



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 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

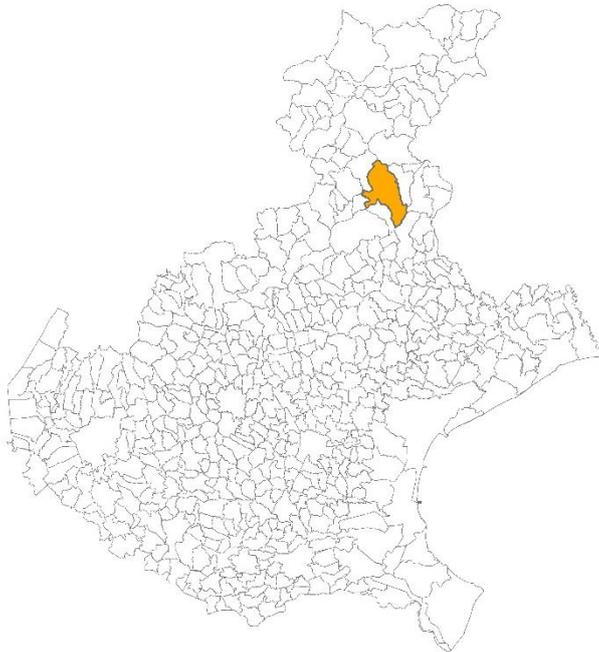
MICROZONAZIONE SISMICA

Livello 2 e 3

Relazione illustrativa

Regione Veneto

Comune di Belluno



<p>Regione Veneto</p>	<p>Soggetto realizzatore IGS SRL dott. geol. David Pomarè Montin dott.ssa geol. Cristina Gerdol</p>  	<p>Data Ottobre 2023</p>
---------------------------	--	------------------------------

Indice

1. Introduzione.....	3
2. Inquadramento geologico.....	8
2.1. Assetto geomorfologico	8
2.2. Idrologia e Idrogeologia	11
2.3. Assetto geologico e geostrutturale	13
3. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	19
3.1. Analisi a larga scala	19
3.2. Faglie	21
3.3. Analisi a scala di dettaglio	37
4. Stato di fatto: lo studio MS di I° livello.....	41
5. Dati geotecnici e geofisici.....	45
5.1. Indagini pregresse	45
5.2. Nuove indagini eseguite	45
6. Metodologie di elaborazione e risultati.....	47
6.1. Parametri sismici indagati	47
6.2. Metodologie di indagine	50
6.3. Note relative alle modalità esecutive	55
6.4. Note relative all'elaborazione dei dati	57
7. Approfondimenti di Livello 2.....	58
7.1. Interpretazioni ed incertezze	66
8. Approfondimenti di Livello 3.....	69
8.1. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	69
8.2. Approfondimento geomorfologico	72
8.3. Approfondimento geologico	73
8.4. Ricostruzione del modello del sottosuolo	75
8.5. Interpretazioni ed incertezze	77
8.6. Amplificazioni del moto sismico e Risposta Sismica Locale	78
9. Elaborati cartografici.....	99
9.1. Carta delle indagini	99
9.2. Carta di Microzonazione Sismica Livello 2-3	99
10. Commenti finali e criticità.....	121
11. Bibliografia.....	124
Siti internet e banche dati	127

Allegati

		Scala	
n°	1	Schede relative alle indagini geofisiche eseguite per gli approfondimenti di Microzonazione Sismica di 2° e 3° livello	-
	2	Sezioni litostratigrafiche di sintesi	1:500 – 1:2000
	3	Accelerogrammi di input e output	-
	4	Output della modellazione 2D di RSL	1:4000 – 1:750

1. Introduzione

Il Comune di Belluno ha affidato alla società IGS SRL l'incarico professionale per la redazione dello studio di Microzonazione Sismica di 2° livello (di seguito MS2) e di 3° livello (di seguito MS3) del territorio comunale.

L'incarico è stato svolto in conformità alle disposizioni e leggi vigenti in materia, in particolare ai sensi dell'O.P.C.M. n.3907 del 13/11/2010, dell'O.P.C.M. n.4007 del 29/02/2012 e dell'O.P.C.M. n. 52 del 20/02/2013.

Il presente studio è stato condotto in conformità alle indicazioni fornite dalle commissioni regionali e statali, ovvero:

- "Linee guida Regionali per la Microzonazione Sismica", ovvero l'allegato A alla DGR 1572/13;
- O.C.D.P.C. n.171 del 19/06/2014;
- D.G.R. 1896 del 14/10/2014
- "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" approvati dalla Conferenza delle regioni e delle Province autonome del 13/11/2008;
- "Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – Versione 4.2 – Roma, dicembre 2020".

Si citano inoltre alcuni riferimenti, anche se superati dalle citate delibere: DGR 71/2008, DGR 2877/2008, D.lgs. 163/2006 e abrogazione DGR n. 3308/08.

Gli approfondimenti di Livello 2 e Livello 3 si possono intraprendere solo se esistono già studi di Livello 1 (Carta delle MOPS). I tre livelli di studio non sono sequenziali, ma vengono realizzati in funzione della complessità geologico tecnica del territorio ed è possibile passare dal Livello 1 (obbligatorio) al Livello 2 oppure al Livello 3. Gli studi di Livello 1 (Carta delle MOPS), sulla base della complessità geologico tecnica del territorio esaminato, devono stabilire in quali aree c'è la possibilità di procedere ad approfondimenti di Livello 2 o ad approfondimenti di Livello 3 e, in definitiva, costruire un'unica Carta di MS.

Quindi, sulla base della complessità geologica, una Carta di MS potrà essere costituita da:

- solo aree con approfondimento di Livello 2
- aree con approfondimento di Livello 2 e aree con approfondimento di Livello 3
- solo aree con approfondimento di Livello 3.

Per quanto attiene il territorio del Comune di Belluno, in questa fase di lavoro, si è proceduto con approfondimenti di Livello 2 e 3, volti alla quantificazione degli effetti legati all'amplificazione litostratigrafica e possibili effetti di amplificazioni connessi a problematiche di tipo 2D.

Lo Studio di Microzonazione Sismica di livello 2 si pone due obiettivi da raggiungere in sequenza:

- compensare alcune incertezze del livello 1 con approfondimenti conoscitivi;
- fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali) e dei fenomeni di deformazione permanente (zone suscettibili di instabilità).

Per il raggiungimento di tali obiettivi si possono determinare modificazioni delle geometrie delle zone individuate precedentemente nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS - livello 1). Operazione preliminare per la predisposizione del livello 2 è costituita, infatti, dall'analisi della Carta delle

microzone omogenee in prospettiva sismica al fine di individuare le aree con i maggiori livelli di incertezza e programmare eventuali nuove indagini. L'approfondimento di livello 2 è finalizzato alla realizzazione della "Carta di Microzonazione Sismica".

Lo studio di MS3 rappresenta il livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione approfondita del territorio basata su metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della "Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti".

Il terzo livello di approfondimento si applica:

- nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nei casi di situazioni geologiche e geotecniche complesse, non risolvibili con l'uso degli abachi, o qualora l'estensione della zona in studio renda conveniente un'analisi globale di dettaglio o, infine, per opere di particolare importanza;
- nelle zone suscettibili di instabilità particolarmente gravose per complessità del fenomeno e/o diffusione areale, non risolvibili con l'uso di metodologie speditive.

Nel caso specifico del Comune di Belluno il Livello 3 di approfondimento si è reso necessario poiché nei livelli precedenti di approfondimento è stato riscontrato, in corrispondenza del centro storico di Belluno e degli abitati di Bersaglio e Antole, un contesto geologico complesso non esplicitabile con una modellazione 1D. Inoltre, essendo questi collocati sulla superficie di tre terrazzi al margine della valle alluvionale del Piave, alle normali cause di amplificazione del moto sismico si sommano gli "effetti di bordo" connessi alla geometria del problema.

La realizzazione di uno studio di MS3 prevede l'esecuzione di specifiche analisi per la quantificazione degli effetti collegati all'accadimento di un determinato evento sismico, che, per quanto riguarda la stima dell'amplificazione locale, prevede l'esecuzione di analisi di risposta sismica locale.

Nel caso specifico le elaborazioni sono costituite da analisi numeriche 2D FEM (Finite Element Method) per la quantificazione delle amplificazioni locali.

La pianificazione delle indagini prima, e le modellazioni dei dati poi, sono state programmate in modo da definire con la miglior approssimazione possibile le condizioni al contorno e le variabili dei modelli di analisi; la condizione primaria da definire è sicuramente la geometria del substrato, in approfondimento in direzione dell'attuale corso del F. Piave sia verso S sia verso W. In quest'ottica sono stati prediletti metodi di indagine con risoluzione areale a metodi puntuali.

Per l'espletamento dello studio si è fatto riferimento principalmente allo Studio di Microzonazione Sismica di primo livello del territorio comunale redatto dal dott. geol. Antonio Toscano nel 2013, all'articolo "L'alveo sepolto del Piave a Belluno" redatto dal dott. geol. Edoardo Semenza nel 1957 e il libro "29 Giugno 1873, Quindi seguì una scossa e un tremolio..." scritto da Alfieri M. et al.. Accanto alla documentazione bibliografica (cartacea e online), sono state reperite inoltre le seguenti documentazioni:

- Relazione sulle indagini a supporto della PROGETTAZIONE DEFINITIVA PER LA REALIZZAZIONE DEL NUOVO POLO SCOLASTICO DI CAVARZANO (RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA CON DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE) – CUP I36F21000010001. (GE Ground Engineering S.r.l., gennaio 2023)

- Relazione Geologica per la nuova palestra polifunzionale "De Mas 2". Piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR) missione 5 componente c 2.3 investimento 3.1 "sport e inclusione sociale - cluster 1 e 2. F (Dott. Geol. Federico Tonet, dicembre 2022);
- Relazione geologica, indagini geognostiche e sismiche, modello geologico, modello geotecnico e modello sismico a supporto del progetto "EX CASERMA DEI VIGILI DEL FUOCO DI BELLUNO VIA GREGORIO XVI, RISTRUTTURAZIONE CON DESTINAZIONE UFFICI COMUNALI, AMBITI SPORTIVI E SEDE DI ASSOCIAZIONI" (Dott. Geol. Ennio Da Roit, dicembre 2022);
- Relazione Geologica P.A.T. vigente per il Comune di Belluno (Dott. Geol. Antonio Toscano, agosto 2021);
- Relazione Geologica per il progetto definitivo "Attraversamento Fiume in Loc. Lambioi – Ripristino e adeguamento dell'attraversamento provvisorio (Ponte Bailey) sul fiume Piave tramite realizzazione di nuovo ponte e viabilità di accesso" (dott. geol. Danilo Belli, 2021);
- Messa in sicurezza di un tratto di strada in via Col Da Ren, su area censita al foglio 83, mappale 180, Comune di Belluno (dott. geol. David Pomarè Montin, 2020);
- Caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione degli edifici scolastici I.T.C. Calvi, Catullo, liceo Tiziano, mediante indagini sperimentali, nel censuario del Comune di Belluno (dott. geol. David Pomarè Montin, 2017);
- Relazione idrogeologica per il P.U.A. di iniziativa congiunta (Comune di Belluno, Consorzio "Nuova Visome") in loc. Visome (dott. geol. Giuseppe De Biasi, 2017);
- Indagine Geofisica per la caratterizzazione sismica del P.U.A. di iniziativa congiunta (comune di Belluno, A.T.E.R. Belluno, Consorzio "Nuova Visome") in località Visome (dott. geol. Sergio Bartolomei, 2017);
- Relazione Geologica Scuola Elementare di Badilet (dott. geol. Federico Tonet, 2014);
- Relazione Geologica Scuola Elementare di Borgo Piave (dott. geol. Federico Tonet, 2014);
- Relazione Geologica Scuola Elementare di Castions (dott. geol. Federico Tonet, 2014);
- Relazione Geologica Scuola Elementare di Chiesurazza (dott. geol. Federico Tonet, 2014);
- Relazione Geologica Scuola Elementare di Mur di Cadola (dott. geol. Federico Tonet, 2014);
- Relazione Geologica Scuola Media Ricci (dott. geol. Federico Tonet, 2014);
- Relazione Geologica a supporto della vulnerabilità sismica dell'edificio scolastico "Capellari" sito in località Giamosa del Comune di Belluno (dr.ssa Stefania Bassani, 2013);
- Relazione Geologica a supporto della vulnerabilità sismica dell'edificio scolastico "Scuola Elementare Rudio" sito in località Fiammoi del Comune di Belluno (dr.ssa Stefania Bassani, 2013);
- Relazione Geologica a supporto della vulnerabilità sismica dell'edificio scolastico "Scuola Elementare Gregorio XVI" sito in località Bolzano del Comune di Belluno (dr.ssa Stefania Bassani, 2013);
- Verifica di Compatibilità geologica, geomorfologica ed idrogeologica a supporto della richiesta di parere preventivo per l'ampliamento di un'unità immobiliare in Via Sanfior 28, su area censita al fg. 28, mapp. 425, 639 del Comune di Belluno (dott. geol. Niccolò Doglioni, 2013);
- Relazione Geologica Illustrativa – Quadro Conoscitivo del primo P.A.T. del Comune di Belluno (Dott. Geol. Antonio Toscano, settembre, 2013);
- Verifica di compatibilità geologica – geotecnica – geomorfologica – idrogeologica per il P.U.A. - Abito 1 -Area "Ex Bardin" (dott. geol. Armando Comin, 2011);
- Relazione Geologica e Geotecnica a supporto del Piano delle Aree da destinare ad insediamenti produttivi in Località denominata "Le Venghe" (dott. geol. Luca Salti, 2010);

- Relazione Geologica-Geotecnica e verifica di compatibilità ambientale per il P.U.A. di iniziativa privata in Via Veneggia, loc. "la Veneggia" (dott. geol. Giuseppe De Biasi, 2010);
- Relazione Geologica Geotecnica e Verifica di Compatibilità Ambientale per il P.U.A. di iniziativa privata a Visome in Via Posaroch (dott. geol. Giuseppe De Biasi, 2009);
- Perizia geologica e geotecnica per il Piano Particolareggiato di iniziativa privata ubicato in Loc. Mussoi, Via Gregorio XVI-Via Travazzoi (dott. geol. Giuseppe De Biasi, 2009);
- Relazione Geologica per il Piano Urbanistico Attuativo in zona residenziale (C.E.) in loc. Mussoi – Fg. 57 mapp. 501, 157, 127, 472, 473 (dott. geol. Da Riot, 2009);
- Relazione Geologica Geologica Geotecnica per il Piano di lottizzazione in Loc. Tisoì – Variante PUA (Dott. Geol. Armando Comin, 2006);
- Indagini integrative per il Piano di lottizzazione residenziale Fg. 51 mapp. 647-648-649-650-651-653-654-655-656 (dott. geol. Giuseppe De Biasi, 2006);
- Relazione Geologica per il Piano di lottizzazione di iniziativa privata in loc. San Cipriano – Fg. 75, mapp. 98, 99 e 138 (dott. geol. Eugenio Colleselli, 2006);
- Relazione Geologica e Geotecnica per il P.U.A. "Veneggia" (dott. geol. Mario Cabriel, 2006);
- Relazione Geologica Geotecnica per il progetto di lottizzazione con movimenti terra e successiva costruzione edifici ad uso residenziale in loc. "Vignole" (dott. geol. Armando Comin, 2005);
- Relazione Geologica per il Piano di lottizzazione residenziale Fg. 51 mapp. 647-648-649-650-651-653-654-655-656 (dott. geol. Giuseppe De Biasi, 2005);
- Relazione geologica per il Piano Attuativo di iniziativa privata in zona D.P.T. in località "La Veneggia" (dott. geol. Eugenio Colleselli, 2005);
- Relazione Geologica per il Piano di lottizzazione di un'area con destinazione residenziale in Via Tito Livio Burattini Fg. 47, mapp. 851 (dott. geol. Ennio Da Roit, 2004);
- Relazione Geologica per il piano attuativo in loc. Veneggia, fg. 33 mapp. 6 (dott. geol. Giorgio Giacchetti, 2004);
- Relazione Geologica e Geotecnica per il Piano di lottizzazione 1A-B su piano di comparto 1A – Fg. 60, mapp. 21, 22, 23, 155 e 157 (dott. geol. Eugenio Colleselli, 2004);
- Relazione Geologica per Opere di urbanizzazione di un'area con destinazione residenziale Z.T.O. C.RB sita in località Castoi, Fg. 108, mapp. 66, 209, 211, 213, 275 e 228 (dott. geol. Ennio Da Roit, 2002);
- Relazione Geologica Geotecnica Idrogeologica per la costruzione di due capannoni e smaltimento tramite pozzi assorbenti in loc. Nogarè – BL (dott. geol. Armando Comin, 2002);
- Relazione Geologica sul Piano di Lottizzazione di un'area produttiva dismessa ex Cadorina Laterzi, in località Sagogna (dott. geol. Vittorio Fenti e dott. geol. Ennio Chiesurin, 2000);
- Relazione geologica per il Piano di Lottizzazione residenziale in Località Chiesurazza ZTO C.RB (dott. geol. Armando Comin, 2000);
- Perizia Geologica e Geotecnica per il Piano Attuativo per la realizzazione di un complesso residenziale a Baldenich (dott. geol. Cabriel Mario, 2000);
- Perizia Geologica e Geotecnica per il Piano di lottizzazione "Fiammoi" (dott. geol. Cabriel Mario, 2000);
- Indagine Geologica per il Piano di lottizzazione di iniziativa privata in loc. Visome (dott. geol. Armando Comin, 2000);
- Relazione geologica per il Piano di lottizzazione di un'area con destinazione residenziale in località Fiammoi – Fg. 31, mapp. 58, 123, 125, 189, 384, Fg. 32 mapp. 225, 225, 390, 391, 397, 398, 399 e 431 (dott. geol. Ennio Da Roit, 2000);

- Relazione Geologica per il Piano di Lottizzazione in loc. Cavarzano (BL) – Fg. 59, mapp. 32-59-388-416-1289-1457 (dott. geol. Antonio Cavinato, 1997);
- Relazione Geologica per la lottizzazione in località “Nevegal” (dott. geol. Vidalino Mario, 1975);
- Relazione Geologica per il Piano di lottizzazione – Piano Esecutivo PE – 7 “Villa Magra” (Dott. Geol. Ermanno Tracanella, 1990);
- Relazione Geologica-Geotecnica per il Piano di recupero di iniziativa privata dell’area “Ex Segherie bellunesi” (ing. T.Bettiol).

Nell’ambito degli approfondimenti di livello 2, a completamento degli studi geologici e delle indagini pregresse a disposizione, è stata effettuata una campagna di indagini geofisiche integrativa. Tale campagna, effettuata nel novembre 2022 comprende:

- **N.51 analisi multicanale delle onde di superficie MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) con stendimenti da 22.0 e distanza inter-geofonica di 2.0 m, per la valutazione del profilo verticale delle velocità delle onde di taglio (calcolo $V_{s,eq}$);
- **N.21 indagini sismiche passive HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per la valutazione delle caratteristiche dinamiche del sito dal punto di vista sismico (calcolo frequenza di risonanza del sito).

Tali indagini sono state svolte nell’intento di fornire una quantificazione della modificazione locale del moto sismico in superficie ai fini degli approfondimenti di secondo livello.

Come sopra riportato gli approfondimenti di 2° livello hanno individuato dei contesti non risolvibili ricorrendo a modelli monodimensionali per valutare la risposta sismica, né tantomeno utilizzando i cosiddetti metodi semplificati. Per le aree così individuate è stato così necessario ricorrere ad un 3° livello di approfondimento. A corredo delle indagini esistenti, e di quelle eseguite nell’ambito dell’approfondimenti di livello 2, in assenza di dati diretti/indiretti dettagliati sulla profondità e sull’andamento del substrato roccioso al di sotto del centro storico di Belluno, si è reso necessario effettuare un’ulteriore campagna di indagini geofisiche, comprendente prospezioni sismiche a rifrazione, prospezioni sismiche MASW in onde di Rayleigh e di Love, Prospezioni sismiche ESAC e indagini sismiche passive HVSR. Dall’analisi comparata dei 5 metodi, basati su geometrie e fonti differenti, coadiuvata da rilevamenti in situ e dai dati esistenti, è stato possibile ricostruire con buona approssimazione le geometrie sepolte, ricavando delle sezioni rappresentative su cui eseguire lo studio di risposta sismica locale mediante codice di calcolo bidimensionale, agli elementi finiti.

La campagna di indagini geofisiche eseguita durante l’estate del 2023, al fine di ottenere una precisa caratterizzazione litostratigrafica e geometrica del sottosuolo, comprende:

- **N.8 analisi multicanale delle onde di superficie MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), con rilevamento:
 - delle onde Rayleigh, tramite 12 **geofoni-ricevitori verticali** allineati con l’asse parallelo allo stendimento, per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) e relativa elaborazione per ogni linea di indagine;
 - delle onde di Love, tramite 12 **geofoni-ricevitori orizzontali** allineati e con asse perpendicolare allo stendimento, per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) e relativa elaborazione per ogni linea di indagine;

- **N.8 indagini sismiche passive con tecnica HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), per la determinazione della frequenza di risonanza dei siti, per l'analisi del microtremore sismico;
- **N.8 prospezioni sismiche passive di superficie del tipo ESAC** (Extended Spatial Autocorrelation) per l'analisi del microtremore sismico con registrazione temporale minima di 20 min tramite stendimento di 12 geofoni-ricevitori verticali, con geometria non convenzionale, per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) e relativa elaborazione per ogni linea di indagine.
- **N.3 tomografie sismiche a rifrazione** con 24 geofoni verticali allineati e equidistanti fra loro, almeno 9 scoppi per ogni stendimento, per ottenere una sezione delle velocità delle onde P del terreno.

L'area di studio è stata definita in modo tale da comprendere tutte le aree interessate da urbanizzazione consolidata e dalle nuove previsioni insediative. I commi 4 e 5 dell'OPCM 52 del 20 febbraio 2013 che definiscono i criteri di individuazione delle aree oggetto di approfondimenti di MS:

4. Sono escluse dall'esecuzione della microzonazione sismica le zone che incidono su Aree Naturali Protette, Siti di Importanza Comunitaria (SIC), Zone di Protezione Speciale (ZPS) e Aree adibite a verde pubblico di grandi dimensioni, come indicate nello strumento urbanistico generale che:

a) non presentano insediamenti abitativi esistenti alla data di pubblicazione della presente ordinanza;

b) non presentano nuove edificazioni di manufatti permanenti o interventi su quelli già esistenti;

c) rientrano in aree già classificate R4 dal piano per l'assetto idrogeologico (PAI).

5. La presenza nelle aree di manufatti di classe d'uso «I» ai sensi del punto 2.4.2 del D.M. 14.01.2008, di modeste dimensioni e strettamente connessi alla fruibilità delle aree stesse, non determina la necessità di effettuare le indagini di microzonazione sismica.

L'area presa in considerazione nel presente lavoro è stata quindi ridimensionata rispetto a quella analizzata nel Livello 1, che comprendeva l'intero territorio comunale.

2. Inquadramento geologico

2.1. Assetto geomorfologico

Il territorio del Comune di Belluno si estende per circa 147.22 km² e comprende un'area per la maggior parte montuosa e boschiva; confina a N con il Comune di Longarone, a NW e W con il Comune di Sedico, a SW con il Comune di Limana, a S con il Comune di Vittorio Veneto e a E con i Comuni di Alpiago e Ponte nelle Alpi. Il limite meridionale del territorio comunale è segnato dalla cresta del Col Visentin mentre la porzione settentrionale fa parte sia del Parco nazionale delle Dolomiti Bellunesi sia del patrimonio dell'umanità delle Dolomiti. All'interno del territorio comunale sono presenti numerosi vallecicole laterali, variamente incise, che si raccordano progressivamente con la valle del F. Piave che rappresenta il principale elemento di drenaggio idrico del territorio. Si individuano inoltre numerose morfologie di terrazzo fluviale e fluvio-glaciale che, in alcune aree, si interdigitano con corpi di frana e di detrito di falda presenti lungo i versanti.

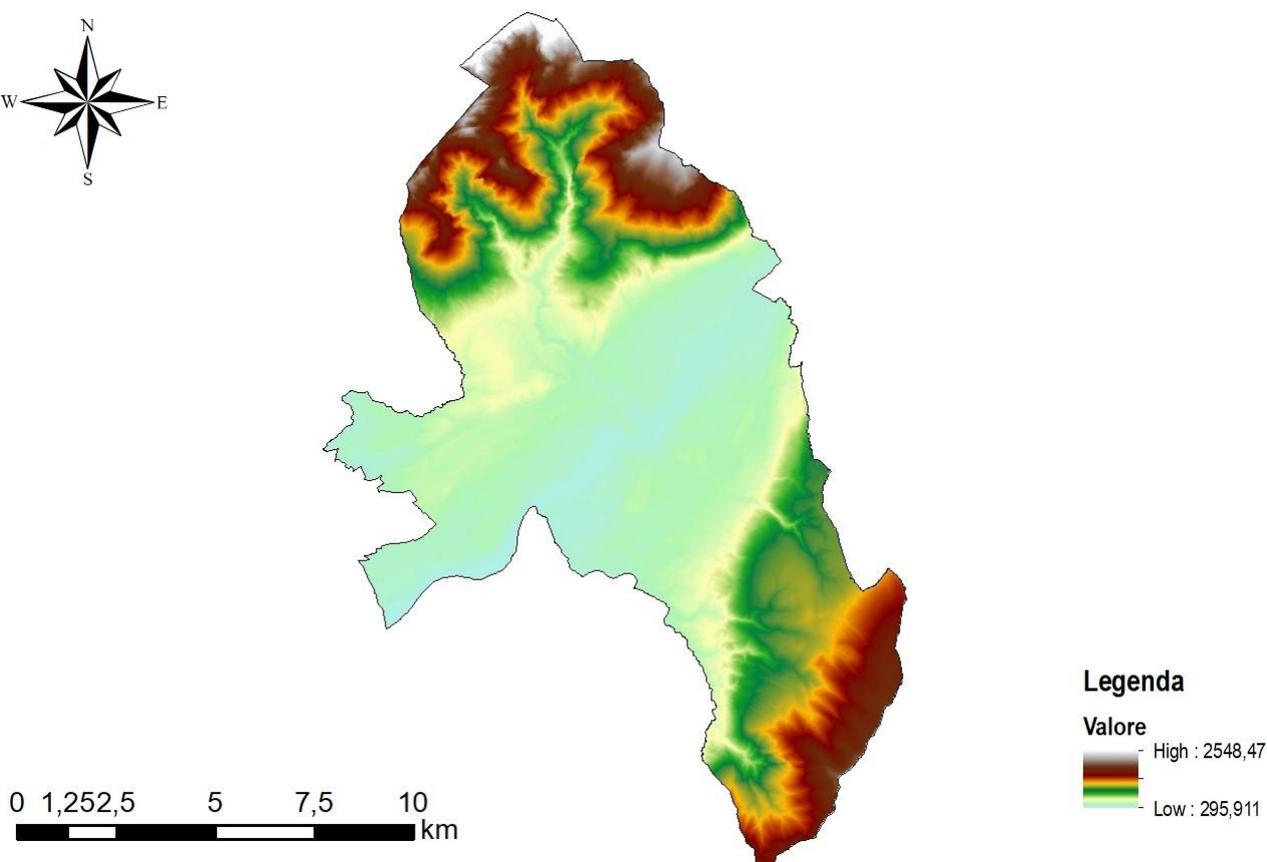


Figura 2.1: Modello digitale del terreno (cella 5 m di lato) per il territorio comunale di Belluno. Tratto dalla banca dati regionale <https://idt2.regione.veneto.it/>.

Dall'analisi della carta delle acclività di seguito riportata, si notano le frequenti e brusche rotture di pendenza sia nella porzione settentrionale del territorio comunale ma anche in prossimità di numerose frazioni nella porzione centrale del territorio comunale e del centro storico.

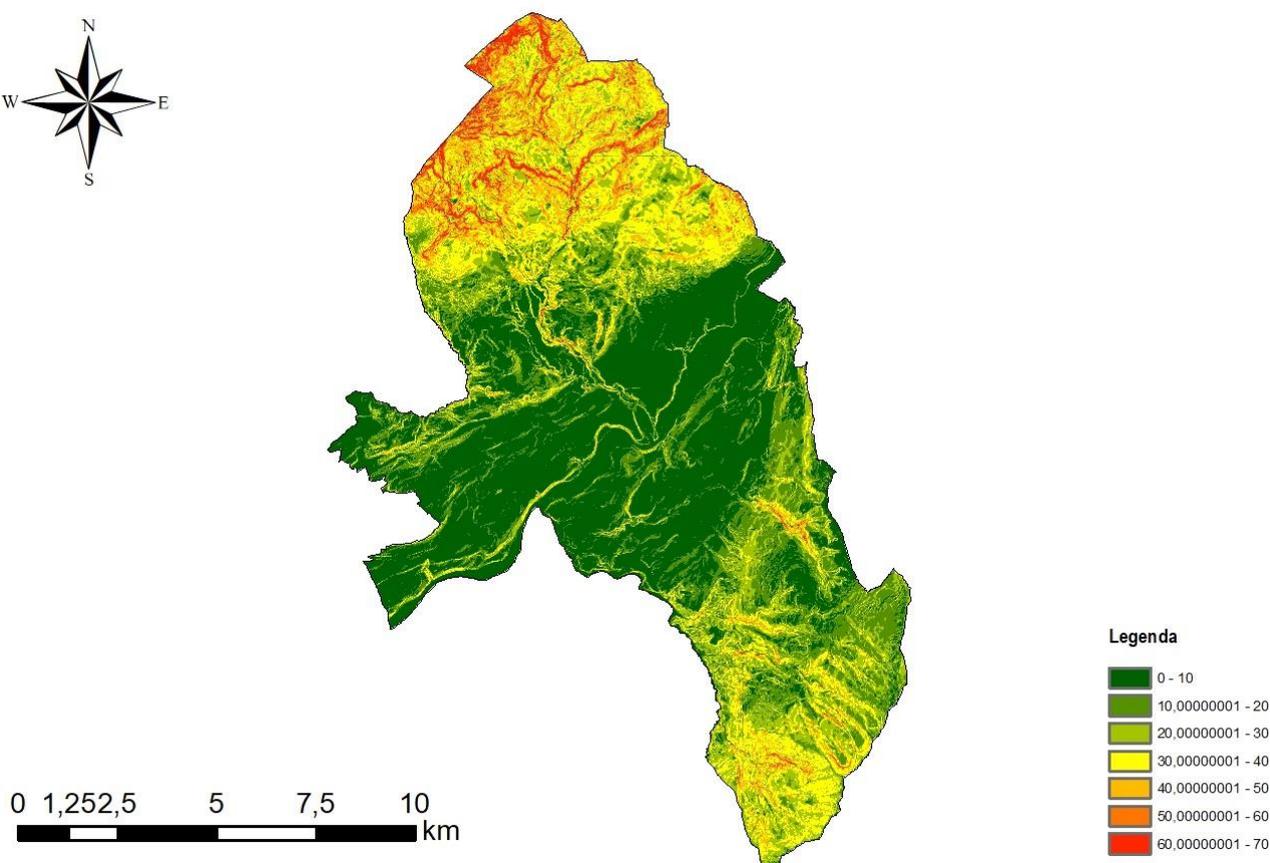


Figura 2.2: Mappa delle acclività con valori espressi in gradi, elaborata in ambiente GIS a partire dal modello digitale del terreno scaricabile dalla banca dati regionale <https://idt2.regione.veneto.it/>.

Evoluzione geomorfologica tardo quaternaria, alla scala regionale

Le morfologie presenti nell'area valliva prealpina sono da ricondurre alle importanti fasi glaciali e post-glaciali pleistoceniche. In particolare, l'ultimo massimo glaciazione (LGM - Last Glacial Maximum) ha lasciato tracce evidenti in tutto il territorio alpino e prealpino. Durante questa fase, che nell'area si verificò circa 20000 anni fa, l'intero bacino montano del Piave era ricoperto da un'estesa coltre glaciale che lasciava emergere solamente le vette più alte in quanto il Vallone Bellunese ospitava un ghiacciaio di 800 m di spessore.

Il ghiacciaio del Piave scendendo dalla Val Zoldana e dalla Valle Cadorina, nell'area tra Longarone e Soverzene occupava l'intera valle prealpina. A Ponte nelle Alpi si divideva in due rami principali: uno ad ovest, verso il Vallone Bellunese (dove raggiungeva gli 800 m di spessore) per dirigersi poi fino alla stretta di Quero; e l'altro ad est, verso la conca dell'Alpago, per proseguire poi a sud attraverso il Fadalto e dividersi a sua volta in due rami presso Vittorio Veneto.

Il ritiro del ghiacciaio del Piave avvenne in diverse fasi e in periodi diversi a seconda dell'area geografica che si considera. Le prime fasi di arretramento del ghiacciaio plavense, verificatesi all'incirca tra 17000 e 15000 anni fa, causarono il detensionamento delle valli prealpine, come nel caso del Fadalto, dove un'enorme frana si staccò dal versante prealpino ostruendo definitivamente la valle e deviando il corso del Piave verso il Vallone Bellunese.

Si formò così inizialmente un grande lago di sbarramento che occupava tutto il fondovalle da Santa Croce fino a Ponte nelle Alpi. L'esistenza di un lago in questo tratto di valle è confermata da una serie di perforazioni eseguite presso "la Secca", a monte dell'attuale lago di Santa Croce (Figura 2.3).

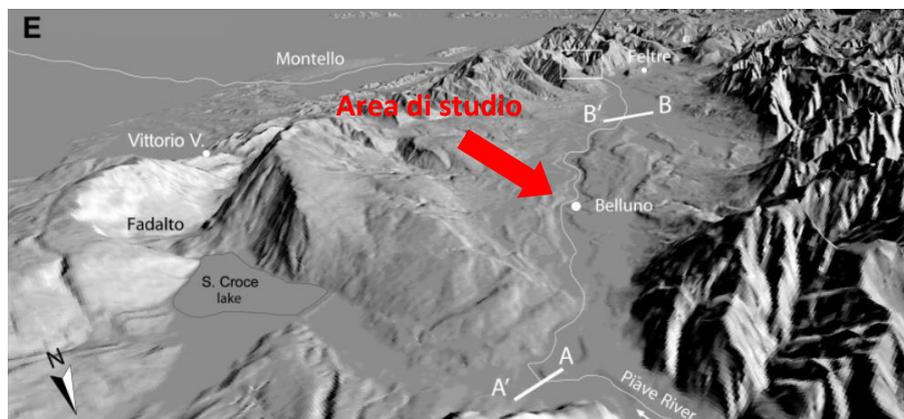


Figura 2.3: Modello digitale del terreno della parte meridionale del bacino montano del Piave. Si notano: la frana del Fadalto, il sistema morenico di Vittorio Veneto, il Vallone Bellunese (tratto da Carton et Al, 2009).

