

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:



SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI - BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA

GEOLOGIA

INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE – AMBITO DEPOSITI FRANA GALLERIA GROTTAMINARDA
ESITI INDAGINI

Indagini Geofisiche – Documentazione Tecnica

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA AV Il Direttore Tecnico Ing. Vincenzo Moriello 21/02/2020	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	 Dott. Geol. F. Pennino

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	SCALA:
IF28	01	E	ZZ	IG	GE0205	001	A	-

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per consegna	V. Minardi	21/02/2020	B. Spigarelli	21/02/2020	M. Gatti	21/02/2020	Ing. G. Cassani
								21/02/2020

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF28</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td style="text-align: center;">E ZZ IG</td> <td style="text-align: center;">GE0205 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">2 di 3</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	E ZZ IG	GE0205 001	A	2 di 3
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	E ZZ IG	GE0205 001	A	2 di 3													
PROGETTO ESECUTIVO Indagini Geofisiche – Documentazione Tecnica																		

Indice

1	DESCRIZIONE DEI CONTENUTI	3
----------	--	----------

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF28</td> <td>01</td> <td>E ZZ IG</td> <td>GE0205 001</td> <td>A</td> <td>3 di 3</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	E ZZ IG	GE0205 001	A	3 di 3
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	E ZZ IG	GE0205 001	A	3 di 3													
PROGETTO ESECUTIVO Indagini Geofisiche – Documentazione Tecnica																		

1 DESCRIZIONE DEI CONTENUTI

Nell'ambito della stesura del Progetto Esecutivo del raddoppio del I° lotto funzionale Apice-Hirpinia della tratta Apice - Orsara (itinerario Napoli – Bari), il presente elaborato contiene le Indagini geofisiche integrative realizzate nell'ambito dei depositi in frana in corrispondenza del settore interessato dalla Galleria Grottaminarda.

La documentazione è così distinta:

- Allegato 1 – Relazione interpretativa
- Allegato 2 – Sezioni interpretative



geophysics . engineering . monitoring

*Itinerario Napoli-Bari: Raddoppio tratta Apice-Orsara
I Lotto funzionale Apice Hirpinia*

Indagini geofisiche su tracciato di progetto Grottaminarda



<i>Commessa</i>	<i>Committente</i>	<i>Documento</i>
19087	Hirpinia AV	19087_rel
<i>Redatto da</i>	<i>Revisione</i>	<i>Allegati</i>
Bergamin Marta	00	sì
<i>Approvato da</i>	<i>Data</i>	<i>Firma</i>
Gianluca Ascari	12/12/2019	

Questo documento è di proprietà di Akron srl e non può essere riprodotto senza specifica autorizzazione scritta di Akron srl

Akron srl
C.F./P.I./Nr. Iscrizione Reg. Impr. 03145050963
Società uni personale
capitale sociale Euro 10.000 i.v.
REA Milano soc. n. 1647540

Sede Legale e operativa
Via Di Vittorio 26 - Bovisio Masciago – MB - Italy
tel. +39 +362 55 99 02 – fax +39 +362 59 26 34
info@akronservizi.it
www.akronservizi.it

Sommario

1	Premessa	3
2	Descrizione metodologica	4
2.1	<i>Tomografia sismica a rifrazione</i>	4
2.2	<i>Tomografia cross-hole Vp</i>	6
2.3	<i>Energizzazioni da superficie</i>	7
2.4	<i>Sismica a riflessione</i>	8
2.5	<i>Tomografia elettrica</i>	9
2.5.1	<i>Resistività elettrica</i>	9
2.5.2	<i>Proprietà elettriche dei materiali</i>	11
2.5.3	<i>Tecniche tomografiche</i>	12
3	Strumentazione utilizzata	14
3.1	<i>Metodi sismici</i>	14
3.1.1	<i>Sistema di acquisizione dati</i>	14
3.1.2	<i>Sorgenti</i>	14
3.1.3	<i>Ricevitori</i>	15
3.2	<i>Metodo geoelettrico</i>	15
3.3	<i>Misure di verticalità</i>	16
3.4	<i>Rilievo topografico</i>	17
4	Descrizione del rilievo	18
4.1	<i>Indagini sismiche da superficie</i>	18
4.2	<i>Tomografia elettrica da superficie</i>	18
4.3	<i>Tomografia cross-hole Vp</i>	19
4.3.1	<i>Energizzazione da superficie</i>	19
4.3.2	<i>Misure di verticalità'</i>	20
5	Elaborazione dati	20
5.1	<i>Tomografia sismica a rifrazione</i>	20
5.2	<i>Sismica a riflessione</i>	21
5.3	<i>Indagini geoelettriche</i>	23
5.4	<i>Misure di verticalità</i>	24
5.5	<i>Tomografia sismica cross hole Vp ed energizzazioni da superficie</i>	24
6	Risultati del rilievo	26
7	Documentazione fotografica	29

Allegati

Rif.	Descrizione
All.01	Misure inclinometriche
Tav.01	Indagini geofisiche – Linea 1, Linea 2 e Tomografia cross-hole
Tav.02	Indagini geofisiche – Linea 3, Linea 4 e Linea 5

Lista di distribuzione

Riferimento	n. copie	
	cartacee	digitali
Hirpinia AV	0	1

1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto di raddoppio tratta Apice-Orsara, I Lotto funzionale Apice Hirpinia a Grottaminarda (AV) è stata realizzata una campagna di indagini geofisiche con lo scopo di effettuare una modellizzazione 2D del sottosuolo caratterizzato da fenomeno di frana. La presente fase di indagine, finalizzata alla fase di progettazione dello scavo della galleria, è stata eseguita secondo le specifiche fornite dal Committente con le seguenti tipologie d'indagine:

- Indagini da superficie
 - Indagini in sismica a rifrazione (onde di compressione - P)
 - Indagini in sismica a riflessione
 - tomografia elettrica
- Indagini in foro
 - Misure di verticalità in fori di sondaggio
 - Tomografia Cross-Hole (onde di compressione - P) e integrazione del dato foro-foro con energizzazioni da superficie e ricezione in foro (onde di compressione - P)

Le indagini sono state eseguite nei giorni compresi tra il 17 settembre e il 19 novembre 2019, con i seguenti obiettivi:

Metodo	Obiettivo	Parametri
Sismica a rifrazione	Modellizzazione sezioni 2D nel continuo	Vp
Sismica a riflessione	Identificazione orizzonti riflettenti (contrasti di impedenza sismica), zone di discontinuità o fenomeni di variazioni laterali	Vp
Tomografia elettrica	Modellizzazione sezioni 2D nel continuo	Resistività elettrica
Tomografia Cross-hole	Modellizzazione 2D con onde dirette (P)	Vp

Il piano di indagine, come definito da committente, ha previsto l'esecuzione di n. 5 sezioni di rilievo con metodi geofisici da superficie. Ad integrazione del dato da superficie è stata eseguita una indagine in tomografia cross-hole Vp sull'allineamento costituito da 8 fori di sondaggio realizzati dal committente. Su tutti i fori sono state eseguite misure di verticalità al fine di ottenere la corretta geometria di acquisizione del dato sismico foro-foro e superficie-foro.

Durante le fasi di acquisizione dati è stato effettuato il rilievo topografico tramite sistema GPS dei punti di stazione (geofoni, spari, elettrodi) e della posizione dei fori di sondaggio per la tomografia cross-hole.

Nella presente relazione sono riportati:

- metodologie di indagine
- strumentazione utilizzata
- descrizione del rilievo
- risultati ottenuti

I risultati delle indagini sono illustrati nei seguenti allegati:

- **All.01:** misure di verticalità;
- **Tav.01:** indagini geofisiche linea 1, linea 2 e tomografia cross-hole;
- **Tav.02:** indagini geofisiche linea 3, linea 4 e linea 5

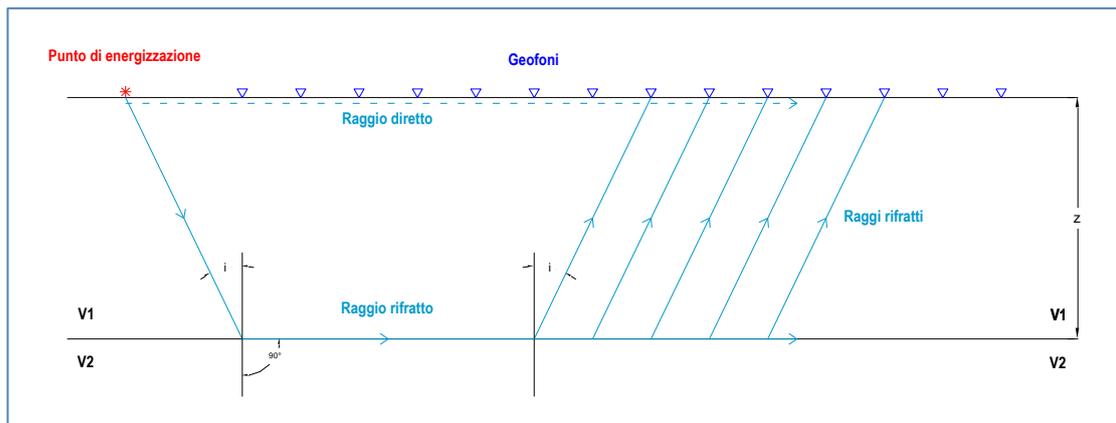
Come da piano di indagine le sezioni in tomografia elettrica da superficie e le indagini in tomografia cross-hole verranno ripetute nelle fasi ante-durante e post realizzazione della galleria.

2 DESCRIZIONE METODOLOGICA

Nel presente capitolo si descrivono le metodologie di prova utilizzate.

2.1 TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE

Il metodo sismico a rifrazione utilizza le onde sismiche che vengono rifratte dalle discontinuità presenti nel sottosuolo ad es. l'interfaccia tra due mezzi a diverse velocità (si ipotizza che la velocità aumenti con la profondità).



Misurando i tempi di primo arrivo (FBP First Break Point) degli impulsi ai geofoni e le distanze tra gli stessi viene costruito un diagramma (dromocrona) nel quale in ascisse vengono rappresentate le distanze e in ordinate i tempi.

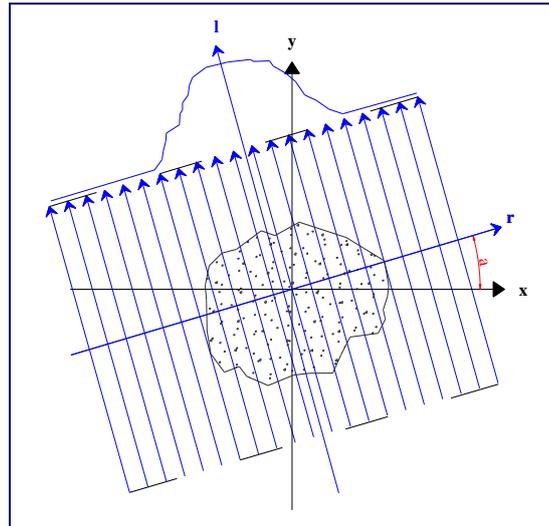
L'obiettivo della tomografia è definire le caratteristiche di un oggetto/sezione mediante la misura delle proiezioni esterne (somma di alcune proprietà interne) di queste caratteristiche.

Le serie di proiezioni utilizzate in tomografia corrispondono a integrali lineari di alcune funzioni del mezzo. Nelle indagini sismiche i parametri misurati sono il tempo di arrivo e l'ampiezza delle onde sismiche, mentre la funzione può essere lo smorzamento (reciproco della velocità) o il fattore di attenuazione. Per un'analisi bidimensionale il problema tomografico è rappresentato dalla seguente equazione:

$$p(r, \alpha) = \int f(x, y) dl$$

(una serie completa di somme di raggi ad un determinato angolo è definita proiezione o profilo)

Dove x , y , r , l e α sono rappresentati nello schema di seguito:



Dal punto di vista teorico $f(x,y)$ è una funzione 2D continua e per essere ricostruita necessita di un numero infinito di proiezioni. Per ovvi motivi di discretizzazione $f(x,y)$ è calcolata per un numero finito di punti attraverso un numero finito di proiezioni.

Il mezzo da ricostruire viene quindi discretizzato in un grid a elementi rettangolari (celle) in ciascuno dei quali il valore di smorzamento si suppone costante. Il tempo di arrivo calcolato per un raggio (impulso sismico - perturbazione ondulatoria) che attraversa le celle del grid può essere espresso dalla formula:

$$t_k^{calc} = \sum_{j=1}^N d_{kj} \cdot s_j$$

t_k^{calc} = tempo di arrivo calcolato per il raggio k esimo

d_{kj} = lunghezza del percorso del raggio k esimo nella cella j esima

s_j = smorzamento della cella j esima

N = numero di elementi del grid

I tempi di arrivo di tutti i raggi possono essere tradotti in forma matriciale:

$$T = D * S$$

T = vettore di lunghezza M (tempi di arrivo)

S = vettore di lunghezza N (celle)

D = vettore ($M \times N$) con lunghezza dei raggi in ogni cella

Ricostruire una funzione attraverso il suo integrale comporta una soluzione non unica poiché un infinito numero di integrali possono essere misurati.

Il numero di soluzioni può essere ridotto introducendo dei vincoli nel modello quali: limiti di velocità, limiti di gradiente delle velocità (damping), conoscenza delle strutture geologiche presenti nell'area, dimensioni e tipologia di celle da utilizzare nella ricostruzione.

Esistono differenti approcci alla risoluzione del problema:

- Back Projection (BP);
- matrice di inversione;
- ricostruzione analitica;
- ricostruzioni iterative (ART, SIRT).

I processi di tipo iterativo risultano più appropriati per l'ambito geologico poiché i dati geofisici possono essere distorti dal rumore di fondo, oppure essere campionati irregolarmente e discontinuamente.

I metodi iterativi si basano sulla definizione di un modello iniziale di velocità del sottosuolo (modello a priori) costruito attribuendo un valore di velocità a tutte le celle del grid. Attraverso il modello iniziale è possibile calcolare i tempi di arrivo teorici delle onde sismiche. Successivamente è possibile calcolare i tempi residui, ossia la differenza tra tempo osservato e tempo calcolato, e pertanto definire l'approssimazione del modello teorico al modello sperimentale/reale:

$$D_i = t_{obs_i} - t_{calc}$$

dove $i = 1, 2 \dots N$

Lo step successivo è dato dalla costruzione di un sistema di equazioni lineari che stabilisce la relazione tra i residui e la variazione che deve essere apportata al modello iniziale di velocità per ottenere un modello quanto più possibile attendibile. L'iterazione del calcolo prosegue fino a quando la differenza tra tempi calcolati e tempi osservati risulta compresa in un range di errore accettabile.

La risoluzione delle sezioni tomografiche è proporzionale al numero e alla dimensione delle celle del grid ed è limitata dalla media della lunghezza d'onda del segnale che determina la dimensione minima della cella. Una anomalia può essere individuata solamente se l'effetto prodotto sul tempo di arrivo è maggiore della precisione della lettura del tempo di arrivo stesso.

2.2 TOMOGRAFIA CROSS-HOLE VP

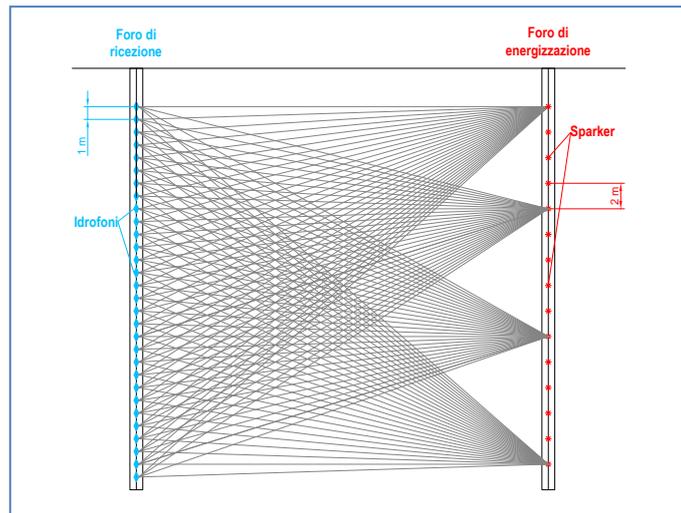
L'indagine in tomografia cross-hole permette di superare le limitazioni poste dalle indagini da superficie relativamente alle zone di inversione di velocità e alla scarsa densità della matrice di dato acquisito a profondità significative.

L'indagine in tomografia cross-hole viene eseguita attraverso le seguenti fasi:

- in un foro viene posizionata la sorgente di energia;
- nel foro adiacente vengono posizionati gli idrofoni con interdistanza fissa (geofoni che non hanno bisogno di contatto fisico con il mezzo circostante ma necessitano presenza di acqua nel foro);
- esecuzione dell'energizzazione e registrazione dell'arrivo degli impulsi;
- spostamento verso l'alto della sorgente di energia.

La sezione tra i due fori interessati dall'indagine viene attraversata da una notevole quantità di impulsi sismici, creando le condizioni migliori per una ricostruzione agli elementi finiti delle velocità dei singoli pixel.

Di seguito è riportato uno schema esemplificativo della geometria di acquisizione e dei raggi sismici che attraversano i materiali:



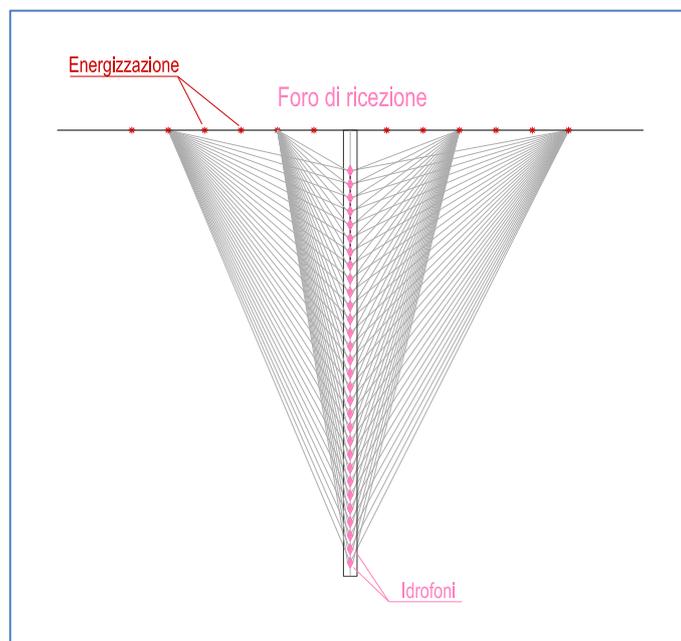
2.3 ENERGIZZAZIONI DA SUPERFICIE

Le energizzazioni da superficie prevedono l'utilizzo di un solo foro per l'alloggiamento dei ricevitori mentre i punti sorgente sono disposti attorno al foro ricevitore in base ad un allineamento o ad un grid.

Per le prove con energizzazione da superficie sono stati previsti i seguenti step:

- definizione del punto di energizzazione;
- posizionamento degli idrofondi con interdistanza prestabilita (1m);
- esecuzione dell'energizzazione e registrazione dell'arrivo degli impulsi;
- spostamento in superficie della sorgente di energia secondo un allineamento definito.

Di seguito è riportato lo schema esemplificativo della geometria di acquisizione.



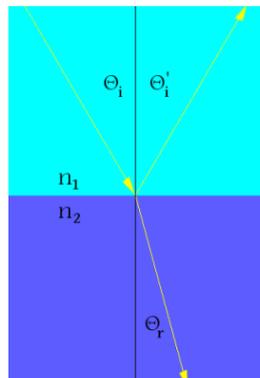
2.4 SISMICA A RIFLESSIONE

Le indagini a riflessione consentono di definire lungo un profilo indagato, tramite la valutazione della velocità di propagazione delle onde di compressione e di taglio, le unità litologiche presenti e la loro geometria (spessori e superfici di contatto).

Il principio base su cui si fonda la tecnica sismica a riflessione consiste nell'idea che una volta generato un segnale, ad un istante noto, si possa misurare il tempo che impiegano le onde sismiche così prodotte ad attraversare il mezzo considerato, essere riflesse e raggiungere i ricevitori posti in superficie. Questo tempo è noto come "two-way travel time" (TWTT) e la sua valutazione rappresenta l'essenza della tecnica a riflessione.

La sismica a riflessione, così come accade per la sismica a rifrazione, si basa sulla validità delle leggi di Snell alle quali occorre accennare al fine di comprendere i fenomeni che determinano i percorsi, le geometrie, le velocità e le caratteristiche dei raggi sismici.

Consideriamo un piano di incidenza individuato dal raggio incidente e dalla normale alla superficie di discontinuità tra il mezzo 1 ed il mezzo 2 (aventi caratteristiche meccaniche differenti) ed ipotizziamo che un'onda colpisca la loro superficie di separazione. In questo caso una parte dell'onda incidente subirà un fenomeno di riflessione e continuerà a viaggiare nel mezzo 1 (raggio riflesso), mentre una parte proseguirà il suo percorso e raggiungerà il mezzo 2 (raggio rifratto).



Secondo la **Prima legge di Snell** il raggio incidente, il raggio rifratto, il raggio riflesso e la normale alla superficie di separazione tra i due mezzi appartengono allo stesso piano, chiamato *piano di incidenza*.

La **Seconda legge di Snell** ci dà delle informazioni sulla relazione che lega l'angolo di riflessione e quello di incidenza sottolineando che:

$$\theta_i = \theta_i'$$

Il raggio rifratto, invece, viene trasmesso nel mezzo 2 e forma con la normale alla superficie di separazione tra i due mezzi l'angolo di rifrazione θ_r .

Secondo la **Terza legge di Snell** il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione è uguale al rapporto tra l'indice di rifrazione del secondo mezzo e l'indice di rifrazione del primo:

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{n_2}{n_1}$$

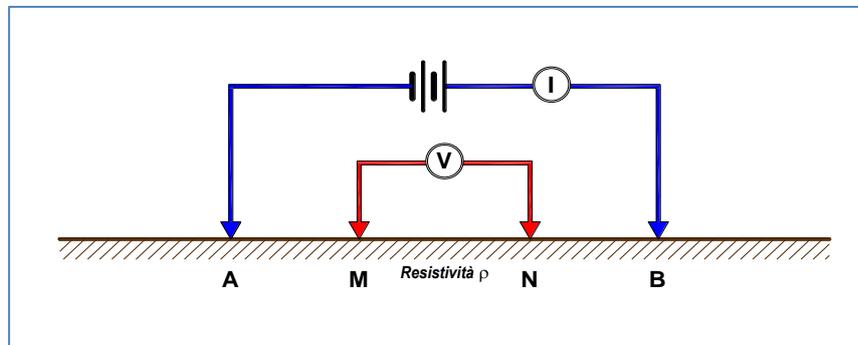
Sulla base di quanto detto consegue che se $v_2 > v_1$ il raggio rifratto si allontanerà dalla normale alla superficie di separazione tra i due mezzi; se, invece, $v_2 < v_1$ allora il raggio rifratto si avvicinerà alla normale.

2.5 TOMOGRAFIA ELETTRICA

Le indagini geoelettriche costituiscono un metodo geofisico che permette di ricostruire la distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo.

La grandezza che viene comunemente misurata è la resistività elettrica, ma possono essere misurati altri parametri quali il potenziale spontaneo e la polarizzazione indotta.

Il principio sul quale si basa questa metodologia è così schematizzabile: una corrente viene immessa nel mezzo attraverso una coppia di elettrodi AB (dipolo di immissione) e la differenza di potenziale risultante viene misurata attraverso un'altra coppia di elettrodi MN (dipolo di ricezione). Un voltmetro consente la misura della differenza di potenziale.



2.5.1 RESISTIVITÀ ELETTRICA

La corrente si propaga nel sottosuolo attraverso:

- conduzione elettronica: la corrente si propaga attraverso gli elettroni liberi, come nei metalli
- conduzione elettrolitica: la corrente si propaga attraverso il movimento degli ioni disciolti nell'acqua presente nel sottosuolo.

I metodi geoelettrici si basano sull'immissione di una corrente nel sottosuolo e sulla misura della differenza di potenziale prodotta per determinare la distribuzione della resistività. Queste grandezze sono legate tra loro dalla Legge di Ohm: il rapporto tra la differenza di potenziale ai capi di un conduttore e la corrente che lo attraversa è la resistenza:

$$\Delta V = RI$$

Dove :

ΔV = differenza di potenziale (volt)

I = intensità di corrente (ampere)

R = resistenza (ohm)

La resistenza dipende dalle caratteristiche fisiche e geometriche del conduttore e può essere così espressa:

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

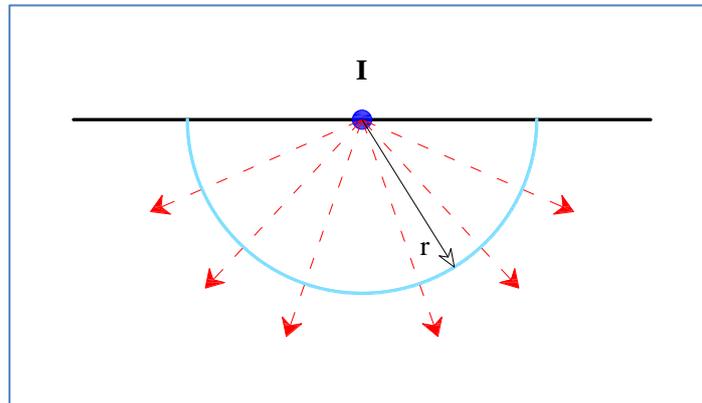
Dove :

ρ = resistività (ohm.m)

l = lunghezza del conduttore (m)

A = sezione del conduttore (m²)

Considerando un elettrodo che immette corrente in un mezzo omogeneo, in qualunque superficie semisferica, la corrente si propaga radialmente.



La densità di corrente J immessa da un elettrodo in un semispazio può essere così espressa:

$$J = \frac{I}{2\pi r^2}$$

e la differenza di potenziale:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r}$$

Considerando i quattro elettrodi utilizzati nelle indagini geoelettriche, è possibile esprimere la differenza di potenziale in questo modo:

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)$$

Dove :

r_1 = distanza tra M e A

r_2 = distanza tra M e B

r_3 = distanza tra N e A

r_4 = distanza tra N e B

La resistività potrà essere così espressa:

$$\rho = 2\pi \frac{\Delta V}{I} k$$

Dove

$$\frac{1}{k} = \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)$$

k è il fattore geometrico specifico per ogni configurazione elettrodica.

La resistività calcolata sopra è definita per un mezzo omogeneo, ma il sottosuolo è anisotropo e disomogeneo, pertanto l'equazione definisce una **resistività apparente**, poiché varia in funzione della posizione e/o della direzione dello stendimento.

Non rappresenta né la resistività reale, né il valore medio della resistività reale, ma la resistività di un equivalente semispazio omogeneo e isotropo.

2.5.2 PROPRIETÀ ELETTRICHE DEI MATERIALI

La resistività elettrica dei terreni e delle rocce dipende da numerosi fattori quali il contenuto di fluidi e di minerali, la porosità e il grado di saturazione del mezzo.

Questa grandezza è funzione essenzialmente della conduzione elettrolitica nei fluidi presenti tra i contatti dei granuli o contenuti in pori, fratture e faglie. La conduzione elettrolitica dipende dai seguenti fattori:

1. **salinità**: sono gli ioni disciolti in acqua a condurre la corrente; ne consegue pertanto che le soluzioni caratterizzate da un elevato contenuto di sali disciolti (ioni) sono quelle maggiormente conduttive;
2. **porosità**: la resistività e la porosità delle rocce sedimentarie sono generalmente correlate attraverso la legge di Archie, che per rocce prive di argilla può essere così espressa:

$$F = \frac{\rho_r}{\rho_e} = a\phi^{-m}$$

dove:

ρ_r = resistività della roccia

ρ_e = resistività della soluzione presente nei pori della roccia

ϕ =porosità

a = coefficiente di saturazione (compreso tra 0.6 e 1.0)

m = fattore di cementazione (compreso tra 1.4 e 2.2)

3. **presenza di materiali coesivi/argillosi**: le argille hanno una conduttività normalmente elevata poiché possiedono un doppio strato di scambio cationico. Questo strato ha una notevole capacità di assorbimento dei cationi che comporta un aumento della conduttività;
4. **grado di saturazione**: è il rapporto tra il volume dell'acqua presente nei pori e il volume totale dei pori. Maggiore è il grado di saturazione, minore è la resistività dei materiali.

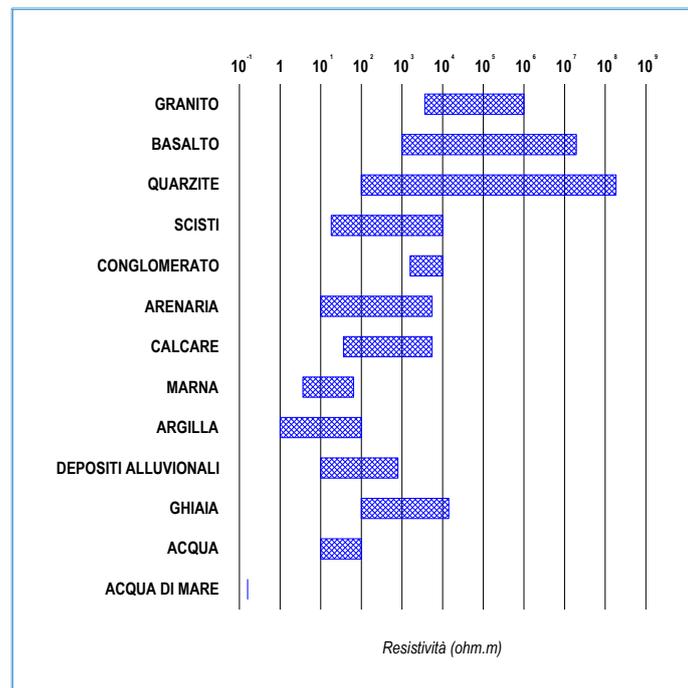
Poiché i fattori che possono influenzare la resistività sono numerosi, una stessa tipologia di materiale può essere caratterizzato da un range di resistività piuttosto ampio.

In generale è possibile affermare quanto segue:

- ✓ materiali naturali come le rocce ignee e metamorfiche sono caratterizzate da un comportamento fortemente resistivo che può raggiungere valori dell'ordine di grandezza pari a 10^7 ohm*m (in funzione della porosità e del contenuto di acqua);
- ✓ materiali naturali come le rocce sedimentarie presentano range di resistività variabili da qualche decina di ohm*m fino a 10^5 ohm*m (in funzione del grado di fratturazione);

- ✓ materiali naturali di tipo granulare (sabbie e ghiaie) sono caratterizzati da un comportamento fortemente resistivo; in funzione della granulometria dei materiali i valori di resistività variano da 100 fino a 3000-4000 ohm*m;
- ✓ materiali naturali di tipo coesivo (limi e argille) presentano valori di resistività bassi nell'ordine di qualche decina di ohm*m;
- ✓ la resistività dell'acqua nel sottosuolo presenta valori di resistività che variano da 10 a 100 ohm*m (in funzione dei sali disciolti). La presenza di acqua diminuisce i valori di resistività propri del materiale.
- ✓ la presenza di vuoti (es. scavarnamenti) produce valori di resistività molto elevati avendo il vuoto caratteristiche elettriche di resistività infinita;

Nella tabella di seguito si riportano dei range di resistività tipici di alcuni materiali:



2.5.3 TECNICHE TOMOGRAFICHE

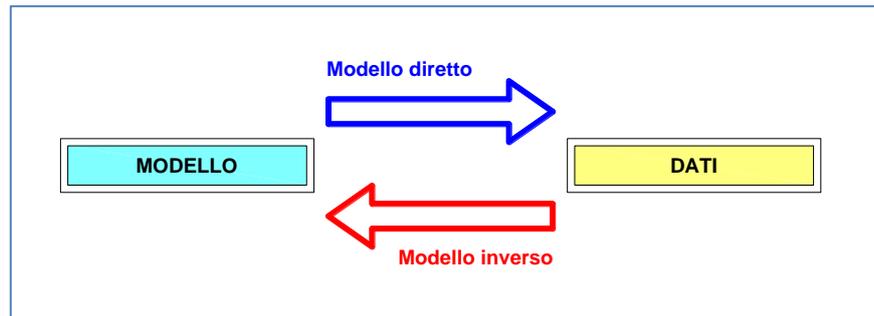
La tomografia elettrica nasce dall'unione dei tradizionali profili elettrici con i metodi di inversione tomografica. Questa metodologia permette di ricostruire attraverso immagini le variazioni di resistività elettrica del sottosuolo.

Come nei tradizionali profili elettrici la tomografia necessita di quattro elettrodi per la misura della resistività: due per l'immissione della corrente nel sottosuolo e due per la misura della differenza di potenziale.

La differenza fondamentale consiste nell'utilizzare decine di elettrodi disposti lungo un allineamento alternativamente come elettrodi di corrente e di misura. Il numero di misure che si possono ottenere è pari a $n(n-3)/2$ dove n è il numero degli elettrodi. Il maggiore vantaggio attribuibile alla tomografia elettrica rispetto alle tradizionali indagini 1D o 2D è quello di poter ricostruire non solo le variazioni verticali di resistività nello spazio, ma anche quelle orizzontali.

Obiettivo delle indagini è la ricostruzione della distribuzione nel sottosuolo della resistività. I valori di corrente, di differenza di potenziale, insieme alla disposizione degli elettrodi e al fattore geometrico

permettono di ottenere la resistività apparente del sottosuolo. Questi valori costituiscono i dati attraverso i quali è possibile ricostruire un'immagine del sottosuolo (modello 2D) mediante il processo di inversione tomografica.



La posizione degli elettrodi, la distribuzione della resistività apparente nel sottosuolo e la corrente immessa costituiscono i parametri del modello diretto attraverso i quali è possibile ricostruire un modello sintetico del potenziale elettrico.

Il modello diretto può essere ricostruito calcolando il potenziale V attraverso l'equazione:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial z} \right) = -I$$

dove:

V = potenziale elettrico (incognita)

I = corrente immessa

σ = distribuzione della conducibilità (per sezioni 2D $\sigma(x,z)$)

β = parametro che definisce le condizioni al contorno (è uguale a zero in superficie)

con le seguenti condizioni al contorno:

$$\text{in superficie } \frac{\partial V}{\partial n} = 0 \text{ e in qualunque altro punto del sottosuolo } \frac{\partial V}{\partial n} + \frac{\cos \theta}{r} V = 0$$

L'inversione ha lo scopo di definire a partire dal modello diretto ottenuto, il modello che meglio si adatta ai valori misurati, cioè minimizza le differenze tra valori calcolati e misurati. Il modello calcolato deve corrispondere ai valori misurati entro una percentuale accettabile di errore (valutato come RMS o L2 norm).

Il modello di resistività iniziale utilizzato nel processo di inversione può essere:

1. pseudosezione (rappresentazione 2D dei valori di resistività apparente misurata ottenuta mediante interpolazione geometrica dei dati)
2. valore medio della resistività apparente
3. modello a-priori definito dall'operatore

Il processo è iterativo e termina quando soddisfa i criteri stabiliti dall'operatore, che possono essere:

- il numero delle inversioni
- la percentuale di riduzione dell'errore $\left| \frac{RMS_n - RMS_{n-1}}{RMS_{n-1}} \right| * 100\%$
- il valore di RMS $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i^{calc} - d_i^{meas}}{d_i^{meas}} \right)^2}{N}} * 100\%$
- il valore di L2 normalizzata $\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i^{calc} - d_i^{meas}}{3\% * d_i^{meas}} \right)^2}{N}$

Poiché la soluzione del problema non è unica è possibile limitare il numero di soluzioni introducendo dei vincoli nel modello quali: limiti di resistività, conoscenza delle strutture geologiche presenti nell'area, dimensioni e tipologia di celle da utilizzare nella ricostruzione.

3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le prove sono state effettuate con la strumentazione di seguito riportata.

3.1 METODI SISMICI

3.1.1 SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI

I dati sono stati acquisiti con sismografi GEODE della Geometrics dotati di 24 canali. I moduli Geode sono dotati di dinamica a 24 bit, possibilità di stacking, filtri analogici e digitali.

Il dato è stato registrato a finestra aperta, vale a dire senza filtri in acquisizione che potrebbero precludere l'impiego del dato stesso su tutto lo spettro di frequenze acquisibili (ciò assicura che non venga intaccata in fase di acquisizione la completezza delle informazioni rilevabili).

Nella tabella si riportano le caratteristiche tecniche del sismografo.

<i>A/D Conversion</i>	24 bit result using Crystal Semiconductor sigma-delta converters and Geometrics proprietary oversampling
<i>Dynamic Range</i>	144 dB (system), 110 dB (instantaneous, measured) at 2ms, 24dB
<i>Sample Interval</i>	0.02, 0.3125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ms
<i>Record Length</i>	16,000 samples
<i>Maximum Input Signal</i>	2.8 VPP
<i>Distortion</i>	0.0005% @ 2 ms, 1.75 to 208 Hz
<i>Bandwidth</i>	1.75 Hz to 20 kHz
<i>Common Mode Rejection</i>	>-100 dB at <=100 Hz, 36 dB
<i>Crosstalk</i>	-125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms
<i>Noise Floor</i>	0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz
<i>Stacking Trigger Accuracy</i>	1/32 of sample interval
<i>Input Impedance</i>	20 kOhm, 0.02 uf
<i>Anti-alias Filters</i>	-3 dB at 83% of Nyquist frequency, down 90 dB
<i>Delay</i>	0 to 9999 ms in 1 ms steps
<i>Acquisition and DisplayFilters</i>	<ul style="list-style-type: none"> ⊣ LowCut: OUT, 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz, 24 or 48 dB/octave, Butterworth. ⊣ Notch: 50, 60, 150, 180 Hz and OUT, with the 50 dB rejection bandwidth 2% of center frequency. ⊣ HighCut: OUT, 250, 500 or 1000 Hz, 24 or 48 dB/octave.
<i>Triggering</i>	Positive, negative or contact closure, software adjustable threshold
<i>Power</i>	12V external battery

3.1.2 SORGENTI

Per le indagini in tomografia sismica e per le prove con energizzazione da superficie in fase d'acquisizione è stata utilizzata come sorgente di energia una massa battente da 10kg. L'istante di trigger è fornito da un geofono posizionato in prossimità del punto di battuta.

Al fine di ottimizzare il segnale sismico in ricezione per ogni posizione di energizzazione è stata utilizzata la funzione di stacking; sono state infatti eseguite diverse ripetizioni dell'energizzazione per ogni punto sorgente con successiva somma dei segnali acquisiti (stacking). Le tecniche di stack riducono gli effetti di rumore (segnale incoerente) aumentando (stack – somma) il segnale coerente, migliorando quindi la qualità

del segnale sismico di interesse nella prospezione. Per tal ragione al fine di ottenere l'ottimizzazione del rapporto S/N (signal to noise) tutte le indagini sismiche sono state effettuate con una ripetizione delle energizzazioni, e conseguente somma del segnale in ricezione mediante stacking, compresa tra le 4 e le 6 volte.

Le indagini cross-hole Vp sono state realizzate grazie all'impiego di un sistema di energizzazione elettrodinamico (sparker) della Geotomographie dotato di sonda per onde P (SB42) di cui si riportano le caratteristiche tecniche:

Unità di controllo IPG 1005	
Impulso (scarica da condensatore)	5kV
Impulso (energia)	1kJ
Frequenza	200-500 (Hz)
Intervallo di ripetizione impulso	da 4 a 7 sec
Alimentazione	230 V

3.1.3 RICEVITORI

Per le indagini di sismica da superficie sono stati utilizzati geofoni con asse verticale con frequenza pari a 14 Hz. I geofoni sono sensori di tipo elettromagnetico che generano una tensione proporzionale alla velocità della perturbazione sismica. I cavi utilizzati per l'acquisizione sono cavi con guaina in polipropilene schermati con connettori tipo militare Bendix o Cannon a 36 pin.

Per le indagini di tipo cross-hole sono stati utilizzati ricevitori costituiti da catene idrofoniche con interdistanza dei 24 sensori pari a 1 m e frequenza di 10 Hz.

Gli idrofoni sono trasduttori piezoelettrici che generano una tensione proporzionale alla variazione istantanea della pressione dell'acqua in funzione del segnale sismico.

L'accoppiamento del sensore al mezzo circostante è dato dall'acqua con la quale viene riempito il foro di sondaggio che pertanto deve essere realizzato a tenuta, opportunamente cementato e dotato di tappo di fondo.

3.2 METODO GEOELETRICO

Per il rilievo in esame è stato utilizzato il sistema multielettrodico ABEM Terrameter LS con elettrodi passivi. Ogni elettrodo è collegato all'unità centrale e contiene l'elettronica di comando per la gestione dell'operazione di switching.

L'unità centrale esegue in batch la sequenza di misure secondo la tecnica walk-away: definite le combinazioni di elettrodi di misura e corrente si rilevano profili di resistività con diverse spaziature elettrode in corrispondenza di diverse posizioni fino a coprire l'intero stendimento.

L'automazione del processo di acquisizione mediante centralina di switch intelligente velocizza le operazioni di acquisizione dati.

Nella tabella di seguito si riporta le caratteristiche tecniche del sistema impiegato:

Receiver	
No. Of Channels	4,8 or 12 input (+2 for Tx monitoring)
Isolation	All channels are galvanically separated
Input voltage Range	+/- 600 V
Input Impedance	200 MOhm
Precision	0,1 %

Accuracy	0,2 %
Resolution	Theoretical 3 nV at 1 sec integration
Linearity	0.005%
Range	+/- 2.5 V, 200 MOhm +/- 15 V, 30 MOhm +/- 600 V, 20 MOhm
Flat Frequency Response	Better than 1% up to 300 Hz
Measuring	
Resistivity	YES
SP	YES
IP	YES
Full wave form	Sample and average to requested data. Possible to activate recording to file for post analysis
Dynamic veraging	24 bit A/D conversion
Data Sampling Rate	30 kHz
Cycle time	From 0.4 sec to 28,7 sec User selectable, resistivity
Pulse time	From 0.1 sec to 8,2 sec. User selectable
IP Windows	Arbitrary windows flexibility configured to powerline frequencies
Transmitter	
Output power	250 W
Current transmission	True Current Transmitter
Output Current Accuracy	Better than 0.4 %
Maximum Output Current	2500 mA
Maximum Output Voltage	+/- 600 V 1200 V peak to peak
Instant Polarity Changer	YES
Accuracy	0.4 %
Precision	0.1 %
Self Diagnostics	Temperature, Power dissipation, Monitoring
Safety	Emergency Interrupter easily accessible
Tx Monito	
Voltage	+/- 600 V
Current	+/- 2500 mA Full waveform monitored
Current Accuracy	0.2 %
Current Precision	0,1 %

3.3 MISURE DI VERTICALITÀ

Al fine di correggere le eventuali distorsioni indotte sui risultati del rilievo geofisico, vengono misurate le deviazioni dalla verticale dei fori di sondaggio.

Le misure di verticalità sono state eseguite con sonda inclinometrica biassiale che viene inserita nel foro per mezzo di un sistema di aste quadre da 1m ciascuna. Le aste garantiscono la posizione nel foro della sonda inclinometrica. Alla testa del tubo viene poi installata una guida a croce per il mantenimento della direzionalità delle aste. La sonda è attrezzata con sistema in teflon per il mantenimento del contatto con le pareti del foro.

Si riportano di seguito le caratteristiche del sistema impiegato:

- Sonda inclinometrica OG310S
 - Servoinclinometro inerziale biassiale
 - Sensibilità 20000 sin.alpha
 - campo di misura $\pm 30^\circ$
- Datalogger OG387 con possibilità di memorizzare i dati
- Sonda testimone in ottone
- Cavo da 100m
- Sistema di aste quadre per la misura in tubi lisci

3.4 RILIEVO TOPOGRAFICO

Lungo tutte le sezioni è stato eseguito il rilievo dei punti di stazione elettrodica e sismica mediante sistema GPS previo inquadramento topografico.

È stato utilizzato il sistema GPS Stonex S8N Plus avente le seguenti caratteristiche:

➤ **Receiver**

- Channels: 120
- Satellite tracked: GPS - Simultaneous L1, L2, L2C, L5. GLONASS - Simultaneous L1, L2; GALILEO - E5a, E5b, Alt-BOC; BeiDou - B1, B2; SBAS - Simultaneous L1 C/A, L5; QZSS (Quasi - Zenith Satellite System); L-Band
- Position Rate: Up to 5Hz
- Signal Reacquisition: <1s
- RTK Signal Initialization <10s
- Hot start: <35s
- Initialization reliability >99.9%
- Internal memory: 256MB
- Micro SD Card: 4 GB Internal Memory (Over 60 days of raw static data storage with recording sample every 1s)

➤ **Positioning**

- Static
 - Horizontal: 5mm +0.5ppm RMS
 - Vertical: 10mm +0.5ppm RMS
- Static (Long time observations)
 - Horizontal: 3mm +0.1ppm RMS
 - Vertical: 3.5mm +0.4ppm RMS
- Code differential positioning
 - 3D: 0.25m RMS
 - SBAS Positioning: 0.6m 3D RMS²

➤ **Communication**

- Connectors I/O 7pins Lemo and 5-pins Lemo interfaces. Multicable with USB interface for connecting with PC
- Bluetooth Device: 2.4GHz class II - maximum range 50m
- Reference Outputs: CMR, CMR+, RTCM 2.1, 2.3, 3.0, 3.1
- Navigation Outputs Navigation output support for NMEA-0183 and detailed NovAtel ASCII and binary logs.

➤ **Integrated GNSS antenna**

- High accuracy four constellation microstrip antenna, zero-phase center, with internal multipath suppressive board

➤ **Internal radio**

- Frequency range: 403-473MHz
- Channel Spacing: 12.5KHz / 25KHz
- Emitting Power: 0.5/1/2W
- Maximum Range: 3-4 Km (urban environment), 5-6 Km with optimal conditions
- Radio Protocol: Transparent EOT/EOC/FST, SATEL, South, Stonex Type 1, TRIMTALK II/III, trimmark 3, TRIMTALK 450S.

4 DESCRIZIONE DEL RILIEVO

La presente fase di indagine, finalizzata alla fase di progettazione dello scavo della galleria, è stata eseguita con le seguenti tipologie d'indagine:

- Indagini da superficie
 - Indagini in sismica a rifrazione (onde di compressione - P)
 - Indagini in sismica a riflessione
 - tomografia elettrica
- Indagini in foro
 - Misure di verticalità in fori di sondaggio
 - Tomografia Cross-Hole (onde di compressione - P) e integrazione del dato foro-foro con energizzazioni da superficie e ricezione in foro (onde di compressione – P)

Di seguito si riporta la descrizione delle quantità di rilievo per ogni tipologia di indagine.

4.1 INDAGINI SISMICHE DA SUPERFICIE

L'indagine sismica ha previsto l'esecuzione di n. 5 profili di rilievo realizzati con tecnica sismica a rifrazione in modalità tomografica (basata sulla velocità di propagazione delle onde di compressione) e sismica a riflessione.

Nella tabella seguente si riportano codifiche linea e lunghezza delle sezioni di rilievo.

ID	PUNTI DI RICEZIONE	INTERDISTANZA	SISMICA A RIFRAZIONE (Onde P)	SISMICA A RIFLESSIONE
1	144	5.0	715.0	715.0
2	105	5.0	520.0	520.0
3	81	5.0	400.0	400.0
4	120	5.0	595.0	595.0
5	81	5.0	400.0	400.0
TOTALE			2630.0	2630.0

Ogni tiro è stato ripetuto almeno una volta per migliorare mediante operazione di stacking (somma di più impulsi sismici generati nella medesima posizione) la qualità del segnale acquisito (aumento del rapporto segnale/disturbo).

La planimetria con la posizione delle linee di rilievo ed i risultati ottenuti sono riportati in allegato **(Tav.01 e Tav.02)**.

4.2 TOMOGRAFIA ELETTRICA DA SUPERFICIE

L'indagine ha previsto l'esecuzione di n. 5 profili di rilievi eseguiti con metodologia elettrica.

Nella tabella si riporta codifica linea, il numero dei punti di ricezione, l'interdistanza elettrodica e la lunghezza dello stendimento:

ID	PUNTI DI RICEZIONE	INTERDISTANZA	TOMOGRAFIA ELETTRICA
1	71	10.0	710.0
2	52	10.0	520.0
3	40	10.0	400.0

ID	PUNTI DI RICEZIONE	INTERDISTANZA	TOMOGRAFIA ELETTRICA
4	60	10.0	600.0
5	40	10.0	400.0
		TOTALE	2630.0

Le posizioni delle linee di rilievo ed i risultati ottenuti sono riportati in allegato (**Tav.01 e Tav.02**).

4.3 TOMOGRAFIA CROSS-HOLE VP

L'indagine ha previsto l'esecuzione di n.7 sezioni con lo scopo di ottenere il profilo del parametro velocità P.

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva con le quantità di rilievo:

SEZIONE	PROFONDITA' ACQUISITA (m)
CH2-CH1	40.0
CH2-CH3	40.0
CH4-CH3	40.0
CH4-CH5	40.0
CH6-CH5	40.0
CH6-CH7	40.0
CH8-CH7	40.0
TOTALE	280.0

L'indagine ha previsto uno schema di energizzazione e ricezione con interdistanza pari a 1.0 m.

Ogni tiro è stato ripetuto almeno una volta per migliorare mediante operazione di stacking (somma di più impulsi sismici generati nella medesima posizione) la qualità del segnale acquisito (aumento del rapporto segnale/disturbo).

Le singole sezioni sono state assemblate per la costruzione di un'unica matrice di elaborazione 3D comprensiva di tutti gli 8 fori di sondaggio, unitamente alle energizzazioni da superficie.

In allegato si riportano i risultati relativi alle indagini effettuate (**Tav.01**).

4.3.1 ENERGIZZAZIONE DA SUPERFICIE

L'indagine ha previsto l'esecuzione di energizzazioni da superficie e ricezione negli 8 fori di sondaggio, al fine di ottimizzare la geometria di investigazione della porzione di sottosuolo investigato con metodo cross-hole (porzione definita da posizione e profondità dei fori di sondaggio).

Nella seguente tabella si riportano il numero di punti di ricezione in foro, di energizzazione da superficie e la profondità raggiunta:

FORO DI RICEZIONE	PUNTI DI RICEZIONE DA FORO	PUNTI DI SPARO DA SUPERFICIE	PROFONDITA' RAGGIUNTA (m)
CH1	21	7	40.0
CH2	21	14	40.0
CH3	21	14	40.0
CH4	21	14	40.0
CH5	21	14	40.0
CH6	21	14	40.0
CH7	21	12	40.0
CH8	21	5	40.0
TOTALE		94	320.0

Ogni tiro è stato ripetuto almeno una volta per migliorare mediante operazione di stacking (somma di più impulsi sismici generati nella medesima posizione) la qualità del segnale acquisito (aumento del rapporto segnale/disturbo).

In allegato si riportano i risultati relativi alle indagini effettuate (**Tav.01**).

4.3.2 MISURE DI VERTICALITA'

Al fine di ottenere la corretta geometria delle posizioni di energizzazione e ricezione nei fori di sondaggio sono state eseguite misure inclinometriche all'interno degli 8 fori dell'allineamento utilizzato per la tomografia cross-hole.

Nella seguente tabella sono riportate le lunghezze dei singoli fori sui quali è stata eseguita misura inclinometrica:

FORO DI SONDAGGIO	PROFONDITA' ACQUISITA (m)
CH1	40.0
CH2	40.0
CH3	40.0
CH4	40.0
CH5	40.0
CH6	40.0
CH7	40.0
CH8	40.0
TOTALE	320.0

In allegato (**All.01**) si riportano i risultati delle indagini effettuate.

5 ELABORAZIONE DATI

Si descrivono nei capitoli seguenti le modalità di elaborazione dei dati acquisiti, per ogni tipologia di indagine.

5.1 TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE

Le sezioni sismiche sono state acquisite ed elaborate con tecnica tomografica. La fase di processing ha previsto i seguenti step:

Definizione dei tempi di arrivo

I dati acquisiti sono stati convertiti da formato SEG 2 a SU (Seismic Unix) con il software SeisOpt Picker. Utilizzando lo stesso software, sono stati analizzati i film sismici acquisiti e successivamente determinati per ogni traccia i tempi di primo arrivo delle onde di compressione (P).

Elaborazione tomografica

L'elaborazione tomografica è stata effettuata con il software Rayfract che utilizza il metodo di inversione WET (Wavepath Eikonal Traveltime).

L'algoritmo di inversione utilizza l'approccio basato sulle zone di Fresnel che costituisce un'alternativa ai metodi di inversione basati sul ray tracing.

Gli assunti di base di tale modellizzazione sono:

- i raggi sismici sono considerati come fronti d'onda sferici;
- il range di frequenza dell'impulso sismico è considerato finito (condizione rappresentativa della realtà);
- la perturbazione sismica indotta si propaga in uno spazio finito 3D (zona di Fresnel) attorno al raggio sismico.

L'analisi dei tempi di arrivo permette di definire il modello iniziale di velocità (gradiente), attraverso il quale calcolare i tempi di arrivo teorici delle onde sismiche. Calcolando i tempi residui (T_r), ossia la differenza tra tempo osservato e tempo calcolato, viene definita l'approssimazione del modello teorico al modello sperimentale.

Lo step successivo è dato dalla costruzione di un sistema di equazioni lineari che stabilisce la relazione tra i residui (T_r) e la variazione che deve essere apportata al modello iniziale di velocità per ottenere un modello quanto più possibile attendibile. L'iterazione del calcolo prosegue fino a quando la differenza tra tempi calcolati e tempi osservati risulta accettabile.

I risultati dell'inversione tomografica sono:

- matrici V_p ;
- dromocrone calcolate;
- valori di RMS dei tempi residui;
- matrice di copertura (coverage): copertura dei raggi sismici nello spazio indagato;
- matrice di risoluzione: scostamento del modello finale dal modello iniziale (variazione apportata dal processo tomografico al modello iniziale);
- matrice di inversione tomografica dei valori V_p per singola cella del modello

Restituzione e interpretazione e delle sezioni sismiche

I dati delle matrici V_p sono rappresentati in contouring 2D (con opportuna scala colore) mediante il software Surfer 13. L'algoritmo utilizzato per tale rappresentazione è il kriging con un valore di smoothing (filtro spaziale) basso. Questa funzione di interpolazione spaziale si basa sull'autocorrelazione della grandezza (in questo caso la velocità V_p), cioè l'assunto che la grandezza in oggetto vari nello spazio con continuità. La sezione ottenuta è stata riportata su tavola costruita con il software AutoCAD 2017 (Autodesk).

5.2 SISMICA A RIFLESSIONE

Per l'analisi dei dati è stato utilizzato il software Visual SUNT Pro.

La sequenza di processing per dati sismici a riflessione si compone di una successione di operazioni applicate in cascata e organizzate in azioni pre-stack e post-stack.

Operazioni pre-stack

- Formattazione dei dati:

I dati ottenuti nel corso dell'indagine sono registrati in formato SEG-2; poiché la dimensione utilizzata nel processing sismico è la SEG-Y, la prima operazione da compiere è adeguare il formato SEG-2 a quello richiesto dal programma di elaborazione.

➤ Geometria:

Le coordinate geografiche e le quote di ogni stazione vengono trasferite nell'header dei record di campagna in modo da assegnare correttamente la collocazione spaziale dei punti di scoppio e delle tracce sismiche.

➤ Editing-Controllo della qualità:

La procedura di "trace editing" rappresenta la fase in cui si esegue l'eliminazione delle tracce mal funzionanti, morte o comunque particolarmente rumorose.

➤ Recupero delle ampiezze:

A causa della sua propagazione nel sottosuolo l'onda sismica subisce una progressiva perdita di energia legata alla divergenza sferica (spreading geometrico), all'attenuazione anelastica ed alla ripartizione dell'energia alle interfacce; in termini di traccia sismica ciò si traduce in una diminuzione delle ampiezze con il crescere del tempo di propagazione in profondità e distanza. Per recupero delle ampiezze si intende, quindi, la compensazione del decadimento delle ampiezze che si rende necessaria nelle operazioni di processing per avere un'ottimizzazione dell'immagine.

➤ Filtraggio:

Nel processing sismico il filtraggio rappresenta un'operazione molto importante in quanto permette di ottenere un'attenuazione del rumore coerente ed incoerente e, di conseguenza, l'esaltazione del segnale di interesse.

Le modalità di filtraggio sono tre e la scelta della metodologia da adottare dipende dalle caratteristiche del segnale e del rumore:

- Nel dominio del tempo e delle distanze; si tratta dell'annullamento o del taglio delle ampiezze di porzioni di sezioni nel dominio tempo-spazio (t-x) che presentano del rumore. La tecnica più utilizzata in questo caso è il muting che manualmente o automaticamente permette di eliminare ad esempio il ground roll, l'onda d'aria o il rumore incoerente pre-primi arrivi.
- Nel dominio F-K; impiegato per l'eliminazione del rumore coerente contraddistinto da velocità caratteristiche quali il ground roll (250-330 m/s) o l'onda d'aria (340 m/s).
- Nel dominio delle frequenze; esso è effettuato sulla singola traccia tramite un'analisi di Fourier che permette di identificare le frequenze contenute nel segnale e quindi di applicare un filtro passa alto, passa basso o passa banda che consenta di esaltare le frequenze di interesse.

➤ Sort:

Prima di procedere con l'analisi di velocità e con le operazioni di stack i dati vengono riorganizzati dal dominio shot gather al dominio CDP-gather; per ciascun Common Depth Point-gather le tracce in esso contenute sono associate al medesimo punto medio superficiale.

➤ Analisi di velocità:

L'analisi di velocità mira alla determinazione delle funzioni di velocità che allineano i segnali riflessi nel dominio CDP-gather. Essa rappresenta il passaggio fondamentale che permette la conversione dal dominio del tempo (il sismogramma) al dominio della profondità (la sezione geologica finale).

L'analisi di velocità è essenzialmente una procedura di modellazione inversa in cui la ricerca dei valori di velocità di stack (Vstack) in funzione della profondità si ottiene per tentativi. Tra le metodologie che si possono adoperare in tale fase del processing ci sono:

- Constant Velocity Stack (CVS)
- Analisi degli spettri di velocità
- Pannelli di velocità costante (CVP)

➤ Stack delle tracce:

Una volta corrette per la velocità di NMO, sulle tracce appartenenti a ciascun CDP si esegue una somma in fase. In questo modo le riflessioni verranno rinforzate e contemporaneamente si avrà un'attenuazione del rumore grazie all'eliminazione statistica degli eventi non allineati. Tale fase del processing produrrà la cosiddetta sezione stack.

Operazioni post-stack:

➤ Migrazione:

La prima operazione post-stack da compiere nel processing sismico è la migrazione; essa mira al completo recupero della corretta ubicazione spaziale degli eventi contenuti nella sezione stack, ed opera riportando gli orizzonti nella loro posizione reale.

Il processo di migrazione ha lo scopo di far collassare le iperboli di diffrazione che si generano in corrispondenza delle discontinuità degli orizzonti e di riposizionare le superfici pendenti, ripristinando in questo modo le reali geometrie dei riflettori nella sezione tempo.

➤ Correzioni statiche:

Nella sismica a riflessione le tracce sono caratterizzate da una serie di sfasamenti temporali causati dalle variazioni topografiche e dalle variazioni di velocità e spessore dello strato più superficiale del terreno (è lo strato areato o weathered zone). Nel corso del processing sismico i ritardi e gli anticipi nei tempi di primo arrivo legati a tali fattori devono essere collocati in modo tale da poter applicare la giusta correzione a ciascuna traccia sismica; ciò fa sì che i dati vengano ridotti ad un piano di riferimento comune chiamato datum.

➤ Conversione in profondità:

La sezione stack restituisce un'immagine del sottosuolo con scale verticale espressa in tempi doppi (TWTT); essa rappresenta, infatti, il tempo totale impiegato dall'onda sismica per raggiungere una generica superficie di discontinuità posta in profondità e riemergere in superficie dopo la riflessione. La conversione della sezione-tempi in una sezione-profondità avviene attraverso l'applicazione delle velocità medie ottenute dalla precedente analisi di velocità.

5.3 INDAGINI GEOELETTRICHE

L'elaborazione è stata effettuata con il software Earth Imager (AGI) ed ha previsto i seguenti step:

1. **Pseudosezione misurata:** rappresentazione 2D dei valori di resistività apparente misurata ottenuta mediante interpolazione geometrica dei dati con contouring.
2. **Filtraggio dati:** la rappresentazione grafica dei dati misurati come sezione 2D attraverso la pseudosezione permette di eliminare eventuali dati anomali. Singoli valori di resistività, corrispondenti dunque ad un unico punto di misura, decisamente superiori o inferiori rispetto ai materiali circostanti sono infatti certamente legati ad un disturbo di sistema e non ad una reale anomalia con corrispondenza nel sottosuolo. Affinché un'anomalia abbia una corrispondenza concreta deve infatti presentare una densità di punti di misura significativa in relazione alla densità della matrice dei dati acquisita, per tale ragione i singoli punti anomali vengono eliminati tramite l'operazione di filtraggio.

3. **Modello diretto:** il modello è stato costituito con un massimo valore di errore pari al 5%. È stato scelto come metodo di elaborazione il metodo agli elementi finiti con equazione di risoluzione Cholewsky.
4. **Modello inverso:** il metodo di inversione scelto è quello dei minimi quadrati smorzati con massimo numero di iterazioni pari a 8. Come modello iniziale dell'inversione è stata scelta la pseudosezione.

5.4 MISURE DI VERTICALITÀ

Le misure di verticalità sono state effettuate con passo di misura pari a 1.0m ed hanno permesso il calcolo delle coordinate spaziali successivamente utilizzate nei modelli tomografici per le indagini cross-hole.

I grafici rappresentanti le deviazioni delle componenti nord ed est rispetto la verticale per ogni foro di sondaggio sono riportati in allegato (**rif.01**).

5.5 TOMOGRAFIA SISMICA CROSS HOLE VP ED ENERGIZZAZIONI DA SUPERFICIE

L'elaborazione dati è stata condotta per mezzo dei seguenti software:

- SeisOpt Picker: *analisi dei tempi di primo arrivo*
- GeoTom: *inversione tomografica*

Il processing dei dati sismici è stato effettuato secondo i seguenti step:

Definizione dei tempi di arrivo

I dati acquisiti sono stati convertiti da formato SEG 2 a SU (Seismic Unix) con il software SeisOpt Picker. Utilizzando lo stesso software, sono stati analizzati i film sismici acquisiti e successivamente determinati per ogni traccia i tempi di primo arrivo delle onde compressionali P (FBP - First Break Peak).

Costruzione delle matrici per l'inversione tomografica

La costruzione delle matrici di elaborazione è stata effettuata con i software Textpad e Excel.

Per ogni sezione è stata costruita una matrice così strutturata:

Sezione	ID	Xs (m)	Ys (m)	Zs (m)	H	Xh (m)	Yh (m)	Zh (m)	T (sec)
---------	----	--------	--------	--------	---	--------	--------	--------	---------

Sezione = coppia di fori utilizzati
 ID= numero progressivo delle tracce sismiche
 Xs = x del punto di scoppio
 Ys = y del punto di scoppio
 Zs = quota del punto di energizzazione
 H = identificativo dei punti di ricezione
 Xh = x del punto di ricezione
 Yh = y del punto di ricezione
 Zh = quota s.l.m. del punto di ricezione
 T = tempo di arrivo

Le singole matrici sono state successivamente assemblate per la costruzione di un'unica matrice di elaborazione 3D comprensiva di tutti gli 8 fori di sondaggio e di tutte le posizioni di energizzazione da superficie.

Elaborazione tomografica

L'elaborazione è stata eseguita con il software GeoTom che utilizza l'algoritmo di ricostruzione tomografica SIRT (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) con R.T.C. (Ray Tracing Curvilineo).

Il "ray-tracing" che utilizza raggi curvilinei si basa sulla suddivisione di un raggio iniziale rettilineo in un numero crescente di segmenti rettilinei.

Il primo step di questa suddivisione in segmenti consiste nel costruire un raggio rettilineo che collega la sorgente al ricevitore; individuato il punto centrale del raggio, quest'ultimo viene suddiviso in due segmenti. Il gradiente di velocità viene calcolato in corrispondenza del punto centrale del raggio sorgente-ricevitore. L'operazione di calcolo del gradiente e di posizionamento del punto centrale viene ripetuta iterativamente prima di procedere ad una nuova suddivisione dei raggi.

Il secondo step consiste nell'applicare lo stesso procedimento descritto in precedenza ad ogni singolo segmento. In questo modo ad ogni step si raddoppia il numero di segmenti in cui è suddiviso il raggio iniziale generando un raggio curvilineo sempre più definito.

Ad ogni step viene calcolato il tempo di transito lungo ogni raggio fino a quando non viene individuato il tempo di arrivo minimo.

L'algoritmo di inversione si basa sulla creazione di un modello iniziale a velocità uniforme (valore medio delle velocità calcolate utilizzando raggi sismici rettilinei), attraverso il quale calcolare i tempi di arrivo teorici delle onde sismiche. Calcolando i tempi residui, ossia la differenza tra tempo osservato e tempo calcolato, viene definita l'approssimazione del modello teorico al modello sperimentale.

Lo step successivo è dato dalla costruzione di un sistema di equazioni lineari che stabilisce la relazione tra i residui e la variazione che deve essere apportata al modello iniziale di velocità per ottenere un modello quanto più possibile attendibile. L'iterazione del calcolo prosegue fino a quando la differenza tra tempi calcolati e tempi osservati risulta accettabile.

I risultati dell'inversione tomografica sono:

- matrice 3D della velocità P (cross-hole e tiri da superficie);
- valori di RMS dei tempi residui.

Restituzione delle sezioni sismiche

Le sezioni sismiche 2D sono state ricavate dal modello 3D attraverso il software GeoTom in formato ASCII.

L'interpolazione dati per la rappresentazione in contouring 2D (riportata nelle tavole allegate) è stata effettuata mediante il software Surfer 13 utilizzando celle di dimensione pari a quelle del modello.

L'algoritmo utilizzato per tale rappresentazione è il kriging con un valore di smoothing (filtro spaziale) basso. Questa funzione di interpolazione spaziale si basa sull'autocorrelazione della grandezza (in questo caso la velocità V_p), cioè l'assunto che la grandezza in oggetto vari nello spazio con continuità.

La sezione ottenuta è riportata su tavola costruita con il software AutoCAD 2016 (Autodesk), unitamente alla sezione interpretativa.

6 RISULTATI DEL RILIEVO

Nell'ambito del progetto di raddoppio tratta Apice-Orsara, I Lotto funzionale Apice Hirpinia a Grottaminarda (AV) è stata realizzata una campagna di indagini geofisiche con lo scopo di effettuare una modellizzazione 2D del sottosuolo caratterizzato da fenomeno di frana. La presente fase di indagine, finalizzata alla fase di progettazione dello scavo della galleria, è stata eseguita secondo le specifiche fornite dal Committente con le seguenti tipologie d'indagine:

- Indagini da superficie
 - Indagini in sismica a rifrazione (onde di compressione - P)
 - Indagini in sismica a riflessione
 - tomografia elettrica
- Indagini in foro
 - Misure di verticalità in fori di sondaggio
 - Tomografia Cross-Hole (onde di compressione - P) e integrazione del dato foro-foro con energizzazioni da superficie e ricezione in foro (onde di compressione - P)

Come da piano di indagine le sezioni in tomografia elettrica da superficie e le indagini in tomografia cross-hole verranno ripetute nelle fasi ante-durante e post realizzazione della galleria.

Per la descrizione completa delle quantità eseguite si rimanda al capitolo 4 (descrizione del rilievo).

Le planimetrie delle indagini e i risultati delle elaborazioni sono riportati negli allegati di seguito illustrati:

- **All.01:** report misure di verticalità;
- **Tav.01:** Risultati di indagini geofisiche Linee 1, 2 e tomografia cross-hole;
- **Tav.02:** Risultati di indagini geofisiche Linee 3, 4, 5.

Nelle tavole sono riportate:

- ubicazione planimetrica delle linee di indagine (da rilievo GPS)
- sezioni geofisiche secondo metodo
 - sismica a riflessione
 - tomografia sismica a rifrazione
 - tomografia elettrica
 - tomografia cross-hole
- sezione interpretativa derivante dall'analisi delle singole metodologie e dai dati stratigrafici forniti dal Committente

Di seguito si analizzeranno i risultati delle diverse metodologie di indagine eseguite.

Si ricorda che la velocità sismica è un parametro strettamente dipendente dalle caratteristiche meccaniche del materiale; ai fini dell'interpretazione del rilievo geofisico è opportuno rammentare alcune delle osservazioni riguardanti le proprietà dei materiali:

- considerando la stessa litologia, materiali sciolti presentano valori di velocità inferiori rispetto a materiali lapidei;
- le velocità di propagazione delle onde sismiche sono proporzionali in modo diretto allo stato di addensamento/fratturazione dei materiali.

Per quanto riguarda le indagini elettriche in generale è opportuno ricordare quanto segue:

- materiali naturali di tipo granulare (sabbie e ghiaie) sono caratterizzati da un comportamento fortemente resistivo; in funzione della granulometria dei materiali i valori di resistività variano da 100 fino a 3000-4000 ohm.m;
- materiali naturali di tipo coesivo (limi e argille) presentano valori di resistività bassi nell'ordine di qualche decina di ohm.m.
- la presenza di acqua (in caso di materiale con pori comunicanti o fratturazione/permeabilità secondaria) diminuisce il valore di resistività

Di seguito si riporta una breve descrizione delle unità stratigrafiche definite in fase di analisi dal punto di vista delle informazioni geofisiche rilevate:

Unità	Vp (m/s)	Rho (ohm*m)	descrizione
 1	< 1700		materiali detritici dalle scarse caratteristiche geomeccaniche
 2A	1700 - 2500	< 4	materiali coesivi (limi e argille)
 2B		4 - 50	come unità 2A ma con maggior componente carbonatica
 3	> 2500		materiale a forte grado di compattazione o litoide
			Tomografia cross-hole: zone caratterizzate da decremento laterale nelle velocità P

() I valori limite delle velocità di propagazione delle onde di compressione sono da intendersi come un range complessivo che nasce dall'unione dei limiti di riferimento di ciascuna delle sezioni sismiche acquisite.*

L'indagine geofisica eseguita con metodologia sismica a rifrazione ha permesso di identificare i range di velocità di propagazione delle onde di compressione che identificano le diverse unità sismostratigrafiche presenti nell'area di interesse. Tali valori di velocità risultano essere compresi tra 400 – 3500 m/sec.

Nello specifico velocità di propagazione delle onde di compressione inferiori a 1.700m/sec sono riconducibili alla presenza di materiali detritici dalle scarse caratteristiche geomeccaniche. Nelle sezioni interpretative tali materiali vengono definiti come **unità 1**.

Valori di velocità sismica delle onde P compresi tra i 1.700 ed i 2.500 m/sec sono ascrivibili alla presenza di materiali coesivi a maggior grado di compattazione (limi ed argille); nelle sezioni interpretative tali materiali vengono definiti come **unità 2**. Tale unità è stata a sua volta suddivisa in due sotto-unità, in funzione dei valori di resistività misurati mediante indagine geoelettrica:

- ✓ **sottounità 2A:** presenta valori di resistività inferiori a 4 Ohm*m ed è ricondotta alla presenza di materiali coesivi (argille);
- ✓ **sottounità 2B:** valori di resistività compresi tra 4 e 50 Ohm*m, è ricondotta alla presenza di materiali coesivi con una maggior componente carbonatica.

Velocità di propagazione delle onde di compressione superiori a 2.500 m/sec sono associate alla presenza di materiale fortemente addensato/compattato o litoide (**unità 3**).

Il limite tra unità 2 e unità 3 è dato sia dal dato sismico a rifrazione ma soprattutto dal dato sismico a riflessione dove viene verificata la presenza di un riflettore continuo (pur con ondulazioni) che può essere determinato unicamente da un contrasto di impedenza tra due sismostrati.

L'elaborazione dei dati derivanti dalla tomografia cross-hole Vp e dalle energizzazioni da superficie evidenzia la presenza di materiali contraddistinti da velocità di propagazione delle onde di compressione mediamente comprese tra 400 – 2.700 m/sec, confermando quanto riscontrato dall'indagine sismica a rifrazione nei primi 40 m di sottosuolo.

In dettaglio valori di velocità delle onde P < 1.700 m/sec (unità 1) sono state identificate nei primi 10/15 m di sottosuolo; inferiormente a tale strato sono presenti valori di velocità superiori a 1.700 m/sec riconducibili alla presenza dell'unità 2.

L'indagine in tomografia cross-hole ha evidenziato la presenza di zone caratterizzate da variazioni (decrementi) laterali nelle velocità delle onde sismiche nell'unità 2 per uno spessore variabile di 10-15 m.

Tali zone, localizzate in alcune porzioni della tomografia, sono state indicate nella sezione tomografica e nella relativa sezione interpretativa mediante retino tratteggiato di colore azzurro; indicherebbero una diminuzione delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali presenti.

Si ricorda che per caratteristiche di metodo la tomografia a rifrazione tende a sovrastimare gli incrementi di velocità con la profondità soprattutto nelle porzioni più profonde del modello risultante; il metodo sismico a rifrazione utilizza infatti le onde sismiche che vengono rifratte dalle discontinuità o da zone di gradiente (variazione graduale della pendenza delle dromocrone) presenti nel sottosuolo (ad esempio l'interfaccia tra due mezzi a differente velocità).

L'indagine in tomografia cross-hole permette di superare le limitazioni poste dalle indagini da superficie relativamente alle zone di inversione di velocità e alla scarsa densità della matrice di dato acquisito a profondità maggiori.

Per un maggior dettaglio circa i risultati delle indagini geofisiche eseguite si rimanda agli elaborati grafici annessi alla presente relazione (Tav.01 e Tav.02).

7 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Misure inclinometriche



Strumentazione sismica da superficie



Energizzazione sismica superficie



Rilievo GPS



Strumentazione tomografia elettrica



Acquisizione sezione elettrica

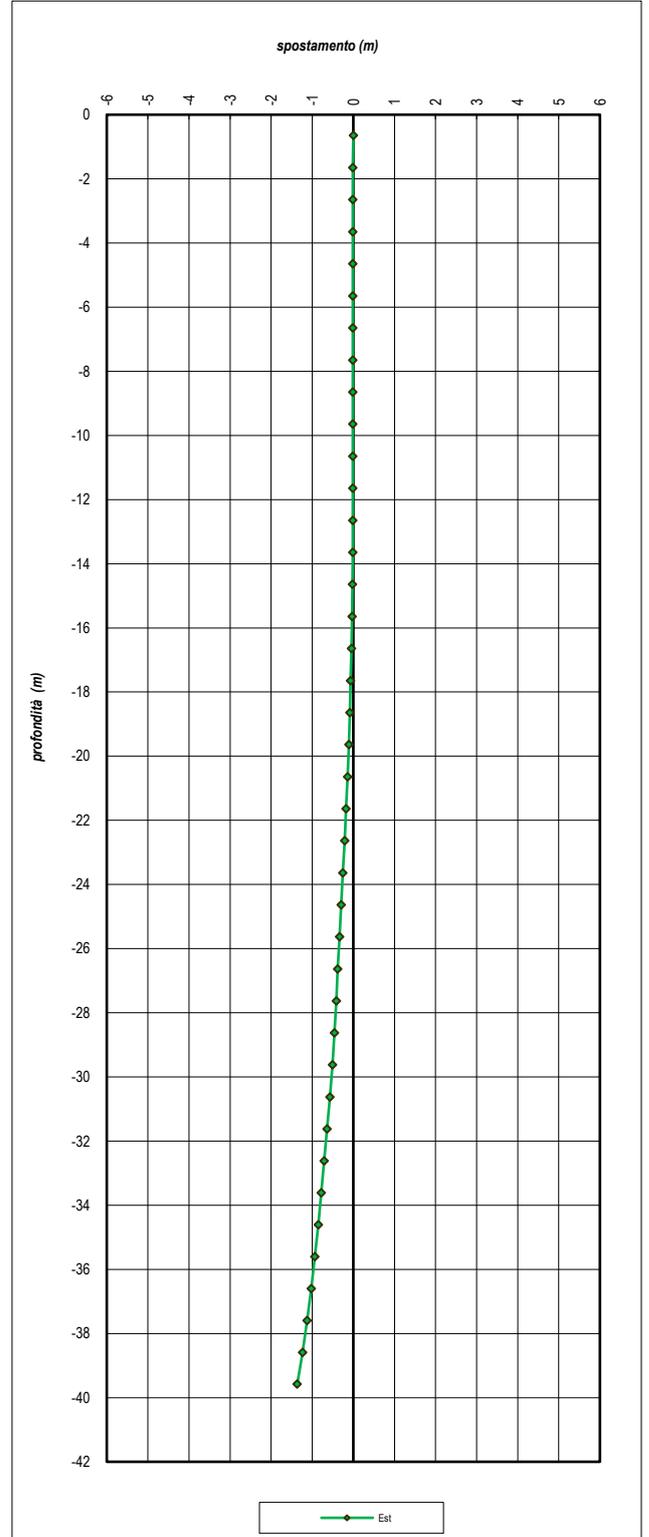
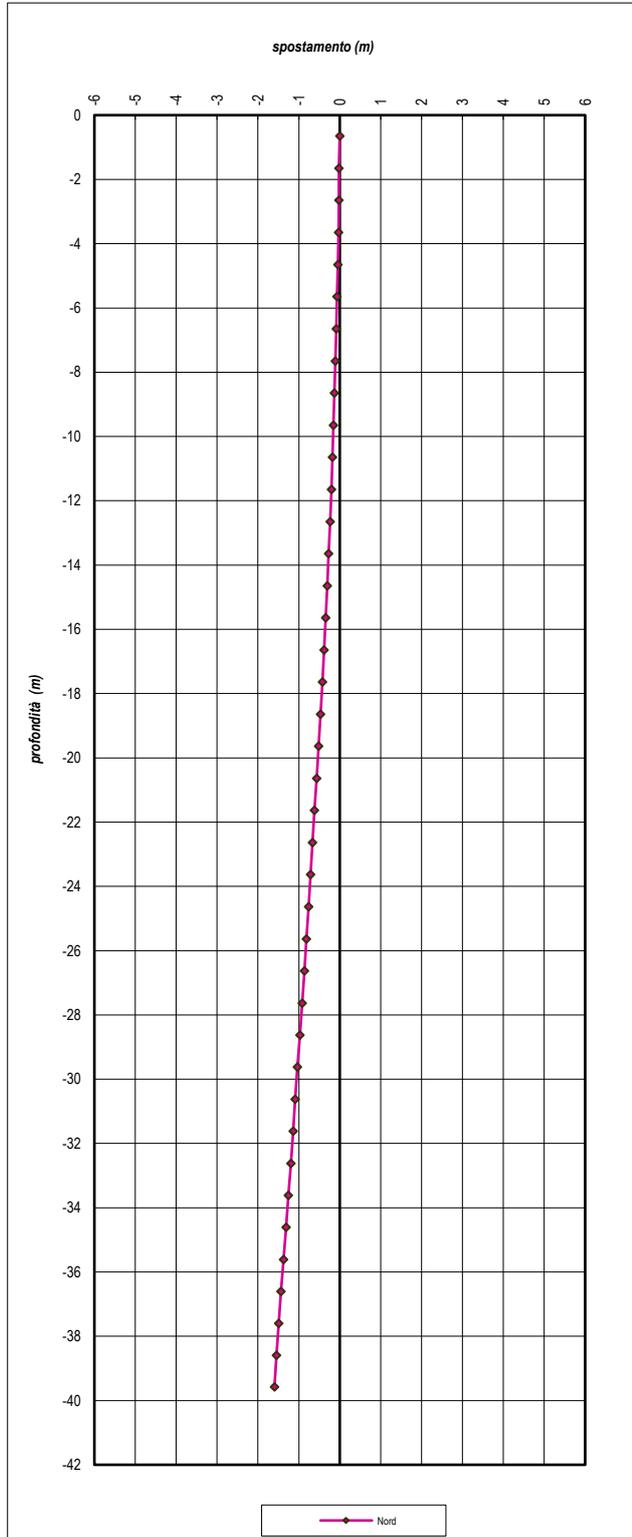
ALLEGATO 01

Report misure di verticalità

COMMESSA	19087	SONDAGGIO	CH1
AREA	Frana di Grottaminarda		
COMMITTENTE	Hirpinia A.V.		
DATA	05/11/2019		

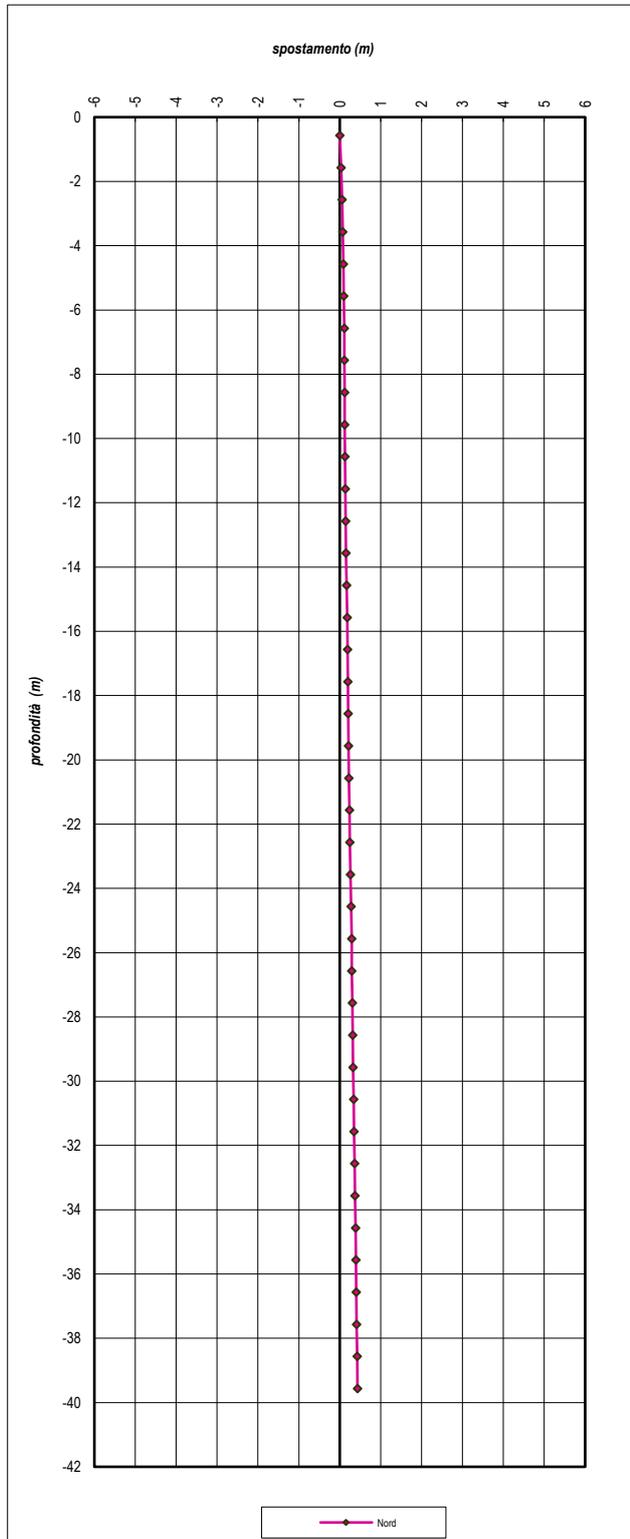
Componente NORD

Componente EST

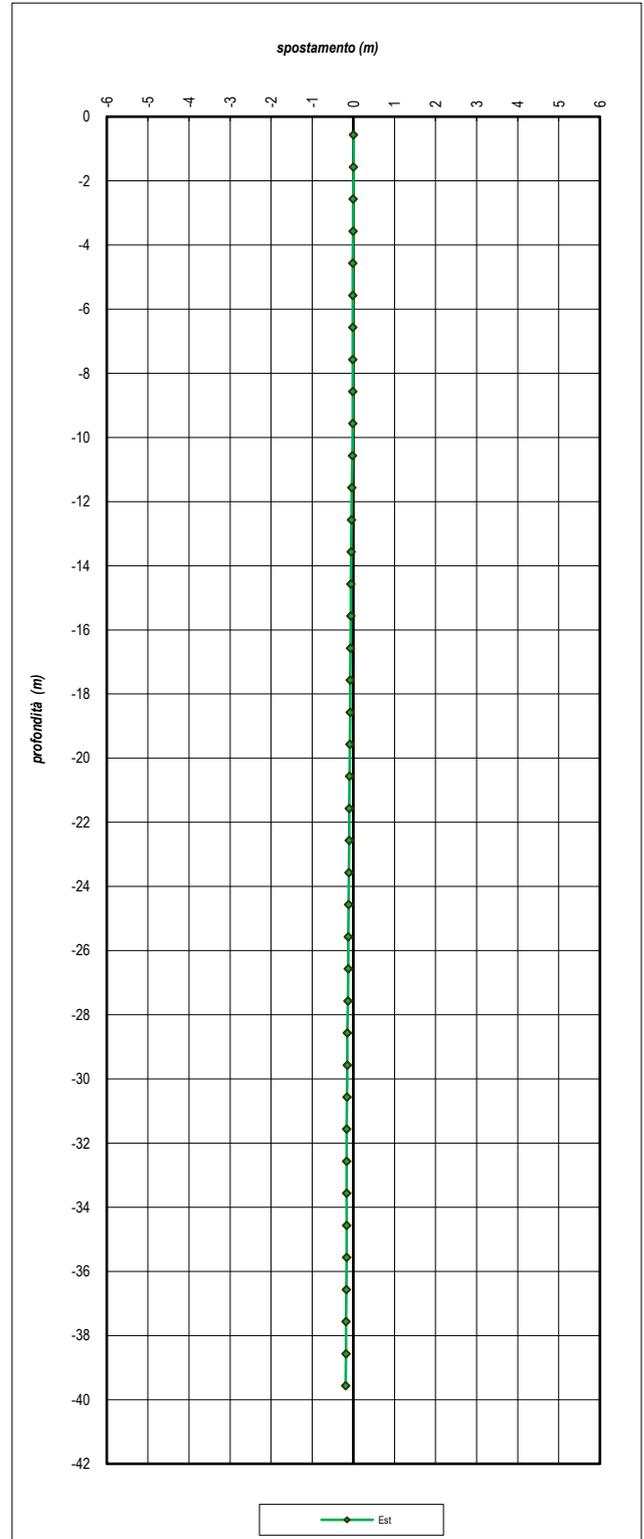


COMMESSA	19087	SONDAGGIO	CH2
AREA	Frana di Grottaminarda		
COMMITTENTE	Hirpinia A.V.		
DATA	05/11/2019		

Componente NORD



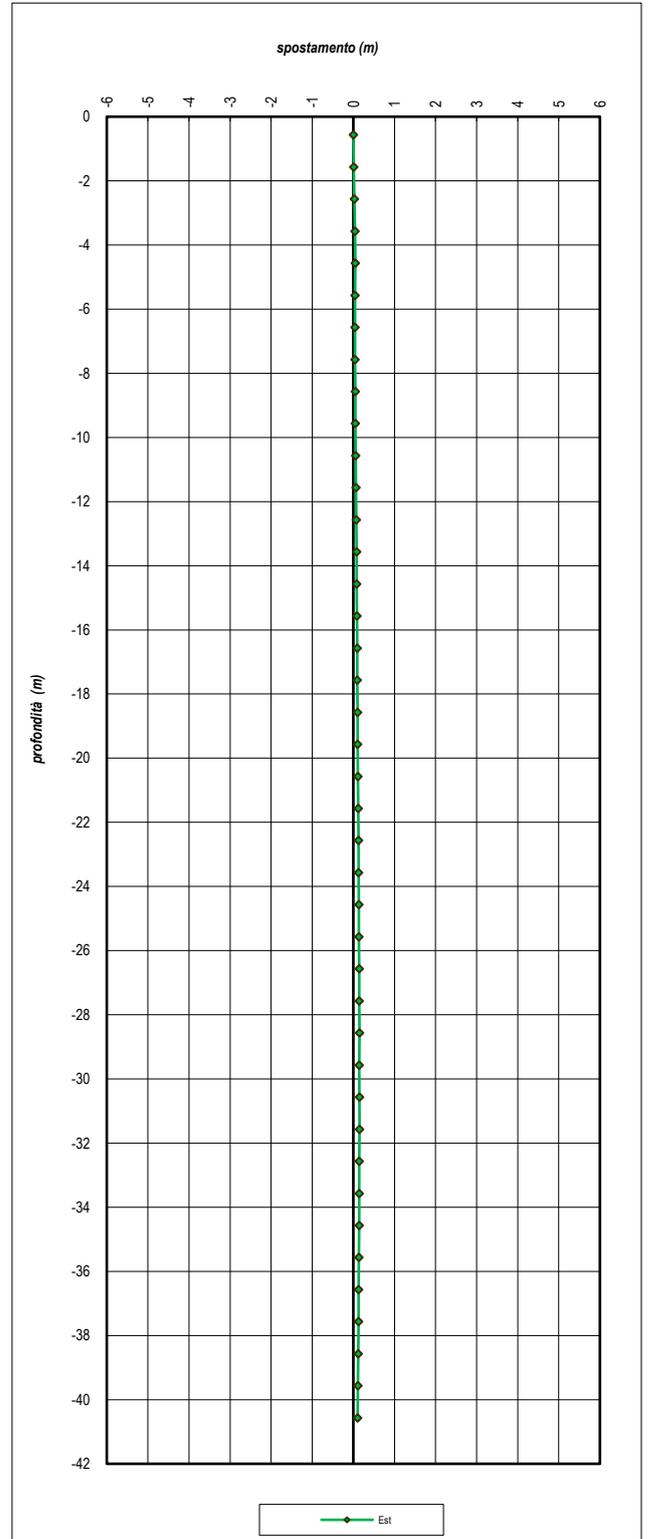
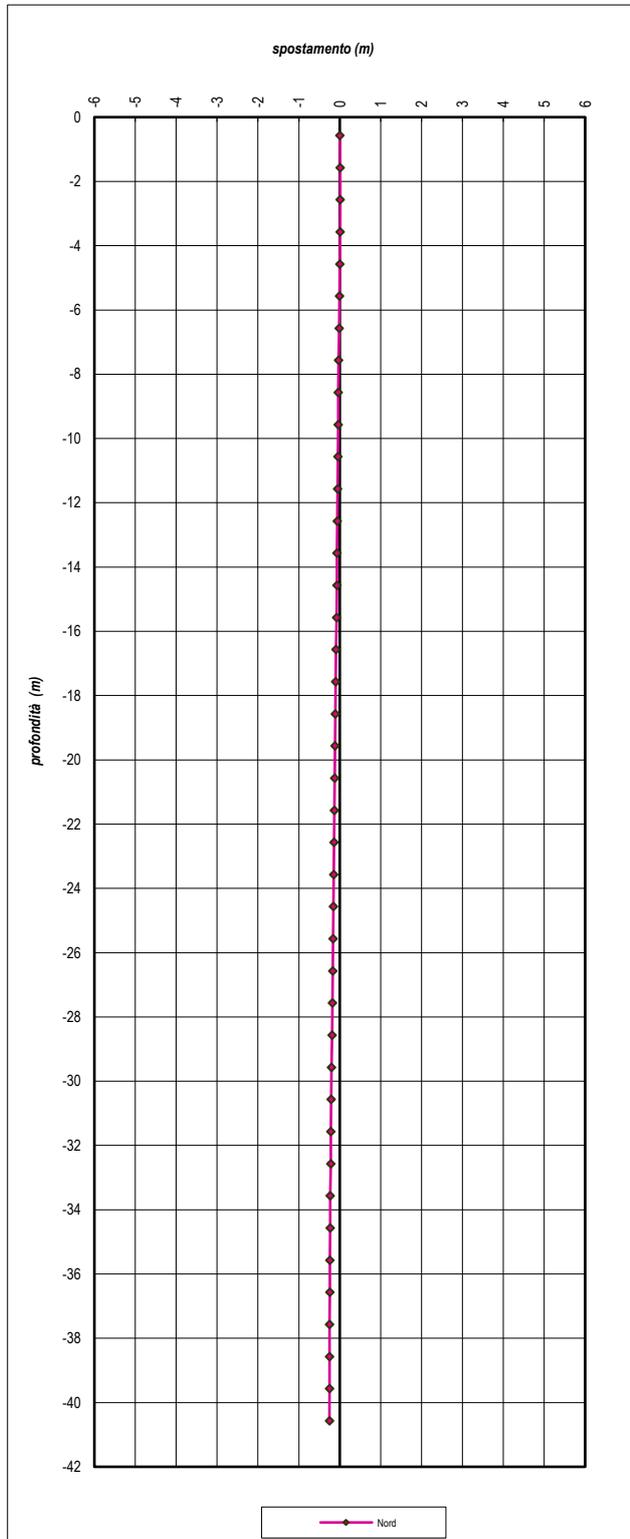
Componente EST



COMMESSA	19087	SONDAGGIO	CH3
AREA	Frana di Grottaminarda		
COMMITTENTE	Hirpinia A.V.		
DATA	06/11/2019		

