PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

REGIONE DEL VENETO

CONFERENZA DELLE REGIONI E DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA
Relazione Illustrativa

Livello 2 con approfondimenti di Livello 3

Regione Veneto
Comune di Erbezzo (VR)

Regione	Soggetto realizzatore	Data
	GEODELTA SRL STP Dott. Geol. Jacopo De Rossi COLLABORATORI: Dott. Geol. Francesco Marinoni	Marzo 2025

SOMMARIO

1 PREMESSA....3

2 CARTA DELLE INDAGINI - AGGIORNAMENTO 5

2.1 Nuove indagini geofisiche 7

2.2 Misure MASW: Operazioni di campagna ed Elaborazione dati 8

2.3 Analisi del rumore sismico ambientale (tecnica HVSR) 9

2.4 Risultati ottenuti con le indagini geosismiche 10

2.5 Metodo Geoelettrico (modalità tomografica ERT) 11

2.5.1 Strumentazione impiegata e procedure applicate.... 13

2.5.2 Acquisizione dati Geoelettrici (modalità tomografica ERT) 14

2.5.3 Interpretazione dei profili geoelettrici.... 16

3 CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI 18

4 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO....19

4.1 Premessa.... 19

4.2 Determinazione dei fattori di amplificazione (FA).... 20

4.2.1 Premessa 20

4.2.2 Definizione delle accelerazioni di base.... 21

4.2.3 Caratteristiche sismostratigrafiche del sottosuolo.... 22

4.2.4 Curve dinamiche dei materiali 23

4.2.5 Modellazione sismica.... 25

4.2.6 Analisi di disaggregazione.... 26

4.2.7 Estrazione input sismici 27

4.2.8 Risultati ottenuti.... 29

4.3 Valutazione degli effetti morfologici.... 30

4.3.1 Zona di scarpata 30

4.3.2 Zona di cresta e/o cocuzzolo.... 34

4.4 Valutazioni sul fenomeno della liquefazione.... 38

4.5 Instabilità di versante 38
4.5.1 Frane attive e/o quiescenti 38
4.5.2 Aree potenzialmente in frana 38

4.6 Fenomeni di crollo di cavità 42

4.7 Faglie attive e capaci 42

5 SINTESI DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE DI 2° LIVELLO....43

6 PROPOSTA DI PRESCRIZIONI NORMATIVE.....45

6.1 Amplificazioni litostratigrafiche 45
6.1.1 Modalità di applicazione degli approfondimenti 45

6.2 Aree con effetti morfologici di scarpata e dorsale 48

6.3 Aree interessate da instabilità gravitative 48

6.4 Zone di Attenzione per Crollo di Cavità 49

6.5 Zone di Attenzione per Faglie Attive e Capaci 49

10. BIBLIOGRAFIA 50

1 PREMESSA

Su incarico del Comune di Erbezzo è stato redatto lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 2. Il Comune di Erbezzo risulta classificato in zona sismica 2 ai sensi della DGRV n. 244 del 9 marzo 2021.

Lo studio è stato predisposto ai sensi della DGR 1572/2013: "*Definizione di una metodologia teorica e sperimentale per l'analisi sismica locale a supporto della pianificazione. Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica. (D.G.R. 71/2008, D.G.R. 2877/2008 e D.lgs. 163/2006 e abrogazione D.G.R. n. 3308/08)*" e dello specifico Allegato A): "*Linee guida per l'esecuzione di studi di Microzonazione Sismica*".

A tale proposito, il capitolo 1 dell'Allegato A) cita "*2° Livello: ha come obiettivo la redazione della MS e si applica in sede di P.I. a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato" così come previsti dalla normativa vigente".* Inoltre, la DGRV 899/2019 specifica che *"in particolare deve essere applicato anche a tutti gli ambiti di urbanizzazione consolidata, di edificazione diffusa, nelle zone a servizi di interesse intercomunale e in quelle oggetto di accordi di programma con previsioni insediative o infrastrutturali."*

Lo studio di 2° livello fa riferimento al precedente studio di Microzonazione (al quale si rimanda per tutte le informazioni di carattere generale e per quelle riguardanti le indagini raccolte e realizzate in quella sede) ed è stato redatto considerando le seguenti direttive:

- "*Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*" – Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile - Anno 2008.
- "*Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della microzonazione sismica*" Ver 4.2 Dicembre 2020 - Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica.
- DGRV n. 899 del 28 giugno 2019: "*Linee guida regionali per gli Studi di Microzonazione Sismica per gli strumenti urbanistici comunali. Chiarimenti e precisazioni sulle modalità operative. Studi di Microzonazione Sismica Direttive per l'applicazione dei livelli di* approfondimento.
- DGRV n. 1381 del 12 ottobre 2021: "*Linee guida regionali per gli studi di Microzonazione Sismica per gli strumenti urbanistici comunali. Modifiche alla D.G.R. 1572/2013 e chiarimenti sulle modalità operative.*"
- "*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte*" Vers. 1.0 – 2017 - Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica.

- “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)” Vers. 1.0 - 2015 - Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica.

Lo studio di Livello 2 si è articolato nelle seguenti fasi principali:

- Riesame dello studio di 1° Livello
- Esecuzione ed elaborazione di nuove indagini geosismiche;
- Ricerca ed analisi di nuove indagini geofisiche e geognostiche;
- Sintesi di tutti i dati raccolti;
- Determinazione degli effetti litostratigrafici e morfologici;
- Analisi delle aree soggette a instabilità e valutazione della franosità potenziale sismoindotta;
- Elaborazione della cartografia e relativi commenti.
- Redazione della relazione illustrativa contenente, tra l’altro, una proposta di normativa.

In relazione alla particolare conformazione geologica e geomorfologica nel territorio collinare, è stato effettuato un approfondimento di Livello 3 relativamente alle tematiche dell’amplificazione sismica.

La cartografia delle aree esaminate nel corso del presente studio è riportata negli allegati in estratti in scala 1:10.000 per ogni singolo tema:

- Carta delle indagini
- Carta delle frequenze naturali dei depositi
- Carta delle instabilità cosismiche
- Carta della microzonazione

Lo studio si completa, oltre alla presente relazione, con un allegato in cui vengono raccolti i report delle nuove indagini geofisiche realizzate appositamente per questo studio.

2 CARTA DELLE INDAGINI - AGGIORNAMENTO

Nell'ambito dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 sono state effettuate nuove indagini ed è stato aggiornato l'elenco delle indagini pregresse resesi disponibili dopo la realizzazione degli studi di MS precedenti.

Le nuove indagini sono costituite da

- 2 prove puntuali con tecnica HVSR;
- 4 indagini lineari con tecnica MASW
- 6 profili tomografici di resistività (ERT)

Nella carta sono state inserite le nuove indagini geofisiche e geognostiche e tutte le indagini inserite nella Carta delle Indagini redatta nello studio di Livello 1.

Il codice delle nuove indagini raccolte riparte dalla numerazione precedente in modo tale da non creare sovrapposizioni e/o doppi codici, con conseguenti difficoltà di interpretazione. Nella carta i codici delle indagini sono conformi alle indicazioni fornite dalle Linee Guida. Le valutazioni e le analisi eseguite nel presente studio hanno tenuto conto anche delle indagini precedenti.

Le nuove indagini e quelle pregresse sono elencate nelle tabelle 1 e 2, dove sono riportati i codici identificativi e la tipologia di indagini secondo le specifiche previste dagli IMCS.

Tabella 1: indagini di tipo puntuale

(Le indagini in grigio sono state raccolte/realizzate ex novo per il presente studio)

n.	Codice indagine	Tipo indagine
1	023033P1	HVSR
2	023033P2	HVSR
3	023033P3	HVSR
4	023033P4	HVSR
5	023033P5	HVSR
6	023033P6	HVSR
7	023033P7	HVSR
8	023033P8	HVSR
9	023033P9	HVSR
10	023033P10	HVSR
11	023033P11	T
12	023033P12	T
13	023033P13	T
14	023033P14	T
15	023033P15	T
16	*023033P16*	*HVSR*
17	*023033P17*	*HVSR*
18	*023033P18*	*T*
19	*023033P19*	*T*
20	*023033P20*	*HVSR*

Tabella 2: indagini di tipo lineare

(Le indagini in grigio sono state realizzate ex novo per il presente studio)

n.	Codice Indagine	Tipo indagine
1	023033L1	MASW
2	023033L2	MASW
3	023033L3	MASW
4	023033L4	MASW
5	023033L5	MASW
6	*023033L6*	*MASW*
7	*023033L7*	*MASW*
8	*023033L8*	*MASW*
9	*023033L9*	*MASW*
10	*023033L10*	*ERT*
11	*023033L11*	*ERT*
12	*023033L12*	*ERT*
13	*023033L13*	*ERT*
14	*023033L14*	*ERT*
15	*023033L15*	*ERT*

Il codice delle indagini corrisponde alle seguenti tipologie:

- HVSR Prova microtremore a stazione singola
- MASW Prova Multichannel Analysis of Surface Waves
- T Trincea
- ERT Tomografia Elettrica

Le indagini sono riportate nella Carta delle Indagini ove, oltre al simbolo identificativo della tipologia, è stato anche riportato il codice per una loro più facile collocazione nell'ambito di ogni area. Nella Carta, per rendere la lettura più chiara, è stato riportato il codice con l'esclusione dei primi sei caratteri (uguali per tutte le indagini e corrispondente a 023033) relativi al codice ISTAT della Provincia di Verona e del Comune di Erbezzo. I risultati delle indagini geofisiche realizzate nel corso del presente studio sono riportati in Allegato 1 alla presente relazione.

2.1 Nuove indagini geofisiche

Al fine di acquisire alcuni parametri inerenti le caratteristiche sismiche del sottosuolo, sono state eseguite nuove misure geofisiche in aree dove risultava necessario un infittimento delle indagini rispetto a quanto eseguito nel corso della MS di Livello 1 e dove erano state evidenziate delle specifiche problematiche. Sono state utilizzate le seguenti metodologie:

- analisi delle onde di superficie con tecnica "MASW" per determinare la velocità delle onde di taglio (onde "S");
- studio del rumore sismico ambientale con tecnica HVSR per misurare la frequenza di risonanza del terreno.
- geoelettrica finalizzata alla ricerca di anomalie di resistività nel sottosuolo, potenzialmente riconducibili a cavità sepolte.

La prospezione geofisica, eseguita sul terreno nei mesi di ottobre e novembre 2024, si è articolata in:

- N° 4 stendimenti sismici utilizzando la tecnica MASW o, in alternativa, stendimenti sismici a rifrazione in onde "S".
- N° 2 stazioni di misura con tecnica a stazione singola HVSR
- N° 6 profili tomografici di resistività (ERT)

2.2 Misure MASW: Operazioni di campagna ed Elaborazione dati

Per l'acquisizione degli impulsi sismici è stato usato un sismografo digitale a 24 tracce, modello "Geode", della Ditta EG & G GEOMETRICS e geofoni verticali e orizzontali con frequenza propria di 4,5 Hz. Il tempo di registrazione è stato fissato, per ogni registrazione, pari a 2 secondi, con intervallo di campionamento di 0,5 ms. Come sorgente di energia sismica è stata utilizzata una massa battente. La registrazione dei dati è avvenuta su personal computer portatile, collegato al sismografo.

L'elaborazione dei dati acquisiti con tecnica MASW è stata fatta con il software winMASW 2018 Academy che consente l'analisi delle onde di Rayleigh e delle onde di Love; inoltre è possibile effettuare un'analisi congiunta degli spettri relativi a queste due tipologie di onde. Questo software permette di eseguire una modellazione diretta degli spettri oppure di fare l'inversione della curva di dispersione.

In relazione al particolare assetto geologico del territorio in esame, dove il substrato lapideo è subaffiorante o si trova a pochi metri di profondità, è stata utilizzata la tecnica che analizza le onde di Love, poiché in questo contesto dovrebbero generare spettri più chiari e quindi di più semplice interpretazione rispetto a quelli ottenuti con le onde di Rayleigh.

In sintesi, l'elaborazione si articola nei seguenti passaggi principali:

- Implementazione del file di registrazione (dataset) e delle caratteristiche geometriche del profilo;
- determinazione dello spettro di velocità;
- modellazione diretta dello spettro e generazione del modello di velocità delle Vs;
- eventuale costruzione della curva di dispersione (picking) ed inversione della curva di dispersione.

Il risultato finale di tali elaborazioni consiste in un diagramma nel quale è riportato l'andamento della velocità delle onde di taglio in funzione della profondità; il profilo verticale delle Vs è riferito al centro dello stendimento, ed è relativo al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento realizzato in superficie. Nell'allegato 2 sono illustrate, per ogni profilo sismico, le immagini relative ai passaggi sopraelencati.

Inoltre, lungo i medesimi profili sismici sono state effettuate le acquisizioni anche con la classica tecnica a rifrazione in onde di taglio (onde "S"). Tale accorgimento è stato adottato perché in alcune situazioni geologiche (ad esempio roccia a debole profondità) la tecnica MASW fornisce spettri poco definiti e non interpretabili, poiché non si verifica il fenomeno della "dispersione".
I profili a rifrazione sono stati realizzati eseguendo tre punti di energizzazione lungo lo stendimento; l'elaborazione è stata effettuata utilizzando il metodo dei tempi intercetti.

Nella tabella seguente sono descritte le caratteristiche geometriche dei profili sismici.

Tabella 3: caratteristiche linee sismiche

Codice profilo MASW	Lunghezza (m)	Passo inter-geofonico (m)	Source offset andata (m)	Source offset ritorno (m)
023033L6	42	2	4	4
023033L7	42	2	4	4
0023033L8	42	2	4	4
023033L9	42	2	4	4

2.3 Analisi del rumore sismico ambientale (tecnica HVSR)

La campagna di acquisizione di rumore sismico si prefigge due scopi. La ricostruzione della profondità dei principali contrasti di impedenza acustica del sottosuolo e l'individuazione di particolari frequenze di risonanza dei suoli.

E' noto dalla letteratura, alla quale fa riferimento il presente paragrafo, che il rumore sismico è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P ed S negli strati superficiali. Il rumore sismico, onnipresente e continuo, viene prodotto principalmente dal vento, da perturbazioni atmosferiche, da onde oceaniche e marine. Anche le industrie e il traffico veicolare producono localmente rumore sismico ma, in genere, solo a frequenze relativamente alte, superiori ad alcuni Hz, che vengono attenuate piuttosto rapidamente.

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, Kanai,1957; Igarashi 1970; Nakamura 1989) permette di estrarre informazioni relative al sottosuolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremori (rumore sismico).

La natura generatrice del rumore sismico registrato, e dei relativi picchi dei rapporti spettrali, è tuttora molto discussa in ambito scientifico: i microtremori non sono costituiti esclusivamente da onde di volume (P e S), ma principalmente da onde di superficie, in particolare di Rayleigh (Lachet and Bard,1994). Se assumiamo che in un semispazio i 2 strati differiscano, in modo rilevante, in termini di velocità sismica e densità (contrasto di impedenza acustica), e che la risonanza sia legata alla lunghezza d'onda (λ) incidente pari a 4 volte lo spessore h del primo strato (ipotesi λ/4), si può ricavare una stima della profondità del rifrattore sismico dal riconoscimento della frequenza di risonanza propria del sottosuolo. In altri termini, nota la frequenza di risonanza (f) propria del sito,

ricavata dal rapporto spettrale H/V e la stima delle Vs, è possibile determinare lo spessore (h) di una coltre sedimentaria soprastante un bedrock sismico, applicando la relazione f = Vs / 4 h.

Le misure eseguite nel corso di questa indagine, sono state effettuate con un sismografo modello SR04S3 “Geobox” prodotto dalla Ditta SARA S.r.l.. Si tratta di un tromografo digitale avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0,1 a 100 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit). Lo strumento viene posizionato sul terreno orientandolo verso il Nord magnetico ed assicurandone la livellazione micrometrica tramite bolla di precisione, agendo sui tre punti di appoggio. Lo strumento è gestito da p.c. portatile per mezzo del software “Seismowin”, fornito dalla ditta costruttrice. Le stazioni di misura hanno avuto durate di acquisizione variabili tra 15 e 30 minuti; la frequenza di campionamento è stata mantenuta pari a 200 Hz.

I dati acquisiti sono stati trattati con il software di elaborazione di microtremori “Geopsy” (Sesame Projet), in accordo con le direttive europee del progetto SESAME per il trattamento e l'elaborazione delle tecniche di analisi di rumore sismico a stazione singola. I segnali acquisiti sono stati suddivisi in finestre temporali di 20 o 30 s. Dal computo spettrale sono stati esclusi gli eventi transienti più evidenti, legati al rumore antropico.

2.4 Risultati ottenuti con le indagini geosismiche

Le indagini eseguite, hanno consentito una ricostruzione sufficientemente dettagliata dell’assetto sismostratigrafico del sottosuolo, per ottenere i parametri richiesti dallo studio di MS. Di seguito si riassumono i risultati ottenuti, i quali fanno riferimento agli spettri ed ai diagrammi ricavati con le metodologie adottate e riportati in Allegato alla presente relazione.

L’elaborazione dei dati sismici consente di formulare le seguenti correlazioni tra velocità sismiche delle onde di taglio e tipologia di terreni presenti.

Tabella 4: intervalli di velocità delle onde di taglio misurate per i vari litotipi

Tipologia	Velocità onde S (m/s)
Depositi eluvio – colluviali o detritici	100 - 400
Substrato alterato e fratturato	500 - 700
Substrato roccioso “sano”	800 - 1400

Si vuole qui ricordare che i risultati dell’indagine geofisica derivano da prove indirette e, pertanto, non va loro attribuito il medesimo valore di quello derivante da prove dirette. Le correlazioni proposte tra le velocità sismiche e le diverse tipologie hanno quindi un valore indicativo, derivando da considerazioni di carattere geologico e dal confronto con i dati disponibili inerenti ad affioramenti, trincee esplorative e sondaggi geognostici (se disponibili).

I risultati delle elaborazioni geofisiche sono riassunti graficamente nelle figure inserite in allegato, dove sono riportati gli spettri ottenuti con l'analisi delle onde di Rayleigh e di Love e le relative curve di dispersione, i diagrammi con l'andamento della Vs in funzione della profondità e la corrispondente tabella con i dati numerici.

Per quanto riguarda le acquisizioni del rumore sismico ambientale, (tecnica HVSR), si fa notare che alcune acquisizioni sono state ripetute in periodi e fasce orarie diverse, a causa della presenza di disturbi natura antropica che alteravano l'andamento delle curve H/V. I singoli eventi transienti legati sempre al rumore antropico sono stati esclusi dal computo spettrale. Nelle figure inserite nell'allegato 2 sono riportati i grafici ottenuti dall'analisi spettrale, relativi alle varie stazioni di misura, così suddivisi:

- Rapporto H/V del rumore sismico (con linea rossa continua la media, con linea a tratteggio la deviazione standard).
- Andamento delle singole componenti spettrali del moto (N - S, E - O e Verticale)
- Analisi direzionale del rumore sismico

Nella Tabella 7 sono indicati, per ogni stazione di misura, i valori della frequenza relativa al picco (o ai picchi) di risonanza principale e la corrispondente ampiezza.

2.5 Metodo Geoelettrico (modalità tomografica ERT)

In corrispondenza ad alcune aree del territorio comunale sono state eseguite delle indagini geofisiche con il metodo della tomografia elettrica di resistività (ERT) al fine di valutare l'eventuale presenza di cavità nel sottosuolo, legate a fenomeni carsici. I profili ERT sono stati ubicati in corrispondenza ad aree di interesse urbanistico e in zone dove era stata segnalata l'esistenza di queste strutture o la morfologia del terreno ne faceva ipotizzare la presenza.

La cosiddetta tomografia della resistività elettrica è una tecnica di indagine indiretta e non-invasiva che permette di acquisire informazioni in simultanea dipendenza sia della profondità sia della distanza orizzontale. Questa metodologia di misura, che nella pratica geofisica costituisce l'evoluzione attuale della nota prospezione geoelettrica, è stata messa a punto diversi anni fa da Barker (1981) sfruttando i progressi dell'elettronica, sia per un'acquisizione automatica sul campo sia per la disponibilità di codici di calcolo in grado di interpretare i dati sperimentali e di produrre immagini della variazione della resistività elettrica nel sottosuolo investigato in 2D/3D, con ottimo rapporto costo/benefici. Sfruttando, infatti, la possibilità di poter utilizzare personal computers direttamente sul campo, la tecnica ERT permette di disporre sull'area da investigare un elevato numero di elettrodi (32, 64 o più), con distanza reciproca dipendente dalla risoluzione e dalla profondità d'indagine richiesta. Le misure vengono effettuate secondo una sequenza pre-programmata che gestisce l'invio di corrente, tramite una coppia di elettrodi denominati convenzionalmente A e B o C1 e C2 e misura della differenza di potenziale, tramite una coppia

diversa di elettrodi denominata M e N o P1 e P2. Si ottiene così l'evoluzione sia verticale sia laterale della resistività apparente (ρa), che è uso rappresentare in forma di pseudosezione: cioè come una matrice di valori organizzati in un piano dove le colonne rappresentano la distanza sul terreno e le righe rappresentano un parametro associato alla larghezza complessiva del quadripolo: ad es., nel caso del dispositivo Wenner tale parametro è solitamente la distanza a tra gli elettrodi. Si ottiene un grafico nel quale tutti i punti di eguale resistività apparente vengono collegati da una curva detta isoresistiva e le aree interposte tra queste colorate da un'opportuna scala cromatica.

Questo quadro deve essere "interpretato" in modo da poter sostituire alle resistività apparenti la reale geometria della distribuzione ed i valori della resistività reale (ρ in ohm*m o W*m). Nella Figura 1 si illustra sinteticamente lo schema di tutte le operazioni necessarie per produrre alla fine una sezione di resistività elettrica che ne mostra le caratteristiche elettriche del sottosuolo investigato. Nella stessa Figura 1 è riportata una sezione di resistività elettrica che evidenzia la presenza di variazioni laterali (C1 e C2 in Figura 1) o anomalie geofisiche di resistività.

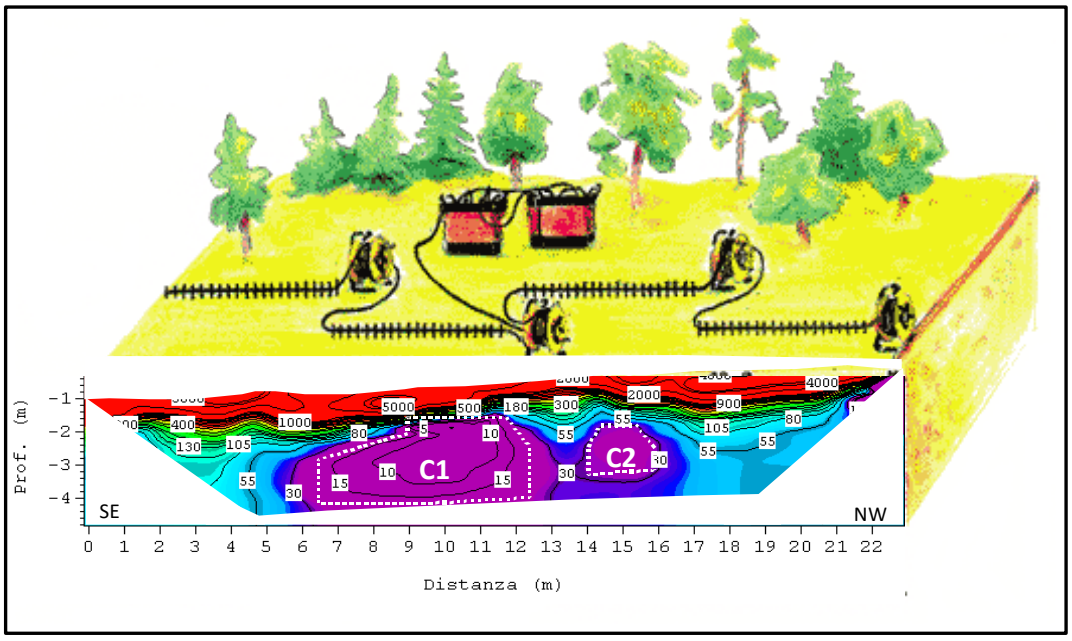


Figura 1 : Schema che descrive sinteticamente la procedura di acquisizione dati utilizzata C1/C2 : anomalia di resistività

Occorre sottolineare che i modelli bi-dimensionali sono una semplificazione di largo uso per l'esplorazione del sottosuolo. Infatti, l'approccio più corretto è di tipo 3D, che può a sua volta essere semplificato in un approccio modellistico di tipo 2D se è sufficientemente attendibile l'ipotesi che le strutture indagate siano allungate nella direzione trasversale a quella del profilo di misura.

Ricostruita la distribuzione della resistività elettrica reale, si pone il problema di definirne l'informazione geologica contenuta. Infatti, la resistività elettrica è una proprietà fisica che dipende

da più fattori, in particolare dalla composizione mineralogica del sottosuolo indagato, dalla sua tessitura, dalla porosità, dal contenuto d'acqua e dalla salinità di questa. L'asserzione è più comprensibile se si pensa che, esclusi pochi minerali semiconduttori, la conduzione nelle rocce è assicurata dal movimento di ioni, o all'interno della struttura solida del materiale o attraverso i pori contenenti acqua con qualche elettrolita disciolto. Il problema in generale si risolve con un opportuno procedimento di "taratura" che viene compiuto mediante l'esecuzione di uno o più sondaggi geognostici, al fine di confrontare *in situ* e nei punti corrispondenti alle anomalie di resistività i risultati della prospezione geoelettrica e le litologie presenti nel sottosuolo.

Sulla base delle informazioni dirette acquisite nel corso di questo studio è stato possibile stabilire a grandi linee le corrispondenze tra le litologie ed i valori della resistività, come riportato riportate nella Tabella 5. In linea generale, terreni a granulometria grossolana (sabbia asciutta, ghiaie e detriti di falda) e rocce quali calcari, dolomie, graniti, basalti sani ecc. possiedono valori maggiori di resistività, mentre terreni a granulometria fine, rocce alterate, argilliti, marne e sedimenti con forte componente di granulometria fine sono caratterizzati da valori medio-bassi di resistività.

Tabella 5. Intervalli di resistività elettrica per i vari litotipi

Tipologia	**Resistività (Ω*m)**
Limo e argilla	10 - 30
Sabbia, sabbia-ghiaiosa e ghiaia-sabbiosa	100 - 300
Ghiaia prevalente	400 - 800
Rocce marnose e siltose	20 - 50
Rocce calcareo – dolomitiche	>1000

2.5.1 Strumentazione impiegata e procedure applicate

La strumentazione impiegata per l'acquisizione dei dati della resistenza in modalità tomografica è la seguente:

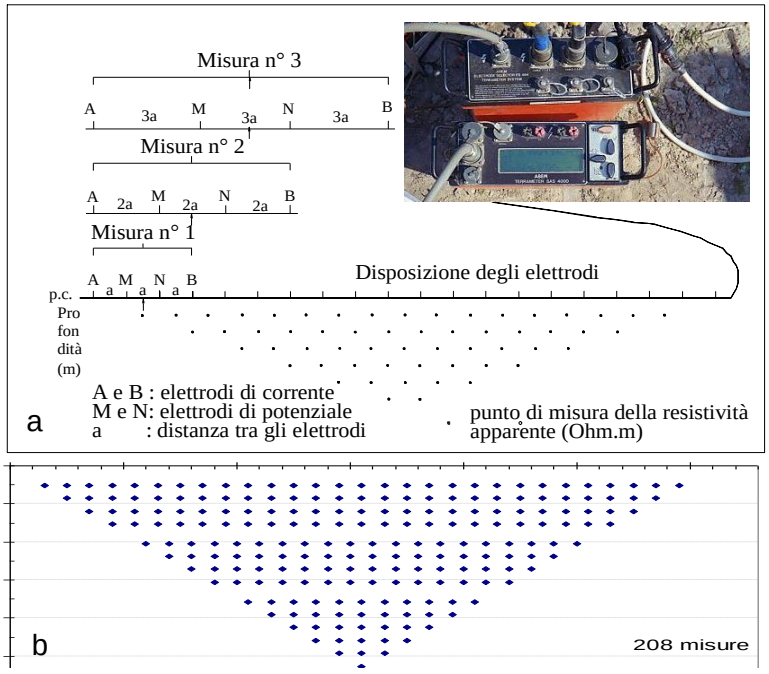
- georesistivimetro *ABEM* mod. SAS1000 (potenza massima 100 W) di fabbricazione svedese, con sensibilità dell'ordine di 1 micro-volt,
- uno switch – box mod. ES464,
- tre set di cavi multipolari con 16 uscite ciascuno (totale 48 elettrodi),
- un set di elettrodi di acciaio inox,
- un set di connessioni elettrodo – cavo multipolare,

- una batteria al Pb da 12 Volt per l'energizzazione.

Le misure della resistenza ($\Delta V/I$, dove ΔV: differenza di potenziale e I: intensità di corrente) sono state effettuate con un minimo di 2 cicli di energizzazione in modo da assicurare la qualità del dato attraverso il calcolo della deviazione standard. Il controllo dei potenziali spontanei è stato eseguito mediante controllo automatico e continuo per tutta la durata di ogni ciclo di misura della differenza di potenziale (ΔV).

2.5.2 Acquisizione dati Geoelettrici (modalità tomografica ERT)

I dati di resistività apparenti sono stati acquisiti per profili (in 2D), con passo interelettrodico variabile da 4 m a 5 m utilizzando segmenti di profilo composti da 32 elettrodi. Ne risulta una profondità d'indagine dell'ordine di 25 metri, sufficiente per lo scopo di questo lavoro. Tutti i profili sono stati acquisiti in modalità roll-along, cioè, spostando avanti gli elettrodi fino al raggiungimento della lunghezza finale del profilo ERT. I dettagli dei profili acquisiti sono riportati in Tabella 6. In totale sono stati acquisiti 7 profili utilizzando il dispositivo quadripolare di Wenner-Schlumberger, ritenuto adeguato, sia per la sua buona sensibilità a discontinuità verticali e laterali delle proprietà elettriche sia per il buon rapporto segnale/disturbo (Figura 2 a, b). In alcuni casi si è reso necessario utilizzare il dispositivo elettrodico Dipolo-Dipolo assiale (Figura c), limitatamente alle porzioni di profilo in corrispondenza di attraversamenti stradali.



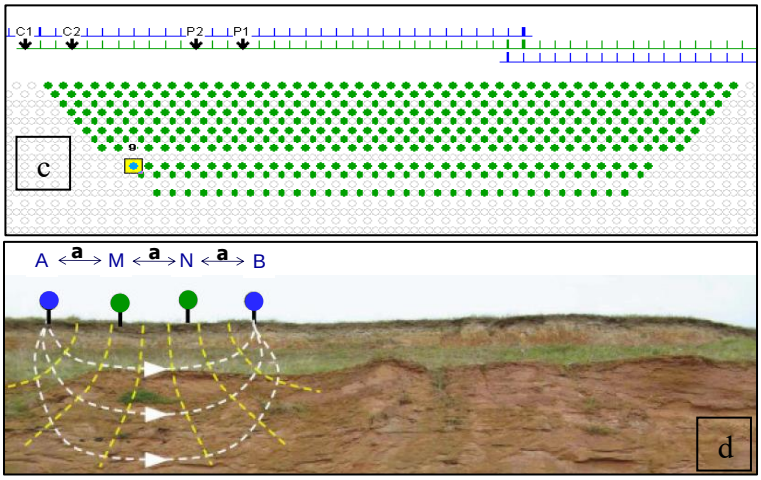


Figura 2: Sistema di acquisizione "tomografica" dei dati utilizzando i dispositivi Wenner (a); Wenner – Schlumberger (b); Dipolo-Dipolo assiale (c) e schema di flusso di corrente nel terreno (d).

Tabella 6. Dati tecnici dei profili geoelettrici effettuati

ID Profilo ERT	Data esecuzione	Lunghezza Profilo (m)	Passo elettrodico (m)	Numero elettrodi
023033L10	22-ott-24	117	3	40
023033L11	22-ott-24	141	3	48
023033L12	22-ott-24	93	3	32
023033L13	22-ott-24	177	3	60
023033L14	14-nov-24	189	3	64
023033L15	14-nov-24	93	3	32

La topografia dei profili è stata acquisita dal rilievo LIDAR (fornito dalla Regione Veneto) eventualmente integrato con le quote riportate sulla C.T.R. (scala 1:5.000).

2.5.3 Interpretazione dei profili geoelettrici

Le sezioni tomografiche riportano la miglior stima della distribuzione dei valori della resistività reale, sotto i profili di misura. Stima ottenuta dal processo di inversione dei dati di resistività apparente, mediante l'utilizzo del software Res2DInv (Loke e Barker, 1996a; Geotomosoft, 2015). I modelli ottenuti sono riportati in Allegato 1, dove è rappresentato l'andamento della resistività nel sottosuolo. Per facilitare l'analisi ed il confronto tra le varie sezioni, è stata mantenuta la medesima scala cromatica.

i modelli tomografici di resistività dei profili acquisiti sono commentati di seguito.

PROFILO TOMOGRAFICO ELETTRICO – ERT L10

Il profilo **L10** evidenzia, tra le progressive 0 e 35 m, che il substrato calcareo ad elevata resistività si trova in condizioni di subaffioramento. Per progressive maggiori di 40 m si nota la presenza di un elettrostrato caratterizzato da resistività medio basse (30 – 100 Ω*m) avente spessore variabile tra 5 e 10 m circa. Potrebbe trattarsi di uno strato marnoso, oppure di una sacca riempita di materiale con un'elevata percentuale di componente argillosa.

PROFILO TOMOGRAFICO ELETTRICO – ERT L11

Tra le progressive 0 – 50 m il substrato lapideo si trova a limitata profondità dal piano campagna. A partire dalla progressiva 55 m compare uno strato di copertura caratterizzato da resistività comprese tra 30 e 50 Ω*m ed uno spessore dell'ordine di 4 – 5 m. Si tratta di terreni con elevata componente argillosa, associabili a depositi eluvio-colluviali o alla fascia di alterazione del substrato.

PROFILO TOMOGRAFICO ELETTRICO – ERT L12

Lungo tutto questo profilo si sono sempre misurate elevate resistività, per cui il substrato lapido "sano" si trova a pochi metri di profondità dal p.c..

PROFILO TOMOGRAFICO ELETTRICO – ERT L13

Il profilo L13 è stato ubicato in prossimità della Contrada Staffor, dove le evidenze geomorfologiche indicano l'esistenza di una forma carsica riconducibile ad una dolina.

In prossimità della progressiva 20 m è presente un'anomalia a bassa resistività riconducibile ad una frattura riempita di materiale argilloso. Tra le progressive 25 e 70 m il substrato ad elevata resistività è subaffiorante. A partire dalla progressiva 70 m e fino al termine del profilo, il tetto del substrato si approfondisce e sono presenti elettrostrati a resistività medio-bassa (50 e 100 Ω*m) rappresentativi di un materiale eterogeneo contenente discrete percentuali di argilla nei settori a

resistività più bassa. Tra le progressive 100 – 105 m si nota un'interruzione del substrato: potrebbe trattarsi di un inghiottitoio.

In sintesi, si ritiene che nel settore compreso tra le progressive 70 – 170 m siano presenti materiali derivanti dal crollo e riempimento di una cavità carsica di notevole estensione, che potrebbe estendersi anche oltre il tratto investigato con questo profilo. Con questa indagine la struttura in esame è stata esplorata lungo un tracciato orientato circa Sud - Nord, per avere un quadro più preciso si dovrebbe procedere con l'esecuzione di profili ERT orientati in altre direzioni.

PROFILO TOMOGRAFICO ELETTRICO – ERT L14

Nel tratto iniziale del profilo, fino alla progressiva 20 m, sono presenti terreni a bassa resistività correlabili a depositi prevalentemente argillosi con spessore minimo di 5 m. Seguono elettrostrati con resistività compresa tra 100 e 200 Ω*m, probabilmente rappresentativi del substrato lapideo alterato e fratturato. Nella parte finale del profilo è presente uno strato superficiale a bassa resistività, avente spessore massimo dell'ordine di 5 m. Le zone caratterizzate da resistività maggiori di 300 Ω*m, indicano la presenza del substrato "sano".

PROFILO TOMOGRAFICO ELETTRICO – ERT L15

Il profilo L15 è stato ubicato in Contrada Portello, dove era ipotizzabile l'esistenza di una struttura carsica. Lungo tutta la sezione geoelettrica è presente uno strato superficiale con spessore variabile tra 5 e 10 m costituito da terreni con $10 < \rho < 70$ Ω*m, correlabili a depositi prevalentemente argillosi. Probabilmente questo strato si prolunga verso Est, oltre la fine del profilo geoelettrico. Nella zona centrale del profilo si rileva il substrato ad elevata resistività ad una profondità di 10 – 12 m circa.

La morfologia e la presenza dello strato a bassa resistività fanno ipotizzare che l'area in esame sia associabile al fondo di una dolina riempito da terreno argilloso.

3 CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI

La carta delle frequenze naturali dei terreni è stata predisposta indicando per ogni stazione di misura il valore o i valori di frequenza di risonanza misurati. Al fine di evidenziare la distribuzione spaziale di questo fenomeno, sono stati utilizzati dei simboli puntuali con l'indicazione della frequenza, mentre la dimensione del simbolo è proporzionale all'ampiezza del picco di risonanza.

Va ricordato che dai rapporti spettrali ricavati con questa metodologia non è possibile stabilire i fattori di amplificazione sismica, per la valutazione dei quali necessitano analisi più complesse.

La carta è stata predisposta utilizzando i valori di frequenza desunti dalle stazioni di misura HVSR eseguite nel corso degli studi di MS di Livello 1 e 2; i medesimi dati sono riportati di seguito in forma tabellare. Va precisato che alcuni diagrammi relativi a misure fatte nell'ambito dello studio di Livello 1 sono stati rielaborati.

I diagrammi relativi alle misure fatte nel corso del presente studio sono inseriti in allegato.

Tabella 7: risultati delle misure HVSR eseguite per la MS di livello 1 e 2

	Data	Località	Frequenza (Hz)	Ampiezza
023033P1	08.04.2022	Costamora	n.p.	n.p.
023033P2	08.04.2022	Pineta Fasani	n.p.	n.p.
023033P3	08.04.2022	Cappella Fasani	8,6; 17	2,8; 6
023033P4	08.04.2022	Dosso	n.p.	n.p.
023033P5	08.04.2022	Morandini	2,2; 10	2,4; 2
023033P6	08.04.2022	Spinelli	20	3,1
023033P7	08.04.2022	Bernardi	16	2
023033P8	08.04.2022	Valletta	n.p.	n.p.
023033P9	08.04.2022	Via Roma	15	2,5
023033P10	08.04.2022	Via Roma	15	4,4
023033P16	11.10.2024	ad Est Erbezzo centro	32	3
023033P17	11.10.2024	Portello	13	5
023033P20	26.03.2023	Valletta	20	2,9

Nota: n.p. nessun picco

La tabella e la Carta delle Frequenze evidenziano che i picchi di risonanza si pongono su frequenze prossime o maggiori di 10 Hz, in relazione allo spessore molto modesto dei terreni appartenenti alla copertura quaternaria o alla fascia di alterazione del substrato.

4 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO

4.1 Premessa

Lo studio di Microzonazione Sismica di 2° livello del Comune di Erbezzo è stato redatto facendo riferimento alla normativa regionale vigente, citata nel capitolo 1.

In relazione alla specifica morfologia del territorio comunale e alla distribuzione delle contrade, la determinazione delle amplificazioni litostratigrafiche e morfologiche è stata eseguita, oltre che in corrispondenza del *centro abitato comunale*, anche nelle numerose aree classificate come "*urbanizzazione consolidata*".

All'interno del territorio comunale, è stata valutata l'esistenza degli scenari previsti dalla DGRV 1572. Nella tabella seguente (ripresa dalla fig. 2 dell'allegato A della Delibera) viene esplicitata, per ogni singola tipologia di instabilità/amplificazione presente, le procedure applicate nel presente studio.

Tabella 8: procedure di microzonazione sismica

SIGLA	***Scenario di pericolosità***	***Presenza nel territorio***	***Procedura utilizzata***
P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	NO	Non sono presenti movimenti franosi attivi
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	NO	Non sono presenti movimenti franosi quiescienti
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	SI	Valutate le condizioni di stabilità tramite l'utilizzo del coefficiente Kh (vedi allegato A2.2 delle Linee Guida per le instabilità di versante sismoindotte)
P2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	NO	Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative
P2b	Zona con depositi granulari fini saturi	NO	Non sono presenti depositi granulari fini saturi
P2c	Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	NO	Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative.
P3a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc...)	SI	Analizzate le amplificazioni e stimate secondo Linee Guida
P3b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita – arrotondata	SI	Analizzate le amplificazioni e stimate secondo Linee Guida
P4a	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	NO	Non sono presenti queste morfologie nell'area di studio
P4b	Zona di fondovalle stretta (C>0,25) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale	NO	Analizzate le amplificazioni e stimate secondo Linee Guida
P4c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	NO	Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative.
P4d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	NO	Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative.

SIGLA	Scenario di pericolosità	Presenza nel territorio	Procedura utilizzata
P4e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	SI	Investigate con profili geoelettrici (ERT)
P5a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	NO	Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative nell'area studiata
P5b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole	SI	Investigate con profili geoelettrici (ERT)

4.2 Determinazione dei fattori di amplificazione (FA)

4.2.1 Premessa

La pericolosità sismica, che, nella sua accezione più generale, definisce la probabilità che in un'area, in un certo intervallo di tempo, si verifichi un terremoto che superi una certa soglia (in termini ad es. di intensità, magnitudo, accelerazione di picco), è una caratteristica intrinseca del territorio. La sua conoscenza permette di individuare le aree con differenti caratteristiche dello scuotimento sismico, fornendo informazioni utili in fase di progettazione, di pianificazione urbanistica e di gestione delle emergenze.

Il moto sismico in un determinato sito, infatti, è influenzato da tre parametri principali:

- il meccanismo di sorgente;
- la propagazione;
- la risposta sismica locale;

I primi due fattori dipendono fortemente dalle caratteristiche dell'evento sismico; questi variano in funzione delle caratteristiche della sorgente (magnitudo e tipo di rottura della faglia) e dalla distanza tra il sito in esame e la sorgente.

La risposta sismica locale è il risultato di interazioni tra le onde sismiche e le condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche di depositi di terreno ed ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Dunque, per un certo terremoto, ogni sito può indurre un'amplificazione o deamplificazione del moto sismico, con possibilità o meno di rotture o cedimenti del terreno, in relazione alle caratteristiche della zona in esame. Alle condizioni locali si possono associare tre diversi effetti di sito (Lanzo e Silvestri, 1999): effetti stratigrafici, legati all'interazione delle onde sismiche con le caratteristiche lito-stratigrafiche dei diversi materiali; effetti di valle, nel caso di particolare andamento plano-altimetrico del substrato, legati all'interazione tra onde sismiche e morfologia sepolta con possibilità di focalizzazione/defocalizzazione delle onde sismiche e interferenza tra le onde di volume e di superficie intrappolate nel bacino; infine effetti topografici, nel caso di particolare andamento plano altimetrico del piano campagna, legati all'interazione tra onde sismiche e morfologia superficiale, con possibilità di effetti di focalizzazione delle onde sismiche e interferenza tra onde incidenti e rifratte.

Lo studio di MS di Livello 1 del Comune di Erbezzo aveva segnalato, in corrispondenza ad alcuni settori del territorio comunale, la presenza di strutture geologiche e morfologiche tali da sconsigliare l'utilizzo degli abachi per determinare i fattori di amplificazione FA e FV. Per tale motivo e vista la disponibilità di informazioni di carattere geofisico, la determinazione dei fattori di amplificazione è stata effettuata utilizzando analisi monodimensionali 1D. Pertanto, nel territorio analizzato si è passati ad un livello di approfondimento superiore (Livello 3), relativamente alla valutazione dell'amplificazione sismica.

Le informazioni geologiche, geotecniche e geofisiche implementate nel software di elaborazione sono state desunte, oltre che dalla cartografia di base (Carta Geologico Tecnica), da una serie di indagini geognostiche e geofisiche eseguite nel corso degli studi MS e ricavate da studi pregressi.

4.2.2 Definizione delle accelerazioni di base

Per la valutazione delle accelerazioni di base è stato utilizzato il software **"Spettri di risposta**" ver. 1.0.3, scaricabile dal sito internet del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Il software individua per ogni sito in esame un valore di a_g per un tempo di ritorno di 475 anni (corrispondente alla accelerazione massima con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi conVs_{30}>800 m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005). Lo stesso modello di calcolo fornisce oltre ai valori di a_g anche quelli di F_o e T_c per vari tempi di ritorno e a monte della scelta della strategia di progettazione. A titolo di esempio si riportano i dati relativi all'indagine MASW L1.

Tabella 9: esempio di parametri sismici forniti dal software "Spettri di risposta" (indagine L1)

T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	Tc* (s)
30	0,044	2,487	0,233
50	0,059	2,547	0,241
72	0,072	2,479	0,251
101	0,085	2,441	0,261
140	0,100	2,409	0,265
201	0,117	2,410	0,271
475	0,165	2,436	0,277
905	0,212	2,459	0,282
2475	0,296	2,396	0,290

4.2.3 Caratteristiche sismostratigrafiche del sottosuolo

La sequenza sismostratigrafica utilizzata per le simulazioni, è stata ottenuta dai dati ricavati con le indagini geofisiche e geognostiche. Nella tabella seguente sono indicate le caratteristiche dei diversi litotipi inserite nel software utilizzato per l'analisi di Risposta Sismica Locale.

Tabella 10: Caratteristiche dei litotipi inserite nel software per la RSL

Descrizione	ρ [Kg/m³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Depositi argilloso limosi prevalenti	1800-1850	90 - 300	0.4	Idriss (1990) - Clay
Bedrock alterato	2100	450 - 750	0.4	Average rock
Bedrock	2400	800 - 1400	0,4	Bedrock integro

dove:

- ρ = densità di massa del singolo strato;
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato;
- y = coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato.

4.2.4 Curve dinamiche dei materiali

Non essendo in possesso di prove dinamiche eseguite su campioni raccolti in sito che restituiscano le curve dinamiche G/Go e il Damping (smorzamento), si sono adottati modelli disponibili in bibliografia. Per i terreni prevalentemente granulari appartenenti alla copertura quaternaria, sono state utilizzate le curve di Rollins. L'andamento delle varie curve è riportato nei grafici seguenti.

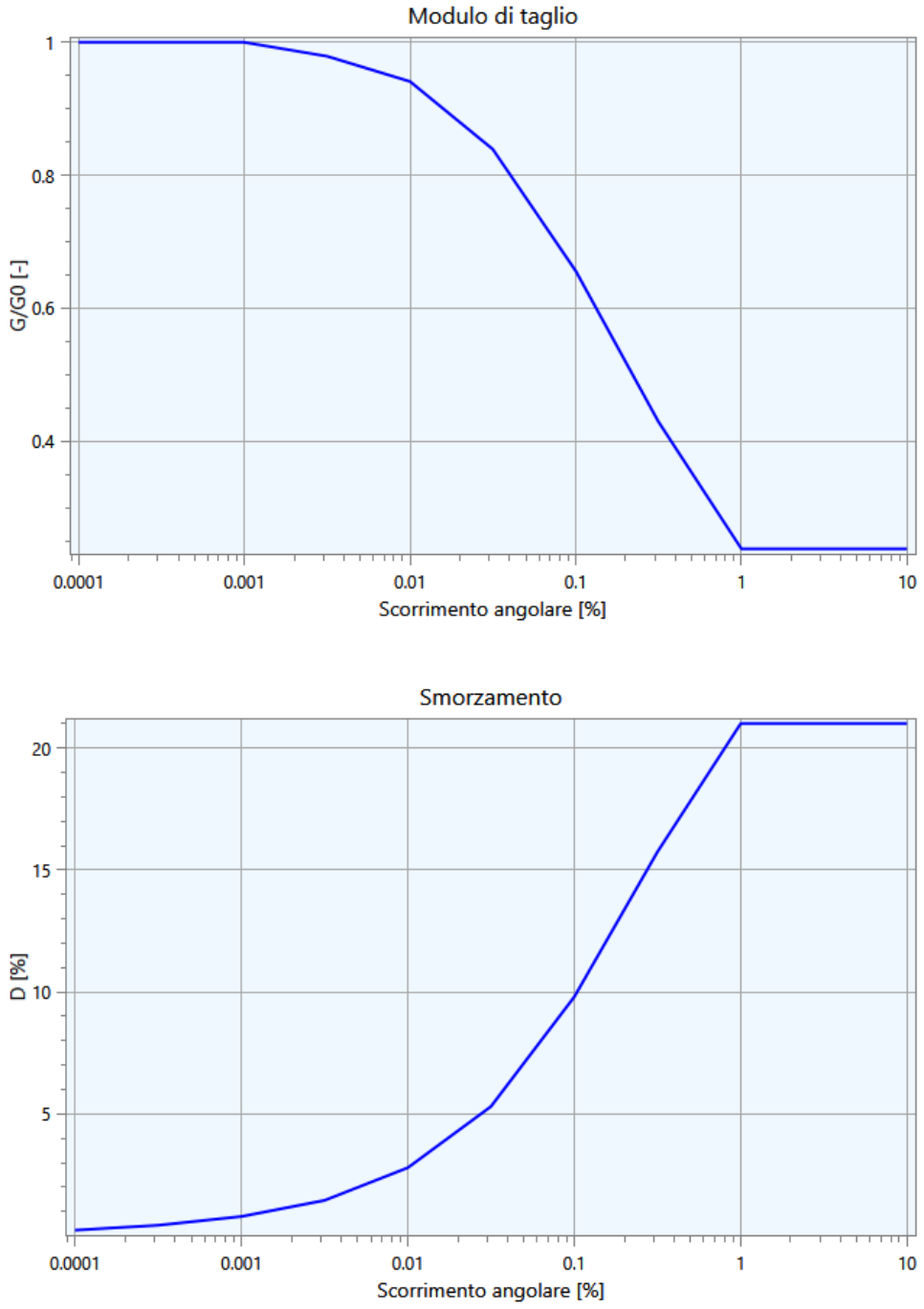


Figura 3: Curve dinamiche G/G0 e Damping per terreni prevalentemente argillosi (Idriss, 1990)

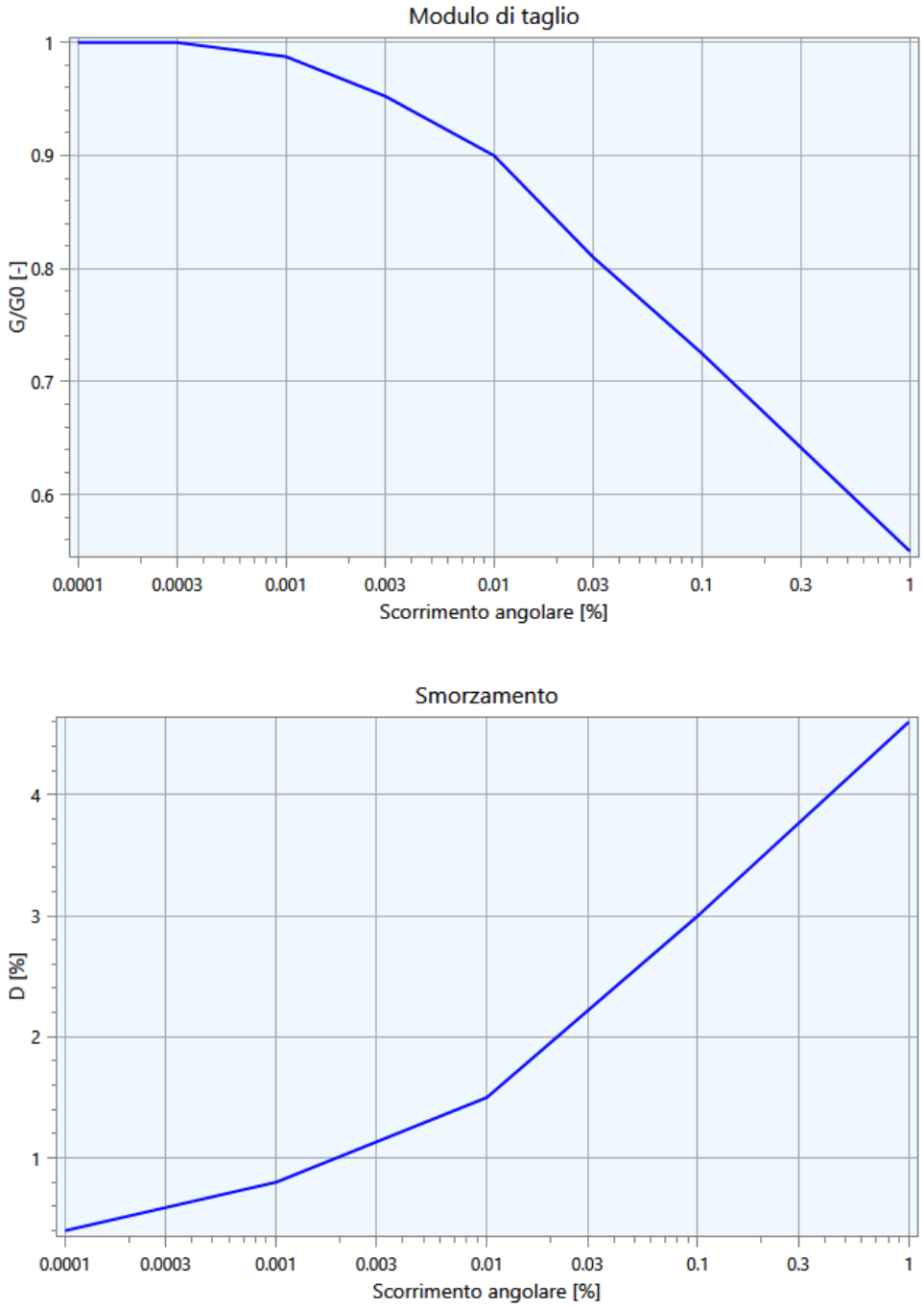


Figura 4: Curve dinamiche G/G0 e Damping per substrato alterato

4.2.5 Modellazione sismica

Lo studio di risposta sismica locale è stato condotto utilizzando il codice di calcolo **LSR2D vers. 5.0.9** (Stacec s.r.l.), che consente di eseguire simulazioni di propagazione bidimensionale del moto sismico in depositi di terreno stratificati ed in condizioni di campo libero.

Il comportamento non lineare e dissipativo del terreno (riduzione della rigidezza a taglio G e incremento dello smorzamento D, all'aumentare delle deformazioni di taglio indotte dal sisma) è tenuto in conto attraverso un approccio lineare equivalente, ovvero il codice esegue una serie di analisi lineari complete in tensioni totali aggiornando iterativamente la rigidezza e lo smorzamento del terreno al crescere delle deformazioni, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. È pertanto importante determinare sperimentalmente con la massima accuratezza possibile la rigidezza iniziale di ogni strato di terreno; le curve di decadimento del modulo G(*y*) e di incremento del damping D(*y*) sono state ottenute da dati bibliografici.

Il codice di calcolo LSR2D, alla stregua di software ben noti dalla comunità scientifica (es. QUAD4 e QUAD4M), consente di effettuare una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo e tenendo conto della deformabilità del substrato.

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico.

La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.

In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata γ', secondo la relazione:

$$\tau = G\,\gamma + \eta\,\dot{\gamma}$$

dove:

- G : Modulo di taglio;
- η : viscosità del mezzo.

I parametri di input necessari all'esecuzione di un'analisi di risposta sismica locale sono:

- gli accelerogrammi di input
- il modello stratigrafico del terreno;

Per ogni strato:

- il peso dell'unità di volume
- la rigidezza a taglio iniziale G0
- le curve di decadimento del modulo di taglio G(*y*) e di incremento del damping (smorzamento) D(*y*), dove *y* = deformazione a taglio
- la velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs).

Le analisi con il software LSR2D sono state condotte considerando un coefficiente di smorzamento pari al 5 %; la procedura iterativa è state condotta fino ad ottenere un errore inferiore al 2 %, sia per il modulo di taglio, sia per lo smorzamento.

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell' i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidezza e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza.

4.2.6 Analisi di disaggregazione

La disaggregazione della pericolosità sismica è una operazione che consente di determinare il contributo di varie sorgenti sismogenetiche alla pericolosità sismica del sito in esame. Per questo tale analisi viene condotta in termini di magnitudo (M) e distanza (R).

L'analisi di disaggregazione è stata condotta a partire dalla banca dati presente nel sito dell'INGV http://esse1-gis.mi.ingv.it/ (**Mappe interattive della pericolosità sismica**) dove inserendo le coordinate del sito in esame, vengono restituiti dei diagrammi come quello riportato nella Figura 5; da questi diagrammi si ricavano le coppie di valori M e R che sono poi stati utilizzati nella successiva fase di estrazione degli accelerogrammi di input.

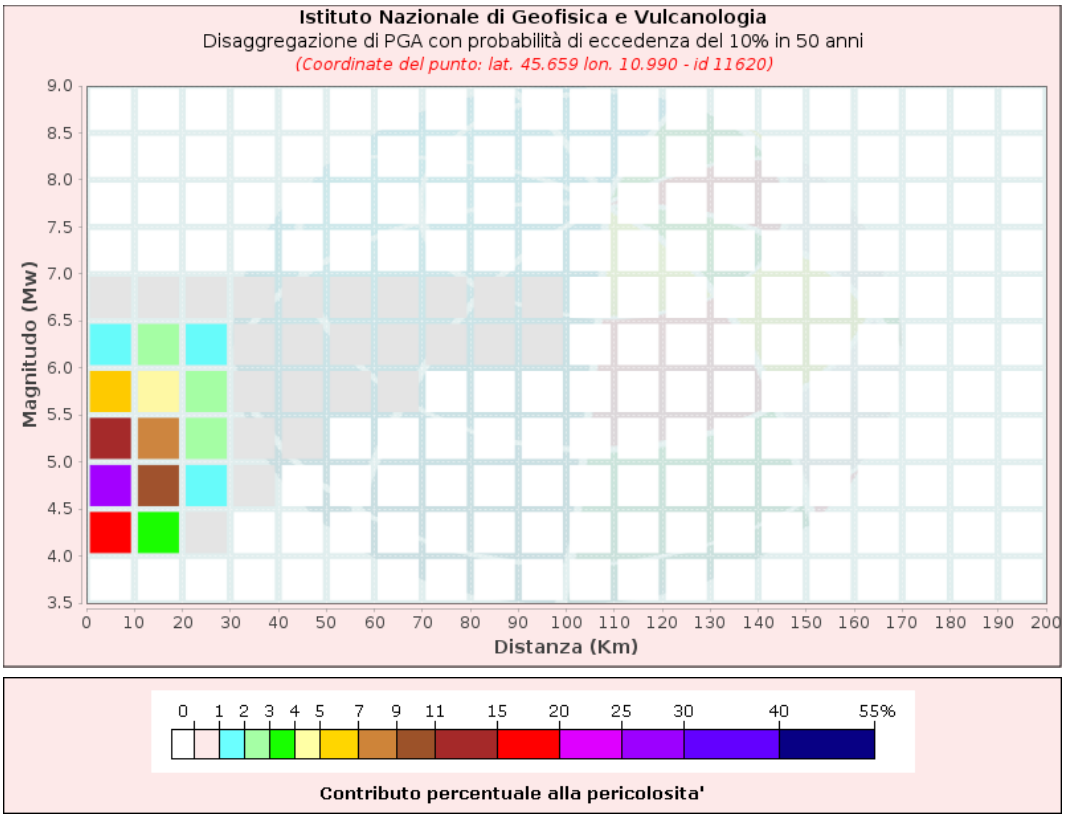


Figura 5: analisi di disaggregazione relativa all'indagine L1

4.2.7 Estrazione input sismici

Per ogni sezione analizzata, sono stati utilizzati come moti di input 7 accelerogrammi naturali come specificato nel paragrafo 3.2.3.6 delle NTC 2018, che vieta in studi di RSL, l'utilizzo di accelerogrammi artificiali.

Questa operazione è stata effettuata consultando la seguente banca dati con il relativo software:

REXELweb. **A tool for automatic selection and scaling of spectrum-compatible accelerograms** *(Sgobba, S., Felicetta, C., Russo, E., D'Amico, M., Lanzano, G., Pacor F., Luzi, L., Baraschino, R., Baltzopoulos, G., Iervolino, I. The online graphical user interface of REXELweb for the selection of accelerograms from the Engineering Strong Motion database (ESM). 39° Conference of Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida (GNGTS) 22 - 24 July 2021, online).*

L'estrazione degli accelerogrammi è preceduta dalla definizione di una serie di parametri:

- Target spectrum utilizzato: suolo tipo A
- I parametri di disaggregazione
- I parametri derivanti dalla scelta progettuale

- Le tolleranze max e min rispetto allo spettro target.

Nelle Figure seguenti sono riportati, a titolo di esempio, il diagramma e la relativa tabella di una settupla di accelerogrammi estratti per le analisi relative all'indagine L1.

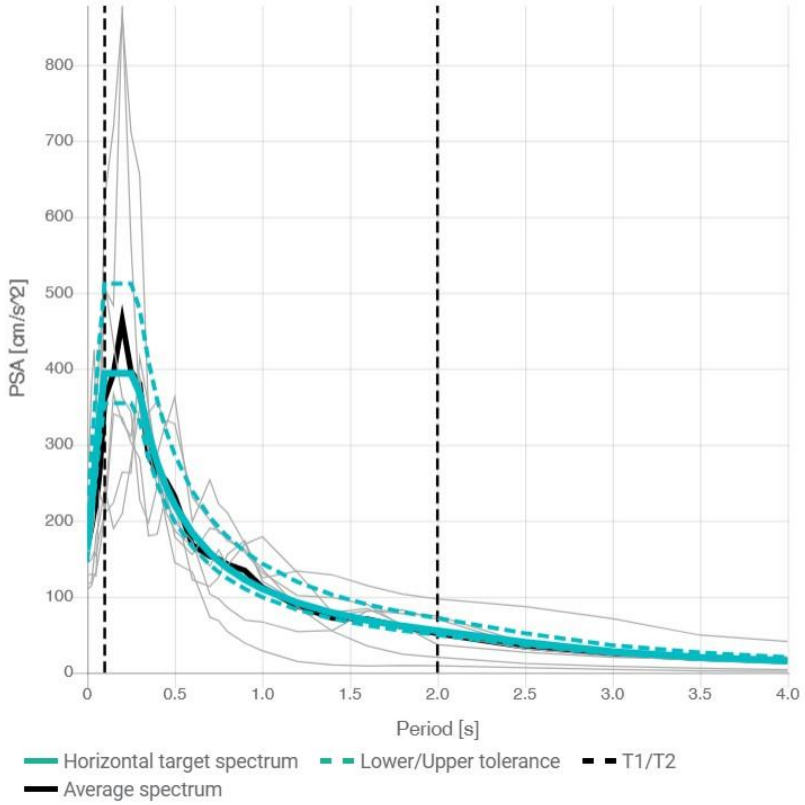


Figura 6: combinazione degli spettri di sette accelerogrammi di input relativamente all'indagine L1 – Database ESM – REXELweb

Combination	Waveform ID	ESM ID	Network	Station code	Sensor ID	Instrument code	Orientation	ML	MW	Style of faulting	Epicentral distance [km]	EC8 code	Vs30 [m/s]	Score	Scale Factor
4	E.SRC0.00.HN.IT-1976-0030	IT-1976-0030	E	SRC0	0	HN	N	6.0	6.0	Thrust faulting	15.8	A		N: 0.257	N: 1.000
4	SM.112.00.HN.IS-2000-0053	IS-2000-0053	SM	112	0	HN	3		6.5		11.2	A		3: 0.276	3: 1.000
4	SM.102.00.HN.IS-1998-0022	IS-1998-0022	SM	102	0	HN	2		5.4		22.6	A		2: 0.312	2: 1.000
4	E.CRR2.00.HN.IT-1997-0006	IT-1997-0006	E	CRR2	0	HN	E	5.8	6.0	Normal faulting	23.8	A		E: 0.691	E: 1.000
4	IV.T1256..HN.EMSC-20161030_0000029	EMSC-20161030_0000029	IV	T1256		HN	E	5.5	6.6	Normal faulting	20.5	A		E: 0.274	E: 1.000
4	IT.SVN..HG.EMSC-20181226_0000014	EMSC-20181226_0000014	IT	SVN		HG	N	4.8	5.0	Strike-slip faulting	4.5	A		N: 0.380	N: 1.000
4	SM.101.00.HN.IS-2000-0053	IS-2000-0053	SM	101	0	HN	3		6.5		10.6	A		3: 0.475	3: 1.000

Figura 7: tabella con caratteristiche degli accelerogrammi di input relativi all'indagine L1 – Database ESM-REXELweb

4.2.8 Risultati ottenuti

I risultati delle analisi sono riassunti nella tabella seguente, dove per ogni punto esaminato sono stati riportati i valori di FA ottenuti e relativi ai seguenti intervalli di periodo:

- 0,1 – 0,5 secondi
- 0,4 – 0,8 secondi
- 0,7 – 1,1 secondi

I valori di FA riportati nella tabella seguente, sono stati poi utilizzati per costruire le Carte di Microzonazione relative ai due intervalli di periodo considerati. Relativamente al periodo 0,7-1,1 s, i valori di FA sono risultati sempre inferiori 1,05, pertanto non è stata redatta la corrispondente Carta di Microzonazione Sismica.

Tabella 11: Valori di FA

Punto di misura	Località	0,1 - 0,5 s	0,4 - 0,8 s	0,7 - 1,1 s
L1	**Resti**	1,1	1,02	1,01
L2	**Valletta**	1,12	1,02	1,02
L3	**Villanova**	1	1	1
L4	**Cappella Fasani**	1,32	1,06	1,04
L5	**Masselli**	1,03	1,01	1
L6	**Ad Est Erbezzo**	1,07	1,01	1,01
L7	**Manar**	1,04	1,01	1,01
L8	**Staffor**	1,06	1,01	1,01
L9	**Pineta Fasani**	1,2	1,04	1,03
P1	**Costamora**	1	1	1
P4	**Dosso**	1	1	1
P5	**Morandini**	1,23	1,04	1,03
P6	**Spinelli**	1,07	1,04	1,01
P9	**Via Roma**	1,09	1,02	1,01
P10	**Via Roma**	1,09	1,02	1,01
P17	**Portello**	1,17	1,03	1,02

4.3 Valutazione degli effetti morfologici

La valutazione delle condizioni morfologiche in grado di generare amplificazione sismica è stata effettuata tramite l'analisi della CTR che, pur con i limiti di precisione propri di questo supporto, ha permesso di effettuare stime e valutazioni sugli effetti legati alle amplificazioni di tipo morfologico.

I limiti di questa valutazione sono insiti nella precisione della cartografia; per approfondimenti ed affinamenti dei fattori di amplificazione specifici per ogni sito, si dovranno eventualmente effettuare rilievi topografici in grado di definire meglio la geometria ed i limiti delle scarpate e dei relativi cigli.

4.3.1 Zona di scarpata

Le zone di scarpata che possono essere suscettibili di amplificazioni morfologiche devono possedere dei parametri che superano specifici limiti dimensionali esplicitati, in modo semplificato, dalla seguente figura tratta dall'Allegato A) della DGR 1572/2013.

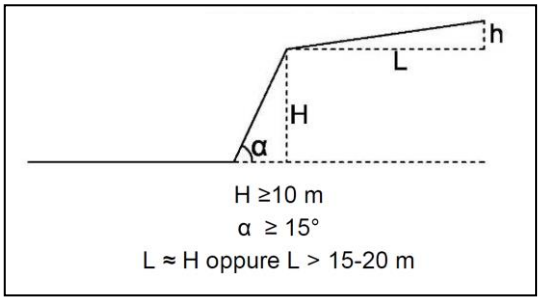


Figura 8: criteri di riconoscimento delle scarpate suscettibili di amplificazioni morfologiche

In pratica, l'altezza deve essere maggiore di 10 metri e contemporaneamente l'angolo del pendio deve superare i 15°, inoltre il fronte superiore deve essere pari almeno all'altezza della scarpata o comunque non inferiore ai 15-20 metri.

I fattori di amplificazione legati alle caratteristiche geometriche delle scarpate sono riassunti nella seguente tabella (Figura).

Fattore di amplificazione per effetto morfologico			
Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Fa 0.1-0.5	Area di influenza
10 m < H < 20 m	15° < α < 90°	1.1	Ai = H
20 m < H < 40 m	15° < α < 90°	1.2	Ai = 3/4 H
H > 40 m	15° < α < 20°	1.1	Ai = 2/3 H
	20° < α < 40°	1.2	
	40° < α < 60°	1.3	
	60° < α < 70°	1.2	
	α > 70°	1.1	

Figura 9: criteri di assegnazione dei Fattori di amplificazione

Gli elementi riportati in tabella sono noti con l'eccezione dell'area di influenza Ai che rappresenta la fascia di amplificazione situata a monte del ciglio della scarpata, la cui ampiezza va calcolata secondo quanto indicato nella specifica colonna della tabella sopra riportata.

Il Fattore di amplificazione diminuisce spostandosi dal ciglio per raggiungere l'unità alla base delle scarpate e, verso monte, sino al limite dell'area di influenza Ai.

È importante sottolineare che l'amplificazione complessiva di sito (amplificazione morfologica + amplificazione litostratigrafica) si ottiene con il prodotto dei due valori numerici di FA specifici e non con la somma.

Nella figura seguente (Figura 10) è riportato un esempio cartografico dei fattori di amplificazione nell'area centro-occidentale del comune (loc. Fasani e loc. Dosso), si può osservare l'andamento asimmetrico dell'amplificazione rispetto all'orlo o ciglio di scarpata.

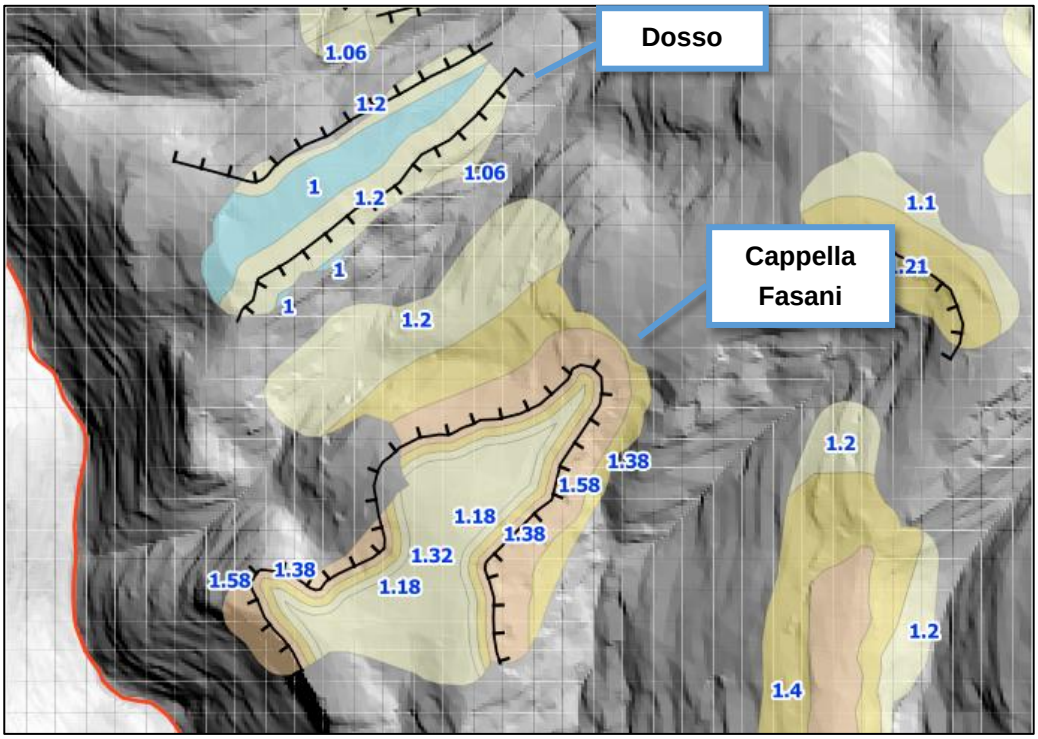


Figura 10: esempio di andamento del FA in caso di scarpate

Per la delimitazione delle aree suscettibili di amplificazione morfologica, la prima attività è quindi consistita nella individuazione delle morfologie che rispondessero ai requisiti minimi (vedi Figura 8), la quale è avvenuta tramite l'analisi della CTR e in particolare del DTM (Digital Terrain Model) ottenuto dal database dai dati della Regione Veneto (DTM con cella 5 m).

Nel dettaglio, a partire dal DTM si è ottenuto uno shape poligonale che ha permesso di mettere in evidenza le aree a differente pendenza (espressi in gradi) della superficie topografica, il valore di pendenza è stato attribuito ad ogni singola cella, e, grazie alla sovrapposizione di entrambi (DTM e aree a diversa "pendenza"), si è proceduto ad eseguire le tracce dei profili topografici necessari per la specifica analisi del versante. Per ogni profilo è stata individuata l'altezza della scarpata, l'angolo medio della scarpata e in funzione di queste informazioni è stato assegnato il fattore di amplificazione FA ed è stata calcolata l'area di influenza (vedi abaco di Figura 9).

Si veda a titolo di esempio la Figura 11, la quale riporta la porzione centro-meridionale del territorio di Erbezzo con indicati i profili analizzati e gli orli di scarpata tracciati per la determinazione degli FA di tipo morfologico. In Figura 12 invece è riportato una sezione di un profilo ottenuta in software gis (QGis 3.34).

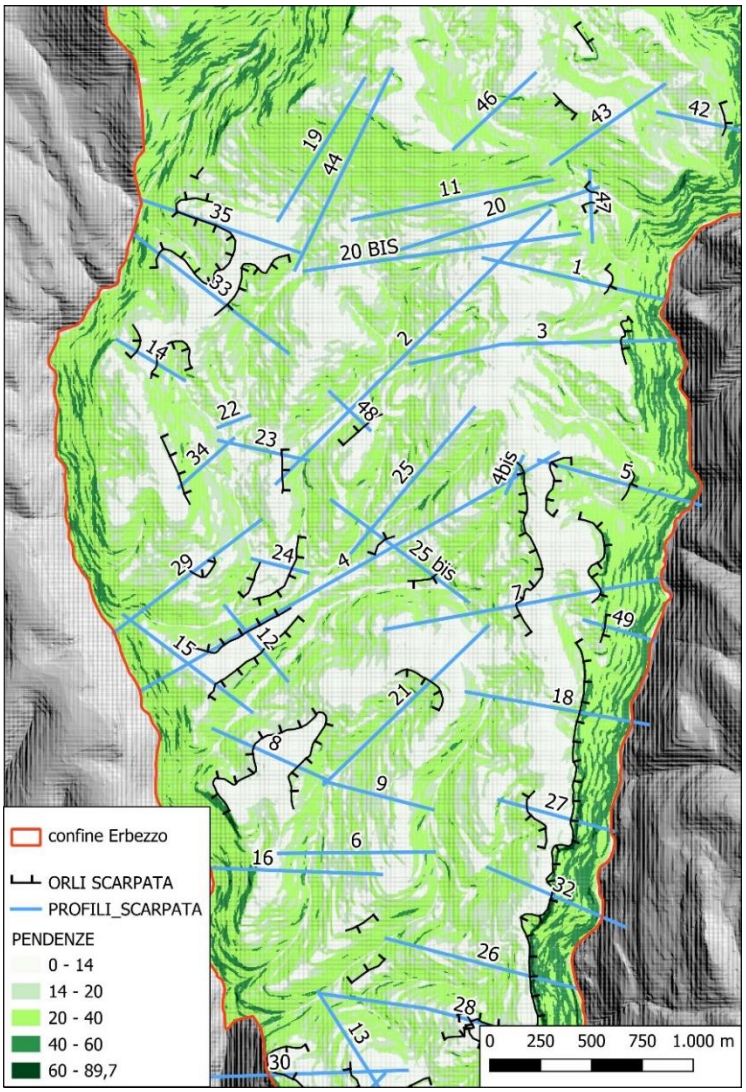


Figura 11: area di Erbezzo con indicati le tracce dei profili analizzati

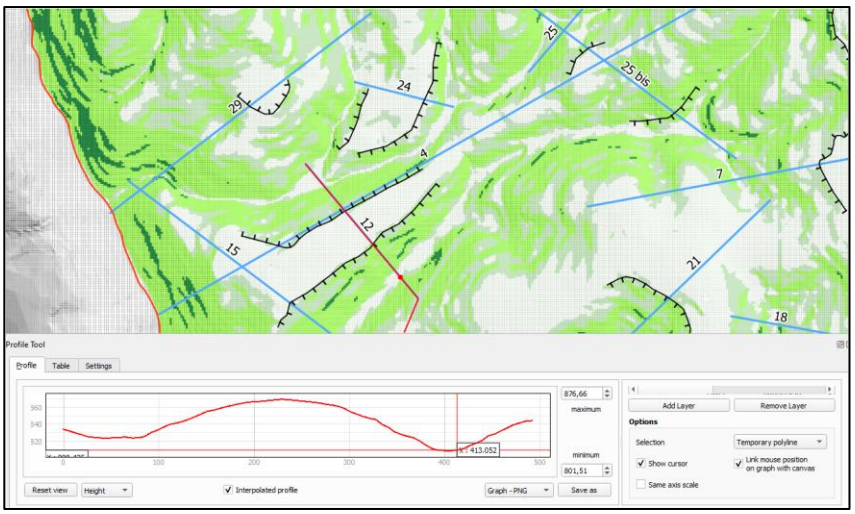


Figura 12: esempio di profilo lungo la traccia n. 12 estrapolato mediante uso di software QGIS

Le fasce di amplificazione morfologica, determinate a partire dagli orli di scarpata, che si sovrappongono alle aree con amplificazione litostratigrafica causano, di conseguenza, un incremento del valore di FA che, essendo calcolato mediante il prodotto delle due amplificazioni, può aumentare in modo significativo.

I valori di FA riportati nella Carta di Microzonazione Sismica rappresentano quindi il contributo dell'amplificazione litostratigrafica e di quella morfologica, dove questi si sovrappongono.

4.3.2 Zona di cresta e/o cocuzzolo

L'esame della cartografia CTR ha portato ad individuare, all'interno delle aree urbanizzate o delle località sparse più significative, alcune fasce o punti specifici le cui caratteristiche geometriche portano a classificarli come creste o cocuzzoli. Queste conformazioni morfologiche non sono frequenti grazie alla morfologia erosiva che si concentra sulle valli che scendono dai rilievi collinari.

Lungo queste dorsali sono superati i limiti geometrici indicati nella figura seguente (Figura 13), dove sono riportati i parametri necessari a classificare la cresta o dorsale. Inoltre, le dorsali in esame presentano un rapporto l/L<1/3 (larghezza cresta/larghezza base<1/3) e quindi possono essere definite come "*Creste appuntite*".

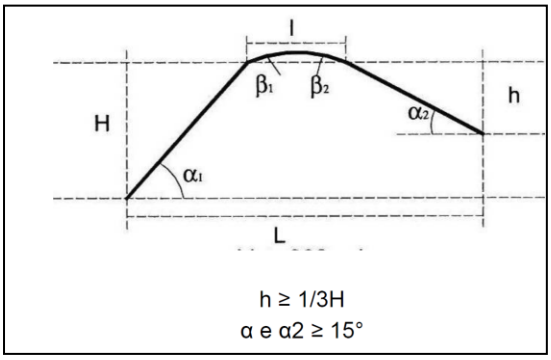


Figura 13: parametri dimensionali per creste/dorsali suscettibili di amplificazione

Figura 14: area di cresta (esempio di loc. Villaggio Pineta Fasani)

L'utilizzo degli abachi per la determinazione del Fa in base al rapporto H/L, porta a definire i valori amplificazione illustrati nella seguente tabella dove sono riportate sia le creste (in rosso), che gli orli di scarpata.

I casi in cui, dopo l'analisi morfologica, una apparente morfologia di tipo "cresta" non rispettasse i parametri specifici di rapporto tra la larghezza di cresta e altezza complessiva, il valore di FA è stato calcolato ipotizzando la presenza di due scarpate distinte.

Tabella 11: Attributi delle creste e dei cigli e relativi valori di Fa (in rosso le creste)

PROFILO N.	**ANGOLO ALFA (°)**	**ALTEZZA SCARPATA H (m)**	EFFETTI MORFOLOGICI FA (0,1 - 0,5 s)	AREA DI INFLUENZA (m)	ZONE ERBEZZO	EFFETTI LITOLOGICI FA (0,1 - 0,5s)	SOMMA FA	CLASSI FA
1	31	170	1,2	113	ERBEZZO	1,12	1,344	2
2	<15	-	-	-	-	1,1	1,1	1
3 EST	36	199	1,2	133	ERBEZZO	1,12	1,344	2
3 OVEST	17	107	1,1	71	ERBEZZO	1,12	1,232	1
4	44	16	1,1	16	C. MANNARINI	1,1	1,21	1
4 BIS	32	21	1,2	16	C. MANNARINI	1,1	1,32	2
5- OVEST	20	56	1,2	37	ERBEZZO	1,12	1,344	2
5-EST	31	194	1,2	129	SCALCHI	1,1	1,32	2
6 EST	26	47	1,24	-	BALESTRE	1,2	1,488	3
6 OVEST	16	105	1,24	-	BALESTRE	1,2	1,488	3
7 - A	36	239	1,2	159	ERBEZZO	1,12	1,344	2
7 - B	17	29	1,2	22	ERBEZZO	1,12	1,344	2
7 - C	16	96	1,1	64	ERBEZZO	1,12	1,232	1
8 EST	22	61	1,2	41	CAPP.FASANI	1,32	1,584	3
8 OVEST	21	60	1,2	40	CAPP.FASANI	1,32	1,584	3
9 EST	23	52	1,25	-	VILL. PINETA FASANI	1,2	1,5	3
9 OVEST	16	109	1,25	-	VILL. PINETA FASANI	1,2	1,5	3
10 EST	37	283	1,6	-	PORTELLO	1,17	1,872	5
10 OVEST	16	49	1,6	-	PORTELLO	1,17	1,872	5
11	16	55	1,1	37	C. SALE	1,1	1,21	1
12 EST	26	49	1,2	37	DOSSO	1	1,2	1
12 OVEST	22	35	1,2	23	DOSSO	1	1,2	1
13 EST	24	74	1,2	49	COSTAMORA	1	1,2	1
13 OVEST	23	113	1,2	75	COSTAMORA	1	1,2	1
14 OVEST	18	21	1,2	16	VACCAMOZZI	1,1	1,32	2
14 EST	21	50	1,2	33	VACCAMOZZI	1,1	1,32	2
15 EST	22	70	1,2	47	DOSSO	1	1,2	1
16 EST	34	163	1,45	-	ZULLI	1,1	1,595	3
16 OVEST	23	67	1,45	-	ZULLI	1,1	1,595	3
18	28	196	1,2	131	MASSELLI	1,03	1,236	2
19	23	255	1,2	170	VILLA	1,1	1,32	2
20	<15	-	-	-	-	1,1	-	1
21	15	180	1,1	120	CHIOMATI	1,1	1,21	2
22	16	<10 m			-	1,1	-	1
23	15	32	1,2	24	RAGAZZINI	1,1	1,32	2
24	19	18	1,1	18	STAFFOR	1,06	1,166	1
25	<15	-	-	-	-	1,1	-	1
26 OVEST	25	83	1,2	55	GENDERLI	1,2	1,44	2
26 EST	47	236	1,3	157	GENDERLI	1,2	1,56	3
27 EST	47	191	1,3	127	MANAR	1,04	1,352	2

PROFILO N.	**ANGOLO ALFA (°)**	**ALTEZZA SCARPATA H (m)**	EFFETTI MORFOLOGICI FA (0,1 - 0,5 s)	AREA DI INFLUENZA (m)	ZONE ERBEZZO	EFFETTI LITOLOGICI FA (0,1 - 0,5s)	SOMMA FA	CLASSI FA
27 OVEST	16	31	1,2	23	MANAR	1,04	1,248	2
28 EST	46	270	1,3	180	COSTAMORA	1	1,3	2
28 OVEST	15	195	1,1	130	COSTAMORA	1	1,1	1
29 SUD OVEST	18	159	1,1	106	MORANDINI	1,23	1,353	2
30	33	209	1,2	139	POZZE	1,1	1,32	2
31	26	268	1,2	179	POZZE	1,1	1,32	2
32 EST	41	228	1,55	-	BETLEMME	1,04	1,612	3
32 OVEST	21	79	1,55	-	BETLEMME	1,04	1,612	3
33 OVEST	30	95	1,2	63	VILLANUOVA	1	1,2	2
33 EST	17	54	1,1	36	VILLANUOVA	1	1,1	1
33 BIS	17	61	1,1	41	VACCAMOZZI		1,1	1
34	22	58	1,2	39	SPINELLI	1,1	1,32	2
35	30	95	1,1	63	VILLANUOVA	1	1,1	1
36	<15	-	-		CAMPO RETRATTO	1,1	1,1	1
37	<15	-	-		MALGA MODETTO	1,1	1,1	1
38	<15	-	-		MALGA MODO	1,1	1,1	1
39	<15	-	-		FITTANZE	1,1	1,1	1
41	<15	-	-		VALLINA DI SOTTO	1,1	1,1	1
42	33	200	1,2	133	STROZZI	1,1	1,32	2
43	<15	-	-		-	1,1	1,1	1
44	<15	-	-		MALGA BUSIMO	1,1	1,1	1
45	<15	-	-		MALGA FITTANZE	1,1	1,1	1
46	<15	-	-		PONTARE	1,1	1,1	1
47	20	13	1,2	10	CONTRADA MENEGAZZI	1,1	1,32	2
47 ORTO	22	22	1,2	17	CONTRADA MENEGAZZI	1,1	1,32	2
48	26	31	1,2	21	GIODI	1,1	1,32	2
49	39	215	1,2	143	-	1,1	1,32	2
50 NORD	33	35	1,2	26	PORTELLO	1,17	1,404	2
50 SUD	36	17	1,1	17	PORTELLO	1,17	1,287	2

Si ritiene utile rimarcare come le indicazioni sulle amplificazioni morfologiche siano fornite sulla base di morfologie semplificate e utilizzo di abachi standard; per ottenere valori più precisi e definiti servono indagini morfologiche più mirate e valutazioni sismiche specifiche. Le amplificazioni stimate in questa sede si devono intendere quindi di prima approssimazione.

4.4 Valutazioni sul fenomeno della liquefazione

Come già indicato nello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, l'assetto geologico – idrogeologico del Comune di Erbezzo porta ad escludere che possa verificarsi il fenomeno della liquefazione dei terreni.

4.5 Instabilità di versante

4.5.1 Frane attive e/o quiescenti

Nell'ambito dello studio di Microzonazione Sismica di livello 2, sono state raccolte tutte le indicazioni relative alle frane attive e quiescenti, attraverso l'esame dei dati presenti nei diversi database e nelle cartografie disponibili.

Nell'area comunale di Erbezzo non sono state rilevate aree interessate da fenomeni franosi, ne quiescenti ne attive.

4.5.2 Aree potenzialmente in frana

4.5.2.1 Calcolo del fattore Kh

Per la classificazione di questa tipologia di aree è stata utilizzata la metodologia proposta all'allegato A2.2 delle "Linee Guida per gestione in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte" ver. 1.0 - 2017.

Per definire le aree potenzialmente franose, l'allegato citato (predisposto a cura della Regione Toscana) suggerisce la stima del fattore Kh, che può essere calcolato tramite una serie di parametri morfologici, sismici e stratigrafici. Se il valore di questo coefficiente è inferiore a 0,1 il pendio si può considerare stabile dal punto di vista sismico e quindi un eventuale sisma, con le accelerazioni e le caratteristiche proprie, così come previsto dagli attuali documenti statistici elaborati dall'INGV, non dovrebbe avere influenza sulle condizioni generali di stabilità del pendio, con l'ovvia esclusione delle instabilità già esistenti.

L'applicazione di questo metodo di valutazione è stata utilizzata su tutte le zone interessate dal presente studio nelle quali le condizioni morfologiche siano tali da poter generare instabilità gravitative nell'intorno delle aree stesse, per verificare se il valore di riferimento del coefficiente Kh fosse inferiore al limite indicato.

Il valore del coefficiente Kh può essere calcolato utilizzato la seguente formula:

$$Kh = \beta s * S * ag/g$$

Il fattore βs, definito come "coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito", varia in funzione della categoria di terreno secondo le definizioni delle nuove N.T.C. ed in particolare si può fare riferimento alla seguente tabella estratta dal paragrafo 7.11.3.5.2 del Decreto 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni".

Tab. 7.11.I – *Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito*

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_S	β_S
$0,2 < a_g\,(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g\,(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g\,(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Figura 15: tabella di attribuzione del coefficiente βs in funzione delle categorie si sottosuolo e delle accelerazioni sismiche previste.

Il valore del coefficiente S deriva dal prodotto dei due valori di Ss e St

$$S = Ss * St$$

che sono legati a loro volta rispettivamente all'amplificazione stratigrafica e all'amplificazione topografica. Il loro corrispondente valore viene indicato dalle tabelle del capitolo 3.2.3 del Decreto citato, in particolare per il calcolo di Ss vale:

Tab. 3.2.IV – *Espressioni di S_S e di C_C*

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Figura 16: tabella per il calcolo del coefficiente Ss di amplificazione stratigrafica

Mentre per la determinazione del valore di St viene indicata la seguente classificazione morfologica dei versanti:

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Figura 17: categorie topografiche di amplificazione

Con la relativa quantificazione numerica

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica* S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Figura 18: valori di St in base alle categorie morfologiche del pendio

Infine, il valore di accelerazione massima di sito ag/g si può ricavare dal portale dell'INGV dedicato: https://esse1-gis.mi.ingv.it/.

L'elaborazione dei valori di Kh per le aree urbanizzate e le aree in frana e/o potenzialmente in frana è stata effettuata attraverso l'utilizzo di sistemi GIS, partendo da una griglia di quadrati di lato pari a 5 metri derivati dal DTM reso disponibile sul geoportale della Regione Veneto, sulla quale è stata determinata la pendenza di ogni sinolo elemento utilizzando l'applicazione di interpolazione.

Per ogni singolo elemento sono stati poi aggiunti i valori necessari al calcolo di Kh, che è stato ottenuto grazie al prodotto dei singoli parametri. In particolare, sono stati scelti i seguenti valori utilizzando un approccio prudenziale, che ha portato a preferire il termine di maggior gravosità quando il range dei valori disponibili era più ampio.

Per il calcolo del fattore βs – categoria di sottosuolo di tipo B, C e D per l'area esaminata; Accelerazione massima attesa di sito pari a 0,165 ag/g – Valore βs pari 0,24.

Per il calcolo del fattore St – calcolo in automatico in base alla pendenza. Sono state inserite anche delle condizioni assimilabili a cresta stretta con conseguente valore del parametro pari a 1,4.

Per il calcolo del fattore Ss – la categoria di sottosuolo è stata determinata grazie alla stima delle accelerazioni (amax) ricavata da analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) effettuate in corrispondenza delle nuove misure geofisiche realizzate per il presente studio e classificando tali valori secondo le N.T.C.. Categoria di terreno B, C e D - valore variabile tra 1,20 e 1,80.

Per il calcolo del fattore ag/g – Considerato il valore di 0,165 su tutto il territorio comunale.

Assegnati i valori ad ogni singolo pixel della maglia di elementi con 5 metri di lato è stato effettuato il calcolo automatico del coefficiente Kh, riportato poi anche nella carta di Microzonazione sismica.

I risultati hanno evidenziato che i valori così determinati sono compresi tra 0,048 e 0,10.

I valori più elevati si riscontrano in corrispondenza di alcune creste che si affacciano sulle profonde valli laterali che delimitano anche amministrativamente il territorio comunale.

Si ricorda che l'analisi tramite l'andamento del fattore Kh riguarda le nuove instabilità sismoindotte e che cause predisponenti possono ovviamente incrementare il rischio sismico "di base".

Si segnala inoltre che la definizione del parametro Kh, vista la tipologia di studio a scala comunale, risente delle necessarie semplificazioni e omogeneizzazioni; non deve pertanto essere considerato come dato puntuale per eventuali verifiche e progettazioni.

I valori così ottenuti sono stati controllati anche con i dati puntuali che si possono ottenere al portale della Geostru, consultabile all'indirizzo https://geoapp.eu/parametrisismici2018/, sempre considerando come riferimento lo stato limite di salvaguardia per la vita e pari ad un Tempo di ritorno di 475 anni. Il controllo ha consentito di confermare i dati ottenuti sulle aree indagate.

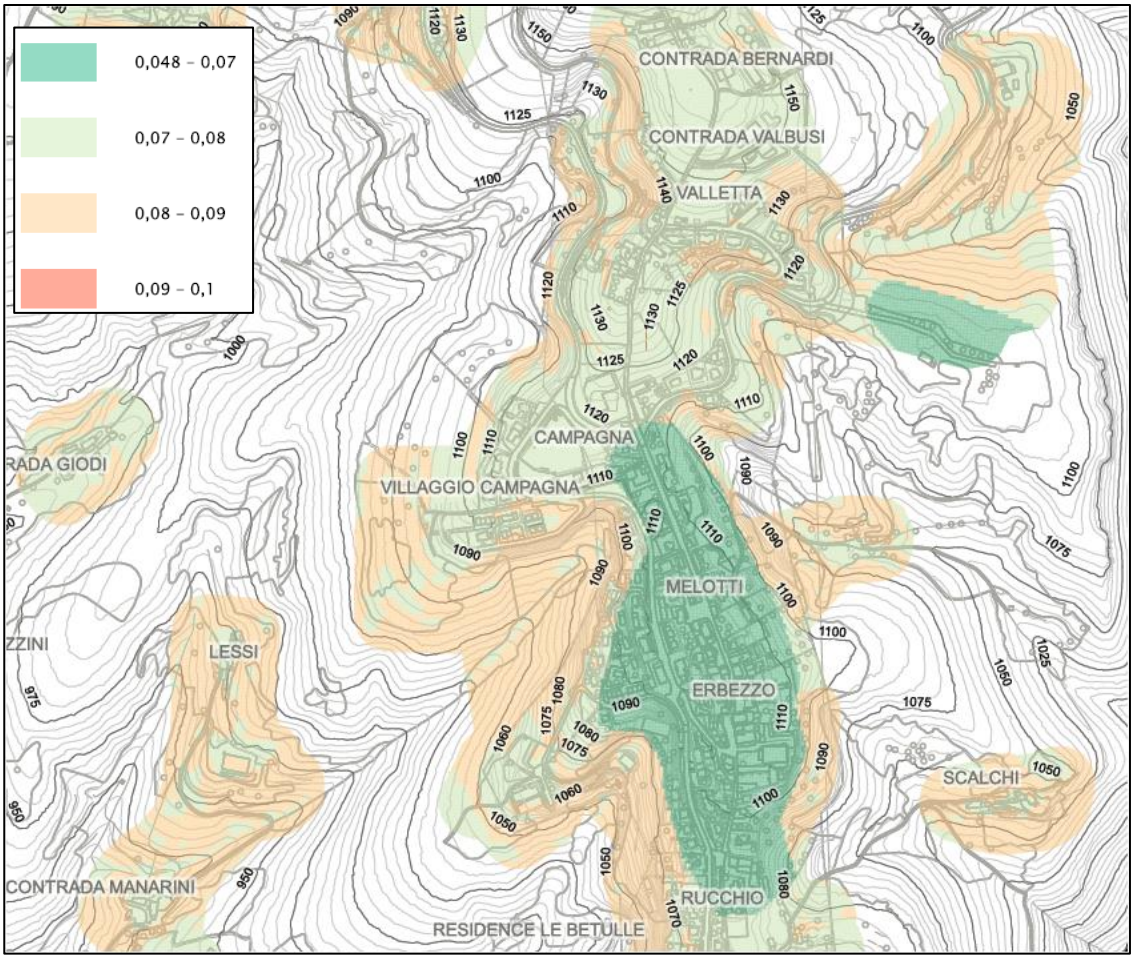


Figura 19: andamento del valore del coefficiente Kh nell'area del centro storico di Erbezzo

4.6 Fenomeni di crollo di cavità

Nello studio di Livello 1 era stato segnalato come una caratteristica del territorio comunale la presenza diffusa di fenomeni carsici, superficiali e sotterranei, i quali si manifestano tramite tipici elementi morfologici rappresentati da doline, inghiottitoi, grotte e cavità ipogee.

Il settore settentrionale del territorio comunale mostra una densità maggiore di questi elementi morfologici, mentre nei settori centrale e meridionale le evidenze morfologiche sono circoscritte a poche aree di estensione limitata. Nella "Carta di Instabilità Cosismica" sono state quindi segnalate delle ZA_{CD}, cioè zone di Attenzione per Cedimenti Differenziali, che nel caso specifico sono rappresentati da crollo di cavità.

4.7 Faglie attive e capaci

Relativamente alla tematica delle Faglie Attive e Capaci il database di ITHACA segnala per il territorio del Comune di Erbezzo la presenza di due FAC:

- **N. 71500: Faglia "Vajo dell'Anguilla"**
- **N. 79800: Faglia "Corso"**

Si riportano di seguito le considerazioni espresse nello studio di MS di Livello 1:

- **Faglia "Vajo dell'Anguilla":** è stata classificata come FAC in relazione alle caratteristiche riportate in ITHACA, in particolare "Last activity: 3000 – 9000 prehistory Neolithic". Un ulteriore elemento che giustifica tale scelta proviene dalla pubblicazione di *Sauro e Ferrarese (2016)* dove sono segnalate delle scarpate e delle trincee da terremoto potenzialmente correlabili al terremoto del 1117. Come risulta dalla Carta Geologico – Tecnica il tracciato di questa faglia entra solo per un breve tratto nel settore sudorientale del Comune di Erbezzo. Nella Carta delle MOPS è stata tracciata la fascia di attenzione pari a 200 m dalla linea indicata in carta che rappresenta l'ipotetica posizione della faglia, che coinvolge limitate superfici dell'estremo settore sud-orientale del Comune, in aree non urbanizzate.
- **Faglia "Corso"**: le informazioni disponibili per questa faglia sono meno precise rispetto la precedente, per cui si è optato per non classificarla come attiva e capace. In particolare, nel lavoro di *Sauro e Ferrarese* è riportata una struttura all'incirca coincidente con il tracciato del "Vajo dei Falconi", in corrispondenza del quale dovrebbe situarsi la faglia "Corso", senza però fornire indicazioni sulle caratteristiche di questa struttura. La traccia della faglia è pressoché coincidente con il confine occidentale del Comune e non interessa zone urbanizzate.

5 SINTESI DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE DI 2° LIVELLO

La D.G.R.V. n. 1572 del 03.09.2013 "*Definizione di una metodologia teorica e sperimentale per l'analisi sismica locale a supporto della pianificazione. Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica. (D.G.R. 71/2008, D.G.R. 2877/2008 e D.lgs. 163/2006 e abrogazione D.G.R. n. 3308/08)*" stabilisce che per definire la carta di microzonazione sismica, il territorio comunale sia mappato secondo le seguenti tipologie:

- ***aree "stabili"***, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (substrato geologico posto a profondità inferiore a 3 metri con morfologia piatta o semipianeggiante);
- ***aree "stabili suscettibili di amplificazioni sismiche",*** nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;
- ***aree "suscettibili di instabilità"***, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto). Le principali cause di instabilità sono: instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive, cedimenti differenziali.

Nell'Allegato A) alla DGRV n. 1572/2013 "*Linee guida per l'esecuzione di studi di Microzonazione Sismica"* sono specificate più in dettaglio queste tre categorie.

Utilizzando i dati esistenti e le nuove misure geofisiche, con gli studi di Microzonazione Sismica si è ricostruita la struttura sismostratigrafica del sottosuolo del territorio del Comune di Erbezzo, all'interno del quale sono state rilevate alcune aree classificate "**stabili**": si tratta delle località Costamora, Masselli e Dosso.

Come esposto nei paragrafi precedenti, per il calcolo dei fattori di amplificazione **FA** è stato fatto ricorso ad analisi di Risposta Sismica Locale, con modellazione monodimensionale effettuando le analisi in corrispondenza ai punti di indagine geofisica.

I valori di **FA** sono in buona parte del territorio comunale molto bassi a causa dei limitati spessori che possiedono i terreni di copertura; solo in corrispondenza dei punti di indagine L4 (Cappella Fasani), L9 (Pineta Fasani) e P5 (Morandini), si sono misurati valori di FA compresi tra 1,2 e 1,3 per l'intervallo di periodo 0,1 - 0,5 secondi.

La tematica inerente all'instabilità di versante è stata affrontata sia considerando quanto previsto negli strumenti urbanistici vigenti, sia valutando la potenziale instabilità di versante sismoindotta. Questa analisi ha permesso di concludere che la maggior parte del comune non è interessato da questo fenomeno, solo in corrispondenza ad alcune aree è stato rilevato un valore prossimo o uguale a 0,1, indicativo di una potenziale instabilità di versane per effetti cosismici.

Caratteristica del territorio di Erbezzo è la presenza, soprattutto nel settore settentrionale del comune, di fenomeni carsici rappresentati da doline, cavità e inghiottitoi, i quali potrebbero dare origine a fenomeni di crollo in caso di sisma. Per fornire una prima valutazione sulla estensione e

consistenza di questi fenomeni sono state eseguite delle specifiche indagini geofisiche (ERT), in alcune aree di interesse urbanistico. I risultati delle indagini geoelettriche hanno confermato la presenza di doline nelle contrade di Morandini-Staffor e Portello.

In relazione alla tematica delle Faglie Attive e Capaci (FAC) si conferma quanto indicato nello studio di Livello 1, cioè che la Faglia “Vajo dell’Anguilla” interessa marginalmente il settore orientale del Comune, in aree attualmente non urbanizzate.

Nel prossimo capitolo sono state inserite delle proposte normative che riguardano sia le aree interessate da instabilità sia le aree stabili ma amplificabili.

6 PROPOSTA DI PRESCRIZIONI NORMATIVE

Nel territorio comunale tutti gli interventi che prevedano nuove costruzioni, modifiche strutturali, ampliamenti, ristrutturazioni e opere infrastrutturali dovranno essere progettati adottando i criteri antisismici di cui al D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" e alle eventuali ss.mm.ii. relative agli argomenti specifici.

6.1 Amplificazioni litostratigrafiche

La microzonazione riportata in cartografia, basata sui Fattori di amplificazione, deve essere utilizzata come approccio preliminare nello studio dell'amplificazione sismica e per programmare la tipologia di indagini da effettuare in sede progettuale, le quali saranno commisurate all'importanza dell'opera e la cui scelta dovrà essere adeguatamente motivata. In base a quanto emerso dagli studi di MS, si propongono diversi gradi di approfondimento degli studi sismici.

Si precisa quindi che l'utilizzo dei dati di output riportati in questo studio non risulta sufficiente in attività connesse alla determinazione dell'azione sismica ai fini progettuali, per la quale saranno necessarie ulteriori valutazioni ed analisi sito-specifiche.

6.1.1 Modalità di applicazione degli approfondimenti

Il D.M. 17 gennaio 2018, al paragrafo 2.4.2 *"Classi d'uso*", in presenza di azioni sismiche e con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, suddivide le costruzioni in quattro classi d'uso definite in base alla frequentazione, alla funzione, alle attività e all'utilizzo. Di seguito sono indicate le indagini e gli studi da effettuare in relazione alla tipologia di costruzione in esame, nell'ambito dell'intero territorio comunale.

- **Classe I**: *Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli*. Per queste costruzioni, in funzione dell'ubicazione e della tipologia, potranno essere utilizzati i dati e le informazioni sismiche contenuti nel presente studio, oppure eseguite indagini come illustrato per gli edifici in classe II.

- **Classe II**: *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*

  Per queste costruzioni si prevede l'esame dei dati e delle informazioni sismiche contenuti nel presente studio e, quindi, l'applicazione di metodi semplificati per valutare l'amplificazione sismica locale. Per l'applicazione dei metodi semplificati si riporta quanto indicato dal D.M. 17.01.2018, al paragrafo 3.2.2 ***Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*** "A*i fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta*

mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità Vs per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche."

Come è noto, la definizione delle categorie di sottosuolo avviene attraverso il calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio Vs_{eq}, la cui determinazione sarà fatta utilizzando indagini sismiche, in foro (cross-hole, down-hole,) o in superficie (MASW, ESAC, sismica a rifrazione). Per le indagini in superficie sarà preferibile usare tecniche attive e passive in modo congiunto.

Abbinate alle determinazioni di V_S si dovranno eseguire anche misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (tecnica HVSR), al fine di stabilire la frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni (o il periodo proprio), da confrontarsi con le frequenze proprie degli edifici. Le acquisizioni e le elaborazioni di queste misure seguiranno le linee guida del Progetto SESAME.

Si consiglia uno studio di RSL anche per tutte le opere in **classe II strutturalmente rilevanti** (Vedi allegato A) della DGRV 1823/2020).

- **Classe III**: *Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.*

- **Classe IV***: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di*

comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per le costruzioni ricadenti nelle classi III e IV si prevede l'esecuzione di un'analisi della Risposta Sismica Locale (RSL) come indicato al paragrafo 7.11.3.1 del DM 17.01.2018 **Risposta sismica locale,** del quale si richiamano alcuni punti: "…*Omissis*…….*Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, l'analisi della risposta sismica locale consente quindi di definire le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce, a causa dei suddetti fattori locali. Le analisi di risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove…….omissis".*

Per l'analisi di RSL dovranno essere acquisiti i parametri necessari alla ricostruzione del modello geotecnico e sismostratigrafico del sottosuolo, con particolare attenzione alla ricostruzione della profondità e della morfologia del substrato rigido o di un deposito ad esso assimilabile. L'analisi di RSL, condotta utilizzando codici di calcolo monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali, in funzione dell'assetto strutturale del sottosuolo, dovrà articolarsi secondo quando indicato nel paragrafo 7.11.3 del DM 14.01.2018, al quale si rimanda. In questa sede, oltre a quanto previsto dalla normativa, si vuole sottolineare la necessità di eseguire le seguenti indagini per una corretta modellazione:

- esecuzione di sondaggi geognostici per la definizione della successione sismostratigrafica e delle diverse "unità" geotecniche.
- prove sismiche in foro (cross hole, down hole, cono sismico) finalizzate alla conoscenza della velocità delle onde di taglio fino ad una idonea profondità, in funzione dell'opera in progetto e, comunque, se possibile, fino a raggiungere il "bedrock sismico".
- Prelievo di campioni di terreno e successive analisi di laboratorio per valutare la dipendenza della rigidezza e dello smorzamento dal livello deformativo, e per la determinazione, in dipendenza del legame costitutivo adottato per i terreni, dei parametri di ingresso necessari alle analisi. Le prove di laboratorio possono consistere in prove cicliche di taglio torsionale o di taglio semplice, prove di colonna risonante, prove triassiali cicliche ecc.

La relazione illustrativa delle indagini dovrà contenere i grafici relativi alle misure effettuate ed alla loro interpretazione.

Riguardo alla Risposta Sismica Locale da utilizzare in specifiche situazioni, le modalità di applicazione descritte in precedenza dovranno essere valutate ed eventualmente modificate in relazione al progetto previsto ed alle conoscenze geologico-geofisiche disponibili. Anche la tipologia ed il numero delle prove da eseguire saranno programmate in funzione dell'importanza dell'opera in progetto (classe d'uso) e della sua ubicazione in rapporto all'assetto geologico del sottosuolo.

Le analisi di Risposta Sismica Locale si dovranno applicare anche agli edifici e opere elencati nella DGRV n. 3645 del 28 novembre 2003, Allegati A e B e nel Decreto del capo della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 (edifici e opere di interesse strategico ai fini di protezione civile e rilevanti per l'uso).

6.2 Aree con effetti morfologici di scarpata e dorsale

Le amplificazioni morfologiche presenti nelle aree urbanizzate sono state valutate come illustrato nel paragrafo 4.3.

Nel caso di interventi previsti nelle aree esterne a quelle riportate in cartografia, oltre alla amplificazione litostratigrafica, dovranno essere verificate puntualmente le condizioni topografiche locali al fine di verificare l'eventuale amplificazione morfologica (si ricorda che l'amplificazione complessiva è generata dal prodotto delle due singole componenti).

In funzione della tipologia dell'opera prevista, qualora essa ricada all'interno di zone con amplificazione morfologica, dovrà essere valutata l'opportunità di procedere con uno studio di Risposta Sismica Locale.

6.3 Aree interessate da instabilità gravitative

La elaborazione relativa alla stima del parametro Kh, vedi paragrafo 4.3 e Carta delle Instabilità Cosismica, ha evidenziato come in alcune aree urbanizzate i valori siano prossimi o uguali alla soglia di 0,1, oltre la quale possono innescarsi delle nuove instabilità indotte in caso di terremoto. Eventuali varianti urbanistiche, interventi su manufatti esistenti e/o nuove edificazioni che ricadano in queste aree, dovranno essere sottoposte a verifiche di MS di Livello 3 atte ad una preventiva verifica della stabilità complessiva del pendio e del complesso opera-terreno, ciò sia in condizioni statiche che dinamiche.

6.4 Zone di Attenzione per Crollo di Cavità

Nella "Carta di Instabilità Cosismica" sono state segnalate le aree dove è stata accertata l'esistenza di possibili fenomeni di crollo causato da cavità carsiche sotterranee.

La verifica della presenza di cavità carsiche in sotterraneo è una valutazione di complessa risoluzione, che richiede indagini geognostiche e geofisiche (sondaggi, tomografia elettrica, ecc.) nonché un rilevamento geomorfologico e geomeccanico di dettaglio, i quali devono essere finalizzati ad aree circoscritte.

Oltre a quanto già indicato nel presente studio, occorre ricordare che tutto il territorio comunale, o buona parte di esso, può essere interessato da fenomeni carsici sotterranei anche privi di significative evidenze morfologiche o indizi riconoscibili in superficie; risulta pertanto necessario che ogni singolo intervento edificatorio sia corredato da specifica valutazione atta ad escludere che il sottosuolo sia interessato da rischio di crolli dovute da cavità carsiche.

6.5 Zone di Attenzione per Faglie Attive e Capaci

Nel territorio comunale è presente una Faglia Attiva e Capace (FAC), si veda paragrafo 4.7; come previsto dalle "*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da FAC*" emanate dal Dipartimento della Protezione Civile, all'interno delle zone di attenzione determinate dalla presenza di FAC:

"*non è consentita nuova edificazione e sono limitati gli interventi sull'edificato esistente: con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale (in conformità alla normativa vigente)*".

Nella fascia relativa alla zona di attenzione possono essere realizzate strutture classificabili in **classe I** ai sensi delle N.T.C. 2018.

La zona di attenzione interessa un territorio circoscritto ai confini sud-orientali del comune, in aree non urbanizzate. Nell'eventualità che in futuro siano previsti interventi edificatori che ricadano in questa zona, sarà necessario procedere con una precisa definizione della traccia e delle caratteristiche della faglia per una corretta perimetrazione della zona di rispetto. Si dovrà necessariamente procedere con uno studio di MS di livello 3, che preveda l'acquisizione degli elementi informativi specifici attraverso analisi geologico-strutturali, geomorfologiche, geofisiche e paleosismologiche.

10. BIBLIOGRAFIA

Burrato, Poli, Vannoli 2008 Sources of Mw 5+ earthquakes in northeastern Italy and western Slovenia: an updated view based on geological and seismological evidence.

Castaldini D., Panizza M. (1991). Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il lago di Como (Italia settentrionale). Il Quaternario 4(2), 333-410.

Dal Moro Giancarlo (2012): Onde di superficie in geofisica applicata. Dario Flaccovio Editore.

Dal Moro Giancarlo (2019): Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica. Dario Flaccovio Editore

Galadini F., Meletti C. and Vittori E.; 2001: Major active faults in Italy: available surficial data. Geol. en Mijn. (Netherlands Journal of Geosciences), 80, 273-296.

Galadini F., Poli M. E. and Zanferrari A.; 2005: Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with M≥6 in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy). Geophys. J. Int., 161, 739-762.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G., Valensise G. (2018) - CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5

Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G., Valensise G. (2019), CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area, Scientific Data 6, Article number: 80 (2019). doi: https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9

Gruppo di Lavoro DISS (2021). Database delle singole sorgenti sismogenetiche (DISS), Versione 3.3.0: una raccolta di potenziali sorgenti per terremoti superiori a M 5.5 in Italia e nelle aree circostanti. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Iliceto V., Peruzza L., Rovelli A., Slejko D. (2002): La difesa dai terremoti mediante zonazione sismica: sinergie fra Protezione Civile e Piani Regolatori. Geologia Tecnica & Ambientale, n. 3, pp. 15-36.

