

REGIONE CAMPANIA

PROVINCIA DI SALERNO

COMUNE DI AGROPOLI

M.S.P. – MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE

(ai sensi dell'art. 242 c.7 del D.lgvo 152/2006 e s.m.i.)

DELLA DISCARICA COMUNALE DI RIFIUTI SOLIDI URBANI LOCALITA' "GORGO"

Coordinate Gauss-Boaga E 2.523.629; N 4.464.782

Codice Sito: 5002C001

POR Campania FESR 2007/2013 – Obiettivo Operativo 1.2 attività a) e b)

Sito di discarica comunale inserito nell'anagrafe dei siti da bonificare di cui al Piano Regionale di Bonifica della Campania approvato con D.G.R. n.129 del 27/05/2013 pubbl. sul BURC n.30 del 05/06/2013

PROGETTO OPERATIVO DI BONIFICA ED ESECUTIVO

(ai sensi dell'art. 242 comma 7 del Decreto L.gvo 152/2006 e smi; art. 33 del DPR 207/2010 e smi)

RUP
dott. ing. Agostino Sica

Progettazione:
dott. arch. Gaetano Cerminara (UTC)

dott. arch. Giuseppe Santoro

dott. ing. Guerino Leoni

Geologo: dott. geol. Lucio Gnazzo

4	29/10/2014	Emissione per approvazione del progetto esecutivo giusto D.D.R.C. n.52 del 29/10/2014	G.L.	G.S.	G.L.
0	Aprile 2014	Emissione per approvazione	G.L.	G.S.	G.L.
Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato

TITOLO :

ELABORATI DESCRITTIVI

RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

Note:

Sostituisce il
disegno n°

File:

Allegati

RE.02

il presente disegno e' di nostra proprieta'. Si fa' divieto a chiunque di riprodurlo o renderlo noto a terzi senza nostra autorizzazione

Revisione:

4

Scala:

-

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	4
3. GEOMORFOLOGIA DI DETTAGLIO	9
4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	12
5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI	14
6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI - STIMA DEI PARAMETRI SISMICI ED ELASTICI.....	17
7. COMPATIBILITÀ GEOLOGICA DEGLI INTERVENTI NEL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO.....	26
8. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	29

ALLEGATI:

- ✓ CARTOGRAFIA TEMATICA
- ✓ CERTIFICATI INDAGINI GEOGNOSTICHE
- ✓ DELIMITAZIONE DELL'AREA NEGLI ALLEGATI GRAFICI DEL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

1. PREMESSA

Nelle pagine che seguono vengo esposte le risultanze dello **studio geologico** redatto dallo scrivente **dott. Lucio Gnazzo**, geologo iscritto all'Ordine dei Geologi della Campania al n. 1640, nell'ambito del progetto di dal progetto di **"M.S.P. - Messa in sicurezza permanente ai sensi dell'art.242 c.7 del D. Lgvo 152/2006 e smi DELLA DISCARICA COMUNALE DI RIFIUTI SOLIDI URBANI ALLA LOCALITÀ "GORGO" DI AGROPOLI"**.

Il progetto mira ad intraprendere un'azione definitiva finalizzata alla messa in sicurezza della discarica da attuarsi mediante interventi atti a conseguire la protezione delle matrici ambientali suolo, sottosuolo e acque di falda, dai fenomeni di percolazioni che si originano dagli accumuli di rifiuti.

Gli interventi previsti in progetto sono di seguito elencati.

- Pulizia preliminare del sito;
- Allestimento del cantiere;
- Ripristino funzionale dell'esistente sistema di raccolta del percolato;
- Gestione del percolato durante l'intervento;
- Sistemazione, riconfigurazione e stabilizzazione della superficie a giorno dei corpi di discarica (Impermeabilizzazione del corpo di discarica e regimentazione, allontanamento delle acque zenitali);
- Realizzazione di una viabilità interna alla discarica;
- Implementazione del sistema di captazione del biogas;
- Realizzazione del diaframma impermeabile a valle dell'area di discarica, con relativa rete di drenaggio e raccolta della discarica;
- Realizzazione di nuovi pozzi per l'emungimento del percolato e del relativo sistema di collettamento di nuovi serbatoi di stoccaggio;
- Realizzazione di un piccolo edificio ad uso ufficio e servizi;
- Impianto antincendio;
- Impianto elettrico e di illuminazione;
- Impianto di videosorveglianza;
- Gestione dei materiali provenienti da scavo;
- Recinzione dell'area di discarica;
- Interventi di ripristino ambientale.

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione tecnica generale ed agli elaborati di progetto.

Scopo del presente lavoro è stato di caratterizzare dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico, stratigrafico e geotecnico i terreni dell'area, di

verificare le condizioni di stabilità del sito interessato dalle strutture di fondazione dei manufatti e per essi ricercare i parametri fisico-meccanici al fine di fornire al tecnico progettista un quadro il più esauriente possibile per un responsabile e corretto dimensionamento e verifica delle stesse in funzione dei sovraccarichi indotti dalle opere che si andranno a realizzare.

Pertanto, al fine di accertare l'idoneità dell'area agli scopi progettuali, si è proceduto, in via preliminare, all'esame della cartografia esistente ed all'interpretazione di aerofotogrammetrie della zona e, successivamente, è stato effettuato un dettagliato rilevamento geologico e geomorfologico sia dell'area direttamente interessata dagli interventi progettuali sia di quelle limitrofe su di una superficie adeguatamente estesa.

Particolare attenzione è stata rivolta a ricercare ed escludere eventuali modificazioni arrecate dagli interventi all'assetto geomorfologico ed idrogeologico delle aree d'intervento tali da comportare un aumento della pericolosità e del rischio di dissesti del versante interessato.

Lo scopo del lavoro, inoltre, è stato quello di pervenire ad una ricostruzione il più fedele possibile del modello geologico e idrogeologico dell'area destinata a discarica e pertanto direttamente interessata dagli interventi progettuali nonché delle aree adiacenti per una significativa estensione e soprattutto in funzione della vulnerabilità dei terreni all'inquinamento, delle indicazioni da fornire ai progettisti utili a individuare, progettare e dimensionare gli interventi per la messa in sicurezza della discarica.

A tale fase preliminare ha fatto seguito un esame più particolareggiato, dedicato alla ricostruzione della successione litostratigrafica rappresentativa del sito ed alla caratterizzazione geomeccanica dei litotipi d'impasto dei manufatti ed, infine, alla definizione delle caratteristiche dello stesso in Prospettiva Sismica.

Tutti i dati acquisiti in situ, infine, sono stati confermati da quelli di carattere stratigrafico, litotecnico e geofisico desunti da numerosi sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove di laboratorio su campioni indisturbati ed indagini sismiche in foro e di superficie espletate nelle precedenti fasi progettuali ed in lavori eseguiti in zone contigue a quelle in studio delle cui risultanze è stata presa visione diretta dallo scrivente.

In particolare sono state utilizzate le risultanze delle indagini in situ, riportate nello studio geologico ed idrogeologico della investigazione iniziale a corredo del *"Piano di caratterizzazione del sito ai sensi del D.Lgs. n. 152/2006"* (4 sondaggi P1, P2, P3, P4) e delle indagini per la definitiva caratterizzazione ambientale (6 sondaggi P5, P6, P7, P8) in situ eseguite nell'ambito del piano di caratterizzazione ambientale.

In aggiunta ai rilievi di campagna ed a completamento delle informazioni raccolte è stata programmato n. 1 sondaggio a carotaggio continuo ambientale con prelievo di n. 4 campioni di terreno su cui sono state eseguite determinazioni analitiche preliminari ai sensi dell'art.242 c.2 del D.Lgvo 152/2006 e s.m.i. al fine di determinare la presenza o meno dell'inquinamento.

L'inquadramento geomorfologico del territorio è stato definito ricorrendo alle osservazioni di superficie condotte in fase di ricognizione sul terreno e ad un'attenta consultazione della cartografia tematica esistente, delle foto aeree della zona e della bibliografia specialistica reperita. I dati ottenuti sono stati integrati con l'ausilio del Foglio 209 di Vallo della Lucania (SA) della Carta Geologica d'Italia 1:100000 e relative note descrittive.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in oggetto è rappresentata da una fascia di terreno compresa tra la Strada Provinciale 45 che collega Agropoli con Prignano, a monte, e la Variante alla S.S. 18 a valle ed è ubicata alla Località Gorgo al confine dei territori comunali dei Comuni di Agropoli (SA) e Prignano (SA). Si estende sul versante meridionale di una modesta dorsale collinare allungata in direzione E-W, ad una quota altimetrica compresa tra ca. 175 e 150 metri s.l.m. ed è individuabile al Foglio 503 – Sezione IV – Ogliastro Cilento (SA) della Carta Topografica d'Italia – Serie 25 (**Figura 1**) e negli Elementi n. 503051 - "Prignano Cilento" e 503054 - "Frascinelle" della Carta Tecnica Regionale della Regione Campania (**Figura 2**) in scala 1:5000

Il territorio esaminato, ricade nell'Unità fisiografica nota in letteratura come Unità del Cilento. Le formazioni caratterizzanti le aree collinari (**CARTA GEOLITOLOGICA**) sono rappresentate dalla **Formazione di S. Mauro** appartenente alla serie conosciuta in letteratura come **Flysch del Cilento** che rappresenta una potente successione torbiditica, tipica della regione cilentana, in cui distinguiamo una porzione basale essenzialmente argilloso-calcarenitica (**Formazione delle Crete Nere**), una porzione intermedia prevalentemente arenacea (**Formazione di Pollica**), ed una porzione superiore prevalentemente arenaceo-conglomeratica (**Formazione di S. Mauro**). Lo spessore complessivo è dell'ordine dei 4000-4500 metri.

La ricostruzione stratigrafica della successione torbiditica arenaceo- marnosa- argillosa nota come **Flysch del Cilento**, è stata oggetto di numerose revisioni stratigrafiche ed interpretazioni paleogeografiche (Ietto ed al., 1965) nelle quali è stata considerata stratigraficamente continua, di età compresa tra il Cretacico inferiore e l'Oligocene-Aquitano, edevolventesi da facies torbiditiche distali a facies via via

RE.02 - RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

RE.02 - RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

più prossimi. Recentemente, sulla scorta di nuovi rilevamenti delle situazioni di campagna e dati biostratigrafici, questa successione è stata suddivisa in due Unità (Bonardi ed al., 1988) e precisamente: una inferiore, denominata Nord-Calabrese, di età Cretacica-Eocenica, costituita da termini appartenenti alle Unità Liguridi (**Formazione delle Crete Nere** e del **Saraceno**); un'altra superiore, denominata **"Gruppo del Cilento"**, poggianti in discordanza angolare sulla prima e che rappresenta un ciclo sinorogeno di età Burdigaliano–Langhiano a cui sono riferibili le **Formazioni di Pollica e di San Mauro**.

Procedendo dall'alto verso il basso stratigrafico, la **Formazione di S. Mauro** è caratterizzata da alternanze di banchi e strati di conglomerati e arenarie conglomeratiche con esigue intercalazioni pelitiche, affioranti nella successione del Monte della Stella, e in basso da alternanze arenaceo-pelitiche cui sono intervallati caratteristici livelli di marna fogliarina di spessore variabile da pochi metri ad alcune decine di metri. Inoltre nella parte alta della successione, in affioramento nella sezione del Monte della, sono da menzionare la presenza di due megastrati marnosi dello spessore rispettivamente di 65 m e 35 m.

In particolare, nel territorio di Agropoli, si possono individuare tre Unità litostratigrafiche appartenenti al **"Gruppo del Cilento"** ed in particolare alla **Formazione di San Mauro**. Queste Unità litostratigrafiche, possono essere distinte, procedendo dal basso verso l'alto stratigrafico in:

Membro Marnoso–Arenaceo, (M-A) caratterizzato da marne cineree a frattura amigdaloidale (fogliarina) che a luoghi presentano caratteri maggiormente calcarei; affiorano in livelli con spessori di qualche metro intercalati da livelli arenacei e pelitici. Questo membro è predominante ed affiora diffusamente ed estesamente sui rilievi collinari di Agropoli e nell'area in esame.

Membro Arenaceo – Pelitico (A-P) caratterizzato da alternanze ritmiche di strati arenacei e pelitici. Gli strati arenacei hanno spessori compresi fra 5 e 30 cm; mentre quelli pelitici hanno spessori compresi fra 5 e 20 cm. Il rapporto fra arenaria/pelite è sempre inferiore a 4. La composizione delle arenarie è prevalentemente quarzoso micacea. Presenta un assetto strutturale variabile da regolare a contorto, presentando localmente strutture plicative a medio e piccolo raggio di curvatura.

Membro Arenaceo–Pelitico–Grossolano (A-P-G) caratterizzato dall'alternanza ritmica di strati arenacei gradati di spessore variabile tra i 15 ed i 60 cm e peliti con spessore variabile tra i 5 ed i 10 cm. La composizione dei litotipi arenacei è prevalentemente quarzosa – feldspatica e subordinatamente micacea. Il rapporto arenaria/pelite è sempre superiore a 4. Questo membro affiora nella zona Sud Occidentale di Agropoli in corrispondenza delle zone più elevate (Monte Tresino).

Nell'area in esame, la formazione affiora diffusamente in corrispondenza di numerosi tagli naturali ed artificiali, ed è costituita dall'alternanza di arenarie quarzoso-micacee e marne fissili "fogliarina" in banchi e strati di spessore variabile dai 5 ai 30 cm e siltiti marnose di spessore variabile dai 5 ai 20 cm con intercalati livelli di siltiti e siltiti marnose. Si presenta discretamente fratturata soprattutto nella sua porzione corticale a seguito delle dislocazioni tettoniche subite durante l'orogenesi appenninica. Le arenarie, di colore prevalentemente bruno-rossastro ed avana, presentano una grana medio-fine ed una buona uniformità. Le marne e le siltiti, di colore grigio ed avana, presentano una discreta scistosità parallela alla giacitura degli strati che unitamente alla presenza di fitti piani di frattura e di debolezza ortogonali ai giunti di strato, conferisce al deposito, principalmente nella sua porzione corticale, una diffusa scagliosità. La formazione è ricoperta da una coltre di alterazione che, dal punto di vista granulometrico, rappresenta un deposito costituito essenzialmente da ciottoli e blocchi di arenarie di colore bruno rossastro ed avana ed abbondanti scaglie di natura siltosa e siltoso-marnosa immersi in una matrice di natura limo-argillosa debolmente sabbiosa. In essa si riconosce uno strato superficiale di terreno agrario anch'esso di spessore variabile, che si differenzia dalla restante porzione di alteriti per la presenza di abbondante materia organica e per l'incremento sostanziale della frazione limo-sabbiosa. Anche qui sono presenti numerosi ciottoli e blocchi di natura arenacea e scaglie di natura siltosa e siltoso-marnosa.

Il **complesso alluvionale** si estende alla base dei versanti dei rilievi collinari ed è connesso alle diverse fasi erosive e deposizionali dei corsi d'acqua che hanno agito su un basamento costituito dalla Formazione Calcarea-Marnoso-Arenacea. Questa formazione di facies continentale, di età Plio-Pleistocenica è costituita da alternanze lenticolari limi, sabbie, limi sabbiosi ed argille terrose e torbose. Subordinatamente si rinvencono livelli ghiaiosi. La giacitura di questi strati è di norma sub-orizzontale con strati di forma lenticolare ed aventi disposizione incrociata. La stratigrafia è estremamente variabile, per le particolari modalità di deposizione che si stabiliscono in un bacino alluvionale.

Il raccordo morfologico tra le aree rilevate e i terreni alluvionali è costituito per lo più da detrito di falda, sciolto o debolmente cementato, frammisto a materiale granulometricamente fine quali limi, limi argillosi e sabbie. Questi depositi bordano con continuità i fianchi dei versanti, con spessori variabili da alcune decine di centimetri nelle zone alte fino ad una decina di metri nei fondovalle.

3. GEOMORFOLOGIA DI DETTAGLIO

I versanti della dorsale assumono per ampi tratti la tipica morfologia conseguente all'evoluzione geomorfologica dei versanti costituiti dalle serie flyscioidi. Il profilo lungo una sezione di tali pendii assume le caratteristiche concavo-convessità, risulta molto articolato ed assume inclinazioni variabili. Per le serie flyscioidi, infatti, costituite dall'alternanza più o meno regolare di terreni a diversa resistenza alla degradazione chimica e fisica ed agli agenti morfoevolutivi, grande influenza gioca l'erosione differenziale. Il versante è, inoltre, caratterizzato da un discreto reticolo idrografico superficiale, costituito da incisioni piuttosto approfondite, tipiche di terreni scarsamente permeabili, tant'è che in periodi di intense precipitazioni si ha un ruscellamento molto intenso che provoca erosioni lineari piuttosto approfondite.

La **CARTA GEOMORFOLOGICA**, riportata in calce alla presente, riveste un'importanza rilevante nella definizione delle attitudini di un territorio per la molteplicità dei fenomeni riportati. Nella sua stesura sono state perimetrate le aree in dissesto attivo e quiescente. In particolare in essa sono stati indicati i seguenti elementi:

Frane attive - Per frane attive si intendono quei dissesti di natura gravitativa per i quali si hanno notizie certe di movimenti negli ultimi decenni oppure dove, in assenza di resoconti certi sul verificarsi di detti movimenti, da sopralluoghi o osservazione di foto aeree emergano segni evidenti di ripresa dei fenomeni. La probabilità che possano verificarsi è quindi elevata..

Frane quiescenti - Si tratta delle frane per le quali non vi sono notizie di riattivazioni recenti o che non sono emersi nel corso del lavoro indizi evidenti di recenti riprese del fenomeno. Il rischio di riattivazione di detti movimenti, sebbene non elevato, è significativo e pertanto non è trascurabile.

Ruscellamento diffuso ed erosione concentrata - Si tratta di aree in cui per vari fattori (caratteristiche del substrato, l'esposizione e la pendenza dei versanti, incendi) l'azione delle acque correnti non consente la formazione di un manto vegetale stabile e continuo, causando la progressiva erosione del suolo. Si tratta di aree sulle quali più facilmente si sviluppano modesti movimenti di frane in quanto

non in grado di trattenere anche modestissimi apporti meteorici. Le erosioni concentrate sono tipiche delle aste torrentizie che presentano evidenti processi erosivi di fondo, con tendenza all'abbassamento dell'alveo. Sono stati individuati sia tramite fotointerpretazione, sia sulla base di segnalazioni specifiche e del rilevamento di superficie effettuato. Si tratta fenomeni che possono essere causa di dissesti di natura idraulica e che favoriscono lo sviluppo di frane.

In particolare nella carta geomorfologica sono stati delineati i limiti di due movimenti quiescenti che si sono verificati e riattivati a più riprese immediatamente a ridosso della SP 45 che collega Agropoli con Prignano Cilento.

Il primo è ubicato sul lato occidentale del sito destinato allo stoccaggio dei R. S. U.. Lo scrivente redigeva per conto della Provincia di Salerno uno studio geologico e geomorfologico a corredo dei lavori di somma urgenza di consolidamento del movimento franoso.

Il coronamento della frana aveva una lunghezza di ca. 55,00 metri e la nicchia di distacco aveva raggiunto la sede stradale della quale ne aveva provocato il parziale franamento. Il corpo principale si estendeva per una lunghezza di ca. 25,00 metri ed una larghezza di ca. 50,00 metri. La presenza di una scarpata principale e alcune scarpate minori all'interno di esso delineavano le tipiche evidenze geomorfologiche di uno scorrimento-colata. Dalle caratteristiche geometriche descritte e dalle evidenze geomorfologiche, nonché dalla ricostruzione litostratigrafica di cui si dirà in seguito, si evince che il piano di scorrimento non è profondo e che ha interessato la coltre alteritica della formazione di base.

Nella carta geomorfologica sono altresì rappresentate anche le ubicazioni di due invasi e di un piazzale industriale ubicato a monte degli stessi utilizzati per lo stoccaggio temporaneo dei R. S. U.. Lo scrivente ha redatto nel mese di Agosto 2006 per conto del CONSORZIO RIFIUTI SALERNO 4 e nel mese di Gennaio 2008 per conto del Comune di Agropoli gli studi geologici ed idrogeologici a corredo rispettivamente del piazzale industriale e dell'invaso situato a W.

In tali studi, pur constatando la compatibilità geologica degli interventi limitatamente alla realizzazione sia del piazzale e che dell'invaso, segnalava l'esistenza di un fenomeno di dissesto verificatosi, in più riprese, immediatamente a monte dell'area di sedime nel periodo invernale dell'anno 2005 che aveva interessato un ampio settore del versante. In particolare la nicchia di distacco raggiungeva la strada provinciale ed il cumulo aveva invaso la zona tabulare su cui è stato realizzato il piazzale industriale. La frana ha le tipiche caratteristiche di un movimento gravitativo complesso del tipo scorrimento rotazionale-colata con un piano di frattura che ha

interessato la coltre detritica che nell'area in dissesto assume spessori più elevati. Alla luce di quanto esposto l'esecuzione della piazzola veniva subordinata alla previsione di adeguate ed indispensabili opere di contenimento e consolidamento del fenomeno. In tale fase di emergenza si provvedeva alla realizzazione di una gabbionata di due file di blocchi di calcestruzzo ed opportune opere di canalizzazione delle acque dilavanti e superficiali. Tali opere sono risultate sufficienti a contenere il fenomeno verso valle ma non sono tali da costituire un definitivo consolidamento dell'area che versa in una condizione di precarietà. Infatti, il fenomeno franoso è in stato di quiescenza e si potrà riattivare in qualsiasi momento e soprattutto in concomitanza con eventi meteorici sfavorevoli. L'invaso realizzato nel mese di Gennaio 2008, invece, è stato ubicato sul lato W di una vasca preesistente in corrispondenza di un terrazzo morfologico di origine antropica che non ha richiesto la realizzazione di alcun opera di sbancamento che avrebbe potuto pregiudicare la stabilità dell'area. Inoltre, veniva segnalato che la zona prescelta per la realizzazione del nuovo vaso era ubicata in una posizione defilata rispetto all'area di influenza del citato dissesto per cui si escludeva qualsiasi coinvolgimento della nuova opera in eventuali fenomeni gravitativi.

Ad ogni modo, dalle risultanze dello studio a corredo dei lavori di consolidamento citato in precedenza, si evinceva che il nuovo dissesto non aveva alcun collegamento né con il precedente fenomeno gravitativo né tantomeno con le opere che erano state realizzate. Le cause del fenomeno erano da imputare a fattori morfologici e idrogeologici. Tale area, infatti, è situata in corrispondenza di linee di deflusso preferenziale delle acque dilavanti superficiali. In tutta l'area di competenza, come detto, prevalgono affioramenti di litologie poco permeabili o impermeabili che determinano un regime fortemente legato al ruscellamento e quindi alla distribuzione ed all'entità delle precipitazioni. A seguito degli eventi piovosi di rilevante entità verificatisi nella prima settimana del mese di Marzo 2008 si è originata una serie di rivoli confluenti nell'area che, saturando gli strati superficiali, sciolti e per di più a prevalente componente argillosa, ne hanno degradato le caratteristiche meccaniche provocando il successivo innesco del dissesto.

Pertanto la Provincia di Salerno provvedeva immediatamente al consolidamento ed alla messa in sicurezza dell'area. In sintesi l'intervento di consolidamento è consistito nella realizzazione di due file di gabbionate ubicate a quote diverse e poggianti sulla formazione di base: una a monte, a ridosso della sede stradale della S.P. 45, ed una a valle, in corrispondenza dell'unghia della frana. Infine si procedeva alla rimozione del materiale instabile e successivamente alla modifica della geometria del pendio realizzando una superficie a debole pendenza di raccordo fra le due gabbionate in modo tale da ridurre gli sforzi tangenziali agenti lungo la superficie di

potenziale scivolamento.

L'invaso in oggetto, come evidenziato nelle planimetria allegata nelle pagine seguenti è stato realizzato nell'area immediatamente a valle della fila della gabbionata inferiore.

Un ultimo fenomeno evidenziato è rappresentato dal cedimento del rilevato stradale della S.P. 430 il cui tracciato si sviluppa a valle dell'area della discarica. Il fenomeno, avvenuto nella stagione invernale dell'anno 2013, ha provocato una nicchia di distacco il cui coronamento raggiunge il centro della carreggiata della superstrada con un'estensione di ca. 45,00 metri. La zona interessata dal dissesto è inclusa in un più ampia area, delimitata nella carta geomorfologica, in cui sono evidenti i segni di antichi movimenti, per lo più quiescenti o inattivi, classificati come scorrimento-colata. Il fenomeno risulta circoscritto e non sembra avere nessuna correlazione con eventuali movimenti di massa e verosimilmente è connesso ad un decadimento delle caratteristiche meccaniche dei terreni conseguente ad un elevato grado di saturazione a seguito di eventi meteorici eccezionali che si sono verificati all'epoca del dissesto.

4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

I termini flyscioidi possono essere considerati omogenei dal punto di vista idrogeologico, tanto da essere raggruppati in uno stesso complesso idrogeologico denominato arenaceo-marnoso-argilloso (GUIDA et alii, 1980). Il grado e il tipo di permeabilità variano da strato a strato, tuttavia la presenza ritmica degli interstrati pelitici e la loro grande continuità laterale conferiscono all'insieme uno scarso grado di permeabilità, per porosità e subordinatamente per fratturazione. Infatti si passa da arenarie a grana fine scarsamente acquifere aventi una modesta permeabilità per porosità e per fratturazione, a termini marnosi ed argillosi praticamente impermeabili. Pertanto, nel complesso arenaceo-marnoso-argilloso la circolazione idrica sotterranea è esigua a causa di una permeabilità globale notevolmente bassa (C.I.P. 20%) e si instaura nella fascia di alterazione superficiale. In definitiva, questo complesso sia per l'estensione di affioramento e sia per i caratteri di permeabilità, assume il ruolo di impermeabile di base.

I termini marnosi costituiscono il complesso idrogeologico marnoso-calcareo caratterizzato da un grado di permeabilità superiore a quello del complesso precedente e da un tipo di permeabilità per fratturazione e subordinatamente per porosità. Il grado di approfondimento della circolazione idrica sotterranea è legato allo sviluppo delle fratture ed allo stato di intasamento delle stesse, ma nel complesso

sembra essere piuttosto superficiale.

Questo complesso costituisce, sebbene in termini relativi, il migliore acquifero dell'area al quale afferiscono le principali sorgenti. Nel caso specifico le emergenze sorgentizie sono legate al contatto laterale con il complesso idrogeologico precedente o a variazioni laterali della permeabilità legate alla disomogenea distribuzione delle fratture nell'ambito dell'ammasso roccioso.

Per quanto attiene alle principali caratteristiche dei complessi idrogeologici, le formazioni geologiche cartografate sono state, come detto in precedenza, raggruppate in base alle loro caratteristiche idrogeologiche.

In particolare, si sono distinti i seguenti complessi idrogeologici:

DEPOSITI DETRITICI ELUVIALI E COLLUVIALI

Sono depositi di natura eluviale e colluviale costituiti da detrito arenaceo-marnoso in abbondante matrice limo-argillosa. La permeabilità primaria è scarsa per porosità. La falda è di tipo discontinuo e variabile come piezometrica in relazione alle caratteristiche morfologiche ed allo spessore dei detriti argillosi. Si riscontra, nei pozzi antichi poco profondi, la presenza di acqua a profondità variabile da 6,00 a 12,00 metri dal p. c.. Trattasi, comunque, di modesti accumuli di acqua.

COMPLESSO MARNOSO-ARENACEO-PELITICO

È costituito da alternanze di marne, arenarie e quarzoareniti con intercalate siltiti e calcari marnosi. Le caratteristiche di permeabilità di questo complesso sono legate alla composizione granulometrica; dove prevalgono i termini litoidi si può avere una certa percolazione soprattutto lungo i giunti di stratificazione e le fratture; dove invece prevale la componente argilloso-marnosa si ha infiltrazione modesta o quasi nulla. Il grado di permeabilità complessivo della formazione rimane comunque molto basso o nullo ed è da considerarsi praticamente impermeabile.

Dalla carta idrogeologica allegata nella parte medio alta del bacino di alimentazione che racchiude il versante in esame si ha la prevalenza di una circolazione superficiale che la maggior parte dei casi segue l'andamento delle strade esistenti per canalizzazione e diffusa lungo i versanti; invece nella parte medio bassa si ha oltre il corpo dei rifiuti della discarica anche degli accumuli detritici di terreno di varia origine che facilitano dei processi di ristagno idrico o locali fenomeni di plasticizzazione e ruscellamento diffuso non essendoci a valle una regimazione soddisfacente delle acque.

Da quanto detto si individua un complesso idrogeologico principale denominato

complesso idrogeologico ARENACEO-MARNOSO-ARGILLOSO, costituito da strati e straterelli di arenarie quarzose fratturate con intercalazione di argille-marnose la cui frequenza aumenta con la profondità. Nello strato superficiale più alterato sono state rinvenute dei livelli idrici che rappresentano delle falde idriche statiche stagionali; per cui si ha una permeabilità per porosità e fessurazione scarsa. Invece a valle delle discariche dismesse si ha una coltre detritica di varia origine costituita prevalentemente da materiale di sbancamento, con ciottoli di arenarie quarzose eterometrico in una matrice argillosa marnosa. Come mostrato dalla lettura dei piezometri eseguita nella fase della caratterizzazione la falda effimera superficiale è poco profonda infatti si hanno dei ristagni idrici nella parte superficiale di questi terreni rimaneggiati formando dei livelli di saturazione superficiale stagionale; quindi la permeabilità per porosità di questi terreni è scarsa, tuttavia a luoghi si può avere una permeabilità relativa rispetto al sottostante substrato argillitico.

Si evidenzia che la realizzazione del diaframma impermeabile a valle del corpo discarica potrà generare una falda a monte di cui nelle calcolazioni geotecniche dovrà tenersi conto.

Nel modello geotecnico (allegato al progetto) per la verifica di stabilità è stata considerata a vantaggio di sicurezza la presenza di una eventuale falda generata dalla interazione della circolazione sotterranea con il diaframma impermeabile; detta falda è stata ipotizzata con un andamento crescente da valle verso monte (gradiente pari a $i=1$ m/100 m) a partire dalla superficie di drenaggio e captazione del percolato a tergo del diaframma impermeabile.

5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

La ricostruzione della stratigrafia e la valutazione dei parametri geotecnici sono stati ottenuti mediante la correlazione dei dati emersi dal rilevamento di dettaglio con le risultanze di indagini geognostiche eseguite nelle aree d'intervento. In particolare sono state utilizzate le stratigrafie di numerosi sondaggi a carotaggio continuo, la cui ubicazione è riportata nella planimetria dell'allegato grafico riportato in calce alla presente.

In tal modo è stato possibile acquisire tutti gli elementi che hanno consentito di ricostruire la sequenza litostratigrafica delle aree investigate.

Nella tabella che segue viene fornita una rappresentazione stratigrafico-geotecnica dei principali orizzonti riportati nelle stratigrafie i cui rapporti sono schematicamente illustrati nella sezione riportata nella Figura 3 delle pagine seguenti.

Orizzonte	Descrizione	γ_n [g/cm ³]	ϕ [°]	c [kg/cm ²]	E_{ed} [kg/cm ²]
1	<i>ORIZZONTE A</i> Strato superficiale di terreno di riporto e di terreno agrario	1,850	19	0,10	40
2	<i>ORIZZONTE B</i> Ammasso di rifiuti solidi urbani	0,700	25	0,10	15
3	<i>ORIZZONTE C</i> Argilliti marnose con intercalati livelli di arenarie	1,980	32	0,10	440
4	<i>ORIZZONTE D</i> Marne calcaree ed arenarie quarzoso-minacee in banchi	2,050	42	0,00	800

dove:

profondità = profondità del letto dello strato dal piano di campagna;

potenza = potenza dello strato;

γ_n = peso di volume naturale;

ϕ = angolo d'attrito interno;

c = coesione

E_{ed} = modulo di compressibilità edometrica

Per le aree in cui sono previste opere strutturali si potrà, invece fare riferimento alla seguente schematizzazione:

SCHEMATIZZAZIONE GEOTECNICA						
Strato	Profondità media (<i>potenza media</i>)	Descrizione	γ_n [g/cm ³]	ϕ [°]	c [kg/cm ²]	E_{ed} [kg/cm ²]
1	da 0 a 1,00 m (1,00 m)	Terreno agrario, di riporto e terreni di copertura rimaneggiati	1,850	19	0,10	40
2	da 1,00 a 5,00 (4,00)	Argilliti marnose con intercalati livelli di arenarie	1,980	32	0,10	440
3	da 5,00	Marne calcaree ed arenarie quarzoso-minacee in banchi	2,050	42	0,00	800

La coltre superficiale di terreno agrario, che ha una potenza di ca. 1,00 metri, è dotata di scadenti caratteristiche meccaniche e non riveste quindi, alcun interesse



geotecnico. Per il resto, si evince chiaramente che nel complesso i litotipi sono dotati di buoni parametri geotecnici.

Per quanto attiene alla caratterizzazione della formazione di base si fa rilevare che la natura dei terreni è notoriamente eterogenea per la coesistenza di una componente litoide, a comportamento fragile ed ad elevata resistenza meccanica, con una componente argillitica, a comportamento duttile ed a bassa resistenza meccanica, che rende la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso estremamente problematica, anche se concettualmente riconducibile alla composizione delle resistenze dei due tipi di materiali geologici. Nell'incertezza, il comportamento dell'ammasso viene molto spesso assimilato, per scopi pratici, e molto spesso in maniera eccessivamente cautelativa, alla sola resistenza della componente argillitica.

Solo di recente è stato possibile disporre di strumenti teorici che consentissero la valutazione empirica della resistenza al taglio degli ammassi flyscioidi. Ciò è accaduto dopo l'accettazione da parte della Comunità Scientifica Internazionale del criterio di rottura degli ammassi rocciosi proposto da Hoek & Brown (1997), basato sulla determinazione dell'indice GSI (Geological Strength Index), e dopo l'adattamento dello stesso alle formazioni flyscioidi (Marinos & Hoek, 2000), altrimenti note nella geologia tecnica come formazioni strutturalmente complesse (Esu, 1977).

Nel caso specifico, Marinos & Hoek (2000) hanno proposto un adattamento del grafico, ideato da Hoek & Brown (1997), alle formazioni strutturalmente complesse dal quale, in base al grado di complessità strutturale, può essere ricavato l'indice GSI.

I valori di angolo di attrito e di coesione riportati nelle tabelle precedenti sono stati ricavati dalla letteratura e sono stati stimati come derivati dalla interpolazione lineare dell'involuppo di rottura relativa all'intervallo di tensione normale al piano di rottura corrispondente alla profondità di 10,00 metri.

6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI - STIMA DEI PARAMETRI SISMICI ED ELASTICI

Caratteristica peculiare della risposta sismica di un sito sono, oltre alle caratteristiche geolitologiche, anche i contenuti delle vibrazioni spettrali in arrivo, e la loro interazione positiva con la frequenza propria dei manufatti. Infatti, in presenza di siti costituiti da terreni capaci di attenuare il passaggio delle onde sismiche, ed in presenza di epicentri poco profondi si possono avere fenomeni di amplificazione.

Le "Norme Tecniche per le Costruzioni" - D.M. del 14/01/2008, pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 con Supplemento Ordinario n. 30,

definiscono le regole da seguire per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni, sia in zona sismica che in zona non sismica. Esse forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere. Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica di un sito deve essere valutata sia in termini geografici (condizioni topografiche del sito) che in termini temporali (vita di riferimento della costruzione); tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- ❖ in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale.
- ❖ in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- ❖ per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tenere conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, sul sito di riferimento rigido ed orizzontale, in funzione di tre parametri:

- ❖ a_g accelerazione orizzontale massima del terreno (espresso in $g/10$);
- ❖ F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (parametro adimensionale);
- ❖ T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in secondi).

I Valori a_g , F_0 , e T_c^* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'allegato B delle NTC. Per l'individuazione reticolo di appartenenza del sito si potrà fare riferimento alle seguenti coordinate espresse in

gradi decimali e riferite al sistema geodetico WGS84.

Le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni stabiliscono che ai fini della valutazione delle azioni sismiche di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. In assenza di tali studi si può utilizzare la seguente classificazione dei terreni di seguito descritta:

La classificazione deve interessare i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed un substrato roccioso rigido di riferimento (*bedrock*). Si effettua sulla stima delle velocità medie delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità (velocità equivalente delle onde di taglio) definita dalla seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

dove h_i e v_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori. In alternativa possono essere utilizzati il valore di **$N_{SPT,30}$** (per terreni prevalentemente granulari) o di **$C_u,30$** (per terreni coesivi). Con riferimento alle proprietà del suolo di fondazione, viene proposta l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque tipologie di suoli (A - B - C - D - E) più altri due speciali (S1 e S2), da individuare in base allo schema riportato nella pagina seguente.

Nel metodo sismico Down Hole (DH) viene misurato il tempo necessario per le onde P e S di spostarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di un foro di sondaggio (**Figure 4 e 5**).

Le componenti indispensabili per una misura DH accurata consistono:

- 1) una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche ricche di energia e direzionali;
- 2) uno o più geofoni tridimensionali, con appropriata risposta in frequenza (4,5-14 Hz), direzionali e dotati di un sistema di ancoraggio alle pareti del tubo-foro;
- 3) un sismografo multi-canale, in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale e di registrarle su memoria di massa;
- 4) un trasduttore (*trigger*) alloggiato nella sorgente necessario per l'identificazione dell'istante di partenza della sollecitazione dinamica mediante massa battente.

CLASSE	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s ($N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero con valori di $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s ($N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

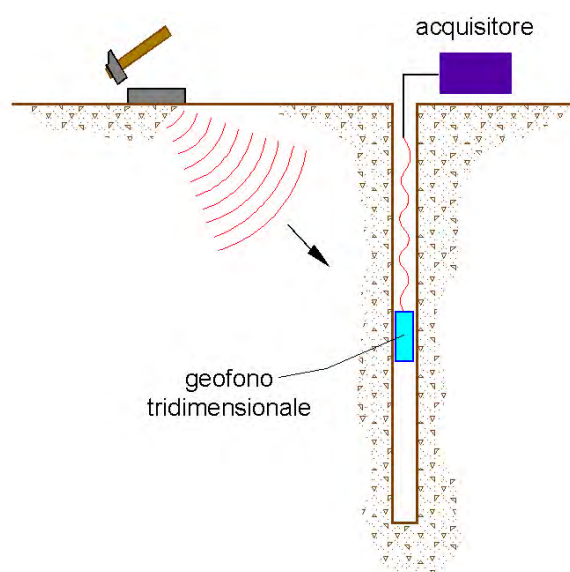


Figura 4 – Schema down hole ad un solo ricevitore

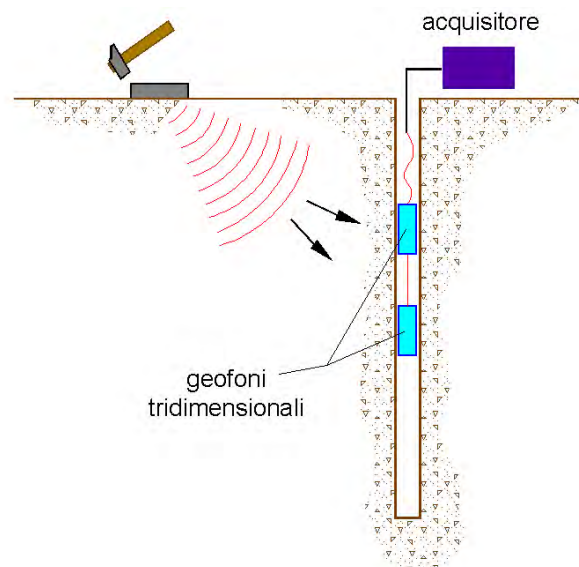


Figura 5 – Schema down hole a due ricevitori

Durante la perforazione, per ridurre l'effetto di disturbo nel terreno, i fori vengono sostenuti mediante fanghi bentonici e il loro diametro viene mantenuto piuttosto piccolo (mediamente $\varnothing \approx 15$ cm).

I fori vengono poi rivestiti mediante tubazioni, generalmente in PVC, e riempiti con una malta a ritiro controllato, generalmente composta di acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso.

Prima di ogni cosa, è però importante assicurarsi che il foro sia libero da strozzature e che il tubo di rivestimento non presenti lesioni.

Procedura sperimentale

La sorgente consiste in una piastra di alluminio che, dopo avere opportunamente predisposto il piano di appoggio, viene adagiata in superficie ad una distanza di 1,5 – 2,5 m dal foro e orientata in direzione ortogonale ad un raggio uscente dall'asse foro. Alla sorgente è agganciato il trasduttore di velocità utilizzato come *trigger*.

Se si dispone di due ricevitori, questi vengono collegati in modo da impedirne la rotazione relativa e da fissarne la distanza. Il primo dei due ricevitori viene raccordato ad una batteria di aste che ne permette l'orientamento dalla superficie e lo spostamento.

Una volta raggiunta la profondità di prova, i geofoni vengono orientati in modo che un trasduttore di ogni sensore sia diretto parallelamente all'asse della sorgente (orientamento assoluto).