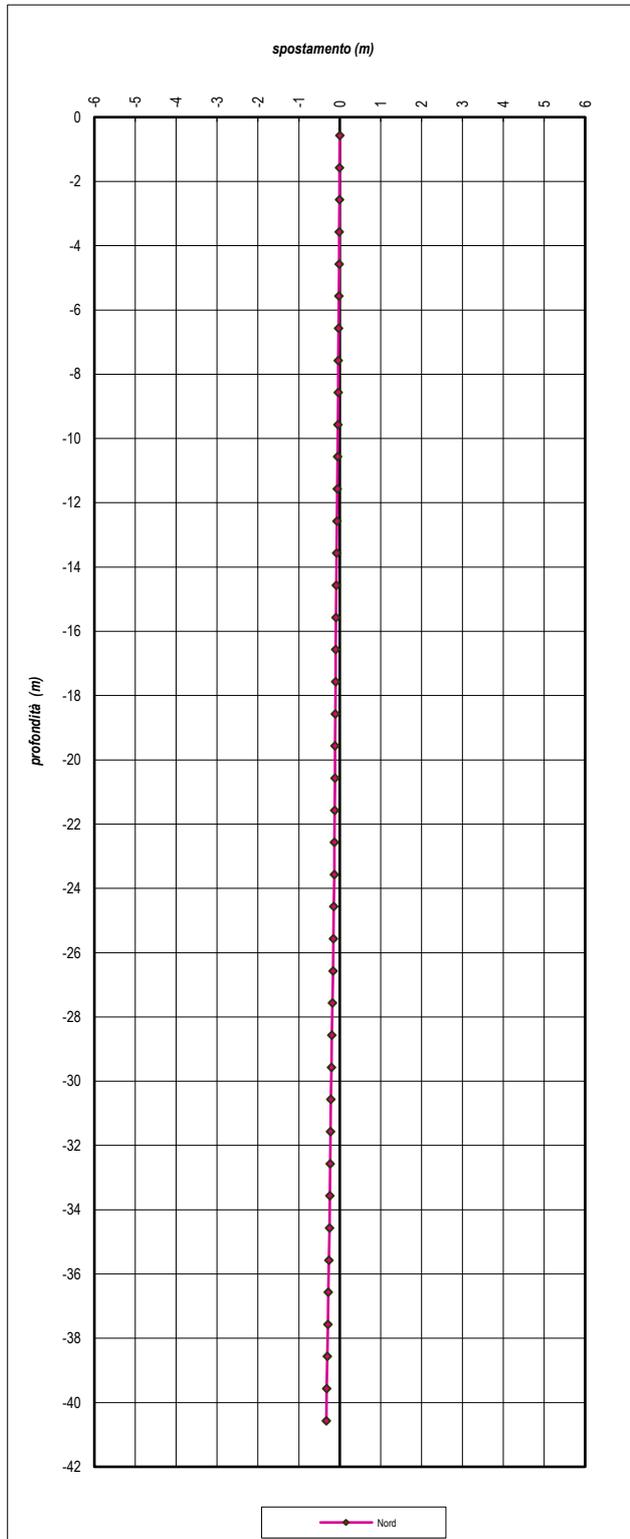
Componente NORD

Componente EST

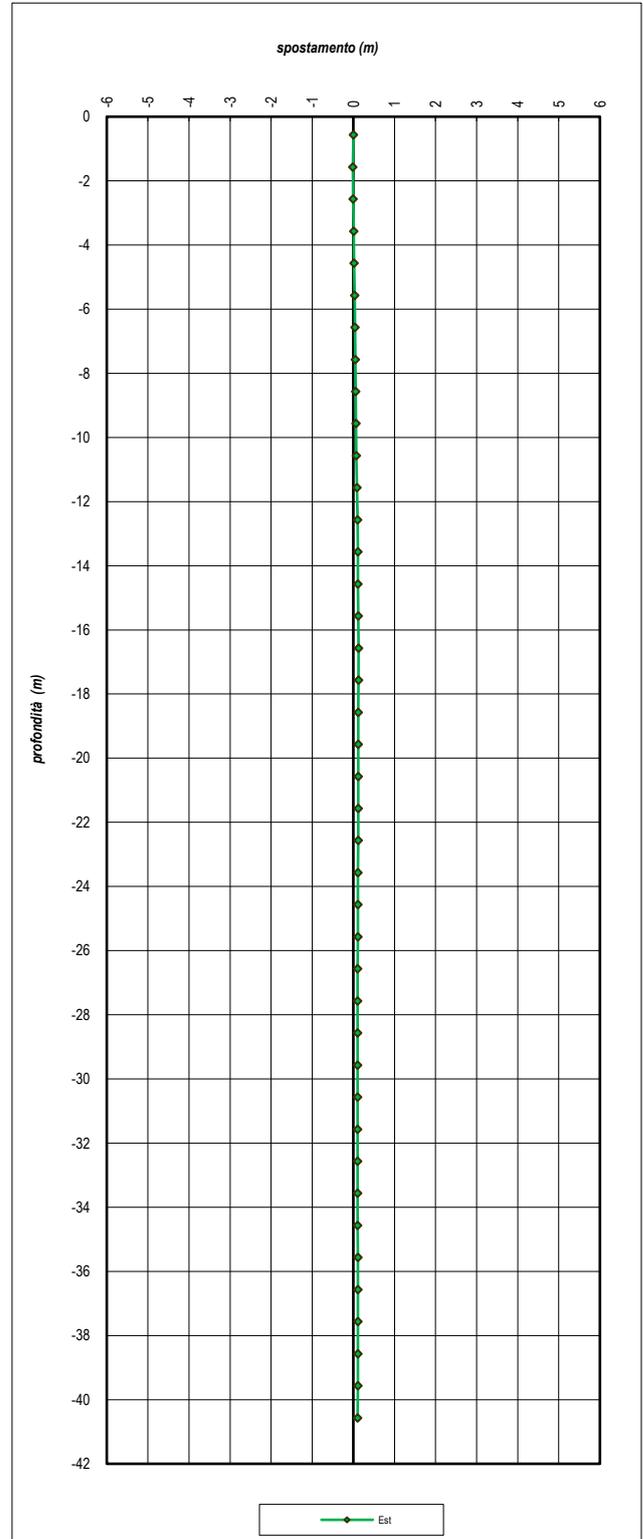


COMMESSA	19087	SONDAGGIO	CH4
AREA	Frana di Grottaminarda		
COMMITTENTE	Hirpinia A.V.		
DATA	06/11/2019		

Componente NORD



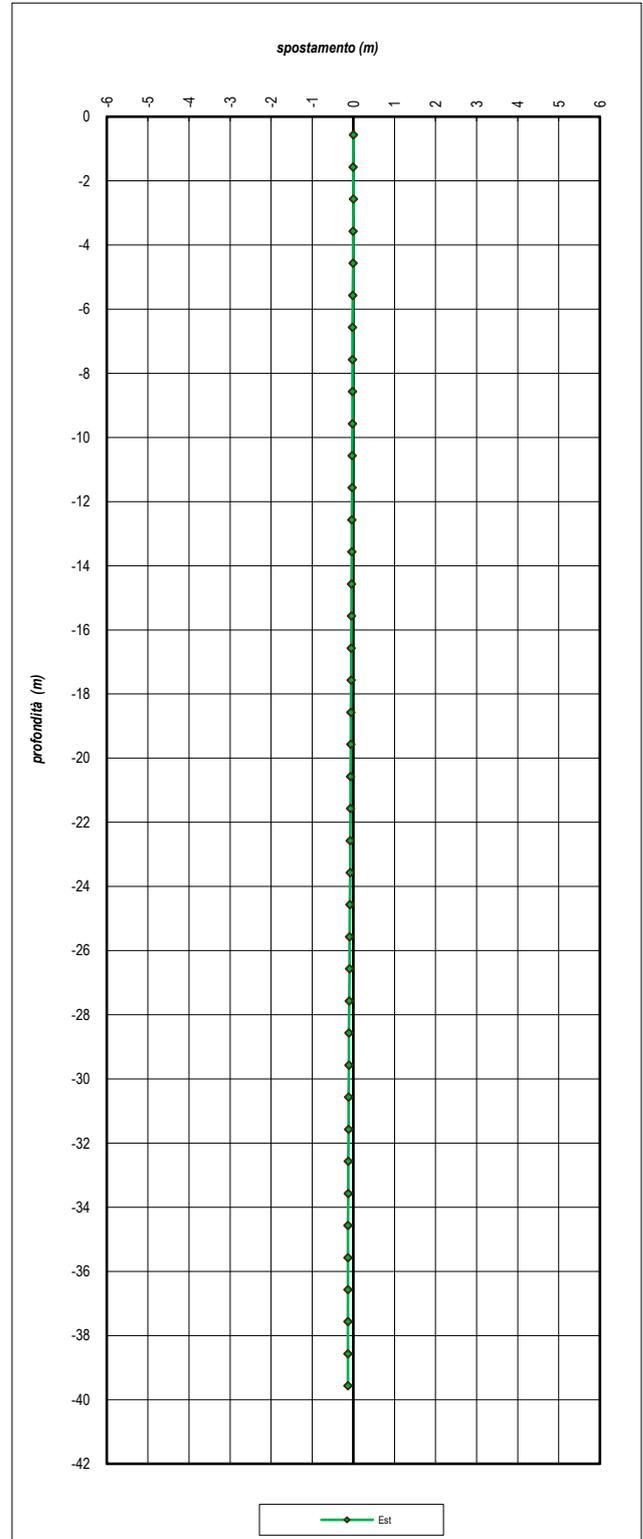
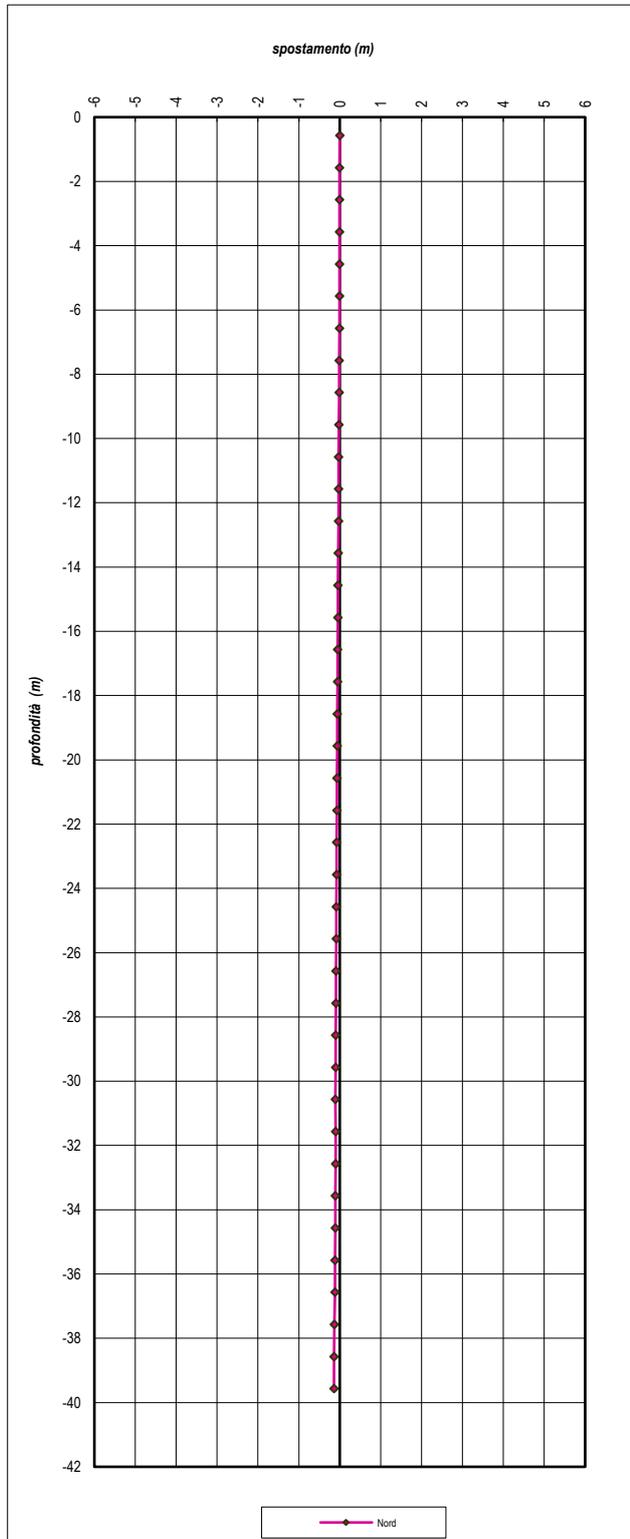
Componente EST



COMMESSA	19087	SONDAGGIO	CH5
AREA	Frana di Grottaminarda		
COMMITTENTE	Hirpinia A.V.		
DATA	06/11/2019		

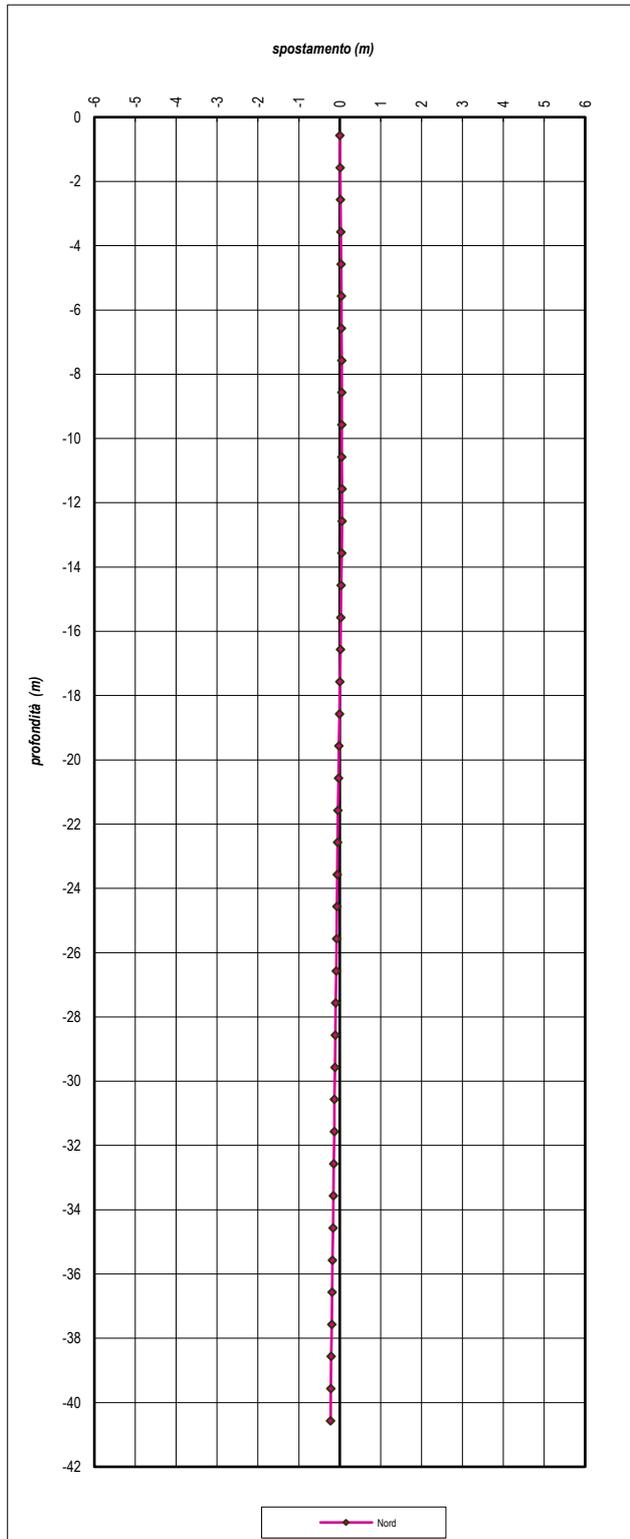
Componente NORD

Componente EST

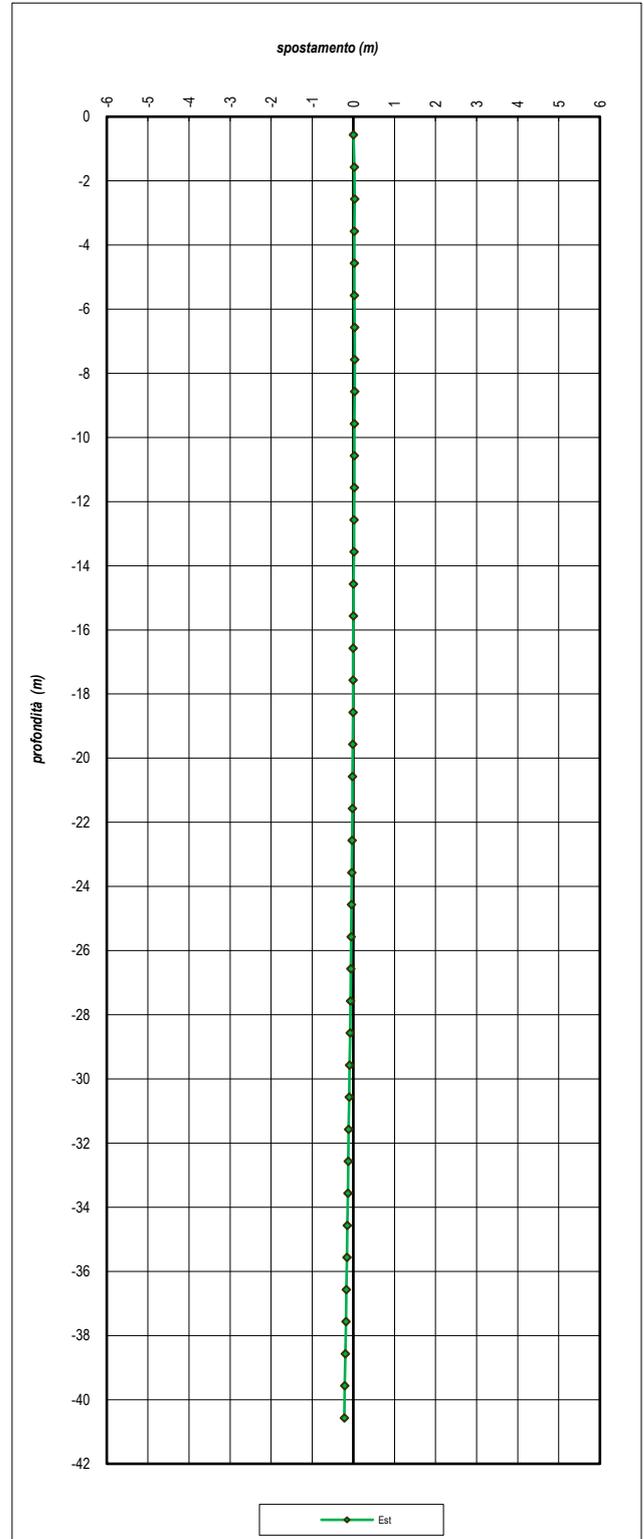


COMMESSA	19087	SONDAGGIO	CH6
AREA	Frana di Grottaminarda		
COMMITTENTE	Hirpinia A.V.		
DATA	07/11/2019		

