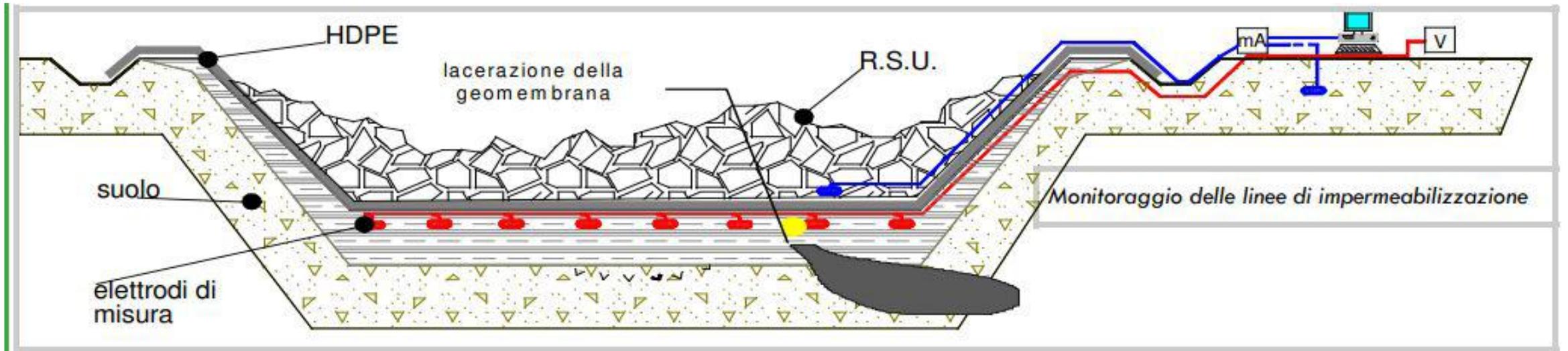
Il metodo si basa sull'utilizzo delle proprietà naturali isolanti delle geomembrane in HDPE, utilizzate nella barriera impermeabile del fondo, per separare elettricamente una matrice di elettrodi posizionati sotto la geomembrana (rete passiva) dagli elettrodi che vengono posizionati sopra la geomembrana (rete attiva).

Con l'applicazione di una tensione elettrica e la misura del potenziale elettrico che viene ad instaurarsi è possibile verificare la continuità dell'isolamento dato dal telo in HDPE. Il bacino, così predisposto, infatti, risulta assimilabile ad un grosso condensatore a facce piane e parallele in cui il dielettrico interposto è costituito dalla geomembrana in HDPE. La caduta di resistività dovuta ad una eventuale lacerazione della geomembrana porta ad un passaggio di corrente che viene segnalato ad un apparato di acquisizione delle correnti. Dal confronto dei segnali provenienti dai vari elettrodi, eseguito su un terminale informatico, è possibile localizzare la perdita con una approssimazione inversamente proporzionale al passo della maglia con cui gli elettrodi sono stati posati in opera.

Schema di massima di un sistema di monitoraggio geoelettrico



Schema di funzionamento del sistema



Nel caso specifico, data la regolarità delle superfici, si è scelto di adottare una maglia di rilevamento di 8 m x 8 m.

Nel progetto l'energizzazione verrà fornita da N.1 generatore di tensione capace di garantire una ddp max di 48V, in corrente continua, e una corrente immessa pari a 20 mA.

Questo sistema, che praticamente determina una scarica cablata, è già in uso in diversi impianti in Italia ed all'estero con risultati più che soddisfacenti.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE