



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
delle Infrastrutture
e dei Trasporti



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

Finanziato dal Unione Europea dell'iniziativa NextGenerationEU Misura M2C2 - 4.2
Sviluppo trasporto rapido di Massa

CUP B31E20000230001



COMUNE DI GENOVA

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
ALBERTO BITOSSI
IL DIRETTORE ESECUTORE DEL CONTRATTO
ANTONIO ROSSA

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER
IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE
CONNESSE)**

PROGETTAZIONE

MANDANTARIA



MANDANTE

MANDANTE

MANDANTE



**STUDIO GEOLOGICO
REPORT INDAGINI GEOFISICHE**

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

Dott. Ing. *Alessandro Peresso*

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

E 2 1 D 0 5 D 6 9 I G G E 1 5 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	<i>TECNOIN</i>	Luglio 21	<i>E. Poggi</i>	Giugno '23	<i>A. Peresso</i>	Giugno '23	G. Benedetti

ITALFERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane
Dott. Geol. Giampaolo Berigetti
Ordine dei Geologi Emilia Romagna
n. 1019
Gianluigi Benedetti

File: E21D-05-D-69-IG-GE1500-001-A.docx

n. Elab.:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>2 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	2 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	2 di 30								

INDICE

1. Introduzione	3
2. Metodo d'indagine	5
2.1 Metodologia sismica attiva MASW	5
2.2 Metodologia sismica passiva HVSR	7
2.3 Tomografia elettrica di resistività ERT	9
2.4 Tomografia sismica a rifrazione SRT	11
3. Risultanze Deposito staglieno	13
3.1 Depositi Indagini MASW	13
3.1.1 Deposito di Staglieno	13
3.1.2 Determinazione della categoria del sottosuolo	17
3.2 Depositi Indagini HVSR	19
3.2.1 Deposito di Staglieno	19
3.3 Depositi Indagini ERT	28
3.3.1 Deposito di Staglieno	28

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>3 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	3 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	3 di 30								

1. INTRODUZIONE

A seguito del contratto di collaborazione per la prestazione di servizi di indagine geognostica, geofisica, prove di laboratorio geotecnico e prove di laboratorio su terre e rocce da scavo, a supporto della *Progettazione Definitiva per la realizzazione del Sistema degli Assi di forza per il Trasporto Pubblico Locale di Genova* - codici CIG 8469717792 e CUP B31E2000023001 (Rete Filoviaria e strutture connesse), sono state eseguite specifiche indagini geofisiche.

Le prospezioni geofisiche, di tipo elettrico e sismico, sono state eseguite nell'ambito del territorio comunale di Genova, in prossimità dei depositi di AMT Genova (Azienda Mobilità e Trasporti) e nelle aree in cui si prevede la realizzazione di strutture a supporto della rete filoviaria (sottostazioni elettriche o SSE).

La campagna di geofisica, è stata articolata mediante l'acquisizione di differenti metodologie di seguito descritte in dettaglio:

- Per i N.4 Depositi AMT di Gavette (GAV), Levante (LEV), Sampierdarena (SAMDP) e Staglieno (STA), è stato acquisito, per ciascun sito, quanto in elenco:
 - N.2 profili sismici per il rilevamento delle onde superficiali di tipo attivo (MASW), finalizzati alla ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio, per la determinazione del parametro Vs equivalente e la definizione della categoria sismica del sottosuolo, ai sensi delle NTC 2018;
 - N.2 registrazioni dei microtremori sismici mediante prove passive (HVSr), per la definizione delle frequenze di risonanza di sito;
 - N.2 profili di tomografia elettrica (ERT), finalizzati alla ricostruzione bidimensionale delle geometrie e dei rapporti tra le differenti unità elettrostratigrafiche.
- Inoltre, solo per il deposito di Levante, sono stati acquisiti anche N.2 profili di tomografia sismica a rifrazione (SRT), in onde P e in onde S, finalizzati alla ricostruzione bidimensionale delle geometrie e dei rapporti tra le differenti unità sismostratigrafiche, in sostituzione di un carotaggio geognostico.
- Per le N.12 Sottostazioni (SSE) di Gottardo (GOT), Fullo (FUL), Prato (PRT), Carlini (CAR), Pegli (PEG), Campi (CAM), via Merano (MER), Kennedy (KEN), Cornigliano (COR), Sardegna (SAR), Sampierdarena (SAMSSE) e Degola (DEG), per ciascun sito, sono stati acquisiti:
 - N.1 profilo sismico per il rilevamento delle onde superficiali di tipo attivo (MASW), finalizzato alla ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio, per la determinazione del parametro Vs equivalente e la definizione della categoria sismica del sottosuolo, ai sensi delle NTC 2018;

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>4 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	4 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	4 di 30								

- N.1 registrazione dei microtremori sismici mediante prova passiva (HVSR), per la definizione delle frequenze di risonanza di sito;
- N.1 profilo di tomografia elettrica (ERT), finalizzato alla ricostruzione bidimensionale delle geometrie e dei rapporti tra le differenti unità elettrostratigrafiche;
- N.1 profilo di tomografia sismica a rifrazione (SRT), in onde P e in onde S, finalizzato alla ricostruzione bidimensionale delle geometrie e dei rapporti tra le differenti unità sismostratigrafiche.

Di seguito, vengono descritte le singole attività svolte con la relativa ubicazione ed elaborazione/interpretazione dei dati geofisici acquisiti, unitamente alla specifica documentazione fotografica, **relativamente al solo deposito di Staglieno**

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>5 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	5 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	5 di 30								

2. METODO D'INDAGINE

2.1 Metodologia sismica attiva MASW

La tecnica di analisi MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), rappresenta una tipologia d'indagine sismica che consente di individuare il profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali (Rayleigh e Love).

Il metodo MASW è basato sul fenomeno secondo il quale, in un mezzo stratificato, le onde superficiali sono "dispersive", ovvero sul fatto che frequenze diverse (cioè lunghezze d'onda diverse) viaggiano a velocità diversa. Più specificatamente, le lunghezze d'onda maggiori (cioè le frequenze più basse) sono influenzate dalla parte più profonda del sottosuolo e, quindi, caratterizzeranno gli strati più profondi, mentre le piccole lunghezze d'onda (frequenze più alte) dipendono dalle caratteristiche della parte più superficiale del sottosuolo.

Il metodo adoperato per le indagini in oggetto, è del tipo "attivo" ovvero le onde superficiali sono generate artificialmente mediante l'impatto di una massa battente (mazza sismica) sulla superficie del suolo e misurate ad uno stendimento lineare di velocimetri o geofoni. Un tipico schema di acquisizione è mostrato nella seguente figura.



Figura 1. Indagine MASW. Esempio di configurazione sorgente-ricevitori per un tipico rilievo.

Per le indagini descritte, si usano onde superficiali polarizzate nel piano verticale alla superficie libera del terreno ovvero le onde di Rayleigh, trascurando gli effetti dovuti alle onde di volume, alle onde riflesse o rifratte.

Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche altri tipi di onde, oltre a quelle superficiali, intervengono due aspetti che rendono il contributo di queste ultime prevalente sul contributo delle onde di volume. Il primo è che le onde di Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che, allontanandosi dalla sorgente, le onde di superficie subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P ed Sv, perché esse si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, mentre le onde di volume si propagano secondo fronti d'onda sferici.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA E21D	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE1500 001	REV. A	FOGLIO 6 di 30

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con il software **winMAWS** distribuito dalla **Eliosoft**.

Il processo utilizzato per l'elaborazione dei profili di velocità delle onde di taglio con la tecnica MASW ha richiesto i seguenti passaggi:

- caricamento del / dei file acquisiti in campo, in formato seg2, ed attribuzione della geometria;
- calcolo dello spettro di velocità in un range di velocità e frequenze definite dal geofisico;
- modellazione diretta della curva di dispersione ovvero esecuzione del picking manuale della curva di dispersione stessa;
- processo di inversione, mediante l'inserimento del numero di strati del sottosuolo, al fine di ottenere il profilo verticale della velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

Le misurazioni sono state eseguite avvalendosi di un sismografo marca **MAE modello X-610S**, munito di convertitore A/D a 24 bits con tecnologia sigma-delta, impostato con una frequenza di campionamento di 0.001 secondi (o 1.000 cps) ed una finestra di registrazione (periodo di acquisizione) di circa 2.0 secondi. Al sismografo sono stati collegati n.24 geofoni marca **OYO GEOSPACE**, a componente verticale da 4.5 Hz, equidistanziati in funzione delle condizioni logistiche tra 1.5 e 2.0 metri.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D 69</td> <td style="text-align: center;">IG</td> <td style="text-align: center;">GE1500 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">7 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	7 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	7 di 30								

2.2 Metodologia sismica passiva HVSR

Tale prova consiste nella misura, in campo libero, del rumore sismico ambientale (microtremore), mediante stazione fissa ad alta risoluzione, con la tecnica di acquisizione passiva basata. Questa tecnica è basata sul rapporto tra le ampiezze spettrali medie del rumore ambientale, misurato nelle componenti orizzontale (H) e verticale (V) del moto.

L'andamento di tale rapporto spettrale, detto funzione HVSR (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*), è in grado di fornire indicazioni sulle caratteristiche dinamiche del sottosuolo del sito indagato ed è alla base del cosiddetto "metodo Nakamura".

$$HVSR(\omega) = \sqrt{\frac{[H_i^2(\bar{\omega})]}{[V_i^2(\bar{\omega})]}}$$

In particolare, è riconosciuta l'efficacia del metodo HVSR nella stima della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, identificata dal massimo spettrale della funzione HVSR, nel caso di un modello di sito unidimensionale, ovvero costituito da uno strato soffice (*soft*) di copertura, sovrapposto ad un semispazio rigido (*bedrock*), pur non definendo l'entità dei fenomeni di amplificazione indotti dal moto sismico (Lachet & Bard, 1994; Lemo & Chavez-Garcia, 1994; Ibs von Seht & Wohlenberg, 1999).

La tecnica di Nakamura permette di conoscere la frequenza di risonanza di un bacino o di un pacco sedimentario, a partire dall'analisi dei rapporti spettrali H/V (componente/i orizzontale/i su verticale), effettuati mediante registrazioni di rumore ambientale, quindi di definire in termini di frequenza di risonanza, la risposta sismica in caso di un terremoto.

Il metodo dei rapporti spettrali HVSR, è utilizzato inoltre per la stima degli spessori (H) dei sedimenti sovrastanti il bedrock, attraverso la relazione che lega il periodo o frequenza di risonanza dei terreni (T_0), con la velocità delle onde di taglio V_s e appunto con lo spessore dei sedimenti:

$$T_0 = \frac{4H}{V_s}$$

I risultati dei rapporti spettrali H/V, sono una conseguenza diretta sia della composizione del campo d'onda del noise, che è funzione della sorgente di vibrazione e della struttura del sottosuolo, che degli effetti dei differenti tipi di onde sismiche sui rapporti H/V.

La stabilità è buona nel tempo, ma dipende dalle caratteristiche specifiche del sito. I rapporti spettrali H/V non sono sempre consistenti con le registrazioni di un singolo evento sismico, viceversa corrispondono bene ad un set di registrazioni di un certo numero di eventi, se pur rappresentandoli in piccola percentuale.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA E21D	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE1500 001	REV. A	FOGLIO 8 di 30

Le acquisizioni e le successive elaborazioni sono state effettuate tenendo conto di quanto riportato nell'ambito del progetto SESAME (*Site EffectS assessments using Ambient Excitation*), che ha stabilito le direttive per garantire la riproducibilità delle misure HV, indispensabile per ottenere dei dati rappresentativi e poco influenzati dal contesto di misura ed ambientale. Per ogni punto di acquisizione, sono state registrate non meno di 3 misurazioni, di durata pari a 20 minuti ognuna.

Le misurazioni sono state eseguite avvalendosi di un tromografo digitale ad alta risoluzione marca **AMBROGEO modello Echo Tromo HVSR-3**, avente le seguenti caratteristiche:

- Convertitore A/D: risoluzione 24 bit;
- Range dinamico: 130 dB@ 1 ms PG = 0 dB oppure
- 120 dB@ 1 ms PG = 18 dB;
- Cross talk: > 90 dB;
- Preamplify gain: 1-2-4-8-16-32;
- Distorsione (THD): 0.0004%;
- Intervalli di campionamento: 12.8-6.4-3.2-2.4-1.6-0.8 ms;
- Delay: da 0 a 100 sec;
- Range massimo segnale in ingresso: 1Vpp, 0 dB;
- Noise: 0.25 uV, 2 ms 36 dB;
- Formato dei dati: SEG-Y / SAF (SESAME ASCII FORMAT).

Il tromografo è stato accoppiato ad un geofono triassiale, costituito da una terna di sensori (velocimetri) con frequenza propria di 2Hz, orientati secondo le 3 direzioni dello spazio: X, Y e Z (verticale), rispettivamente corrispondenti ai punti cardinali Est-Ovest, Nord-Sud e alla direzione di moto del suolo (Up-Down).



Figura 2. Indagini sismiche passiva HVSR. Tromino e sensore triassiale (set completo).

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con il software **winMAWS** distribuito dalla **Eliosoft**.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>9 di 30</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	9 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	9 di 30								

2.3 Tomografia elettrica di resistività ERT

Le prospezioni geoelettriche si basano sugli effetti prodotti da una corrente elettrica, di origine naturale o artificiale, rilevabili in superficie attraverso misure di differenza di potenziale. I metodi di investigazione attivi solitamente adottati, consistono in misurazioni della resistività elettrica.

La resistività elettrica, esprime la maggiore o minore predisposizione di un materiale a farsi attraversare dalla corrente e dipende da molteplici fattori, i più importanti dei quali sono la presenza di acque ionizzate e/o di particelle minerali metalliche nella struttura dei pori. Entrambi i fattori, infatti, possono dar luogo a traiettorie interne particolarmente conduttive, in contrasto con situazioni resistive caratterizzate da strutture compatte e/o pori anidri.

In particolare, la tecnica di tomografia elettrica di resistività (ERT), consente di ottenere gli andamenti della resistività nel sottosuolo in termini bidimensionali ovvero attraverso pseudo sezioni. In fase esecutiva, attraverso gli elettrodi C1 e C2, secondo una sequenza opportunamente predisposta ed automatizzata, si immette una corrente continua nel terreno, misurando la differenza di potenziale che si determina ai capi di altri due elettrodi, indicati con P1 e P2, posti secondo una geometria predefinita rispetto all'allineamento formato con gli altri due elettrodi C1 e C2.

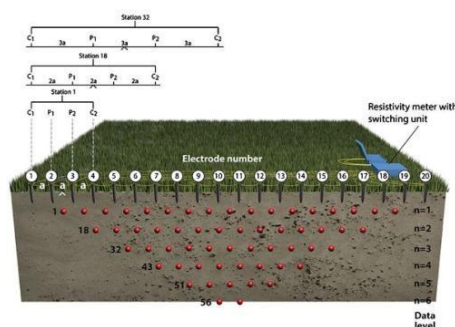


Figura 3. Indagine ERT. Esempio di configurazione per un tipico rilievo.

Dalle misure di campo si ottiene una pseudo sezione 2D del dato “misurato”, che fornisce un’ approssimazione della distribuzione di resistività nel sottosuolo. Il passo successivo è la risoluzione del cosiddetto *modello diretto* mediante il quale si ottiene una pseudo sezione in cui è rappresentata la distribuzione della resistività apparente calcolata, avvalendosi di un ipotetico rilievo compiuto sulla medesima struttura.

Verificata la congruenza tra la pseudo sezione misurata e la pseudo sezione calcolata, si deve procedere alla modellazione di un sottosuolo le cui caratteristiche elettriche siano proprio definite dai valori di resistività misurati in superficie. Tuttavia, affinché si possa risalire ad un modello di sottosuolo che sia in accordo con i dati misurati, è essenziale avvalersi dei cosiddetti *metodi d’inversione*.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>10 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	10 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	10 di 30								

La procedura d'inversione comporta che i parametri del modello siano costituiti da valori di resistività assegnati all'insieme di blocchi regolari costituenti il sottosuolo che sono posti successivamente a confronto con i valori misurati di resistività apparente.

Siccome è noto che per lo stesso insieme di dati esiste un'ampia gamma di modelli i cui valori calcolati di resistività apparente collimano con il dataset misurato, il metodo d'inversione cerca di minimizzare la differenza tra i valori di resistività apparente misurata e calcolata (problema di equivalenza). La variazione riscontrata è espressa in termini di scarto quadratico medio. L'iterazione che consente di ottenere un accordo tra i dati con il minore RMS possibile fornisce, il modello di sottosuolo che viene analizzato in fase interpretativa.

Le misurazioni sono state eseguite avvalendosi di un georesistivimetro multicanale marca **MAE modello X-612EM 96 Plus**, munito di convertitore A/D a 24 bits.