Un'altra testimonianza del detensionamento dei versanti in seguito al ritiro dei ghiacciai è costituita dal grande deposito di frana stabilizzato, rintracciabile tra Soccher, Casan e fino ad Arsié, che nella sua parte terminale si spinge fino poco a valle del canale Cellina a Paiane. Si tratta di una frana di crollo scesa dal versante occidentale del monte Dolada lungo i giunti di stratificazione. L'accumulo ricopre i depositi alluvionali di fondovalle e quelli derivanti dal deposito lacustre preesistente.

All'interno del territorio comunale di Belluno, durante la fase post-glaciale, sono stati inoltre trasportati ed accumulati elevati spessori di depositi fluvio-glaciali ed alluvionali che hanno colmato la valle fino al livello attuale; ancora oggi è possibile riconoscere più ordini di terrazzo fluvio-glaciale e fluviale.

2.2. Idrologia e Idrogeologia

L'idrografia superficiale nell'area oggetto di studio è caratterizzata principalmente dal Fiume Piave, che occupa il fondovalle scorrendo da NE a SW, e dai principali torrenti Ardo, Medon e Sivà in destra idrografica e Meassa, Turriga, Cicogna, Refos e Baorche in sinistra idrografica. Il territorio montano è caratterizzato da diverse vie di ruscellamento secondarie, che per la maggior parte scendono dalle creste della Dorsale Prealpina per immettersi poi nelle valli laterali del Piave.

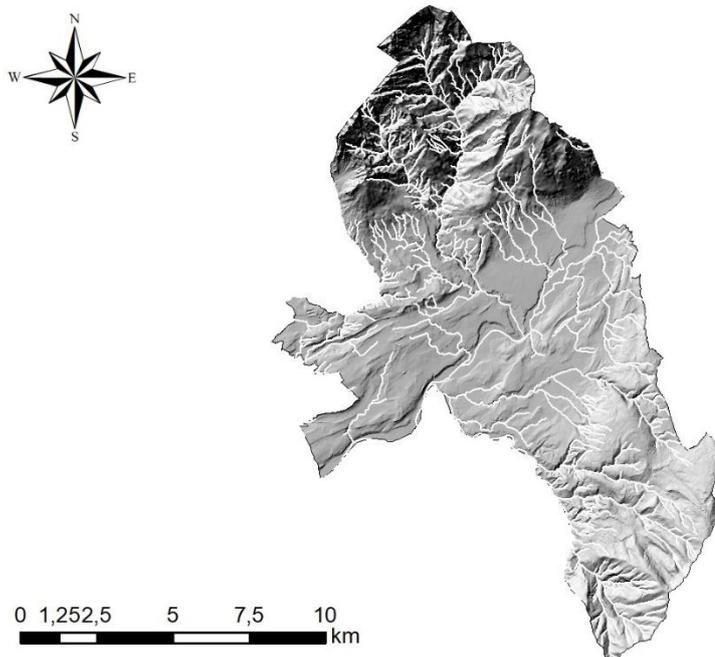


Figura 2.4: Elementi idrografici superficiali su modello digitale del terreno. Basi tematiche tratte dalla banca dati regionale: [https:// idt2.regione.veneto.it/](https://idt2.regione.veneto.it/).

I centri abitati del Comune di Belluno, essendo collocati generalmente al di sopra di antichi terrazzi fluvio-glaciali e cordoni morenici del Piave, ora inattivi, oppure in corrispondenza di rilievi tettonici, risultano esterni alla pericolosità idraulica correlata ad esondazioni, le quali possono invece interessare la piana fluviale attiva. Lungo il corso del F. Piave sono tuttavia presenti alcuni centri abitati e infrastrutture che ricadono all'interno di aree soggette a pericolosità idraulica come, ad esempio, le loc. Lambioi e Borgo Piave.

La permeabilità dei depositi alluvionali quaternari è da media ad alta, trattandosi di materiali a tessitura prevalentemente ghiaioso-sabbiosa. La permeabilità di questi depositi tende però a diminuire all'aumentare del grado di cementazione.

Il substrato roccioso invece, a causa di una bassa permeabilità, legata solamente a processi di fratturazione (permeabilità secondaria), può determinare lo sviluppo di locali venute idriche puntuali in corrispondenza del contatto stratigrafico fra substrato e coperture quaternarie.

A causa di un contesto geologico-geomorfologico assai complesso è difficile individuare una falda freatica uniforme per tutto il territorio comunale:

- lungo le aree di versante e in corrispondenza delle porzioni di territorio in cui è presente un substrato subaffiorante non ci si potrà riferire ad una falda vera e propria ma piuttosto a locali lenti saturi o a lamine saturi, in corrispondenza del contatto tra depositi quaternari permeabili e substrato impermeabile, che possono dare origine anche a venute d'acqua puntuali;
- in corrispondenza del fondovalle del F. Piave è possibile invece riferirsi ad un contesto di falda vero e proprio caratterizzato da depositi permeabili sabbioso-ghiaiosi quaternari dove lo stesso corso d'acqua rappresenta la principale fonte di alimentazione;

- in corrispondenza dei terrazzi fluviali e fluvio-glaciali, a causa del differente grado di cementazione o di livelli argilloso-limosi impermeabili o semipermeabili, si possono sviluppare locali sistemi multifalda perpendenti e discontinui.

2.3. Assetto geologico e geostrutturale

L'area in esame si colloca nella parte centro-orientale delle Alpi Meridionali, le quali costituiscono il margine passivo mesozoico collisionato in età alpina. Nel Paleogene, la zona costituiva l'avanfossa della catena dinarica i cui sovrascorrimenti e pieghe in direzione NW si fanno via via più intensi verso Est.

L'elemento strutturale che caratterizza fortemente la geologia dell'area bellunese è l'ampia sinclinale asimmetrica con asse situato a letto della Linea di Belluno, in parte sepolto nell'area di San Gregorio e Ponte nelle Alpi, dai terreni sovra-scorsi tramite la suddetta Linea. Il nucleo di questa sinclinale è composto dalle rocce tenere del Miocene: troviamo argille e marne (Elveziano) in loc. Giazzo e molasse (Langhiano e Aquitaniano) nell'area di Antole, Bolzano e Sopracorda. Fatta eccezione per questi piccoli affioramenti del nucleo, la sinclinale è in gran parte costituita da flysch eocenico, il fianco settentrionale è in genere molto più inclinato, talora rovesciato. È spesso problematica l'individuazione delle faglie ed ancor più difficile la valutazione del rigetto nell'ambito dei piani di scollamento all'interno del flysch, data la sua incompetenza e la carenza o assenza di livelli caratteristici. Il flysch è il substrato roccioso che caratterizza tutto il vallone bellunese, dove spesso è sovrastato da coperture fluvio-glaciali o alluvionali anche di notevole spessore.

Oltre alla Sinclinale di Belluno sopra descritta sono da segnalare ulteriori elementi tettonici prossimi al territorio comunale di Belluno che presentano uno sviluppo WSW-ENE come la Linea di Belluno e la Linea Bassano-Valdobbiadene-Vittorio, appartenenti al più ampio Sistema Valsuganese, e un secondo sistema NNE-SSW come la Linea Longarone-Fadalto-Cadola, appartenente al Sistema Giudicariense.

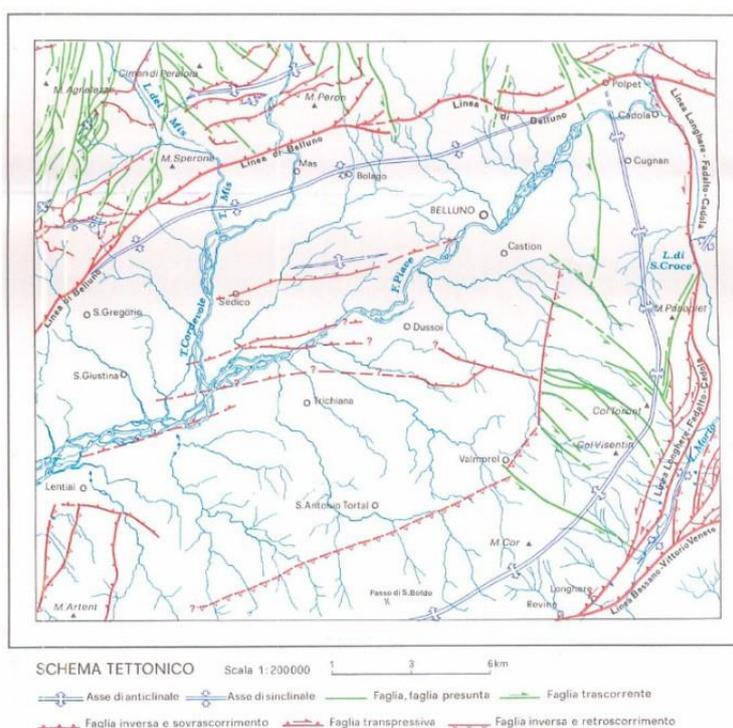


Figura 2.5: Schema tettonico estratto dalla CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:100 000 – FOGLIO BELLUNO.

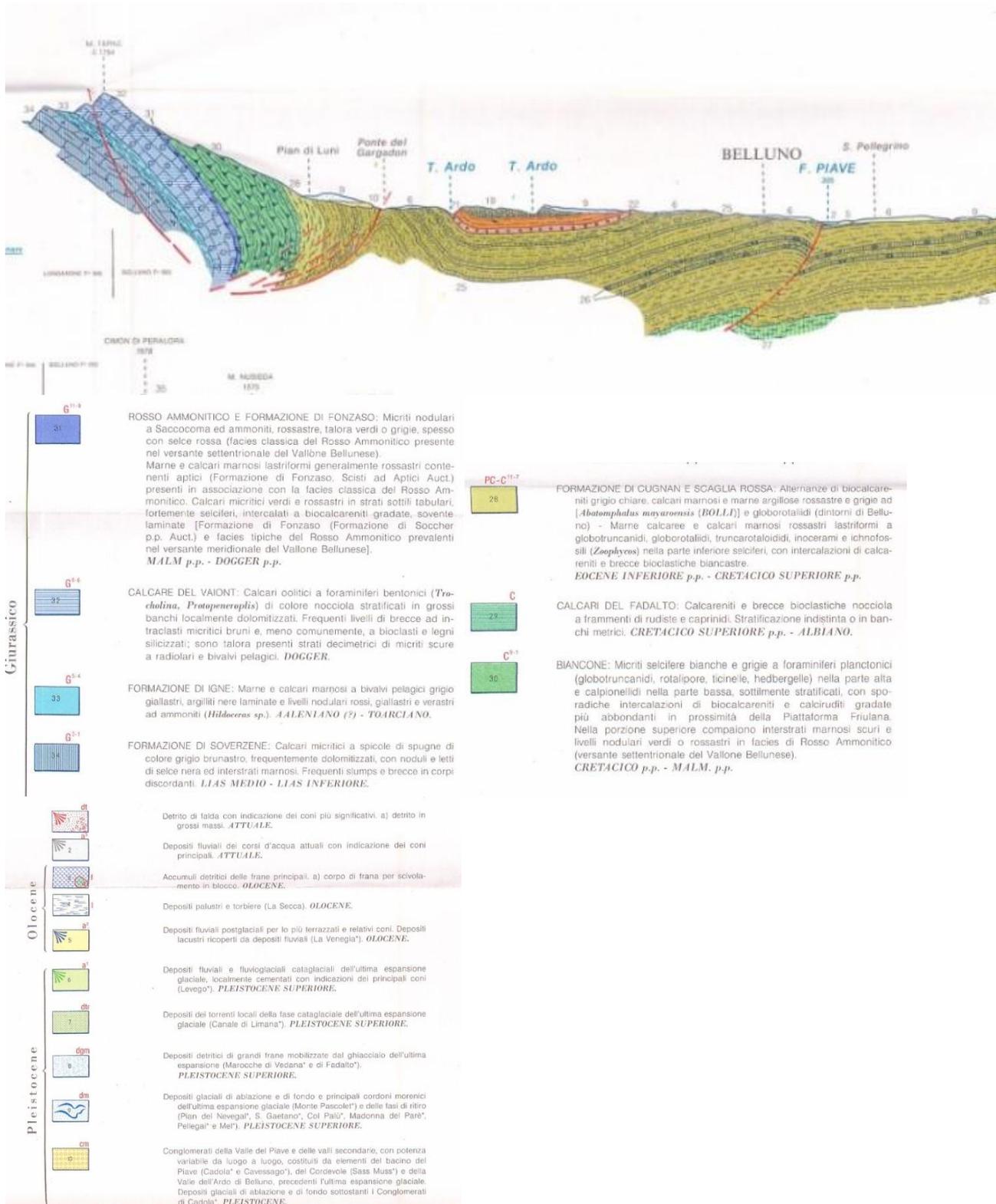


Figura 2.6: Sezione tettonica del territorio delle Prealpi Venete – foglio CARG n. 063 Belluno

Successione stratigrafica

Il territorio comunale è caratterizzato per lo più da rocce affioranti o subaffioranti e da possenti coperture fluvio-glaciali e fluviali. Le formazioni rocciose e deposizionali presenti all'interno del territorio comunale comprendono un periodo temporale che va dal Triassico all'Olocene.

Trieste (TS)
Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
Via Don Angelo Arnoldo, 18

Bolzano (BZ)
Via Marie Curie, 17

Nella porzione settentrionale e meridionale del territorio comunale sono visibili le rocce formatesi durante il Triassico-Giurassico, in un tipico ambiente di piattaforma carbonatica, in cui si susseguivano ciclicamente una serie di cicli peritidali e che, a partire dal Giurassico, divenne un grande bacino entro cui si accumulavano micriti selcifere a faune pelagiche. Ad esse si intercalavano, in varia misura, calcareniti e calciruditi oolitiche o bioclastiche che, prodotte nelle vicine piattaforme (Piattaforma di Trento ad occidente e Friulana ad oriente), venivano periodicamente scaricate nei bacini da correnti di torbidità ed altri flussi gravitativi.

Nella porzione centro meridionale del territorio comunale affiorano invece le rocce del substrato roccioso terziario appartenenti alla successione di riempimento dell'avanfossa alpina costituita da marne, argille, arenarie e conglomerati.

Gli eventi tettonici connessi all'orogenesi alpina e sopra brevemente descritti, hanno causato il ripiegamento della successione stratigrafica, la quale, a nord dell'abitato di Belluno, si presenta verticalizzata e talvolta invertita (**Figura 2.6**).

Il substrato roccioso è localmente ricoperto da depositi quaternari fluviali, glaciali ed eluvio-colluviali. Lo spessore di questi corpi deposizionali può essere notevolmente differente passando da poche decine di centimetri lungo i versanti fino a decine di metri in corrispondenza dei terrazzi fluviali e fluvio-glaciali presenti lungo l'asse del F. Piave. Questi depositi in base alla loro natura presentano caratteristiche e proprietà geotecniche differenti.

Di seguito si riportano, dalla più antica alla più recente, le litologie presenti all'interno del territorio comunale di Belluno. Le descrizioni sono state riprese dalla Relazione Geologica allegata allo Studio di Microzonazione Sismica di 1° Livello e dalle note illustrative del foglio CARG n.063 - Belluno:

Dolomia Principale (Norico-Retico)

È costituita da una potente sequenza dolomitica organizzata nelle classiche sequenze cicliche peritidali a scala metrica in cui si succedono, dal basso verso l'alto, le seguenti facies: alla base dolareniti bioclastico-intraclastiche in strati decimetrici cui seguono dolomie chiare, massicce, bioturbate, contenenti Megalodonti e Worthenie e livelli granulari gradati interpretabili come strati di tempesta.

Età: GIURASSICO-CRETACEO

Formazione di Soverzene (Lias Medio - Lias Inferiore)

Questa formazione comprende i sedimenti bacinali medio-liassici del Bacino di Belluno, e consiste in una monotona successione di dolomie grigie e brune in strati di 20-40 cm di spessore, associati a letti e noduli di selce nera o gialla. Laddove sopravvivono isolate plaghe conservanti l'originaria composizione calcarea, la Formazione di Soverzene è costituita da micriti brune a radiolari e spicole di spugna, talora ritmicamente alternate a livelli centimetrici di marne giallastre.

Formazione di Igne (Aaleniano-Toarciano)

Affiora in corpi allungati in direzione E-W, a contatto con la Formazione di Soverzene, presso Ponte nelle Alpi; in destra Piave e ricoperta alle quote più basse da depositi fluviali e fluvio-glaciali. È caratterizzata da una certa eterogeneità litologica che ha come denominatore comune la presenza più o meno abbondante di marna.

Calcarea del Vajont (Dogger)

L'unità è costituita da calcareniti oolitiche nocciola, massicce o stratificate in grossi banchi, con intercalazioni di straterelli decimetrici di micriti bacinali brune. Sono frequenti livelli di breccie intraformazionali derivanti dalle rielaborazioni delle micriti. La microfacies dei calcari oolitici comprende foraminiferi bentonici, resti di crinoidi, alghe, coralli e molluschi; la microfacies delle micriti è caratterizzata da radiolari, lamellibranchi pelagici e spicole di spugna. Il Calcarea del Vajont consiste di torbiditi calcarenitiche gradate nella parte alta delle quali sono localmente riconoscibili laminazioni parallele ed incrociate.