ITHACA (ITaly HAzard from CApable faults) – ISPRA: portale del Servizio Geologico d'Italia https://sgi.isprambiente.it/ithaca/viewer/index.html

C. Meletti, G. Valensise: Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Marzo 2004

Nakamura Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. Quaterly Rept. RTRI, Japan 33, pp. 25-33.

NT4.1 Catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, INGV, Milano

Park C. B., Miller R. D., Xia J. (1999): Multichannel analysis of surface waves (MASW). Geophysics, 64, 800-808

Panizza M., Slejko D., Bartolomei G., Carton A., Castaldini D., Demartin M., Nicolich R., Sauro U., Semenza E. & Sorbini L. (1981): Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda ed il Monte Grappa; Rend. Soc. Geol. It., 3, 587-603.

Poli M.E., P. Burrato, F. Galadini e A. Zanferrari, 2008 Seismogenic sources responsible for destructive earthquakes in north-eastern Italy , INGV Roma

Regione del Veneto, Servizio Geologico d'Italia (1988): Carta geologica del Veneto – scala 1 : 250.000

Regione del Veneto-Segreteria Regionale all'Ambiente e al Territorio (2006): Carta Idrogeologica dei Monti Lessini

Sauro U., Ferrarese F. (2016): Montagne in evoluzione e terremoti. Alcuni casi nelle Prealpi venete, trentine e gardesane. Museo di storia naturale e archeologia. Montebelluna

Rovida A., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of the Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15

SESAME Project AA.VV. http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/SES_Reports.htm

Slejko D., G.B. Carulli, F. Carraro, D. Castaldini, A. Cavallin, C. Doglioni, V. Iliceto, R. Nicolich, A. Rebez, E. Semenza, A. Zanferrari e C. Zanolla : Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale. C. N. R. – Gruppo Distretto Pedemontana Sud (PS) Nazionale per la Difesa dai Terremoti. Trieste 1987

Sugan M. e Peruzza L.; 2011: Distretti sismici del Veneto. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol. 52 (supplemento)

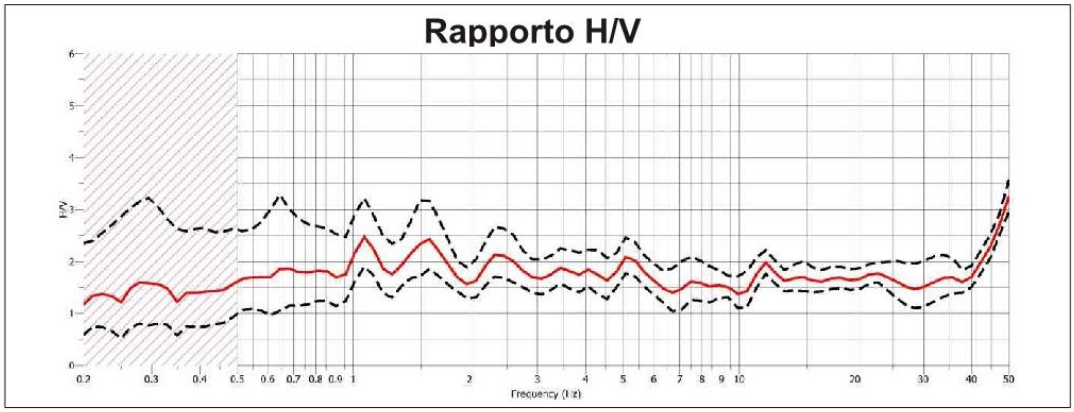
Zanferrari A., Bollettinari G., Carobene L., Carton A., Carulli G.B., Castaldini D., Cavallin A., Panizza M., Pellegrini G.B., Pianetti F. and Sauro U.; 1982: Evoluzione neotettonica dell'Italia nord-orientale. Mem. di Sc. Geol., 35, 355376.

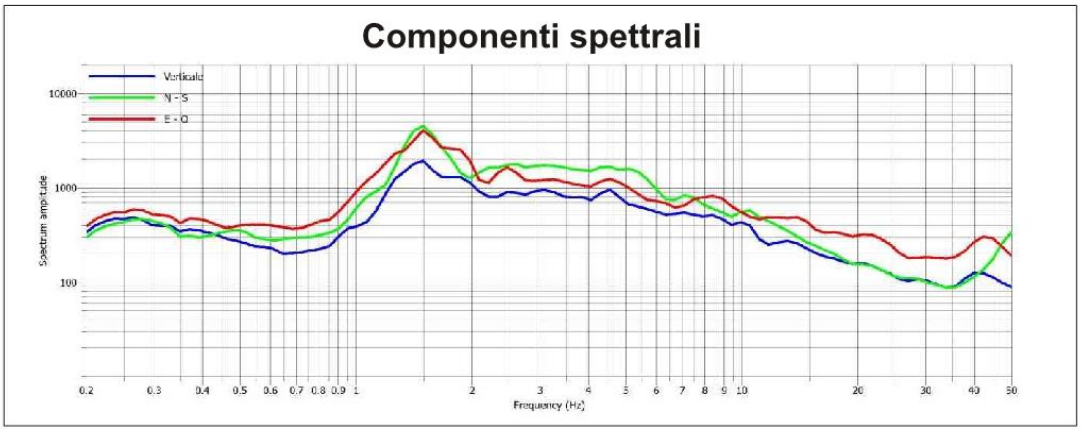
ALLEGATO 1: INDAGINI PUNTUALI

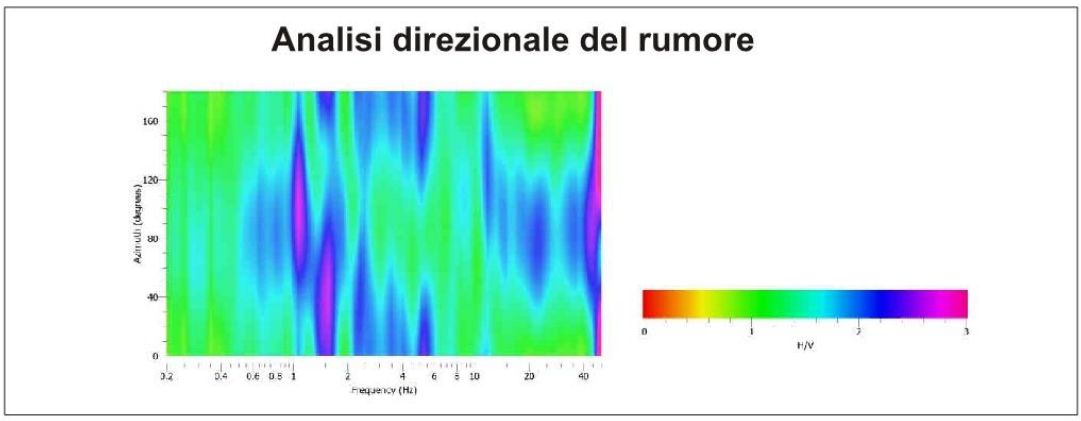
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE PUNTUALE N° 023033P1

Stazione di misura HVSR - Località: Costamora

Coordinate geografiche WGS84: Lat. 45.61373 Long. 10.98919	
File: 20220408_091155.SAF Data acquisizione: 08.04.2022	Durata tempo registrazione: 20 minuti Lunghezza finestra: 20 secondi
Frequenza di picco: n.p.	



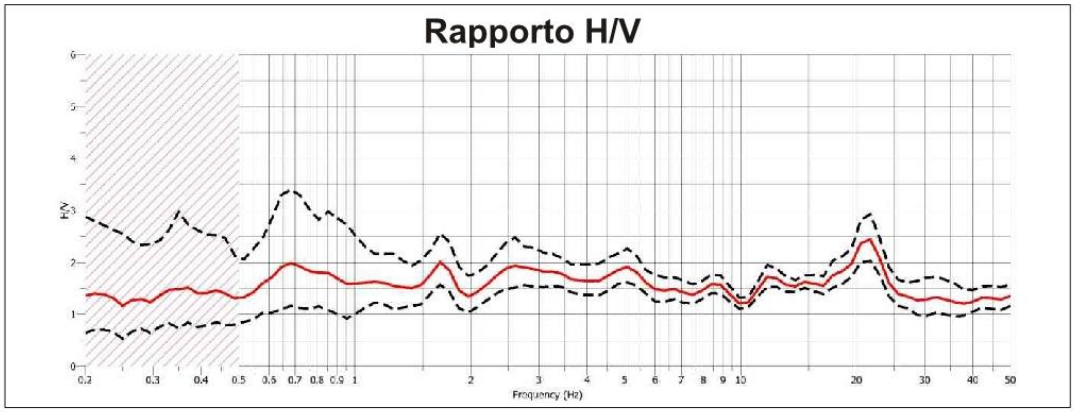


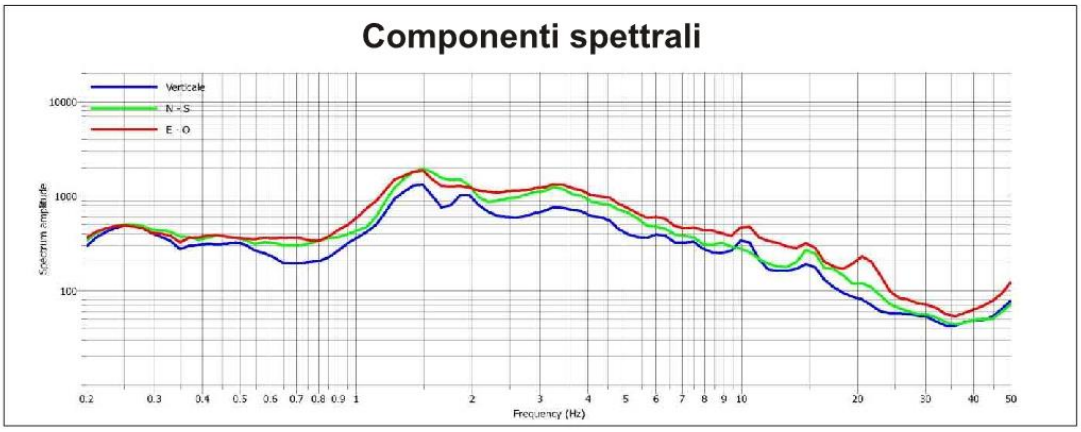


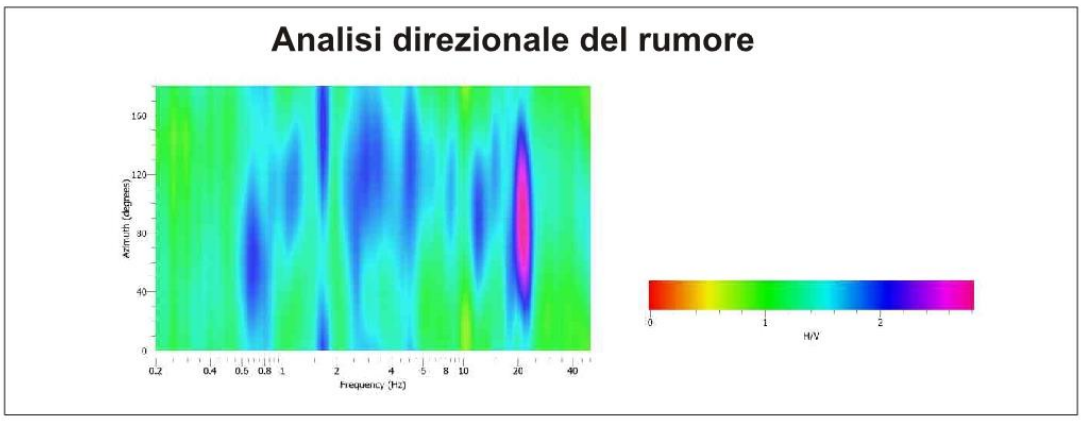
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE PUNTUALE N° 023033P2

Stazione di misura HVSR - Località:Pineta Fasani

Coordinate geografiche WGS84: Lat. 45.62438 Long. 10.99240	
File: 20220408_095316.SAF Data acquisizione: 08.04.2022	Durata tempo registrazione: 20 minuti Lunghezza finestra: 20 secondi
Frequenza di picco: n.p.	



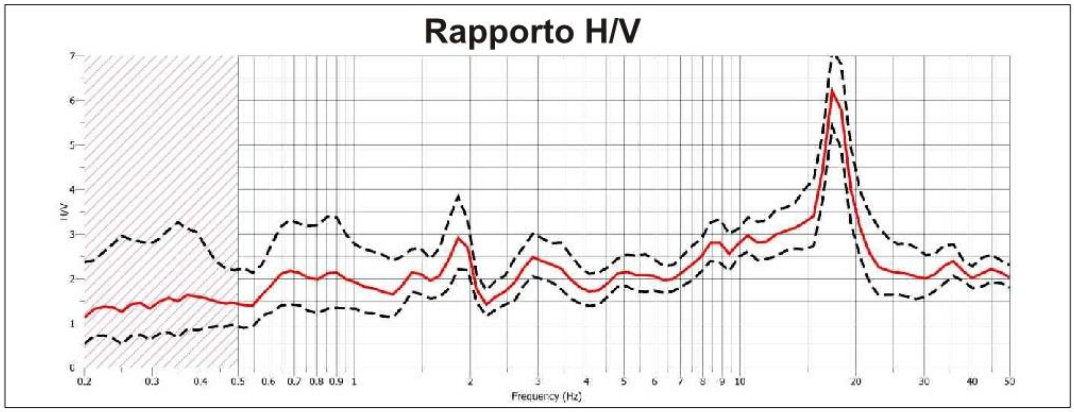


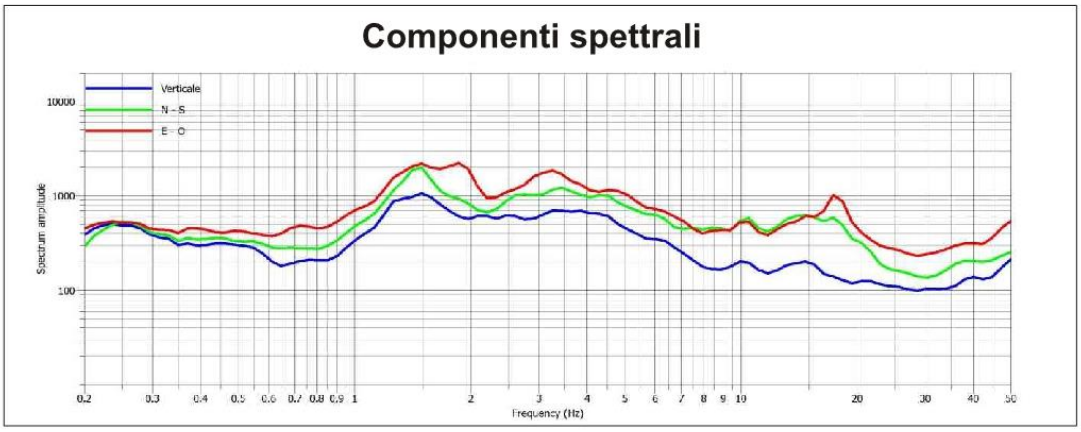


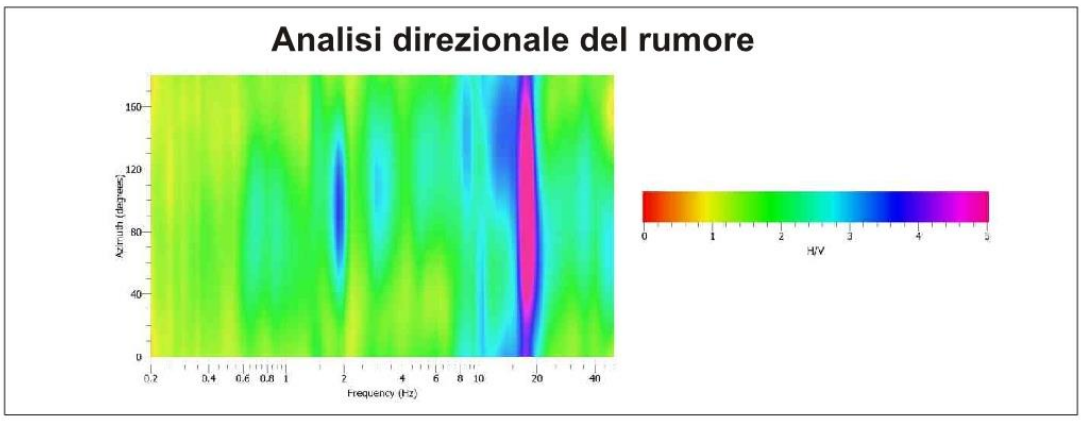
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE PUNTUALE N° 023033P3

Stazione di misura HVSR - Località: Cappella Fasani

Coordinate geografiche WGS84: Lat. 45.62701 Long. 10.98555	
File: 20220408_101937.SAF Data acquisizione: 08.04.2022	Durata tempo registrazione: 20 minuti Lunghezza finestra: 20 secondi
Frequenza di picco: 17 Hz	



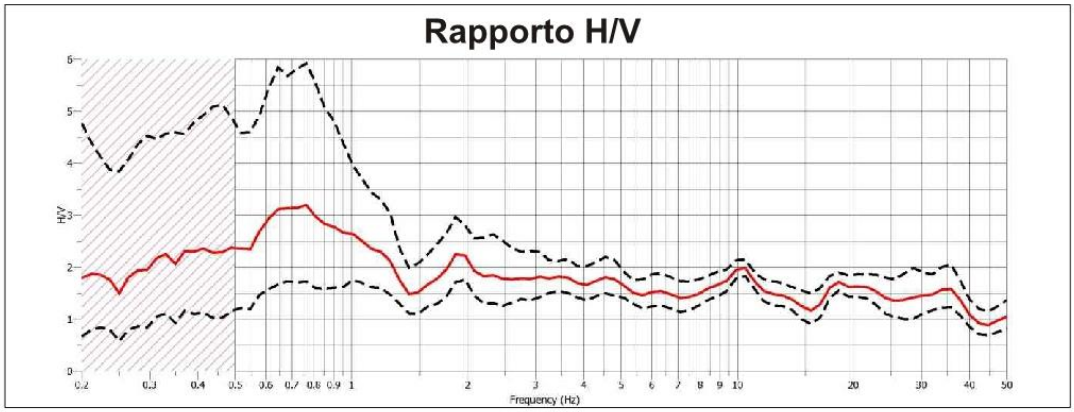


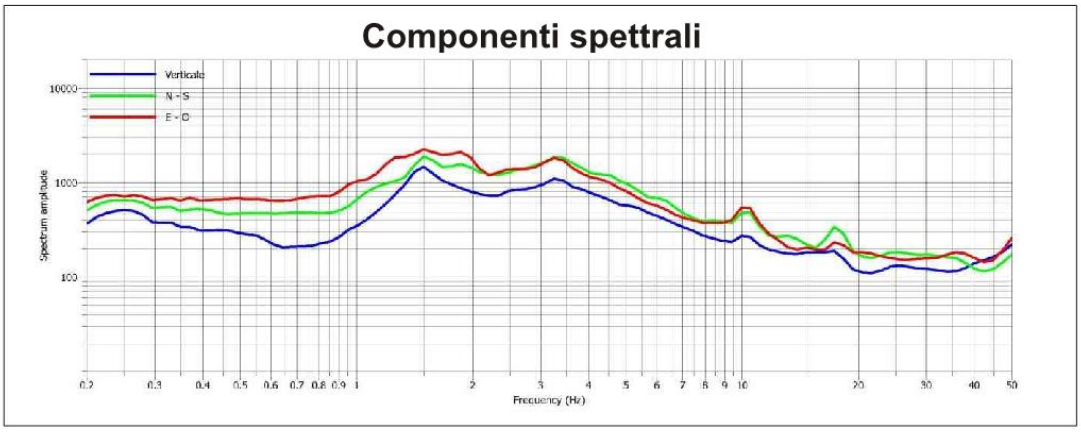


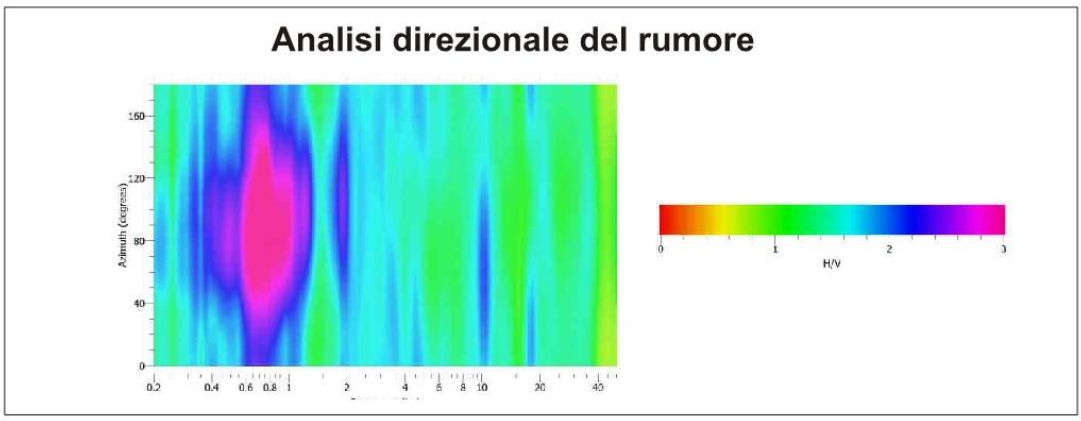
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE PUNTUALE N° 023033P4

Stazione di misura HVSR - Località: Dosso

Coordinate geografiche WGS84: Lat. 45.63187 Long. 10.98215
File: 20220408_104806.SAF Durata tempo registrazione: 20 minuti Data acquisizione: 08.04.2022 Lunghezza finestra: 20 secondi
Frequenza di picco: n.p.



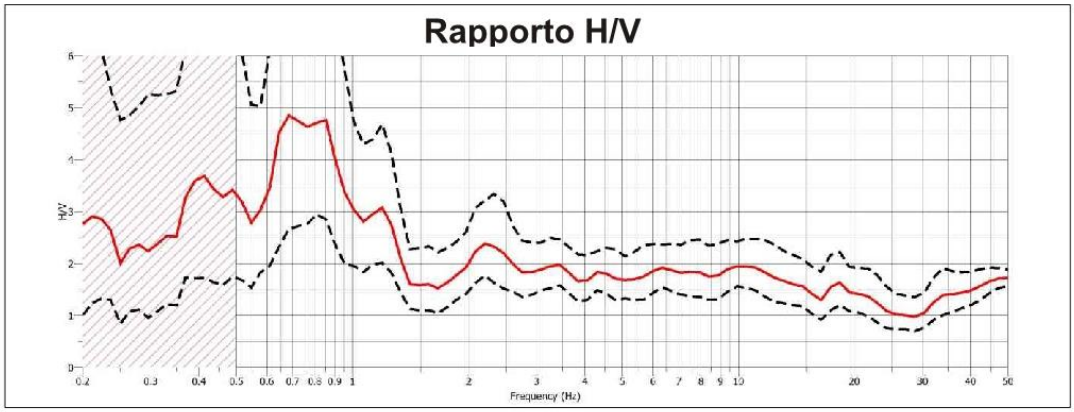


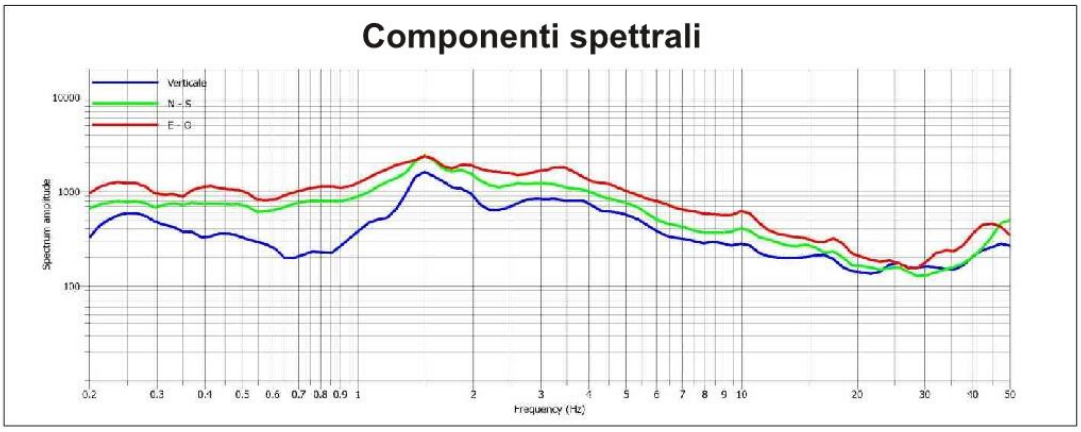


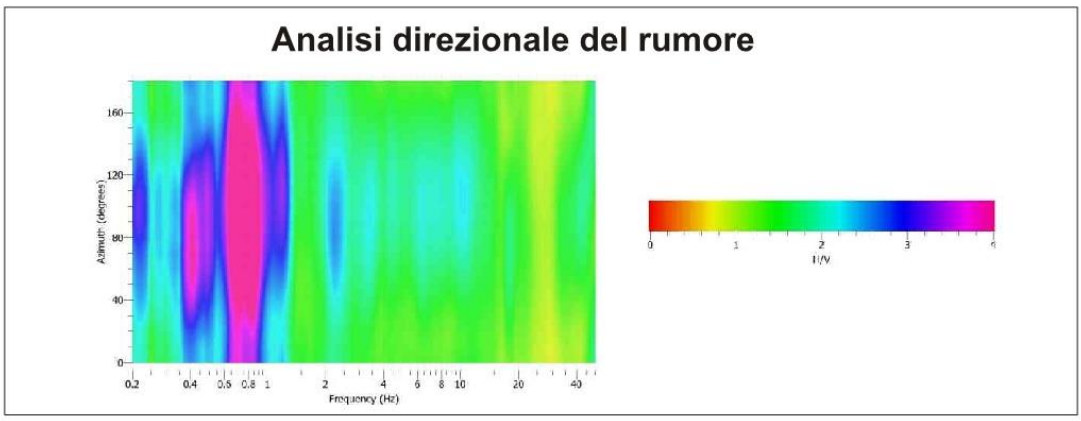
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE PUNTUALE N° 023033P5

Stazione di misura HVSR - Località: Morandini

Coordinate geografiche WGS84: Lat. 45.63593 Long. 10.98042	
File: 20220408_113225.SAF Data acquisizione: 08.04.2022	Durata tempo registrazione: 20 minuti Lunghezza finestra: 20 secondi
Frequenza di picco: 2,2 Hz	