Allo strumento di acquisizione, sono stati collegati un numero variabile di elettrodi impolarizzabili (da min. n.43 a max n.60), in funzione della logistica, equidistanziati di 1.0 metro.

Per l'elaborazione dei dati di resistività, è stato utilizzato l'algoritmo di Loke e Barker (1996) ed in particolare il software **RES2DINV** della **Geotomo Int.**

Le pseudo sezioni bidimensionali ottenute, infine, sono state rappresentate mediante software di contouring, come l'Oasis Montaj® della Geosoft o Surfer® della Golden Software Inc.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>11 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	11 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	11 di 30								

2.4 Tomografia sismica a rifrazione SRT

Il metodo sismico a rifrazione, è un metodo non invasivo che si basa sulla misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche di volume (P e/o S), generate in superficie da una sorgente sismica e captate da ricevitori, anch'essi disposti in superficie, lungo un allineamento a diverse distanze dalla sorgente.

Le onde elastiche sono rilevate da un array di geofoni, infissi al suolo, con spaziatura regolare.

I tempi di primo arrivo, correlati alle diverse distanze sorgente-ricevitore, permettono la stima (calcolo) delle geometrie del sottosuolo (disposizione morfologica delle interfacce) e delle velocità di propagazione delle onde sismiche.

L'indagine eseguita con la metodologia della tomografia sismica a rifrazione necessita di un numero di tiri eseguiti sia internamente sia esternamente a ciascun stendimento.

Nel caso in oggetto, sono stati eseguiti un numero di tiri pari almeno a 5 (cinque). Di seguito, a titolo di esempio, si riporta lo schema adottato per una base sismica di lunghezza pari a 120 metri.

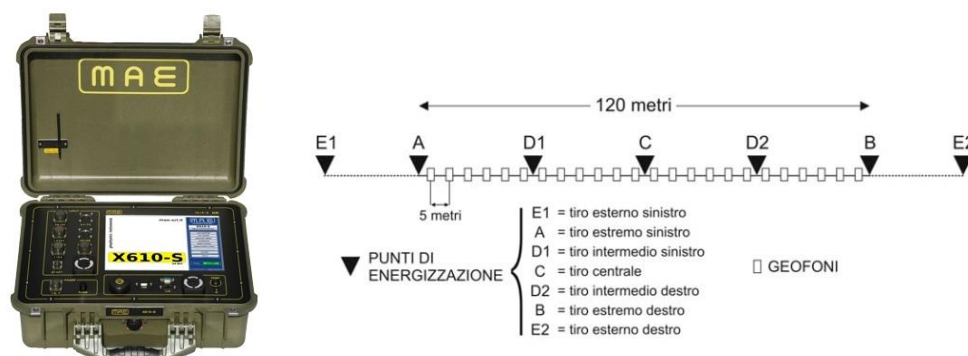


Figura 4. Tomografia sismica. Disposizione siti di energizzazione.

I dati acquisiti in campo sono stati sottoposti ad una fase di pre-processing avvalendosi del software **IXSeg2Segy** della **INTERPEX**. Tale fase è consistita nell'applicazione del DC removal, di filtraggio passa-banda e nell'ottimizzazione del guadagno.

Al fine di eseguite l'elaborazione, in termini di velocità di propagazione delle onde elastiche, sono stati ricavati tre file ascii relativi, rispettivamente, al numero e disposizione delle sorgenti (file source), al numero e disposizione dei geofoni (file receiver) ed ai tempi d'arrivo (file observations).

Tali file costituiscono l'input per il software tomografico **SeisOpt@2D** della **OptimTM software & data solutions**.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>12 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	12 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	12 di 30								

Il metodo tomografico utilizzato, si basa su un metodo di ottimizzazione non-lineare, noto come metodo di ottimizzazione numerica simulata (*simulated annealing*), utilizzato per ricavare un modello di velocità delle onde sismiche, ad elevata risoluzione, dalla misurazione dei tempi di arrivo delle onde P e delle onde S.

Le misurazioni sono state eseguite avvalendosi di un sismografo marca **MAE modello X-610S**, munito di convertitore A/D a 24 bits con tecnologia sigma-delta, impostato con una frequenza di campionamento di 7.500 cps ed una finestra di registrazione (periodo di acquisizione) di circa 0,5 secondi. Al sismografo sono stati collegati n.24 geofoni marca **OYO GEOSPACE**, a componente verticale ed orizzontale da 14 e 10 Hz, equidistanziati a seconda della logistica dei luoghi tra 1.0 e 2.0 metri.

3. RISULTANZE DEPOSITO STAGLIENO

3.1 Depositi Indagini MASW

3.1.1 Deposito di Staglieno

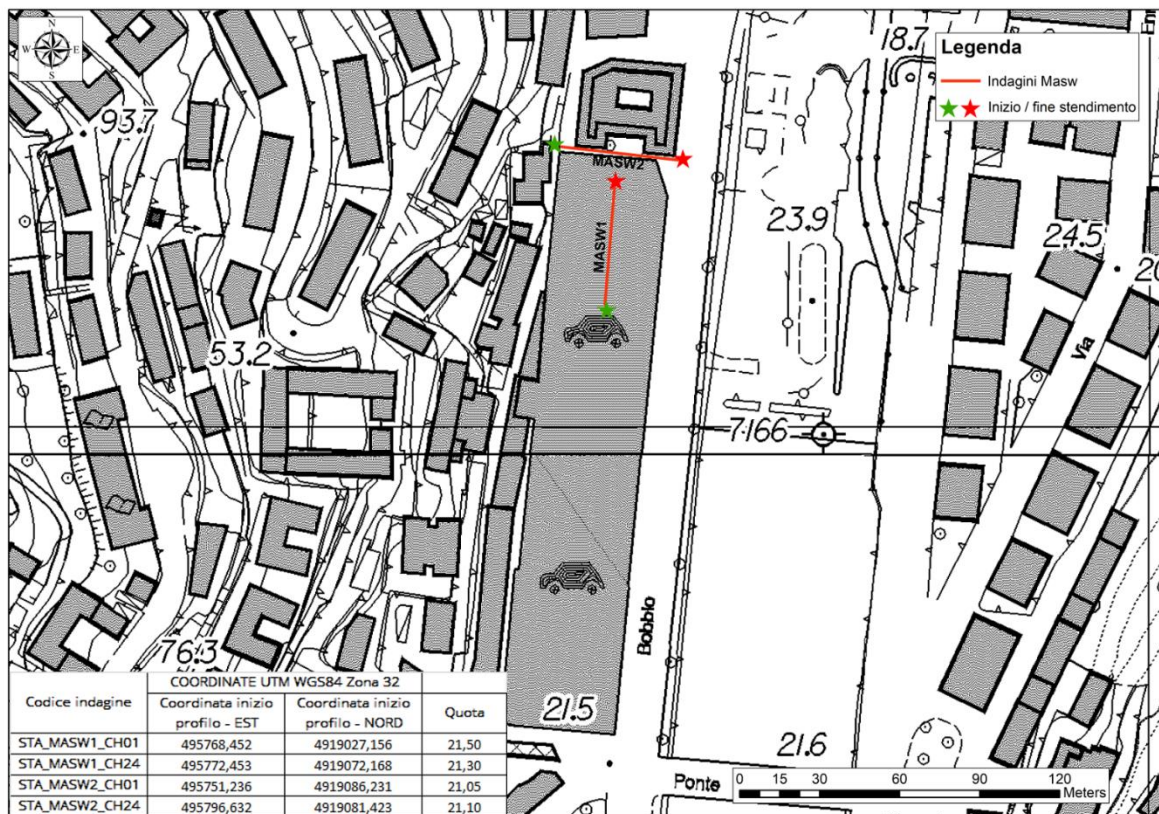


Figura 5. Ubicazione e coordinate indagini MASW deposito di "Staglieno".




	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA E21D	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE1500 001	REV. A	FOGLIO 14 di 30

Figura 6. Foto indagini MASW deposito di "Staglieno".

3.1.1.1 STA_MASW1

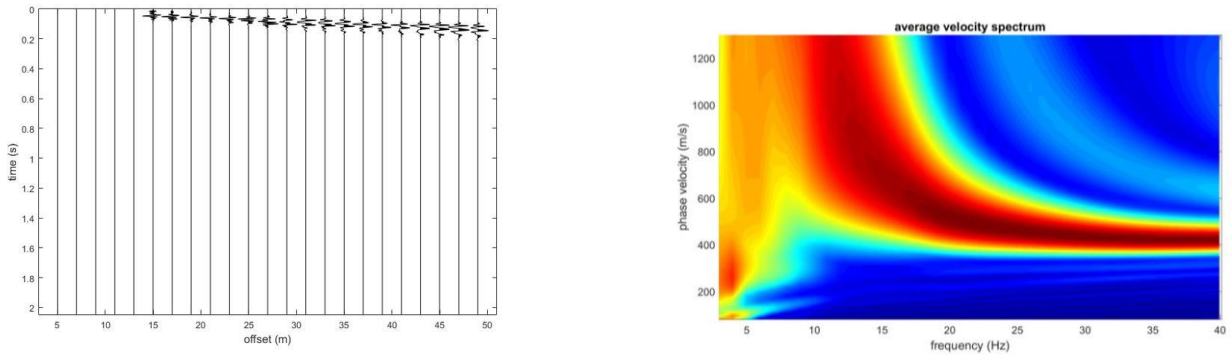


Figura 7. Indagine STA_MASW1. Sismogramma e curva di dispersione.

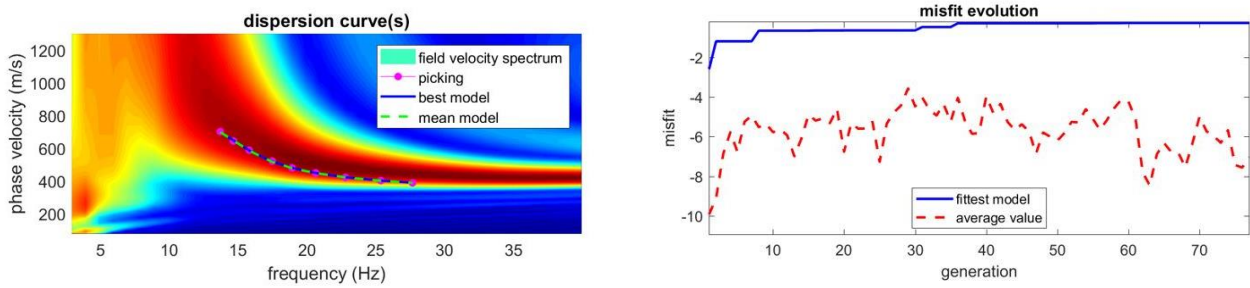
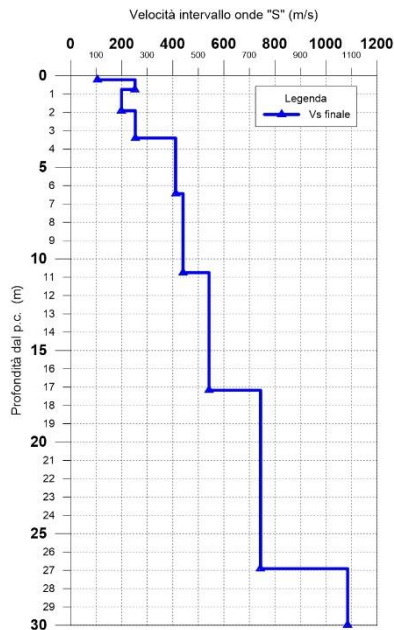


Figura 8. Indagine STA_MASW1. Spettro di velocità elaborato ed andamento del misfit.



Vs finale (m/s)	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c)	h/Vs
105	0.22	0.22	0.00210
252	0.53	0.75	0.00210
199	1.16	1.91	0.00583
253	1.49	3.40	0.00589
411	3.03	6.43	0.00737
440	4.32	10.75	0.00982
542	6.42	17.17	0.01185
744	9.74	26.91	0.01309
1085	3.08	29.99	0.00284

Figura 9. Indagine STA_MASW1. Profilo verticale delle onde di taglio (V_s) (a sn); tabella di sintesi degli spessori degli strati e relativa velocità delle onde di taglio (a dx).

3.1.1.2 STA_MASW2

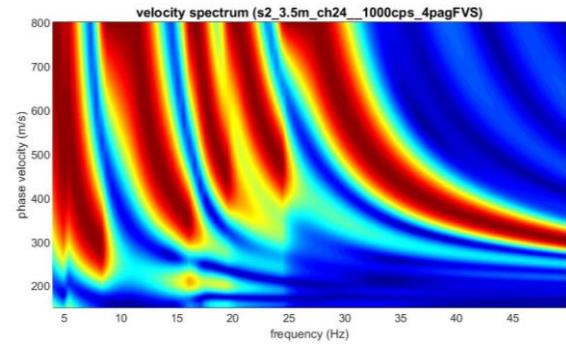
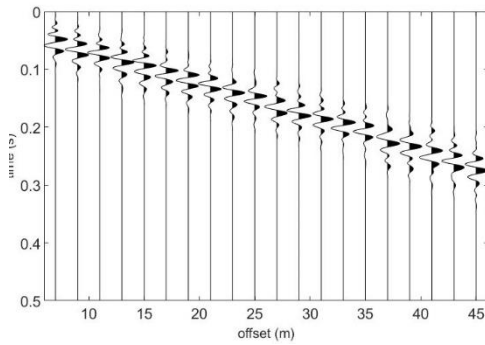


Figura 10. Indagine STA_MASW2. Sismogramma e curva di dispersione.

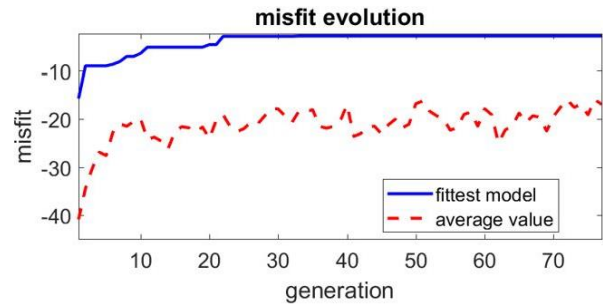
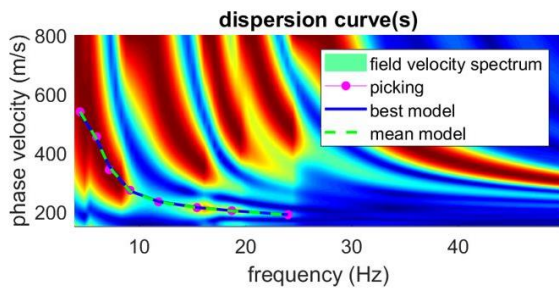
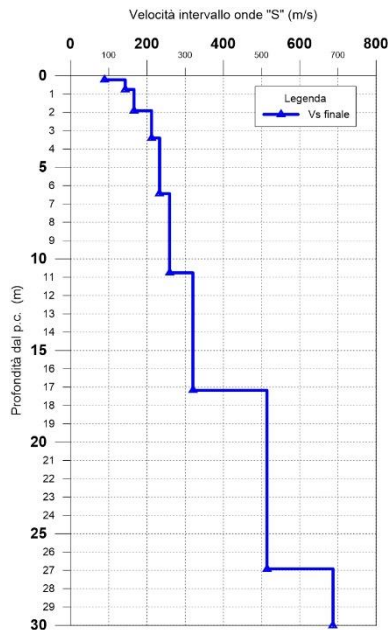


Figura 11. Indagine STA_MASW2. Spettro di velocità elaborato ed andamento del misfit.



Vs finale (m/s)	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c)	h/Vs
89	0.22	0.22	0.00251
143	0.53	0.75	0.00368
166	1.16	1.91	0.00700
212	1.49	3.40	0.00701
233	3.03	6.43	0.01302
259	4.32	10.76	0.01669
320	6.42	17.18	0.02007
514	9.74	26.92	0.01896
687	3.08	30.00	0.00448

Figura 12. Indagine STA_MASW2. Profilo verticale delle onde di taglio (V_s) (a sn); tabella di sintesi degli spessori degli strati e relativa velocità delle onde di taglio (a dx).

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>17 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	17 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	17 di 30								

3.1.2 Determinazione della categoria del sottosuolo

Come riportato nelle “Norme Tecniche per le Costruzioni”, approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, al fine di classificare il sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , l’approccio semplificato si basa sui valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,Eq}$ (in m/s), definita dall’espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- h_i spessore dell’i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato. definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido. caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Tale formulazione si applica, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili a determinate categorie.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,Eq}$, è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Nel caso sia presente il *bedrock sismico* ($V_s > 800$ m/s), la $V_{S,Eq}$ si misura dal piano campagna fino al substrato sismico.

Mediante le risultanze scaturite dalle prospezioni geofisiche descritte nel presente elaborato, l’elaborazione dei dati ha permesso di calcolare i valori della velocità equivalente e di determinare la categoria sismica del sottosuolo come di seguito riportato.



PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	18 di 30

Codice indagine	Valore di $V_{S,30}$ o $V_{S,Eq}$	Categoria di Sottosuolo
STA_MASW1	493 m/s	B
STA_MASW2	321 m/s	C

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
	REPORT INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA E21D	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE1500 001	REV. A

3.2 Depositi Indagini HVSR

3.2.1 Deposito di Staglieno

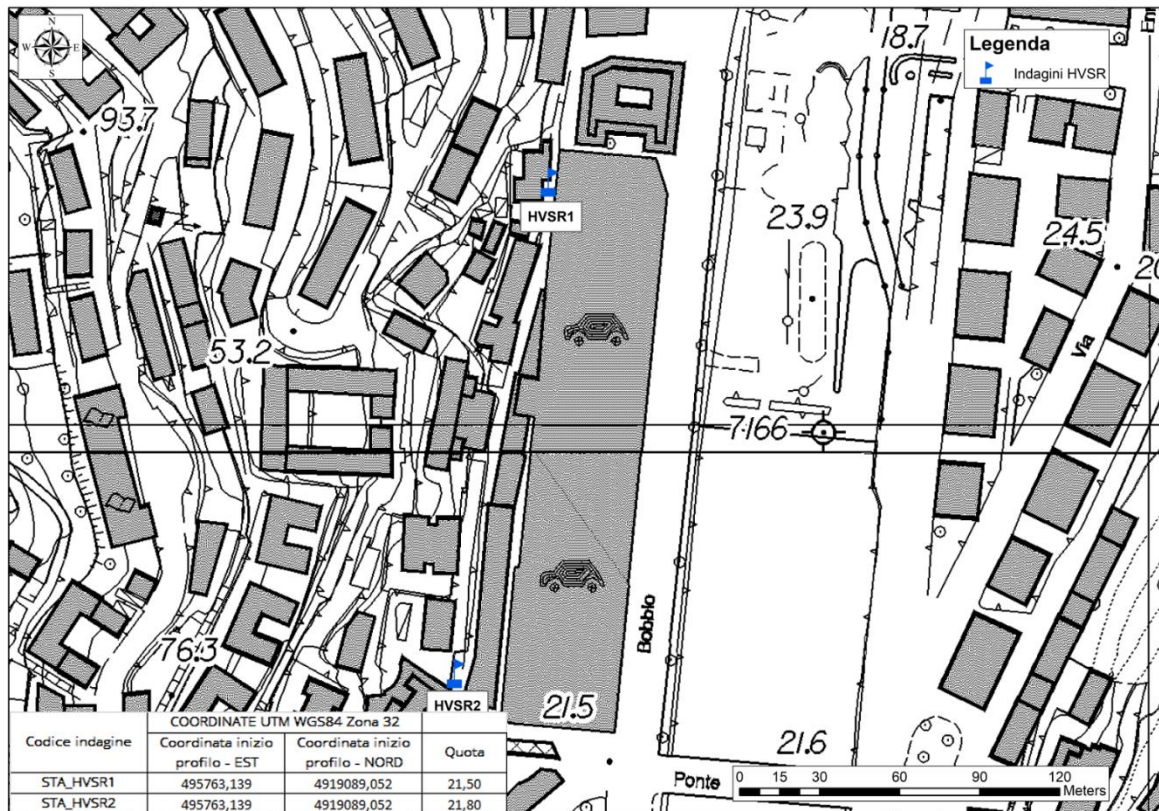


Figura 13. Ubicazione e coordinate indagini HVSR deposito di "Staglieno".



Figura 14. Foto indagini HVSR deposito di "Staglieno".

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   Engineering and Technical Services  ARCHITETTI ASSOCIATI	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">00 D 69</td> <td style="text-align: center;">IG</td> <td style="text-align: center;">GE1500 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">20 di 30</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	20 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	20 di 30								

3.2.1.1 STA_HVSR1

Di seguito, sono riportate le risultanze dell'indagine STA_HVSR1 tramite i seguenti elaborati:

- scheda di cantiere;
- segnale acquisito;
- continuità del segnale HVSR durante l'acquisizione (diagramma frequenza vs tempo);
- diagramma in cui sono raggruppati gli spettri medi di tutte e tre le componenti V. N. E;
- diagramma del segnale HVSR nel dominio delle frequenze con indicazione dell'intervallo di frequenza in cui sono stati verificati i criteri del progetto SESAME;
- diagramma della direzionalità del rapporto H/V inerente alla direzione di provenienza del segnale sul semipiano orizzontale;
- tabella riepilogativa delle grandezze d'interesse.

DATE	28/06/2021	HOUR	13:30	PLACE	Deposito Staglieno																																				
OPERATOR	Nocerino		GPS TYPE and #																																						
LATITUDE	44.424927°	LONGITUDE	8.946564°	ALTITUDE																																					
STATION TYPE	SENSOR TYPE																																								
	Tromino																																								
STATION #	HVSR1	SENSOR #		DISK #																																					
FILE NAME	HV1			POINT #																																					
GAIN	High	SAMPL. FREQ.	172 Hz	REC. DURATION	20 minutes																																				
WEATHER	WIND <input type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak (5m/s) <input type="checkbox"/> medium <input checked="" type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____																																								
CONDITIONS	RAIN <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____																																								
	Temperature (approx): 30 Remarks _____																																								
GROUND	<input checked="" type="checkbox"/> earth (<input type="checkbox"/> hard <input type="checkbox"/> soft) <input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> sand <input checked="" type="checkbox"/> rock <input type="checkbox"/> grass (<input type="checkbox"/> short <input type="checkbox"/> tall)																																								
TYPE	<input type="checkbox"/> asphalt <input checked="" type="checkbox"/> cement <input type="checkbox"/> concrete <input type="checkbox"/> paved <input type="checkbox"/> other _____ <input type="checkbox"/> dry soil <input type="checkbox"/> wet soil Remarks _____																																								
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____																																									
BUILDING DENSITY <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> scattered <input checked="" type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> other, type _____																																									
TRANSIENTS	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td></td> <td>none</td> <td>few</td> <td>moderate</td> <td>many</td> <td>very dense</td> <td>distance</td> </tr> <tr> <td>cars</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>trucks</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>pedestrians</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>other</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			none	few	moderate	many	very dense	distance	cars							trucks							pedestrians							other							MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers...) <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> yes, type _____ NEAREST STRUCTURES (trees, polls, buildings, bridges, underground structures, ...) (description, height, distance)			
	none	few	moderate	many	very dense	distance																																			
cars																																									
trucks																																									
pedestrians																																									
other																																									
OBSERVATIONS					FREQUENCY: _____ Hz (if computed in the field)																																				

Figura 15. Misure HVSR. Brogliaccio di cantiere HVSR1.

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>REPORT INDAGINI GEOFISICHE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>21 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	21 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	21 di 30								

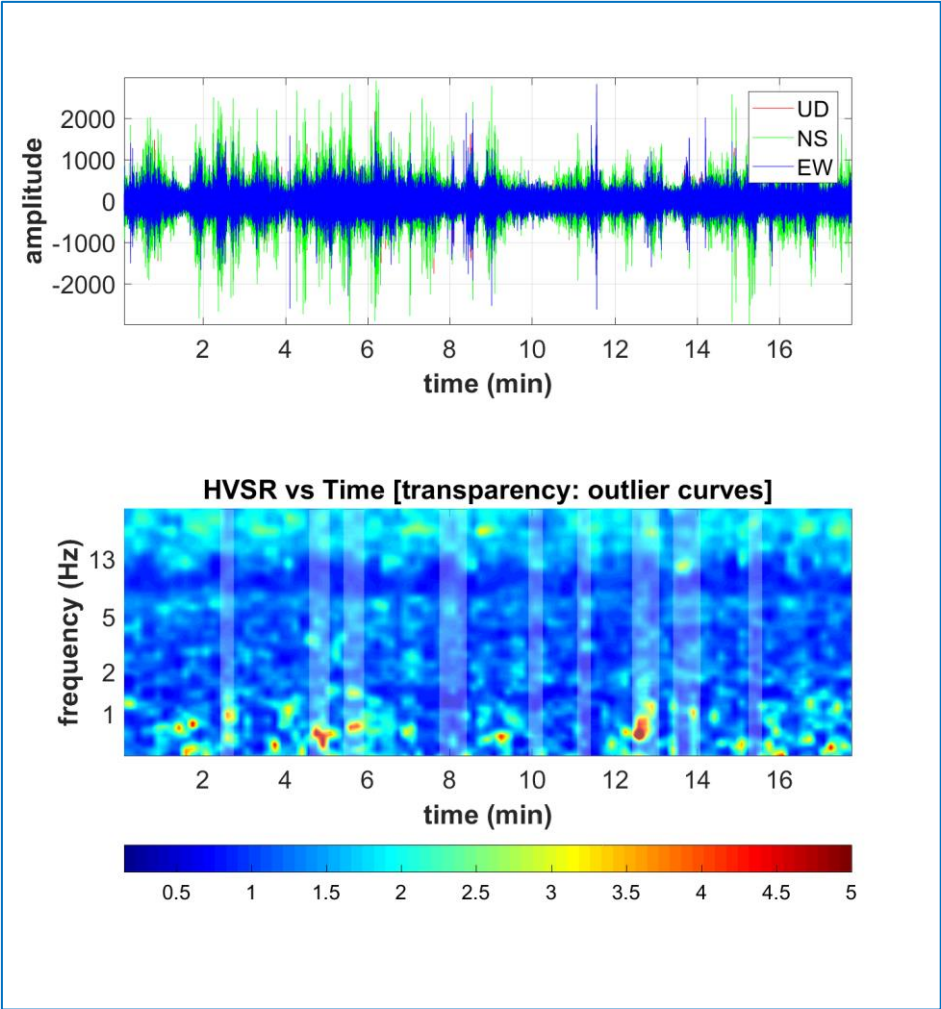


Figura 16. In alto è riportato il segnale acquisito.

In basso è riportato il diagramma frequenza vs tempo. della continuità del segnale HVSr durante l'acquisizione.

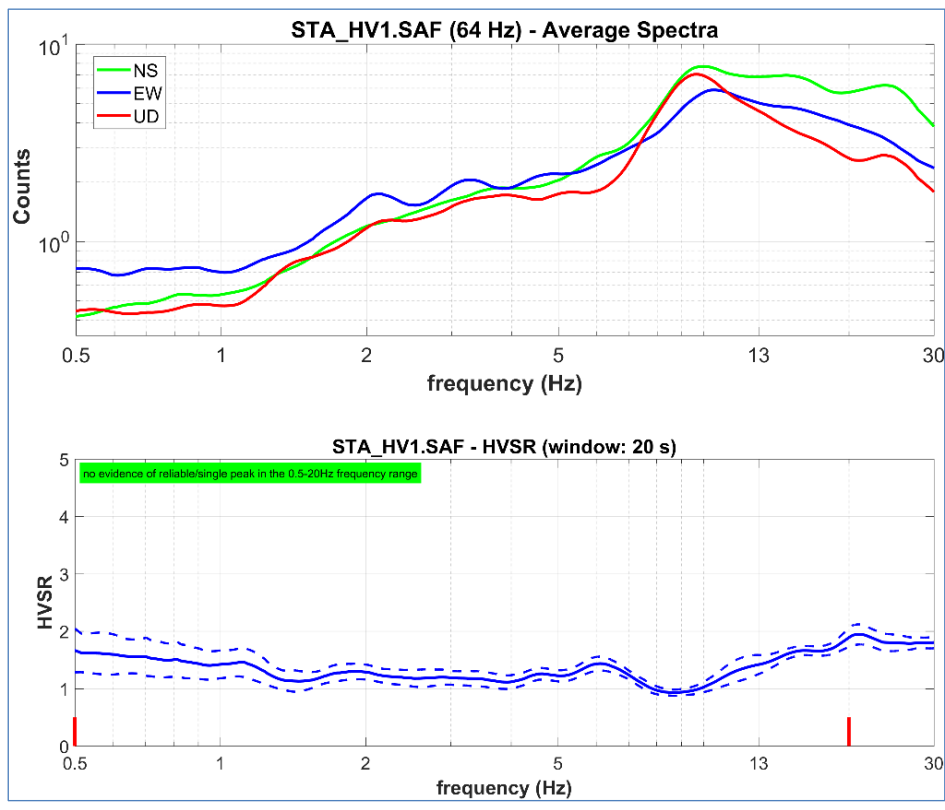


Figura 17. In alto è riportato il diagramma in cui sono raggruppati gli spettri medi delle tre componenti V. N. E. In basso è riportato il diagramma del segnale HVSR nel dominio delle frequenze con indicazione dell'intervallo di frequenza in cui sono stati verificati i criteri del progetto SESAME.

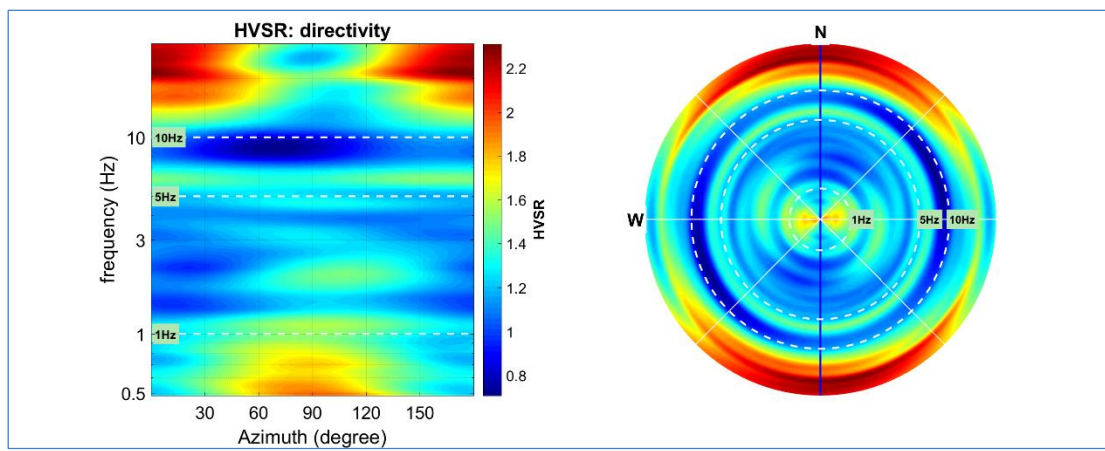


Figura 18. Diagramma della direzionalità del rapporto H/V inerente alla direzione di provenienza del segnale sul semipiano orizzontale.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>23 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	23 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	23 di 30								

Verifica criteri SESAME

Di seguito, è riportato il riepilogo delle grandezze d'interesse per l'indagine in oggetto tenendo in considerazione i criteri riportati nel progetto SESAME cui si rimanda per ulteriori approfondimenti.

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 1.0-10.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 4.3 (a1.1)

Peak HVSR value: 2.8 (a0.3)

==== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. $[f_0 > 10/Lw]: 4.299 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]: 8340 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]: \text{yes (considering standard deviations). at frequency } 1.1\text{Hz}$ (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]: \text{yes. at frequency } 6.6\text{Hz}$ (OK)
- #3. $[A_0 > 2]: 2.8 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \text{ a } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ a } 5\%]:$ (NO)
- #5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]: 1.106 > 0.215$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]: 0.535 < 1.58$ (OK)

Risultanze dell'indagine

Non si evidenzia alcun picco in frequenza.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA: E21D LOTTO: 00 D 69 CODIFICA: IG DOCUMENTO: GE1500 001 REV.: A FOGLIO: 24 di 30

3.2.1.2 STA_HVSR2

Di seguito, sono riportate le risultanze dell'indagine STA_HVSR2 tramite i seguenti elaborati:

- scheda di cantiere;
- segnale acquisito;
- continuità del segnale HVSR durante l'acquisizione (diagramma frequenza vs tempo);
- diagramma in cui sono raggruppati gli spettri medi di tutte e tre le componenti V. N. E;
- diagramma del segnale HVSR nel dominio delle frequenze con indicazione dell'intervallo di frequenza in cui sono stati verificati i criteri del progetto SESAME;
- diagramma della direzionalità del rapporto H/V inerente alla direzione di provenienza del segnale sul semipiano orizzontale;
- tabella riepilogativa delle grandezze d'interesse.

DATE	28/06/2021	HOUR	15:30	PLACE	Deposito Staglieno																																			
OPERATOR	Nocerino		GPS TYPE and #																																					
LATITUDE	44.423223°	LONGITUDE	8.946127°	ALTITUDE																																				
STATION TYPE	Tromino																																							
STATION #	HVSR2	SENSOR #	DISK #																																					
FILE NAME	HV1			POINT #																																				
GAIN	High	SAMPL. FREQ.	172 Hz	REC. DURATION	20 minutes seconds																																			
WEATHER	WIND <input type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak (5m/s) <input type="checkbox"/> medium <input checked="" type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____																																							
CONDITIONS	RAIN <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____																																							
Temperature (approx): 29 Remarks _____																																								
GROUND TYPE	<input checked="" type="checkbox"/> earth (<input type="checkbox"/> hard <input checked="" type="checkbox"/> soft) <input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> sand <input checked="" type="checkbox"/> rock <input type="checkbox"/> grass = (<input type="checkbox"/> short <input type="checkbox"/> tall)																																							
<input type="checkbox"/> asphalt <input checked="" type="checkbox"/> cement <input type="checkbox"/> concrete <input type="checkbox"/> paved <input type="checkbox"/> other _____ <input type="checkbox"/> dry soil <input type="checkbox"/> wet soil Remarks _____																																								
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____																																								
BUILDING DENSITY <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> scattered <input checked="" type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> other, type _____																																								
TRANSIENTS <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>none</th> <th>few</th> <th>moderate</th> <th>many</th> <th>very dense</th> <th>distance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>cars</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>trucks</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>pedestrians</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>other</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				none	few	moderate	many	very dense	distance	cars							trucks							pedestrians							other							MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers...) <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> yes, type _____		
	none	few	moderate	many	very dense	distance																																		
cars																																								
trucks																																								
pedestrians																																								
other																																								
NEARBY STRUCTURES (trees, polls, buildings, bridges, underground structures...) (description, height, distance) _____																																								
OBSERVATIONS					FREQUENCY: _____ Hz (if computed in the field)																																			

Figura 19. Misure HVSR. Brogliaccio di cantiere HVSR2.

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>REPORT INDAGINI GEOFISICHE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>25 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	25 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	25 di 30								

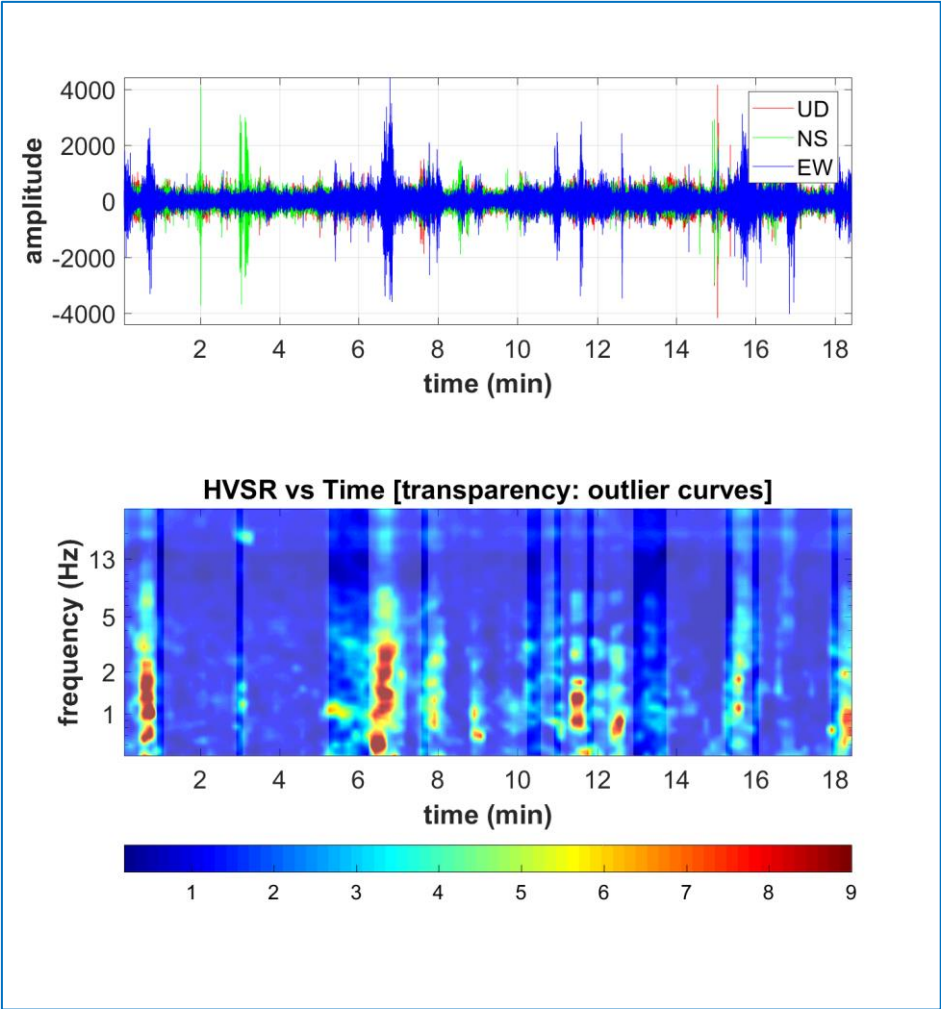


Figura 20. In alto è riportato il segnale acquisito.

In basso è riportato il diagramma frequenza vs tempo della continuità del segnale HVSr durante l'acquisizione.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>26 di 30</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	26 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	26 di 30								

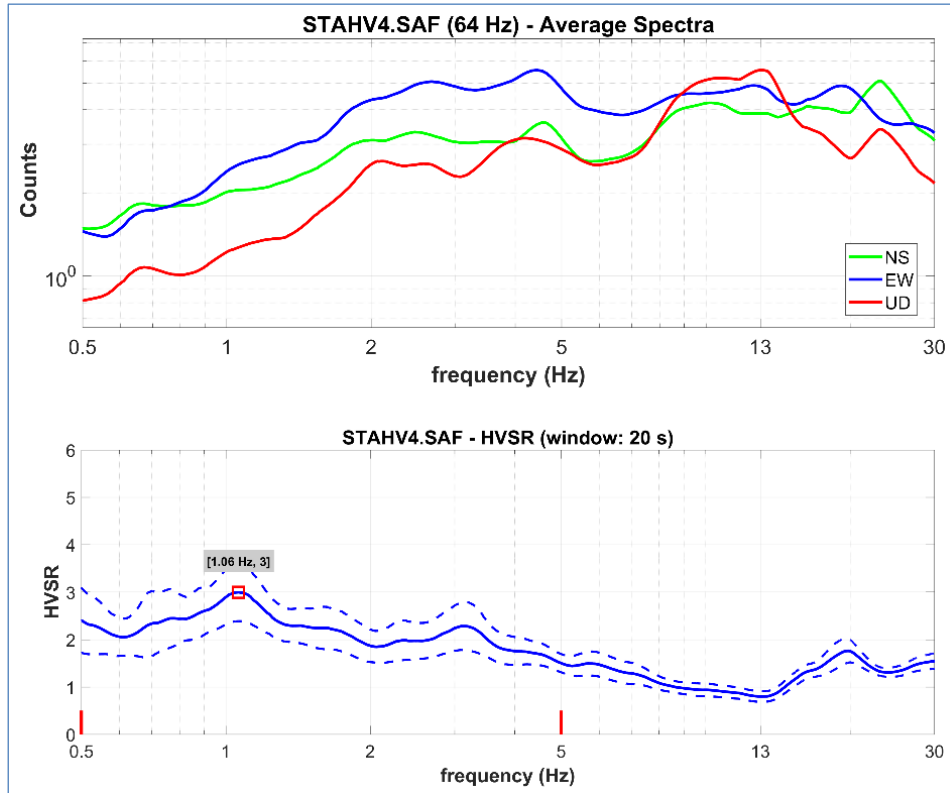


Figura 21. In alto è riportato il diagramma in cui sono raggruppati gli spettri medi delle tre componenti V. N. E. In basso è riportato il diagramma del segnale HVSr nel dominio delle frequenze con indicazione dell'intervallo di frequenza in cui sono stati verificati i criteri del progetto SESAME.

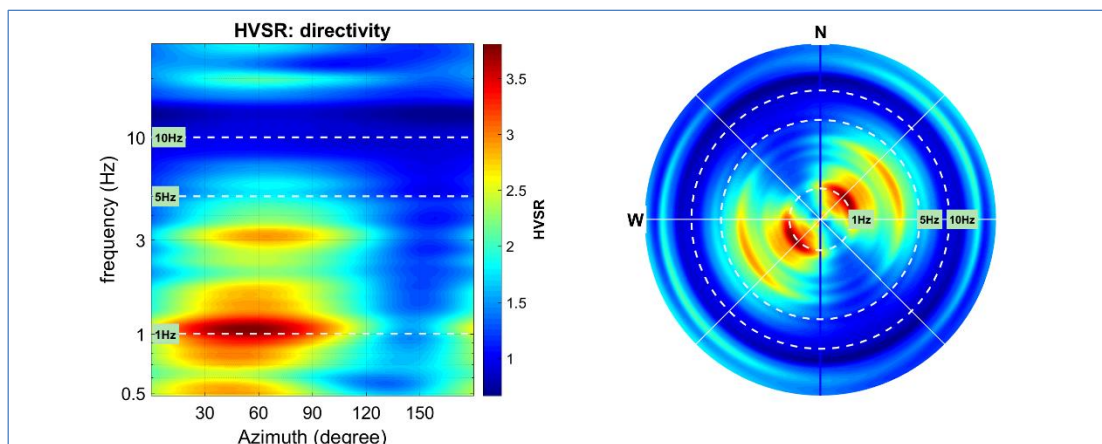


Figura 22. Diagramma della direzionalità del rapporto H/V inerente alla direzione di provenienza del segnale sul semipiano orizzontale.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>27 di 30</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	27 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	27 di 30								

Verifica criteri SESAME

Di seguito, è riportato il riepilogo delle grandezze d'interesse per l'indagine in oggetto tenendo in considerazione i criteri riportati nel progetto SESAME cui si rimanda per ulteriori approfondimenti.

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 3.0-6.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 5.4 (±0.9)

Peak HVSR value: 3.0 (±0.3)

==== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. $[f_0 > 10/Lw]: 5.393 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]: 10031 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]:$ yes (considering standard deviations). at frequency 1.6Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]:$ yes. at frequency 10.8Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]: 3.0 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]:$ (OK)
- #5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]: 0.949 > 0.270$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]: 0.780 < 1.58$ (OK)

Risultanze dell'indagine

Codice indagine	Picco di Frequenza	Picco HVSR	Profondità stimata bedrock ($f=Vs/4h$)
STA_HVSR2	1.1 Hz	3.0	35 m

3.3 Depositi Indagini ERT

3.3.1 Deposito di Staglieno



Figura 23. Ubicazione e coordinate indagini ERT deposito di "Staglieno".



Figura 24. Foto indagini ERT deposito di "Staglieno".

3.3.1.1 STA_ERT1

Per quanto concerne il profilo di resistività elettrica STA_ERT1, realizzato all'interno della rimessa AMT di Staglieno, in direzione nord-sud, dalla pseudosezione geoelettrica è stato possibile ricavare un modello in cui non si distinguono elettrostrati continui, ma una forte eterogeneità nella distribuzione dei valori di resistività.

In particolare, si evidenzia un assetto geoelettrico generale, con caratteristiche elettrostratigrafiche dell'area in cui si osservano mediamente valori di resistività compresi tra circa 30 e 300 Ωm , con la presenza di diversi passaggi latero-verticale a zone caratterizzate da valori di resistività che raggiungono i limiti di scala inferiori e superiori, la cui origine risulta di incerta attribuzione.

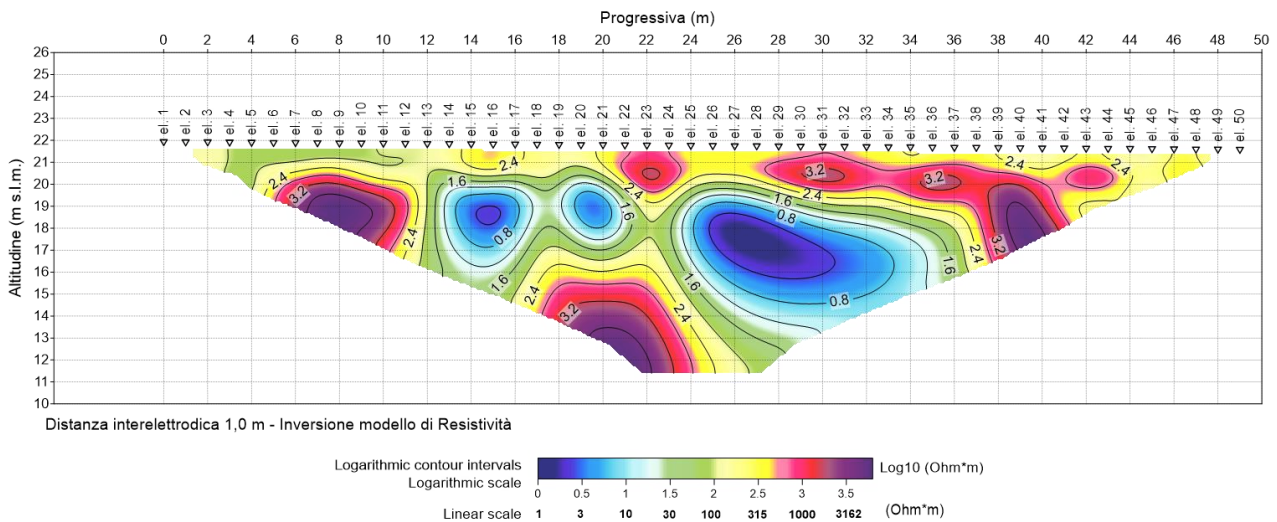


Figura 25. Profilo STA_ERT1.
Pseudo-sezione elettrica di resistività.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
REPORT INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>00 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE1500 001</td> <td>A</td> <td>30 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	30 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	00 D 69	IG	GE1500 001	A	30 di 30								

3.3.1.2 STA_ERT2

Per quanto concerne il profilo di resistività elettrica STA_ERT2, realizzato all'esterno della rimessa AMT di Staglieno, in direzione ovest-est, nella via Passo Spano, dalla pseudosezione geoelettrica è stato possibile ricavare un modello in cui si distinguono due elettrostrati principali, entrambi caratterizzati da forte eterogeneità nella distribuzione dei valori di resistività.

In particolare, il primo elettrostrato si estende dal piano campagna fino a circa 3 metri di profondità ed è caratterizzato da valori di resistività compresi tra circa 40 Ωm e 250 Ωm .

Il secondo elettrostrato, che si estende da 3 metri di profondità fino alla massima profondità di investigazione (circa 5 metri), è caratterizzato da una forte eterogeneità laterale, con valori di resistività che variano tra circa 1 e 1500 Ωm .

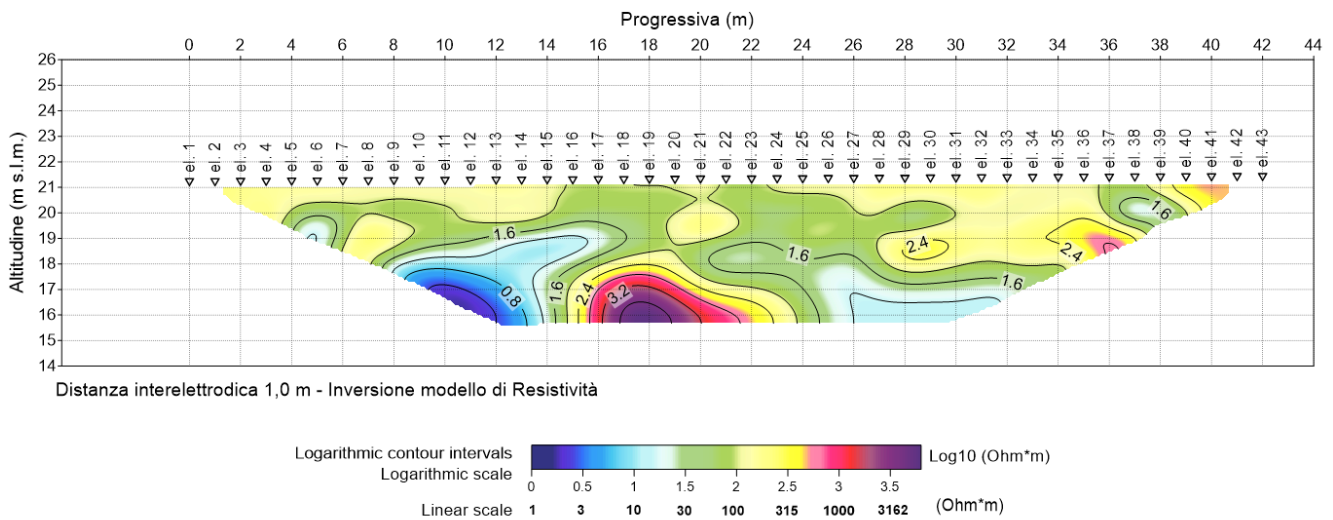


Figura 26. Profilo STA_ERT2.
Pseudo-sezione elettrica di resistività.