A questo punto i ricevitori vengono assicurati alle pareti del tubo di rivestimento,

la sorgente viene colpita in senso verticale (per generare onde di compressione P) o lateralmente (per generare onde di taglio SH) e, contemporaneamente, parte la registrazione del segnale di *trigger* e dei ricevitori.

Eseguite le registrazioni la profondità dei ricevitori viene modificata e la procedura sperimentale ripetuta.

Interpretazione in down hole con il metodo diretto

Per poter interpretare il down hole con il metodo diretto, inizialmente, bisogna correggere i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro (**Figura 6**), r la distanza fra la sorgente e la tripletta di sensori, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione:

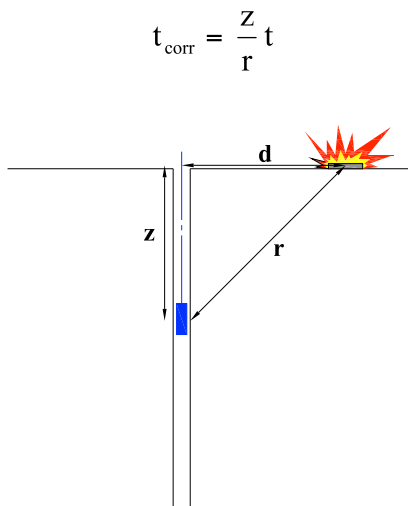


Figura 6 – Schema di down hole con metodo diretto

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico $t_{\text{corr}} - z$ in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali.

Interpretazione in down hole con il metodo intervallo

Con il metodo intervallo i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due ricevitori consecutivi (**Figura 7**) posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (*velocità d'intervallo*).

Quando si dispone di un solo ricevitore, cioè nell'ipotesi in cui le coppie non corrispondano ad un unico impulso, i valori di velocità determinati vengono definiti di

pseudo-intervallo, consentendo solo un'apparente migliore definizione del profilo di velocità.

Ottenute le misure è possibile calcolare i tempi corretti con la precedente equazione e la velocità intervallo delle onde P e S, con relativo grafico con la formula seguente:

$$V_{p,s} = \frac{Z_2 - Z_1}{t_{2corr} - t_{1corr}}$$

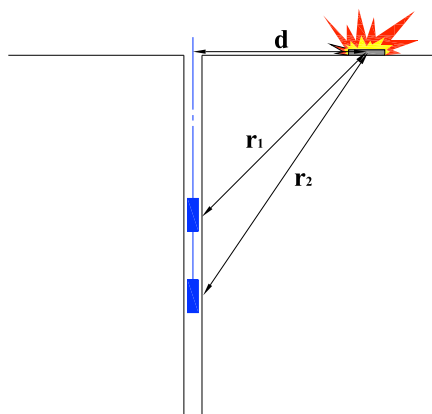


Figura 7 – Schema di down hole con metodo intervallo

Ottenute le velocità intervallo si calcolano la densità, il coefficiente di Poisson, il modulo di deformazione a taglio, il modulo di compressibilità edometrica, il modulo di Young, il modulo di compressibilità volumetrica per ogni intervallo con le formule riportate sopra.

Il metodo intervallo presenta però dei limiti:

- a) non tiene conto della velocità degli strati sovrastanti;
- b) non è applicabile nel caso in cui $t_{2corr} < t_{1corr}$.

Per la caratterizzazione sismica del sito sono stati adottati i risultati delle indagini sismiche eseguite a corredo del progetto di caratterizzazione di cui si riportano i certificati in calce alla presente. Dall'analisi degli elaborati delle prove sismiche si emerge che i terreni indagati appartengono alla **CATEGORIA E** contemplata nelle suddette norme tecniche (**Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$)**).

La velocità delle onde S e delle onde P hanno consentito di risalire alla determinazione dei principali parametri elastici mediante le seguenti relazioni:

1) coefficiente di Poisson (ν) medio :

$$\nu_{medio} = 0.5 \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$

2) modulo di deformazione a taglio (**G**) medio:

$$G_{medio} = \rho V_s^2$$

3) modulo di elasticità o modulo di Young medio (**E**):

$$E_{medio} = 2 \rho V_s^2 (1-\nu)$$

4) modulo di compressibilità volumetrica (**E_v**) medio:

$$E_{v\ medio} = \rho \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$

dove

ρ è la densità del terreno data dal rapporto tra il peso dell'unità di volume e l'accelerazione di gravità (g)

ν è il valore medio del coefficiente di Poisson dello strato

V_p è il valore medio delle velocità delle onde P dello strato

V_s è il valore medio delle velocità delle onde S dello strato

In base a quanto previsto dalla Tabella 3.2.IV delle Norme Tecniche per le Costruzioni si fa rilevare che l'area è ascrivibile alla **categoria topografica T2** contemplata nella suddetta tabella ("**Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$** ").

Si ricorda, infine, che il territorio comunale di Agropoli (SA) nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Campania n. 5447 del 7.11.2002, che ha approvato l'aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale, è stato classificato a **bassa sismicità (Zona Sismica 3) (Figura 8)**.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante a_g , che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni. Nel caso della **Zona Sismica 3** il valore di a_g è **$0,05 \leq a_g < 0,15 g$** .

Inoltre, la mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica, disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, redatta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), indica che il territorio comunale di Agropoli (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento è **0.075-0.100** (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50) (**Figura 9**).

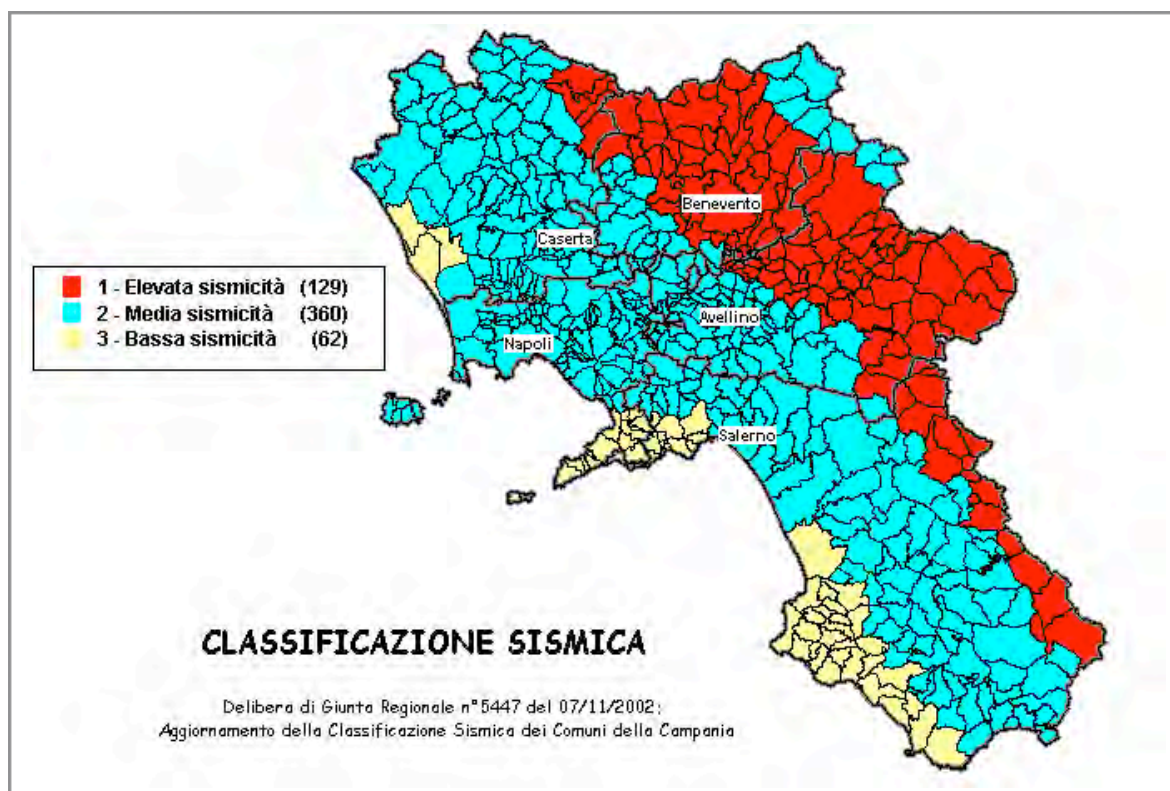


Figura 8- Classificazione sismica del 2002 dei comuni della Regione Campania
Zona 1: valore di $a_g=0.35g$; Zona 2: valore di $a_g=0.25g$; Zona 3: valore di $a_g=0.15g$

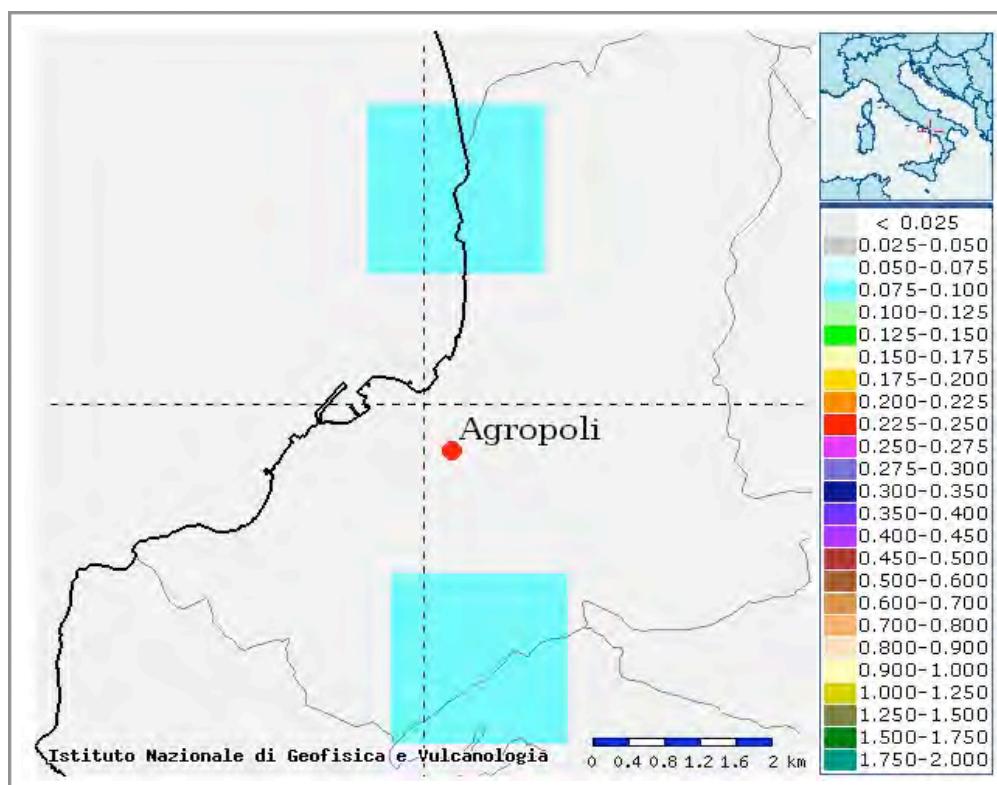


Figura 9 - Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/01/08) - Punti della griglia riferiti a parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10% e percentile 50

7. COMPATIBILITÀ GEOLOGICA DEGLI INTERVENTI NEL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico, previsto dalle Leggi nn. 267/98 e 365/00, si configura come stralcio funzionale relativo al rischio idrogeologico nell'ambito del Piano di bacino idrografico previsto dall'art. 17 comma 6-ter, della legge 18 maggio 1989, n. 183 e dalla L.R. 7 febbraio 1994, n. 8.

L'Autorità di Bacino Regionale Sinistra Sele con delibera n. 11 del 16/04/2012 ha adottato l'aggiornamento del **"PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO" - RISCHIO IDRAULICO E RISCHIO FRANA**.

Come evidenziato negli stralci allegati in calce alla presente l'area oggetto d'intervento nella quasi totalità non ricade in aree classificate a rischio idrogeologico reale da frana ma è classificata a Pericolosità d'Ambito Pa1 - Moderata e per una piccolissima parte Pa2 - Media.

Le aree a pericolosità da ambito da dissesti di versante sono qualificate dalla propensione moderata, media, elevata o molto elevata ad innescare fenomeni di movimenti franosi come quelli dell'ambito di riferimento e sono rispettivamente individuate nelle cartografie di piano come Pa1, Pa2, Pa3, Pa4.

In base al comma 2 dell'art. 54 - CAPO III. DISCIPLINA SPECIFICA DELLE AREE DI PERICOLO REALE DA DISSESTI DI VERSANTE delle Norme di Attuazione del vigente Piano Stralcio Per l'Assetto Idrogeologico *"...nelle aree classificate a pericolosità da ambito da dissesti di versante sono consentiti tutti gli interventi, per i quali a seguito di studi geologici (per le aree classificate Pa1 e Pa2) e di studi di compatibilità idrogeologici (per le aree classificate Pa3 e Pa4), venga dimostrato che gli stessi interventi non alterino l'equilibrio idrogeologico dell'area interessata e dell'ambito geomorfologico di riferimento"*.

Solo una piccolissima area è stata individuata una **Pericolosità Moderata (P1)** ed un **Rischio Moderato (R1)**.

L'allegato D "INDIRIZZI TECNICI PER LA REDAZIONE DEGLI STUDI DI COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA" alle stesse Norme prescrive che il professionista redattore dello studio di compatibilità debba dimostrare:

- *la compatibilità del progetto con quanto previsto dalla normativa di attuazione del piano, con particolare riferimento alle garanzie ed alle condizioni vincolanti rispetto alle problematiche connesse al rischio idrogeologico,*
- *che le realizzazioni garantiscono, secondo le caratteristiche e le necessità relative a ciascuna fattispecie, la sicurezza del territorio in base ai criteri definiti dal quadro normativo che disciplina la formazione dei piani stralcio per l'assetto idrogeologico ..."*

Lo stesso allegato sancisce che la compatibilità geologica deve essere:

- ✓ **verificata** *in funzione dei dissesti che interessano le aree a diversa suscettività al dissesto perimetrate ai sensi del presente piano;*
- ✓ **stimata** *in base alle interferenze tra i dissesti idrogeologici individuati e le destinazioni o le trasformazioni del suolo in progetto;*
- ✓ **valutata** *confrontando gli interventi proposti con gli effetti sull'ambiente, tenendo conto della dinamica evolutiva dei dissesti che interessano il contesto in esame.*

Le valutazioni effettuate nella presente sono volte a dimostrare la compatibilità idrogeologica dell'intervento previsto, in accordo con quanto richiesto dalle Norme sopra richiamate.

Per gli scopi del presente studio è necessario descrivere in maniera sintetica le opere da realizzare per meglio inquadrarne gli aspetti d'impatto idrogeologico salienti e per esprimere in maniera più compiuta un giudizio sulla loro compatibilità geologica: per una trattazione dettagliata si rimanda alla relazione tecnica del progetto.

Al fine di stabilire la conformità degli interventi rispetto all'assetto idrogeologico dell'area e la loro compatibilità rispetto alle Norme di Attuazione e Prescrizioni del vigente Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) - Rischio Idraulico e Rischio Frane, si ritiene opportuno e necessario fare alcune attente valutazioni e considerazioni.

Si ritiene opportuno, innanzitutto, richiamare quanto dettato ai commi 3 e 6 dell'art. 21 (Disposizioni Generali in aree a rischio da Dissesti di Versante):

- Comma 3 *"Nelle aree a rischio da dissesti di versante continuano a svolgersi le attività antropiche ed economiche esistenti alla data di adozione del Piano Stralcio, osservando le cautele e le prescrizioni delle presenti norme."*

- Comma 6 *"Tutte le nuove attività, opere e sistemazioni e tutti i nuovi interventi consentiti nelle aree a rischio da dissesti di versante devono essere tali da:*

- a. migliorare o comunque non peggiorare le condizioni di sicurezza del territorio e di difesa del suolo;*
- b. non costituire in nessun caso un fattore di aumento del rischio da dissesti di versante, attraverso significative e non compatibili trasformazioni del territorio nelle aree interessate;*

- c. non costituire elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione definitiva delle specifiche cause di rischio esistenti;*
- d. non pregiudicare le sistemazioni definitive delle aree a rischio né la realizzazione degli interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;*
- e. garantire condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza del cantiere, in modo che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un significativo aumento del livello di rischio o del grado di esposizione al rischio esistente;*
- f. limitare l'impermeabilizzazione superficiale del suolo, impiegando tipologie costruttive e materiali tali da controllare la ritenzione temporanea delle acque anche attraverso adeguate reti di regimazione e di drenaggio;*
- g. impiegare ove possibile tecniche a basso impatto ambientale.*

Inoltre, gli interventi di progetto rientrano tra quelli contemplati all'**art. 32 - Interventi consentiti nelle aree a rischio moderato (R1) da dissesti di versante** delle Norme di Attuazione e prescrizioni di Piano che stabilisce:

1. Nelle aree a rischio da dissesti di versante R1, gli interventi sul patrimonio edilizio esistente, i cambiamenti di destinazione d'uso, gli interventi di nuova costruzione, di ristrutturazione urbanistica e la realizzazione di nuovi impianti, opere ed infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico sono consentiti qualora previsti dagli strumenti urbanistici e dai piani di settore vigenti e dalla normativa statale e regionale

Per la realizzazione degli interventi sarà modificata la geometria dell'attuale declivio dei corpi discarica con scavi e/o riporti, tagli, ecc. Sono previste delle berne stabilizzanti, l'addolcimento delle pendenze delle sponde della discarica e l'inserimento di geosintetici di rinforzo; il tutto secondo il progetto di sistemazione con allegati calcoli di verifica geotecnica che dimostrano l'adeguatezza dei coefficienti di sicurezza ed il relativo aumento rispetto alla situazione ante operam.

Non saranno create neosuperfici esposte ad elevata pendenza non sarà modificata la geometria dell'attuale declivio con scavi e/o riporti, tagli, ecc., né saranno create neosuperfici esposte ad elevata pendenza, potenziali sedi d'innescio di

movimenti della coltre superficiale. Inoltre, non si apporteranno ulteriori carichi sul versante capaci di creare disequilibri di masse e non sarà compromesso il normale deflusso delle acque superficiali tali da innescare processi di erosione e denudazione che possano evolvere in reali dissesti.

Occorre altresì evidenziare che non è previsto alcun aumento di superficie o volume entro e fuori terra. Pertanto, restando invariate le due componenti che contribuiscono alla determinazione della classe di Rischio, ovvero la Pericolosità ed il Danno, ne consegue che, in ogni caso, è da escludere un fattore di aumento del rischio da dissesti di versante.

Per i motivi fin qui considerati è possibile esprimere valutazioni positive sulla compatibilità degli interventi di progetto con l'assetto idrogeologico dell'area, in quanto essi non pregiudicheranno la stabilità attuale della zona e sono da considerarsi, appunto, compatibili dal punto di vista idrogeologico con la situazione di rischio da dissesti di versante attualmente sostenibile dal territorio.

In definitiva, i lavori di progetto che si intendono realizzare non interferiranno sull'assetto idrogeologico attuale del territorio in esame e quindi sono conformi con le prescrizioni generali stabilite dalle Norme di Attuazione in quanto non peggiorano le condizioni di sicurezza attuali del territorio e di difesa del suolo, non costituiscono un fattore di aumento del rischio da dissesti di versante e non costituiscono elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione definitiva delle specifiche cause di rischio esistenti.

Il processo di verifica, valutazione e stima della compatibilità geologica dell'intervento, sommariamente ripercorso in queste pagine, ha portato a stabilire che essa è, appunto verificata, stimata e valutata rispetto allo stato attuale, in quanto non si sono ravvisati condizioni geologiche tali da compromettere la realizzabilità dei lavori di progetto.

Per quanto sopra esposto, è possibile affermare che i lavori che si intendono effettuare sono compatibili dal punto di vista idrogeologico con il territorio d'interesse.

2. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Il presente studio è stato condotto per valutare la compatibilità geologica degli interventi previsti in progetto. Quest'ultimo, per i cui dettagli si rimanda alla relazione tecnica ed ai relativi grafici, mira ad intraprendere un'azione definitiva finalizzata alla messa in sicurezza della discarica da attuarsi mediante interventi atti a conseguire la protezione delle matrici ambientali suolo, sottosuolo e acque di falda, dai fenomeni di percolazioni che si originano dagli accumuli di rifiuti.

- Gli interventi previsti in progetto sono di seguito elencati.

- Pulizia preliminare del sito;
- Allestimento del cantiere;
- Ripristino funzionale dell'esistente sistema di raccolta del percolato;
- Gestione del percolato durante l'intervento;
- Sistemazione, riconfigurazione e stabilizzazione della superficie a giorno dei corpi di discarica (Impermeabilizzazione del corpo di discarica e regimentazione, allontanamento delle acque zenitali);
- Realizzazione di una viabilità interna alla discarica;
- Implementazione del sistema di captazione del biogas;
- Realizzazione del diaframma impermeabile a valle dell'area di discarica, con relativa rete di drenaggio e raccolta della discarica;
- Realizzazione di nuovi pozzi per l'emungimento del percolato e del relativo sistema di collettamento di nuovi serbatoi di stoccaggio;
- Realizzazione di un piccolo edificio ad uso ufficio e servizi;
- Impianto antincendio;
- Impianto elettrico e di illuminazione;
- Impianto di videosorveglianza;
- Gestione dei materiali provenienti da scavo;
- Recinzione dell'area di discarica;
- Interventi di ripristino ambientale.

Sulla base dei dati emersi nel corso dei rilevamenti di superficie, tenuto conto della morfologia e delle risultanze delle prove geognostiche utilizzate per la correlazione con quanto emerso dal rilevamento geologico e geomorfologico, sono da escludere senza ombra di dubbio fenomeni di instabilità potenziali od in atto all'interno del corpo rifiuti fatta eccezione per lievi e localizzate instabilità imputabili alle sponde della discarica. Il rilevamento geomorfologico ha evidenziato che i fenomeni di dissesto rilevati e delimitati nella carta geomorfologica allegata che hanno interessato anche la strada provinciale 45 a monte e la S.P. 430 a valle sono localizzati e per lo più attribuibili ad un decadimento delle caratteristiche meccaniche dei terreni a seguito di un elevato grado di saturazione.

Dalla correlazione delle risultanze delle indagini pregresse eseguite nell'area d'intervento è stato possibile pervenire ad una ricostruzione della sequenza litostratigrafica ed alla definizione del modello geologico del sito a cui si potrà fare riferimento per la definizione dei parametri da considerare nei calcoli di stabilità e di previsione e di progettazione delle opere di sistemazione. Si sottolinea che il presente studio è stato redatto a titolo preliminare e che la ricostruzione della sequenza litostratigrafica e dei parametri geotecnici dei litotipi è stata ottenuta ricorrendo a

risultanze di precedenti indagini. Ovviamente, nella successiva fase della progettazione, necessariamente, in ogni singola area d'intervento, verranno programmate tutte le indagini che consentiranno di definire puntualmente la stratigrafia e la caratterizzazione geomeccanica dei terreni costituenti la locale successione.

Il quadro della circolazione idrica naturale superficiale rimarrà invariato purché vengano realizzate le opportune opere di sistemazione esterna nonché di regimazione delle acque dilavanti. Queste ultime, avranno anche lo scopo di preservare le condizioni drenate dei terreni per cui, impedendo la saturazione degli strati superficiali degli stessi ed il degrado delle loro caratteristiche meccaniche, contribuiranno favorevolmente alla stabilità generale del pendio.

I risultati dello studio di compatibilità idrogeologica effettuato sotto i diversi aspetti geomorfologici, idrogeologici, geolitologici e geotecnici del sito in esame permette di affermare che l'intervento proposto è in linea con quanto disposto dalle Norme di attuazione e prescrizioni di Piano dell'Autorità di Bacino Sinistra Sele, rientrando, a tutti gli effetti, tra gli interventi adottabili, in quanto non altereranno l'equilibrio idrogeologico dell'area interessata e dell'ambito geomorfologico di riferimento.

Tanto dovevasi per incarico ricevuto.

Agropoli, aprile 2014

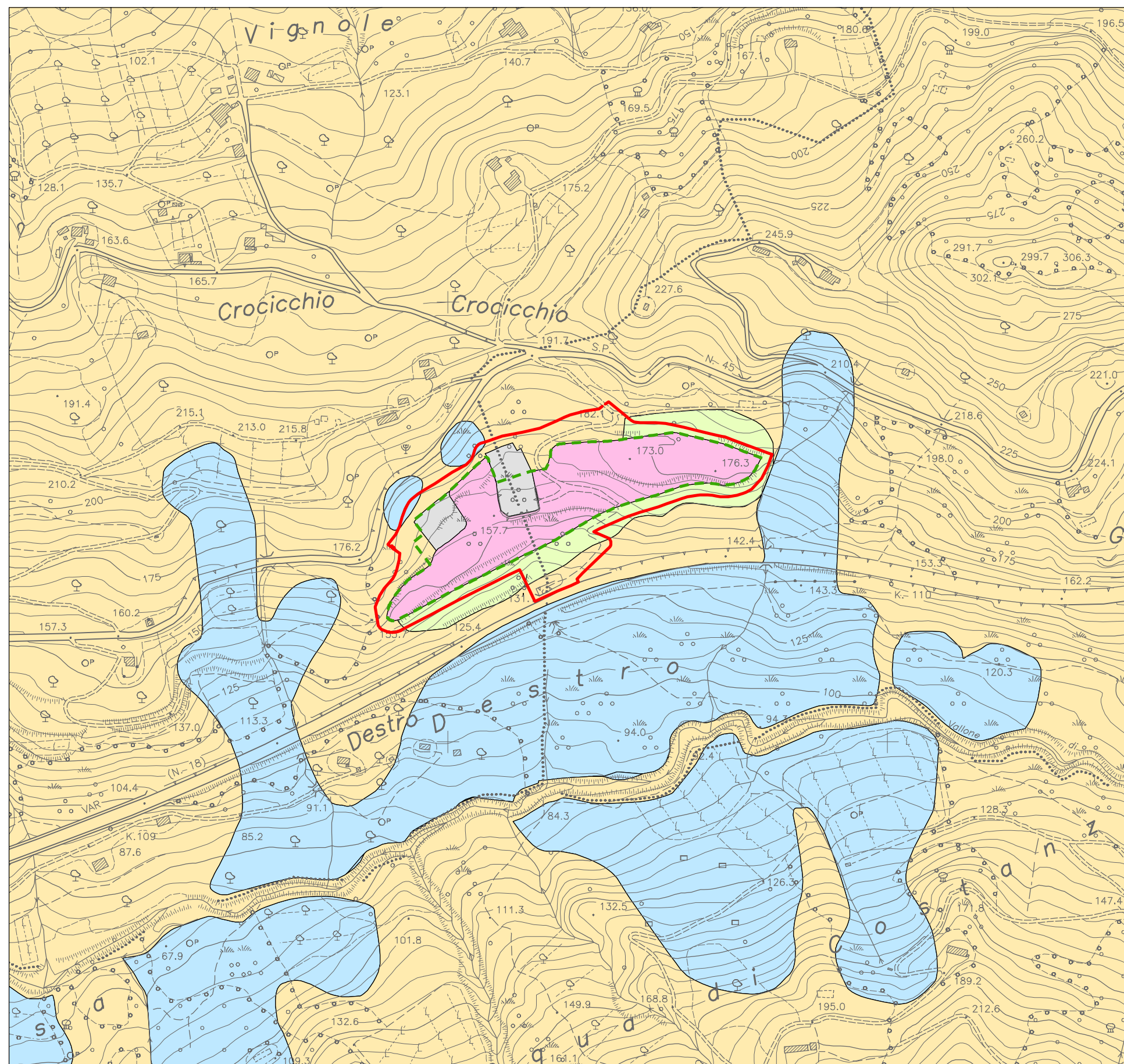
Il geologo
dott. Lucio Gnazzo

ALLEGATI

CARTOGRAFIA TEMATICA

CERTIFICATI INDAGINI GEOGNOSTICHE

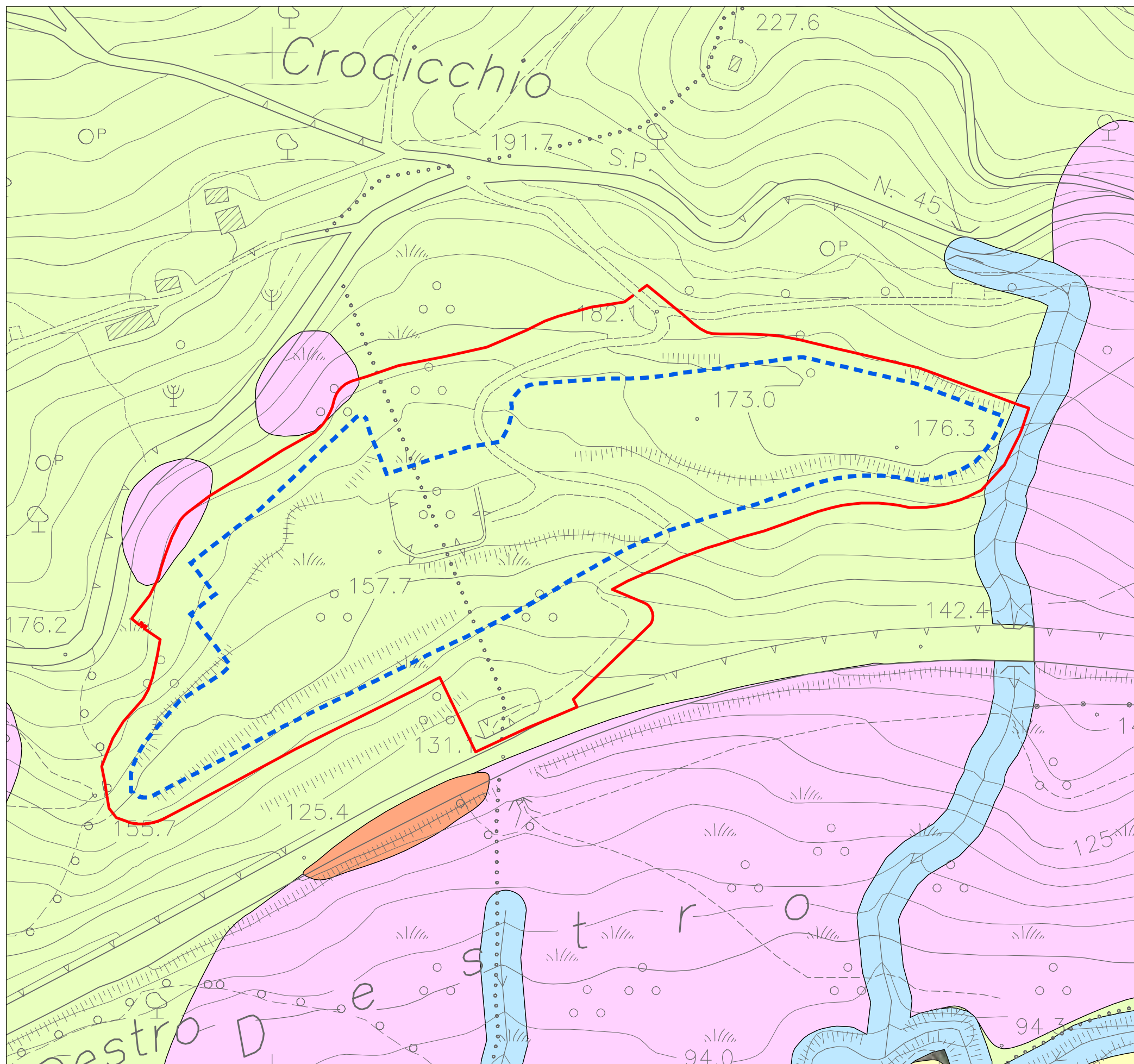
DELIMITAZIONE DELL'AREA NEGLI ALLEGATI GRAFICI
DEL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO



Legenda

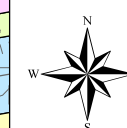
-  **CORPO RIFIUTI DELLA DISCARICA**
-  **STRUTTURE ANTROPICHE**
realizzate nell'ambito dell'area della discarica destinate a stoccaggio provvisorio
-  **TERRENO DI RIPORTO**
di origine antropica a prevalente componente limo-argillosa con diffusi ciottoli arenace a spigoli vivi
-  **ACCUMULI DETRITICI ELU-COLLUVIALI E DI FRANA**
Accumuli di versante e detrito di frana a componente sabbioso-limoso e limo-argilloso con scheletro arenaceo e marnoso a spigoli vivi
-  **FORMAZIONE DI S. MAURO**
Alternanza in banchi e strati di marne fissili "fogliarina" ed arenarie quarzoso-micacee. Frequenti intercalazioni di siltiti e siltiti marnose
-  **Area ex discarica comunale R.S.U. Località "Gorgo"**
-  **Delimitazione dell'area d'intervento**

CARTA GEOLITOLOGICA
SCALA 1:5000

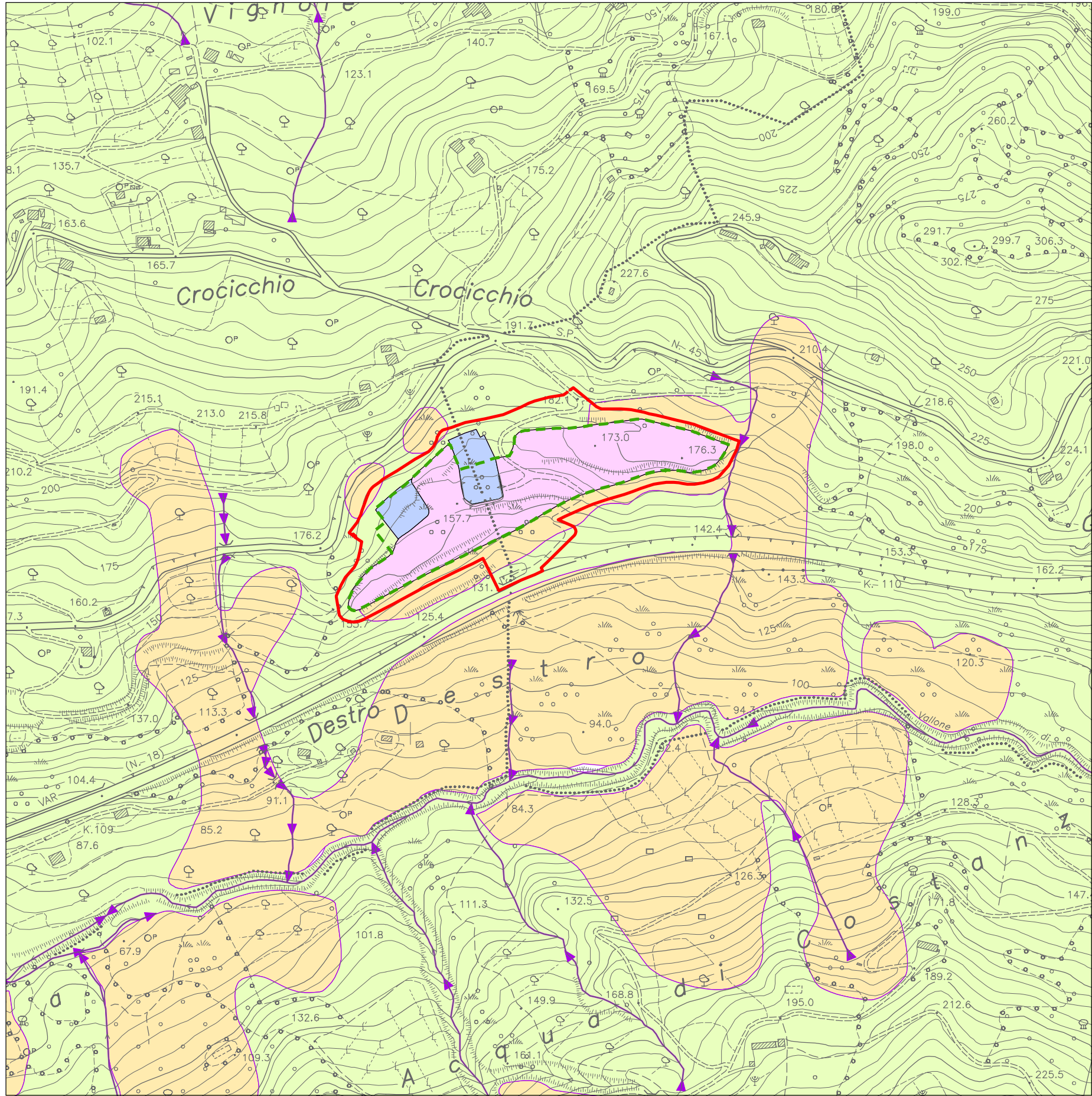


Legenda

-  Aree di versante collinare stabili o potenzialmente stabili nelle quali non si ravvisano evidenti segni di dissesto potenziali od in atto
-  Aree ubicate in prossimità di aste fluviali ed incisioni torrentizie potenzialmente instabili per fenomeni di erosione e scalzamento degli argini dell'alveo
-  Aree caratterizzate da fenomeni gravitativi episuferficiali di lieve intensità rappresentati da lenti colamenti con grado di attività quiescente o inattivo
-  Aree caratterizzate da fenomeni gravitativi poco profondi di tipo complesso rappresentati da colamenti e scorrimenti rotazionali e con grado di attività quiescente
-  Delimitazione del dissesto che ha interessato la S.P. 430
-  Area ex discarica comunale R.S.U. Località "Gorgo"
-  Delimitazione dell'area d'intervento



CARTA GEOMORFOLOGICA
SCALA 1:2000

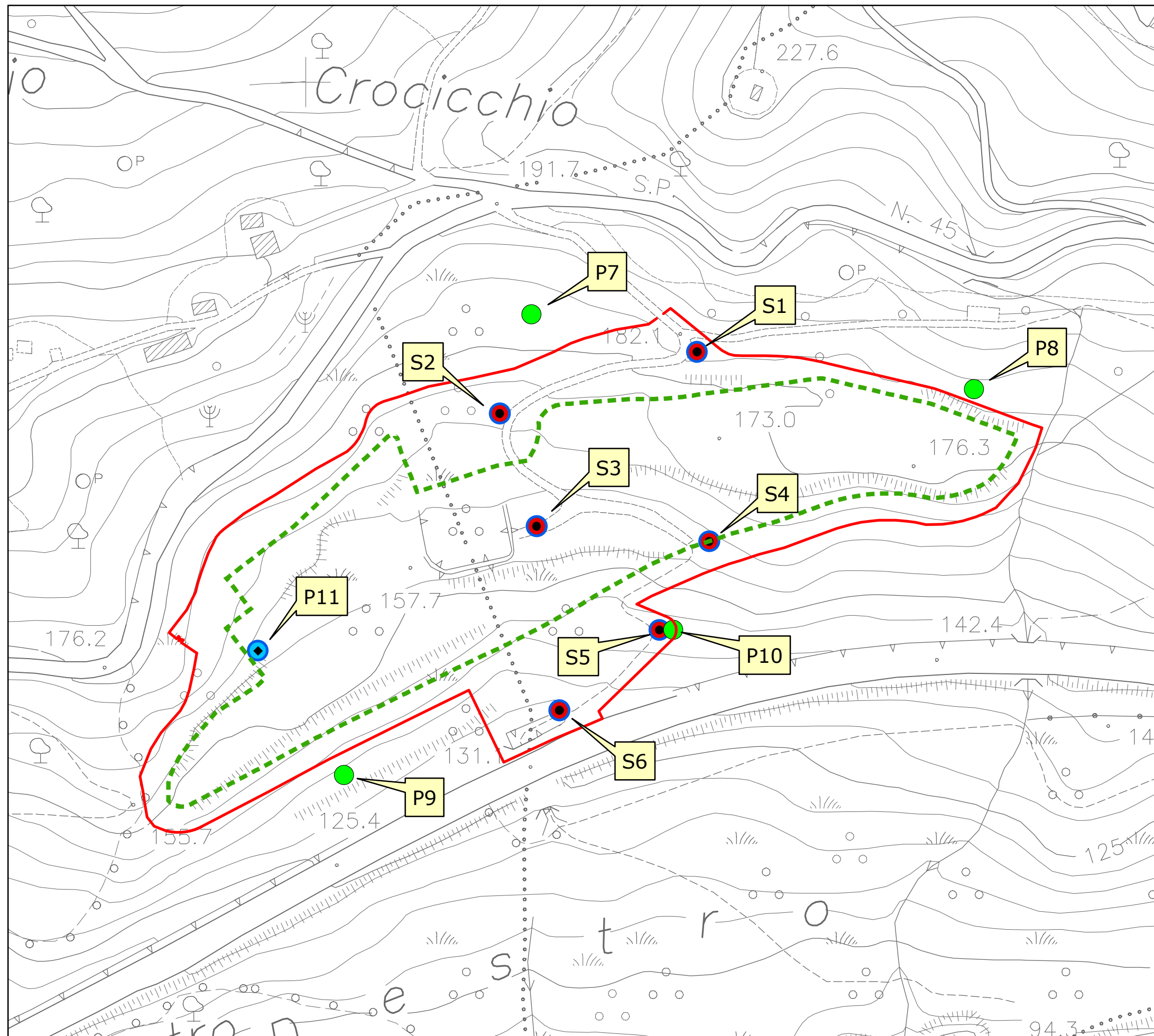


Legenda

-  **CORPO RIFIUTI DELLA DISCARICA**
-  **STRUTTURE ANTROPICHE**
realizzate nell'ambito dell'area della discarica destinate a stoccaggio provvisorio
-  **COMPLESSO DEI DEPOSITI DETRITICI ELUVIALI E COLLUVIALI**
Sono depositi costituiti da detrito arenaceo-siltoso in matrice limo-argillosa. La falda è di tipo discontinuo e variabile come piezometrica in relazione alle caratteristiche morfologiche ed alla percentuale della frazione limo-argillosa
-  **COMPLESSO ARENACEO-MARNOSO-ARGILLOSO**
La presenza ritmica di interstrati pelitici conferisce complessivamente al deposito uno scarso grado di permeabilità per cui è da considerarsi impermeabile
- 
- 
-  *Linea di spartiacque superficiale principale*
-  *Linea di spartiacque superficiale secondario*
-  *Linea di incisione torrentizia o vallone dal regime occasionale*
-  *Area ex discarica comunale R.S.U.*
-  *Località "Gorgo"*
-  *Delimitazione dell'area d'intervento*

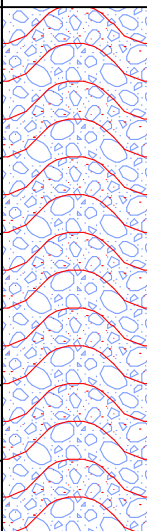
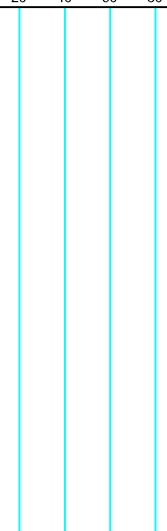
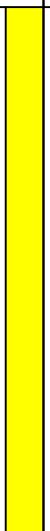
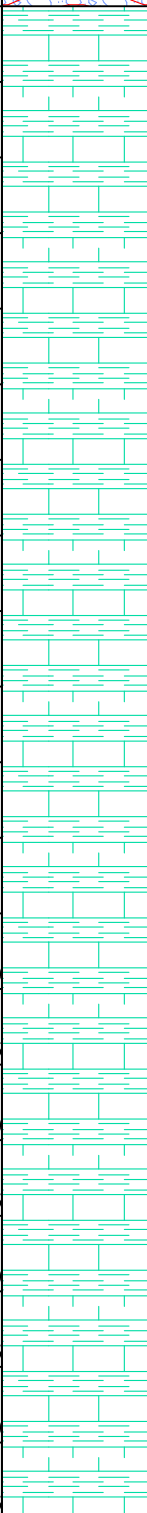
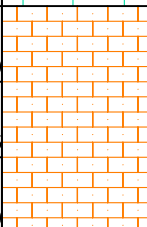


CARTA IDROGEOLOGICA
SCALA 1:5000



Legenda

-  Sondaggi a carotaggio continuo eseguiti dalla società Natura
-  Sondaggi a carotaggio continuo eseguiti dalla società TECNO IN
-  Sondaggio a carotaggio continuo integrativo eseguito nella fase della progettazione definitiva
-  Area ex discarica comunale R.S.U. Località "Gorgo"
-  Delimitazione dell'area d'intervento

COMUNE DI AGROPOLI (SA)								SONDAGGIO P11																	
M.S.P. - MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE AI SENSI DELL'ART.242 C.7 DEL D. LGVO 152/2006 E SMI DELLA DISCARICA COMUNALE DI RIFIUTI SOLIDI URBANI ALLA LOCALITÀ "GORGO" DI AGROPOLI COMMITTENTE: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI AGROPOLI (SA)								il rilevatore dott. geol. Lucio Gnazzo																	
Data inizio 31/03/2014	Località	Comune	Quota s.l.m.	Coordinate UTM WGS 84	Metodo di perforazione	Diametro perforazione	Rivestimento	Impresa esecutrice GEOCAMPANIA S. r. l. BOSCOREALE (NA)																	
Data fine 31/03/2014	Gorgo	Agropoli (SA)	156.00 m	E 521582 N 4437713	Sondaggio a carotaggio continuo	101 mm	SI																		
Scala 1:200	Stratigrafia	Profondità	Potenza	Quota	Descrizione	S.P.T.				Campioni	Granulometria				Cassetta	Inclinometro	Falda								
						10	20	30	40		20	40	60	80											
						0.5		3.50	3.50		154.50	Coltre detritico-eluviale costituita da ciottoli a spigoli vivi e rari trovanti arenacei e marnoso-siltosi in matrice limo-argillosa debolmente sabbiosa mediamente consistente	10	20				30	40	0.50		1			
						1.0							P11-C1	1.00											
						1.5																			
						2.0																			
						2.5																			
						3.0																			
						3.5																			
						4.0		10.00	144.50		Alternanza in strati decimetrici di siltiti scagliose di colore grigio e marne siltose ed arenarie cineree con rari livelli centimetrici di arenari quarzoso-micacee	10	20	30				40	7.50	P11-C2	8.00				
					4.5																				
					5.0																				
					5.5																				
					6.0																				
					6.5																				
					7.0																				
					7.5																				
					8.0																				
					8.5																				
					9.0																				
9.5																									
10.0																									
10.5																									
11.0																									
11.5																									
12.0																									
12.5																									
13.0																									
13.5		1.50	143.00	Arenarie quarzoso-micacee tenaci in banchi intercalate a marne calcaree cineree tenere	10	20	30	40	11.00	P11-C3	11.50														
14.0																									
14.5																									
15.0																									
15.0					P11-C4	15.00																			



Ubicazione Sondaggio integrativo P11



Sondaggio P11 - Cassetta 1 - da 0,00 a -5,00



Sondaggio P11 - Cassetta 2 - da -5,00 a -10,00



Sondaggio P11 - Cassetta 3 - da -10,00 a -15,00

COMMITTENTE

CO.RI.SA. Consorzio Rifiuti Salerno 4

ELABORAZIONE
A CURA DI



Laboratorio "NATURA" S.r.l.
Analisi Chimiche, Fisiche e
Microbiologiche

Via A. Manzoni, 71 - 80026 Casoria (NA)
Tel 081 5737038 - Fax 081 5739776
e-mail: natura@naturasrl.it

- accreditamento SINAL n° 0562 in conformità
con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025

- Organizzazione con sistema di gestione
qualità certificato UNI EN ISO 9001:2000
ist. Cersa certificato n° 307

- Organizzazione con sistema per la gestione
ambientale certificato UNI EN ISO 14001:2004
ist. Kiwa certificato n° KI0516/01

SITO

DISCARICA COMUNALE
- Comune di Agropoli -

ATTIVITA'

ATTIVITA' DI INDAGINE PRELIMINARE

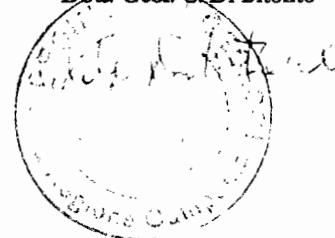
ELABORATO

STRATIGRAFIE

DATA				N° ELAB.		
06/2006				02		
REV.	DATA	DESCRIZIONE		ELAB.	VER.	APP.
0	06/2006	PRIMA EMISSIONE				
1						
2						

Il tecnico

Dott. Geol. C. Di Bitonto



Committente: CONSORZIO RIFIUTI SALERNO 4 Lavori: Indagini preliminari delle discariche comunali	
--	---

DISCARICA DI AGROPOLI
SCHEDA CAROTAGGIO S1

Da (m)	a (m)	Descrizione litologica
0,00	0,80	Copertura vegetale di natura argillosa di colore giallognolo.
0,80	5,00	Argilla marnosa giallognola inglobante pezzame a spigoli vivi (5-8 cm) di natura arenacea.
5,00	10,00	Alternanze di argille marnose giallognole con livelli di arenarie quarzose in strati di 10-30 cm. Da 9,0 m a 10,0 m livello arenaceo fratturato.

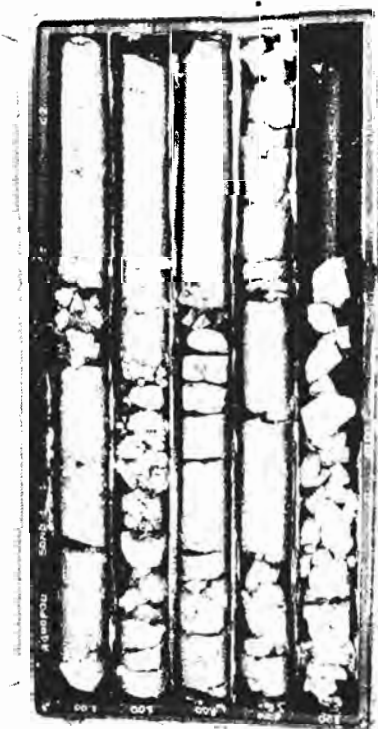
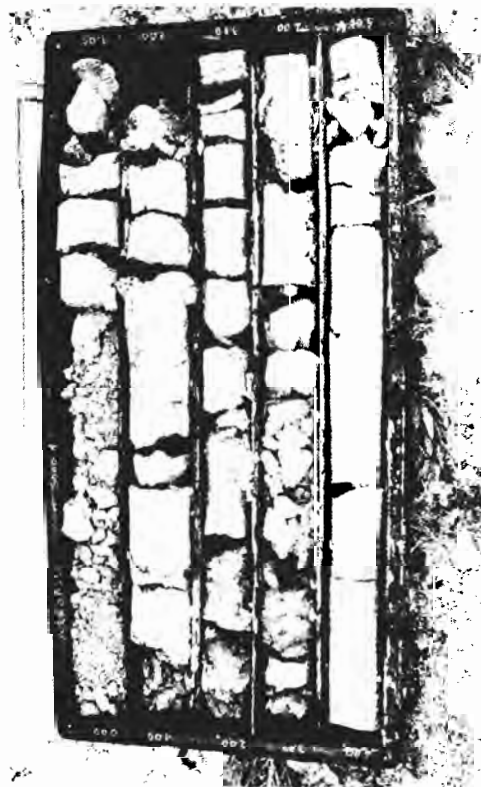


Foto: Campionatura estratta riposta in cassette catalogatrici

Committente: CONSORZIO RIFIUTI SALERNO 4 Lavori: Indagini preliminari delle discariche comunali	
--	---

DISCARICA DI AGROPOLI
SCHEDE CAROTAGGIO S2

Descrizione litologica	
Da (m)	a (m)
0,00	0,80
Copertura vegetale di natura argillosa di colore giallognolo.	
0,80	10,00
Alternanze di argille marnose giallognole con livelli di arenarie quarzose e marne argillose verdognole in strati di 20-40 cm.	

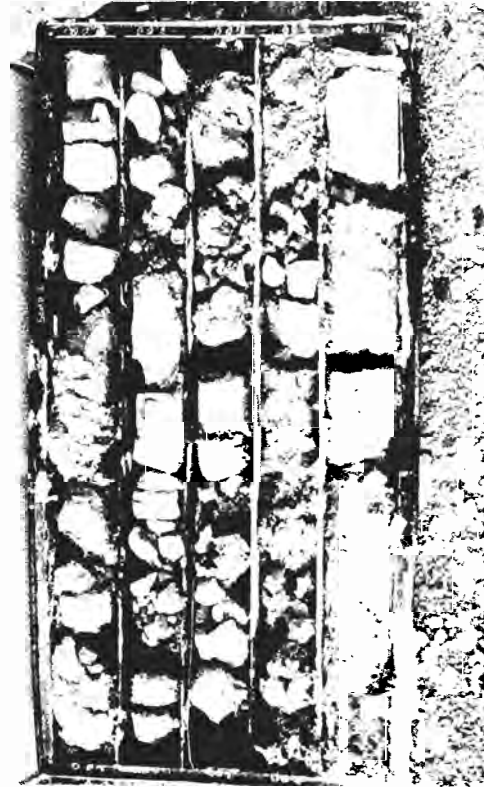
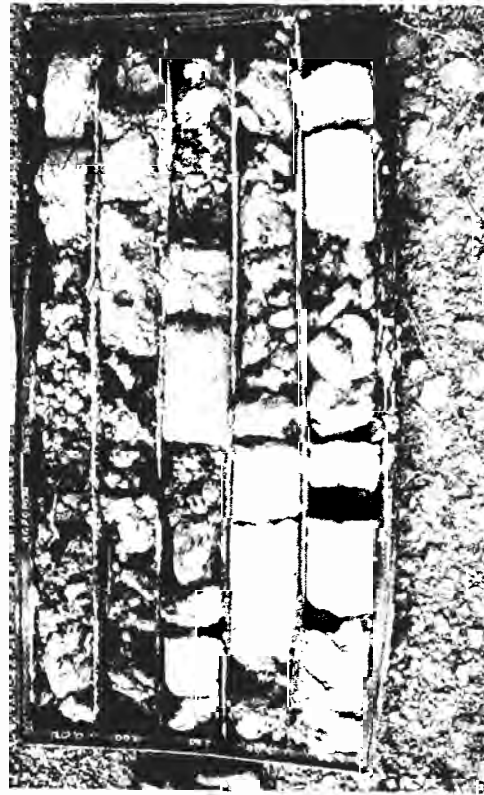


Foto: Campionatura estratta riposta in cassette catalogatrici

Committente: **CONSORZIO RIFIUTI SALERNO 4**
 Lavori: *Indagini preliminari delle discariche comunali*



DISCARICA DI AGROPOLI
SCHEDA CAROTAGGIO S3

Descrizione litologica	
Da (m)	a (m)
0,00	3,00
Materiale di sbancamento (pista), costituito da alternanze di argille marnose giallognole ed arenarie quarzose in strati di 20-30 cm.	
3,00	5,50
Alternanze di argille marnose giallognole con livelli di arenarie quarzose in strati di 20-30 cm.	
5,50	10,00
Alternanze di marne argillose grigio plumbee con livelli di arenarie quarzose in strati di 20-80 cm.	

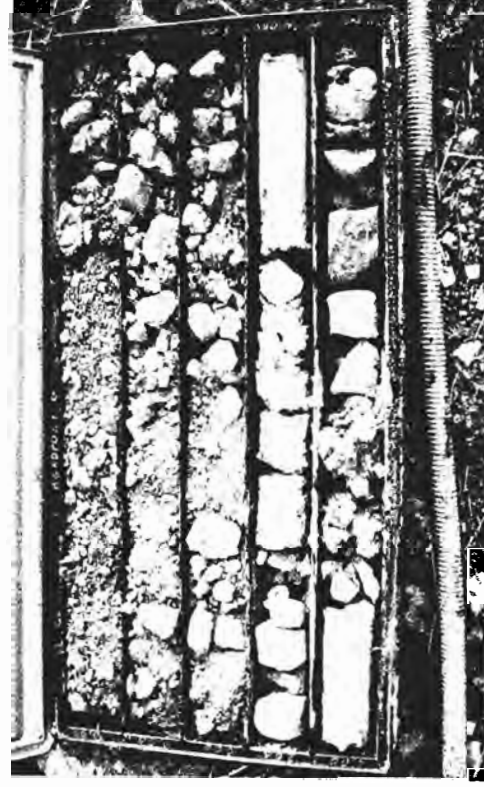


Foto: Campionatura estratta riposta in cassette catalogatrici

Committente: **CONSORZIO RIFIUTI SALERNO 4**

Lavori: **Indagini preliminari delle discariche comunali**



**DISCARICA DI AGROPOLI
SCHEDA CAROTAGGIO S4**

Descrizione litologica	
Da (m)	a (m)
0,00	2,30
Materiale di sbancamento (pista), costituito da alternanze di argille marmose giallognole ed arenarie quarzose in strati di 20-30 cm.	
2,30	6,30
Argilla marnosa giallognola inglobante pezzame a spigoli vivi (5-8 cm) di natura arenacea.	
6,30	10,00
Alternanze di marne argillose grigio plumbee con livelli di arenarie quarzose in strati di 20-80 cm.	



Foto: Campionatura estratta riposta in cassette catalogatrici

Committente: **CONSORZIO RIFIUTI SALERNO 4**
 Lavori: *Indagini preliminari delle discariche comunali*



DISCARICA DI AGROPOLI
SCHEMA CAROTAGGIO S5

Descrizione litologica	
Da (m)	a (m)
0,00	2,50
2,50	4,30
4,30	10,00

Materiale di sbancamento (pista), costituito da alternanze di argille marnose giallognole ed arenarie quarzose in strati di 20-30 cm.

Argilla marnosa giallognola inglobante pezzame a spigoli vivi (5-8 cm) di natura arenacea.

Alternanze di marne argillose grigio plumbee con livelli di arenarie quarzose in strati di 20-80 cm.

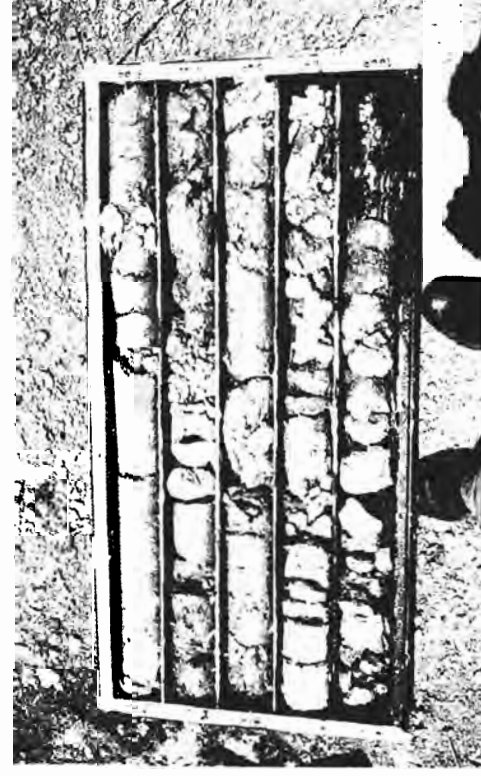


Foto: Campionatura estratta riposta in cassette catalogatrici

Committente: **CONSORZIO RIFIUTI SALERNO 4**
 Lavori: **Indagini preliminari delle discariche comunali**



DISCARICA DI AGROPOLI
SCHEDA CAROTAGGIO S6

Da (m)	a (m)	Descrizione litologica
0,00	0,70	Copertura vegetale di natura argillosa di colore giallognolo.
0,70	4,30	Alternanze di argille marnose giallognole con livelli di arenarie quarzose in strati di 20-30 cm.
4,30	10,00	Alternanze di marne argillose grigio plumbee con livelli di arenarie quarzose in strati di 30-40 cm.



Foto: Campionatura estratta riposta in cassette catalogatrici

SONDAGGIO: P7

Committente: Consorzio Rifiuti SA/4
 Cantiere: CORISA
 Località: Agropoli
 Coordinata X (m):
 Coordinata Y (m):
 Quota assoluta (m slm): 177.39
 Periodo: Ottobre 2007
 Sezione max. (mm): 121
 Sezione min. (mm): 101
 Profondità max. (m): 10.00
 Scala: 1:50

TECNO IN®
 SERVIZI DI INGEGNERIA

Il Trav. Str.la S.Anna alle Paludi 11-80142 Napoli
 Tel. 081-5634520 fax. 5633970



LEGENDA

- Detrito alluvionale
- Limo
- Argilla marnosa con arenaria
- Argilla marnosa e marna

Quota Assoluta (m slm)	Spessore dello strato (m)	Prof. relativa al p.c. (m)	Litologia	Descrizione Litologica	Livello della Falda	Piezometro
175.39	2.00	2.00		Copertura detritico alluvionale: Terreno a matrice sabbioso - limosa di colore marrone - rossastro con inclusi eterometrici (talora anche pluricentrici) costituiti da clasti arenacei a spigoli vivi e ciottoli marnosi. Lo strato si presenta poco addensato. Sono presenti rare patine di ossidazione.	1.10	
173.09	2.30	4.30		Limo: Limo argilloso debolmente sabbioso di colore variabile dal marrone chiaro al giallastro con la profondità, con inclusi clasti arenacei da millimetrici a sub-centimetrici ossidati ed a spigoli arrotondati, e rari frammenti marnoso - calcarei da sub-centimetrici a pluricentrici (fino a max. 10 cm). Lo strato si presenta plastico e mediamente consistente.		
171.39	1.70	6.00		Argilla marnosa con arenaria: Argille marnose di colore grigio con intercalati sottili livelli (max. 2-3 cm) arenacei talora cementati, di colore giallastro. Sono inclusi numerosi frammenti carbonatici di colore grigio biancastro disposti sub-centimetrici a spigoli arrotondati, per lo più concentrati nel primo metro e mezzo dello strato. Si rinvenivano inoltre frammenti arenacei da sub-centimetrici a centimetrici a spigoli arrotondati e rare tracce di sostanza organica, per lo più negli orizzonti argillosi propriamente detti. Lo strato si presenta plastico e mediamente consistente. A 5.50 m dal p.c., si rinviene un grosso trovante marnoso.		
167.39	4.00	10.00		Argilla marnosa e marna argillosa: Argille marnose e marne di colore grigio plumbeo con screziature dal nero al verde oliva plastiche, da mediamente consistente a consistente. Gli inclusi sono frammenti calcareo marnosi centimetrici, talora pluricentrici (i.e. 6.20 m dal p.c.).		

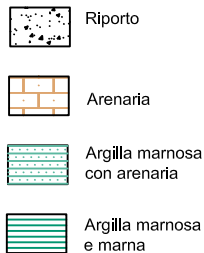
SONDAGGIO: P8
 Committente: Consorzio Rifiuti SA/4
 Cantiere: CORISA
 Località: Agropoli
 Coordinata X (m): _____
 Coordinata Y (m): _____
 Quota assoluta (m slm): 180.93
 Periodo: Ottobre 2007
 Sezione max. (mm): 121
 Sezione min. (mm): 101
 Profondità max. (m): 10.00
 Scala: 1:50



Il Trav. Str.la S.Anna alle Paludi 11-80142 Napoli
 Tel. 081-5634520 fax. 5633970



LEGENDA



Quota Assoluta (m slm)	Spessore dello strato (m)	Profondità relativa al p.c. (m)	Litologia	Descrizione Litologica	Livello della Falda	Piezometro
180.73	0.20	0.20		Terreno di riporto: Limo argilloso con inclusi frequenti clasti arenacei per lo più centimetrici ed a spigoli vivi. Il colore della matrice è marrone.		
	3.80			Arenaria quarzosa con intercalazioni di marne: Arenarie quarzose, di colore variabile dal marrone chiaro al giallastro, con intercalazioni di livelli marnosi. I clasti arenacei di dimensioni superiori al diametro del carotiere, risultano ossidati superficialmente e presentano cemento quarzoso microcristallino. Talora sono associati a sottili livelli sabbiosi di colore giallo. Gli intervalli marnosi risultano plastici e moderatamente consistenti.		
176.93	4.00			Argilla marnosa con arenaria: Argille marnose di colore grigio alternate a sottili livelli (max. 2-3 cm) di arenarie fini talora cementate di colore giallastro. Si rinvencono diffusamente clasti arenacei e calcareo-marnosi di dimensioni superiori al diametro del carotiere.	5.00	
175.03	5.90			Argilla marnosa e marna argillosa: Argille marnose e marne di colore grigio plumbeo con screziature dal nero al verde oliva, da mediamente consistente a consistente, plastiche.		
170.93	4.10					
	10.00					

Note: _____

Reg. Commessa: 277-06

SONDAGGIO: P9
Committente: Consorzio Rifiuti SA/4
Cantiere: CORISA
Località: Agropoli
Coordinata X (m):
Coordinata Y (m):
Quota assoluta (m slm): 133.86
Periodo: Ottobre 2007
Sezione max. (mm): 121
Sezione min. (mm): 101
Profondità max. (m): 20.00
Scala: 1:100



Il Trav. Str. la S. Anna alle Paludi 11-80142 Napoli
 Tel. 081-5634520 fax. 5633970



LEGENDA



Riporto



Calcarei marnosi



Rifiuto



Limo



Argilla marnosa e marna

Quota Assoluta (m slm)	Spessore dello strato (m)	Profondità relativa al p.c. (m)	Litologia	Descrizione Litologica	Livello della Falda	Piezometro
133.06	0.80	0.80		Terreno di riporto: Terreno a matrice limoso - sabbiosa - argilloso di colore beige giallognolo con resti di apparati radicali e frequenti clasti pluricentrici di natura arenacea a spigoli vivi.		
	2.20			Rifiuto: Rifiuti contenuti materiale plastico sfilacciato, lattine, oggetti in gomma e materiale di risulta di tipo edile (tubazioni cavi ecc.) in matrice limoso argilloso di colore bruno scuro nerastra. Deposito scarsamente consistente.		
130.86	3.00					
	5.00			Limo: Limo argilloso - siltoso di colore giallastro con screziature verdi, consistente, con frequenti nuclei calcitici disfatti di colore bianco e meno frequenti aggregati argillosi di colore grigio chiaro. Si rinvenivano talora trovanti arenacei superiori al diametro del carotiere (5.60 - 5.70 m dal p.c.).		
125.86	1.00	8.00		Argilla marnosa e marna argillosa: Argille marnose e marne di colore grigio plumbeo con screziature dal nero al verde oliva, da mediamente consistente a molto consistente e localmente a consistenza litoide, plastiche. La struttura risulta laminata con laminazione obliqua.		
124.86		9.00				
	11.00			Calcarei marnosi: Calcarei e calcari marnosi di colore grigio chiaro poco fratturati a struttura laminata (laminazione obliqua). Si rinviene una grossa frattura in parte riempita ad una profondità di c.a. 12.80 m dal p.c..		
113.86		20.00				
					5.00	

Note: _____

Reg. Commessa: 277-06

SONDAGGIO: P10

Committente: Consorzio Rifiuti SA/4
 Cantiere: CORISA
 Località: Agropoli
 Coordinata X (m):
 Coordinata Y (m):
 Quota assoluta (m slm): 142.49
 Periodo: Ottobre 2007
 Sezione max. (mm): 121
 Sezione min. (mm): 101
 Profondità max. (m): 20.00
 Scala: 1:100

TECNO IN®
 SERVIZI DI INGEGNERIA

Il Trav. Str.la S.Anna alle Paludi 11-80142 Napoli
 Tel. 081-5634520 fax. 5633970



LEGENDA

- Copertura detritica
- Limo
- Calcarei marnosi
- Argilla marnosa e marna

Quota Assoluta (m slm)	Spessore dello strato (m)	Prof. relativa al p.c. (m)	Litologia	Descrizione Litologica	Livello della Falda	Piezometro
141.19	1.30	1.30		Copertura detritica colluviale: Detrito colluviale a matrice sabbioso - limosa di colore beige - giallastro con frequenti clasti arenaceo-marnosi e subordinatamente calcarenitici, a spigoli vivi ed eterometrici (fino a un max. di 10 cm). Deposito poco addensato.		
138.49	2.70	4.00		Limo: Limo argilloso siltoso di colore beige giallastro con screziature verdi, da mediamente a molto consistente con rari inclusi. A luoghi si rinvencono frammenti di dimensioni superiori al diametro del carotiere di natura arenacea.	2.40	
134.99	3.50	7.50		Marna: Marna di colore grigio plumbeo da molto consistente a litificata intercalata da livelli più francamente argillosi (6.50 - 6.60 m dal p.c. e 7.30 - 7.40 m dal p.c.). La struttura è debolmente laminata (laminazione obliqua). Lo strato si presenta molto fratturato e spesso si rinvencono patine di ossidazione in corrispondenza delle superfici di fratturazione.		
128.89	6.10	13.60		Argilla marnosa: Argille di colore grigio plumbeo da mediamente consistente a consistente, intercalate da livelli centimetrici calcareo - marnosi (11.80 e 13.50 m dal p.c.). Gli inclusi sono rari e per lo più costituiti da clasti calcarenitici e subordinatamente arenacei a spigoli vivi e di dimensioni sub-centimetriche.		
125.19	3.70	17.30		Argilla marnosa bruno nerastra: Argille marnose di colore grigio scuro, con screziature dal nero al verde oliva, da mediamente consistente a consistente, plastiche. Sono incluse frequenti clasti calcitici sub-centimetrici di norma disfatti e di colore biancastro.		
122.49	2.70	20.00		Marna: Marna argillosa di colore grigio plumbeo a consistenza litoide con intercalazioni pluricentimetriche argillose. Le marne si presentano molto fratturate.		

COMMITTENTE: Consorzio per la costruzione e la gestione degli impianti e dei servizi di smaltimento dei rifiuti solidi urbani Salerno 4 - CO.RI.SA. 4

OGGETTO: Indagini geofisiche propedeutiche al piano di caratterizzazione del sito ai sensi del D.Lgvo 152/2006. Interventi di bonifica, messa in sicurezza e/o sistemazione delle discariche comunali di R.S.U.

LOCALITA': Agropoli (SA)

TIPO DI INDAGINE: Prospezioni geoelettriche e di sismica a rifrazione

ELABORATO: Note esplicative

Reg. Com.:	277/06	
File nome:	relazione_v01.doc	
Impresa Esecutrice		
delle indagini		
TECNO IN S.p.A.		
Servizi di Ingegneria		
Data	Rev.	Revisione
05/04/07	01	
03/2008	02	integrazione



TECNO IN S.p.A.
2° TRAV. STRETTOLA
S. ANNA ALLE PALUDI, 11
80142 NAPOLI



Sede legale: **Napoli** - 2ª trav. Str.la S.Anna alle Paludi, 11 - 80142
Tel. 081/5634520- fax 081/5633970
00197 **Roma** - Viale Parioli, 55/a,
Tel. 06/8080362 -fax 06/8074672 (sede non certificata)
e-mail: tecnoin@tecnoinonline.it - www.tecnoin.it - www.tecnoinonline.it
P.Iva 05016170630 – CCIAA Na 411847 – Reg. Imprese 3275/86 –

INDICE

1 - PREMESSA.....	3
2- METODI DI PROSPEZIONE GEOFISICA.....	4
2.1 – PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE	4
2.1.1 – <i>Elaborazione dei dati sismici – metodo di analisi “delay time”</i>	9
2.1.2 – <i>Elaborazione dei dati sismici – metodo di analisi Plus – Minus</i>	11
2.1.3 – <i>Prospezione sismica a rifrazione e sue applicazioni nello studio di aree adibite a discarica</i>	13
2.2 – PROSPEZIONE GEOELETTRICA	14
2.2.1 – <i>Misure geoelettriche di resistività apparente</i>	14
2.2.2 – <i>Misure geoelettriche di polarizzazione indotta (IP)</i>	15
2.2.3 – <i>Polarizzazione di membrana</i>	17
2.2.4 – <i>Polarizzazione di elettrodo</i>	17
2.2.5 – <i>Inversione dei dati geoelettrici</i>	18
2.2.6 – <i>Prospezione geoelettrica e sue applicazioni allo studio di aree adibite a discariche</i>	23
3 – RESOCONTO DELLE ATTIVITÀ DI CAMPO.....	25
3.1 – PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE	25
3.2 – PROSPEZIONE GEOELETTRICA	27
3.3 – RILIEVI TOPOGRAFICI.....	29
4 – COMMENTO AI RISULTATI DELLE PROSPEZIONI GEOFISICHE	30
4.1 – RISULTATI DELLE INDAGINI GEOELETTRICHE.....	30
<i>Sito di Agropoli</i>	30
<i>Interpretazione dei risultati</i>	41
4.2 – RISULTATI DELLE INDAGINI SISMICHE.....	43
4.2.5 – <i>Sito di Agropoli</i>	43
BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE:	51

	Attività di caratterizzazione ai sensi del D.Lgvo 152/2006 delle discariche comunali gestite dal consorzio CO.RI.SA./4	Reg. Com.: 277-06 ediz. 05/04/07 - Rev.1 GA/Id - Pag. 2
---	---	---

ELABORATI FUORI TESTO

Allegato 1 di 3: Schede delle indagini sismiche a rifrazione

Allegato 2 di 3: Schede di campagna delle indagini geoelettriche

Allegato 3 di 3: Profili geoelettrici e planimetrie con l'ubicazione delle indagini realizzate

1 - Premessa

Il Consorzio per la gestione degli impianti ed i servizi di smaltimento dei rifiuti solidi urbani – ambito di Bacino Salerno/4 – ha conferito¹ alla Tecno In S.p.A. l’incarico di eseguire le indagini con metodi geofisici sui siti adibiti a discariche di R.S.U. nel comune di Agropoli, nell’ambito del piano per la caratterizzazione di sito, previsto ai sensi del D.Lgvo 152/06.

Nel corso delle attività di cantiere, in accordo con la Direzione Lavori, al previsto programma di indagini sono state apportate alcune variazioni che sono consistite sostanzialmente nell’esecuzione di n°3 profili, dei 6 previsti per il sito di Agropoli, sovrapposti di metri 24 in maniera da coprire una lunghezza complessiva di ~ 150 m. Inoltre, a valle delle prospezioni in sito, è stato eseguito un rilievo topografico di precisione per l’ubicazione degli stendimenti². Infine, come previsto dal capitolato tecnico di esecuzione dei lavori, per ciascun sito oggetto di indagine sono state effettuate misure del livello di falda all’interno dei pozzi preesistenti.

La campagna di indagini geofisiche ha avuto come intento quello di definire l’andamento della morfologia dell’abbancamento presso i siti investigati, la profondità dell’interfaccia tra il volume di rifiuti e i terreni in posto, l’individuazione delle anomalie sepolte, in termini di variazioni consistenti dei parametri geofisici (resistività, velocità delle onde elastiche, etc.).

Si ribadisce che per tali anomalie, indicate come “possibili”, rimane essenziale l’indagine diretta e puntuale per stabilirne l’esatta natura, avendone però definito in questa fase la localizzazione, la distribuzione areale nonché la priorità di verifica.

L’ubicazione degli stendimenti geofisici è stata modulata sito per sito in base alle effettive condizioni logistiche, nonché in accordo con le specifiche tecniche contenute nella disciplinare di esecuzione dei lavori in oggetto, al fine di ottenere l’approfondimento richiesto dalle indagini.

Le operazioni di cantiere si sono svolte tra Febbraio e Marzo 2008.

¹ Lettera d’incarico Prot. n. 4220 del 19/12/2006.

² Le planimetrie sono state fornite dalla committenza.

2- Metodi di prospezione geofisica

2.1 – Prospezione sismica a rifrazione

La prospezione sismica si occupa dell'investigazione del sottosuolo mediante lo studio della propagazione di onde elastiche generate in superficie utilizzando masse battenti³. Le onde elastiche sono rilevate in superficie da una serie di trasduttori di velocità del moto del suolo (geofoni) disposti lungo un allineamento (stendimento), direttamente sul piano di campagna.

L'energizzazione produce, nel volume del mezzo investigato, onde elastiche di varia natura e polarizzazione, tra cui le prime ad essere registrate dagli strumenti di acquisizione sono le cosiddette onde di compressione (onde P), caratterizzate da velocità di propagazione maggiore.

Il metodo a rifrazione si basa sulla bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del formarsi di un fronte d'onda conico, all'interfaccia tra due mezzi aventi velocità diverse V_1 e V_2 (con $V_2 > V_1$).

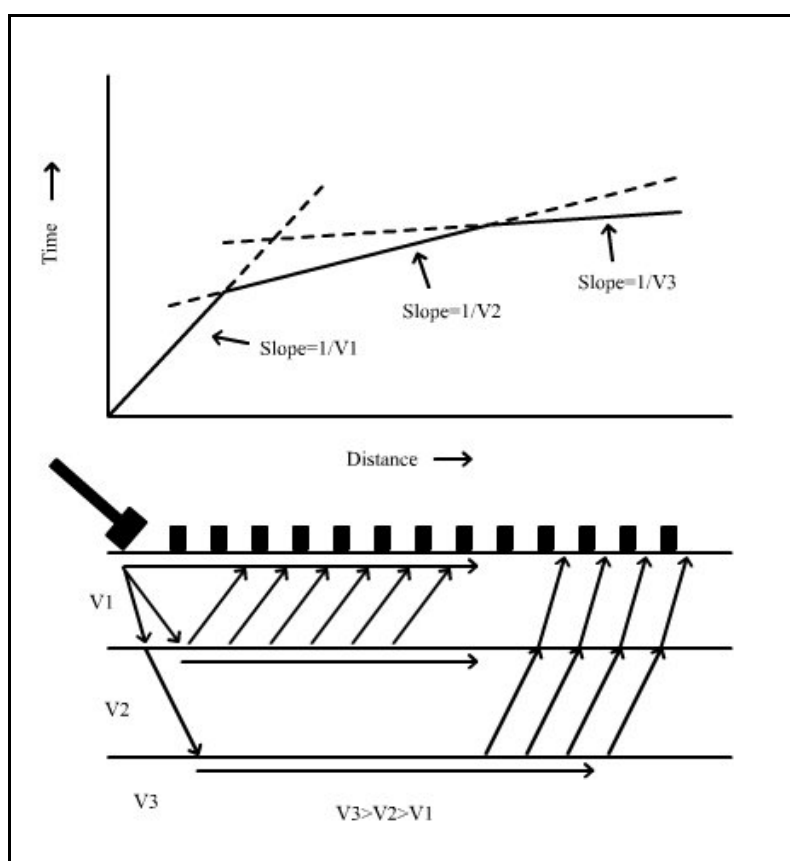


**Figura 1 Relazione tempo-distanza per un fronte d'onda diretto e bi-rifratto in un mezzo a 3 strati
(da Burger, 1992 modificato)**

³ Come previsto dalla disciplinare di esecuzione dei lavori in oggetto, nelle indagini geosismiche è stato utilizzato un martello avente una massa pari a 8 kg ed una piastra di battuta metallica. Sono inoltre state eseguite energizzazioni con una massa di volume maggiore e pari a 10 kg.

L'esecuzione della prospezione mediante sismica a rifrazione, prevede la misurazione dei tempi di tragitto delle onde elastiche dalla sorgente ai vari geofoni che formano il profilo. Dal punto d'impatto si propagano onde elastiche in un semispazio circostante; di tali onde alcune raggiungeranno i geofoni più vicini senza subire alcuna rifrazione (dirette, riflesse), mentre le rimanenti subiranno la rifrazione al passaggio tra mezzi aventi caratteristiche differenti, *a condizione che gli strati più profondi siano caratterizzati da una velocità delle onde sismiche crescente*.

Se si considera l'insieme delle onde sismiche rifratte lungo la superficie di separazione di due mezzi sovrapposti, ci sarà sempre un'onda elastica il cui angolo d'incidenza è pari all'angolo limite o angolo di incidenza critico (i_c). Il raggio così rifratto, viaggia lungo la superficie di separazione dei due mezzi con la velocità del mezzo inferiore e successivamente riemerge in superficie. Ad una certa distanza dall'origine dello stendimento, definita "distanza critica", detta onda risulterà la prima ad essere registrata dai geofoni disposti in superficie; tale circostanza è chiaramente visibile ad un operatore che visualizzerà sul monitor dell'apparecchiatura di acquisizione, i differenti tempi di arrivo dell'onda (misurati in millisecondi – cfr. Fig. 2).

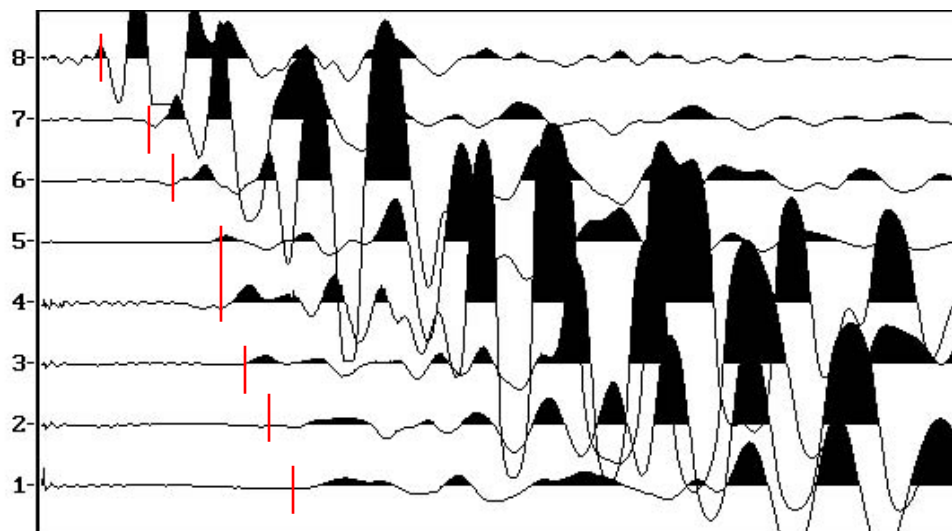


Figura 2 Schema dei tempi di primo arrivo (FBP) ad un sismografo

Misurati i tempi di primo arrivo per ciascuna onda, si costruisce un diagramma nel quale si riportano le distanze dei geofoni, sull'asse delle ascisse, ed i tempi di arrivo, sull'asse delle ordinate. Si ottiene così un grafico "tempi-distanze", la cui analisi permetterà di individuare le "dromocrone", cioè segmenti di retta che segnalano percorsi effettuati dalle onde con uguale velocità (cfr. Figg. 1 e 3).

L'analisi della dromocrona consente di conoscere la velocità delle onde elastiche nei relativi strati, la profondità degli stessi e gli spessori. Tale calcolo è effettuato rispettivamente mediante la misura degli angoli α e β dei segmenti a differente pendenza e la valutazione del tempo intercetta t_i sull'ordinata (come rappresentato nella figura di seguito).