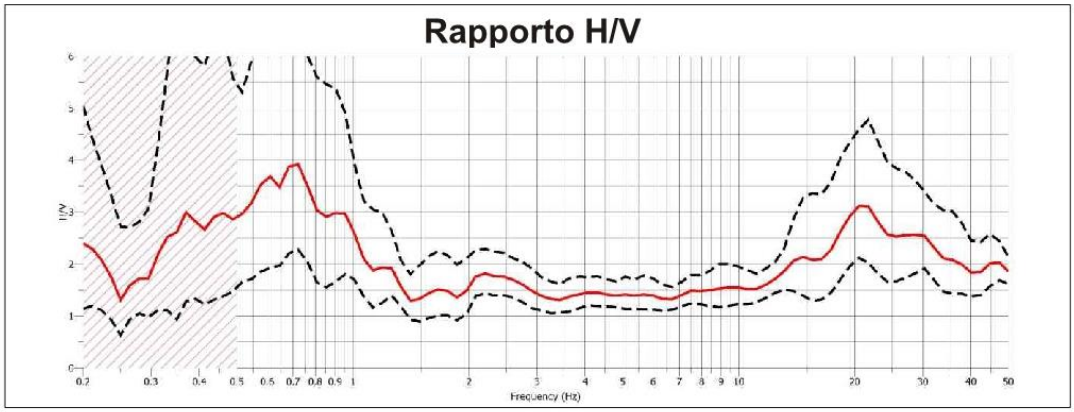


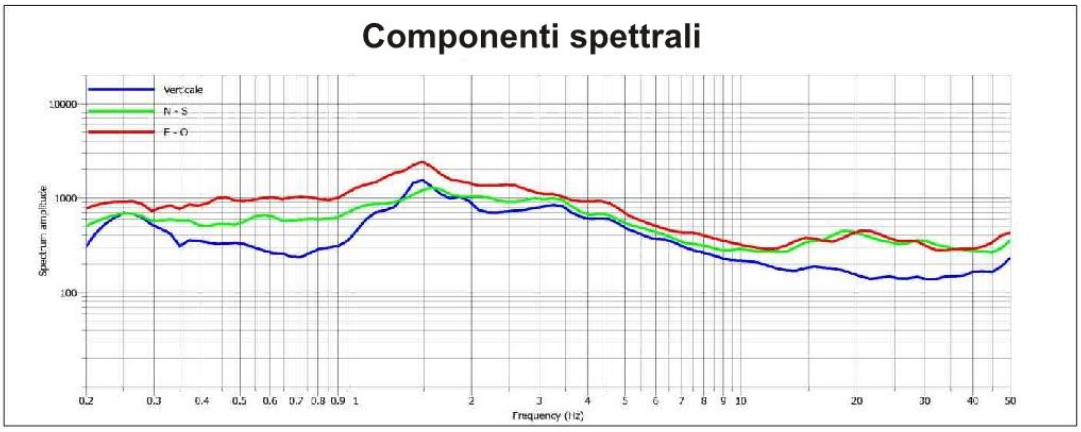


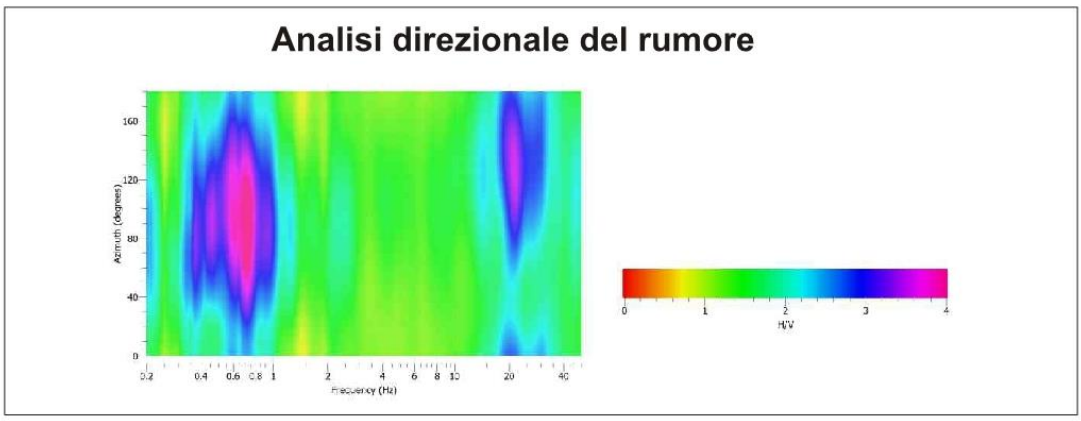
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE PUNTUALE N° 023033P6

Stazione di misura HVSR - Località: Spinelli

Coordinate geografiche WGS84: Lat. 45.64233 Long. 10.98297	
File: 20220408_120413.SAF Data acquisizione: 08.04.2022	Durata tempo registrazione: 20 minuti Lunghezza finestra: 20 secondi
Frequenza di picco: 20 Hz	



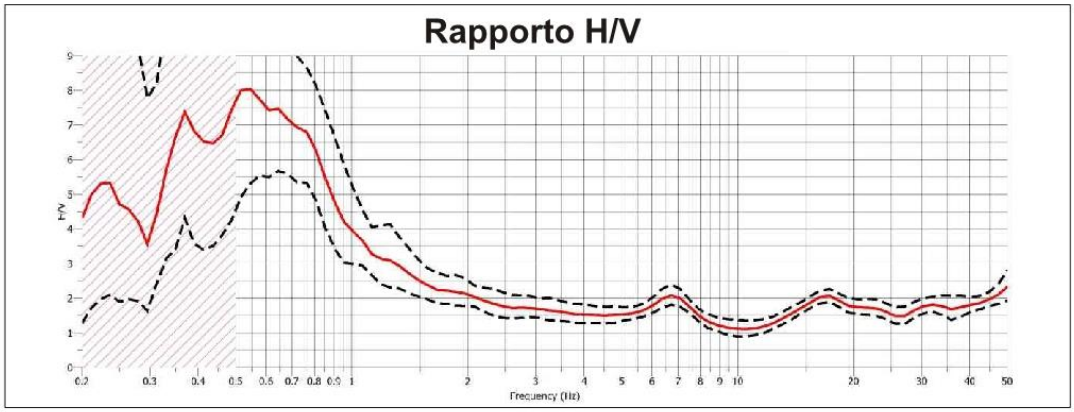


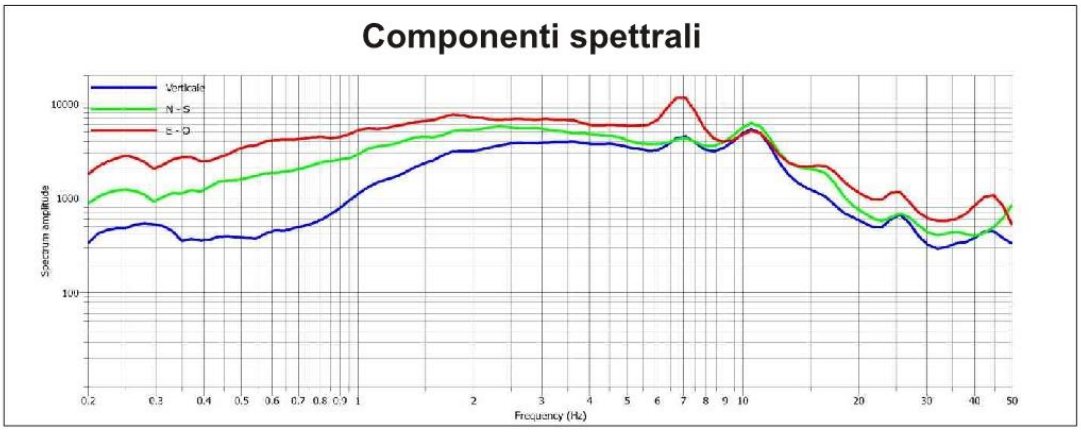


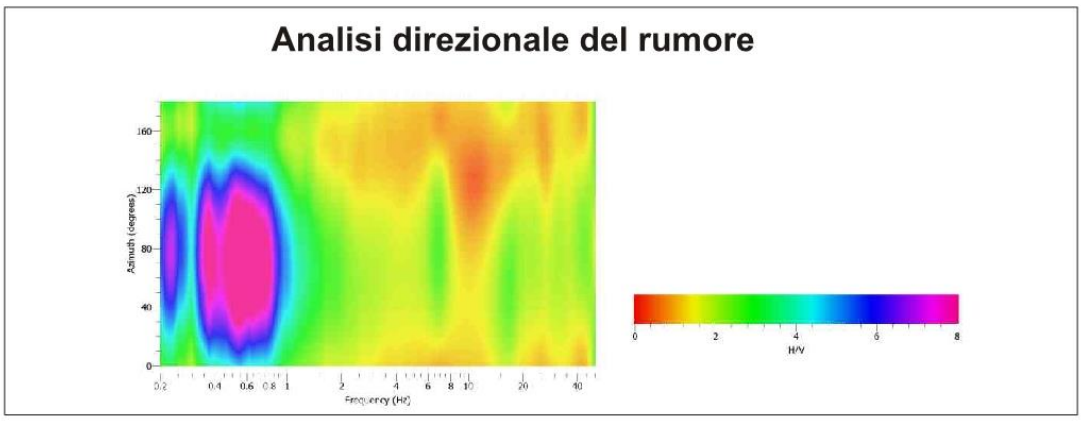
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE PUNTUALE N° 023033P7

Stazione di misura HVSR - Località: Bernardi

Coordinate geografiche WGS84: Lat. 45.64861 Long. 10.99929	
File: 20220408_135128.SAF Data acquisizione: 08.04.2022	Durata tempo registrazione: 19 minuti Lunghezza finestra: 20 secondi
Frequenza di picco: n.p.	



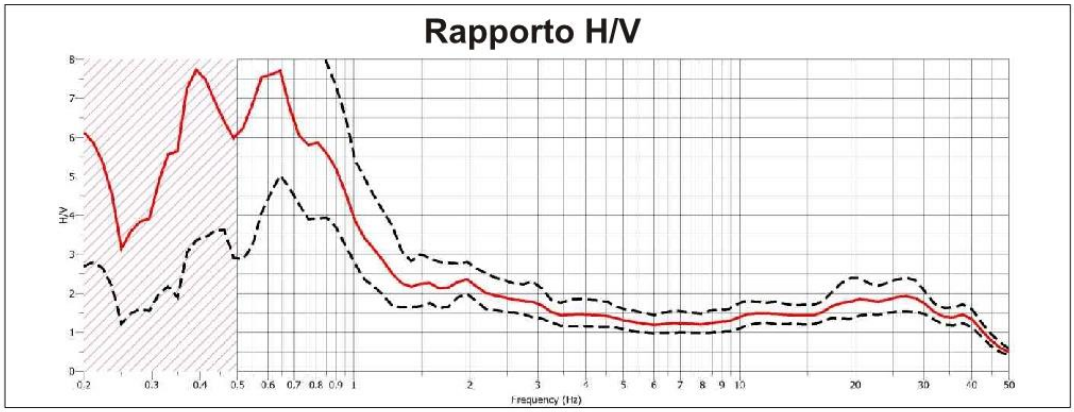


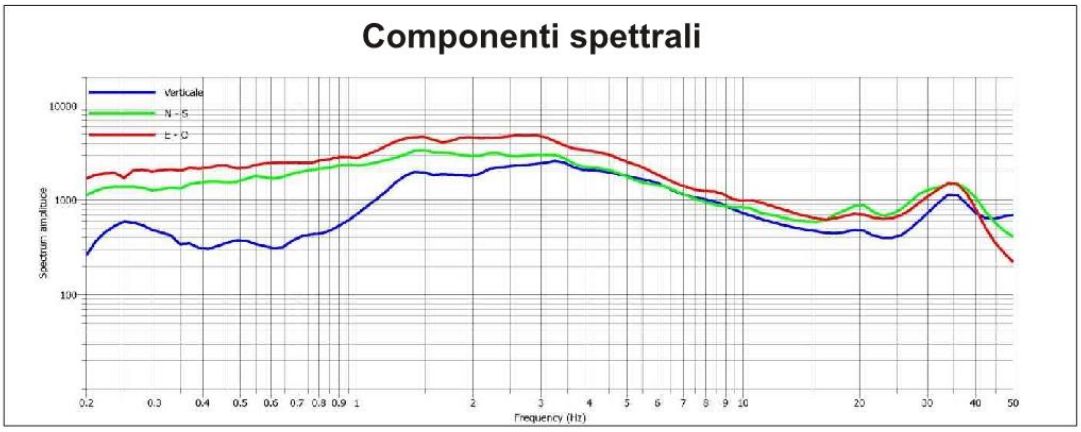


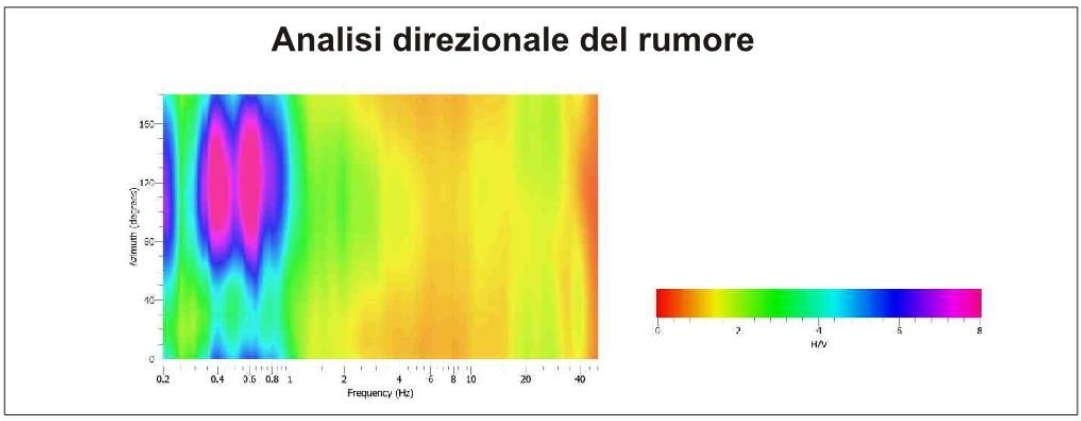
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE PUNTUALE N° 023033P8

Stazione di misura HVSR - Località: Valletta

Coordinate geografiche WGS84: Lat. 45.64487 Long. 10.99940	
File: 20220408_141736.SAF Data acquisizione: 08.04.2022	Durata tempo registrazione: 20 minuti Lunghezza finestra: 20 secondi
Frequenza di picco: n.p.	



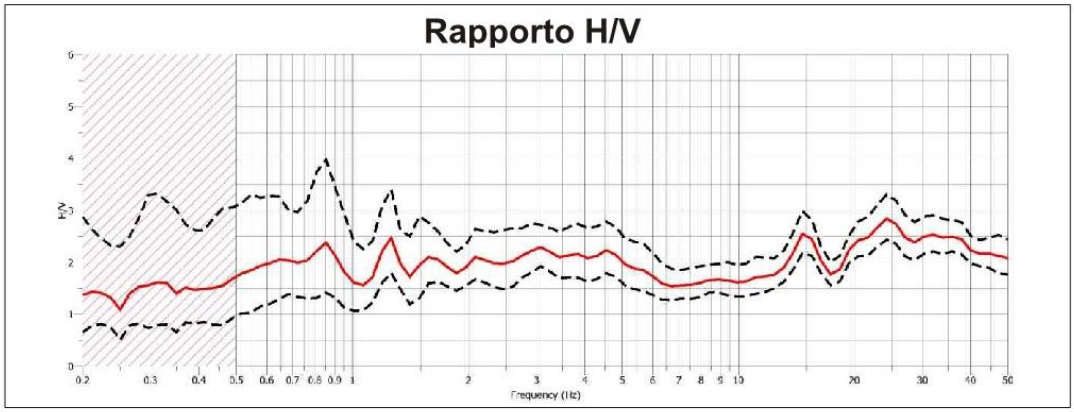


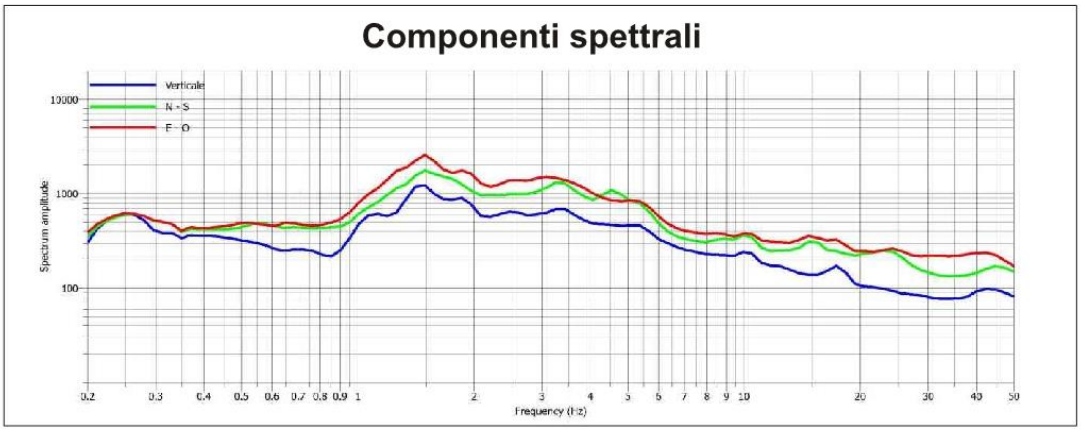


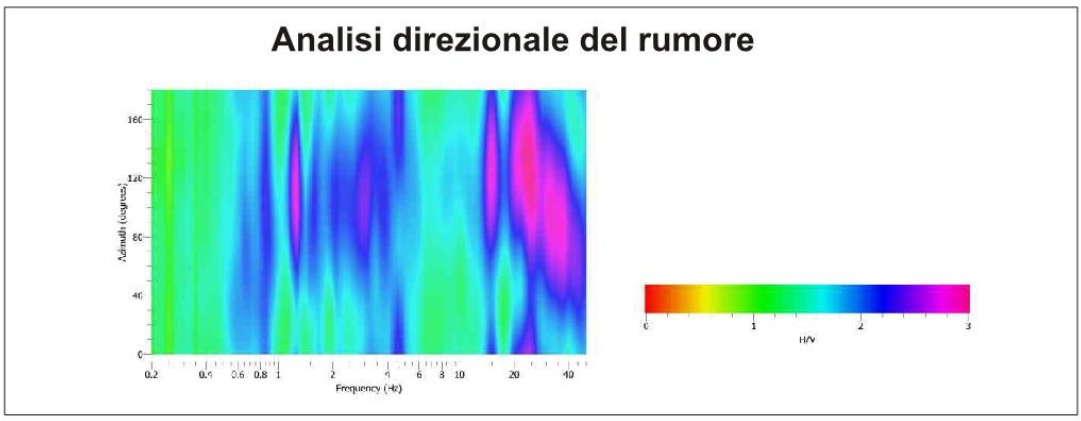
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE PUNTUALE N° 023033P9

Stazione di misura HVSR - Località: Via Roma

Coordinate geografiche WGS84: Lat. 45.64051 Long. 11.00594	
File: 20220408_144906.SAF Data acquisizione: 08.04.2022	Durata tempo registrazione: 20 minuti Lunghezza finestra: 20 secondi
Frequenza di picco: 15 Hz	



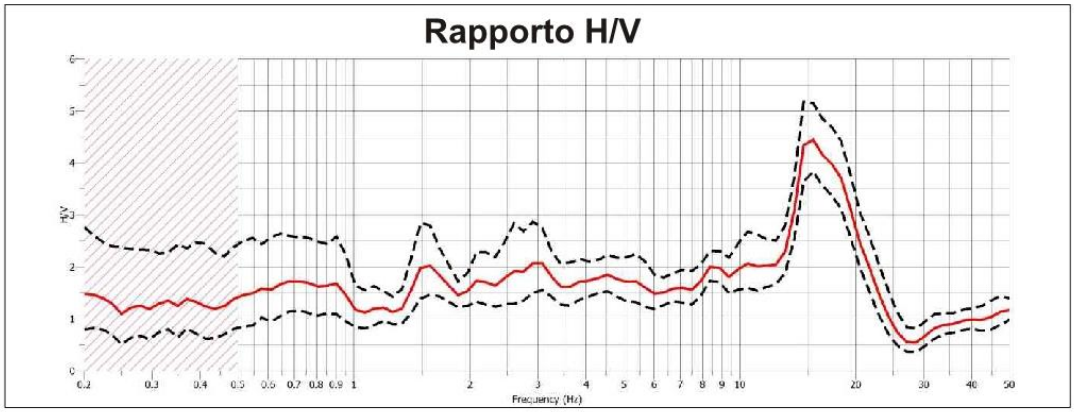


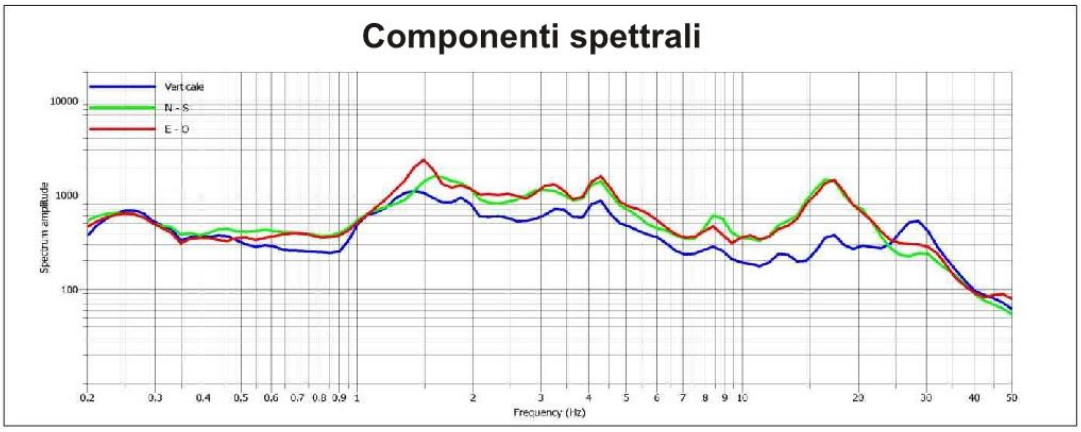


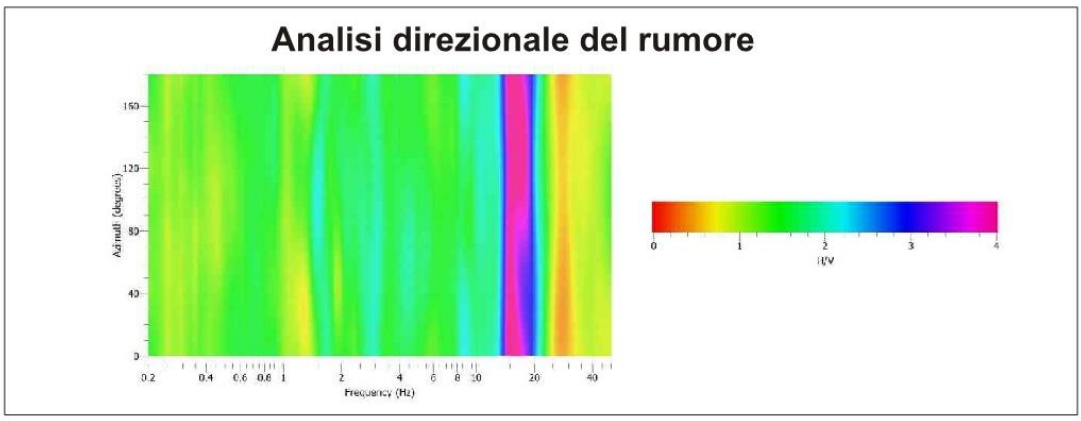
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE PUNTUALE N° 023033P10

Stazione di misura HVSR - Località: Via Roma

Coordinate geografiche WGS84: Lat. 45.64212 Long. 11.00039	
File: 20220408_152230.SAF Data acquisizione: 08.04.2022	Durata tempo registrazione: 20 minuti Lunghezza finestra: 20 secondi
Frequenza di picco: 15 Hz	







Identificativo	-
Id. SPU	028064P11
Località	Contrada Valbusi
Tipo di prova	T

Trincea T1 - ***Quota roccia substrato= -1,30 m da p.c.***

Vista della trincea *Vista dei materiali estratti*

Identificativo	-
Id. SPU	028064P12
Località	Contrada Valbusi
Tipo di prova	T

Trincea T2 - ***Quota roccia substrato= -1,20 m da p.c.***

Vista della trincea *Vista dei materiali estratti*

Identificativo	-
Id. SPU	028064P13
Località	Contrada Valbusi
Tipo di prova	T

Trincea T3 - Quota roccia substrato= -2,00 m da p.c.

Vista della trincea

Vista dei materiali estratti

Identificativo	-
Id. SPU	028064P14
Località	Contrada Valbusi
Tipo di prova	T

Trincea T4 - substrato= -3,50 m da p.c.

Vista dei materiali estratti

Identificativo	-
Id. SPU	028064P15
Località	Contrada Valbusi
Tipo di prova	T

Trincea T5 *- substrato= -4,20 m da p.c.*

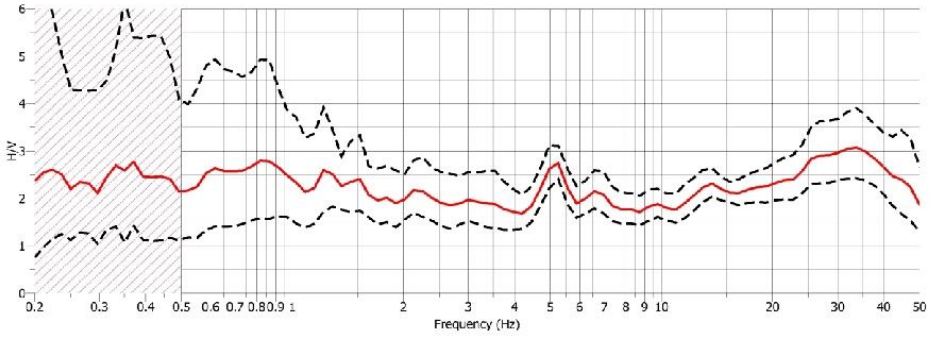
Vista dei materiali estratti

COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE PUNTUALE N° 023033P16

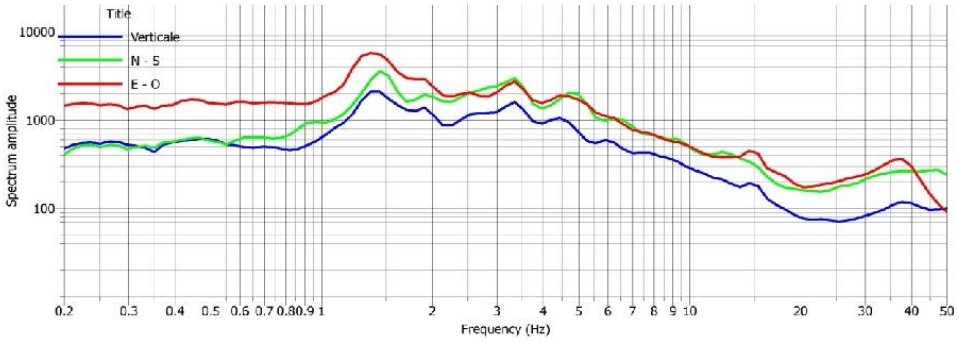
Stazione di misura HVSR - Località: ad Est Erbezzo centro

Coordinate geografiche WGS84 : 45.643909 11.006010	
File: 20241011_102703 Data acquisizione: 11/10/2024	Durata tempo registrazione: 11 minuti Lunghezza finestra: 20 secondi
Frequenza di picco: 32 Hz	