Componente NORD



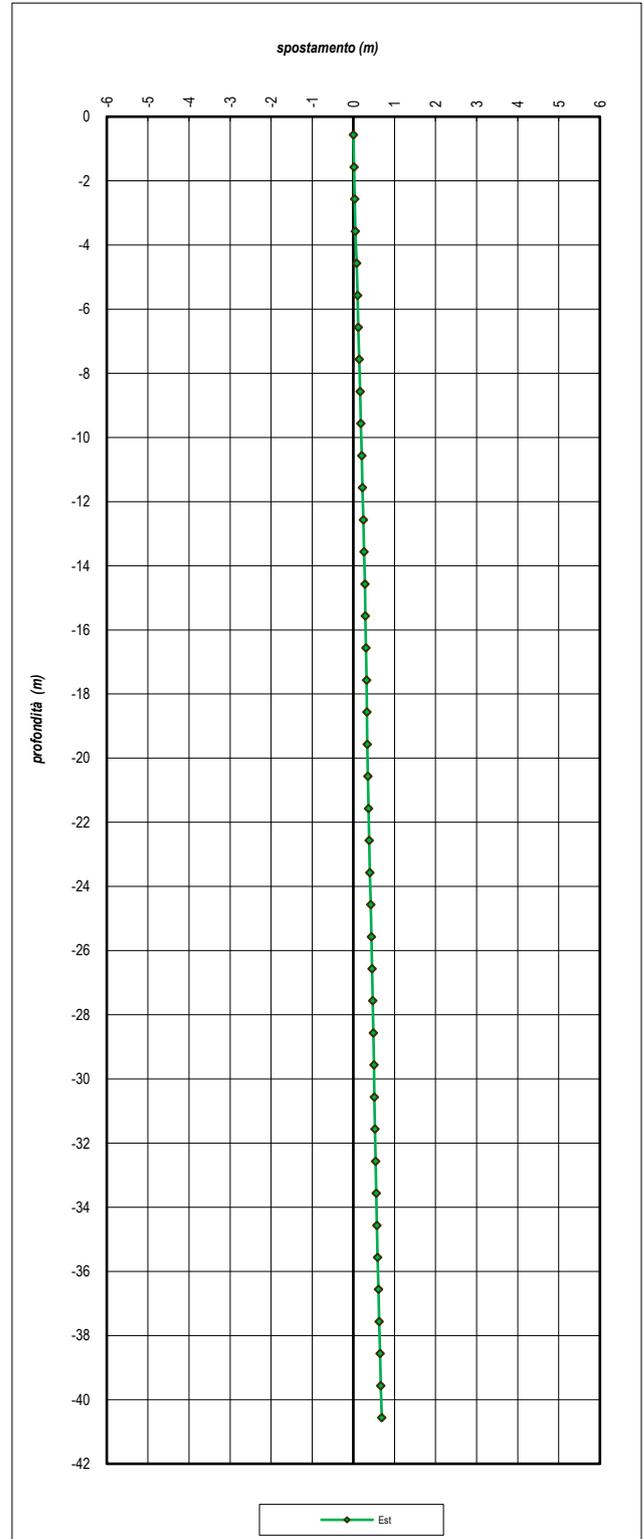
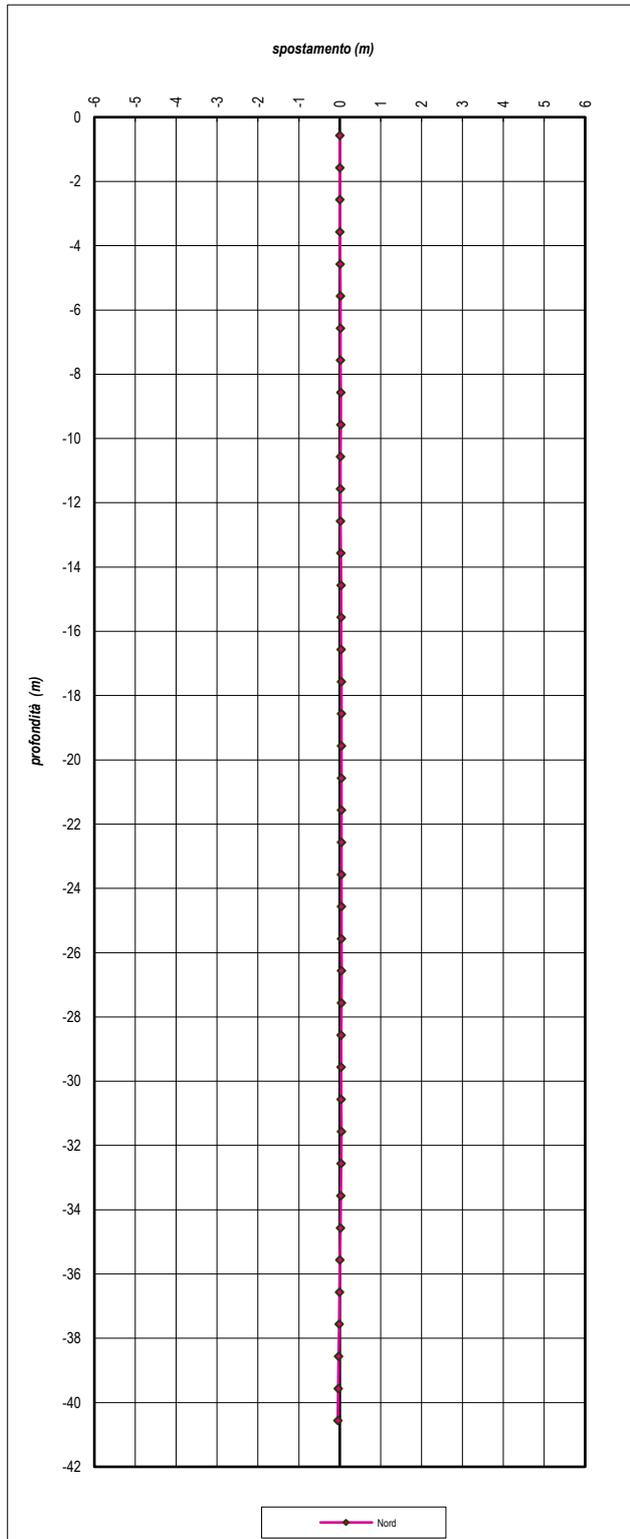
Componente EST



COMMESSA	19087	SONDAGGIO	CH7
AREA	Frana di Grottaminarda		
COMMITTENTE	Hirpinia A.V.		
DATA	07/11/2019		

Componente NORD

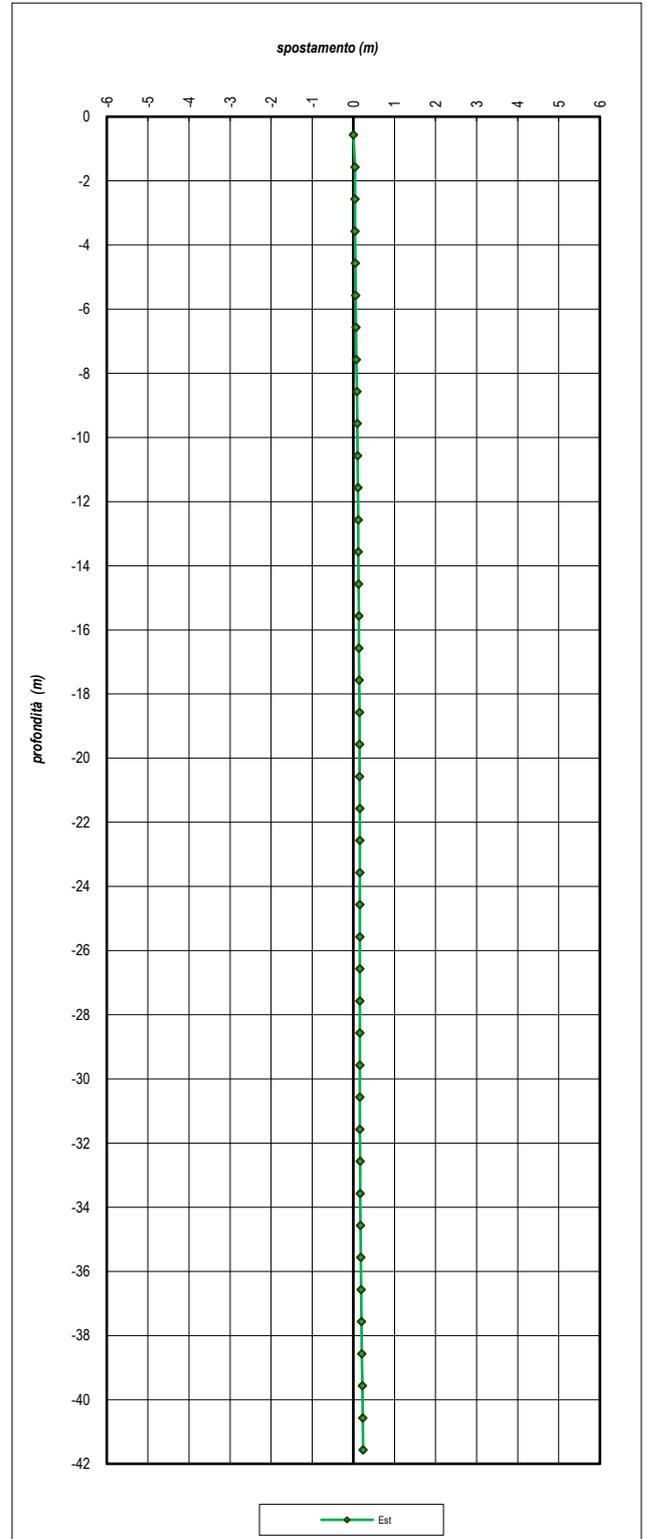
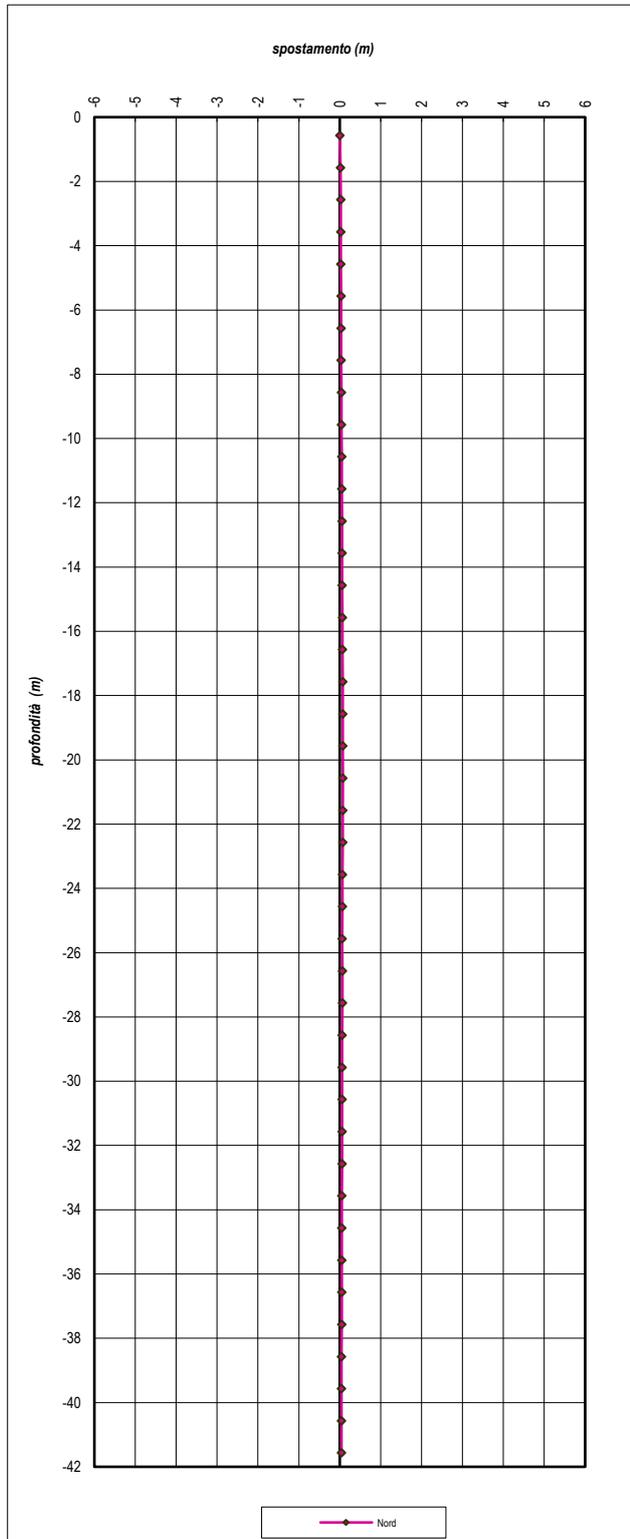
Componente EST



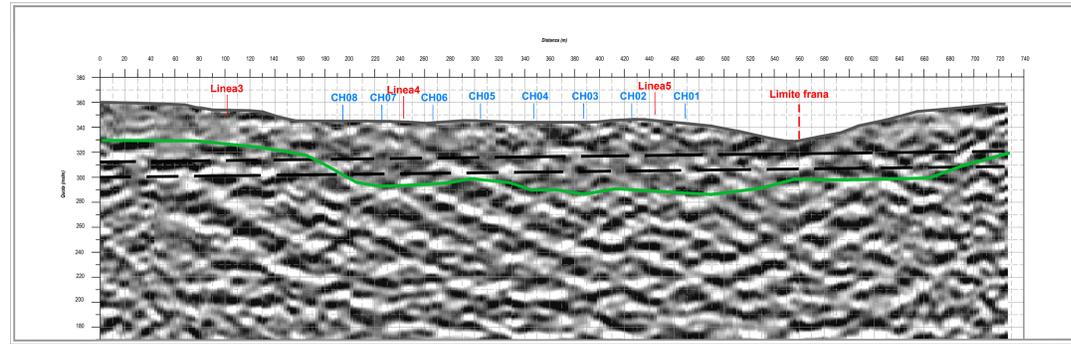
COMMESSA	19087	SONDAGGIO	CH8
AREA	Frana di Grottaminarda		
COMMITTENTE	Hirpinia A.V.		
DATA	07/11/2019		