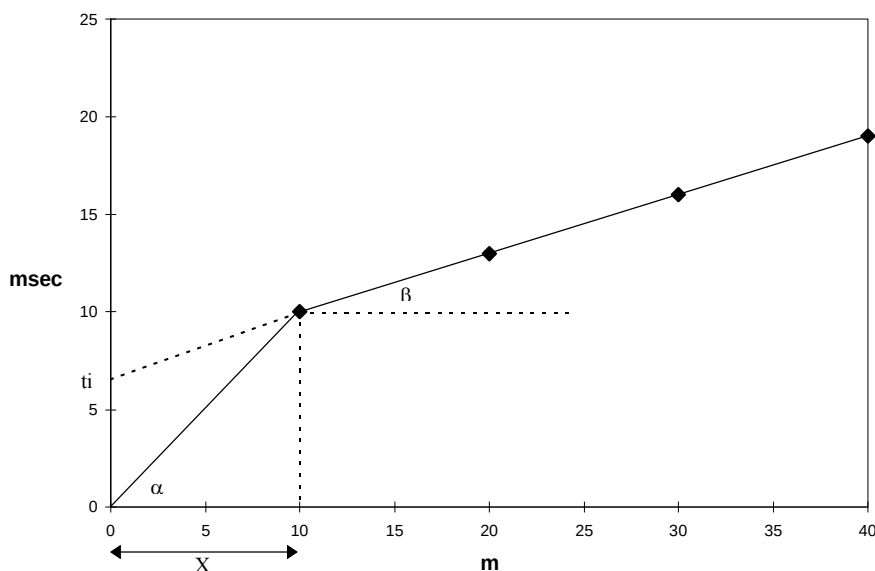


Figura 3 Esempio di dromocrona, punto di ginocchio e distanza critica (X)

La velocità del primo strato sarà pari a:

$$V_1 = \frac{1}{\tan \alpha}.$$

I tempi di arrivo dei raggi bi-rifratti si disporranno, nel diagramma tempi-distanze, secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette o riflesse in virtù della maggiore velocità di propagazione dello strato rifrattore (Fig. 3); il valore di velocità dello strato attraversato dalle onde rifratte sarà pari a:

$$V_2 = \frac{1}{\tan \beta}.$$

Per quanto riguarda il calcolo dello spessore h_1 del primo strato e quindi la profondità dello strato rifrangente o rifrattore, si devono considerare le velocità V_1 e V_2 calcolate in precedenza nonché il tempo intercetta (t_i):

$$h_1 = \frac{t_i}{2} \frac{V_1 V_2}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}.$$

Le velocità e gli spessori così determinati vengono definiti “apparenti”.

Di fatti le figure precedenti contemplano un modello di sottosuolo a strati piano-paralleli (Fig. 1) ed a velocità crescenti; tuttavia, poiché in realtà spesso sono presenti strati non paralleli, si esegue una lettura reciproca, posizionando cioè la sorgente alla fine dello stendimento (profilo coniugato o in ritorno); in tal modo si osservano due dromocrone (come mostra la figura di seguito).

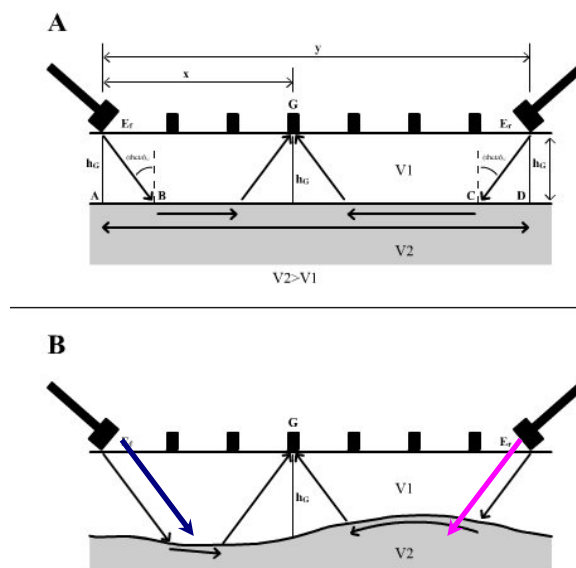
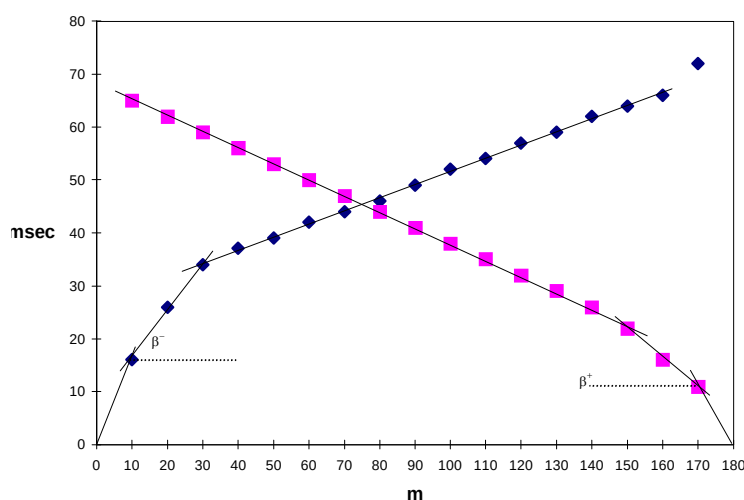


Figura 4 Dromocrone e schema di profilo diretto e coniugato

Si è quindi in grado di conoscere l'inclinazione del rifrattore nota dalla formula:

$$\varpi = \frac{\sin^{-1} V_1 \beta^- - \sin^{-1} V_1 \beta^+}{2}.$$

Una volta noto questo valore la velocità reale del secondo strato sarà data dalla formula:

$$V_2 = \frac{2 \cos \varpi}{\beta^- + \beta^+}.$$

la profondità del rifrattore sarà pari a:

$$Z = \frac{t_i V_1}{2 \cos \varpi \cdot \cos i_c}.$$

dove i_c (angolo di incidenza limite) è pari a:

$$i_c = \frac{\sin^{-1} V_1 \beta^- + \sin^{-1} V_1 \beta^+}{2}.$$

A titolo di esempio si riporta una tabella con i valori indicativi delle velocità delle onde di compressione per diversi litotipi, desunti da dati bibliografici.

Tabella 1 - Valori indicativi per le onde di compressione V_p (m/sec)

<i>LITOTIPO</i>	<i>V_p (m/sec)</i>
Aerato superficiale	300 - 800
Arenarie	1800 - 4500
Argilla	1800 - 2900
Sabbia asciutta	500 - 1000
Sabbia umida	600 - 1800
Sabbia, ghiaia e loess secchi; suoli alterati superficiali	300 - 800
Terreni alluvionali sciolti	400 - 2000
Marne	1600 - 2400
Rifiuti solidi urbani indifferenziati non saturi di fluidi	300 - 500

Le indagini in oggetto sono state compiute adoperando una strumentazione di acquisizione mod. **M.A.E. A-2000**, dotata di 24 canali e con convertitore A/D a 16 bit, 2048 campioni per canale, 5000 c/s per canale, 90 dB di guadagno e gain regolabile (cfr. Fig. 5).


Figura 5 Sismografo M.A.E. A2000

In presenza di una topografia irregolare, di un sottosuolo comunque stratificato ed in cui gli orizzonti rifrattori siano caratterizzati da una morfologia variabile (ovverossia in cui l'angolo che questi formano con l'orizzontale varia continuamente), i diagrammi tempo-distanze risultano piuttosto articolati.

La necessità in questi casi è rilevare ogni variazione di spessore degli strati all'interno del profilo sismico di misura e tra gli approcci messi a punto per risolvere questo problema vi è il cosiddetto metodo del tempo di ritardo (delay time).

2.1.1 – Elaborazione dei dati sismici – metodo di analisi “delay time”

Come si è accennato in precedenza, la reale velocità del rifrattore non può essere determinata energizzando da un solo lato dello stendimento, ma misurando i tempi di arrivo delle onde elastiche da tiri coniugati.

In questo paragrafo è descritto il metodo di analisi per la sismica a rifrazione, noto come delay - time, introdotto da Gardner nel 1939.

Nel seguito sono, inoltre, descritti i concetti del metodo *Plus-Minus*, che adotta i principi del delay – time, ulteriormente (Hagedoorn, 1959).

L'elaborazione fatta dei dati sismici si basa sui concetti fondamentali enunciati da questi due approcci di analisi.

Si definisce delay - time (o tempo di ritardo), riferito ad un determinato raggio sismico di una traiettoria di rifrazione, la differenza tra il tempo che il raggio impiega a percorrere quel tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette, ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto, alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

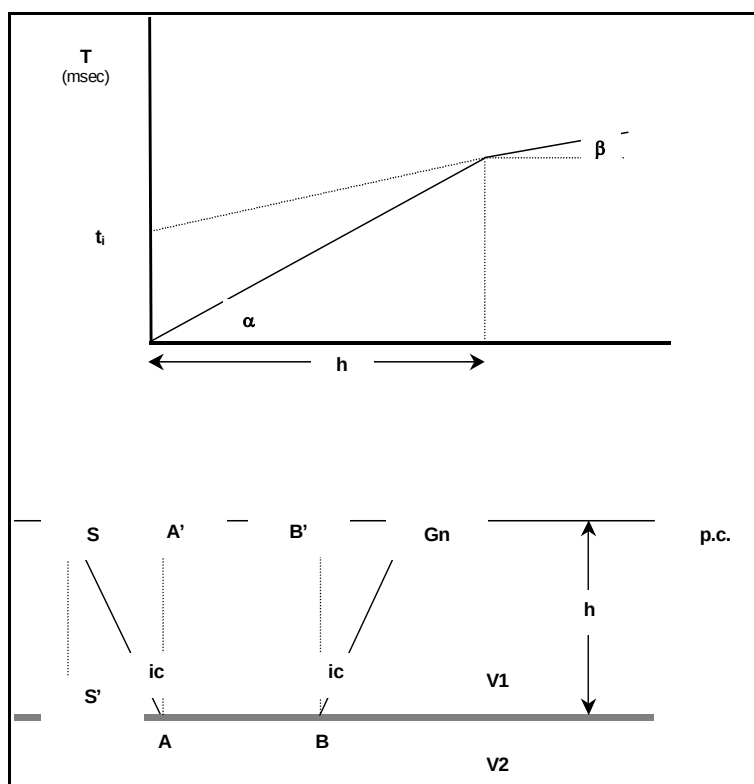


Figura 6 Delay-time principio geometrico

Se si considera la figura (cfr. Fig. 6), il tempo di ritardo, riferito al raggio sismico **SA**, è dato da:

$$D_{12} = \frac{SA}{V_1} - \frac{S'A}{V_2}$$

dove il primo pedice (1) sta ad indicare lo strato in cui si verifica il ritardo ed il secondo (2) sta ad indicare lo strato rispetto a cui si calcola il ritardo. Da cui:

$$D_{12} = \frac{h}{V_1 \cos i_c} - \frac{h \sin i_c}{V_1 \cos i_c}$$

poichè, come noto, $\sin i_c = V_1/V_2$, si ha:

$$D_{12} = \frac{h \cos i_c}{V_1} \quad (1)$$

Dalla relazione relativa al tempo di arrivo dell'onda rifratta T_r :

$$T_r = \frac{x}{V_2} - \frac{2h}{V_1} \cos i_c$$

essa può essere riscritta come il tempo necessario a percorrere la distanza x a velocità V_2 , più i due tempi di ritardo relativi ai due tratti di percorso **SA** e **BGn** effettuati a velocità V_1 :

$$T_r = \frac{x}{V_2} - \frac{2h \cos i_c}{V_1} = \frac{x}{V_2} + 2D_{12}.$$

Ne deriva che il tempo di intercetta t_i , è il doppio del tempo di ritardo. Infatti, per $x = 0$ si ottiene che:

$$T_r = t_i = 2D_{12}.$$

Esprimendo la formula (1) in termini di velocità la , si ottiene:

$$D_{12} = \frac{h \sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2}$$

e quindi:

$$t_i = \frac{2h \sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2}$$

da cui lo spessore **h** risulta:

$$h = \frac{t_i}{2} \frac{V_1 V_2}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}.$$

2.1.2 – Elaborazione dei dati sismici – metodo di analisi Plus – Minus

Il metodo di analisi noto come Plus-Minus, introdotto da Hagedoorn nel 1959.

Tale metodo include l'analisi del tempo *Plus*, per il computo della profondità, e l'analisi del tempo *Minus*, per la determinazione della velocità.

La base dell'analisi del tempo Plus-Minus è fondata sul principio della reciprocità dei tempi di tragitto ovvero che il tempo di tragitto dell'onda sismica da una sorgente al ricevitore è uguale al tempo di tragitto nella direzione opposta se la sorgente ed il ricevitore sono invertiti tra loro.

Per utilizzare l'analisi del tempo Plus, è essenziale eseguire tiri reciproci in modo che l'arrivo diretto si estenda almeno alla posizione della sorgente del tiro inverso (S_r) e che l'arrivo inverso si estenda alla posizione del tiro diretto (S_f).

La finestra di analisi Plus-Minus è definita dai due punti di incrocio diretto (X_f) ed inverso (X_r), che determinano i limiti tra gli arrivi del primo e secondo strato (cfr. Fig. 7).

Il valore del tempo *Plus* (T^+) può essere determinato per ciascun ricevitore all'interno della citata finestra. Il valore del tempo Plus, presso ciascun ricevitore (T^+_D), è definito come la somma del tempo di tragitto dalla sorgente diretta (T_{AD}) più il tempo di tragitto al ricevitore dalla sorgente inversa (T_{HD}), meno il tempo di tragitto tra due sorgenti (T_{AH}).

$$T^+_D = T_{AD} + T_{HD} - T_{AH}.$$

Compiendo alcune sostituzioni, lo spessore al di sotto del primo strato, sotto ciascun ricevitore, è espresso dalla relazione:

$$Z_{1D} = [(T^+_D) * (V_1)] / 2(\cos(\theta_c))$$

dove $(\theta_c) = \sin^{-1}(V_1 / V_2)$, e V_1 e V_2 sono rispettivamente le velocità del primo e del secondo strato.

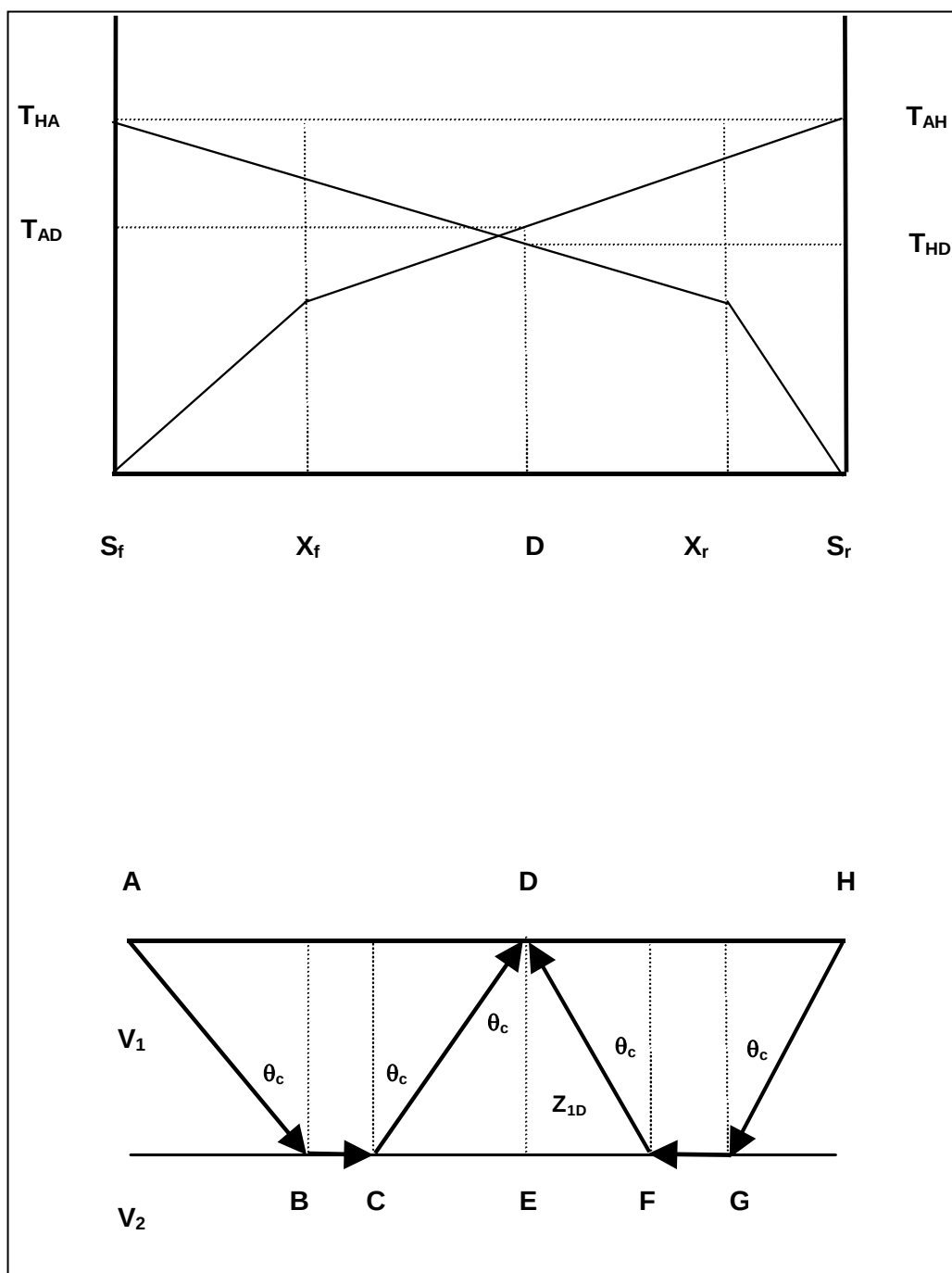


Figura 7 Analisi del tempo Plus in accordo con il metodo “Plus-Minus”

Il valore del tempo *Minus* (cfr. Fig. 8), presso ciascun ricevitore (T_D^-), è definito come la differenza, presso un ricevitore, del tempo di tragitto dalla sorgente inversa (T_{HD}) meno il tempo di tragitto al ricevitore dalla sorgente diretta (T_{AD}), meno il tempo di tragitto tra due sorgenti (T_{AH}):

$$T_D^- = T_{AD} - T_{HD} - T_{AH}$$

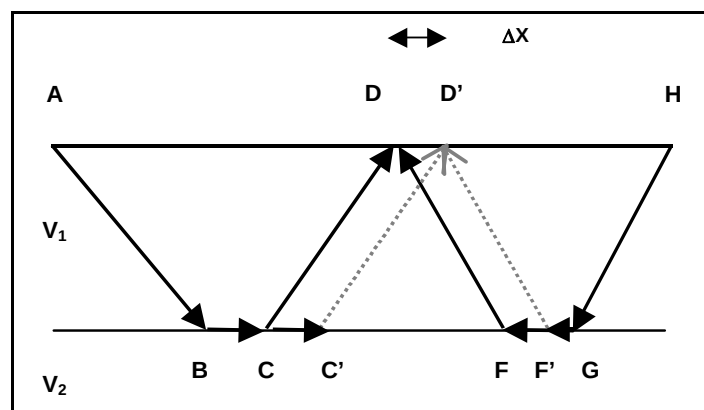


Figura 8 Analisi del tempo Minus in accordo con il metodo “Plus-Minus”

L’analisi della velocità del secondo strato può essere determinata utilizzando il valore del tempo *Minus* ai due ricevitori (**D** e **D’**), aventi una distanza determinata (**ΔX**). La formulazione matematica di detto valore è la seguente:

$$T_{D'}^- - T_D^- = \Delta T_D^- = 2(\Delta X) / V_2$$

La velocità del secondo strato (**V₂**) è pari a due volte l’inverso della pendenza della retta dei minimi quadrati, passante per la variazione dei tempi *Minus* (**ΔT_D⁻**) calcolata per i ricevitori all’interno della finestra di analisi *Plus-Minus*:

$$V_2 = 2(\Delta X) / \Delta T_D^-$$

2.1.3 – Prospezione sismica a rifrazione e sue applicazioni nello studio di aree adibite a discarica

Fermo restando le considerazioni sui principi della rifrazione sismica fatte poc’anzi, nell’ambito delle applicazioni di questi metodi per la caratterizzazione dei siti adibiti a discariche, l’eterogeneità sia nella tipologia merceologica dei materiali ivi stoccati, che nelle tecniche costruttivi, comporta la scelta a priori di un modello sismico del sottosuolo.

Detto modello, in accordo con quanto riportato nelle pagine precedenti e con dati desunti dalla letteratura tecnica, prevede che il volume contenente i rifiuti sia distinto da una velocità delle onde elastiche più bassa relativamente ai terreni in sito o ad un substrato locale (litoide), su cui il sito di discarica è stato impostato.

Questo modello rappresenta il riferimento sulla base del quale sono state fatte le considerazioni riportate nelle pagine seguenti.

2.2 – Prospezione geoelettrica

2.2.1 – Misure geoelettriche di resistività apparente

Il metodo geoelettrico consiste nella determinazione sperimentale della distribuzione di resistività caratterizzante la struttura elettrica del sottosuolo. Il metodo si basa sul principio fisico per cui, inviando una corrente elettrica nel sottosuolo, ogni disomogeneità presente, dove per disomogeneità s'intendono corpi a diversa capacità di conduzione elettrica, deflette le linee di corrente distorto la normale distribuzione di potenziale elettrico.

La resistività elettrica del sottosuolo può essere determinata moltiplicando il rapporto tra la caduta di potenziale, misurata su una coppia di elettrodi, e la corrente inviata, per un coefficiente geometrico dipendente dalla disposizione degli elettrodi sul terreno.

Una delle tecniche di acquisizione dei dati utilizzabili quando si eseguono prospezioni geoelettriche è quella della pseudo-sezione dipolare assiale (*dipolo-dipolo assiale*). La procedura di acquisizione dei dati di campagna prevede che ogni valore di resistività misurato, venga attribuito ad un punto individuato dall'intersezione tra due linee che, partendo dal punto medio dei dipoli si approfondiscono nel sottosuolo, con un'inclinazione di 45° rispetto alla superficie. Ciò viene fatto perché il volume di terreno così individuato è quello interessato dalla maggior parte delle linee di corrente immesse nel sottosuolo.

Per ottenere un profilo di resistività si varia, secondo le necessità del caso, la posizione del dispositivo elettrodico sull'area da investigare, ottenendo la distribuzione delle resistività apparenti nel volume interessato dalla circolazione di corrente elettrica (cfr. Fig. 9).

AB - Elettrodi di energizzazione
MN - Elettrodi di ricezione

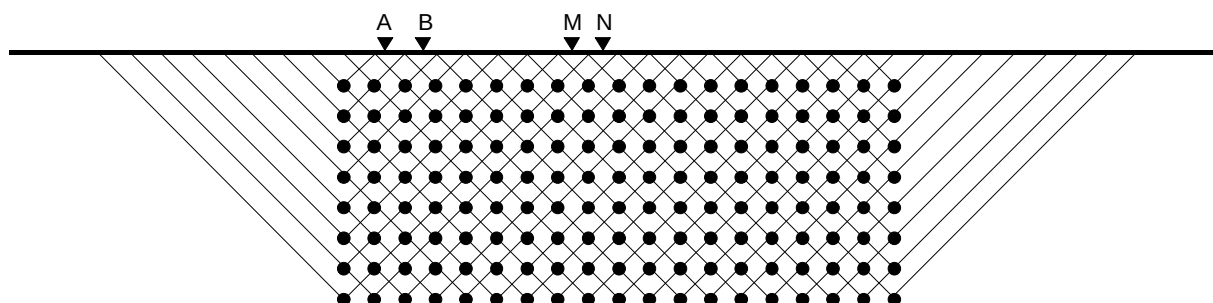


Figura 9 Schema di dispositivo e di maglia di acquisizione nel caso di indagini elettriche dipolo-dipolo

La formula utilizzata nel calcolo delle resistività apparenti è:

$$\rho_a = [\pi a n (n+1) (n+2)] (\Delta V/I) \quad (2)$$

dove:

ρ_a	=	resistività apparente
a	=	distanza dipolare
n	=	rapporto tra distanza interelettroica e distanza dipolare a
ΔV	=	differenza di potenziale ai capi di MN
I	=	intensità di corrente inviata tramite AB .

In tal modo si ottiene la determinazione della distribuzione di resistività nell'intero volume interessato dalla circolazione di corrente elettrica. L'elaborazione dei dati acquisiti in campo vede una prima realizzazione, per ogni sondaggio, di *pseudo-sezioni* di resistività apparente, che possono sostanzialmente essere considerate delle tomografie al prim'ordine, nel senso che tali pseudo-sezioni rappresentano la distribuzione della resistività elettrica del sottosuolo, nel piano verticale passante per il profilo di misura.

2.2.2 – Misure geoelettriche di polarizzazione indotta (IP)

L'effetto di IP può essere ottenuto con un dispositivo standard geoelettrico a quattro elettrodi con corrente continua, interrompendo bruscamente l'immissione di corrente. La differenza di potenziale sugli elettrodi riceventi, nel caso generale, non scende mai improvvisamente a zero, ma decade più o meno lentamente, dopo una brusca diminuzione iniziale rispetto al valore stazionario originale. Il tempo di decadimento dipende dai materiali e dalla profondità alla quale questi materiali sono ubicati e può andare da decine di millisecondi a qualche minuto.

Il decadimento del potenziale rappresenta fisicamente il ritorno allo stato originale in seguito al "disturbo" dovuto all'immissione di corrente. Durante gli istanti in cui è presente il flusso di corrente, una parte dell'energia coinvolta nel processo di conduzione, viene immagazzinata come energia chimica e poi rilasciata più o meno rapidamente all'interruzione del flusso di corrente.

Questo immagazzinamento di corrente (noto come "effetto capacitivo") è fondamentalmente il risultato di due processi:

- ♦ la variazione di mobilità degli ioni e dei fluidi attraverso la roccia o il materiale incassante;
- ♦ la variazione tra la conducibilità ionica ed elettronica quando sono presenti particelle minerali metalliche o, comunque, molto conduttive.

La curva di scarica viene campionata tra due istanti di tempo t_1 e t_2 e viene calcolata la cosiddetta caricabilità, in base alla formula:

$$m = \frac{1}{V_c(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt$$

Solitamente, le prime decine di millisecondi non vengono tenute in considerazione nel calcolo della caricabilità per evitare la presenza di effetti induttivi.

Graficamente, i valori caricabilità calcolati in una generica configurazione vengono considerati come valori di caricabilità apparenti m_a e riportati in forma di pseudo-sezioni esattamente come fatto per il caso delle resistività.

Nella figura di seguito, viene mostrata la forma d'onda utilizzata nella prospezione in esame.

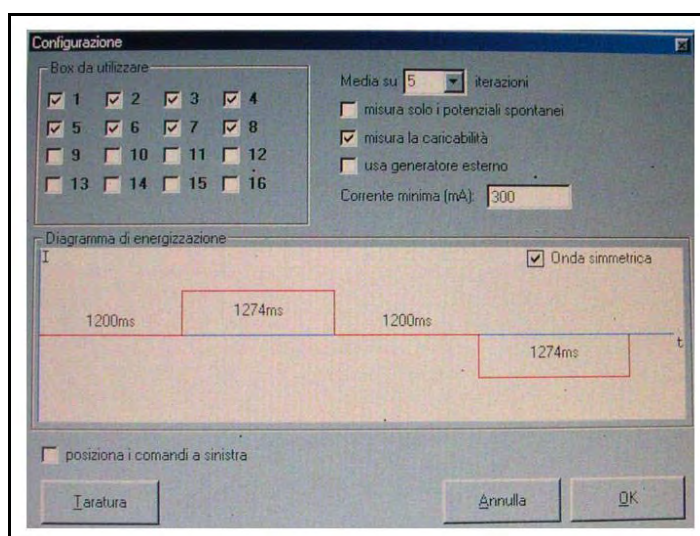


Figura 10 Immagine della finestra di dialogo per il calcolo della IP

I meccanismi in base al quale l'energia chimica immagazzinata viene poi rilasciata, si possono fondamentalmente riassumere, in due tipologie: quello di membrana ed in quello di elettrodo.

Occorre però evidenziare che le questioni circa le origini delle anomalie di IP sono ancora dibattute ed un modello complessivo non è stato ancora definito.

2.2.3 – Polarizzazione di membrana

Un fattore fondamentale della conduzione elettrica nei materiali, quando non sono presenti concentrazioni elevate di minerali metallici ed in condizioni di bassa frequenza, è costituito dalla conduzione elettrolitica.

In generale, un materiale va visto come qualcosa di poroso per permettere i flussi di corrente che trasportano così la carica elettrica. Normalmente, i minerali contenuti nei fluidi possiedono una carica negativa all'interfaccia tra il materiale ed il fluido di poro. In tal modo, gli ioni positivi dei fluidi vengono attratti da questi minerali, quelli negativi vengono invece respinti.

Se i pori sono dell'ordine delle dimensioni di queste concentrazioni, si generano delle situazioni di blocco che di fatto, in presenza di una corrente elettrica applicata, impediscono il moto delle cariche. All'interruzione della corrente, il sistema tende a ritornare al suo stato iniziale e per far ciò impiega un certo tempo che è quello che permette di osservare la curva di scarica nelle differenze di potenziale misurate.

L'osservazione principale che bisogna fare è che questo fenomeno è particolarmente rilevante in presenza di porosità diffusa all'interno della quale esistono minerali in una determinata concentrazione (solitamente circa il 10%). Infatti, sia se i pori sono troppo grandi o i fluidi sono molto diffusi, sia se la concentrazione dei minerali è troppo alta, il fenomeno di carica e scarica alla base della IP non ha luogo.

Naturalmente, l'intensità del fenomeno è legata anche alla natura dei minerali presenti. Normalmente è massima in presenza di minerali argillosi, ma può assumere valori rilevanti anche in presenza di altri minerali metallici.

2.2.4 – Polarizzazione di elettrodo

Questo tipo di polarizzazione in principio è simile a quella vista precedentemente, con la differenza che diventa predominante quando ci sono minerali metallici e la conduzione della corrente è parte elettronica e parte elettrolitica. Fisicamente, in presenza di minerali metallici che ostruiscono i pori del materiale, si genera una distribuzione di carica superficiale sulle facce del minerale con segni opposti alle due estremità. Questa distribuzione, esattamente analoga a quella di un piccolo condensatore, dà luogo alla carica - scarica alla base della IP.

Anche in questo caso si tratta di un fenomeno di superficie, quindi particolarmente rilevante quando i minerali sono presenti in forma disseminata e non massiva. Naturalmente, l'effetto totale di IP sarà una combinazione dei due effetti sopra descritti, ma la circostanza importante è che il

fenomeno ha luogo in maniera rilevante, soltanto se le cause che lo generano sono presenti in forma non diffusa.

2.2.5 – Inversione dei dati geoelettrici

Il problema dell'inversione dei dati geoelettrici, sia di resistività che di polarizzazione indotta, viene studiato da molti anni da numerosi ricercatori. Lo scopo è quello di trasformare le pseudo-sezioni in sezioni vere di resistività, lungo le quali ci si aspetta di ottenere immagini nette delle geometrie di discontinuità tra regioni a diversa resistività. Questo problema è dibattuto dagli anni '70 ed un'estesa bibliografia in merito ai fondamenti del problema teorico può essere riassunta come segue: Edwards 1977, Barker 1992, Sasaki 1992, Griffiths and Barker 1993, Dahlin 1996, Turberg and Barker 1996, Pelton et al. 1978, Petrick et al. 1981, Parker 1984, Smith and Vozoff 1984, Tripp et al. 1984, Sasaki 1989, 1994, Shima 1990, Park and Van 1991, Sen et al. 1993, Loke and Barker 1995, 1996, Beard et al. 1996, Chunduru et al. 1995, 1996. I riferimenti bibliografici sono riportati in calce alla presente relazione.

La ricerca scientifica riguardante il problema dell'inversione geoelettrica ha subito nell'ultimo periodo una netta accelerazione, coincidente da una parte con l'impiego sempre più massiccio dei metodi di resistività nelle indagini geofisiche e dall'altra con la disponibilità di strumenti di calcolo sempre più potenti e veloci.

L'approccio inverso all'elaborazione dei dati geoelettrici ha visto dunque una notevole serie di articoli su diversi modi di affrontare il problema.

Questi articoli si possono considerare alla base di tutte le più moderne tecniche di inversione dei dati geoelettrici. Parallelamente, si è verificata anche una grande diffusione, a livello commerciale, di softwares di inversione basati sui suddetti algoritmi. Sicuramente, in proposito, l'esempio principale da considerare è l'algoritmo di Loke & Barker del 1996, relativo all'inversione bidimensionale, sulla base del quale gli autori hanno poi implementato successive routines fino alla trattazione di dati 3D, e dei softwares commerciali (RES2DINV e poi RES3DINV), anch'essi da considerarsi come punto di riferimento in proposito.

Ovviamente, l'idea di disporre di softwares in grado di invertire dati geoelettrici sia 2D che 3D, ossia la possibilità di ottenere la reale geometria e distribuzione di resistività e caricabilità, appare sicuramente una prospettiva alquanto allettante.

Il problema fondamentale, quasi sempre ignorato, è che tale possibilità (cioè passare dalle resistività e caricabilità apparenti a quelle reali) ha delle limitazioni molto forti che dipendono dai principi fisici alla base del metodo e sono assolutamente insuperabili.

L'aspetto fondamentale del problema è che, in queste procedure di inversione, viene assegnato un ruolo puramente deterministico al processo di interpretazione, in contrasto con la natura di incertezza che è invece insita nel processo di misura geofisica ed alla cui base c'è il principio di equivalenza (più modelli possono generare lo stesso set di dati all'interno dell'errore sperimentale, sia pur piccolo, connesso alla misura).

Questo comporta che la risposta che tali softwares danno come output è la soluzione non del particolare problema nel suo insieme, ma di una sua sottoclasse, ossia di quel problema vincolato da un modello di partenza scelto a priori come input del processo: se cambia il modello di partenza cambia il risultato finale! Se prendiamo come esempio il RES3DINV di Loke, questa avvertenza è ben sottolineata all'interno del manuale.

L'altro problema, stavolta sia di calcolo che di principio, riguarda il modo di operare l'inversione, che avviene effettuando l'inversione della matrice Jacobiana del sistema: l'inversione è un processo estremamente instabile che risulta possibile solo introducendo i cosiddetti *damping factor* e *flatness filters*, che non sono altro che dei filtri e dei constraints all'interno dell'algoritmo di inversione. Se vengono cambiati questi, cambia di nuovo il risultato dell'inversione.

L'approccio che si è adoperato differisce dai metodi tradizionali di inversione per la sua natura essenzialmente probabilistica. I dati di resistività apparente e di caricabilità apparente appartenenti alle pseudo-sezioni sono stati dunque elaborati mediante *algoritmi di tomografia di probabilità* (Mauriello & Patella, 1999). Tale elaborazione fornisce come risultato finale sezioni reali, per mezzo delle quali è possibile effettuare una valutazione degli spessori e delle forme dei terreni investigati. In tali sezioni sono rappresentate, mediante dei grafici a colori, *le probabilità di occorrenza delle anomalie di resistività e di caricabilità nel sottosuolo, la probabilità cioè che in un dato punto all'interno del terreno, sia presente un valore della resistività o di caricabilità che si discosti rispetto a quello previsto da un fissato modello di riferimento.*

Il principio del metodo può essere riassunto come segue: l'ipotesi principale è che tutte le misure geoelettriche (diciamo N misure totali, dove per singola misura si intende la resistività apparente o la caricabilità apparente misurate per una generica configurazione dei quattro elettrodi posti in posizioni qualsiasi) raccolte su una generica superficie S, costituiscano un insieme di dati

di resistività (lo stesso dicasi però per la caricabilità) apparente ρ_a . Introduciamo per la a -esima la quantità definita potenza W come:

$$W = \sum_{n=1}^N \rho_{a,n}^2.$$

Nell'equazione, $\rho_{a,n}$, è un particolare dato tra gli N disponibili, con N arbitrariamente grande. Assumiamo ora che l'intero volume che genera la funzione ρ_a sia costituito da Q piccole celle caratterizzate ciascuna da una resistività reale ρ_q ($q=1, \dots, Q$).

Definendo come $\Delta\rho_q$ la differenza tra la resistività nella q -ma cella e la resistività nella stessa posizione di cella in un dato modello di riferimento (che in quest'ottica non ha nulla di aprioristico ma serve solo come puro e semplice riferimento), si può arrivare a definire la probabilità che in un determinato punto del sottosuolo esista una anomalia di resistività rispetto al modello di riferimento.

Questa probabilità si può andare a definire come:

$$\eta_q = C_q \sum_{n=1}^N (\rho_{a,n} - \rho_{a,0}) \mathfrak{F}_q$$

dove C_q è una costante di normalizzazione, $\rho_{a,0}$ è la resistività apparente calcolabile a partire dal modello di partenza e $\mathfrak{F}_q$ è la derivata di Frechet del problema, ossia la funzione di variazione infinitesima della resistività apparente in una qualunque configurazione per una variazione della resistività reale nel generico punto $\mathbf{r}_q$, analiticamente calcolabile ed riportata nell'articolo allegato.

Ogni valore della funzione $\eta_q(\mathbf{r}_q)$ va intesa come la probabilità che in ogni punto $\mathbf{r}_q$ del sottosuolo esista un'anomalia di resistività rispetto al modello di riferimento che genera l'intero set di dati misurati. Valori positivi di probabilità andranno a significare che esistono anomalie positive di resistività, valori negativi che esistono anomalie negative, sempre rispetto al modello di riferimento che è stato scelto. Inoltre, per quanto riguarda la teoria del metodo di polarizzazione indotta, si può adoperare il trattamento classico di Seigel (1959) che scrive gli N termini di caricabilità apparente m_a come:

$$m_a = \sum_{q=1}^Q m_q \frac{\partial \log \rho_a}{\partial \log \rho_q}.$$

Così, per la caricabilità può essere adoperato lo stesso algoritmo di probabilità della resistività, andando a definire una funzione scanner, come nel caso della resistività, e calcolando sezioni verticali di probabilità di occorrenza di anomalie di caricabilità rispetto ad un modello di

riferimento. In tal caso però, probabilità fortemente negative sono ovviamente legate ad assenza di caricabilità, essendo la caricabilità sempre maggiore di zero, mentre probabilità positive sono da correlare a zone in cui esistono punti più caricabili.

A titolo esemplificativo si riporta una tabella con i valori indicativi delle resistività elettriche e della caricabilità per diversi litotipi, desunti da dati bibliografici.

Tabella 2 – Valori indicativi per le proprietà elettriche

LITOTIPO	$\rho (\Omega \cdot m)$	$m_a (ms)^4$
Acqua marina	$\approx 10^{-1}$	
Acqua salmastra	1	
Acqua dolce	10 - 100	
Arenarie	300 – 3000	
Argilla	1 – 100	< 3 ms
Sabbia e ghiaia asciutta	800 – 5000	
Sabbia e ghiaia in falda	200 – 400	
Terreni alluvionali sciolti	10 – 1000	
Marne	20	
Rifiuti domestici indifferenziati non saturi di fluidi	12 – 30	> 10 ms
Oli esausti	150 – 750	
Plume contaminato da rifiuti domestici	1 - 10	

La strumentazione adoperata è un resistivimetro multicanale della mod. **M.A.E. A3000E** con le caratteristiche tecniche riportate nella tabella di seguito.

⁴ I valori della caricabilità risultano molto meno indicativi, in ragione della ridotta quantità di lavori e di una bibliografia molto meno consistente a riguardo.

Tabella 3 - Riepilogo delle caratteristiche della strumentazione utilizzata

Numero massimo di canali: 24
Parametri misurabili: resistività apparente, resistenza, voltaggio (SP), polarizzazione indotta (IP)
Voltaggio massimo 700 V (1400 picco a picco)
Corrente in uscita: 2 A
Fonte di energizzazione esterna, con convertitore AC/DC alimentato da generatore esterno, a potenza variabile da 0 a 800 W
Risoluzione: 10 μ A e 1 μ A
Input impedenza 10 M Ω
Compensazione automatica del potenziale spontaneo da -5 V a +5 V, compensazione reale misurata prima di ogni misura
Test di resistenza di contatto dei singoli elettrodi da 0,1 a 1000 K Ω
Acquisizione dei valori di IP e resistività in contemporanea
IP programmabile
Energizzazione con onda quadrata programmabile da PC interno con tempi da 100 ms

Quest'apparecchiatura è costituita da due sezioni fondamentali: un'unità principale di acquisizione ed una serie di unità remote, preposte allo *switch* periodico degli otto picchetti, mediante operazioni cadenzate di immissione corrente e/o misurazione della tensione risultante (cfr. Fig.11).

**Figura 11 Resistivimetro M.A.E. A3000E**

2.2.6 – Prospezione geoelettrica e sue applicazioni allo studio di aree adibite a discariche

Numerosi studi e lavori, maturati sia in ambito professionale che universitario, riguardano la definizione delle contaminazioni da parte delle matrici ambientali, ad opera di diversi inquinanti (tra cui i rifiuti solidi urbani), mediante tecniche non invasive come quella geoelettrica.