Formazione di Fonzaso (Malm - Dogger)

La Formazione di Fonzaso consiste in micriti fortemente selcifere, brune in basso e rosse o verdi in alto, in strati decimetrici separati nella porzione superiore dell'unità da interstrati argillitici verdi. La presenza di laminazioni parallele ed incrociate testimonia l'azione periodica di deboli correnti di fondo. La microfacies è caratterizzata dalla presenza di spicole di spugna e radiolari sostituiti da calcedonio fibroso.

Rosso Ammonitico (Turoniano - Oxfordiano)

Il Rosso Ammonitico ricopre uniformemente tutto il Plateau di Trento, dal Lago di Garda fino alla base della Piattaforma Friulana; nel bellunese la formazione è caratterizzata da micriti a peloidi la cui microfacies è definita da Saccocoma e Globichaete alpina; la selce è quasi sempre presente sotto forma di noduli rossastri.

Biancone (Cretacico - Malm)

Questa formazione rappresenta la base della scarpata deposizionale della Piattaforma Friulana che verso NW faceva da passaggio al bacino immediatamente adiacente ed è costituita da calcari selciferi, i cui caratteri si discostano dalla tipica facies per la presenza di numerose intercalazioni torbiditiche e per il colore variabile e generalmente più scuro.

Calcarea di Fadalto (Cretacico Superiore - Albiano)

È costituito da corpi di calcareniti e breccie di natura torbiditica che nel Vallone Bellunese si intercalano alle micriti pelagiche del Biancone e della Scaglia Rossa.

Formazione di Cugnan e Scaglia Rossa (Eocene Inf. - Cretacico Sup.)

Sul versante occidentale della valle del Piave, questa formazione ricopre il Biancone, mentre sul versante orientale il Calcarea di Fadalto, con il quale è in parte eteropica.

Marna della Vena d'oro e Scaglia Cinerea (Eocene Inf. - Paleocene)

Le due formazioni possono essere facilmente distinte tra di loro solo nell'area tipo, ossia sul versante occidentale di Col Visentin, a Nord di Tassei, e sulle sue propaggini settentrionali. Nelle aree adiacenti la loro delimitazione appare problematica per variazioni graduali di composizione e di colore.

Flysch di Belluno (Eocene)

La formazione affiora con una discreta continuità, sia in destra che in sinistra Piave in corrispondenza del centro di Belluno e si chiude tra Levego e Ponte nelle Alpi. La formazione è costituita in massima parte da depositi torbiditici ed è tipicamente rappresentata da un'alternanza regolare di strati e banchi arenitici e subordinatamente ruditici grigi, o nocciola per alterazione, e marne grigie di spessore in genere prevalente su quelle dei livelli grossolani.

Arenaria Glauconitica

La formazione affiora con una discreta continuità, si descrivono le seguenti associazioni litologiche: sono conglomerati medio-fini con matrice arenacea grossolana, in sequenze a base erosiva, di tipo fining-upward, di 1-4 m di spessore.

Siltite di Bastia

Siltiti e marne siltose grigie a pettinidi, echinodermi e scarse microfaune planctoniche; intercalazioni di calcareniti fini nella parte alta e di sottili livelli glauconitici ad ostree alla base.

Coperture recenti

In questa categoria rientrano i depositi fluviali e fluvio-glaciali terrazzati che colmano la valle del Piave fino a lambire il terrazzo fluvioglaciale a monte della stazione ferroviaria di Belluno, le conoidi torrentizie che si aprono a ventaglio circa perpendicolari al corso del Piave alla base delle incisioni che solcano i versanti, le falde detritiche alla base dei versanti, nonché le coltri eluvio-colluviali derivanti dall'alterazione meccanica e fisico-chimica delle sottostanti rocce. I vari litotipi elencati si interdigitano o si sovrappongono in maniera difficilmente cartografabile, e sono organizzati in modo più o meno caotico, a seconda del differente contesto deposizionale. È da segnalare inoltre la presenza di corpi di frana staccatisi dai versanti vallivi a seguito di fenomeni di detensionamento postglaciale o a causa di fenomeni erosivi compiuti dal F. Piave, che ha destabilizzato il materiale più a monte. La tessitura di tali depositi è nella maggior parte dei casi grossolana, ma localmente sono rinvenibili livelli, in alcuni casi spessi e piuttosto continui, di limi argillosi, specie nelle aree depresse lungo il corso del F. Piave attuale e antico.

Per uno sguardo di insieme, a grande scala, si riporta uno stralcio della carta geologica d'Italia alla scala 1:100000 (**Figura 2.7**); si nota come in gran parte del territorio comunale affiorino rocce di età Terziaria e Quaternaria, mentre sulle porzioni montane più elevate affiorino le formazioni bacinali giurassiche. Le coperture detritiche principali sono limitate alla porzione centrale del censuario comunale lungo il corso del F. Piave e in corrispondenza delle fasce di raccordo tra versanti e fondovalle.

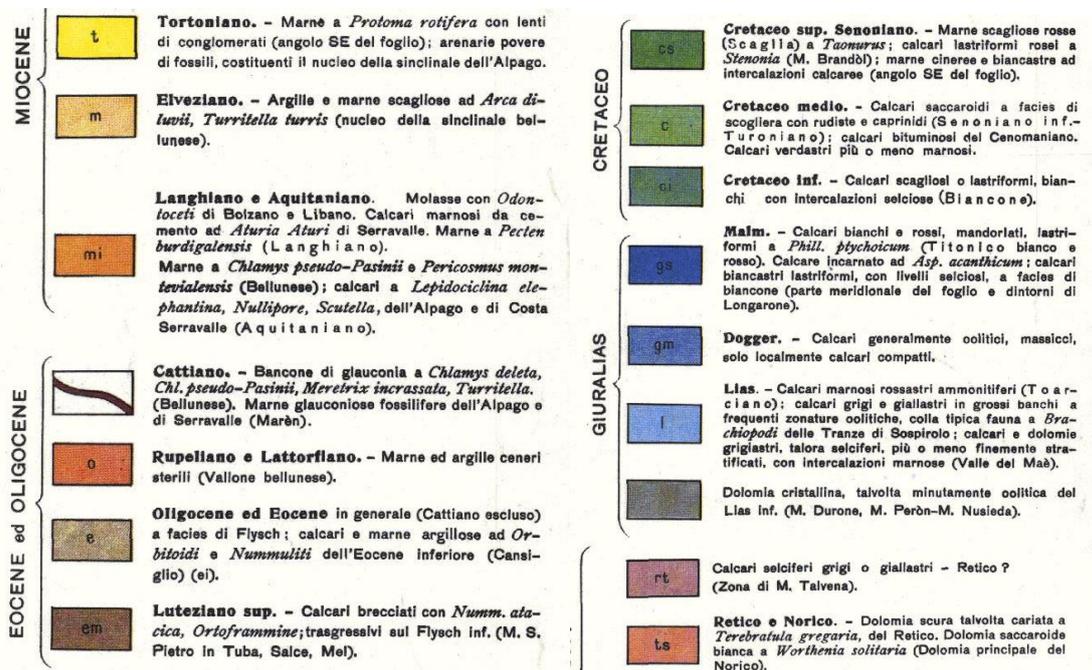
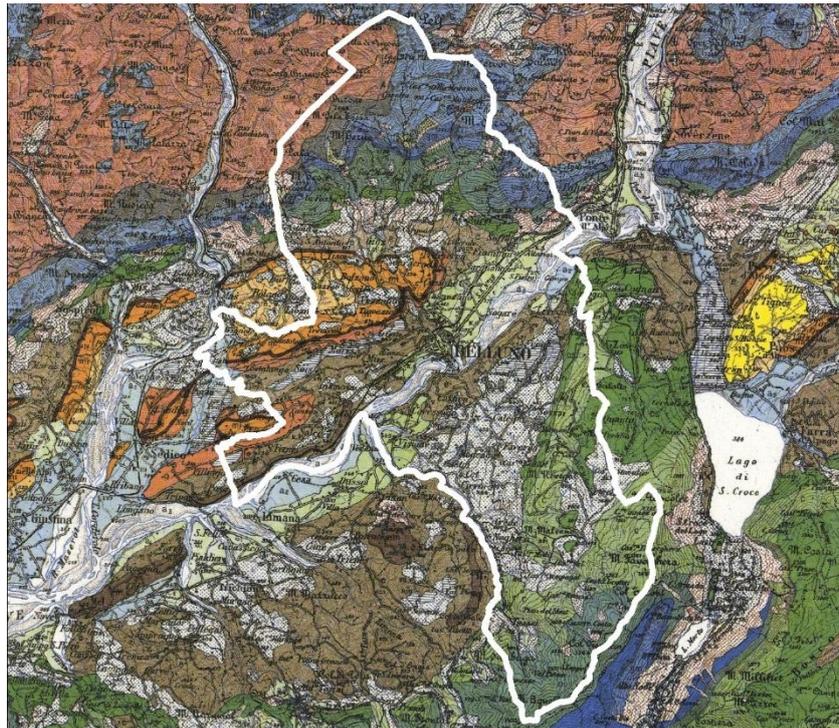


Figura 2.7: Estratto dalla CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:100 000 - FOGLIO BELLUNO.

3. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

3.1. Analisi a larga scala

Per la definizione della pericolosità sismica di base, oltre a far riferimento a quanto indicato in merito dalla normativa (classificazione sismica) e a quanto riportato da INGV su pericolosità sismica/sorgenti sismogenetiche e da ISPRA (ITHACA - Catalogo delle faglie capaci), è stato preso in considerazione lo studio di SUGAN & PERUZZA (2011) "Distretti sismici del Veneto". Il lavoro rappresenta un ampio e dettagliato quadro di sintesi che, con l'ausilio dei dati derivanti dal monitoraggio sismico strumentale attuato da OGS nel Veneto, delinea lo stato delle conoscenze sismologiche e sismotettoniche sull'intero territorio regionale, suddividendolo in 9 distretti areali caratterizzati da elementi sismologico sismogenetici comuni (**Figura 3.1**). Il territorio comunale di Belluno risulta compreso nel Distretto Alpago-Cansiglio (A).

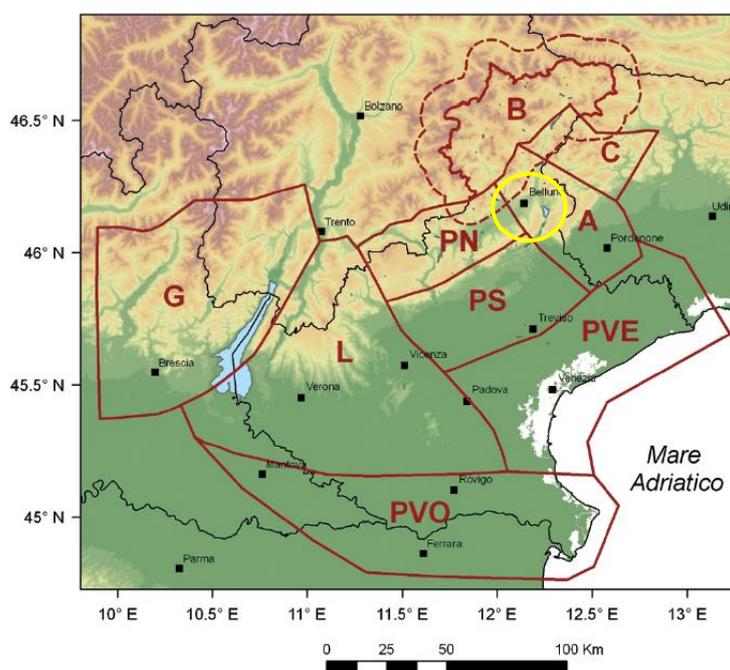


Figura 3.1: distretti sismici del Veneto (da SUGAN & PERUZZA, 2011).

Il distretto Alpago-Cansiglio (A) è situato all'intersezione dei sistemi valsuganesi del Veneto centrale, con i sovrascorrimenti tilaventini E-O del Friuli settentrionale. Il distretto si estende a comprendere la parte montana del corso del Piave ad andamento meridiano fino a Belluno, il suo paleoalveo attraverso la Val Lapisina, la conca dell'Alpago e il massiccio del Cansiglio; la zona di pianura si estende approssimativamente tra il corso del Livenza e quello del Cellina, fino alla fascia delle risorgive.

Secondo gli studi di sismotettonica (MELETTI & VALENSISE, 2004) utilizzati nella predisposizione delle Carte di pericolosità sismica di base e della classificazione sismica nazionale, l'area del Comune di Belluno rientra nella Zona sismogenetica n° 905 - Friuli e Veneto Orientale (**Figura 3.2**). L'area coincide con il settore della catena alpina che ha subito il massimo raccorciamento nella collisione tra placca europea e microplacca adriatica a Sud. È strutturata in una serie di pieghe sudvergenti dislocate da piani di sovrascorrimento ravvicinati anch'essi a vergenza meridionale facenti parte del Friuli Thrust System. Gli epicentri dei terremoti sono generalmente ricollegabili a queste superfici di sovrascorrimento. Il meccanismo di fagliazione

responsabile dei terremoti che avvengono nella ZS 905 è di tipo faglia inversa, con una profondità efficace compresa tra 8 e i 12 km. La M_w massima stimata per la ZS 905 è di 6.60.

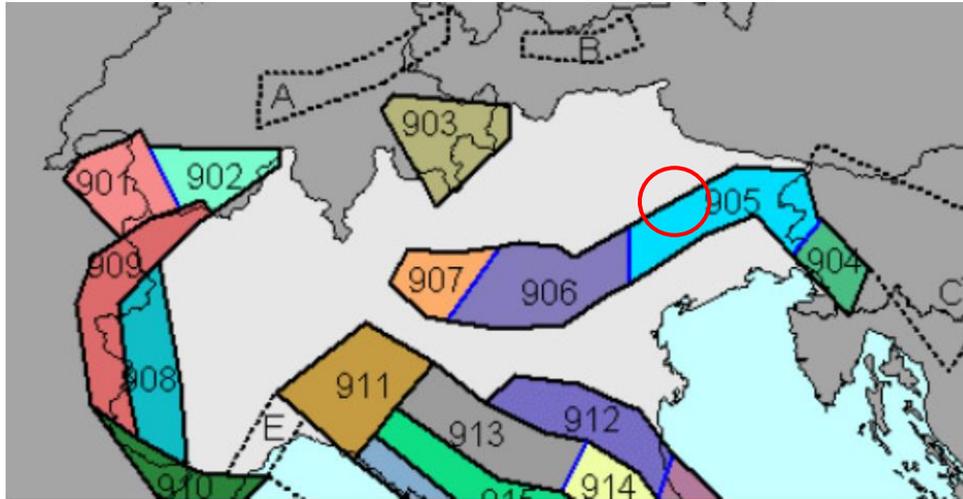


Figura 3.2: estratto (fuori scala) della zonazione sismogenetica ZS9 Nord Italia (da MELETTI & VALENSISE, 2004).

Per quanto concerne l'individuazione delle sorgenti sismogeniche, dalla consultazione del DISS (Database of Individual Seismogenic Sources - <http://diss.rm.ingv.it/dissGM/>) per il territorio in esame risulta segnalata la sorgente sismogenetica ITCS105 - Bassano-Vittorio Veneto inoltre, in prossimità del sito, sono da segnalare le sorgenti sismotettoniche ITIS125 - Polcenigo-Montereale, ITIS124 - Cansiglio e ITCS060 - Montebelluna-Montereale (Figura 3.3).

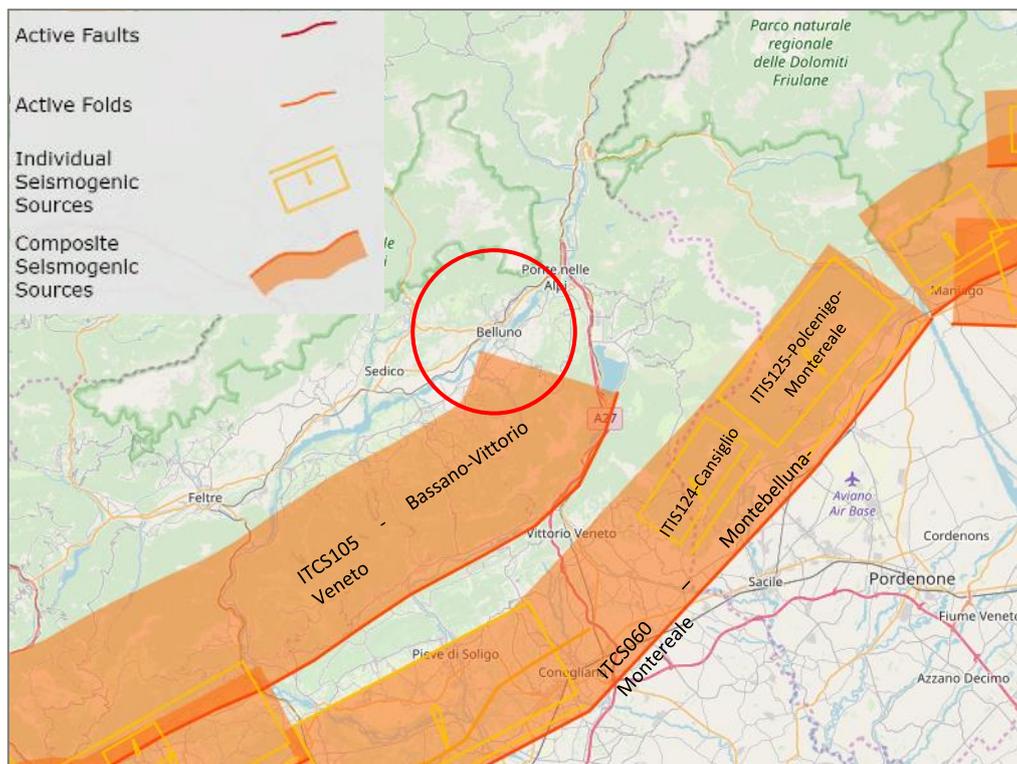


Figura 3.3: Sorgenti sismogenetiche del DISS, tra cui ITCS105 - Bassano-Vittorio Veneto, (immagine tratta dal WebGIS del DISS <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>).