Componente NORD

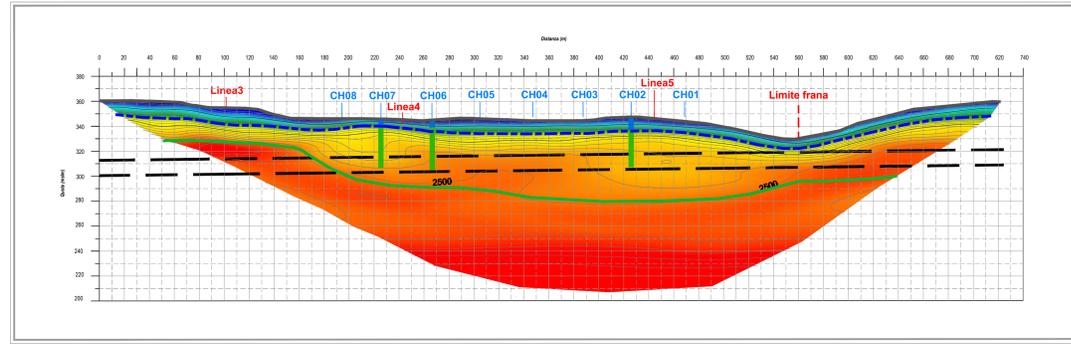
Componente EST



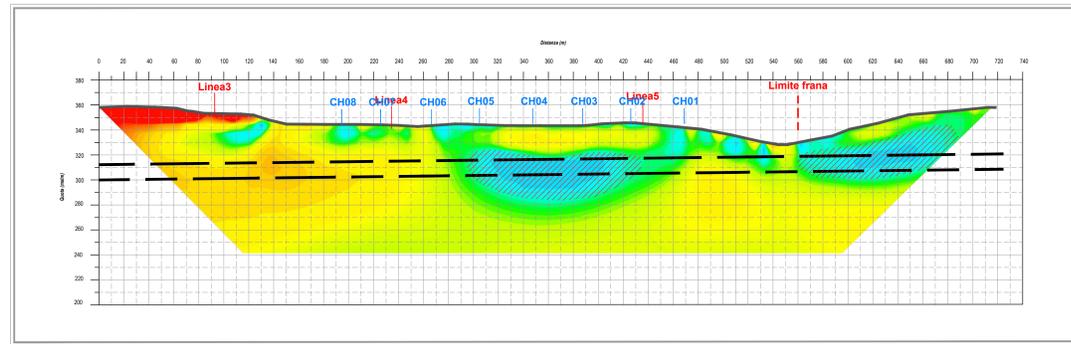
SISMICA A RIFLESSIONE



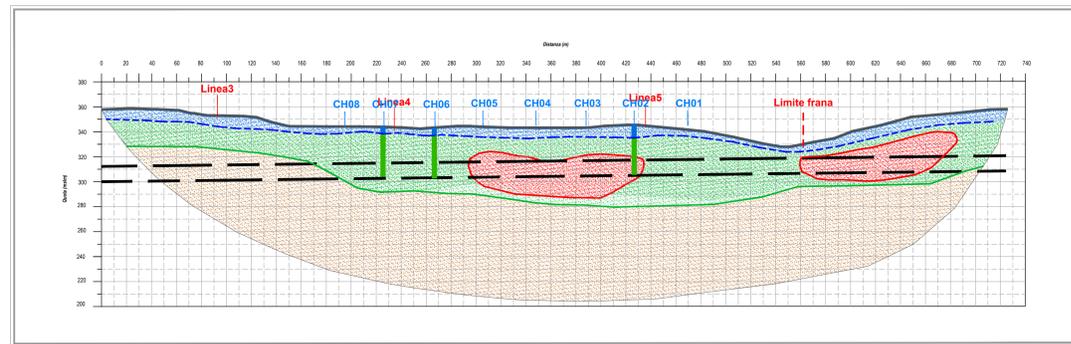
SISMICA A RIFRAZIONE



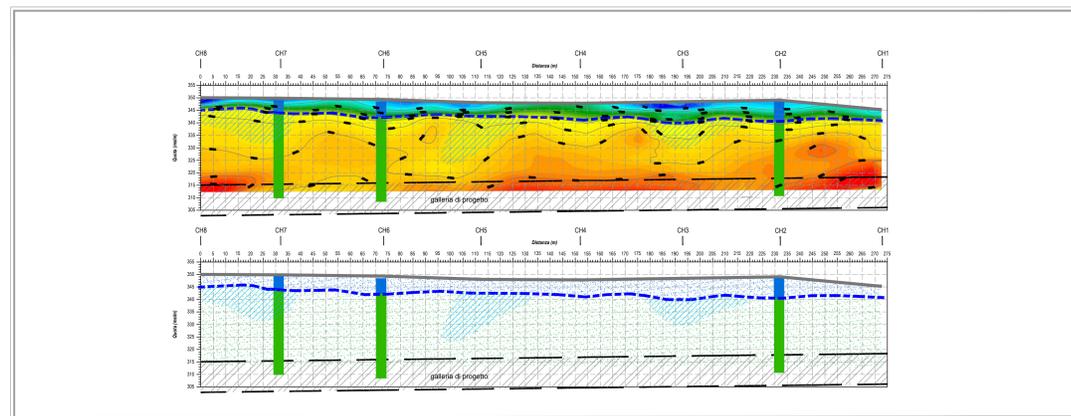
TOMOGRFIA ELETTRICA



SEZIONI INTERPRETATIVE



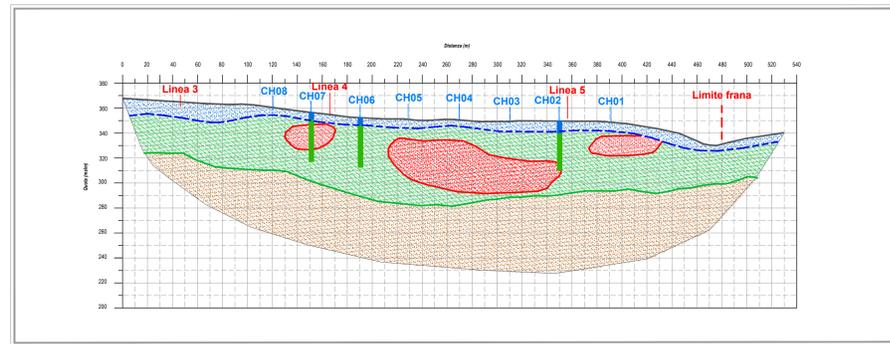
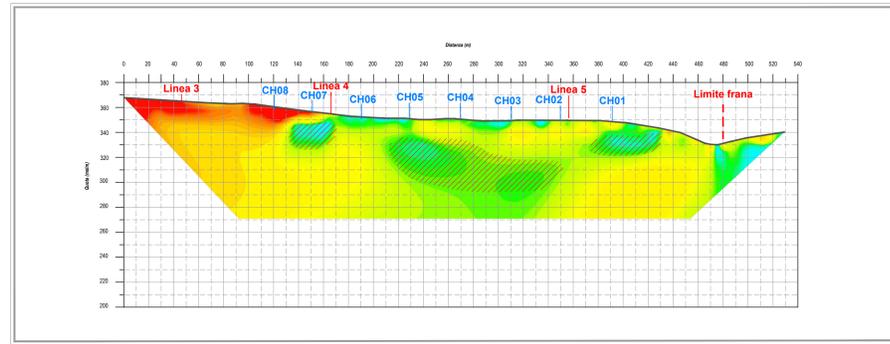
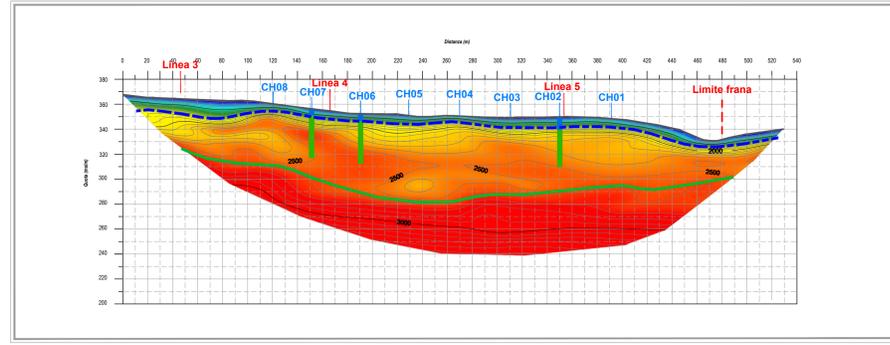
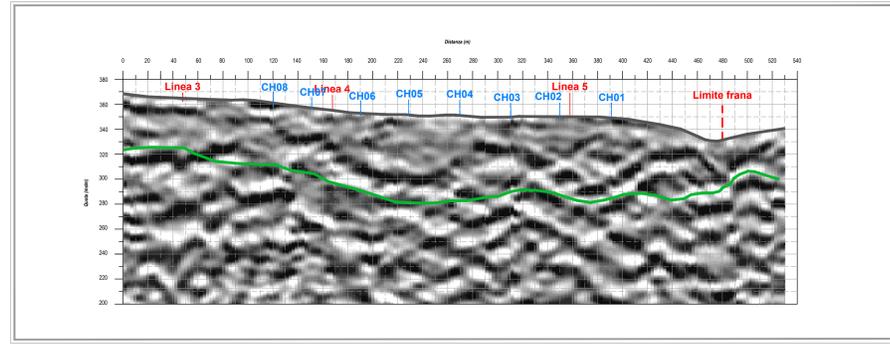
TOMOGRFIA CROSS-HOLE VP



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



LINEA 2



LEGENDA

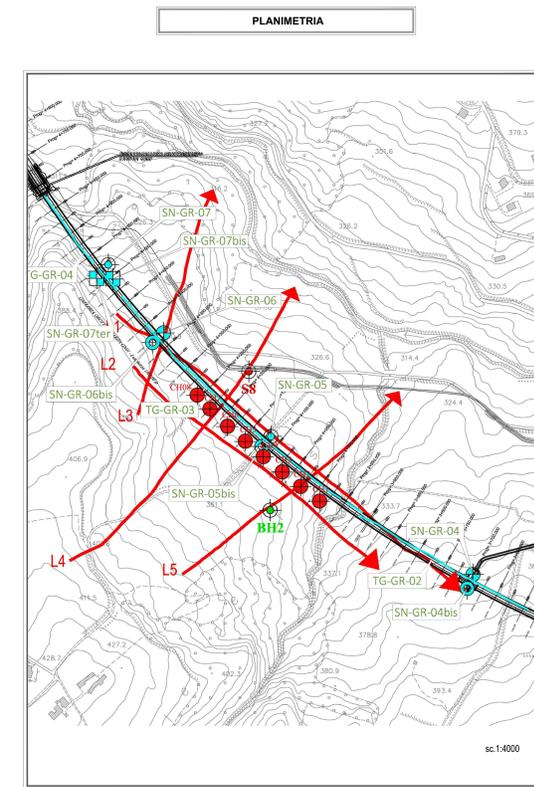
Velocità P m/sec
 Resistività Ohm·m

Stratigrafia sondaggi

- Argilla limosa
- Argilla mamosa / marna argillosa: presenza di livelli di marna calcarea
- Fori Cross-Hole
- Galleria di progetto

Sezioni interpretative

Unità	Vp (m/s)	Rho (g/cm³)	descrizione
1	< 1700		materiali detritici dalle scarse caratteristiche geomeccaniche
2A	1700 - 2500	< 4	materiali coesivi (limi e argille)
2B	4 - 50		come unità 2A ma con maggior componente carbonatica
3	> 2500		materiale a forte grado di compattazione o litoido
			Tomografia cross-hole: zone caratterizzate da decremento laterale nelle velocità P

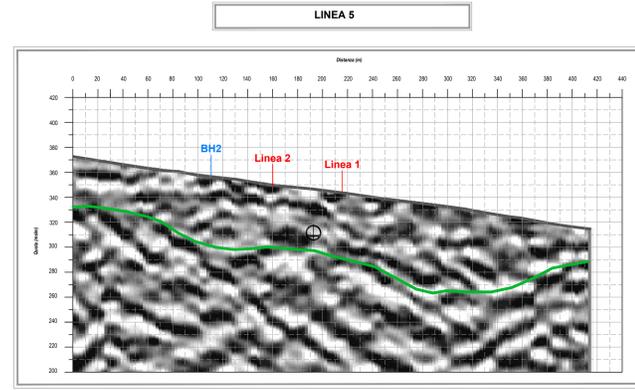
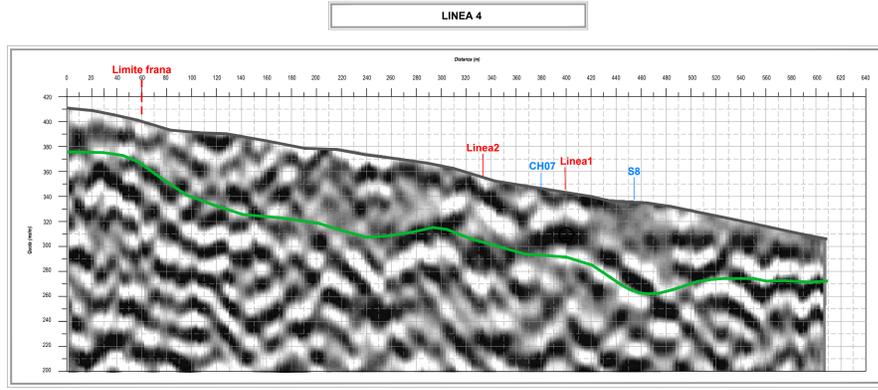
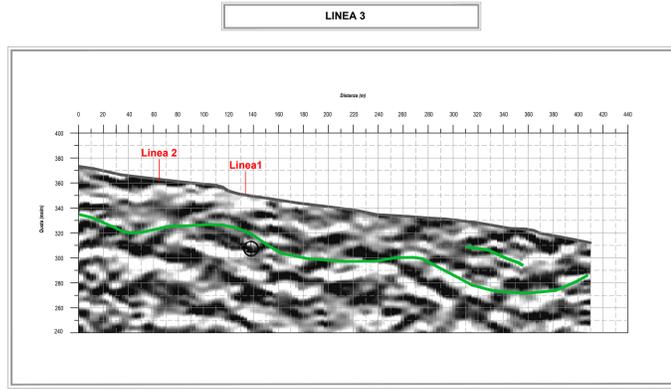


LINEA FERROVIARIA NAPOLI-BARI
 Raddoppio tratta Apice-Orsara
 Il lotto funzionale Apice-Hirpinia

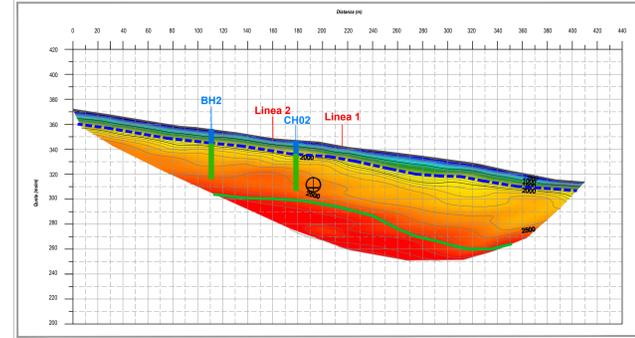
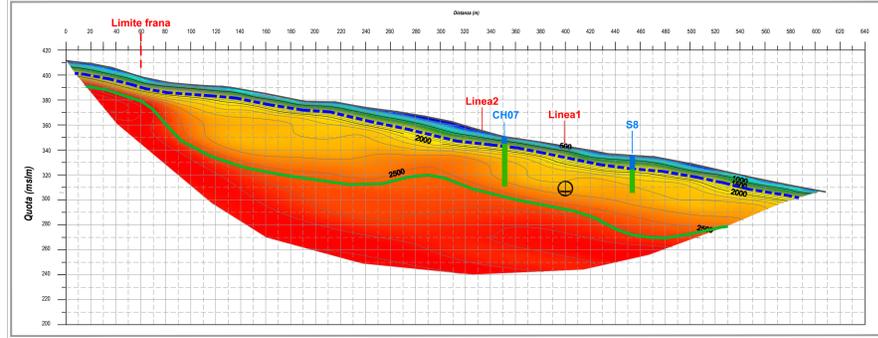
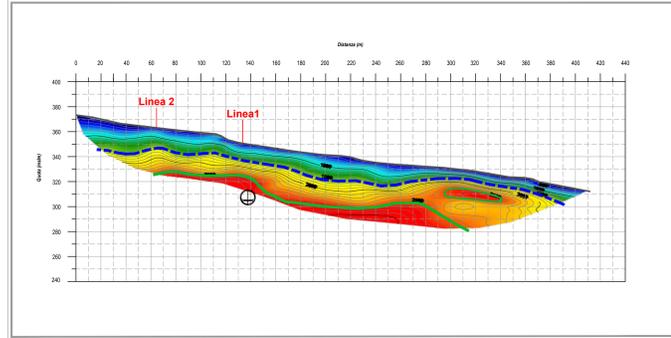
Indagini geofisiche Grottaminarda

DATA	10/12/2019			
EMMISSIONE / REVISIONE	01	02	03	
REDATTO	BERGAMINI			
APPROVATO	ASCARI			TAVOLA
Sismica a riflessione Sismica a rifrazione Vp Tomografia elettrica Tomografia Cross-hole Vp				01
COMMITTENTE	Hirpinia AV			SCALA 1:2.000/1:1.000
	Akron Sistemi per geologia, ingegneria, ambiente			FILE 19087_01.dwg
				COMMESSA 19087

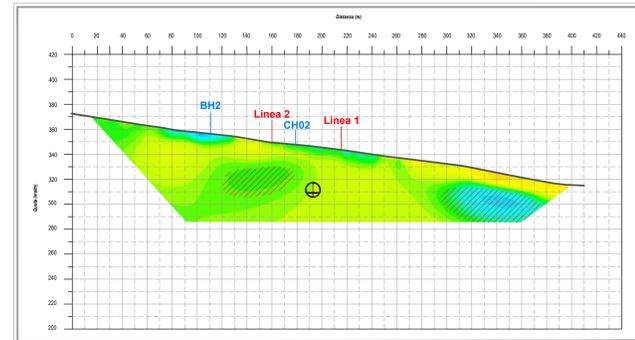
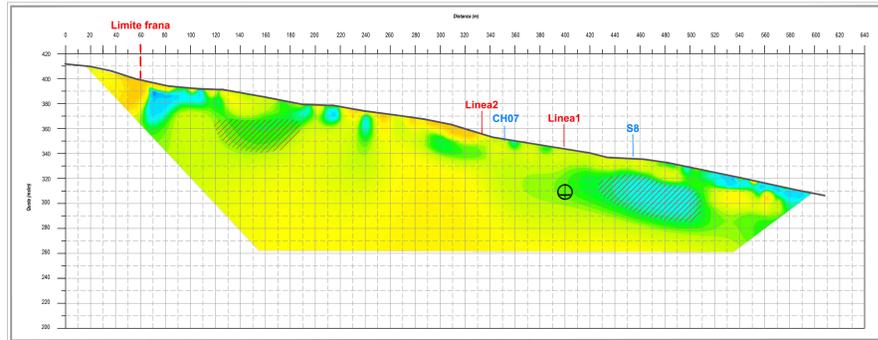
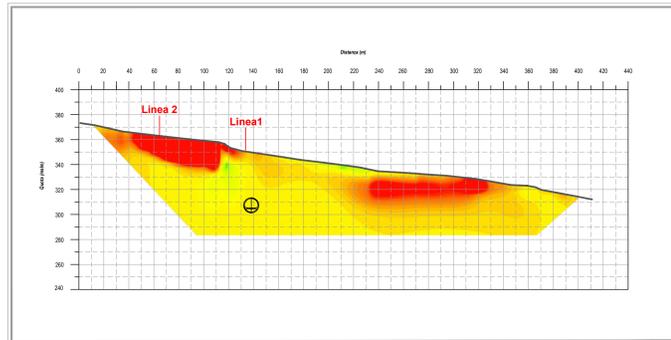
SISMICA A RIFLESSIONE



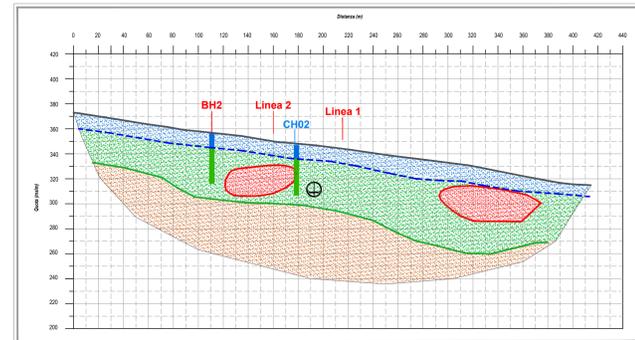
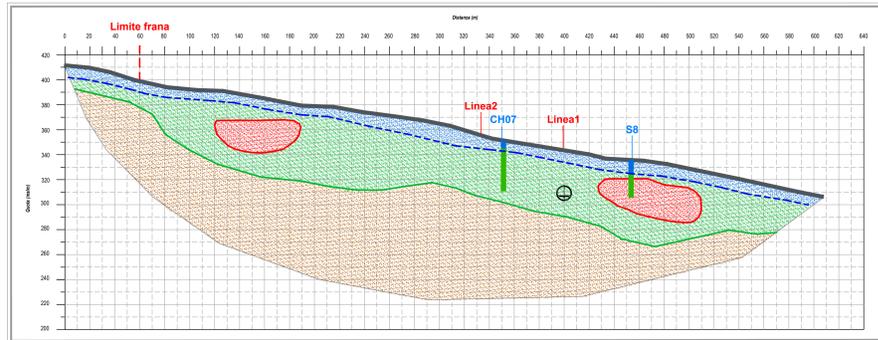
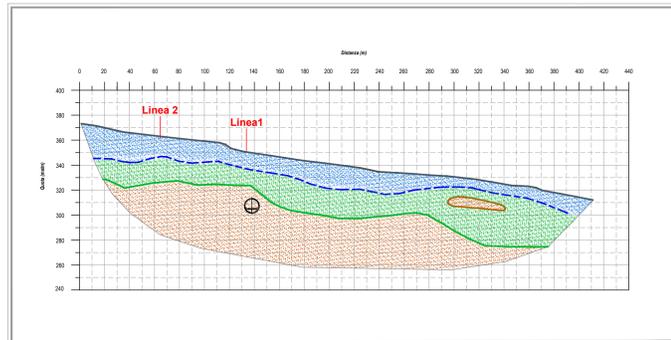
SISMICA A RIFRAZIONE



TOMOGRAFIA ELETTRICA



SEZIONI INTERPRETATIVE



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



LEGENDA

Velocità P m/sec

Resistività Ohm*m

Stratigrafia sondaggi

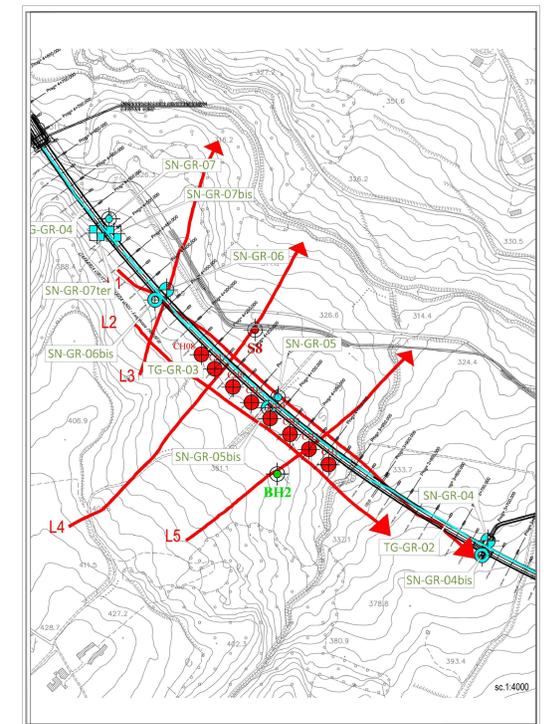
- Argilla limosa
- Argilla massosa / marna argillosa, presenza di livelli di marna calcarea

Sezioni interpretative

Unità	Vp (m/s)	Rho (t/m³)	descrizione
1	< 1700		materiali detritici dalle scarse caratteristiche geomeccaniche
2A	< 4		materiali coesivi (limi e argille)
2B	1700 - 2500	4 - 50	come unità 2A ma con maggior componente carbonatica
3	> 2500		materiale a forte grado di compattazione o litoido

Linea sismica → **Galleria di progetto** ○ **Fori Cross-Hole** —

PLANIMETRIA



LINEA FERROVIARIA NAPOLI-BARI
 Raddoppio tratta Apice-Orsara
 Il lotto funzionale Apice-Hirpinia
 Indagini geofisiche Grottaminarda



DATA	10.12.2019	01	02	03
EMISSIONE / REVISIONE	00	01	02	03
REDATTO	BERGAMINI			
APPROVATO	ASCARI			
Sismica a riflessione Sismica a rifrazione Vp Tomografia elettrica				TAVOLA
Hirpinia AV				02
COMMITTENTE	Akron servizi per progetti, ingegneria, ambiente			SCALA
				1:2.000/1:1.000
				FILE
				19087_01.dwg
				COMMESSA
				19087