In questi lavori si sottolinea come *«la resistività elettrica misurata in situ in terreni che abbiano interagito con percolati, risulta significativamente più bassa rispetto ai valori misurati nelle stesse formazioni geologiche “vergini”. Tale comportamento dipende da diversi fattori tra cui la natura delle rocce, degli inquinanti e dalle interazioni chimico-fisiche che coinvolgono le litologie interessate»* (AA.VV.). Nelle stesse pubblicazioni si sottolinea, inoltre, come la presenza di ioni in soluzione nei sedimenti, comporti un aumento della conducibilità in funzione della concentrazione dei medesimi ioni, arrivando a situazioni limite in cui la quantità relativa nei pori è tale da inibire, anziché facilitare, il passaggio di corrente elettrica, per cui la presenza di un eventuale inquinante nel terreno risulterebbe in una sostanziale diminuzione della conducibilità elettrica.

Questo è il motivo per cui, onde evitare equivocate interpretazioni nello studio dei siti inquinati, trova particolare interesse l'analisi del parametro di caricabilità. Secondo questa proprietà *«i percolati, che sono caratterizzati da condizioni riducenti, presentano significative concentrazioni di solfuri insolubili che aumentano la caricabilità naturale del terreno»* (Abu-Zeid et Alii, 2001). E' importante notare che i fenomeni di polarizzazione indotta sono, come detto, “fenomeni di superficie”, nel senso che avvengono alla transizione (cioè all'interfaccia) tra soluzioni (quali ad esempio proprio il percolato di una discarica) e i minerali che generano le anomalie di caricabilità. Ribadiamo che una vera e propria teoria fisica esplicativa del fenomeno non è ancora stata formulata, ma il modello generalmente accettato alla base del metodo si riferisce proprio ai citati effetti di superficie, quali quelli di membrana e di elettrodo.

In entrambi i casi si prevede che il fenomeno della polarizzazione indotta è rilevante quando i minerali che la generano sono presenti in forma disseminata, ossia quando si raggiunge una condizione di equilibrio tra la concentrazione dei minerali all'interno della matrice liquida e la dimensione dei pori, in modo da creare quell'effetto “condensatore” alla base della creazione dell'anomalia di caricabilità. In presenza, infatti, di liquidi e minerali presenti in forma massiva, cioè grandi percentuali di fluidi con grande mobilità e assenza di piccoli pori, non si genera quel passaggio alternato da sezioni più grandi a sezioni praticamente ostruite all'interno di pori che costituisce in pratica l'effetto di carica e scarica alla base del metodo.

E' da aspettarsi, dunque, una rilevante anomalia di caricabilità dove i fluidi con minerali passano all'interno di pori con dimensioni tali da trovare quegli ostacoli che possano generare il fenomeno capacitivo di polarizzazione indotta. Da notare, inoltre, che proprio il fatto che il metodo sia rilevante quando i minerali sono presenti in forma disseminata e non largamente diffusi e liberi di circolare senza ostruzioni, lo rendono un utile complemento ad altre metodologie quali ad esempio la geoelettrica che osservano invece anomalie rilevanti quando sono presenti sorgenti in forma massiva, ossia con grandi estensioni senza ostruzioni interne.

Volendo sintetizzare, diciamo che in contesti quali quelli che si possono presentare in una discarica, il modello geoelettrico che ci dovremmo aspettare prevede la presenza di elevati valori di caricabilità connessi con i liquami percolanti la massa di rifiuti, generalmente molto conduttivi, laddove risultino confinati localmente in zone elettricamente isolate o qualora contengano barriere isolanti che, sebbene by-passabili, costituiscono zone di momentaneo accumulo di cariche elettriche.

Se però il percolato è presente in forma massiva, potrebbe esserci un'assenza di rilevanti segnali di IP e quindi dei bassi valori di caricabilità nelle tomografia geoelettriche.

In situazioni di percolato che, invece, circola attraverso pori all'interno di materiale più compatto, potrebbe verificarsi una rilevante l'anomalia di IP, intesa come alti valori di caricabilità nelle sezioni tomografiche.

Infine, in presenza di gas, se si muove all'interno di pori o fratture e, come prevedibile, trasporta particelle fluide in sospensione, si potrebbe avere un rilevante effetto IP con alti valori di caricabilità.

La stima della eventualità di ritrovare rifiuti nel sottosuolo è stata quindi effettuata mediante un approccio geofisico multi-metodologico, ovverosia sulla base della ricorrenza di anomalie evidenziate, nella stessa posizione, dai diversi metodi (resistività, sismica e polarizzazione indotta).

Quanto detto risulta la base teorica delle considerazioni e dei modelli geofisici del sottosuolo che verranno di seguito illustrate, relativamente ai risultati della campagna di investigazione con metodi indiretti.

3 – Resoconto delle attività di campo

3.1 – Prospezione sismica a rifrazione

Come riportato in premessa, la campagna di prospezioni sismiche ha comportato l'esecuzione di stendimenti. In dettaglio sono stati effettuati i seguenti profili:

- ♦ Agropoli: n°18 profili;

La prima operazione è consistita nel posizionare sul terreno 8 geofoni, con passo di 5 metri, lungo allineamenti scelti sulla base della logistica dei siti. La generazione delle onde elastiche è avvenuta, per ciascun profilo, attraverso l'impatto al suolo di una massa battente (martello). L'offset di energizzazione (distanza tra sorgente e primo sensore "utile" del profilo) è stato mediamente di circa 5-10 metri (cfr. Fig. 12).

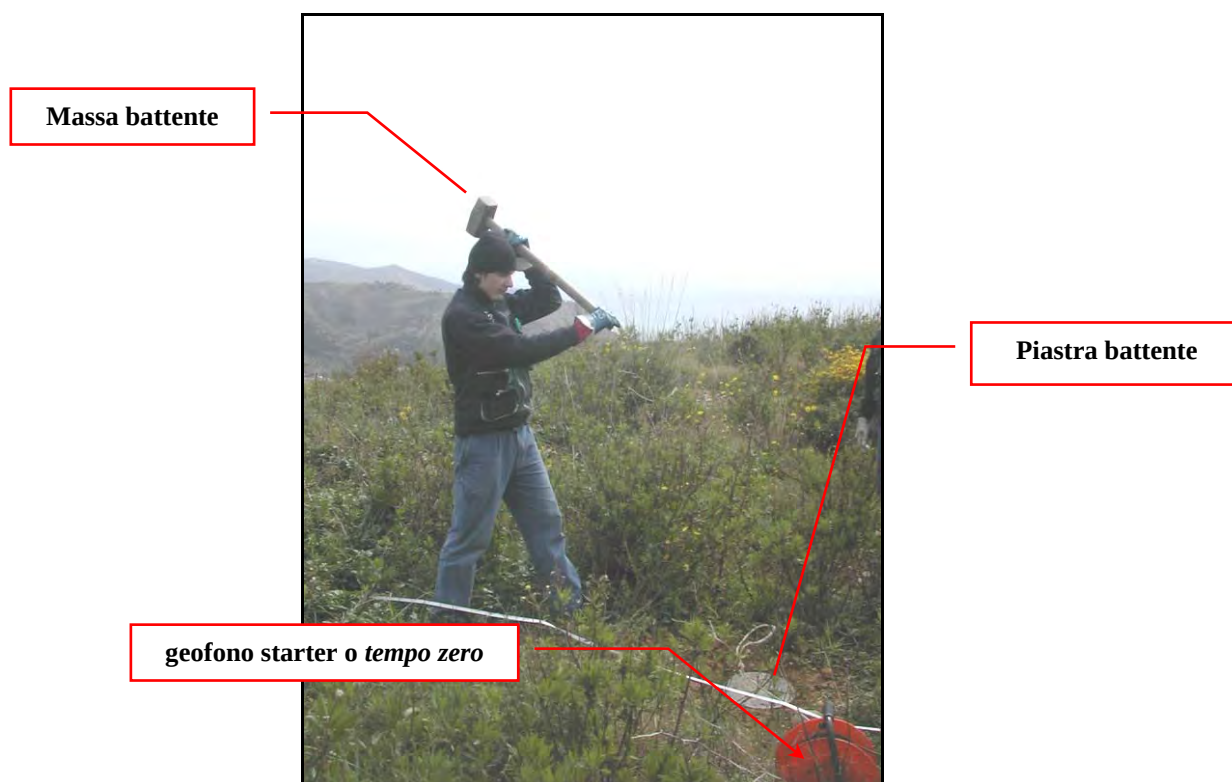


Figura 12 Prospezione sismica a rifrazione: fasi di energizzazione

Per rendere più efficace l'impatto ed accentuare l'effetto di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo è stata posizionata sul terreno una piastra in metallo (cfr. Fig. 12). Per ogni profilo sono stati effettuati due tiri (uno diretto ed uno inverso), mediante impatti ripetuti procedendo con la metodologia a sommatoria in modo da ottenere un segnale caratterizzato da un rapporto con il rumore soddisfacente.

Particolare attenzione è stata posta nel fissare i geofoni al suolo. Per garantire una buona adesione degli stessi al terreno, nei casi più singolari, si è proceduto alla realizzazione di piccoli scavi nel terreno fino a raggiungere una porzione di suolo più compatto (cfr. Fig. 13). Anche per la piastra battente si è proceduto ad asportare alcuni centimetri di terreno particolarmente allentato.



Figura 13 Geofono posizionato all'interno di una piccola buca

Complessivamente ciascun profilo sismico ha raggiunto una lunghezza massima di 50 m.

Un'altra delle problematiche note, relativa all'applicazione di metodi sismici allo studio di discariche, riguarda il forte assorbimento dell'energia elastica negli strati più superficiali, dovuto all'incoerenza e alla bassa densità dei materiali ospiti, che di fatto apporta una notevole attenuazione dell'energia. Questo fenomeno di attenuazione è stato effettivamente rilevato durante l'esecuzione dei profili, richiesti dalla D.L., aventi lunghezza maggiore di quella contemplata nel capitolato d'appalto (fino a c.a. 100 m); svariati test, eseguiti utilizzando, oltre alla tipologia di sorgente prevista nelle specifiche anche magli di massa superiore, hanno dato esiti non soddisfacenti. Nei suddetti profili, eseguiti disponendo lungo gli allineamenti 16 geofoni, il segnale non risultava intelligibile oltre l'8°-9° canale.

Prima di procedere all'energizzazione si è proceduto all'acquisizione del *rumore ambientale*. Considerate le caratteristiche dei siti investigati, l'entità di questa grandezza è risultata ovviamente poco significativa, eccetto che nel caso della discarica di Agropoli dove la presenza di macchinari in funzione, presso l'area di stoccaggio delle ecoballe, ha rappresentato una fonte di disturbo. In fase di processing ed elaborazione dati è stato opportuno rimuovere, con l'utilizzo di operatori di filtraggio automatici, questa componente di fondo.

Al termine dell'acquisizione del rumore si è proceduto all'energizzazione vera e propria presso ciascun sito, di solito compiuta mediante 6-10 iterazioni per tiro, alla contemporanea lettura dei tempi e ad una prima valutazione di massima delle velocità direttamente in sito.

Successivamente, i segnali acquisiti sono stati processati mediante software dedicati (WinSism, Interpex, etc.) per apportare eventuali filtraggi al segnale e per la lettura dei tempi di primo arrivo.

In fase di restituzione, per ciascuno stendimento sono stati forniti:

- a. I tempi letti per ciascun tiro (diretto ed inverso).
- b. La rappresentazione grafica delle dromocrone (ovvero segmenti di retta che segnalano percorsi effettuati dalle onde con uguale velocità).
- c. Sezione bidimensionale degli orizzonti sismici con i valori delle velocità e dello spessore del primo strato, sotto ciascun geofono.

Il calcolo dello spessore è stato effettuato considerando la finestra di analisi Plus-Minus e, laddove possibile, calcolando lo spessore al di fuori della suddetta finestra.

Di seguito, per ciascun stendimento, sono riportati i valori di velocità V_1 e V_2 e di spessore calcolati, rimandando il lettore all'Allegato 1, per una più esaustiva lettura delle schede relative a ciascun stendimento.

3.2 – Prospezione geoelettrica

La campagna di prospezione geoelettrica è consistita nell'esecuzione di profili in configurazione dipolo – dipolo assiale. In dettaglio sono stati effettuati i seguenti profili:

Per quanto concerne le operazioni di campo, esse sono state pianificate ubicando, preliminarmente, il profilo da acquisire identificato in base alle condizioni di accessibilità.

Ultimate le operazioni di collegamento tra gli elettrodi e di questi al sistema principale, prima dell'acquisizione vera e propria, il software eseguiva un controllo della catena strumentale per identificare eventuali problematiche. Una volta avviata la sequenza di misure, la cui durata è stata mediamente di 1 ora, il programma calcolava su base iterativa multipla il valore del potenziale elettrico indotto dall'immissione di corrente nel sottosuolo. Da questi valori venivano calcolate la resistività apparente e la caricabilità apparente.

Come anticipato in premessa, al piano previsto da capitolato, in accordo con la Direzione Lavori, laddove la logistica lo ha consentito sono state apportate alcune variazioni alla campagna geoelettrica. Queste variazioni sono consistite sostanzialmente nell'esecuzione di n°3 profili, dei 6 previsti per il sito di Agropoli, sovrapposti di 24 metri, in maniera da coprire una lunghezza complessiva di ~ 150 m.

Al termine di ciascuna acquisizione, il geofisico preposto alle fasi di misurazione procedeva alla validazione dei dati, verificando che per ciascuna misurazione non fossero stati acquisiti dati ritenuti erronei, ovvero caratterizzati da disturbi di natura ambientale e randomici quali, ad esempio, i cosiddetti spikes. In tal caso, l'operatore procedeva ad una nuova acquisizione del dato in corrispondenza del punto di acquisizione precedentemente individuato.

In fase di elaborazione, come accennato in precedenza, il risultato finale si svincola dal parametro misurato, ovvero la resistività e la caricabilità, per fornire la *probabilità di presenza nel sottosuolo di aree anomale rispetto al valore medio del parametro elettrico misurato* (probabilità di occorrenza di anomalia in vari punti del sottosuolo), utilizzando degli algoritmi innovativi di inversione. Mediante tale elaborazione, come output, è stato possibile riscontrare la geometria delle anomalie e la loro profondità.



Figura 14 Prospezione geoelettrica: fase di acquisizione

Ricordiamo, che valori positivi di probabilità indicano l'esistenza di anomalie positive di resistività, valori negativi che esistono anomalie negative, sempre rispetto al modello di riferimento che è stato scelto mentre per quanto riguarda il parametro della caricabilità, probabilità fortemente negative sono ovviamente legate ad assenza di caricabilità, essendo la caricabilità sempre maggiore di zero, mentre probabilità positive sono da correlare a zone in cui esistono punti più "caricabili".

3.3 – Rilievi topografici

Concluse le attività di prospezioni geofisica in sito, si è provveduto al posizionamento mediante battuta topografica dei profili sismici e geoelettrici rilevati. La strumentazione utilizzata è costituita da una stazione totale servoassistita con sistema A.T.R. (Automatic Target Recognition), modello Leica TCRA 1101.



Figura 15 Rilievi topografici

Oltre alle coordinate dei due estremi di ciascuno stendimento, sono stati rilevati una serie di punti noti e manufatti (recinzioni, pali della luce, strade asfaltate di accesso alle aree di discarica, etc.) che hanno consentito di sovrapporre le indagini eseguite alle planimetrie forniteci dalla committenza⁵.

⁵ Planimetrie impianti – stato di fatto al Dicembre 2006.

4 – Commento ai risultati delle prospezioni geofisiche

4.1 – Risultati delle indagini geoelettriche

Sito di Agropoli

La discarica di Agropoli, occupante una superficie di circa 30000 mq, è suddivisa in 3 corpi principali (I-II-III). Detto sito è stato oggetto di notevoli variazioni tra il 2004 e il 2006, e l'odierna conformazione è connessa con l'emergenza rifiuti dell'Agosto 2006.

Ad Agropoli sono stati realizzati in totale n°6 stendimenti, con una lunghezza di 60 m e una spaziatura interelettrodica pari a 2 m.

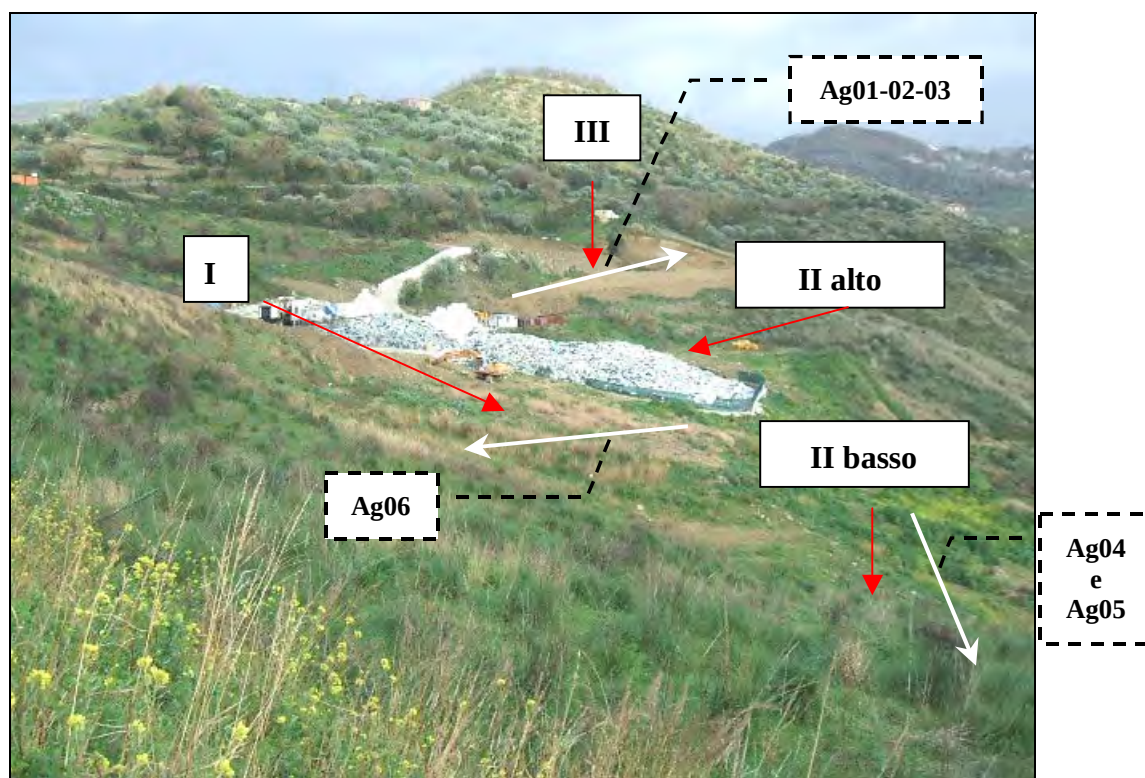


Figura 16 Discarica comunale di Agropoli

Dall'analisi delle pseudosezioni di resistività **Ag01-Ag02-Ag03** emerge la presenza di una fascia a minore resistività ($\rho \sim 15 \Omega \cdot m$) contenuta in un *range* compreso tra i 20 ed i 23 m dal p.c. ed omogeneamente distribuita lungo tutta la traccia di sezione. In profondità si evidenzia un corpo resistivo ($\rho \sim 9800 \Omega \cdot m$), a partire da una profondità media di circa 22 m dal p.c. (155 m S.l.m. – Fig. 42).

	Attività di caratterizzazione ai sensi del D.Lgvo 152/2006 delle discariche comunali gestite dal consorzio CO.RI.SA./4	Reg. Com.: 277-06 ediz. 05/04/07 - Rev.1 GA/Id - Pag. 31
---	---	--

Detto resistivo, ben definito nella parte iniziale del profilo di resistività fino alla progressiva dei 55 m, risulta meno distinto nei restanti due terzi della sezione consentendo, tuttavia, di ipotizzare la presenza del limite verticale della discarica.

	Attività di caratterizzazione ai sensi del D.Lgvo 152/2006 delle discariche comunali gestite dal consorzio CO.RI.SA./4	Reg. Com.: 277-06 ediz. 05/04/07 - Rev.1 GA/Id - Pag. 32
---	---	--

Dall'inversione numerica dei dati di resistività, si evince la presenza di tre importanti nuclei conduttivi (due di dimensioni considerevoli) inclusi nei primi 20 m di profondità. L'anomalia alto resistiva che si riferisce solo a un terzo della sezione, presumibilmente è indotta dalla presenza della sponda occidentale dell'invaso della discarica (Corpo III).

Non avendo potuto estendere, per ragioni logistiche, il profilo per una lunghezza tale da evidenziare anche il lato opposto dell'invaso, è presumibile che questo presenti una morfologia simile a quella ricostruita nella figura di pagina seguente e che pertanto il fondo si trovi ad una profondità di poco superiore alla massima raggiunta dalle indagini realizzate.

Ag01-02-02

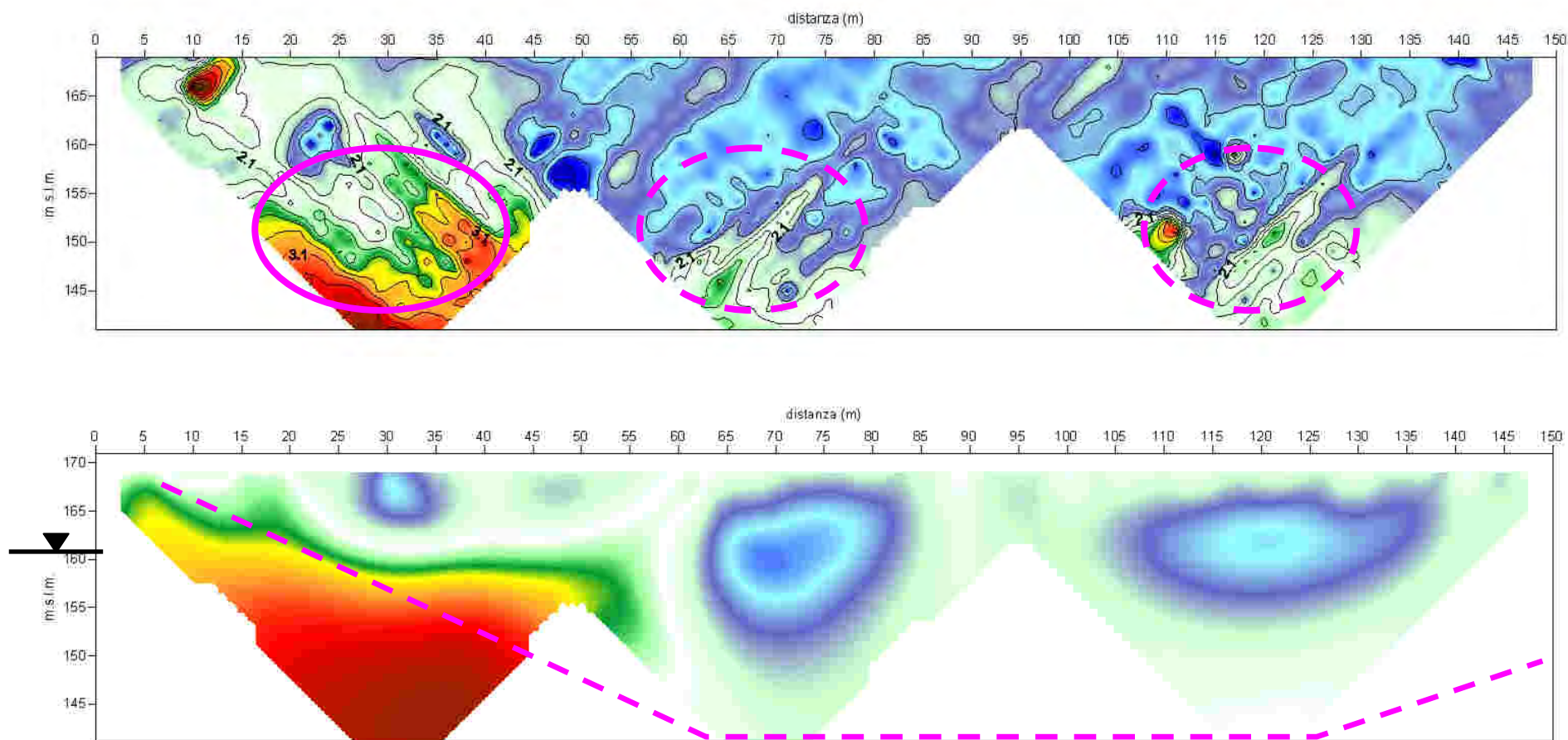


Figura 17 Pseudo-sezione di resistività apparente e modello tomografico invertito – profili Ag01-02-03

	Indagini geognostiche per la caratterizzazione del movimento franso in atto nel territorio del comune di Montaguto (AV)	Reg. Com.: 277-06 ediz. 05/04/07 - Rev. 1 Id - Pag. 34
---	--	--

Riguardo alle sezioni di polarizzazione indotta (cfr. Fig. 43) si segnala un nucleo ad alta caricabilità compreso tra le progressive di 40 e 50 m lungo lo stendimento, ad una profondità di circa 15 m dal p.c. (freccia di colore blu).

Tale anomalia ad alta caricabilità presenta una profondità confrontabile con quella dei corpi conduttivi della sezione precedente; pertanto potrebbe essere associata o a movimento di masse fluide (i.e. percolato) all'interno del corpo di discarica oppure a concentrazioni di rifiuti dotati di caratteristiche composizionali tali da determinare un anomalo valore della caricabilità.

Pertanto, si ritiene opportuno rimandare alle indagini dirette per stabilire l'esatta natura delle anomalie individuate con le tecniche di prospezione geofisica.

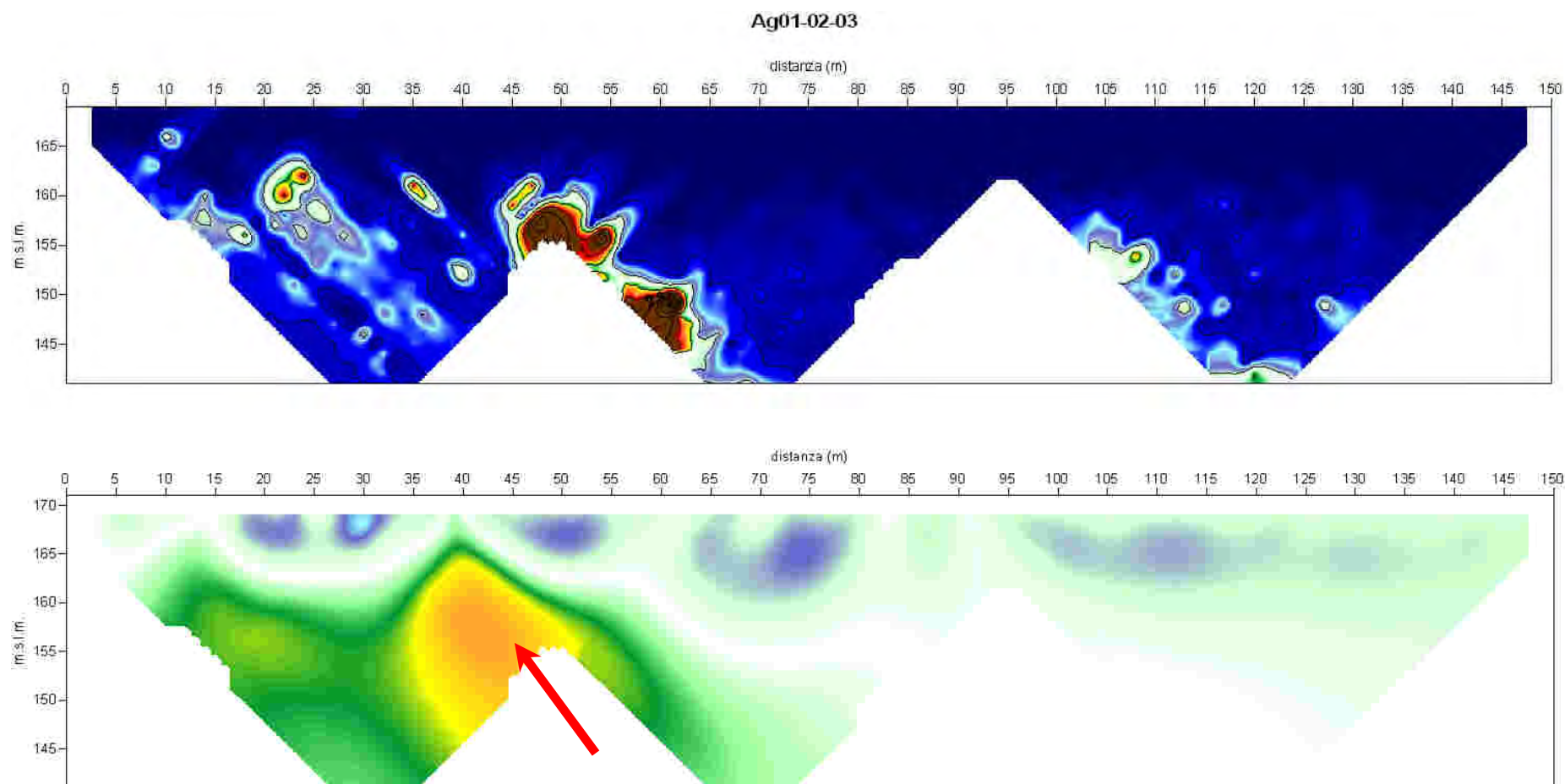


Figura 18 Pseudo-sezione di caricabilità apparente e modello tomografico invertito – profili Ag01-02-03

Nel profilo **Ag04** l'analisi della pseudosezione di resistività si evidenziano due nuclei alto-conduttivi ($\rho \sim 5 \Omega \cdot m$) compresi tra 12 e circa 20 m dal p.c. (140 e 130 S.l.m.). Si evidenzia inoltre il contatto con un corpo resistivo ($\rho \sim 500 \Omega \cdot m$) il cui andamento mostra una evidente morfologia con immersione verso Nord-Est (cfr. Figg. 44 e 45).

L'inversione dei dati di resistività mediante algoritmi numerici di probabilità (funzione R.O.A.P.), ha reso più delineata la forma dei due corpi conduttivi, i quali si presentano ad una profondità massima di ≈ 16 m dal p.c. (136 S.l.m.), limitati da un corpo conduttivo.

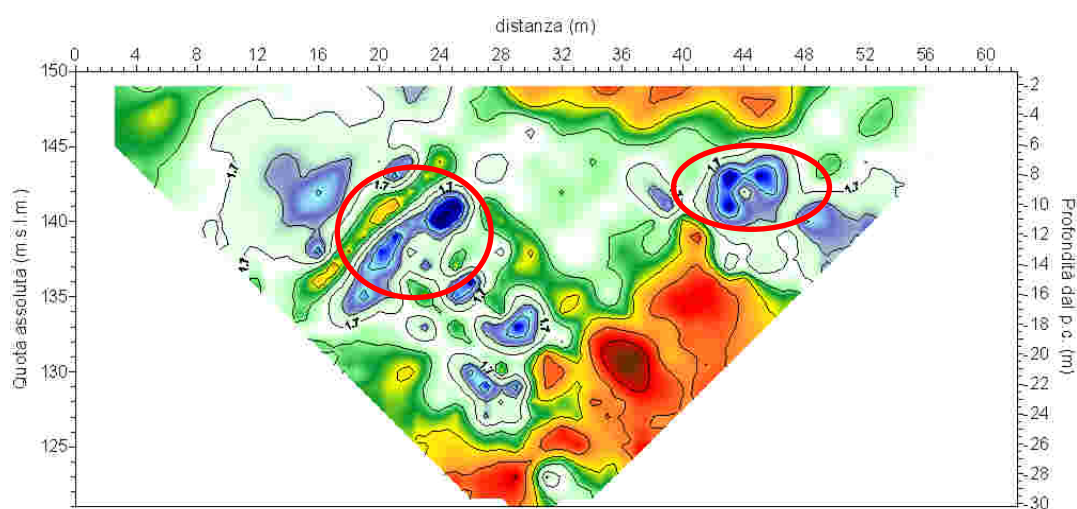


Figura 19 Pseudo-sezione di resistività apparente – profilo Ag04

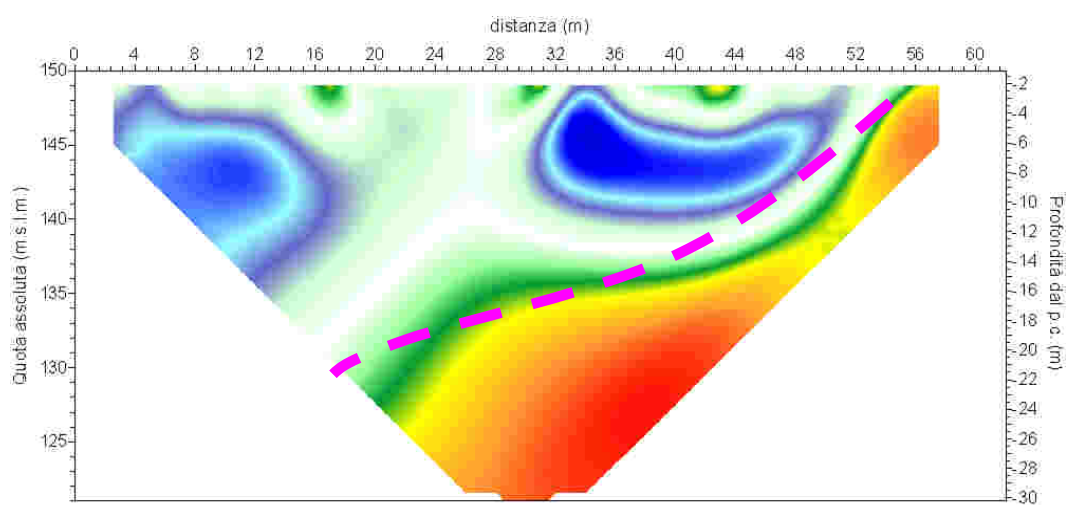


Figura 20 Tomografia di resistività apparente – modello invertito – profilo Ag04

Le sezioni relative alla polarizzazione indotta (sia la pseudosezione che la sua inversione) mostrano assenza di caricabilità negli strati più superficiali, ovvero nei primi 10 m di profondità, mentre evidenziano numerosi nuclei ad alta caricabilità sia in profondità che all'interfaccia tra l'orizzonte conduttivo - resistivo appena descritto (fino a massimi di 4400 ms).

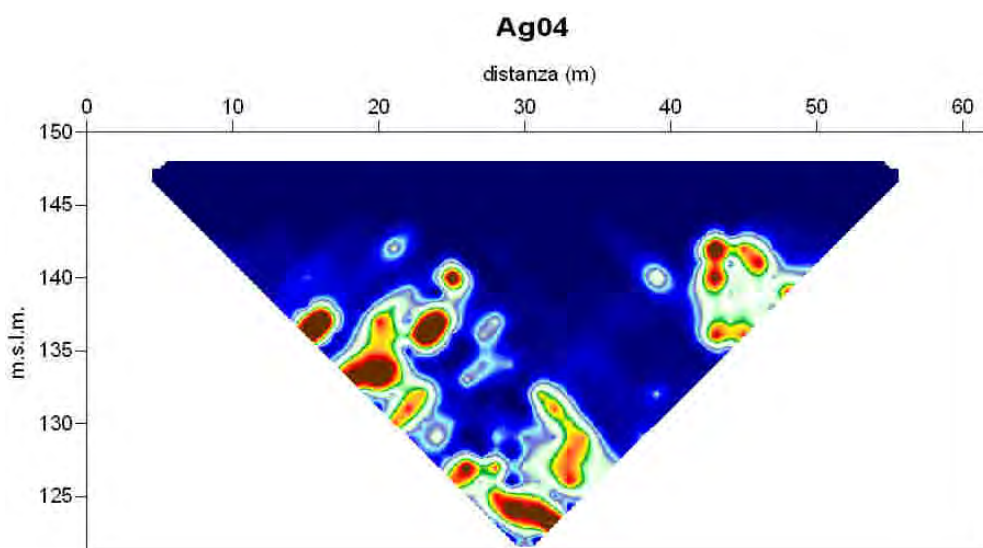


Figura 21 Pseudo-sezione di caricabilità apparente – profilo Ag04

Dall'inversione numerica dei dati di caricabilità si segnala alla progressiva dei 26 m circa dall'origine, un nucleo ad alta caricabilità ad una profondità di circa 10 m dal p.c. (142 m S.l.m.).

Detto nucleo potrebbe essere correlato con la presenza di fenomeni di accumulo di materiali altamente caricabili o con la presenza di flussi di percolato (cfr. Fig. 47).

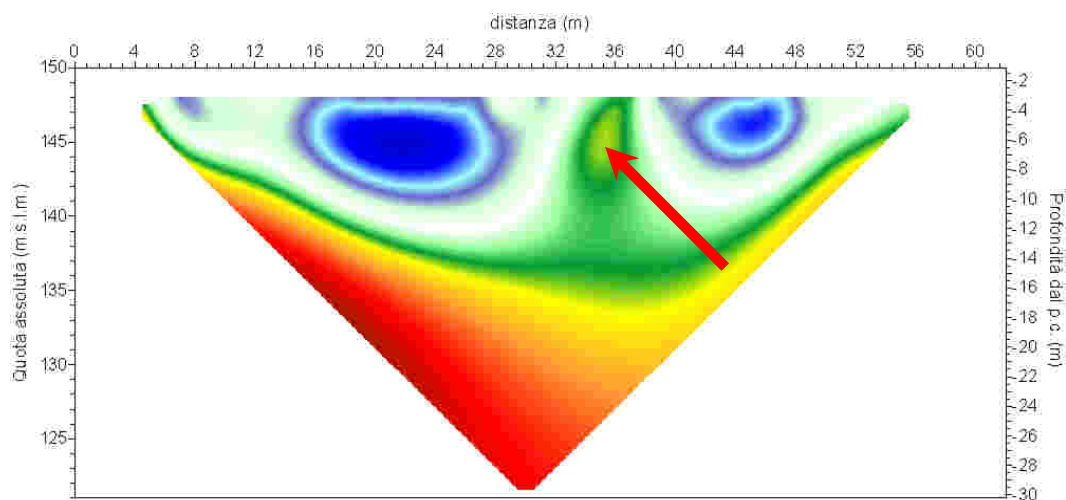


Figura 22 Tomografia di caricabilità apparente – modello invertito – profilo Ag04

Se si considerano contestualmente le risultanze emerse dal profilo **Ag05**, eseguito a monte di Ag04, si evince una sostanziale congruenza delle caratteristiche elettriche del sottosuolo. In particolare, dall'analisi della pseudosezione di resistività si individuano due nuclei conduttivi ($\rho \sim 3 \Omega \cdot m$) compresi entro i primi 16 m dal p.c. (140 m S.l.m.). All'incirca alla medesima profondità si evidenzia un corpo più resistivo ($\rho \sim 1200 \Omega \cdot m$) la cui forma non presenta però dei contorni netti né un andamento continuo, come rilevato nella pseudosezione Ag04 (cfr. Figg. 48 e 49).

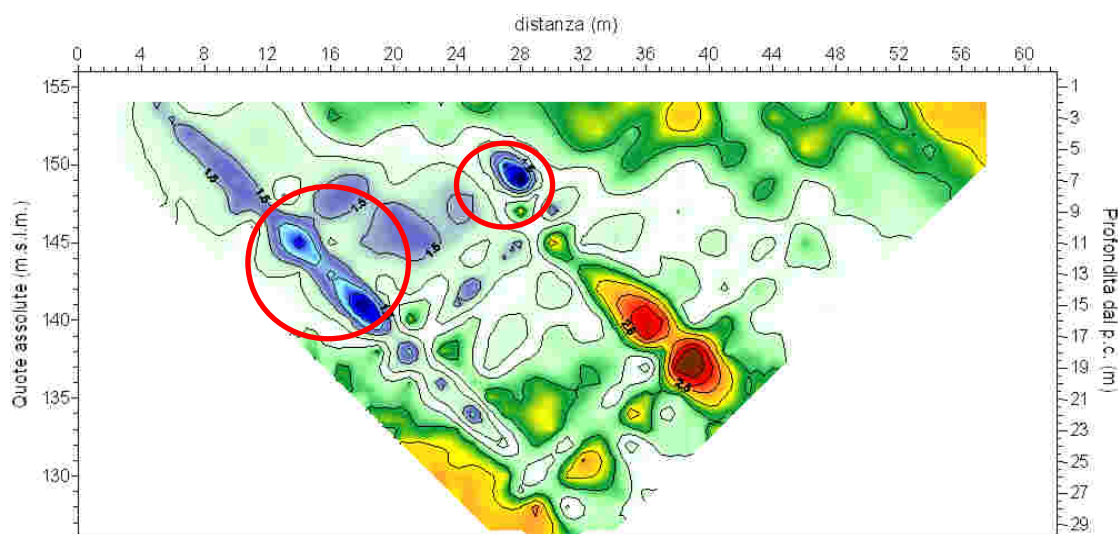


Figura 23 Pseudo-sezione di resistività apparente – profilo Ag05

L'inversione numerica dei dati di resistività ha reso più delineata la forma dei corpi conduttivi, i quali si presentano ad una profondità di c.a. 15 m dal p.c. (142 m S.l.m.), tra le progressive 6-20 m e 24-36 m dall'origine, limitati da un corpo conduttivo ad una profondità di circa 18 m dal p.c. (138 S.l.m.).