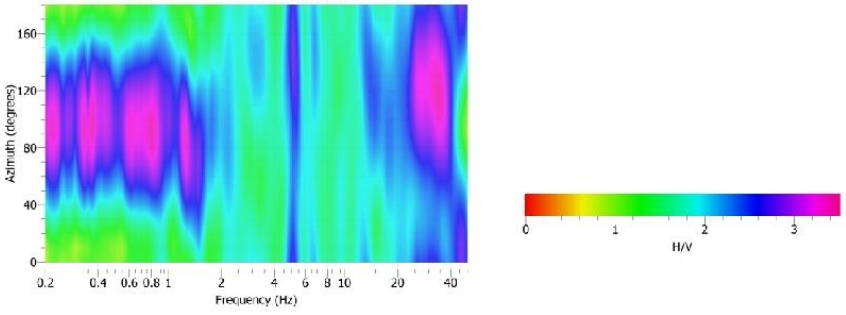
Rapporto H/V



Componenti spettrali



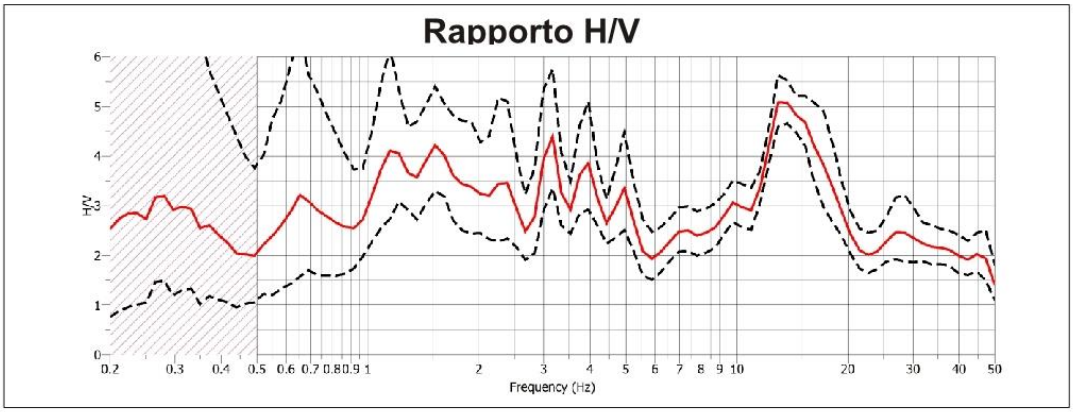
Analisi direzionale del rumore

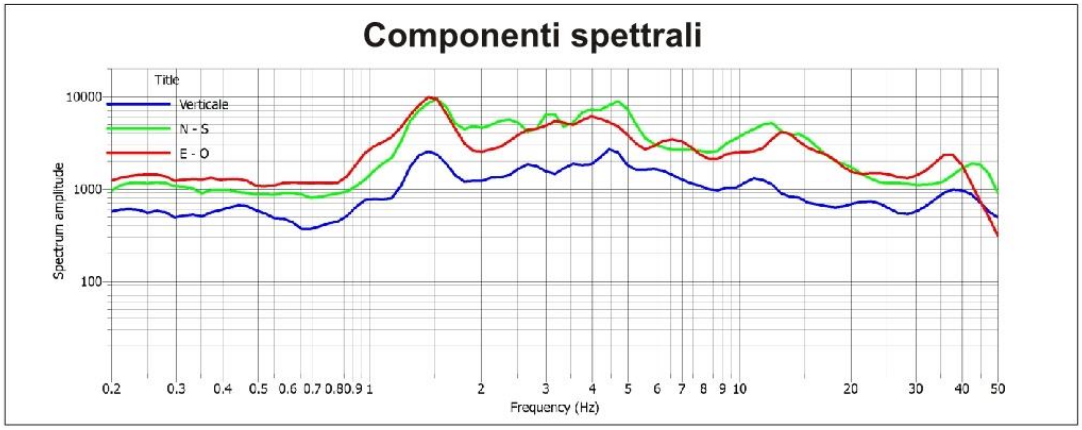


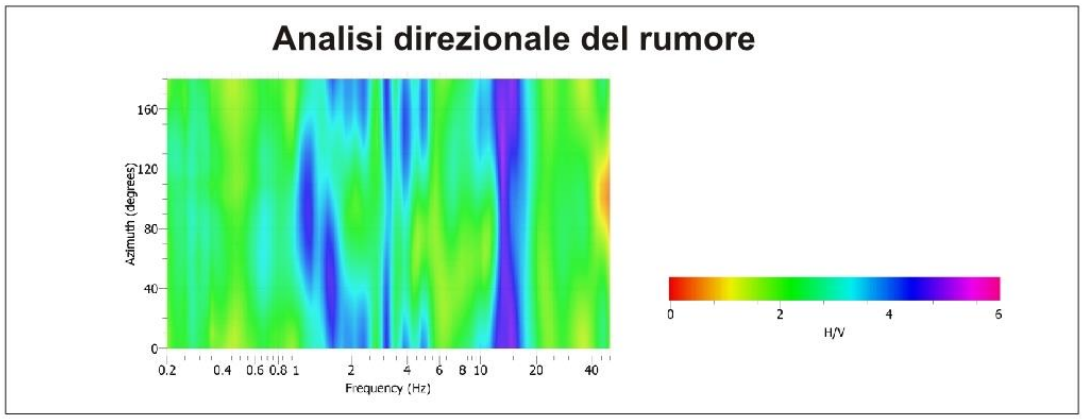
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE PUNTUALE N° 023033P17

Stazione di misura HVSR - Località: Contrada Portello

Coordinate geografiche WGS84 : 45.606228 10.994704
File: 20241011_171714 Durata tempo registrazione: 12 minuti Data acquisizione: 11/10/2024 Lunghezza finestra: 20 secondi
Frequenza di picco: 13 Hz







Identificativo	-
Id. SPU	**028064P18**
Località	Via Vaccamozzi - Loc. Villanova
Tipo di prova	T

Trincea – T2

Prof. [m] dal p.c.	Litologia
0,0 – 1,2	Limo argilloso sabbioso, con abbondante detrito

Identificativo	-
Id. SPU	**028064P19**
Località	Via Degli Alpini - Loc. Villanova
Tipo di prova	T

Trincea – T2

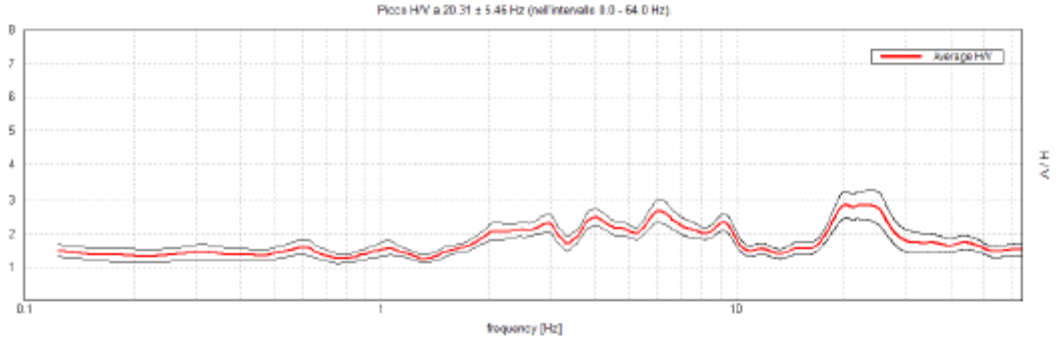
Prof. [m] dal p.c.	Litologia
0,0 – 1,7	Limo argilloso sabbioso con elementi ghiaiosi
1,7 – oltre	Substrato roccioso alterato (cappellaccio)

Identificativo	-
Id. SPU	**028064P20**
Località	Via Degli Alpini - Loc. Villanova
Tipo di prova	HVSR

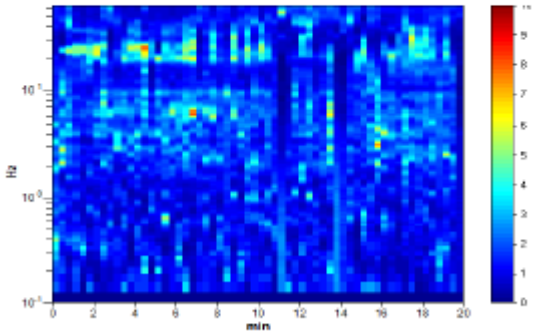
➢ ***Scheda Indagine HVSR 1***

Strumento: TRZ-0091/01-10
Formato dati: 16 bit
Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 26/06/2023 09:59:46 Fine registrazione: 26/06/2023 10:19:45
Tipo di lisciamento: Triangular window
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile
Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

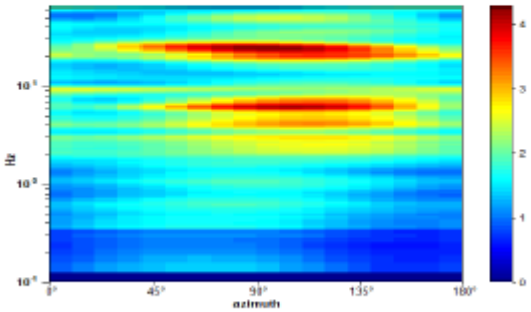
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



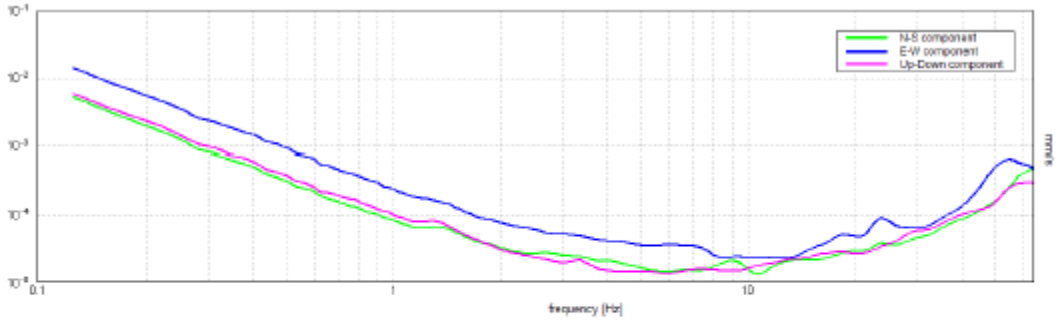
SERIE TEMPORALE H/V



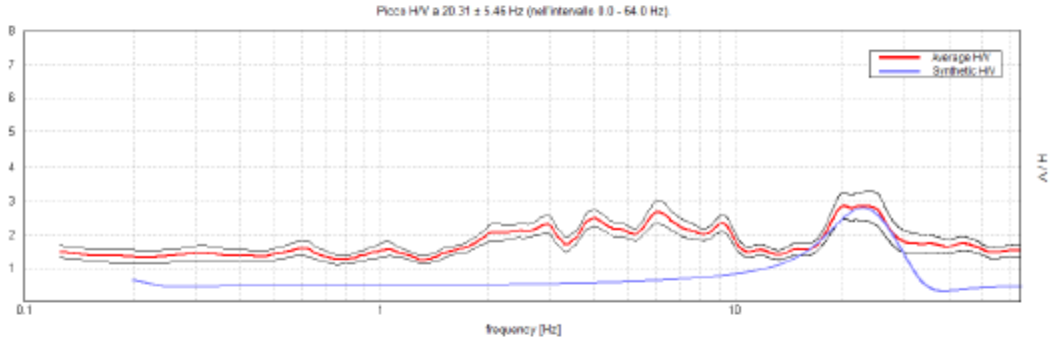
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

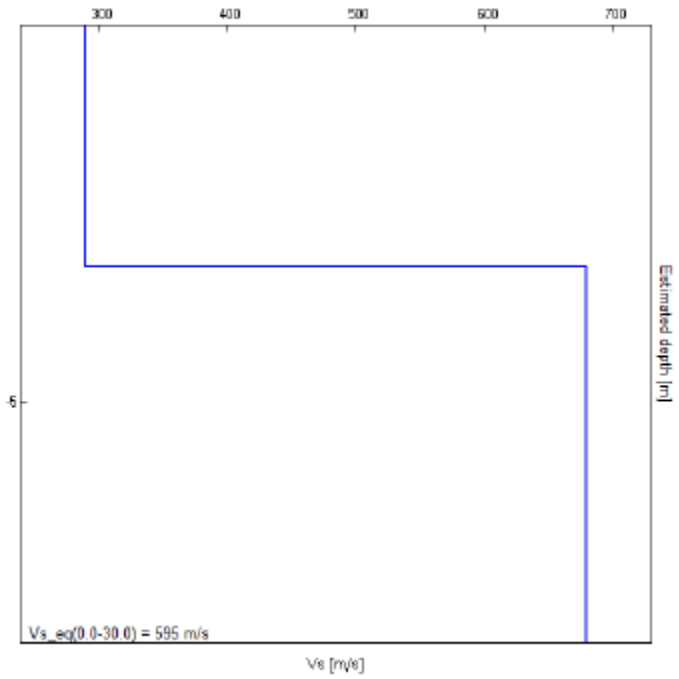


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
3.20	3.20	290	0.35
inf.	inf.	680	0.30

Vs_eq (0.0-30.0) = 595 m/s



Picco H/V a 20.31 ± 5.46 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	20.31 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	24375.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Superato 0 volte su 976	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	13.625 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	-1.0 Hz		NO
$A_0 > 2$	2.86 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.26883| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	5.4607 < 1.01563		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3949 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

- ✓ i primi 3 criteri della voce **Criteria for a reliable H/V curve** definiscono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco
- ✓ i secondi 6 criteri della voce **Criteria for a clear H/V peak** dovrebbero stabilire se il picco è significativo dal punto statistico; è consigliato che ne siano soddisfatti il più possibile ma non necessariamente lo devono essere tutti.

ALLEGATO 2: INDAGINI LINEARI

COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE LINEARE N° 023033L1

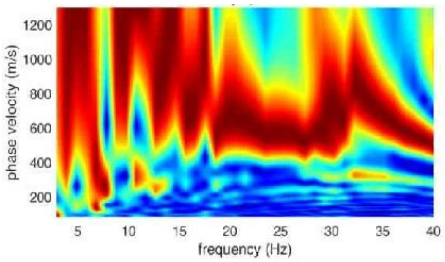
Località: Contrada Resti

Profilo MASW e Profilo Sismico a Rifrazione

Data esecuzione : 21.11.2022

MASW - SHOT IN ANDATA

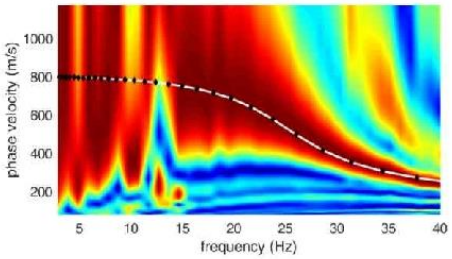
Love velocity spectrum



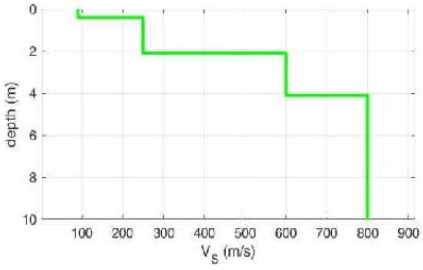
Profilo verticale Vs

MASW - SHOT IN RITORNO

Love velocity spectrum



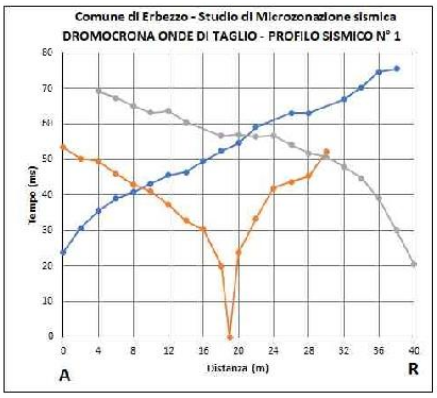
Profilo verticale Vs



INTERPRETAZIONE

spessore (m)	Vs (m/s)
0,4	90
1,7	250
2	600
	800

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE IN ONDE "S"



INTERPRETAZIONE PUNTO A

spessore (m)	Vs (m/s)
0,9	90
1	230
2,2	610
	850

INTERPRETAZIONE PUNTO R

spessore (m)	Vs (m/s)
0,6	90
2,4	225
0,8	600
	850

COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE LINEARE N° 023033L2

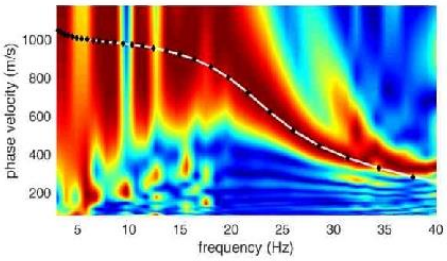
Località: Valletta

Profilo MASW e Profilo Sismico a Rifrazione

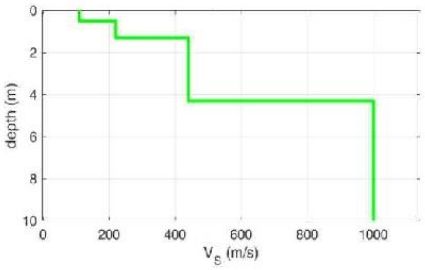
Data esecuzione : 21.11.2022

MASW - SHOT IN ANDATA

Love velocity spectrum



Profilo verticale Vs

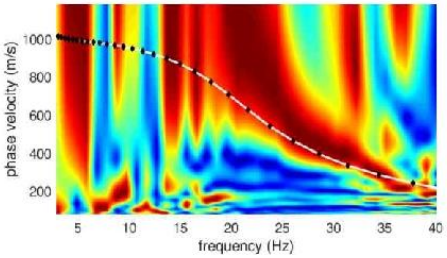


INTERPRETAZIONE

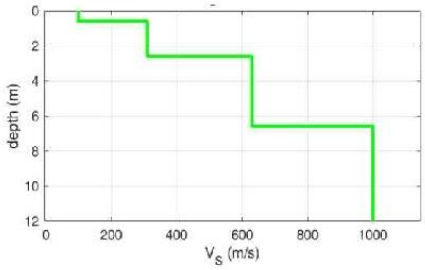
spessore (m)	Vs (m/s)
0,5	110
0,8	220
3	440
	1000

MASW - SHOT IN RITORNO

Love velocity spectrum



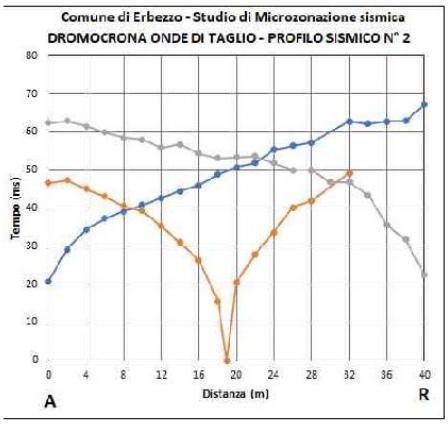
Profilo verticale Vs



INTERPRETAZIONE

spessore (m)	Vs (m/s)
0,6	100
2	310
4	630
	1000

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE IN ONDE "S"



INTERPRETAZIONE PUNTO A

spessore (m)	Vs (m/s)
0,6	90
0,9	200
2,3	440
	1200

INTERPRETAZIONE PUNTO R

spessore (m)	Vs (m/s)
0,7	90
2,7	310
3,6	630
	1200

COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE LINEARE N° 023033L3

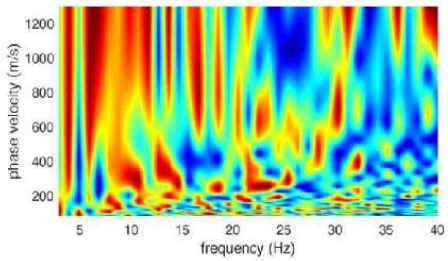
Località: Contrada Villanova

Profilo MASW e Profilo Sismico a Rifrazione

Data esecuzione : 21.11.2022

MASW - SHOT IN ANDATA

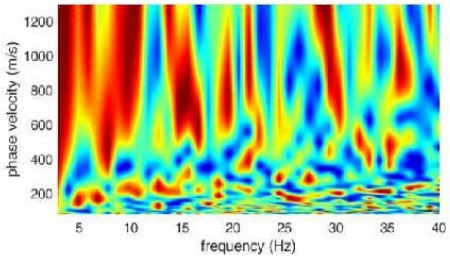
Love velocity spectrum



Profilo verticale Vs

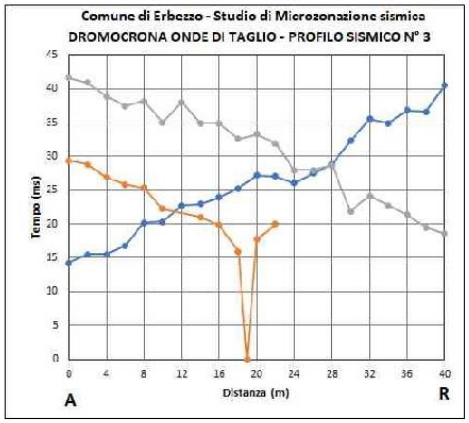
MASW - SHOT IN RITORNO

Love velocity spectrum



Profilo verticale Vs

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE IN ONDE "S"



INTERPRETAZIONE PUNTO A

spessore (m)	Vs (m/s)
1	160
	1300

INTERPRETAZIONE PUNTO R

spessore (m)	Vs (m/s)
0,9	110
	1300

COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE LINEARE N° 023033L4

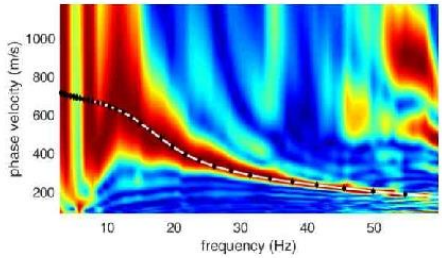
Località: Cappella Fasani

Profilo MASW e Profilo Sismico a Rifrazione

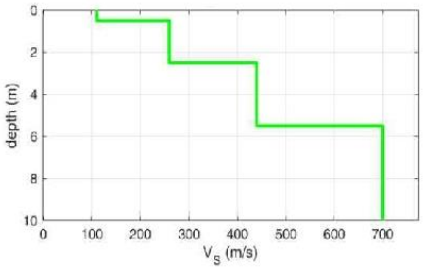
Data esecuzione : 21.11.2022

MASW - SHOT IN ANDATA

Love velocity spectrum



Profilo verticale Vs

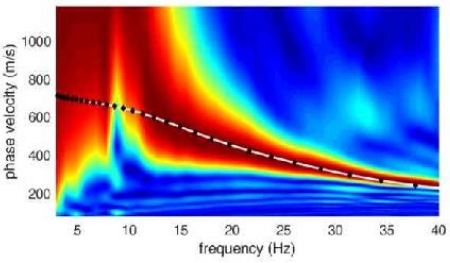


INTERPRETAZIONE

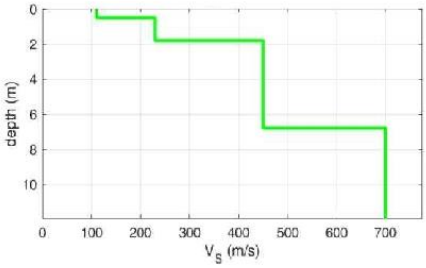
spessore (m)	Vs (m/s)
0,5	110
2	260
3	440
	700

MASW - SHOT IN RITORNO

Love velocity spectrum



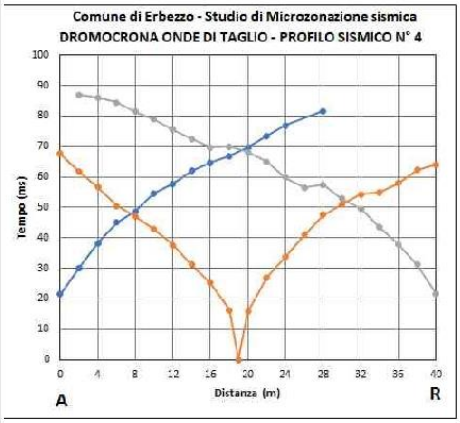
Profilo verticale Vs



INTERPRETAZIONE

spessore (m)	Vs (m/s)
0,6	110
1,3	230
5	450
	700

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE IN ONDE "S"



INTERPRETAZIONE PUNTO A

spessore (m)	Vs (m/s)
0,7	90
2	220
2,5	440
	740

INTERPRETAZIONE PUNTO R

spessore (m)	Vs (m/s)
0,7	90
1,1	220
5,4	480
	740

COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE LINEARE N° 023033L5

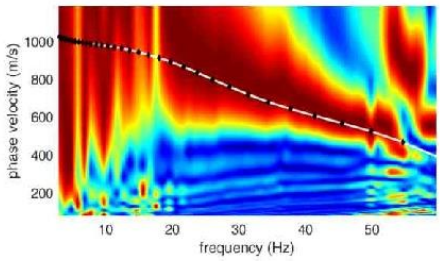
Località: Contrada Masselli

Profilo MASW e Profilo Sismico a Rifrazione

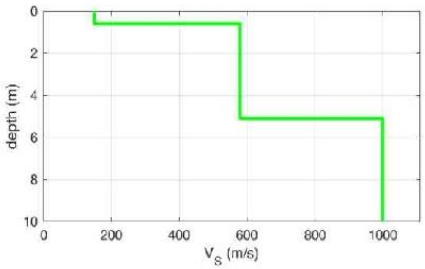
Data esecuzione : 21.11.2022

MASW - SHOT IN ANDATA

Love velocity spectrum



Profilo verticale Vs

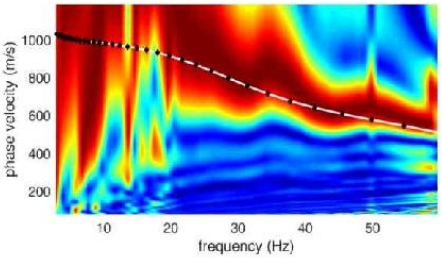


INTERPRETAZIONE

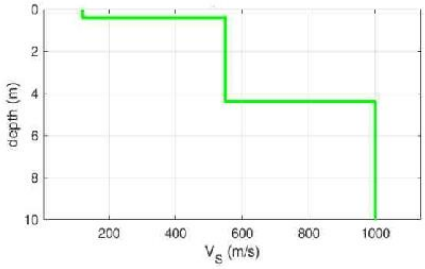
spessore (m)	Vs (m/s)
0,6	150
4,5	580
	1000

MASW - SHOT IN RITORNO

Love velocity spectrum



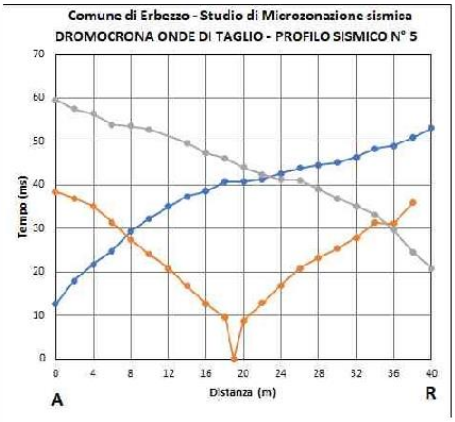
Profilo verticale Vs



INTERPRETAZIONE

spessore (m)	Vs (m/s)
0,4	120
4	550
	1000

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE IN ONDE "S"



INTERPRETAZIONE PUNTO A

spessore (m)	Vs (m/s)
0,9	150
4,1	580
	1100

INTERPRETAZIONE PUNTO R

spessore (m)	Vs (m/s)
0,8	90
2,2	600
	1100

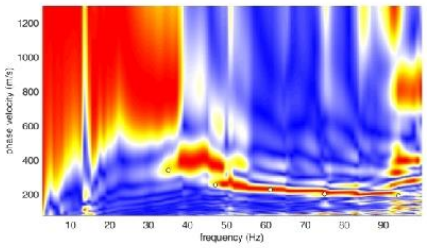
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE LINEARE N° 023033L6

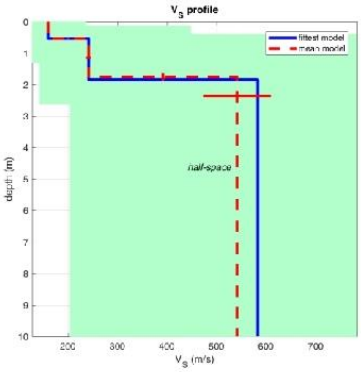
Località: ad Est centro Erbezzo

Profilo MASW e Profilo Sismico a Rifrazione

Data esecuzione : 11.10.2024

MASW - SHOT IN ANDATA

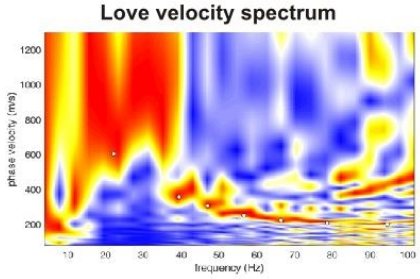


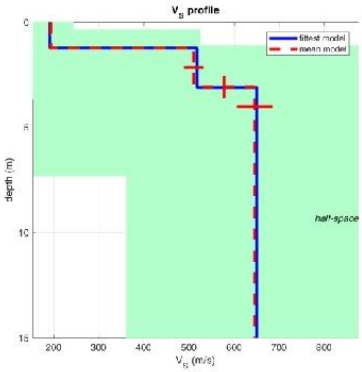


INTERPRETAZIONE

spessore (m)	Vs (m/s)
0,5	160
1,2	240
	540

MASW - SHOT IN RITORNO



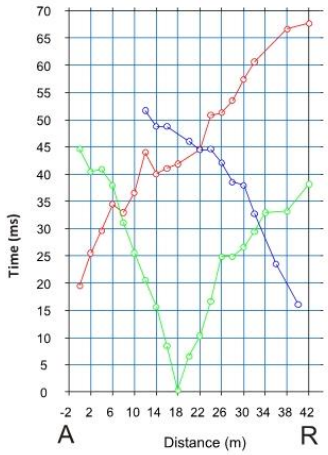


INTERPRETAZIONE

spessore (m)	Vs (m/s)
1,2	190
1,9	510
	650

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE IN ONDE "S"

DROMOCRONA ONDE DI TAGLIO - PROFILO SISMICO L6



INTERPRETAZIONE PUNTO A

spessore (m)	Vs (m/s)
1,2	200
2,8	400
	1000

INTERPRETAZIONE PUNTO R

spessore (m)	Vs (m/s)
1,3	260
4,5	460
	1200

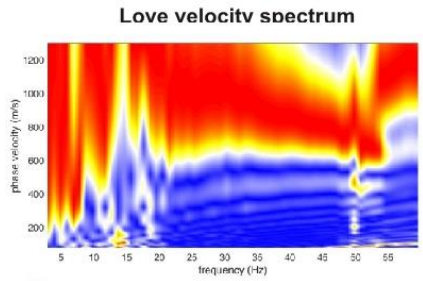
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE LINEARE N° 023033L7