3.2. Faglie

In accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

Il catalogo ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults)¹ riporta la presenza nel territorio comunale di 5 faglie capaci (Figura 3.4), raffigurate nella seguente immagine e di seguito descritte.

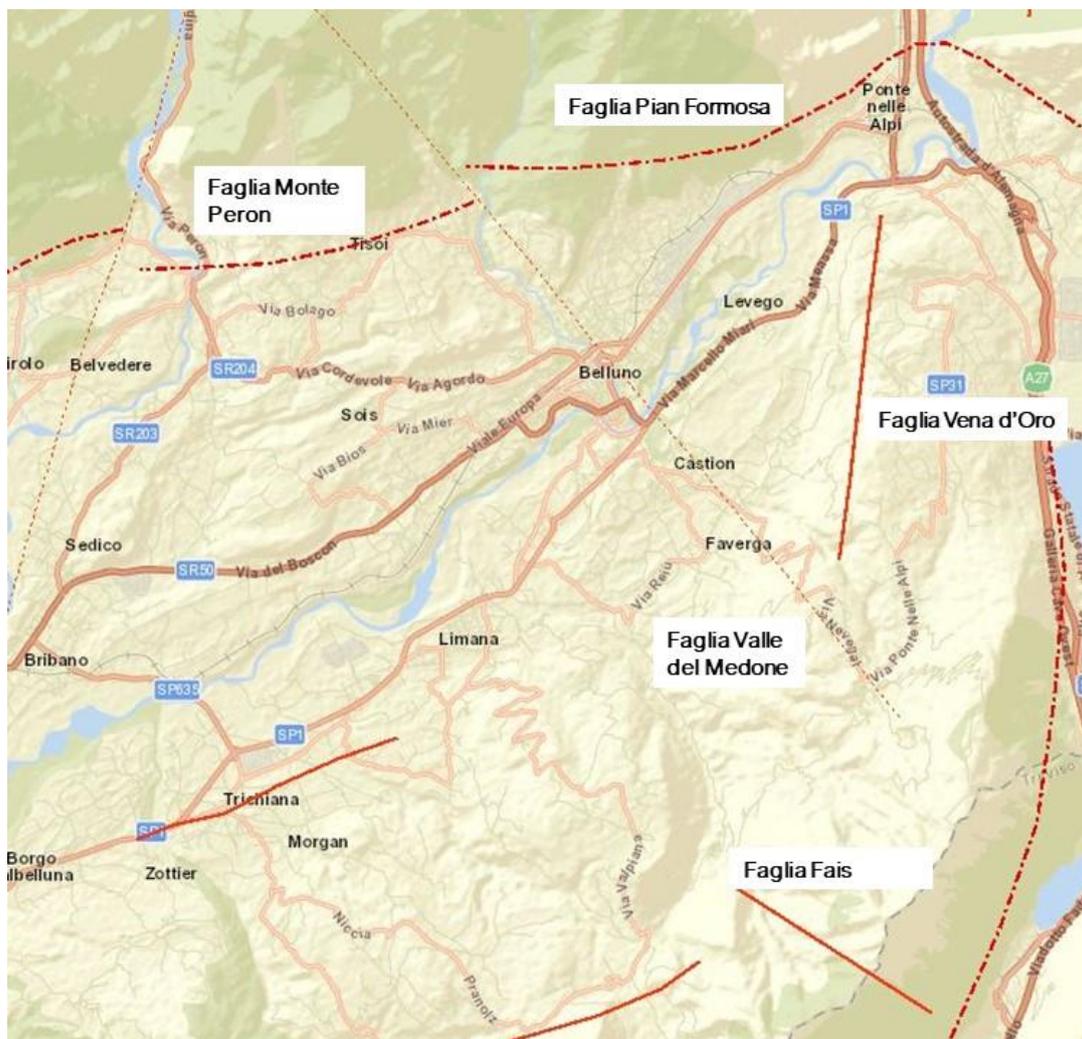


Figura 3.4: Ubicazione delle faglie capaci presenti nel territorio del Comune di Belluno (da sito ISPRA – ITHACA: <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html>).

FAGLIA VALLE DEL MEDONE	
Fault Code	73300
Fault Name	Valle del Medone
Region Name	Veneto
Tectonic Environment	ND

¹ <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>

System Name	Valle del Medone
Synopsis	
Rank	ND
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	135
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	
Fault Length (km)	37.6
Mapping Scale	1:
Fault Depth (m)	
Kinematics	ND
ACTIVITY	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Latest glacial (9,000±15,000)
SLIP PARAMETERS	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (Mw)	
Max Known Intensity (MCS)	
Known Seismic Events	
FINAL REMARKS	
Capability Consensus	Low reliability
Study Quality	LOW
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

FAGLIA PIAN FORMOSA	
Fault Code	70100
Fault Name	Pian Formosa - Val Medone
Region Name	Veneto
Tectonic Environment	ND
System Name	Belluno Line
Synopsis	
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	260
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	N
Fault Length (km)	21.3
Mapping Scale	1:
Fault Depth (m)	
Kinematics	Reverse

ACTIVITY	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Latest glacial (9,000÷15,000)
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
SLIP PARAMETERS	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (Mw)	
Max Known Intensity (MCS)	
Known Seismic Events	
FINAL REMARKS	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

FAGLIA MONTE PERON	
Fault Code	70101
Fault Name	Mt. Peron
Region Name	Veneto
Tectonic Environment	ND
System Name	Belluno Line
Synopsis	
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	250
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	N
Fault Length (km)	6.0
Mapping Scale	1:
Fault Depth (m)	
Kinematics	Reverse
ACTIVITY	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Latest glacial (9,000÷15,000)
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
SLIP PARAMETERS	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	

Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (Mw)	
Max Known Intensity (MCS)	
Known Seismic Events	
FINAL REMARKS	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

FAGLIA VENA D'ORO	
Fault Code	73500
Fault Name	Vena d'Oro
Region Name	Friuli-Venezia Giulia
Tectonic Environment	ND
System Name	Friuli thrust system
Synopsis	
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	10
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	W
Fault Length (km)	6.1
Mapping Scale	1:500000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal
ACTIVITY	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Latest glacial (9,000÷15,000)
Applied Technique	Field studies
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
SLIP PARAMETERS	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (Mw)	5.9
Max Known Intensity (MCS)	
Known Seismic Events	
FINAL REMARKS	
Capability Consensus	Low reliability
Study Quality	LOW

Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

FAGLIA FAIS	
Fault Code	70500
Fault Name	Fais
Region Name	Veneto
Tectonic Environment	ND
System Name	Fais
Synopsis	
Rank	ND
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	130
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	S
Fault Length (km)	4.1
Mapping Scale	1:
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal
ACTIVITY	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Latest glacial (9,000±15,000)
Evidence for Capability	Displacement of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or land forms
SLIP PARAMETERS	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (Mw)	
Max Known Intensity (MCS)	
Known Seismic Events	
FINAL REMARKS	
Capability Consensus	Low reliability
Study Quality	LOW
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Il Catalogo ITHACA fornisce una prima indicazione sull'eventuale presenza di faglie attive e capaci in un determinato territorio, ma non può essere utilizzato per la loro caratterizzazione di dettaglio. Ciò vale in particolar modo per gli studi di microzonazione sismica. Fatta questa doverosa premessa, dal catalogo emerge che solo per 2 delle 5 faglie gli studi risultano essere attendibili, negli altri casi la qualità degli studi è

bassa, e per questo motivo nell'ambito del presente studio tali elementi non vengono contemplati come capaci.

Per le faglie Pian Formosa e Monte Peron, alcuni studi stimano un'attività negli ultimi 9.000-15.000 anni (tardo glaciale). Le evidenze sarebbero riscontrabili come dislocazione nei depositi quaternari e/o nelle forme di superficie. Va segnalato tuttavia che non vengono descritte evidenze in superficie, e la qualità degli studi a riguardo non è determinata e il "capability consensus" risulta di media affidabilità.

Analizzando la bibliografia, si può notare che le faglie del catalogo ITHACA sopracitate sono state tracciate ricalcando l'ubicazione riportata nello studio di CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991), citato tra le fonti del catalogo. Va detto che la Carta delle faglie attive fra i fiumi Po e il Lago di Como è stata redatta dai due autori in scala 1:500000.

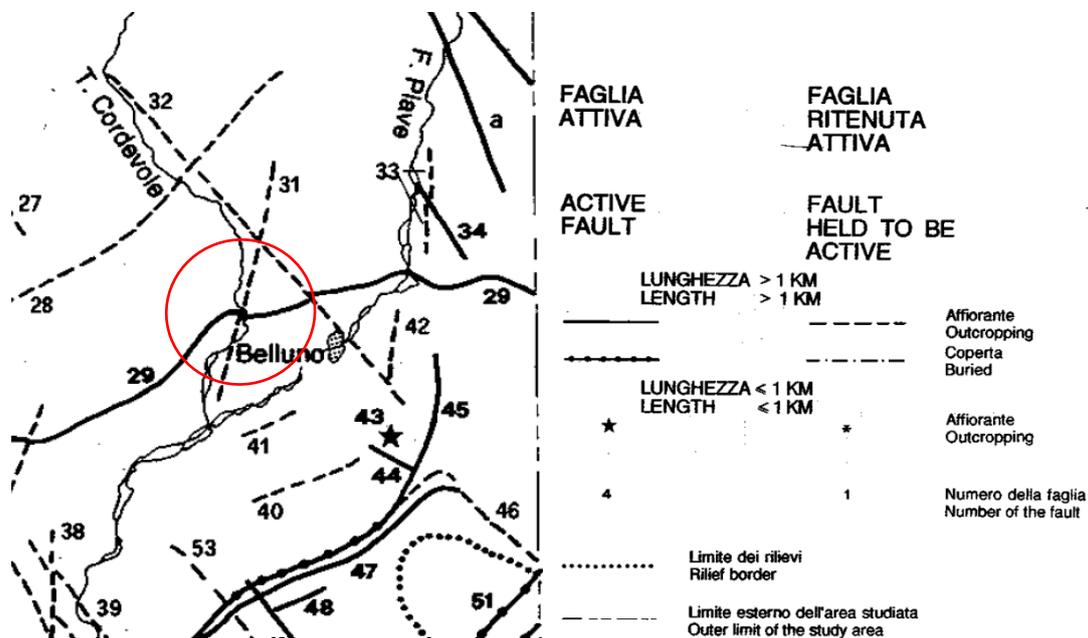


Figura 3.5: Estratto della Carta delle faglie attive fra i fiumi Po e il Lago di Como (Italia settentrionale) – da CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991).

Oltre alle informazioni disponibili derivanti dagli studi e cataloghi esistenti, è stata condotta un'analisi di dettaglio delle forme di superficie sul modello a ombre ricavato dal DTM del territorio comunale. L'analisi delle forme di superficie non ha rilevato elementi che facessero ipotizzare una rottura in superficie legata a fagliazione.

Per le due faglie i cui studi risultano di miglior qualità, si ritiene non ci siano elementi sufficienti per ritenerle attive e capaci.

Un approfondimento specifico merita la faglia "Valle del Medone", che sulle cartografie del primo livello di microzonazione sismica attraversa il centro storico di Belluno. Sulla carta delle MOPS del primo livello, è riportata come "presunta faglia trascorrente attiva": tale terminologia non è contemplata nelle Linee Guida per la redazione degli Studi di Microzonazione Sismica, né nelle Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), pubblicate nel 2015. Lo Studio risale infatti all'aprile 2013, e la disciplina in materia si è evoluta molto rapidamente.

La terminologia assegnata alla faglia potrebbe essere interpretata come "faglia incerta potenzialmente attiva e capace", il che presupporrebbe, ai fini della sua rappresentazione che siano "*identificate con l'ausilio di dati di letteratura o durante i rilievi di terreno per la redazione della carta geologico tecnica*".

Per questa tipologia di faglie (FPAC) non è prevista alcuna relativa zonazione nella carta MS1, esse dovranno essere indagate approfonditamente nell'ambito di un terzo livello di approfondimento. L'assenza di zonizzazione non comporta per i siti a cavallo di essa (o della zona di rispetto) vincoli rispetto l'edificabilità.

Successivi chiarimenti da parte del dipartimento della protezione Civile, su indicazione della Regione Veneto, specificano che "*una faglia attiva e capace di produrre una rottura in superficie può essere rappresentata nella carta delle MOPS solo se riportata nella letteratura scientifica specialistica ad una scala di dettaglio (non inferiore a 10.000) o se siano stati riconosciuti sul terreno o tramite prospezioni dirette e indirette segni inequivocabili di dislocazione della superficie topografica conseguenti ad un evento sismico risalente agli ultimi 40.000 anni e non attribuibile al altri fenomeni cosismici*".

Dal momento che la faglia indicata nella Carta delle MOPS:

- è stata derivata, come rinvenibile nella relazione illustrativa allegata allo studio, dal catalogo ITHACA, e quindi ad una scala non inferiore al 100.000;
- nello stesso catalogo si rinviene che gli studi associati alla faglia sono di scarsa qualità;
- non sono riportate evidenze superficiali del fenomeno,

alla luce delle Linee Guida citate e dei vari chiarimenti in materia, si conviene che non ci sono gli elementi per identificare la "faglia incerta potenzialmente attiva e capace". A supporto di tale ipotesi sono stati eseguiti rilievi in sito di dettaglio ed analisi fotogrammetriche.

Rilievi sul campo

Dai rilievi condotti sul campo non risultano elementi indicativi dell'attività recente della faglia in questione. Non sembrerebbero infatti presenti anomalie nelle forme del paesaggio, diversione di corsi d'acqua o di altri elementi lineari, scarpate di faglia, né elementi di carattere tettonico (dislocazioni di terreni tardo pleistocenici-olocenici/rotture superficiali).

Interpretazione fotogrammi aerei

Anche dall'analisi delle foto aeree della zona interessata non sembrerebbe ci siano evidenze dell'attività recente della faglia in questione.

Sono stati inoltre cartografati ulteriori elementi tettonici, che non hanno implicazioni dirette dal punto di vista della pericolosità sismica, ma che sono connessi all'assetto stratigrafico, topografico e alle geometrie del substrato:

- l'ampia Sinclinale di Belluno ad andamento ENE – WSW: il nucleo di questa sinclinale è costituito dalle rocce della "Serie della Molassa" mentre i fianchi sono formati dalle dolomie e calcari del Trias.
- L'anticlinale di Bes, che corrisponde ad una struttura secondaria da rampa con sovrascorrimento sud-vergente ed asse OSO-ENE che si sviluppa sul fianco meridionale della Sinclinale di Belluno.
- I lineamenti tettonici con direzione prevalente E-O, riferibili all'orogenesi alpina.

Per quanto riguarda la giacitura degli strati, risulta immergente verso nord nei gruppi del M.te Faverghera e M.te Agnelezze. Invece risulta verso sud nella zona tra i gruppi del Serva e Terne.

Con DGR n.244 del 9 marzo 2021² è stato approvato l'aggiornato dell'elenco delle zone sismiche del Veneto. La precedente zonazione sismica del Veneto risale alla D.C.R. n. 67/2003³ con la quale, in ottemperanza della O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274⁴, si è provveduto a formare l'elenco delle zone sismiche discretizzando il territorio a scala comunale. Secondo la nuova zonazione vigente il Comune di Belluno (BL) rientra in **zona sismica 1** (Figura 3.6).

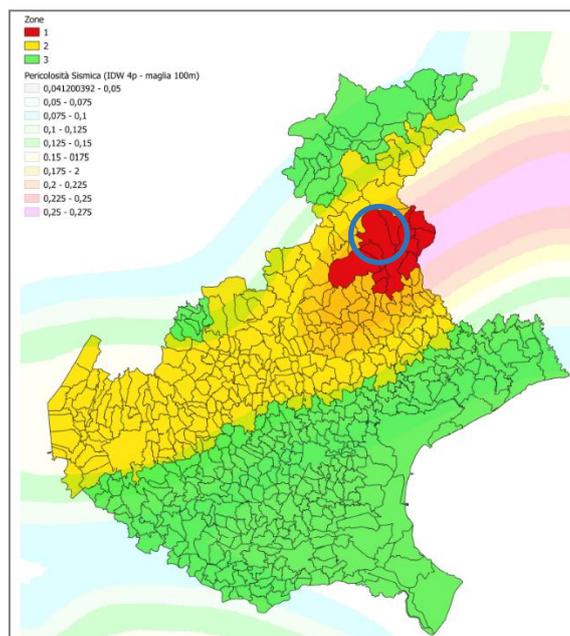


Figura 3.6: Allegato A alla DGR n.244 del 09/03/2021 – Classificazione sismica del Veneto – Mappa di pericolosità sismica.

Per quanto concerne la pericolosità sismica di base, cioè lo “scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo” (definizione da sito INGV), si riporta la mappa dei valori di pericolosità sismica per la Regione Veneto e per il comune di Belluno, con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2 delle NTC 18) (Figure 3.7 e 3.8). Il territorio comunale risulta compreso tra punti con valori di ag compresi tra 0.175 e 0.275 g.

² Deliberazione della Giunta Regionale n.244 del 09 marzo 2021 - *Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto. D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, articolo 83, comma 3; D.Lgs 31 marzo 1998, n. 112, articoli 93 e 94. D.G.R./CR n. 1 del 19/01/2021.*

³ Deliberazione del Consiglio Regionale n. 67 del 3 dicembre 2003 – *approvazione del nuovo elenco dei comuni del Veneto classificati in zona sismica.*

⁴ Ordinanza n. 3274 del 20.03.2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri (*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*).

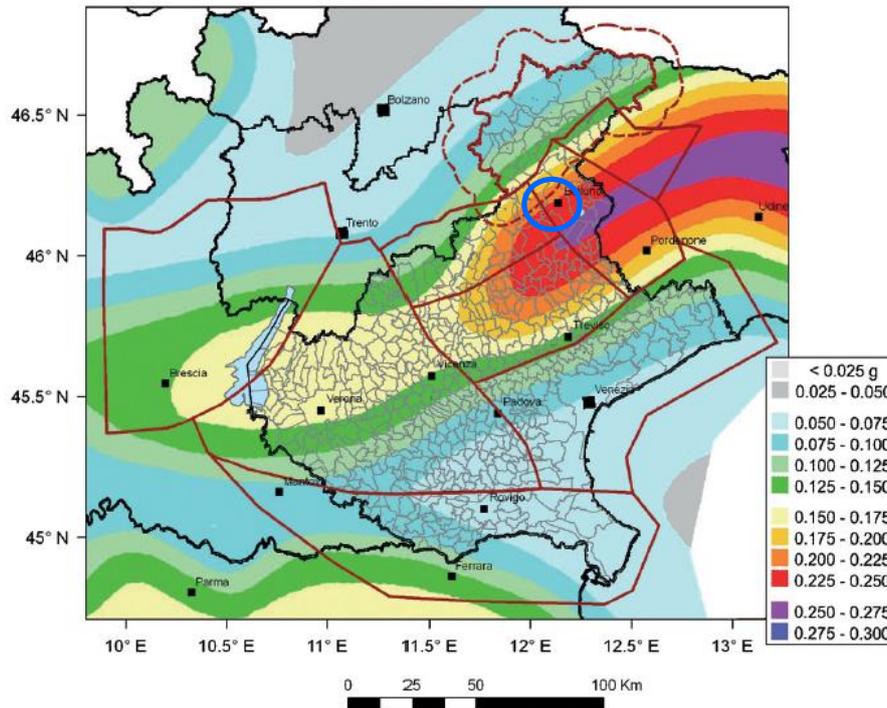


Figura 3.7: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (MPS Working Group, 2004 entrata in vigore con l'Ord. PCM 3519/2006) e distretti sismici del Veneto; la scala cromatica rappresenta valori di accelerazione orizzontale di picco (g), attesa di non essere superata al 90% di probabilità in 50 anni (da SUGAN & PERUZZA, 2011).

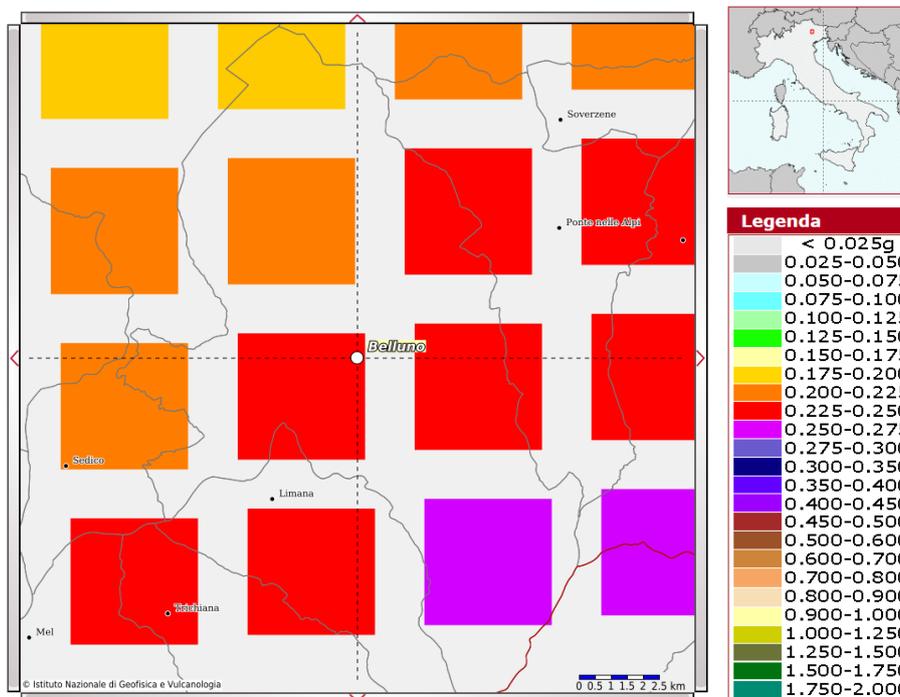


Figura 3.8: Mappa di pericolosità sismica per il Comune di Belluno (da mappe interattive di pericolosità sismica: <https://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Siti di riferimento ID	Latitudine	Longitudine
9195	46.228	12.192
9417	46.178	12.193
9418	46.179	12.265
9638	46.127	12.122
9639	46.128	12.194
9640	46.129	12.266
9862	46.079	12.267

Tabella 3.1: Vertici della maglia di appartenenza (Ag) in riferimento all'Ordinanza n. 3519/2006.

Con l'entrata in vigore delle N.T.C. 2008 (poi aggiornate con Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 gennaio 2018) al posto del valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche, per ogni costruzione ci si deve riferire ad un'accelerazione di riferimento "propria", individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Viene definito dunque un valore di pericolosità di base per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

Per quanto riguarda la sismicità storica, oltre ai dati derivanti dal Database Macrosismico Italiano aggiornati al 2015 (DBMI15) per il Comune di Belluno, per un'analisi su un contesto territoriale più ampio sono state prese in esame alcune indicazioni relative al Distretto Alpago-Cansiglio (A) (Sugan & Peruzza, 2011) e al territorio regionale ("Annotazioni ed indicazioni dalla storia sismologica del Veneto" - Consiglio Regionale del Veneto - a cura di Giuseppe Sartori - Ufficio Territorio, 2012).

Facendo riferimento al sito dell'INGV dal Database Macrosismico Italiano aggiornato al 2015 (DBMI15), utilizzato per la compilazione di CPTI15 (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani), dalla scheda del Comune di Belluno risulta una storia sismica per agli ultimi 650 anni circa: dal 1348 sono segnalati 80 eventi significativi (Tabella 3.2). La distribuzione di questi è fortemente irregolare e concentrata da metà 1800 a causa di una maggior vicinanza storica degli eventi ed una più efficiente raccolta dati. Gli effetti sismici maggiori si registrano in corrispondenza dell'evento del 1936 con MW = 6.06 con epicentro nella zona dell'Alpago-Cansiglio.

Effetti	In occasione del terremoto del			
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
HF	1348 01 25	Alpi Giulie	89	9 6.63
5	1389 08 20 13	Friuli	3	6-7 4.86
4-5	1392 01 28 00 30	Belluno	1	4-5 3.93
5	1401 06 29 09	Belluno	1	5 4.16
6	1403 01 12 05 30	Belluno	1	6 4.63
5	1404 02 01 21	Belluno	1	5 4.16
F	1405 06 26 13 45	Feltrino	2	4-5 3.93
4-5	1406 05 28 21 30	Belluno	1	4-5 3.93

Effetti	In occasione del terremoto del			
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
5	1410 06 10 21	Verona	5	
4-5	1411 07 01 06	Belluno	1	4-5 3.93
7	1511 03 26 15 30	Friuli-Slovenia	120	9 6.32
6-7	1549 09 10 02	Belluno	1	6-7 4.86
F	1595 07 14 01 30	Friuli	3	4 3.70
5-6	1690 05 04	Belluno	1	5-6 4.40
4-5	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10 6.40
4	1776 07 10	Prealpi Friulane	19	8-9 5.82
6-7	1549 09 10 02	Belluno	1	6-7 4.86
F	1595 07 14 01 30	Friuli	3	4 3.70
5-6	1690 05 04	Belluno	1	5-6 4.40
4-5	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10 6.40
4	1776 07 10	Prealpi Friulane	19	8-9 5.82
6-7	1812 10 25 07	Pordenonese	34	7-8 5.62
4-5	1859 01 20 07 55	Prealpi Trevigiane	36	6 4.80
5	1859 09 29 08 30	Belluno	1	5 4.16
3	1860 07 19	Prealpi Trevigiane	10	6-7 4.92
3	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8 5.85
8	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	197	9-10 6.29
3-4	1873 09 17	Appennino tosco-ligure	64	6-7 5.26
4-5	1873 11 06 08 30	Belluno	1	4-5 3.93
2	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8 5.74
5	1875 10 24 20 13	Belluno	2	4 3.70
3-4	1875 12 06	Gargano	97	8 5.86
4	1876 03 28 01	Alpago Cansiglio	2	4 3.70
3	1878 03 12 21 36	Bolognese	31	6 4.84
3	1878 04 05 09 46	Bolognese	6	6 4.63
3	1879 02 14	Garda occidentale	13	5 4.62
4	1883 10 22 03 30	Prealpi Trevigiane	5	5-6 4.64
4	1885 12 29	Alpago Cansiglio	47	6 4.96

Effetti	In occasione del terremoto del			
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
3-4	1889 12 08	Gargano	122	7 5.47
5	1890 03 26 20 10	Bellunese	48	6 4.82
5	1891 06 07 01 06 1	Valle d'Illyasi	403	8-9 5.87
4-5	1892 01 11 01 56	Alpago Cansiglio	13	4-5 4.02
5	1892 06 23 23 20	Dolomiti Friulane	71	5-6 4.58
3	1892 08 09 07 58	Valle d'Alpone	160	6-7 4.91
5	1893 10 27 16 31	Bellunese	54	5 4.42
3	1894 02 09 12 48 0	Valle d'Illyasi	116	6 4.74
F	1894 11 28	Feltrino	11	5-6 4.49
3	1895 02 27 15 38	Dolomiti Friulane	31	5 4.31
F	1895 06 10 01 47	Prealpi Trevigiane	73	6 4.85
4	1897 06 11 12 45	Asolano	47	5-6 4.44
3	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8 5.37
5	1900 03 04 16 55	Asolano	98	6-7 5.05
3	1901 10 30 14 49 5	Garda occidentale	289	7-8 5.44
3	1904 03 10 04 23 0	Slovenia nord-occidentale	57	
F	1908 07 10 02 13 3	Carnia	119	7-8 5.31
4-5	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7 5.36
4-5	1912 08 05 10 33	Alpago Cansiglio	12	4-5 4.34
NF	1913 11 25 20 55	Appennino parmense	73	4-5 4.65
4-5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7 5.63
5	1925 07 04 17 48	Bellunese	12	4 3.87
4	1926 01 01 18 04 0	Carniola interna	63	7-8 5.72
NF	1934 05 04 13 56	Carnia	80	6 4.69
7	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9 6.06
5-6	1937 02 18 08 29	Belluno	1	5-6 4.40
5	1943 07 24 01 44	Feltrino	29	7 5.07
3	1954 04 25 22 17 1	Carnia	57	5-6 4.54
2	1955 07 23 03 54 3	Prealpi Friulane	47	5 4.49
4	1966 01 23 01 31 2	Alpago Cansiglio	7	4-5 4.02
3	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5 4.87

Effetti	In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1975 03 24 02 33 3	Carnia	24	5-6	4.51
6	1976 05 06 20 00 1	Friuli	770	9-10	6.45
5	1977 09 16 23 48 0	Friuli	94	6-7	5.26
4	1978 12 12 15 14 4	Dolomiti Friulane	56	5-6	4.35
2	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
3	1987 05 02 20 43 5	Reggiano	802	6	4.71
4-5	1994 04 20 21 25 2	Dolomiti Friulane	159	5-6	4.12
3	1996 01 27 08 26 0	Dolomiti Friulane	91	4-5	3.90
4	1996 02 27 11 13 4	Dolomiti Friulane	150	5	4.27
4-5	1996 04 13 13 00 2	Dolomiti Friulane	164	5-6	4.43
3	1996 10 15 09 55 5	Pianura emiliana	135	7	5.38
3-4	2001 07 17 15 06 1	Val Venosta	657	5-6	4.78
2-3	2004 07 12 13 04 0	Slovenia nord-occidentale	353		5.12
F	2004 11 24 22 59 3	Garda occidentale	176	7-8	4.99
3-4	2004 12 04 22 20 5	Prealpi Trevigiane	108	4-5	3.86
3-4	2016 10 30 06 40 1	Valnerina	379		6.61

Tabella 3.2: Storia sismica di Belluno (da INGV - DBMI15: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

Prendendo in considerazione la scheda del DBMI15 di Belluno si nota la presenza di numerosi eventi che hanno superato la soglia del danno (Io=VI MCS) e che i maggiori effetti sismici (VI, VI-VII, VII e VIII MCS) sono stati registrati in occasione dei seguenti eventi:

Effetti	In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6	1403 01 12 05 30	Belluno	1	6	4.63
7	1511 03 26 15 30	Friuli-Slovenia	120	9	6.32
6-7	1549 09 10 02	Belluno	1	6-7	4.86
6-7	1812 10 25 07	Pordenonese	34	7-8	5.62
8	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	197	9-10	6.29
7	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6.06
6	1976 05 06 20 00 1	Friuli	770	9-10	6.45

Tabella 3.3: Estratto della storia sismica di Belluno con i terremoti più forti (da INGV - DBMI15: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

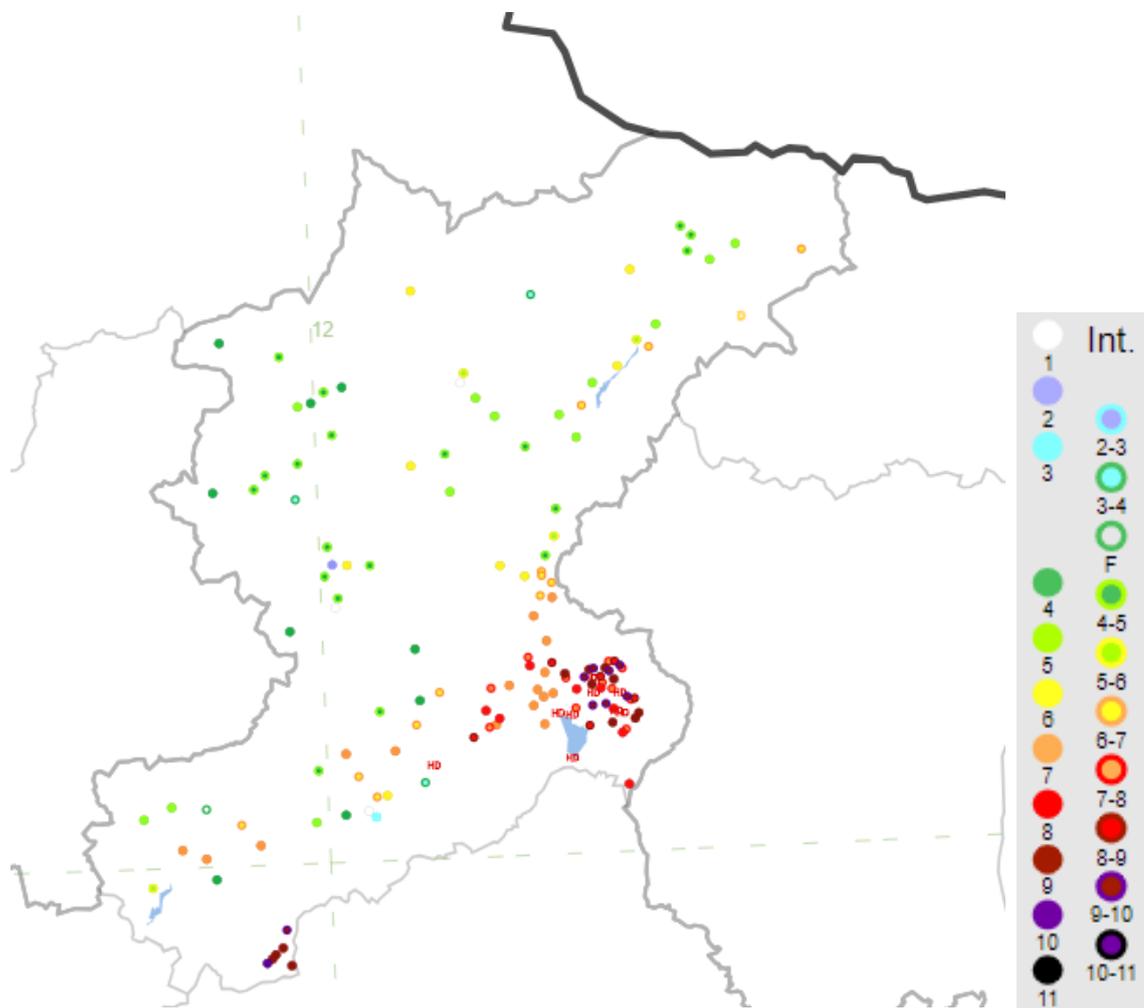


Figura 3.9: Localizzazione degli epicentri dei terremoti con intensità massima ≥ 5 catalogati nel DBMI15 per la Provincia di Belluno e relativa intensità MCS (da INGV - DBMI15: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

Dall'analisi dei terremoti registrati dal 1977 ad oggi e resi disponibili⁵ dal Centro di Ricerca Sismologica dell'OGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale) di Trieste risultano 67 eventi ricadenti nel territorio comunale.