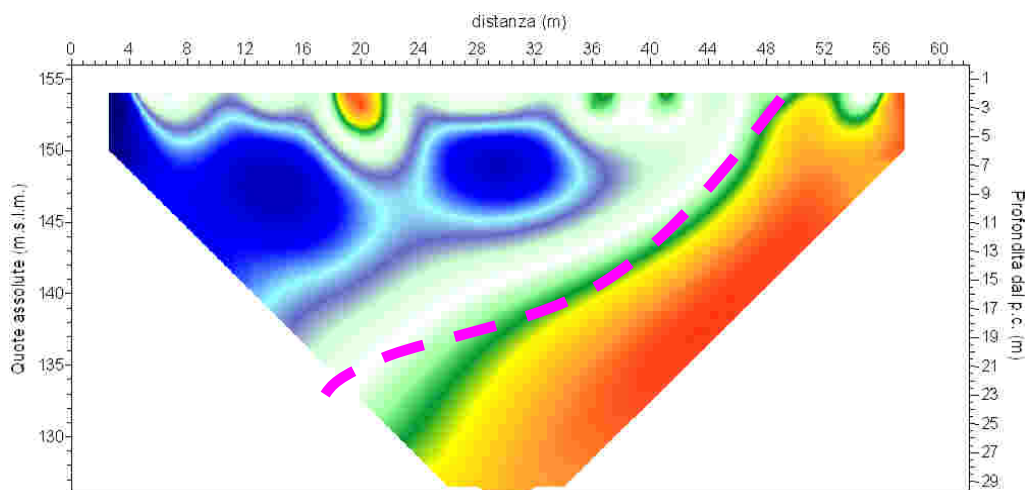


Figura 24 Tomografia di resistività apparente – modello invertito – profilo Ag05

Anche in questo caso si nota una tendenza dell'orizzonte resistivo a immergere verso Nord-Est. Questa evidenza, rilevata anche nell'analisi del profilo Ag04, risulterebbe congruente con l'andamento morfologico del terreno che, in questo settore della discarica di Agropoli, presenta un leggero declivio da Ovest verso Est.

L'analisi dei dati di polarizzazione indotta non ha evidenziato sostanziali anomalie di questo parametro. L'entità ridotta e la disposizione piuttosto randomica di *spike* anomali non è tale da indurre ad un'ulteriori considerazioni in merito (cfr. Fig. 50).

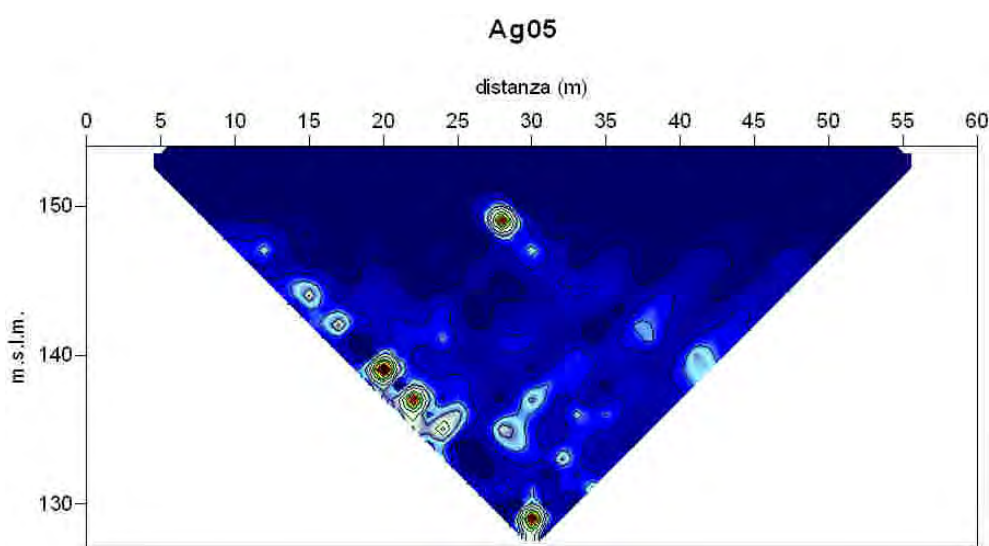


Figura 25 Pseudo-sezione di caricabilità apparente – profilo Ag05

Anche dall'inversione dei dati di caricabilità si rileva una distribuzione regolare di detto parametro con la profondità (cfr. Fig. 51). Il particolare, i massimi di IP (>3000 ms) si registrano da una quota di 138-140 m S.l.m.

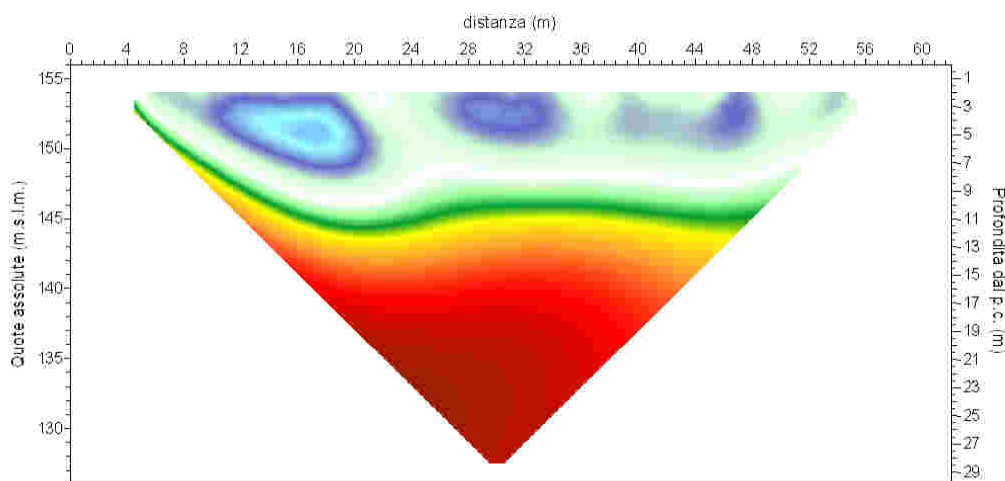


Figura 26 Tomografia di caricabilità apparente – modello invertito – profilo Ag05

Infine, anche dal profilo **Ag06**, eseguito nel Corpo I, a monte dei profili Ag04 e Ag05, si evince una sostanziale congruenza delle caratteristiche elettriche del sottosuolo. In particolare, dall'analisi della pseudosezione di resistività si individuano due settori conduttivi (ρ prossima allo zero) compresi entro le progressive dei 10-20 m e 25-40 m, ad una profondità di circa 9 m dal p.c. (155 m S.l.m. – Fig. 52). Si sottolinea come le due anomalie alto conduttive registrate agli estremi della sezione siano da correlare ad effetti di bordo, considerando anche la morfologia piuttosto accidentata del terreno; difatti, questi valori vengono ad annullarsi nel processo di inversione dei dati. Ad una profondità di c.a. 12 m dal p.c. (152 m S.l.m.) si evidenzia un corpo più resistivo ($\rho \sim 2600 \Omega \cdot m$) ben distribuito che limita inferiormente il materiale conduttivo superficiale.

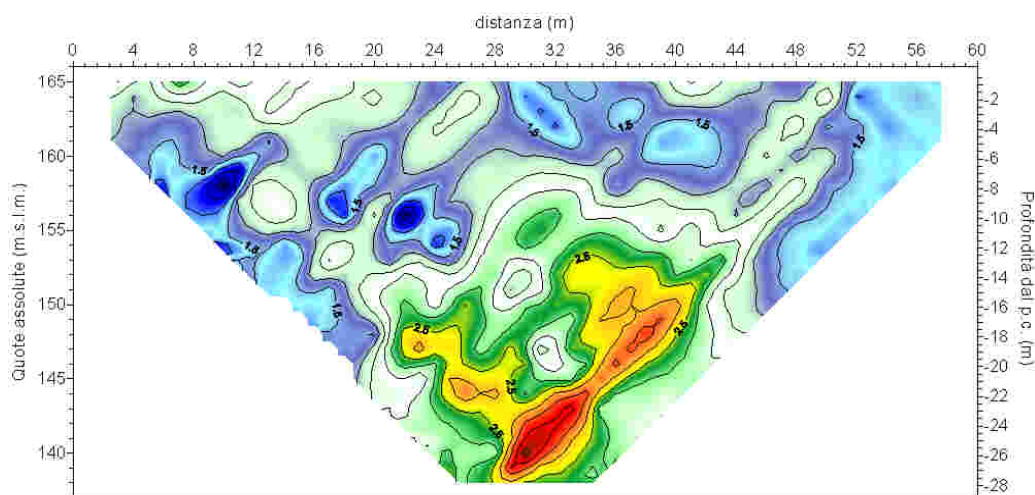


Figura 27 Pseudo-sezione di resistività apparente – profilo Ag06

L'inversione numerica dei dati di resistività ha permesso di definire in maniera più precisa i limiti dei suddetti corpi conduttivi, i quali risultano confinati entro i primi 9 m di sottosuolo.

Un netto contrasto con un orizzonte resistivo segna il passaggio tra i due elettrostrati, ad una profondità di circa 12 m dal p.c. (≈ 152 m S.l.m.).

Detto orizzonte ad alta resistività presenta una debole pendenza verso Nord-Est, congruente con la reale morfologia del terreno in questo settore della discarica.

Quanto alla caricabilità né la pseudosezione né il suo modello invertito evidenziano sostanziali anomalie, risultando bassa negli strati superficiali e via via crescente in quelli più profondi.

Interpretazione dei risultati

Riassumendo, per la discarica di Agropoli si può dire che:

- ♦ Il sito risulta suddiviso in tre corpi di discarica I, II e III.
- ♦ Presso il Corpo I è stato realizzato un profilo geoelettrico (Ag06) a 32 canali, presso il Corpo II sono stati eseguiti due profili (Ag04 ed Ag05) di lunghezza pari a 60 metri. Infine, nel Corpo III sono stati realizzati i restanti 3 profili previsti; questi ultimi sono stati sovrapposti di 24 metri in maniera da coprire una lunghezza complessiva di c.a. 150 m, come richiesto dalla D.L.. L'ubicazione degli stendimenti è stata, comunque, subordinata alle condizioni logistiche via via riscontrate in situ.

Dalle risultanze è emerso quanto segue:

- ♦ Presso il Corpo I è presente un'anomalia conduttiva (valori di ρ_{app} prossimi allo zero) ad una profondità di c.a. 9 m dal p.c. suddivisa in due nuclei compresi tra le progressive 10-20 e 25-40 m. A circa 12 m dal p.c. detta anomalia alto-conduttiva è limitata da un corpo più resistivo ($\rho \sim 2600 \Omega * m$) uniformemente distribuito ed avente una lieve pendenza, immergente verso Nord-Est.
- ♦ Il Corpo II indica la presenza di anomalie ad alta conducibilità ($3 < \rho < 5 \Omega * m$) ad una profondità di 16-17 m dal p.c., limitate da un orizzonte resistivo ($500 < \rho < 1200 \Omega * m$) ad una profondità massima di 18 m dal p.c.; anche in questo settore della discarica detto orizzonte resistivo presenta una leggera vergenza a Nord-Est.
- ♦ Infine, per quanto attiene al Corpo III, emerge la presenza di una fascia a minore resistività ($\rho \sim 15 \Omega * m$) contenuta in un *range* compreso tra 20 ed 23 m dal p.c. ed omogeneamente distribuita lungo tutta la traccia di sezione. In profondità si evidenzia un corpo resistivo ($\rho \sim 9800 \Omega * m$), a partire da una profondità media di circa 22 m dal p.c., nella parte iniziale del profilo e fino alla progressiva dei 55 metri. Questo contatto risulta meno evidente nei restanti due terzi della sezione. Detta anomalia alto-resistiva che si riferisce solo a un terzo della sezione, probabilmente rappresenta la sponda occidentale dell'invaso della discarica (Corpo III). Non avendo potuto estendere, per ragioni logistiche, il profilo per una lunghezza tale da evidenziare anche il lato opposto dell'invaso, è presumibile che questo presenti una

morfologia simile a quella ricostruita nella figura 36 e che pertanto il fondo si trovi ad una profondità di poco superiore alla massima raggiunta dalle indagini realizzate.

Quanto alla caricabilità è stato registrato quanto segue:

- ♦ Quanto al Corpo I né la pseudosezione né il suo modello invertito hanno evidenziato sostanziali anomalie rispetto ad una distribuzione normale di detto parametro, risultando bassa negli strati superficiali e via via crescente in quelli più profondi.
- ♦ Anche per il Corpo II l'analisi dei dati di polarizzazione indotta non ha evidenziato sostanziali anomalie. L'entità ridotta e la disposizione piuttosto randomica degli *spike* evidenziati, non è tale da indurre ad un'ulteriori considerazioni in merito. Tuttavia, per il profilo Ag04 si segnala alla progressiva dei 26 m (circa) un nucleo ad alta caricabilità, ad una profondità di circa 10 m dal piano campagna.
- ♦ Infine, per il Corpo III si segnala un nucleo ad alta caricabilità compreso tra le progressive di 40 e 50 m lungo lo stendimento, ad una profondità di circa 15 m dal piano campagna.

Pertanto, pur rimandando alle indagini dirette per stabilire puntualmente l'esatta natura delle anomalie individuate con le tecniche di prospezione geofisica, è possibile associare l'orizzonte resistivo con la formazione geolitologica costituente il substrato locale, che da fonti in ns. possesso (*indagini di I^a fase eseguite dalla società Natura s.r.l.*) risulta essere costituita da argille e marne in alternanza; ciò risulterebbe congruente con i valori di resistività apparente misurati (confrontando gli stessi con i dati bibliografici). Inoltre, le cospicue concentrazioni di elementi chimici quali ferro e manganese rilevate durante le analisi di laboratorio dei campioni prelevati in fase di perforazione e correlate dagli analizzatori con la natura dei terreni presenti in situ, concorderebbe con gli elevati valori di caricabilità registrati in campagna ed evidenziati nelle pseudosezioni e nel modello invertito. Quanto al corpo conduttivo, questo potrebbe essere correlato con la massa dei rifiuti sepolti o con la presenza di fluidi derivanti dalla disgregazione degli stessi (percolato). I bassi valori di caricabilità misurati alle stesse profondità indicherebbero tuttavia la presenza di fluidi in forma massiva, ossia statici, eccetto nei casi segnalati sui Corpi II e III, dove la presenza di anomalie ad alta caricabilità potrebbero essere associati o a movimento di masse fluide (i.e. percolato) all'interno del corpo di discarica oppure a concentrazioni di rifiuti dotati di caratteristiche composizionali tali da determinare un anomalo valore della caricabilità.

4.2 – Risultati delle indagini sismiche

4.2.5 – Sito di Agropoli

Presso il sito di Agropoli sono stati realizzati n°8 profili di sismica a rifrazione. Questo sito, risulta suddiviso in 3 corpi principali. Pertanto le indagini sono state dislocate da una parte in base alle esigenze di avere un quadro conoscitivo esaustivo delle condizioni del sottosuolo, per ciascun corpo in cui la discarica è divisa, dall'altra sulla base delle condizioni imposte dalla logistica. Le indagini in oggetto sono, dunque, state ubicate come segue (e cfr. Fig. 74):

- Corpo I: profili **S7, S8, S13**;
- Corpo II: profili **S3, S4, S9, S10, S11, S12**;
- Corpo III: profili **S1, S2, S5, S6, S14, S15, S16, S17, S18**.

I profili **S1, S2, S5** ed **S6** eseguiti presso il Corpo III hanno dato i seguenti risultati:

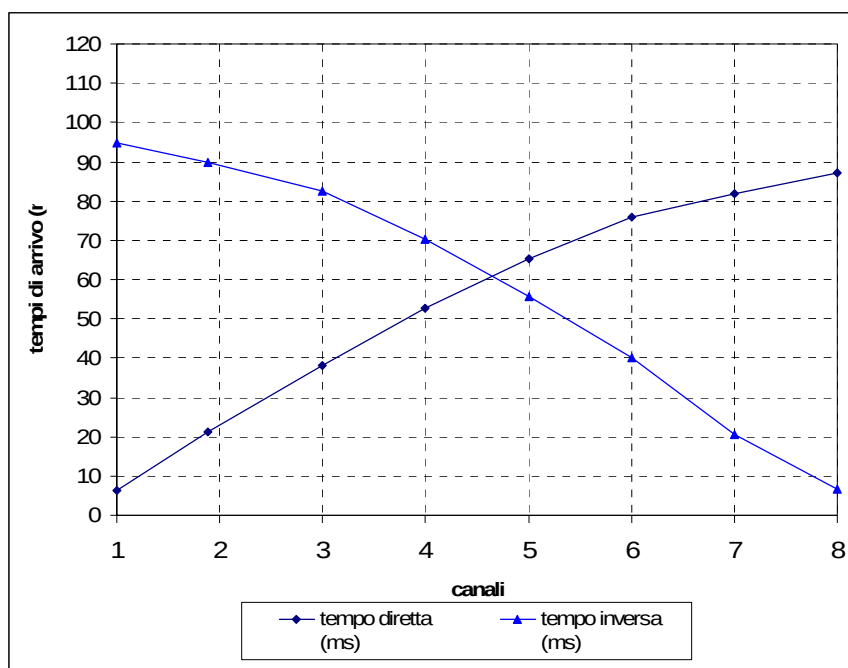


Figura 28 Dromocrona profilo S1 – Agropoli

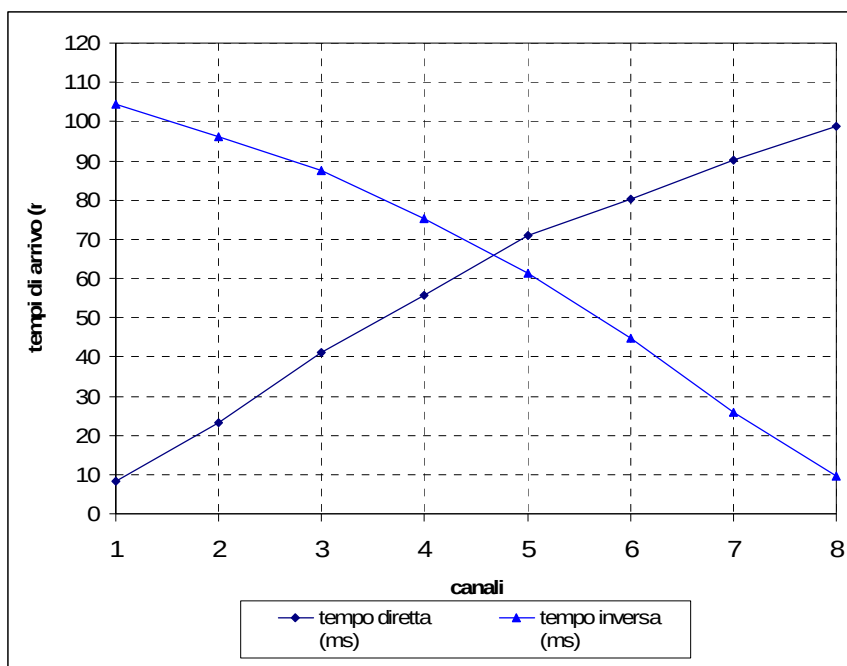


Figura 29 Dromocrona profilo S2 – Agropoli

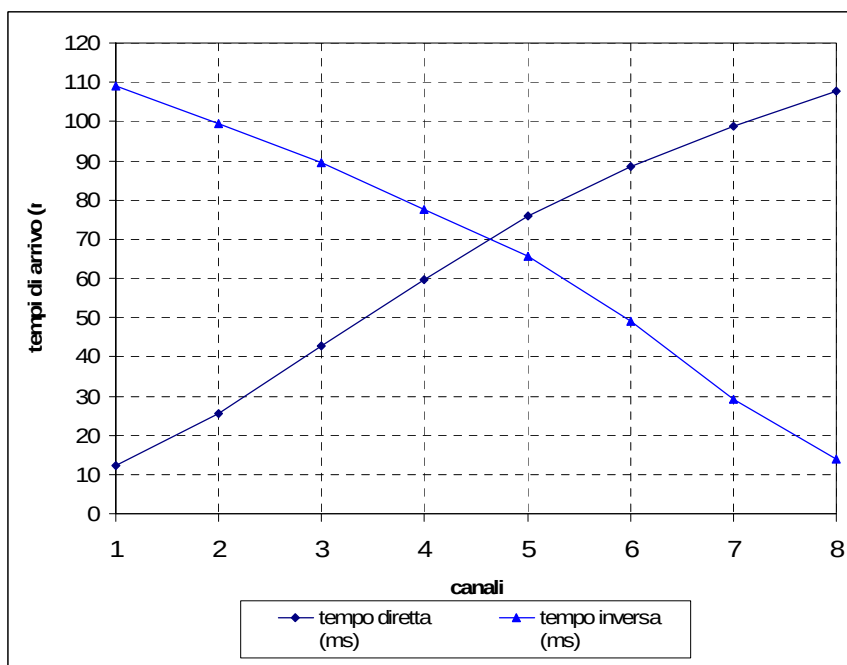


Figura 30 Dromocrona profilo S5 – Agropoli

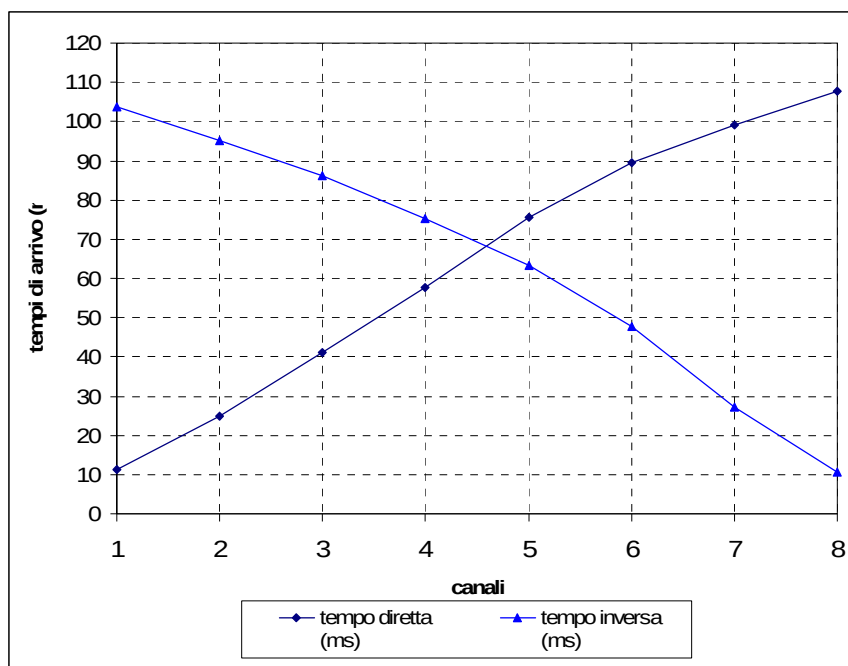


Figura 31 Dromocrona profilo S6 – Agropoli

Le velocità, calcolate con il criterio del delay time e con la finestra Plus-Minus, sono risultate le seguenti:

- Profilo **S1**, primo sismostrato V_1 **379 m/sec**; secondo strato V_2 **855 m/sec**. Profondità del rifrattore, calcolata con il tempo intercetta, risulta variabile tra **4.5 – 6.7 metri** dal p.c.; con la finestra plus-minus il valore dello spessore del primo strato varia da un minimo di 0.6 ad un massimo di 6.8 metri dal piano di campagna.
- Profilo **S2**, primo sismostrato V_1 **358 m/sec**; secondo strato V_2 **595 m/sec**. Profondità del rifrattore, calcolata con il tempo intercetta, risulta variabile tra **8.4 metri** dal p.c.; con la finestra plus-minus il valore dello spessore del primo strato varia da un minimo di 1.5 ad un massimo di 7 metri dal piano di campagna.
- Profilo **S5**, primo sismostrato V_1 **353 m/sec**; secondo strato V_2 **535 m/sec**. Profondità del rifrattore, calcolata con il tempo intercetta, risulta variabile tra **9 – 9.6 metri** dal p.c.; con la finestra plus-minus il valore dello spessore del primo strato varia da un minimo di 3 ad un massimo di 7.8 metri dal piano di campagna.
- Profilo **S6**, primo sismostrato V_1 **360 m/sec**; secondo strato V_2 **592 m/sec**. Profondità del rifrattore, calcolata con il tempo intercetta, risulta variabile tra **8.3 – 9 metri** dal p.c.; con la finestra plus-minus il valore dello spessore del primo strato varia da un minimo di 2.1 ad un massimo di 7.5 metri dal piano di campagna.

Considerate le velocità relativamente basse calcolate sia per il primo che per il secondo sismostrato individuati (con un massimo di circa 850 m/sec), è plausibile che il raggio sismico abbia viaggiato integralmente nel corpo discarica e l'orizzonte rifrattore individuato non sia da ascrivere al contrasto abbancamento/terreni in posto, ma alla stessa disposizione dei materiali presenti nella discarica.

Per quanto detto il citato contrasto si troverebbe al di sotto della profondità raggiunta con l'investigazione sismica, avvalorando in tal modo quanto desunto dalle prospezioni geoelettriche, eseguite sullo medesimo corpo della discarica di Agropoli, in cui si evince un contrasto tra corpi con caratteristiche elettriche differenti ad una profondità di oltre 20 m dal p.c. (profili Ag01-02-03).

Va altresì ribadito che un'altra delle problematiche note, relativa all'applicazione di metodi sismici allo studio di discariche, riguarda il forte assorbimento dell'energia elastica negli strati più superficiali, dovuto all'incoerenza e alla bassa densità dei materiali ospiti, che di fatto apporta una notevole attenuazione dell'energia.

Questo fenomeno di attenuazione è stato effettivamente rilevato durante l'esecuzione di profili, richiesti dalla D.L., aventi lunghezza maggiore di quella contemplata nel capitolato d'appalto (fino a c.a. 100 m), eseguiti presso questo corpo di discarica. Svitati test, compiuti utilizzando, oltre alla tipologia di sorgente prevista nelle specifiche anche magli di massa superiore, hanno dato esiti non soddisfacenti. Nei suddetti profili, eseguiti disponendo lungo gli allineamenti 16 geofoni, il segnale non risultava intelligibile oltre l'8°-9° canale.

Si rimanda alle indagini dirette per una definizione puntuale delle risultanze emerse dalle indagini geofisiche.

I profili **S3** ed **S4** eseguiti presso il Corpo II hanno dato i seguenti risultati:

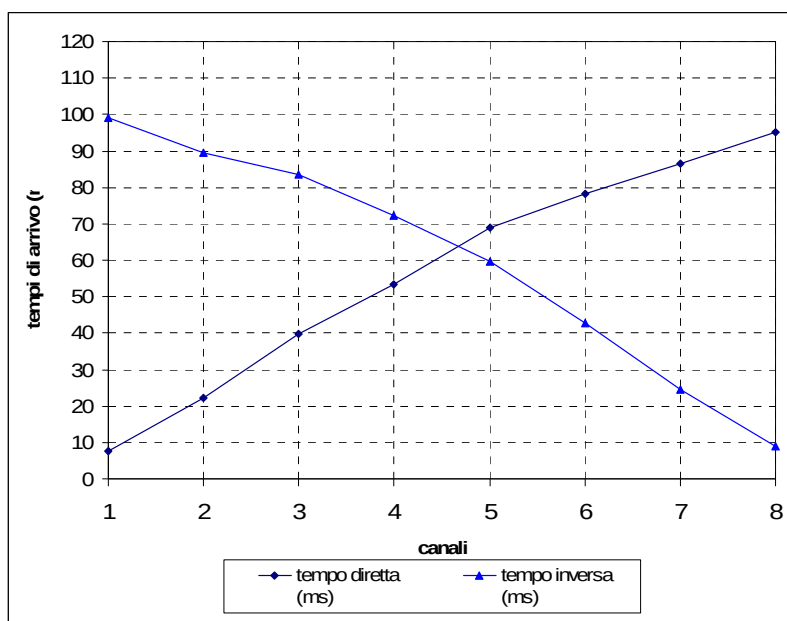


Figura 32 Dromocrona profilo S3 – Agropoli

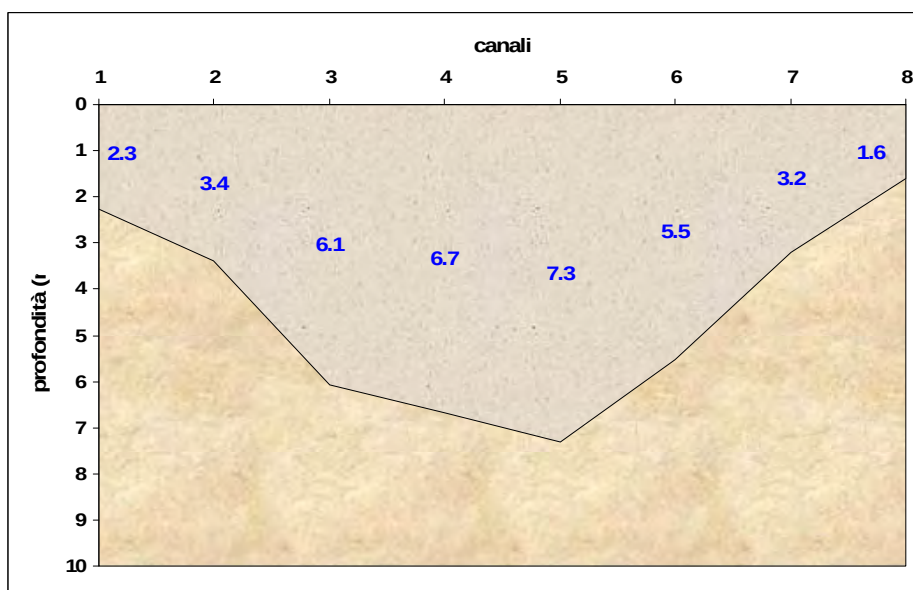


Figura 33 Sezione sismica bidimensionale – profilo S3 di Agropoli

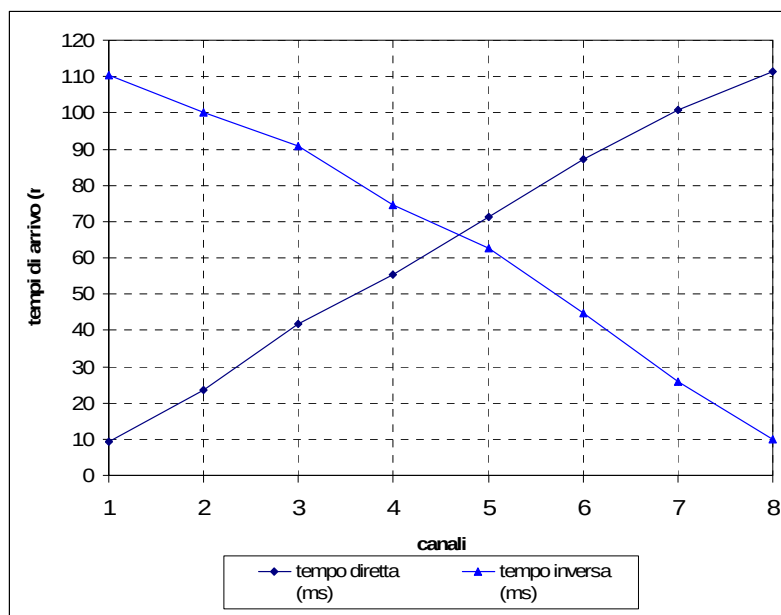


Figura 34 Dromocrona profilo S4 – Agropoli

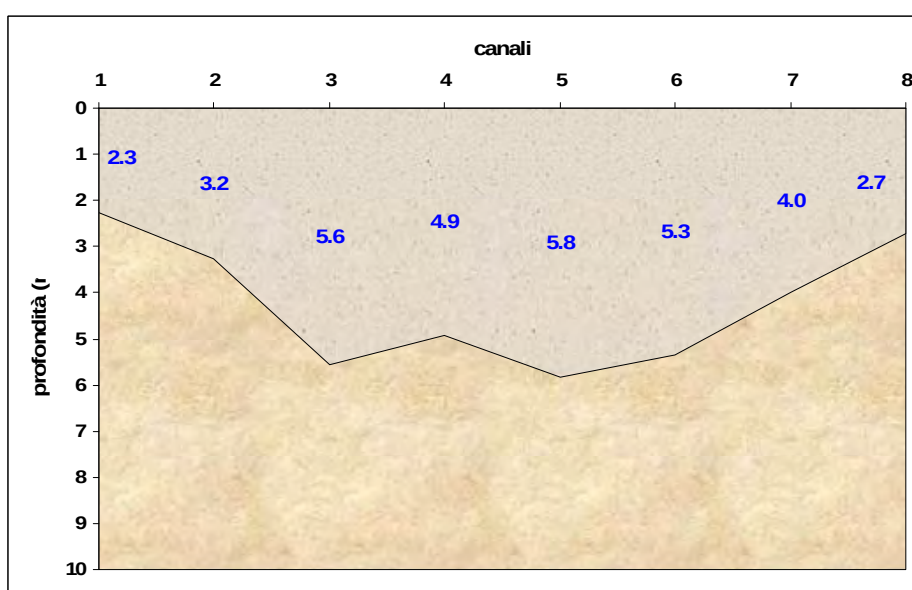


Figura 35 Sezione sismica bidimensionale – profilo S4 di Agropoli

Le velocità, calcolate con il criterio del delay time e con la finestra Plus-Minus, sono risultate le seguenti:

- Profilo **S3**, primo sismostrato V_1 **371 m/sec**; secondo strato V_2 **612 m/sec**. Profondità del rifrattore, calcolata con il tempo intercetta, risulta variabile tra **8.0 – 8.5 metri** dal p.c.; con la finestra plus-minus il valore dello spessore del primo strato varia da un minimo di 1.6 ad un massimo di 7.3 metri dal piano di campagna.

- Profilo **S4**, primo sismostrato V_1 **349 m/sec**; secondo strato V_2 **476 m/sec**.
Profondità del rifrattore, calcolata con il tempo intercetta, risulta variabile tra **8.0 – 8.5 metri** dal p.c.; con la finestra plus-minus il valore dello spessore del primo strato varia da un minimo di 2.3 ad un massimo di 5.8 metri dal piano di campagna.

Anche nel caso del Corpo II, così come osservato per le prospezioni eseguite sul Corpo III, considerate le velocità basse calcolate sia per il primo che per il secondo sismostrato individuati (con un massimo di circa 600 m/sec), è plausibile che il raggio sismico abbia viaggiato integralmente nel corpo discarica.

Anche in questo caso il contrasto abbancamento/terreni in sito, si troverebbe al di sotto della profondità raggiunta con l'investigazione sismica, avvalorando in tal modo quanto desunto dalle prospezioni geoelettriche, eseguite sullo medesimo corpo della discarica di Agropoli, in cui si evince un contrasto tra corpi con caratteristiche elettriche differenti ad una profondità di circa 17 m dal p.c. (profili Ag04 ed Ag05).

Infine, per quanto attiene ai profili **S7** ed **S8**, questi sono stati eseguiti presso il Corpo I della discarica di Agropoli ed hanno dato i seguenti risultati:

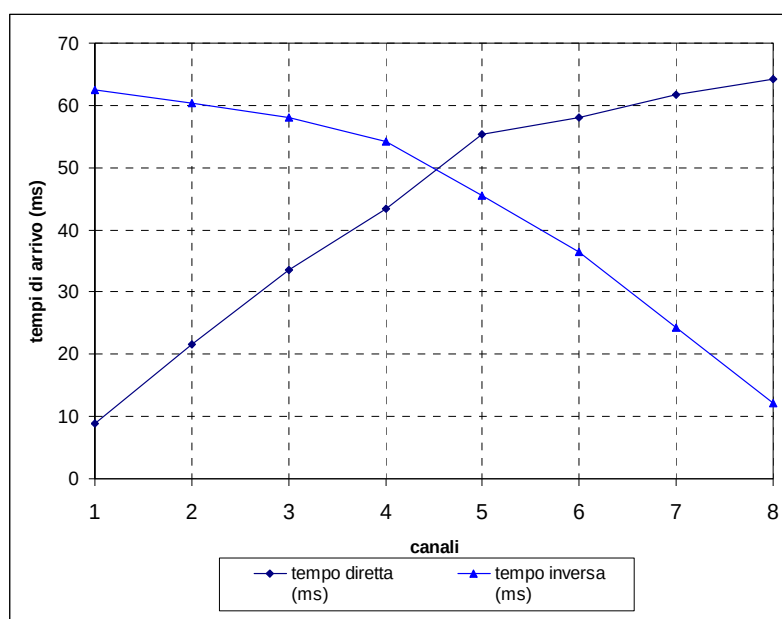


Figura 36 Dromocrona profilo S7 – Agropoli

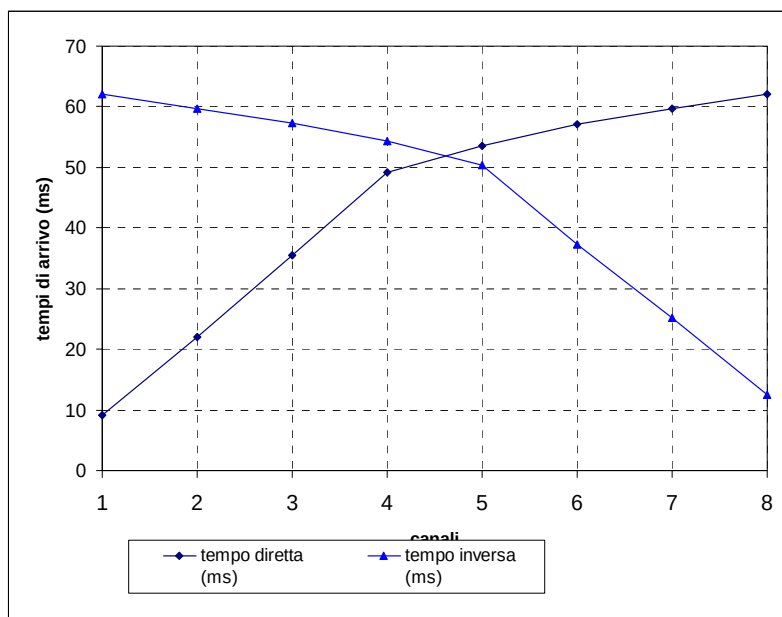


Figura 37 Dromocrona profilo S8 – Agropoli

Le velocità, calcolate con il criterio del delay time e con la finestra Plus-Minus, sono risultate le seguenti:

- Profilo **S7**, primo sismostrato V_1 **456 m/sec**; secondo strato V_2 **1744 m/sec**. Profondità del rifrattore, calcolata con il tempo intercetta, risulta variabile tra **9.3 – 10.5 metri** dal p.c.; con la finestra plus-minus il valore dello spessore del primo strato varia da un minimo di 1.9 ad un massimo di 8.9 metri dal piano di campagna.
- Profilo **S8**, primo sismostrato V_1 **402 m/sec**; secondo strato V_2 **1633 m/sec**. Profondità del rifrattore, calcolata con il tempo intercetta, risulta variabile tra **8.3 – 8.7 metri** dal p.c.; con la finestra plus-minus il valore dello spessore del primo strato varia da un minimo di 1.9 ad un massimo di 8.7 metri dal piano di campagna.

Per quanto è emerso dalle indagini sismiche, il primo sismostrato, compreso entro una profondità di 8 - 10 metri dal p.c. ed avente velocità intorno ai 400 m/sec, potrebbe essere associato al volume dei rifiuti. Ciò risulta sostanzialmente in accordo con le risultanze emerse dal profilo geoelettrico (Ag06) eseguito presso lo stesso sito. Per quel che concerne il sottostante strato sismico, avente velocità superiori ai 1600 m/sec, questo potrebbe essere correlato con i terreni in situ che, dalle risultanze della *campagna geognostica di I^a fase*, risultano costituiti da argille e marne in alternanza.

Nell'allegato 1 sono riportate tutte le indagini sismiche eseguite nel corso dei lavori, compreso quelle integrative (da S9 a S18).

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE:

- ♦ Alfano L. 1959. Introduction to the interpretation of resistivity measurements for complicated structural conditions. *Geophysical Prospecting* 7, 311-368.
- ♦ Barker R.D. 1992. A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface. *First Break* 10, 53-62.
- ♦ Beard L.P., Hohmann G.W. and Tripp A.C. 1996. Fast resistivity/IP inversion using a low-contrast approximation. *Geophysics* 61, 169-179.
- ♦ Carrara E., Rapolla A., Roberti N.: (1992) Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo. Metodi geoelettrici e sismici. Liguori Editore. Napoli.
- ♦ Chunduru R.K., Sen M.K., Stoffa P.L. and Nagendra R. 1995. Nonlinear inversion of resistivity profiling data for some regular geometrical bodies. *Geophysical Prospecting* 43, 979-1003.
- ♦ Chunduru R.K., Sen M.K. and Stoffa P.L. 1996. 2-D resistivity inversion using spline parameterization and simulated annealing. *Geophysics* 61, 151-161.
- ♦ Coggon J.H. 1971. Electromagnetic and electrical modeling by the finite-element method. *Geophysics* 36, 132-155.
- ♦ Cruciani A. and Monna D. 1992. Alternating current at different frequencies: a resistivity survey on the eastern hill of Selinunte (Sicily). *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 34, 209-214.
- ♦ Dahlin T. 1996. 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications. *First Break* 14, 275-283.
- ♦ Dey A. and Morrison H.F. 1979. Resistivity modeling for arbitrarily shaped three-dimensional structures. *Geophysics* 44, 753-780.
- ♦ Di Maio R. 2002. Indagini geofisiche per la caratterizzazione di vecchie discariche. *Seminario di aggiornamento "La Bonifica delle vecchie discariche" Aula Magna facoltà di Ingegneria*. Padova; 10-12 Giugno 2002.
- ♦ Edwards L.S. 1977. A modified pseudosection for resistivity and induced polarization. *Geophysics* 42, 1020-1036.