Località: Contrada Manar

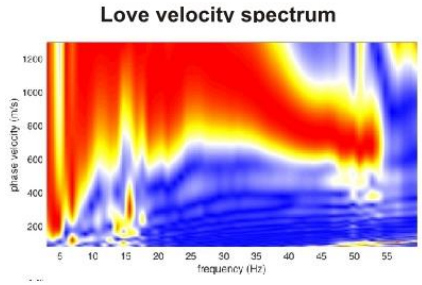
Profilo MASW e Profilo Sismico a Rifrazione

Data esecuzione : 11.10.2024

MASW - SHOT IN ANDATA

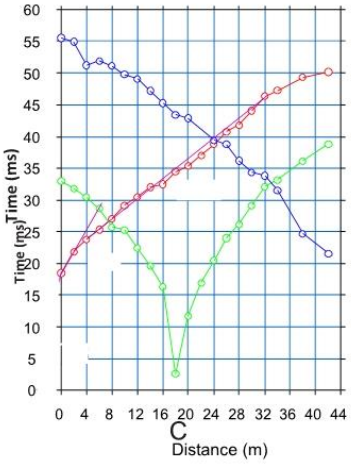


MASW - SHOT IN RITORNO



PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE IN ONDE "S"

DROMOCRONA ONDE DI TAGLIO - PROFILO SISMICO L7



INTERPRETAZIONE
PUNTO C

spessore (m)	Vs (m/s)
0,7	170
1,5	400
3,8	670
	1400

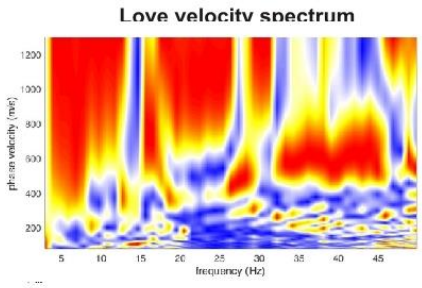
COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE LINEARE N° 023033L8

Località: Contrada Staffor

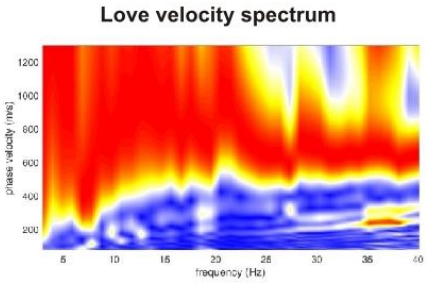
Profilo MASW e Profilo Sismico a Rifrazione

Data esecuzione : 11.10.2024

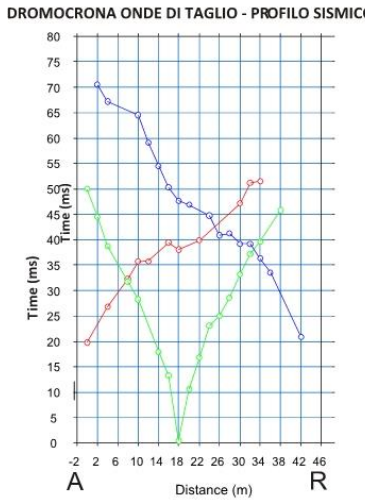
MASW - SHOT IN ANDATA



MASW - SHOT IN RITORNO



PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE IN ONDE "S"



INTERPRETAZIONE PUNTO A

spessore (m)	Vs (m/s)
1,4	200
3,6	550
	1350

INTERPRETAZIONE PUNTO R

spessore (m)	Vs (m/s)
1,3	190
4,5	550
	1350

COMUNE DI ERBEZZO - INDAGINE LINEARE N° 023033L9

Località: Pineta Fasani

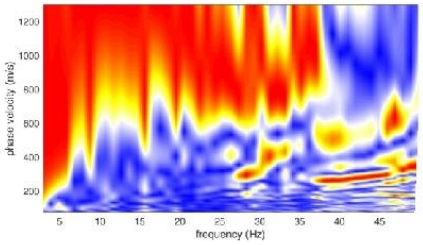
Profilo MASW e Profilo Sismico a Rifrazione

Data esecuzione : 11.10.2024

MASW - SHOT IN ANDATA

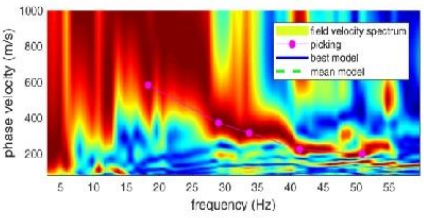
Profilo verticale Vs

Love velocity spectrum

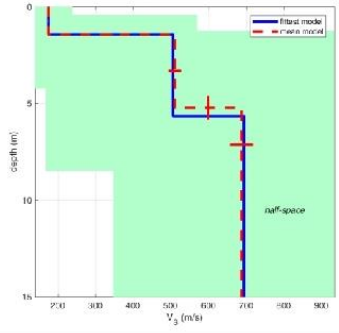


MASW - SHOT IN RITORNO

Love velocity spectrum



Profilo verticale Vs

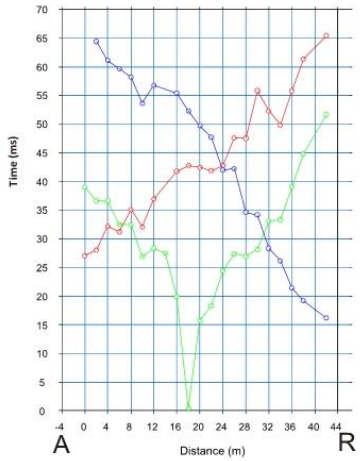


INTERPRETAZIONE

spessore (m)	Vs (m/s)
1,4	175
3,8	510
	690

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE IN ONDE "S"

DROMOCRONA ONDE DI TAGLIO - PROFILO SISMICO L9

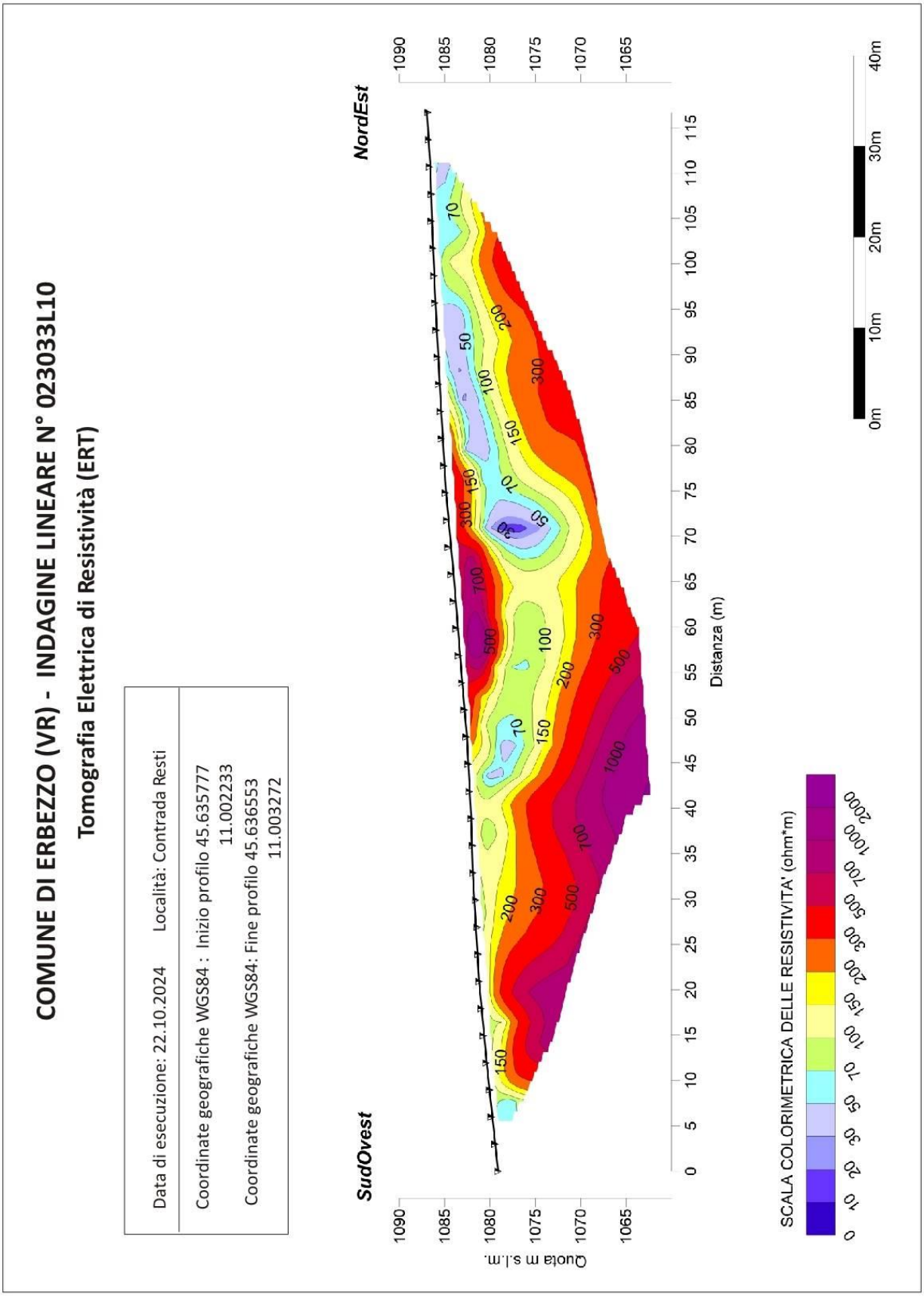


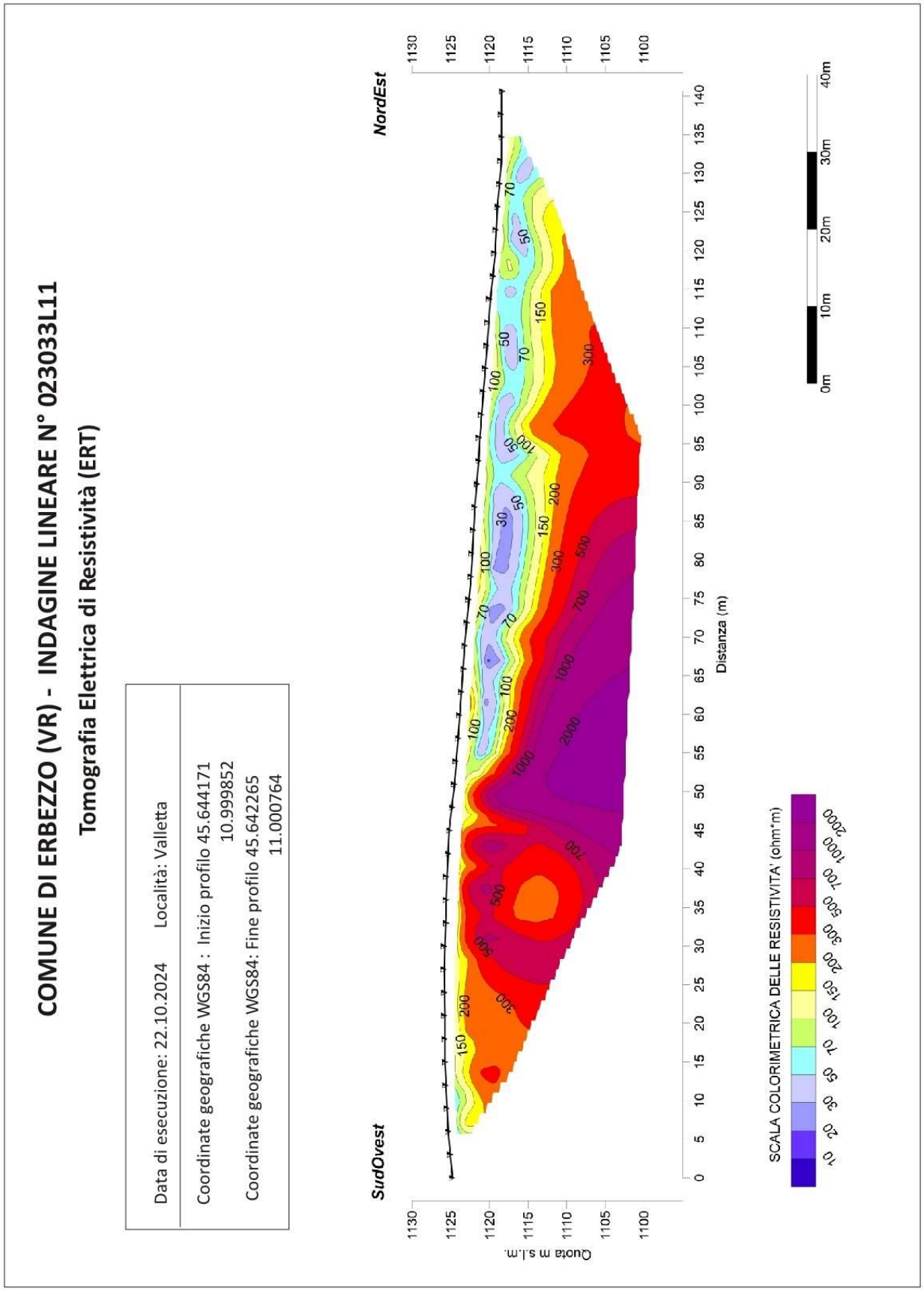
INTERPRETAZIONE PUNTO A

spessore (m)	Vs (m/s)
1,8	140
	1100

INTERPRETAZIONE PUNTO R

spessore (m)	Vs (m/s)
1,1	200
10,7	590
	1700


COMUNE DI ERBEZZO (VR) - INDAGINE LINEARE N° 023033L10
Tomografia Elettrica di Resistività (ERT)
Data di esecuzione: 22.10.2024
Località: Contrada Resti
Coordinate geografiche WGS84 : Inizio profilo 45.635777 11.002233
Coordinate geografiche WGS84: Fine profilo 45.636553 11.003272
SudOvest
NordEst
Quota m s.l.m.
Distanza (m)
SCALA COLORIMETRICA DELLE RESISTIVITA' (ohm*m)
0m 10m 20m 30m 40m


COMUNE DI ERBEZZO (VR) - INDAGINE LINEARE N° 023033L11
Tomografia Elettrica di Resistività (ERT)
Data di esecuzione: 22.10.2024 Località: Valletta
Coordinate geografiche WGS84 : Inizio profilo 45.644171 10.999852
Coordinate geografiche WGS84: Fine profilo 45.642265 11.000764
SudOvest
NordEst
Quota m s.l.m.
Distanza (m)
SCALA COLORIMETRICA DELLE RESISTIVITA' (ohm*m)
0m 10m 20m 30m 40m

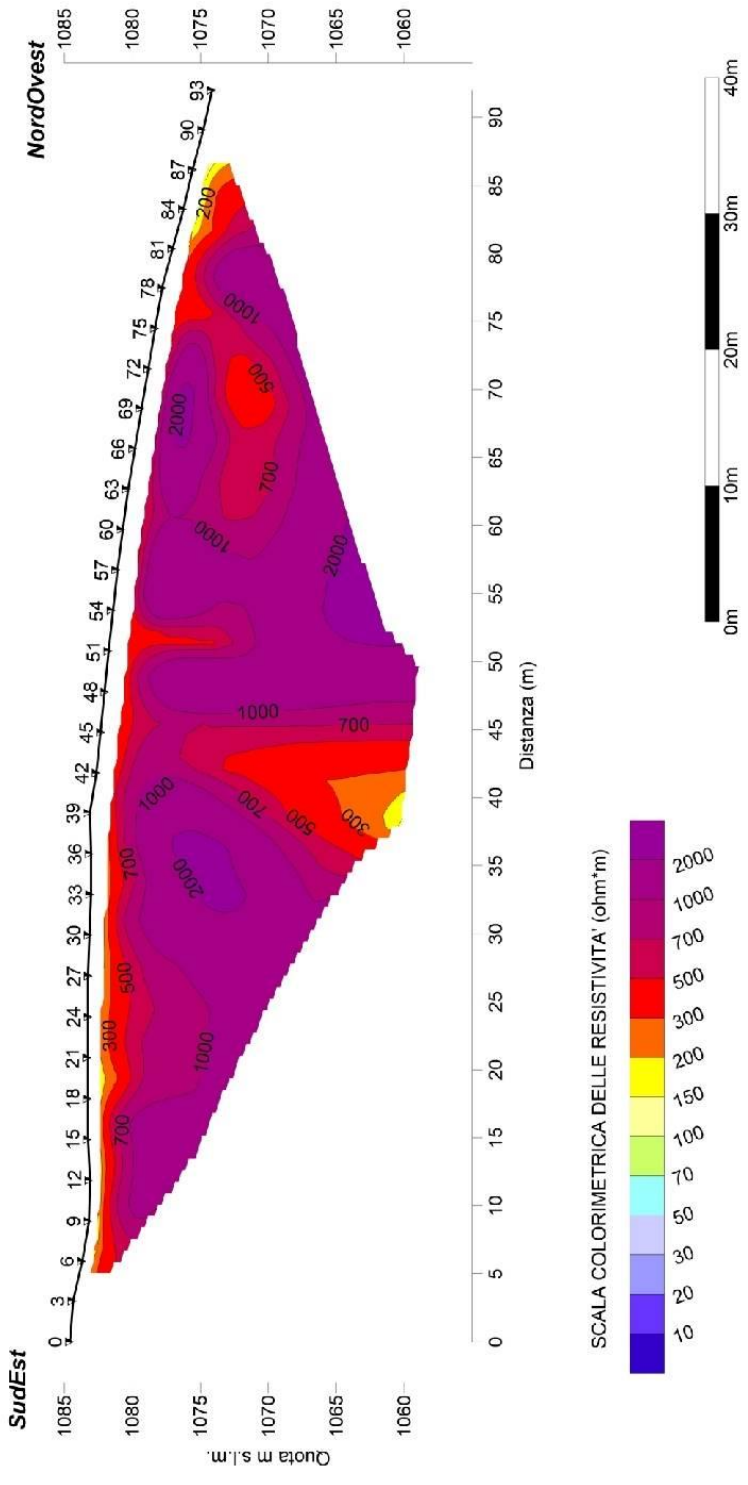
COMUNE DI ERBEZZO (VR) - INDAGINE LINEARE N° 023033L12

Tomografia Elettrica di Resistività (ERT)

Data di esecuzione: 22.10.2024 Località: Villanova

Coordinate geografiche WGS84 : Inizio profilo 45.649630 10.983470

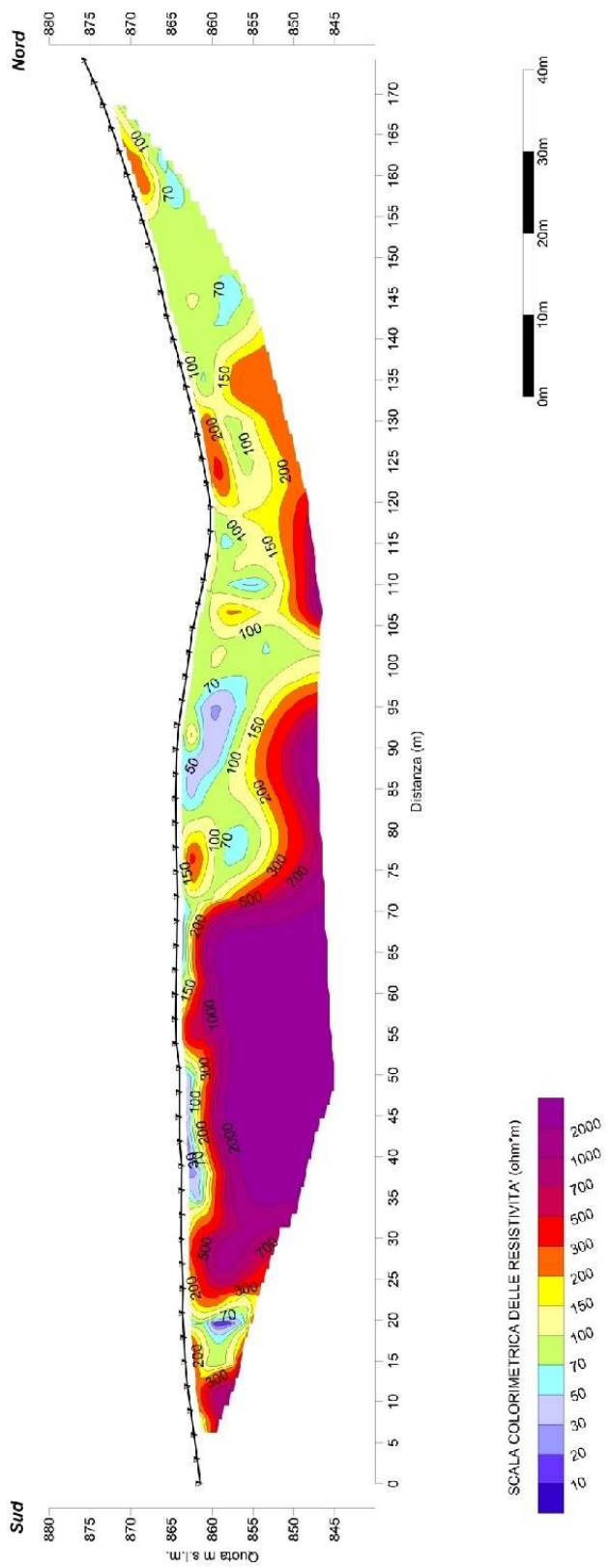
Coordinate geografiche WGS84: Fine profilo 45.650070 10.982416



COMUNE DI ERBEZZO (VR) - INDAGINE LINEARE N° 023033L13

Tomografia Elettrica di Resistività (ERT)

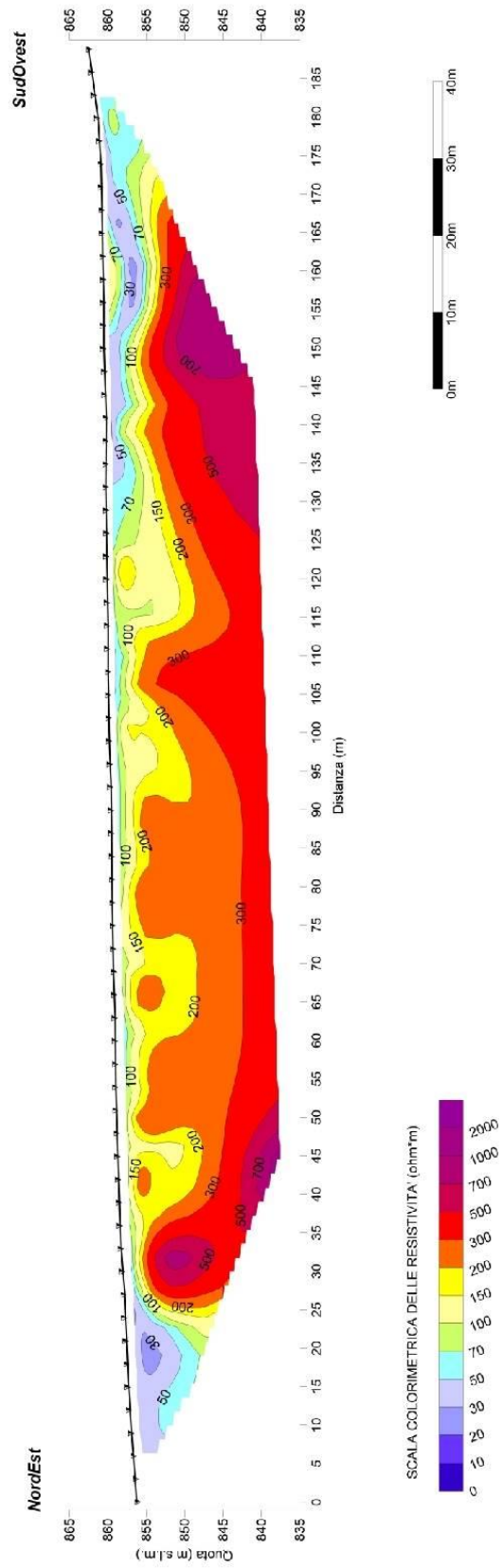
Data di esecuzione: 22.10.2024	Località: Contrada Staffor
Coordinate geografiche WGS84 : Inizio profilo	45.635276 10.983642
Coordinate geografiche WGS84: Fine profilo	45.636730 10.984440



COMUNE DI ERBEZZO (VR) - INDAGINE LINEARE N° 023033L14

Tomografia Elettrica di Resistività (ERT)

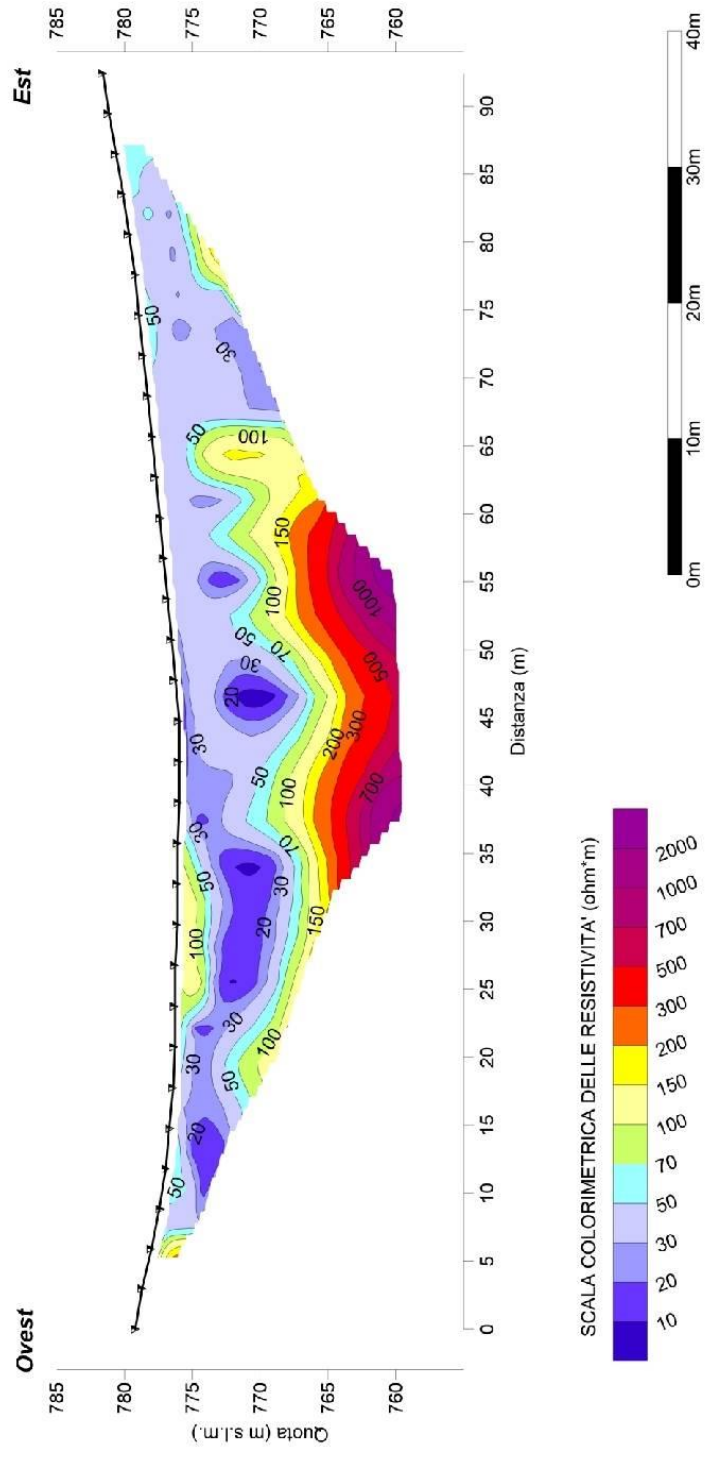
Data di esecuzione: 14.11.2024	Località: Cappella Fasani
Coordinate geografiche WGS84 : Inizio profilo	45.628395 10.985929
Coordinate geografiche WGS84: Fine profilo	45.627278 10.984124



COMUNE DI ERBEZZO (VR) - INDAGINE LINEARE N° 023033L15

Tomografia Elettrica di Resistività (ERT)

Data di esecuzione: 14.11.2024 Località: Portello

Coordinate geografiche WGS84 : Inizio profilo 45.606256
10.994495

Coordinate geografiche WGS84: Fine profilo 45.606107
10.995680