La sismicità registrata strumentalmente dal 1977 al 2010, a cui fa seguito la pubblicazione di Sugan e Peruzza (2011), evidenzia diversi eventi di magnitudo superiore a 3 in zone limitrofe (ricadenti nel distretto sismico Alpago-Cansiglio).

Il distretto Alpago-Cansiglio risulta interessato storicamente da alcuni eventi che hanno raggiunto o superato la soglia della distruzione ($I=IX$ MCS), e diversi eventi con forti danni documentati sin dal XV secolo (Figura 3.10). I due eventi più significativi si sono verificati nel 1873 e nel 1936. L'evento più forte è avvenuto il 29 giugno 1873 ($I=IX-X$ MCS, $MW=6.33$), e ha distrutto molti villaggi dell'Alpago, causando forti danni anche a

⁵ Real Time Seismology of NE Italy (<http://rts.crs.inogs.it/it/search/advancedsearch.html>).

Belluno. L'altro importante evento che ha riguardato quest'area è il terremoto del Cansiglio del 18 ottobre 1936 (IO=IX MCS, $MW=5.9$).

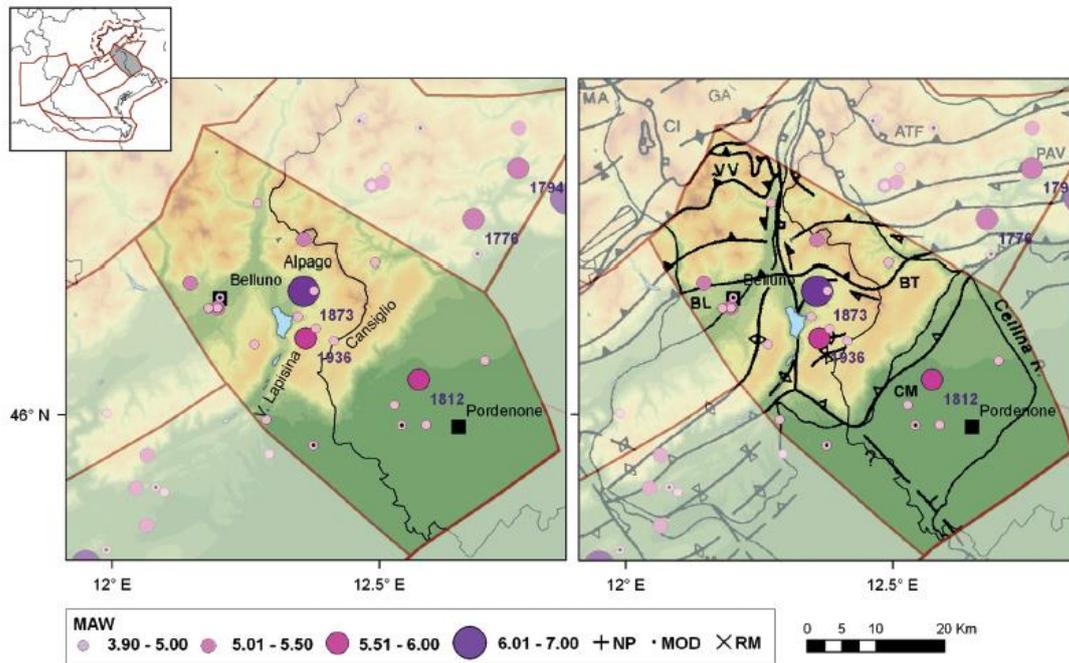


Figura 3.10: Mappa della sismicità storica del distretto Alpi (A); fonte dati CPT104 criticamente rivisto Molin et al. (2008) (da SUGAN & PERUZZA, 2011).

La sismicità registrata strumentalmente per questo distretto dal 1977 al 2010 si presenta con diversi eventi di magnitudo superiore a 3 (Figura 3.11), che si dispongono lungo una fascia orientata NE-SO compatibile con la geometria dei principali sovrascorrimenti. La massima magnitudo registrata nell'area è relativa ad un evento avvenuto il 28 dicembre 2006 di $MD=3.6$, localizzato in prossimità della città di Belluno.

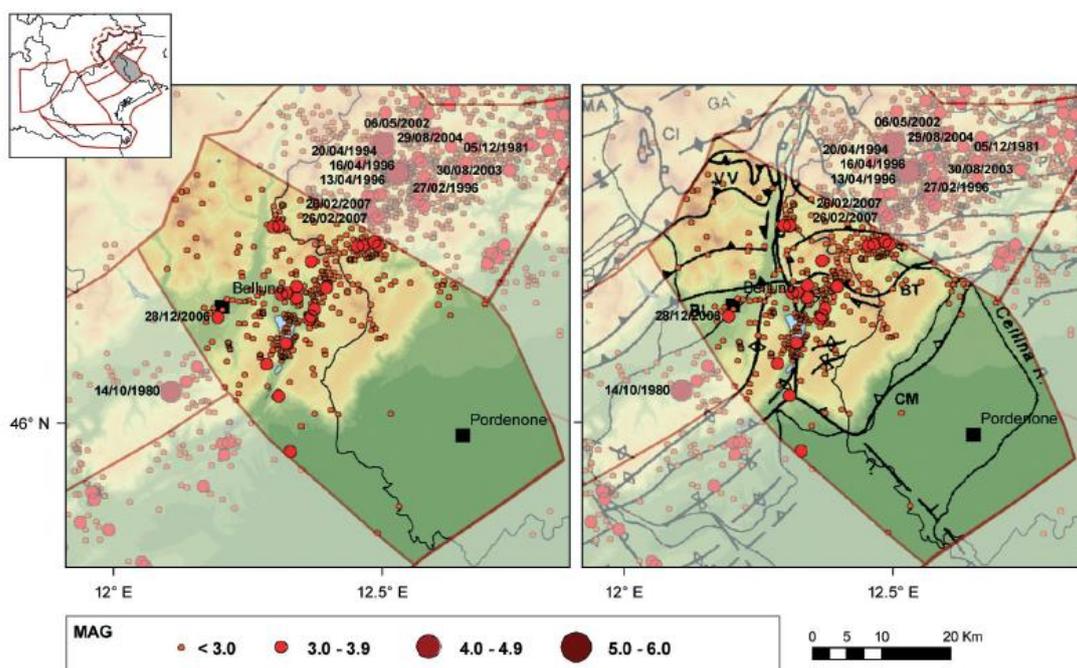


Figura 3.11: Mappa della sismicità strumentale del distretto Alpego-Cansiglio (A); fonte dati OGS (da SUGAN & PERUZZA, 2011).

Di seguito si riportano le descrizioni disponibili per i principali terremoti per i quali sono stati registrati i maggiori effetti sismici per la zona in esame:

Terremoto in Slovenia del 1511

Il 26 marzo il terremoto, con epicentro a Idrija in Slovenia causò gravi danni, tra cui il crollo del castello di Udine e ingenti danni nei centri abitati di Gemona (dove crollò la Torre) e Cividale (dove fu gravemente danneggiato il Duomo). Si contarono fino a 10mila morti, provocò persino un piccolo tsunami nel mare Adriatico che interessò Trieste e Venezia.

Terremoto di Sequals del 1812

Il 25 ottobre ci fu un forte terremoto con epicentro nella zona di Sequals. Fu avvertito a Spilimbergo, Udine, Treviso e Venezia. A Pordenone fu abbattuta la torre dell'orologio, pericolante.

Terremoto del Bellunese del 1873

L'evento si verificò il 19 giugno alle ore 4.55. L'intensità epicentrale è stata valutata in 9.5 M.C.S. e la magnitudo in 6.3. L'epicentro fu individuato nel bacino dell'Alpego e le zone maggiormente colpite furono, oltre a quest'ultimo, la Valle Lapisina e la fascia collinare che va da Vittorio Veneto a Montebelluna. Le vittime furono 30 nell'Alpego, 40 nella provincia di Belluno, 36 a S Pietro di Feletto per il crollo del tetto di una chiesa e 16 lungo la fascia Rugolo-Cappella-Sarmede.

Terremoto del Bosco del Cansiglio del 1936

Il terremoto si verificò il 18 ottobre alle ore 4:10. L'intensità epicentrale è stata valutata in 9° M.C.S., la magnitudo è stata stimata in 5.8 (Ms magnitudo dell'onda di superficie); l'epicentro venne calcolato in corrispondenza all'Altopiano del Cansiglio, il sisma però venne avvertito in tutto il Veneto. L'ipocentro è stato individuato a circa 17 Km dalla superficie. Le zone maggiormente colpite furono i borghi al piede del Cansiglio

da Ceneda (Vittorio Veneto) a Stevenà; non vennero registrate vittime; ingenti furono i danni nella fascia ai piedi del Cansiglio.

Dalla cronologia degli eventi sismici noti per il Veneto e dalla cronologia degli eventi sismici più gravi per il Veneto riportate in "Annotazioni ed indicazioni dalla storia sismologica del Veneto - Consiglio Regionale del Veneto - a cura di Giuseppe Sartori - Ufficio Territorio, 2012", relativi a un arco temporale di oltre 1000 anni, emergono per l'area del Bellunese i due eventi del 1873 e del 1936 citati in precedenza, anche se non risultano segnalazioni specifiche di effetti provocati dagli stessi riguardanti il territorio di Belluno.

Data	Area epicentrale	Intensità MCS* MAGNITUDO	Descrizione
29 giugno 1873	Bellunese	IX-X Mw=6.3	L'area più colpita dalla scossa fu il bellunese, ma gravi danni subirono gli edifici dei paesi compresi tra Belluno, Pordenone e Conegliano Veneto (TV). Il centro più danneggiato fu Belluno e si osservarono lesioni anche a Gorizia, Pordenone, Trieste, Udine, Verona e Vicenza. 80 le vittime
18 ottobre 1936	Alpago- Cansiglio (BL-PN)	X Mw=6.1	Colpita la zona di confine fra le attuali province di Belluno, Treviso e Pordenone con i massimi effetti a sud dell'altopiano del Cansiglio nei paesi di Fiaschetti, Stevenà e Villa di Villa. Gravissimi danni anche a nord del Cansiglio, nella conca d'Alpago in particolare nelle località di Puos d'Alpago, Cornei e Villa.

Tabella 3.4: Cronologia degli eventi sismici più gravi per il Bellunese. Fonte: Scheda tecnica della protezione civile aggiornata con le più recenti elaborazioni contenute nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPT111.[* = scala proposta da Mercalli, Cancani e Sieberg (MCS)]. Estratta da "Annotazioni ed indicazioni dalla storia sismologica del Veneto - Consiglio Regionale del Veneto - a cura di Giuseppe Sartori - Ufficio Territorio, 2012".

3.3. Analisi a scala di dettaglio

Il territorio comunale di Belluno si inserisce nel contesto Prealpino Bellunese, collocandosi nella porzione sud-orientale del sistema di thrust sud-vergenti che caratterizzano il Sudaplino. In particolare, l'area si trova a Sud della Linea di Belluno, la quale delimita l'anticlinale delle Prealpi Bellunesi e Feltrine dalle sinclinali dell'Alpago e del Vallone Bellunese. Tale linea ha causato il sovrascorrimento delle rocce mesozoiche più antiche che costituiscono le Prealpi, sulle unità terziarie più giovani che affiorano invece nel Vallone Bellunese. Gli elementi longitudinali che caratterizzano l'area ad Ovest del Fiume Piave sono troncati dalle faglie della fossa tettonica di Longarone (Doglioni, 1992).

In relazione alla storia sismica di queste porzioni di territorio, dell'assetto strutturale, delle strutture neotettoniche, e delle indagini condotte, si può concludere che il censuario comunale è caratterizzato probabilmente da una notevole complessità strutturale, meglio delineata recentemente in funzione dei dati disponibili sull'attività delle faglie.

Secondo gli studi di sismotettonica (MELETTI & VALENSISE, 2004) utilizzati nella predisposizione delle Carte di pericolosità sismica di base e della classificazione sismica nazionale, l'area del Comune di Belluno coincide

con il settore della catena alpina che ha subito il massimo raccorciamento nella collisione tra placca europea e microplacca adriatica a Sud. È strutturata in una serie di pieghe sudvergenti dislocate da piani di sovrascorrimento ravvicinati anch'essi a vergenza meridionale facenti parte del Friuli Thrust System. Gli epicentri dei terremoti sono generalmente ricollegabili a queste superfici di sovrascorrimento. Il meccanismo di fagliazione responsabile dei terremoti che avvengono nella zona sismogenetica di appartenenza è di tipo faglia inversa, con una profondità ipocentrale media di 11 km. La M_w massima stimata per la zona sismogenetica di appartenenza è di 6.60.

La sismicità registrata strumentalmente per questo distretto dal 1977 al 2010 si presenta con diversi eventi di magnitudo superiore a 3, che si dispongono lungo una fascia orientata NE-SO compatibile con la geometria dei principali sovrascorrimenti. La massima magnitudo registrata nell'area è relativa ad un evento avvenuto il 28 dicembre 2006 di MD=3.6, localizzato in prossimità della città di Belluno.

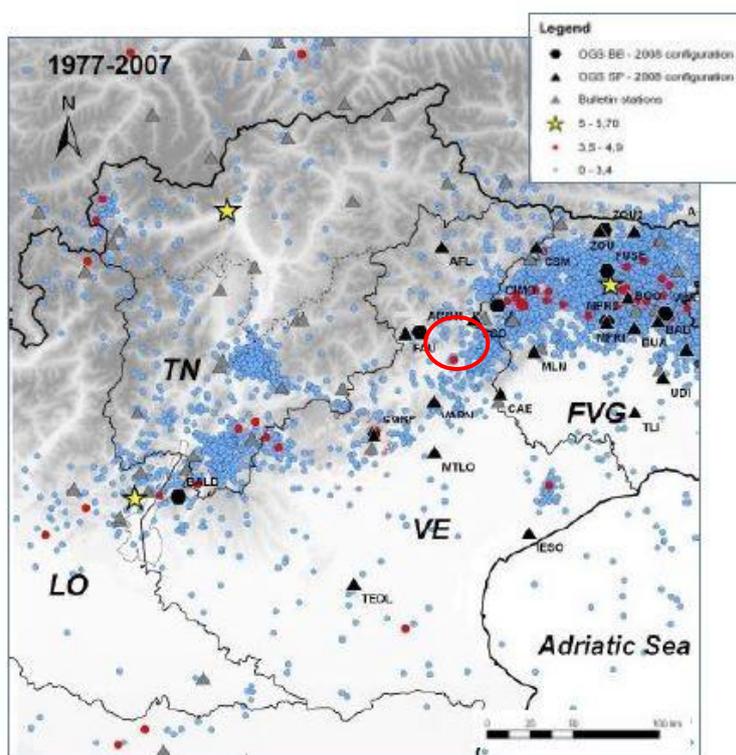


Figura 3.12: sismicità strumentale e ubicazione delle stazioni sismometriche (periodo 1977-2007). Il cerchio rosso indica l'area d'interesse. - (<http://www.crs.inogs.it/>).

L'articolata morfologia dei luoghi, in combinazione alla variabilità degli spessori dei depositi di copertura, peraltro caratterizzati da diverso grado di costipamento, permette di stimare probabili effetti di sito in caso di sisma.

La storia sismica italiana ha insegnato che il potere distruttivo di un terremoto non è legato solo al grado di magnitudo, ma per lo più agli "effetti di sito", ovvero dei fattori che localmente amplificano, anche fino a dieci volte, le onde sismiche e per i quali anche a seguito di una scossa non estremamente intensa (esempio magnitudo 5.0 o addirittura inferiore) possono svilupparsi importanti devastazioni. Questo accade quando, a causa delle particolari condizioni geotecnico-geomorfologiche del sito, si verifica una modifica di ampiezza, frequenza e durata delle onde sismiche: variano, cioè, le caratteristiche vibratorie del sisma. L'effetto può

essere valutato attraverso il rapporto tra il moto sismico nel sito e quello che si osserverebbe per lo stesso terremoto in una roccia rigida pianeggiante. Se questo rapporto è maggiore di 1 si parla di amplificazione.