- ♦ Griffiths D.H. and Barker R.D. 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics* 29, 211-226.
- ♦ Hagedoorn, J. G., 1959. The Plus-Minus method of interpreting seismic refraction sections, *Geophysical Prospecting* 7, 158-182.
- ♦ Hawkins L.V, 1961. The reciprocal method of seismic refraction interpretation, *Geophysics* v.26, n.6.
- ♦ James B.A. 1985. Efficient microcomputer-based finite difference resistivity modeling via Polozhii decomposition. *Geophysics* 50, 443-465.
- ♦ Lee T. 1972. A general technique for the direct interpretation of resistivity data over two-dimensional structures. *Geophysical Prospecting* 20, 847-859.
- ♦ Lee T. 1975. An integral equation and its solution for some two and three-dimensional problems in resistivity and induced polarization. *Geophysical Journal* 42, 81-95.
- ♦ Li Y. and Oldenburg D.W. 1991. Aspects of charge accumulation in d.c. resistivity experiments. *Geophysical Prospecting* 39, 803-826.
- ♦ Li Y. and Oldenburg D.W. 1992. Approximate inverse mappings in DC resistivity problems. *Geophysical Journal International* 109, 343-362.
- ♦ Loke M.H. and Barker R.D. 1995. Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics* 60, 1682-1690.
- ♦ Loke M.H. and Barker R.D. 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting* 44, 131-152.
- ♦ Lowry T., Allen M.B. and Shive P.N. 1989. Singularity removal: A refinement of resistivity modeling techniques. *Geophysics* 54, 766-774.
- ♦ Mufti I.R. 1976. Finite-difference resistivity modeling for arbitrarily shaped two-dimensional structures. *Geophysics* 41, 62-78.
- ♦ Noel M. and Xu B. 1991. Archaeological investigation by electrical resistivity tomography: a preliminary study. *Geophysical Journal International* 107, 95-102.
- ♦ Park S.K. and Van G.P. 1991. Inversion of pole-pole data for 3-D resistivity structure beneath arrays of electrodes. *Geophysics* 56, 951-960.
- ♦ Parker R.L. 1984. The inverse problem of resistivity sounding. *Geophysics* 49, 2143-2158.
- ♦ Patella D. 1975. A numerical computation procedure for the direct interpretation of geoelectrical soundings. *Geophysical Prospecting* 23, 335-362.

- ♦ Patella D. 1977. Resistivity sounding on a multi-layered earth with transitional layers. Part I: Theory. *Geophysical Prospecting* 25, 699-729.
- ♦ Patella D. 1997a. Introduction to ground surface self-potential tomography. *Geophysical Prospecting* 45, 653-681.
- ♦ Patella D. 1997b. Self-potential global tomography including topographic effects. *Geophysical Prospecting* 45, 843-863.
- ♦ Pelton W.H., Rijo L. and Swift Jr. G.M. 1978. Inversion of two-dimensional resistivity and induced polarization data. *Geophysics* 43, 788-803.
- ♦ Petrick Jr. W.R., Sill W.R. and Ward S.H. 1981. Three-dimensional resistivity inversion using alpha centers. *Geophysics* 49, 1708-1717.
- ♦ Pridmore D.F., Hohmann G.W., Ward S.H. and Sill W.R. 1981. An investigation of finite-element modeling for electrical and electromagnetic data in three dimensions. *Geophysics* 46, 1009-1024.
- ♦ Redpath Bruce, 1973. Seismic refraction exploration for engineering site investigations. Explosive Excavation Research Laboratory Livermore, California.
- ♦ Sasaki Y. 1989. Two-dimensional joint inversion of magnetotelluric and dipole-dipole resistivity data. *Geophysics* 40, 254-262.
- ♦ Sasaki Y. 1992. Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophysical Prospecting* 54, 453-464.
- ♦ Sasaki Y. 1994. Three-dimensional resistivity inversion using the finite-element method. *Geophysics* 59, 1839-1848.
- ♦ Sen M.K., Bhattacharya B.B. and Stoffa P.L. 1993. Nonlinear inversion of resistivity sounding data. *Geophysics* 58, 496-507.
- ♦ Sharma Prem V. Environmental and engineering geophysics. Cambridge University Press.
- ♦ Shima H. 1990. Two-dimensional automatic resistivity inversion technique using alpha centers. *Geophysics* 55, 682-684.
- ♦ Smith N.C. and Vozoff K. 1984. Two-dimensional DC resistivity inversion for dipole-dipole data. *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing* 22, 21-28.
- ♦ Tarantola A. 1987. Inverse Problem Theory: Methods for Data Fitting and Model Parameter Estimation. Elsevier, Amsterdam.
- ♦ Tripp A.C., Hohmann G.W. and Swift Jr. C.M. 1984. Two-dimensional resistivity inversion. *Geophysics* 49, 1708-1717.

	Attività di caratterizzazione ai sensi del D.Lgvo 152/2006 delle discariche comunali gestite dal consorzio CO.RI.SA./4	Reg. Com.: 277-06 ediz. 05/04/07 - Rev.1 GA/Id - Pag. 54
---	---	--

- ♦ Zhao S. and Yedlin M.J. 1996. Some refinements on the finite-difference method for 3-D dc resistivity modeling. Geophysics 61, 1301-1307.

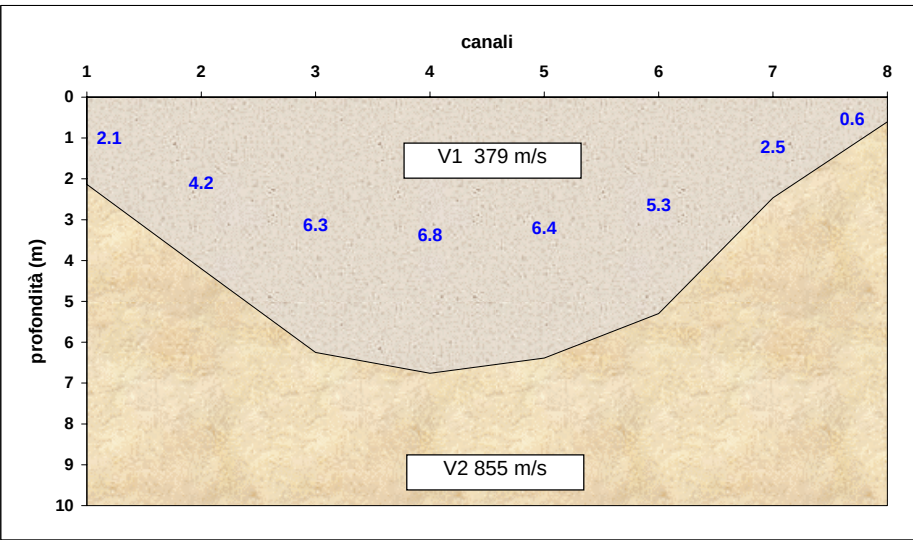
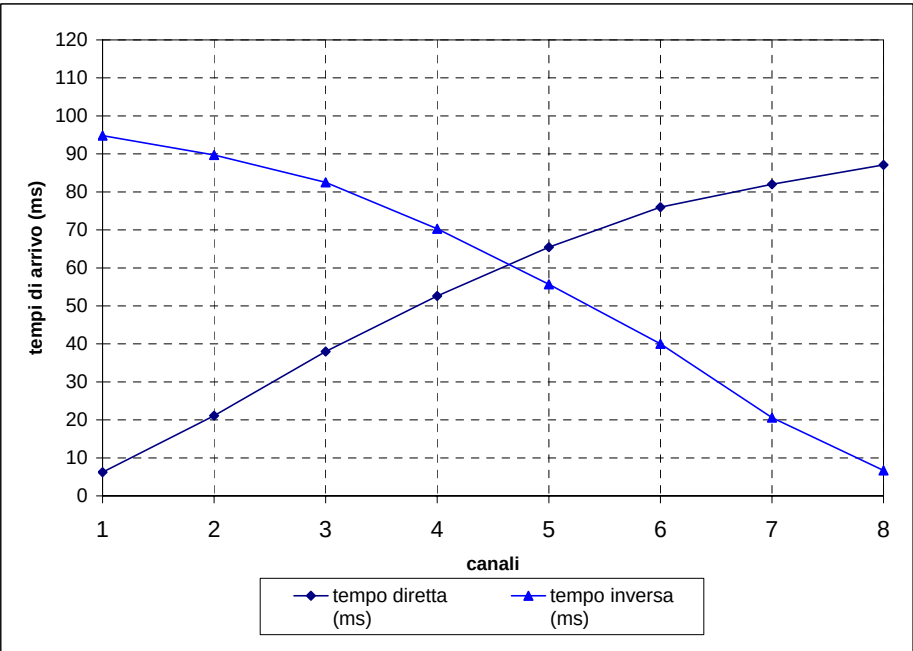
ALLEGATO 1

“Schede delle indagini sismiche a rifrazione”

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S1

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	6.25	94.80
2	21.10	89.70
3	38.00	82.50
4	52.60	70.30
5	65.44	55.70
6	76.00	40.00
7	82.00	20.60
8	87.10	6.70

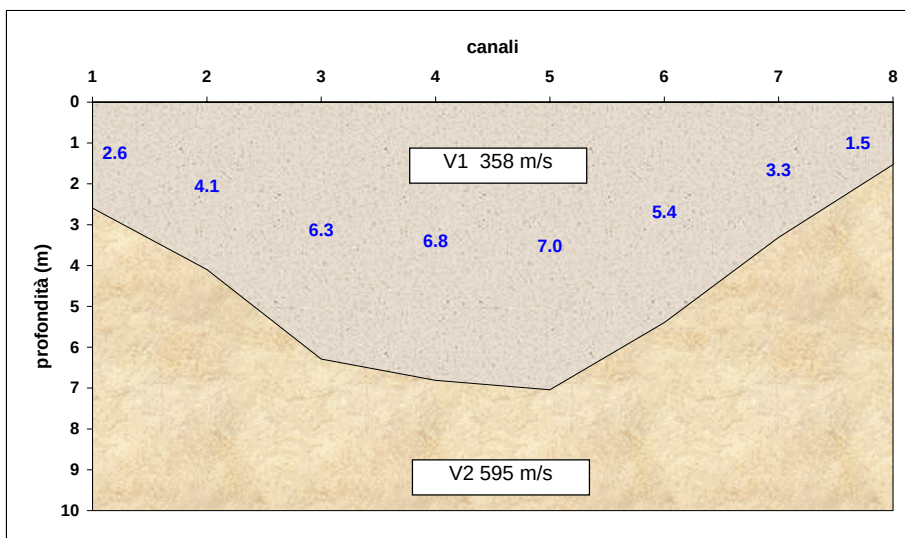
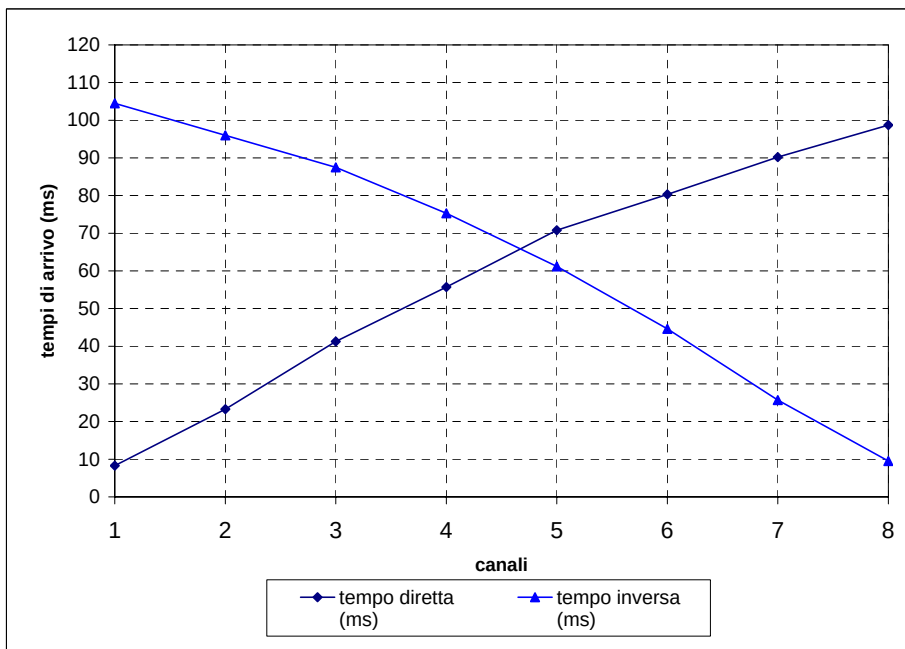


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 4.5 - 6.7 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S2

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	8.30	104.50
2	23.30	96.00
3	41.25	87.50
4	55.70	75.30
5	70.80	61.20
6	80.30	44.60
7	90.20	25.70
8	98.70	9.50

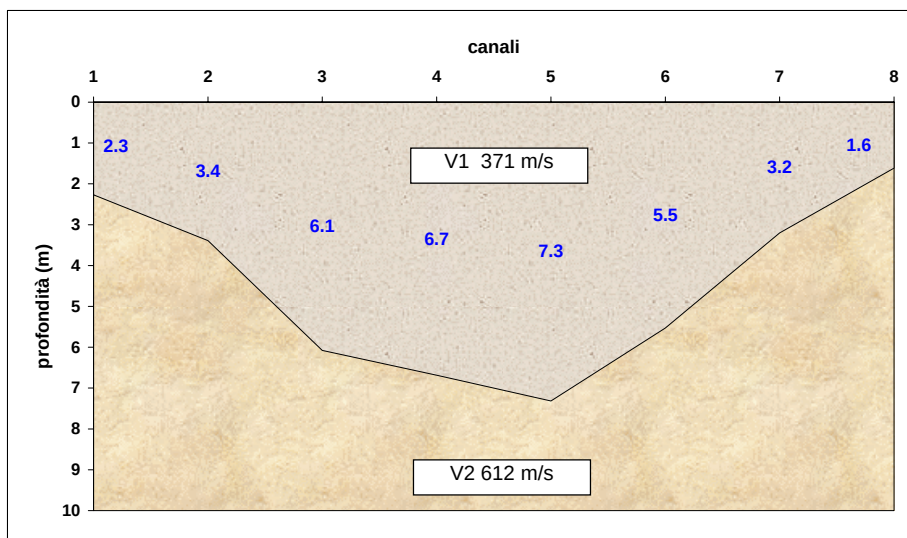
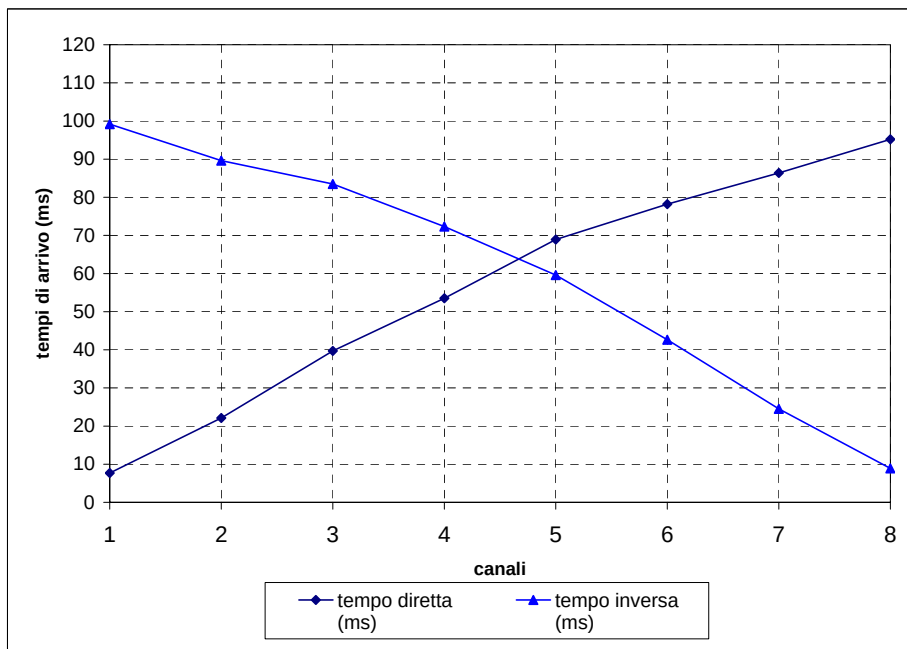


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 8.4 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S3

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	7.70	99.20
2	22.10	89.60
3	39.70	83.50
4	53.50	72.30
5	68.90	59.60
6	78.20	42.65
7	86.40	24.50
8	95.20	8.90

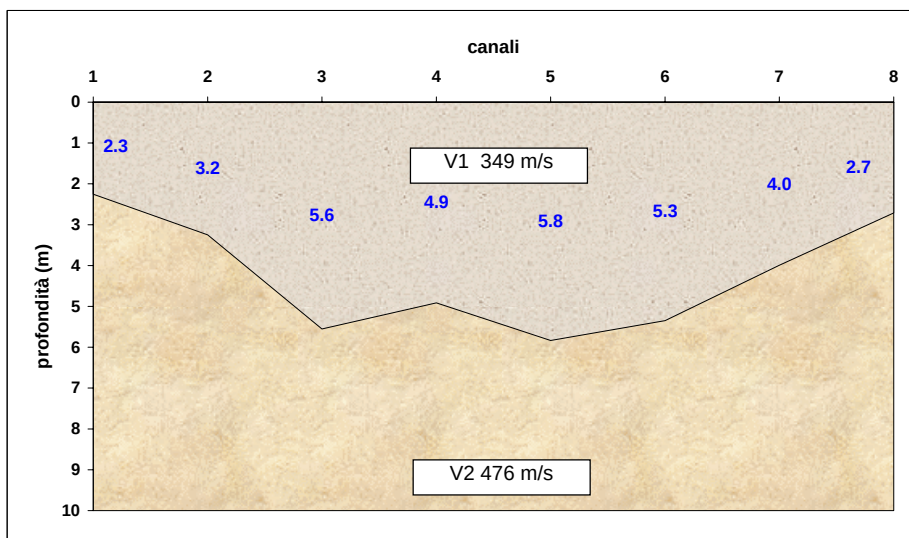
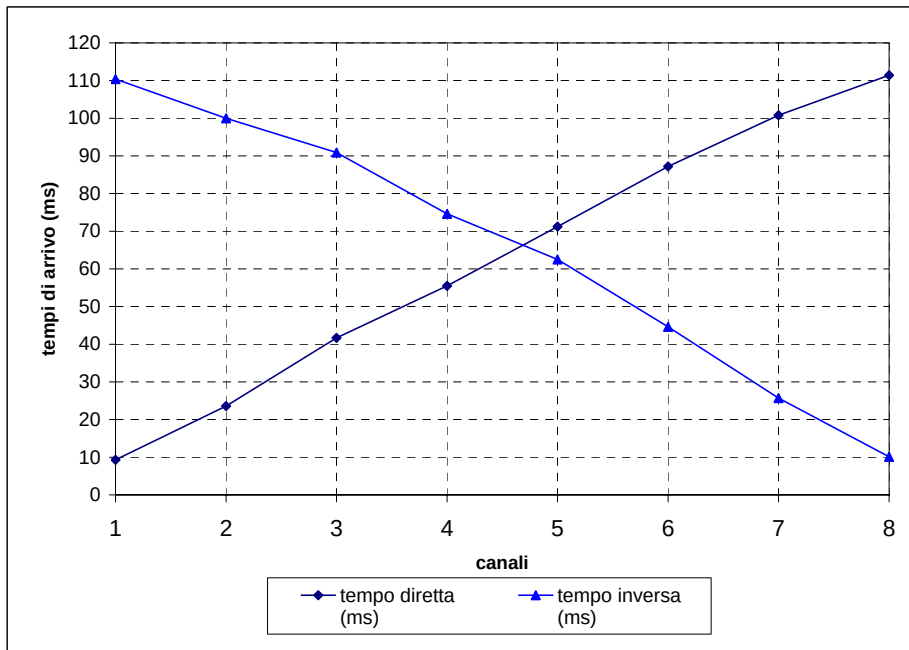


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 8.0 - 8.5 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S4

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	9.30	110.40
2	23.60	100.00
3	41.70	90.90
4	55.50	74.60
5	71.20	62.50
6	87.20	44.60
7	100.80	25.70
8	111.40	10.10

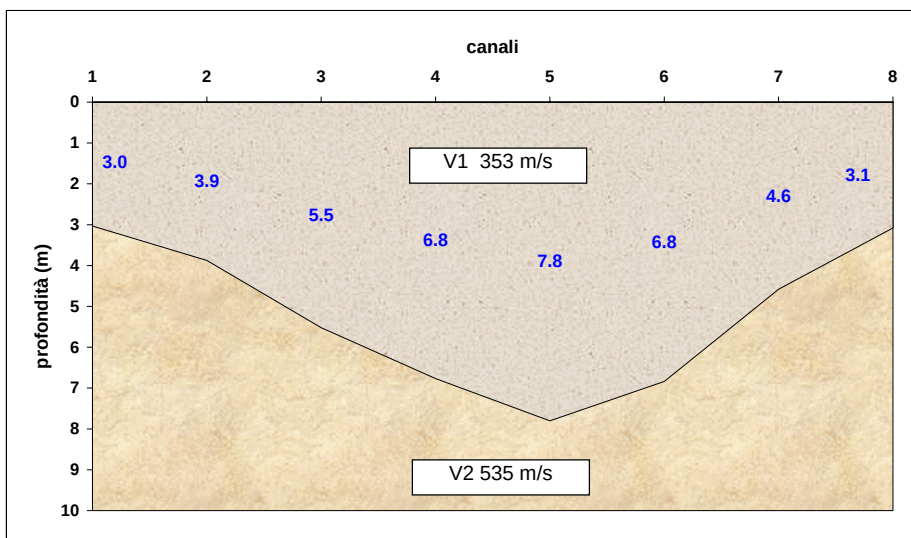
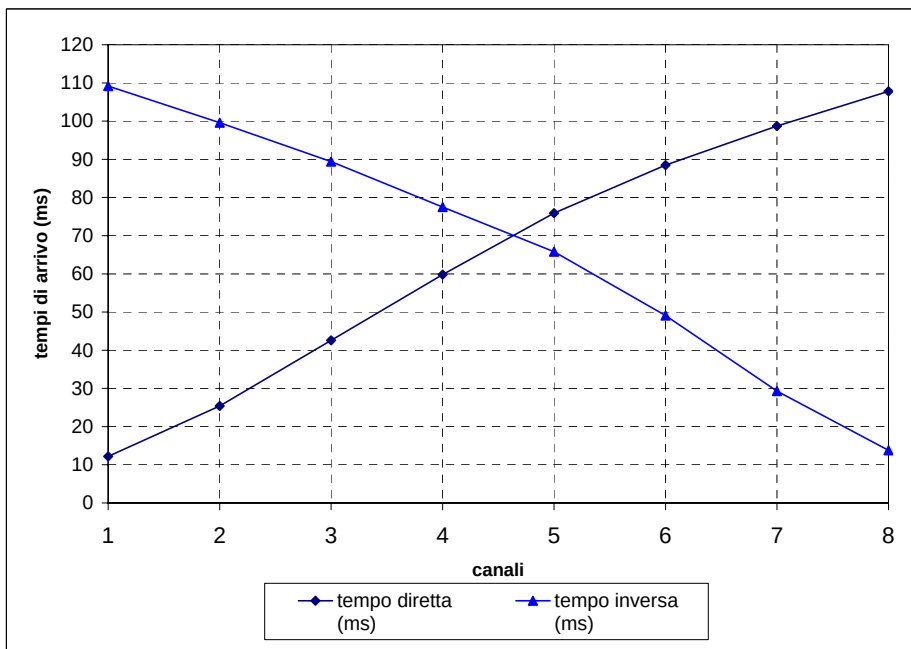


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 8.0 - 8.5 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S5

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	12.20	109.20
2	25.40	99.60
3	42.60	89.40
4	59.80	77.50
5	75.90	65.80
6	88.50	49.10
7	98.70	29.30
8	107.80	13.80

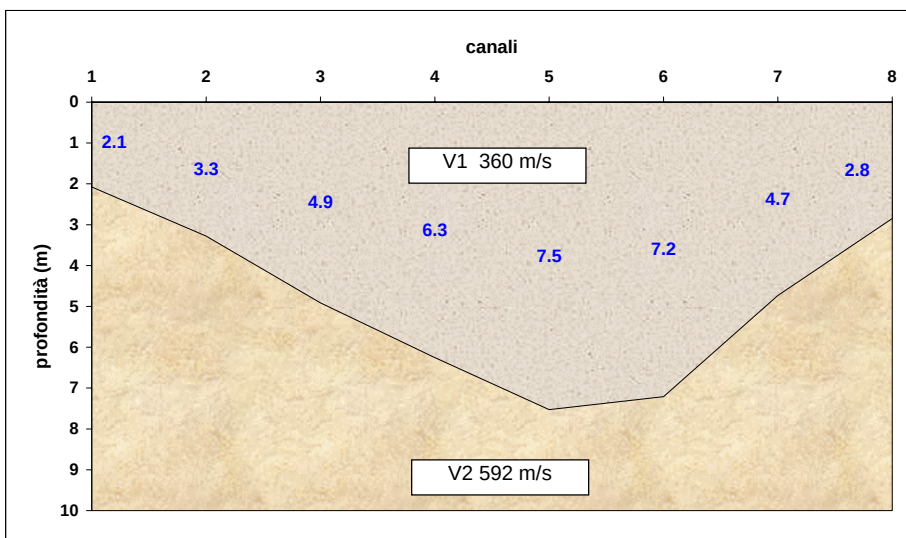
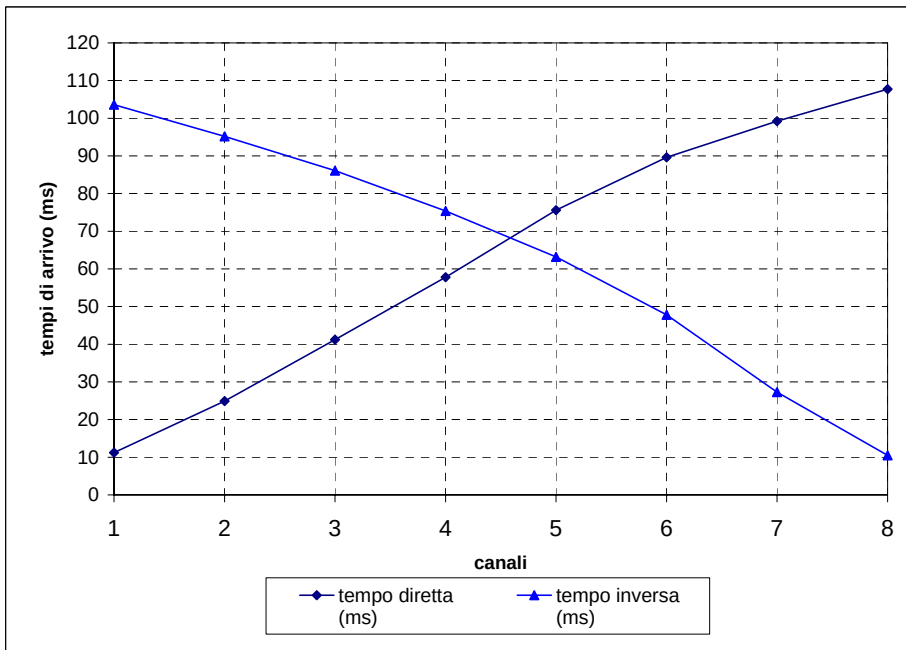


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 9.0 - 9.6 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S6

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	11.20	103.60
2	24.90	95.20
3	41.20	86.10
4	57.80	75.40
5	75.60	63.20
6	89.60	47.80
7	99.20	27.30
8	107.70	10.50

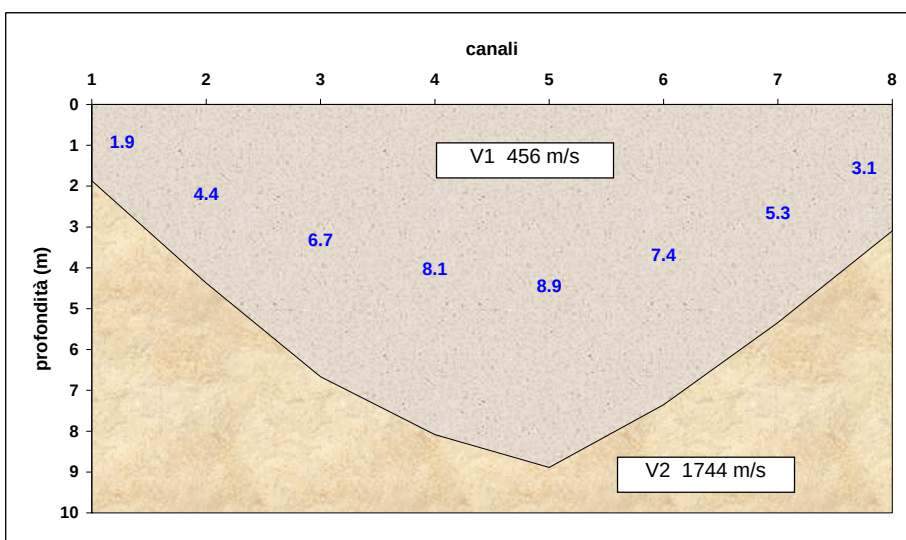
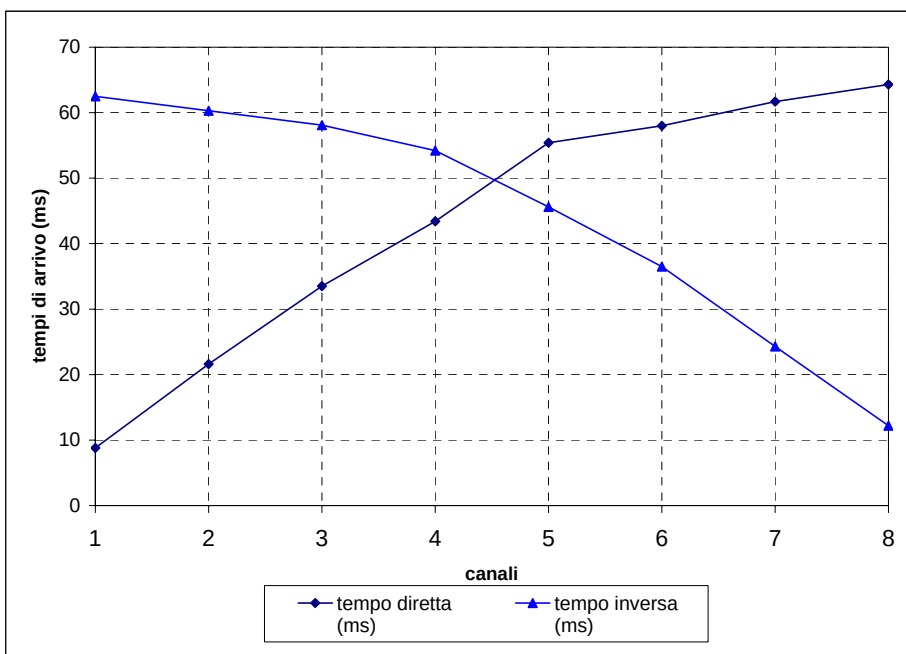


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 8.3 - 9.0 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S7

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	8.80	62.50
2	21.60	60.30
3	33.50	58.10
4	43.40	54.20
5	55.40	45.60
6	58.00	36.50
7	61.70	24.30
8	64.30	12.20

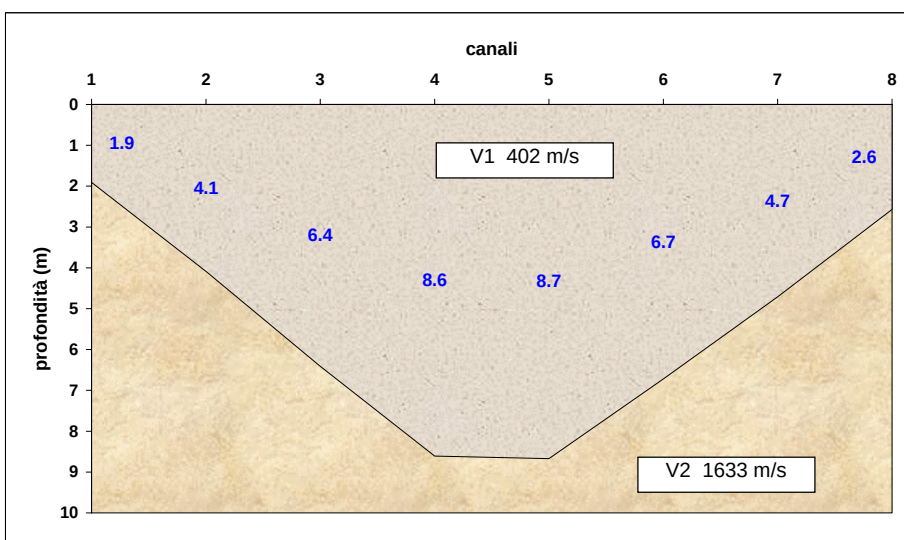
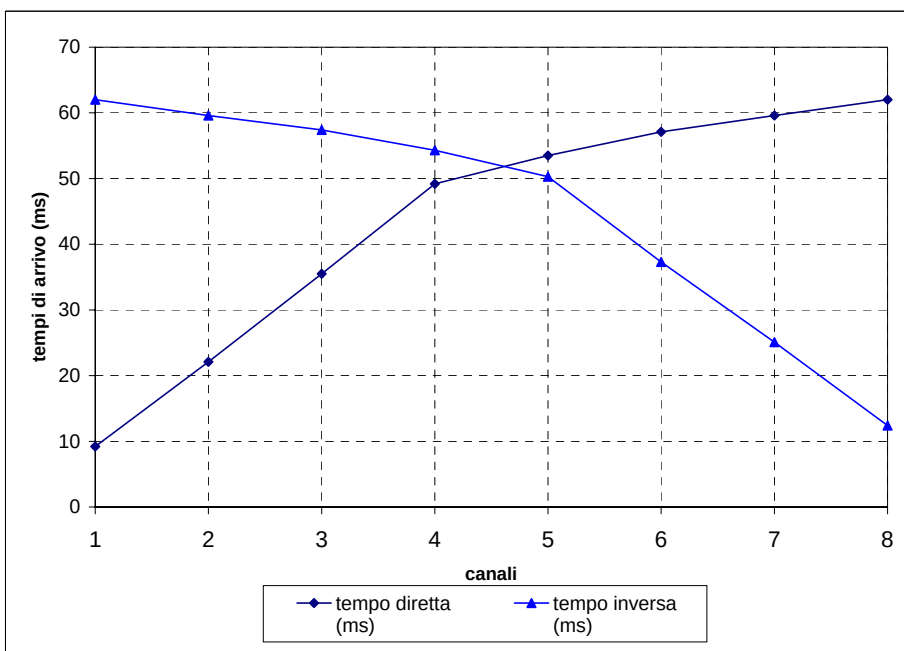


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 9.3 - 10.5 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S8

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	9.20	62.00
2	22.10	59.60
3	35.50	57.40
4	49.20	54.30
5	53.50	50.30
6	57.10	37.30
7	59.60	25.10
8	62.00	12.40

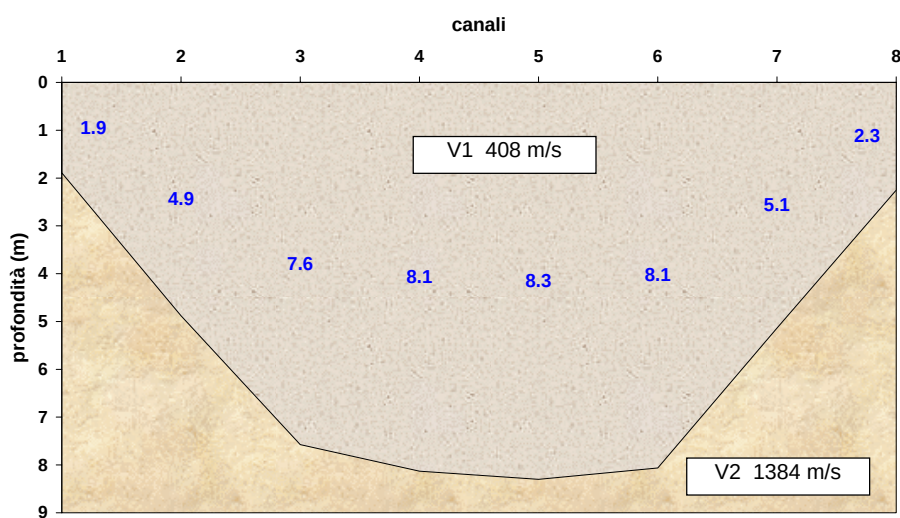
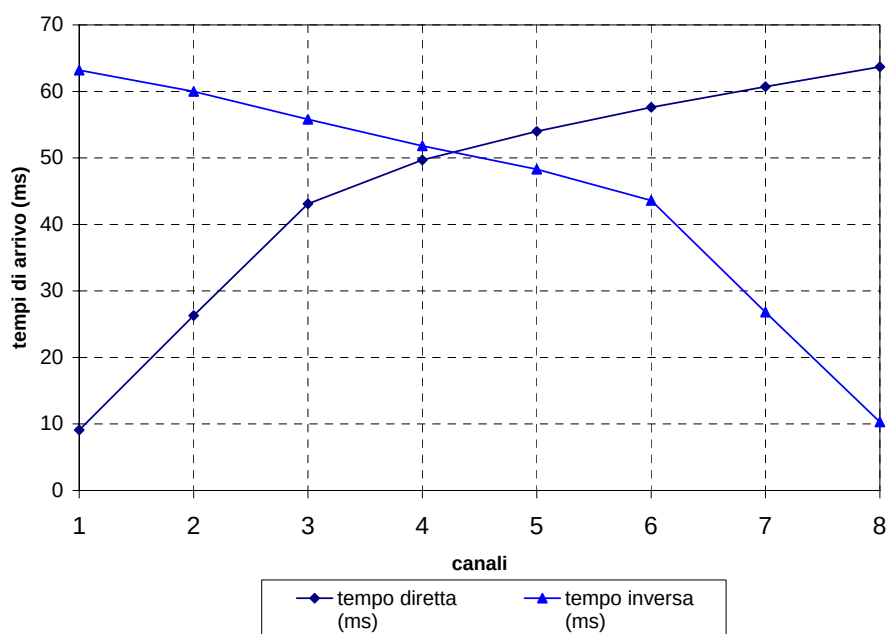


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 8.3 - 8.7 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S9

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	9.10	63.20
2	26.30	60.00
3	43.10	55.80
4	49.70	51.80
5	54.00	48.30
6	57.60	43.60
7	60.70	26.80
8	63.70	10.30

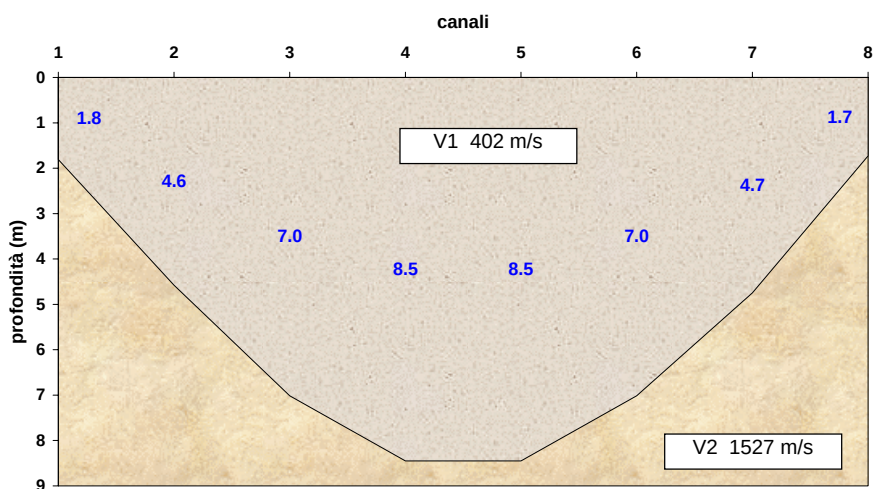
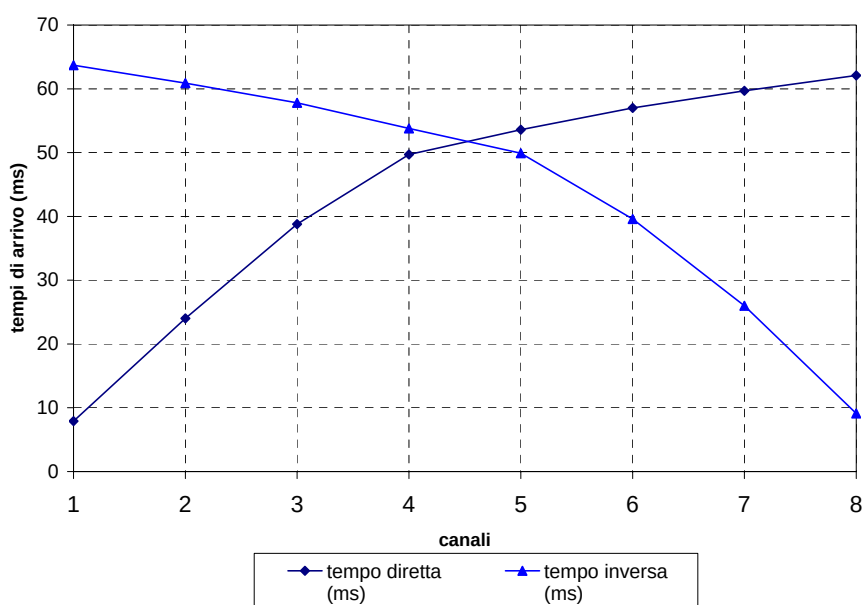


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 7.0 - 8.1 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S10

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	7.90	63.70
2	24.00	60.90
3	38.80	57.80
4	49.70	53.80
5	53.60	49.90
6	57.00	39.60
7	59.70	26.00
8	62.10	9.10

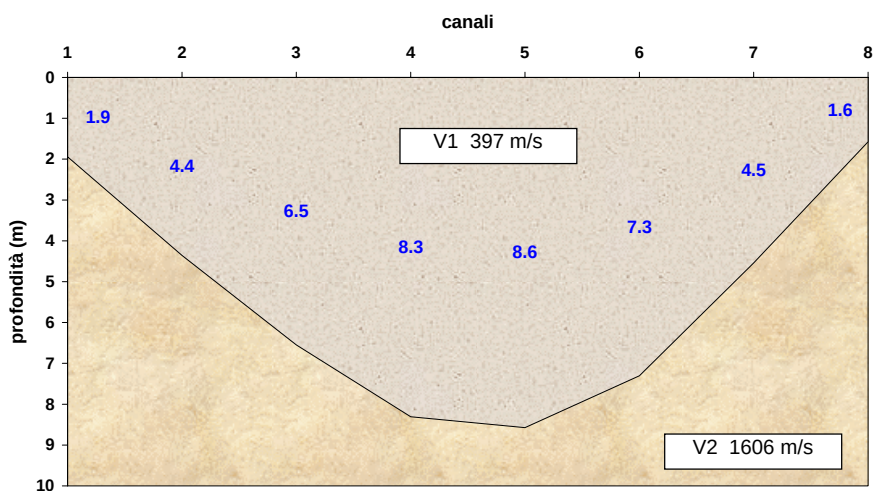
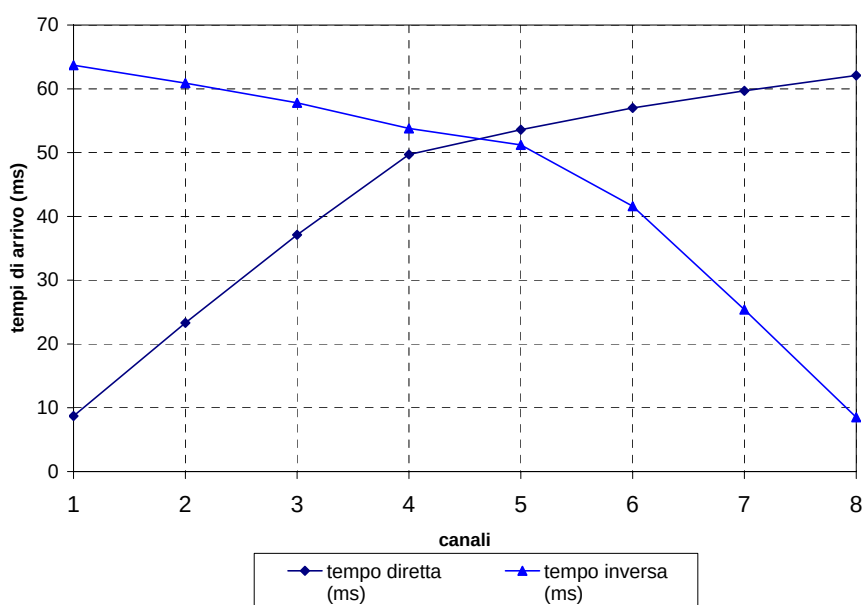


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 7.9 - 8.3 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S11

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	8.70	63.70
2	23.30	60.90
3	37.10	57.80
4	49.70	53.80
5	53.60	51.20
6	57.00	41.60
7	59.70	25.40
8	62.10	8.50

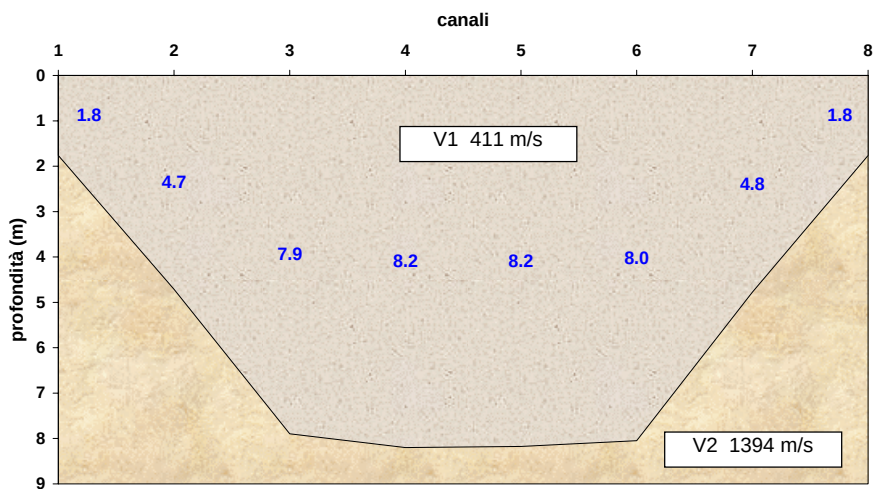
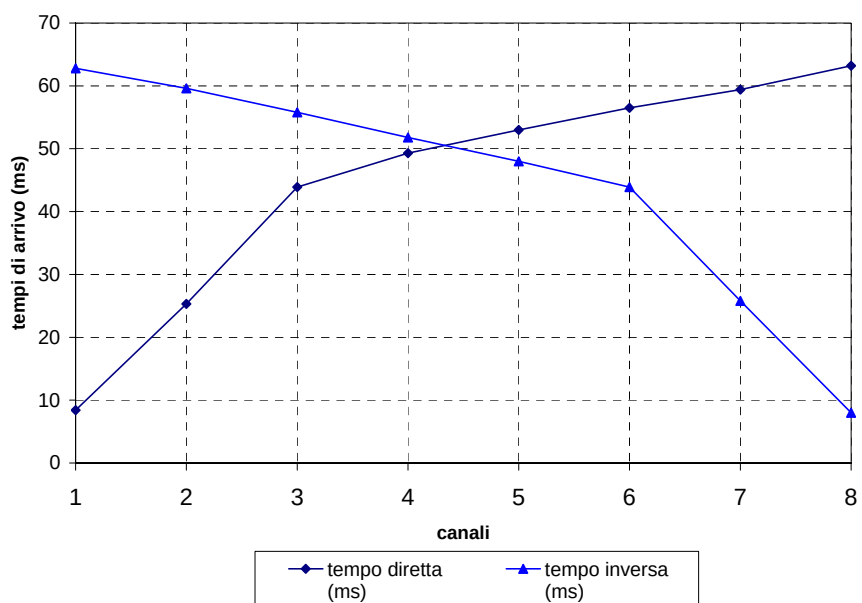


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 7.7 - 8.1 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S12

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	8.40	62.80
2	25.30	59.60
3	43.90	55.80
4	49.30	51.80
5	53.00	48.00
6	56.50	43.90
7	59.40	25.80
8	63.20	8.00

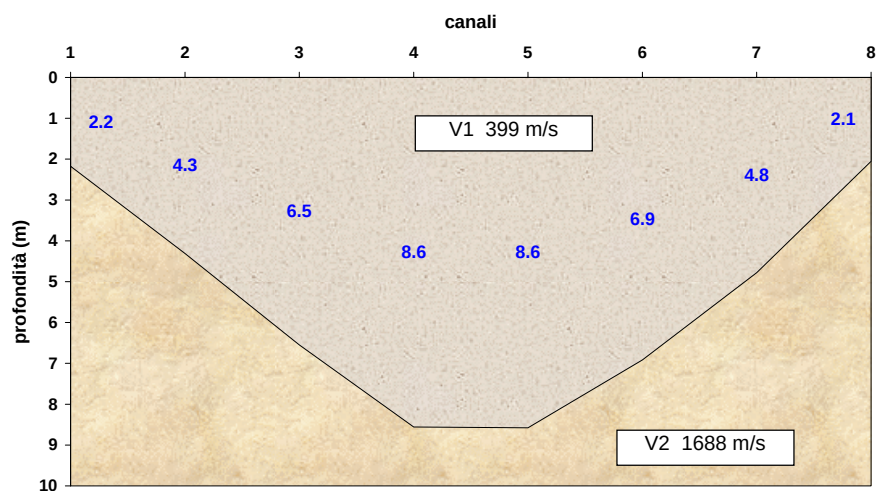
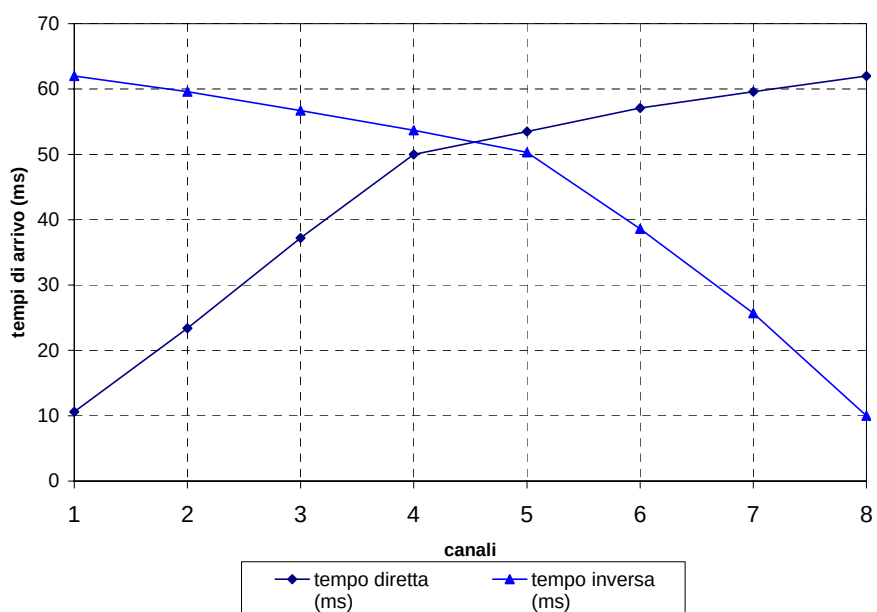


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 7.2 - 7.8 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S13

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	10.60	62.00
2	23.40	59.60
3	37.20	56.70
4	50.00	53.70
5	53.50	50.30
6	57.10	38.60
7	59.60	25.70
8	62.00	10.00

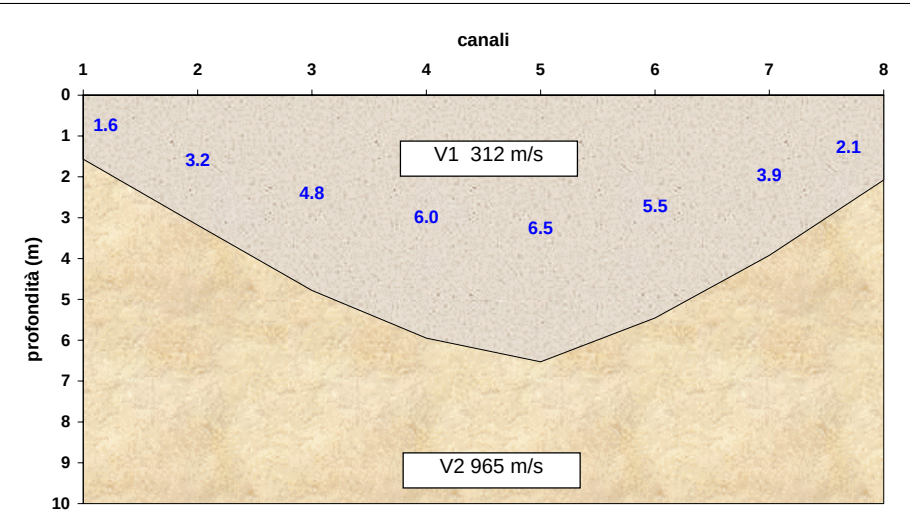
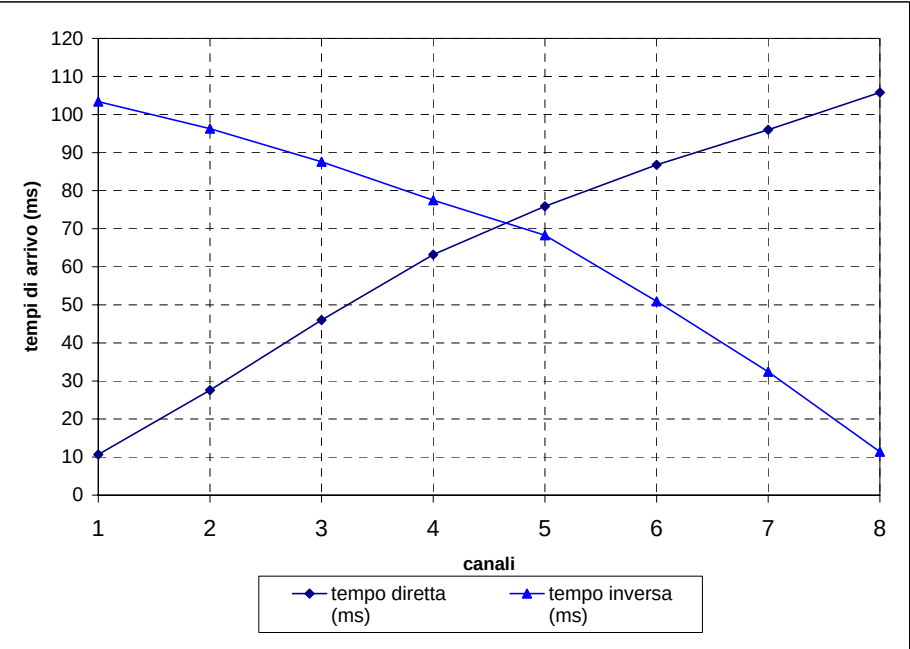


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 8.2 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S14

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	10.70	103.40
2	27.60	96.30
3	46.00	87.60
4	63.20	77.50
5	75.90	68.30
6	86.80	50.90
7	96.00	32.40
8	105.80	11.40

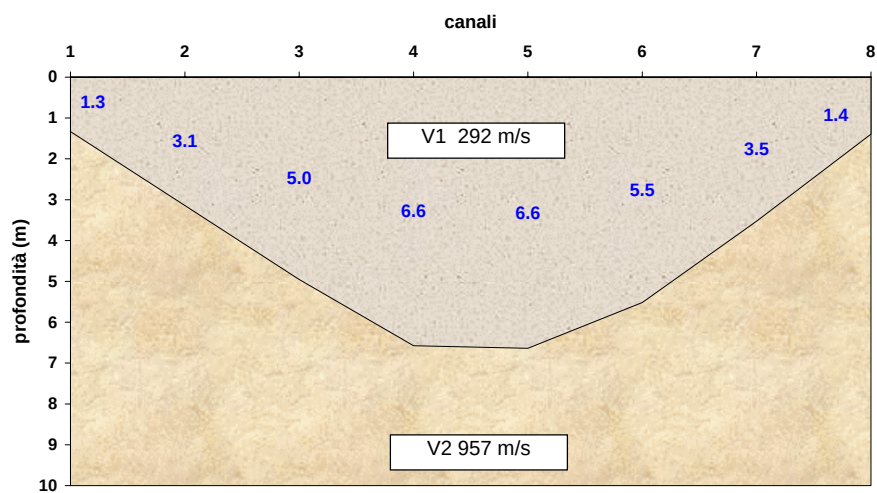
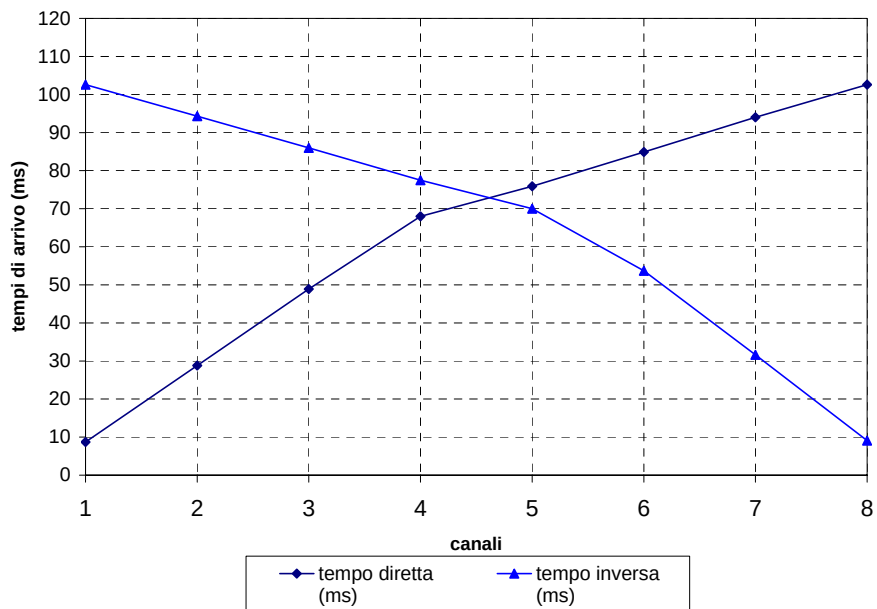


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 4.5 - 7.7 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S15

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	8.70	102.60
2	28.80	94.30
3	48.90	86.00
4	68.00	77.50
5	75.90	70.00
6	84.90	53.70
7	94.00	31.60
8	102.60	9.10

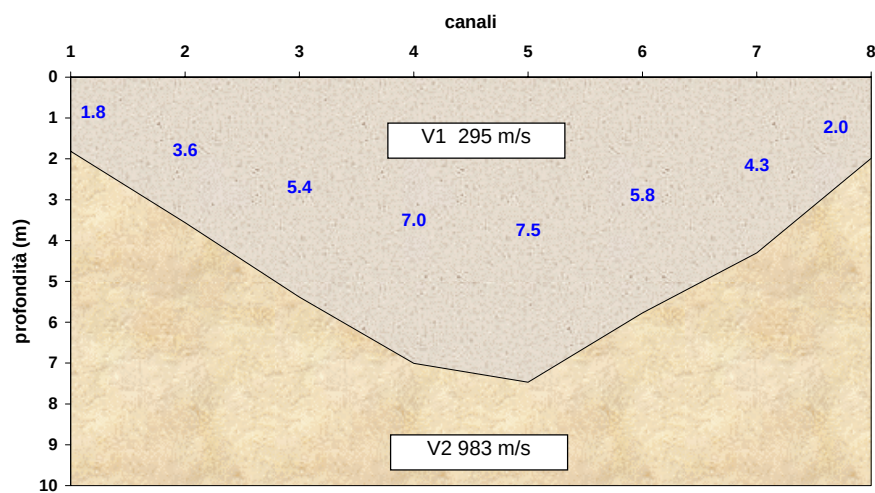
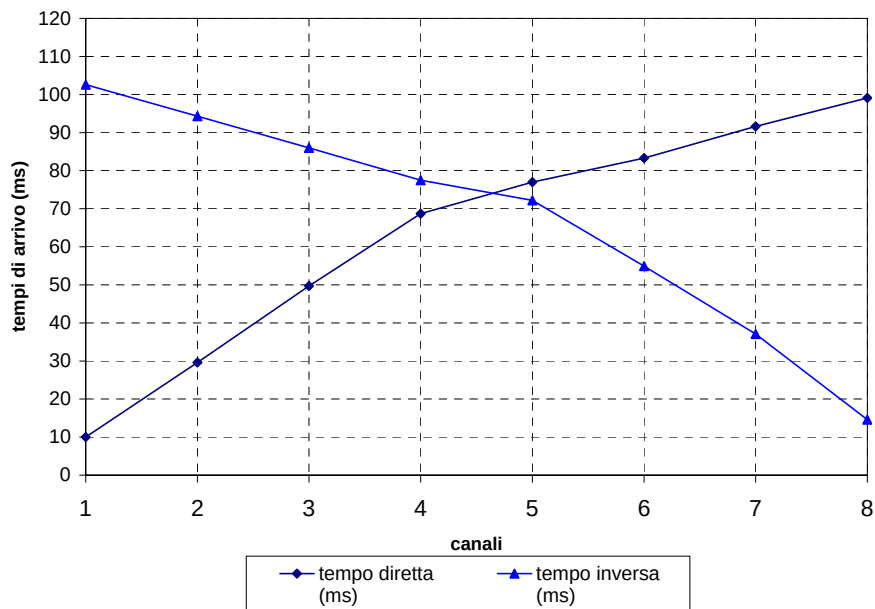


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 4.5 - 7.7 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S16

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	10.00	102.60
2	29.60	94.30
3	49.70	86.00
4	68.70	77.50
5	77.00	72.20
6	83.30	54.90
7	91.60	37.10
8	99.10	14.60

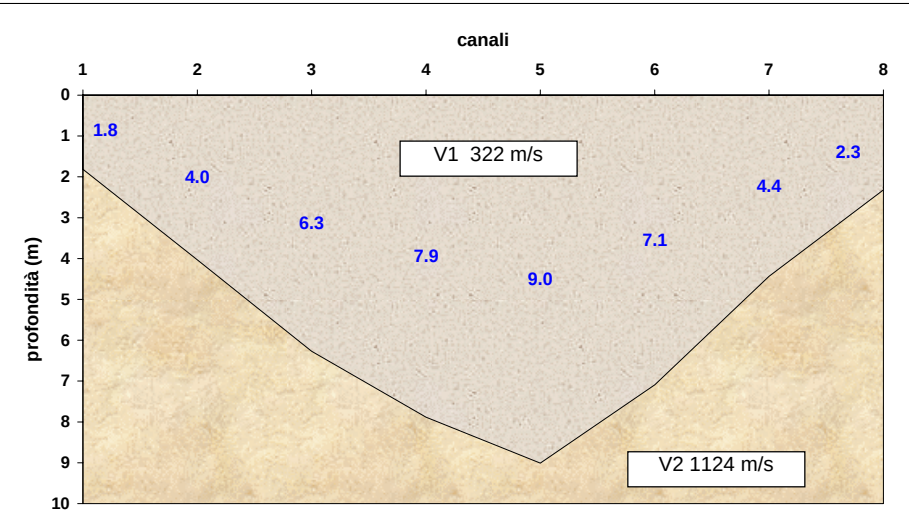
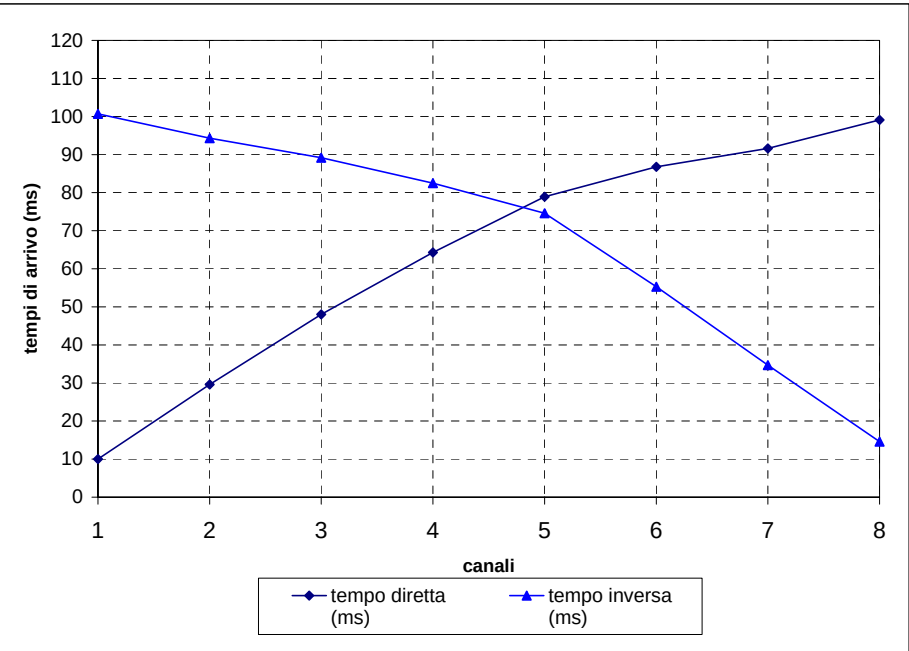


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 5.6 - 6.0 metri

SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S17

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	10.00	100.70
2	29.60	94.30
3	48.00	89.20
4	64.30	82.50
5	78.90	74.60
6	86.80	55.30
7	91.60	34.70
8	99.10	14.60

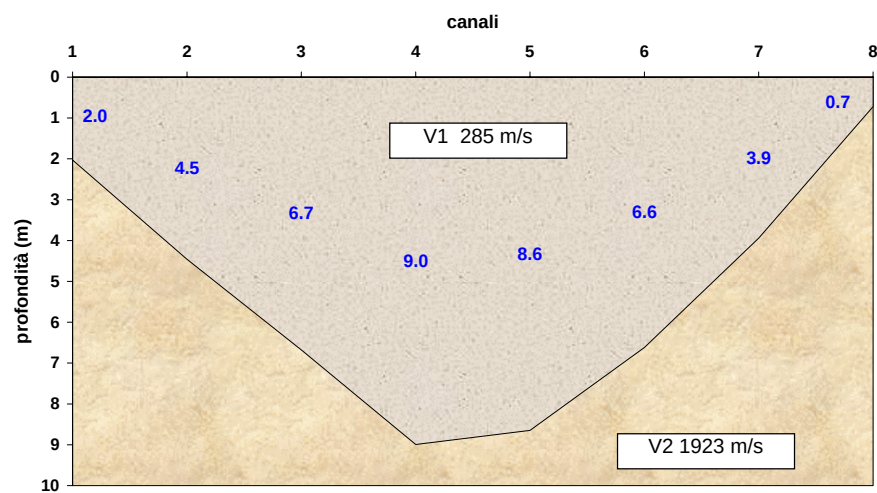
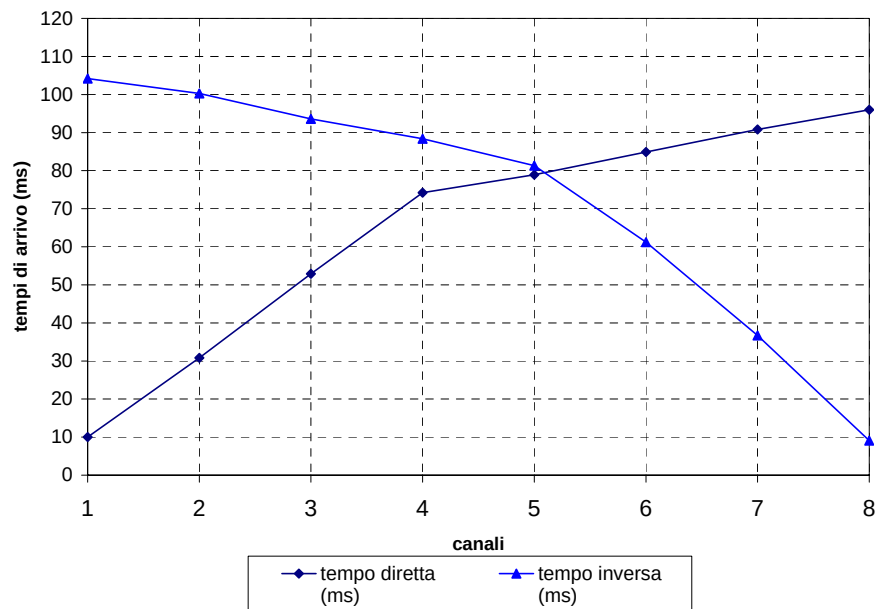


CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 6.6 - 8.3 metri

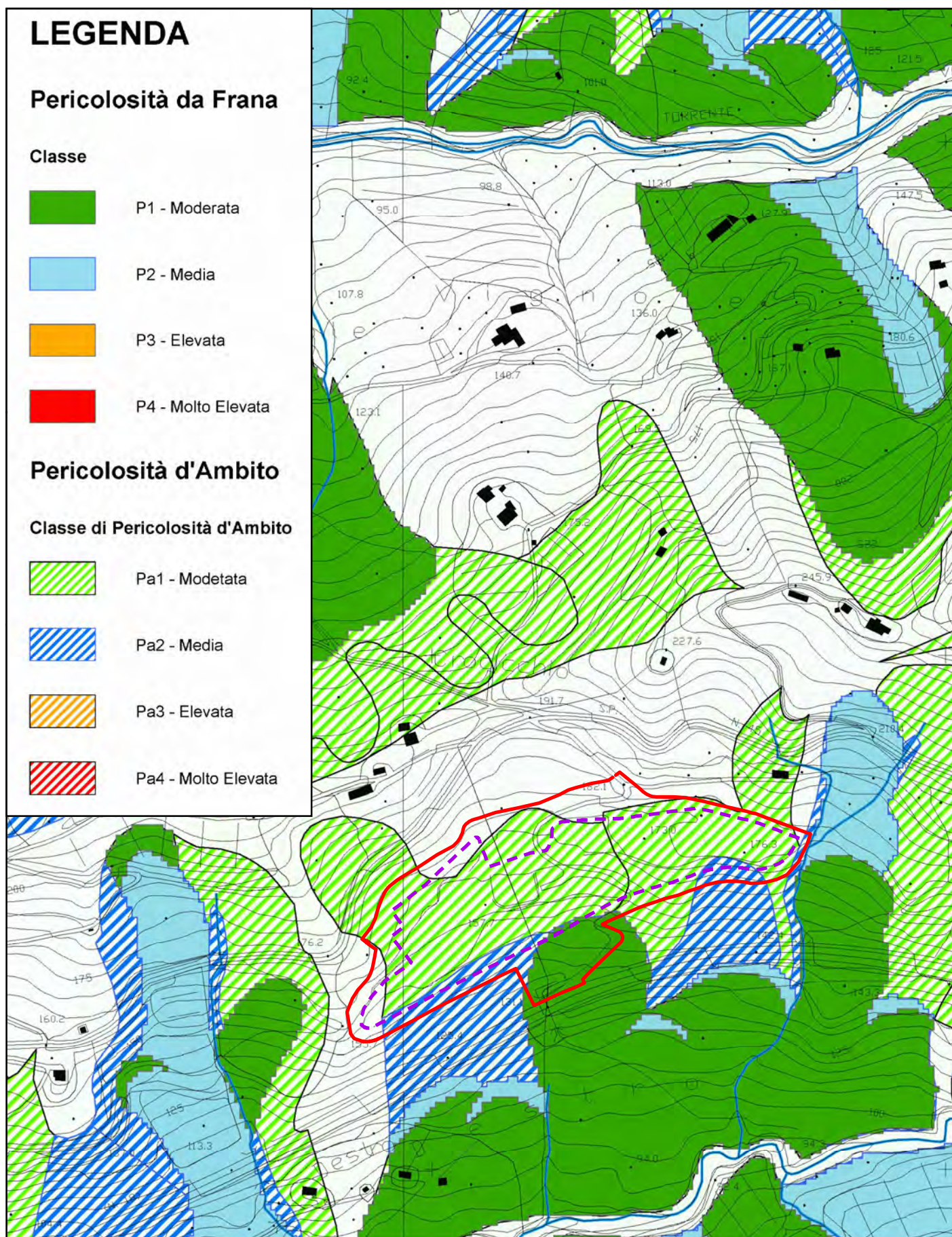
SITO: AGROPOLI (SA)
SIGLA PROFILO: S18

NUMERO CANALI: 8
SPAZIATURA GEOFONI: 5 metri

canale	tempo diretta (ms)	tempo inversa (ms)
1	10.00	104.20
2	30.80	100.30
3	52.90	93.60
4	74.20	88.40
5	78.90	81.30
6	84.90	61.20
7	90.80	36.70
8	96.00	9.10



CALCOLO DELLO SPESSORE CON IL METODO DELL'INTERCETTA --> 7.8 - 10.5 metri



INDIVIDUAZIONE DELL'AREA NELLA "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ DA FRANA" ALLEGATA
 AL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO - AGGIORNAMENTO (2012)
 DELL'AUTORITÀ DI BACINO REGIONALE SINISTRA SELE
 ELEMENTO N. 503051 - SCALA 1:5000

LEGENDA

RISCHIO DA FRANA

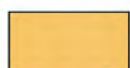
Classe



R1 - Moderato



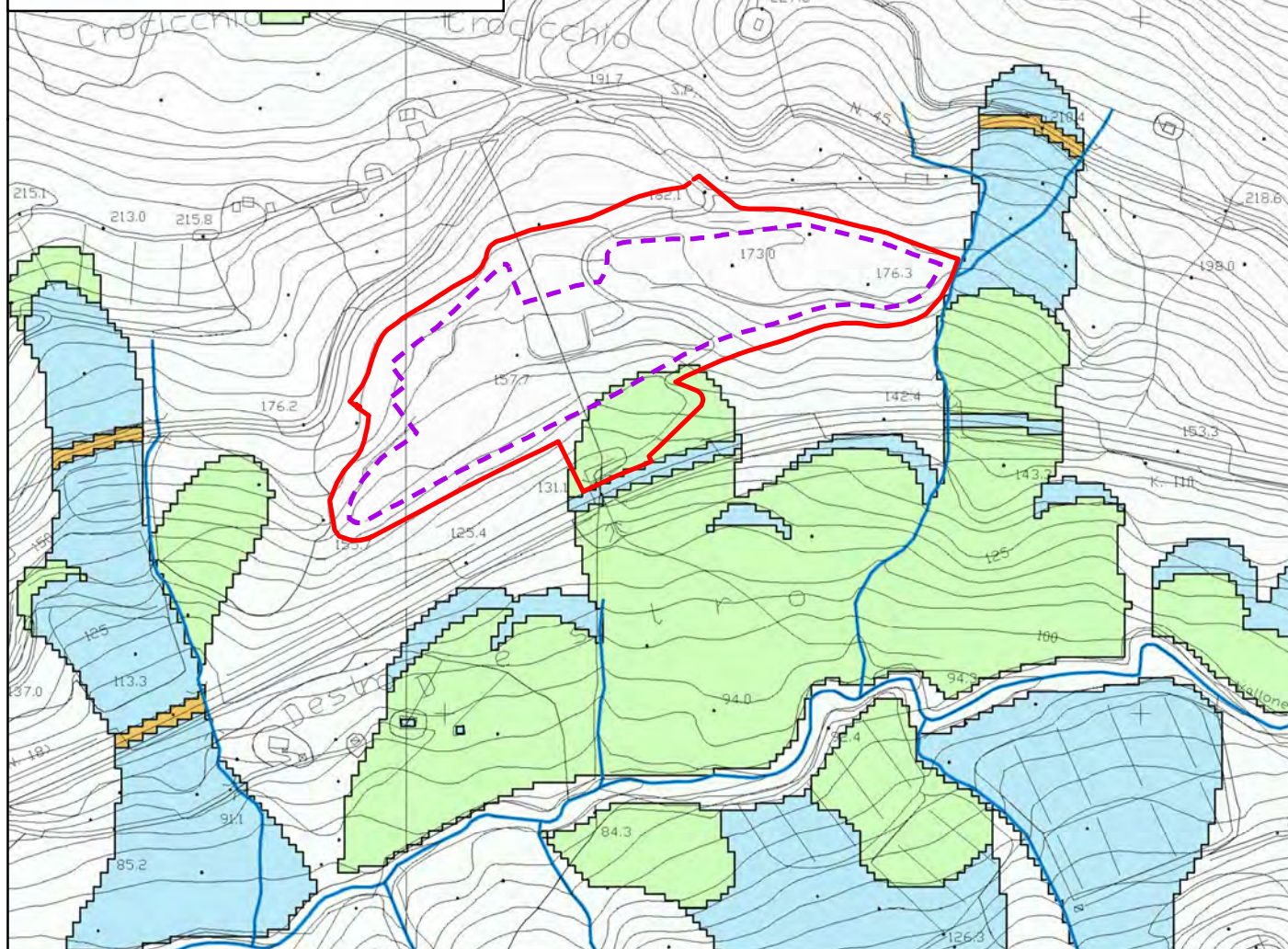
R2 - Medio



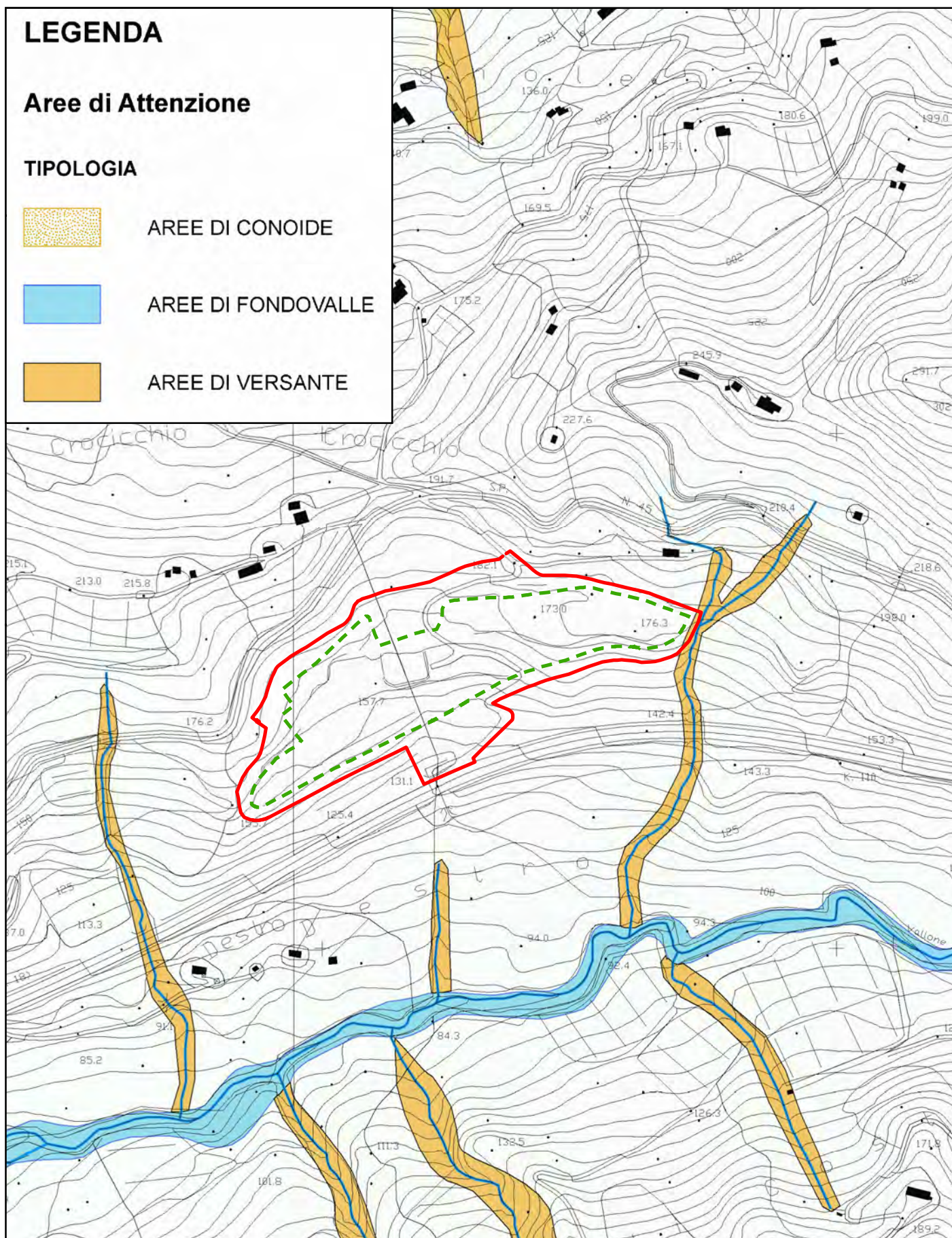
R3 - Elevato



R4 - Molto Elevato



INDIVIDUAZIONE DELL'AREA NELLA "CARTA DEL RISCHIO DA FRANA" ALLEGATA
AL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO - AGGIORNAMENTO (2012)
DELL'AUTORITÀ DI BACINO REGIONALE SINISTRA SELE
ELEMENTO N. 503051 - SCALA 1:5000



INDIVIDUAZIONE DELL'AREA NELLA "CARTA DELLE AREE DI ATTENZIONE SU BASE GEOMORFOLOGICA"
ALLEGATA AL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO - AGGIORNAMENTO (2012)
DELL'AUTORITÀ DI BACINO REGIONALE SINISTRA SELE
ELEMENTO N. 503051 - SCALA 1:5000