In particolare, per il Comune di Belluno i principali effetti di sito attendibili, e che quindi sono stati analizzati qualitativamente e quantitativamente, sono:

- Fenomeno della “doppia risonanza”, forse il meno noto degli effetti di sito ma certamente tra i più pericolosi. Si basa sui principi delle onde elastiche e sul fatto che qualsiasi entità od oggetto del nostro pianeta ha una sua propria frequenza di vibrazione. Quando il periodo fondamentale dell’onda sismica, il periodo di vibrazione del terreno e quello della costruzione sono all’incirca uguali ecco che i loro effetti si sommano e nasce una fortissima amplificazione del moto sismico.
- Addensamento di onde e terreni. Le variazioni più significative del moto sismico si verificano quando le onde passano dal *bedrock* (la base rocciosa) ai depositi superficiali, soprattutto laddove questi ultimi sono terreni soffici o incoerenti. In particolare, diminuendo la velocità, le onde sono come “intrappolate”, rendendo in sostanza più lungo il tempo di scuotimento del terreno. Inoltre, aumenta l’ampiezza delle onde che “si addensano”, diventando più pericolose e provocando uno sconvolgimento simile a quello del mare che passa improvvisamente da calmo ad agitato.
- Geomorfologia e frane. Altro aspetto fondamentale negli effetti di sito è la topografia del territorio, in relazione alla posizione dei nuclei abitati, che spesso occupano la base di imponenti pareti rocciose. In questo caso possono verificarsi due effetti, anche contemporanei: da una parte la topografia focalizza ed intrappola le onde in arrivo che possono “rimbalzare” per riflessione (anche multipla) sui fianchi rocciosi ed aumentare lo scuotimento, dall’altra una pendenza sensibile può contribuire alla rottura dell’equilibrio del versante, provocando il crollo di porzioni di roccia su pareti sub-verticali o, secondariamente, il distacco di frane in terra/detrito quiescenti. Particolarmente importante diventa a questo punto la valutazione della stabilità dei versanti attraverso studi geomorfologici e modellazioni atti ad individuare tutti i parametri che concorrono al rischio potenziale.

Tra gli effetti di sito vanno citati anche:

- la presenza di faglie, cavità e in generale anomalie presenti nel substrato che in qualche modo modificano la frequenza ed il percorso delle onde sismiche;
- liquefazione dei terreni.

Per il contesto specifico tali aspetti sono sicuramente secondari, non si ritiene quindi di includerli tra gli effetti di sito attesi. Sono infatti probabilmente rinvenibili al di sotto delle coperture molte faglie, sistemi di fratture e pieghe, correlabili con certezza a fasi orogenetiche del ciclo alpino, legate quindi a complessi sistemi di sovrascorrimento, fagliazione e scollamento, ma che non possono ritenersi strutture attive e capaci, in quanto non si ha evidenza di attività negli ultimi 40.000 anni.

In quanto alla liquefazione dei terreni, nell’ambito del Livello 1 (Carta delle MOPS) non sono state individuate Zone di Attenzione per Liquefazione, che necessitino approfondimenti di livello successivo.

Tutti questi fattori, per quanto non sempre di facile individuazione nel sottosuolo, sono stati trattati qualitativamente e quantitativamente nell’ambito del presente studio. Si rimanda al **Capitolo 7.3** per gli approfondimenti relativi ad interpretazioni ed incertezze.

Riassumendo, gli effetti sismici locali attendibili sono principalmente riferibili a:

- amplificazione stratigrafica e topografica (inclusa la morfologia del substrato al di sotto delle coperture);
- ad effetti di doppia risonanza suolo-struttura.

In letteratura si parla di effetti stratigrafici o monodimensionali nel caso in cui le modifiche che il moto sismico subisce nel propagarsi in direzione prevalentemente verticale verso la superficie dal sottostante basamento roccioso siano essenzialmente attribuibili a fenomeni di filtraggio. L'amplificazione delle onde sismiche dipende, in questo caso dalla stratigrafia del sottosuolo, dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e del contenuto in frequenza del moto sismico.

Con "effetti topografici" si intendono le modifiche delle caratteristiche del moto sismico causate essenzialmente da fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche per effetto della particolare geometria della superficie (per es. la cresta di un rilievo o un canyon) e sono molto influenzati dalla lunghezza d'onda del moto incidente e dalla direzione di incidenza.

Nel caso specifico del centro storico di Belluno e degli abitati di Bersaglio e Antole, approfonditi con lo studio di MS3, collocato sulla superficie di un terrazzo al margine di due valli alluvionali, quella del F. Piave e quella del T. Ardo, alle normali cause di amplificazione del moto sismico sopra descritte si sommano inoltre gli "effetti di bordo" connessi alla geometria del problema. La valutazione degli effetti di sito nel caso delle aree marginali delle valli alluvionali richiede l'utilizzo di analisi numeriche bidimensionali. Dalle risultanze derivanti dalle specifiche analisi di Risposta Sismica Locale 2D condotte (vedi **Cap. 8**).

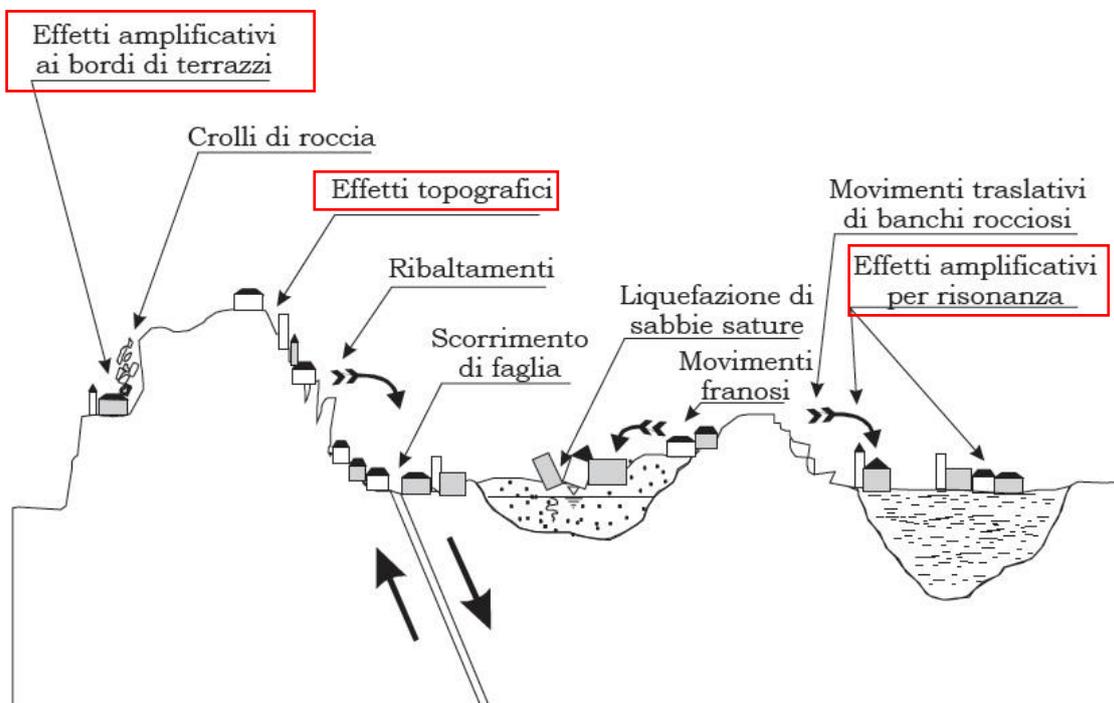


Figura 3.13: Schema degli effetti di sito, con evidenziati quelli più probabili.

4. Stato di fatto: lo studio MS di 1° livello

Nella Carta delle Microzone Omogenee dal punto di vista Sismico (MOPS) non sono presenti **zone stabili**, ma sono state individuate n.8 zone **stabili suscettibili di amplificazioni locali** numerate dalla zona 0 alla zona 7. La **zona 0** corrisponde alle aree con substrato litoide rigido molto fratturato e con pendenze superiori ai 30° dove sono possibili fenomeni di amplificazioni locali legati alle caratteristiche morfologiche delle aree, in ragione della presenza di pareti rocciose verticali soggette a frane di crollo e scorrimenti, creste e blocchi isolati.

Le zone dalla 1 alla 7 comprendono invece situazioni litostratigrafiche che possono generare amplificazioni stratigrafiche del moto sismico atteso. Le stesse zone comprendono al loro interno aree suscettibili di instabilità di versante per la presenza di frane.

Di seguito si riepilogano gli schemi illustrativi delle zone stabili ma suscettibili di amplificazione:

ZONA 0:

ZONA 0 (Substrato litoide rigido molto fratturato):



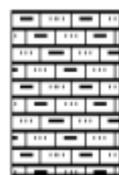
30m: Substrato litoide rigido molto fratturato

Descrizione da MS1:

"questa microzona si localizza nei settori sudorientali e settentrionali del comprensorio comunale in corrispondenza dei rilievi calcarei e calcareo dolomitici che presentano pendenze elevate >30°. In questo settore sono possibili fenomeni di amplificazioni locali legati alle caratteristiche morfologiche delle aree in ragione della presenza di pareti rocciose verticali soggette a frane di crollo e scorrimenti, creste e blocchi isolati"

ZONA 1 (o 2001):

ZONA 1:



(alternanze di litotipi)

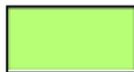
Prof. : ?

Descrizione da MS1:

"comprende il settore in cui affiora il substrato marnoso e arenaceo, caratterizzato da un'alternanza di litotipi marnosi arenacei e argillosi spesso alterati. Sono possibili fenomeni di amplificazioni locali legati alle caratteristiche morfologiche delle aree in ragione della presenza di creste, scarpate, terrazzi. Si possono ipotizzare fenomeni di locali amplificazioni litostratigrafiche dovuti a forti contrasti di impedenza laddove si rinvengono coperture di depositi sciolti o poco addensati."

ZONA 2 (o 2002):

ZONA 2:



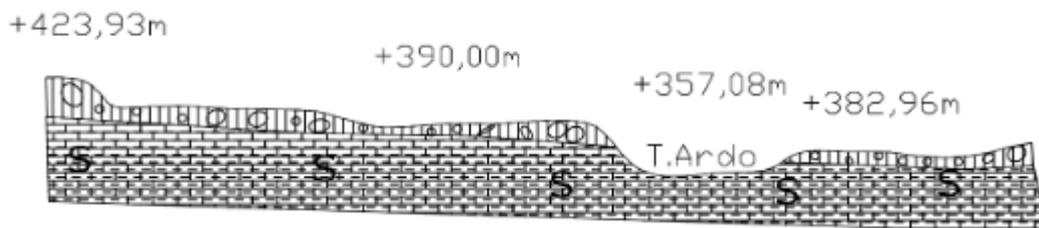
2-5m: depositi alluvionali

(Substrato flyschioide)

Prof.: ?

Descrizione da MS1:

"corrisponde alla fascia pedemontana e di fondovalle in cui il substrato è rappresentato dal Flysch di Belluno, in affioramento fortemente alterato e fratturato, sovrastato a luoghi da coperture superficiali di origine alluvionale. Sono possibili fenomeni di amplificazioni legati alle caratteristiche morfologiche in ragione della presenza di scarpate e terrazzi fluviali. Tale zona comprende la fascia collinare dove sono, peraltro, presenti aree suscettibili di instabilità di versante per la presenza di frane. Si possono ipotizzare fenomeni di amplificazione litostratigrafica dovuti a forti contrasti di impedenza."



ZONA 3 (o 2003):

ZONA 3:



5-7m: depositi alluvionali

(Substrato flyschioide)

Descrizione da MS1:

"è rappresentata dalla presenza di depositi alluvionali fluvio glaciali poggianti sul substrato flyschioide con spessori compresi tra i 5 e i 7mt. A causa di tale situazione litologico-stratigrafica, in questa zona sono possibili amplificazioni litostratigrafiche per presumibili forti contrasti di impedenza sismica. Tale zona è ubicata nelle aree di fondovalle sia a nord che a sud della valle del Piave e si spinge localmente fino agli orli di terrazzi. Pertanto, per caratteristiche litologiche e andamento topografico e morfologico non si possono escludere il verificarsi anche fenomeni di amplificazione litostratigrafica o morfologica o"

di entrambe. Sono anche presenti aree suscettibili di instabilità di versante per la presenza di frane. Dalle prove sismiche esaminate in Loc. Levego e Castion, i valori della Vs sono compresi tra i 337 e 525m/sec.”

ZONA 4 (o 2004):

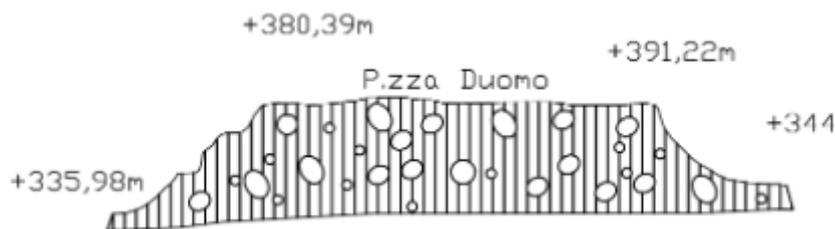
ZONA 4:



30m: depositi alluvionali

Descrizione da MS1:

“è formata da un livello di alluvioni fluviali dati da ghiaie poco addensate e a tratti cementate con spessore di 20-30m. Appartengono a questa zona le aree delle conoidi alluvionali del fondovalle e l'intero centro abitato di Belluno. Non si esclude l'ipotesi di possibili fenomeni di amplificazione litostratigrafica per contrasto di impedenza e/o per fattori morfologici per la presenza di orli di terrazzi di altezze superiori 20m. Sono anche presenti piccole aree suscettibili di instabilità di versante per la presenza di frane.”



ZONA 5 (o 2005):

ZONA 5:



5-8m: depositi alluvionali limo argillosi



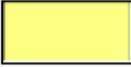
Depositi alluvionali
Prof.: 30m

Descrizione da MS1:

“questa microzona si localizza nel settore nordorientale, su un grande terrazzo fluviale del Piave. Si rinvenivano alternanze di depositi alluvionali limo argillosi con spessori compresi tra 5m e 8m a cui seguono ghiaie grossolane mediamente addensate. Anche in queste aree potrebbero essere possibili amplificazioni litostratigrafiche per presumibili forti contrasti di impedenza sismica e fenomeni di amplificazione

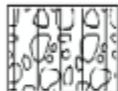
morfologica per la presenza di creste di terrazzi fluviali con altezze superiori a 20m."

ZONA 6 (o 2006):

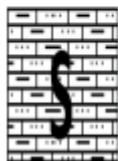
ZONA 6: 



3-5m: torbe



5-6m: depositi alluvionali



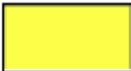
(Substrato flyschioide)

Prof.: 30m

Descrizione da MS1:

"rientrano in queste aree le formazioni di origine lacustre, costituite da terreni torbosi con spessori maggiori di 3-5m, poggianti su ghiaie grossolane e ben addensate o localmente sul substrato flyschioide alterato. In queste condizioni è possibile ipotizzare amplificazioni litostratigrafiche per contrasti di impedenza. In queste zone, inoltre, si rinvencono localmente, materiali di riporto a copertura dei depositi torbosi. Gli spessori dei riporti non sono definiti. Sono possibili cedimenti differenziali al contatto col flysch o con depositi alluvionali con diverso comportamento meccanico."

ZONA 7 (o 2007):

ZONA 7: 



depositi eluvio colluviali

Prof.: ?m

Descrizione da MS1:

"comprende il settore sudorientale, parte dell'area centrale e il settore nordorientale del comprensorio; caratterizzato da depositi di natura eluvio colluviali e/o conglomerati in matrice sabbioso limosa il cui spessore è indefinito per mancanza di sondaggi stratigrafici. Nel settore nordorientale si rinvencono a copertura del substrato calcareo-dolomitico. Potrebbero essere ipotizzabili fenomeni di amplificazione per contrasto di impedenza e/o caratteristiche morfologiche. Sono anche presenti aree suscettibili di instabilità di versante per la presenza di frane."

Nell'ambito del presente studio di MS2-3, sulla base dei risultati ottenuti dalle nuove indagini sismiche condotte e da alcune pregresse, non presenti nella MS1, i limiti geometrici delle MOPS definite nel primo

livello sono stati in parte modificati. Inoltre, è stata aggiornata la descrizione di ciascuna area, in accordo con i risultati delle prospezioni sismiche eseguite e consultate.

5. Dati geotecnici e geofisici

Come detto in precedenza, al fine di integrare il quadro conoscitivo e definire il modello geologico del sottosuolo, nell'ambito dello Studio di MS2 è stata effettuata una campagna di indagini geofisiche *ex-novo*. La pianificazione delle indagini da eseguire è stata volta ad indagare le aree non coperte dalle indagini pregresse reperite. Le indagini sono state dunque eseguite essenzialmente in corrispondenza dei nuclei abitati che non erano stati presi in considerazione nel precedente studio di MS1 e che non risultavano interessati da indagini sismiche pregresse. In particolare, sono state effettuate indagini sismiche di tipo attivo (MASW) e passivo (HVSR). In particolare, in tale livello di approfondimento è stata appurata, attraverso i dati derivanti dalle indagini geofisiche eseguite, la complessità geologica delle aree in cui sorgono il centro storico di Belluno e gli abitati di Bersaglio e Antole.

Tali situazioni, configurate nel livello 2 e non risolvibili ricorrendo a modelli monodimensionali per valutare la risposta sismica, né tantomeno utilizzare i cosiddetti metodi semplificati, hanno reso necessario il livello 3 di approfondimento.

Pertanto, si è resa indispensabile l'effettuazione di un'ulteriore campagna di indagini geofisiche, al fine di ottenere una precisa caratterizzazione litostratigrafica e geometrica del sottosuolo.

Si rimanda al **Capitolo 6** per l'illustrazione dei metodi e delle modalità operative, nonché delle procedure di elaborazione dei dati acquisiti. Le indagini hanno permesso di delineare il modello geologico e geotecnico del sottosuolo, oltre a definire le diverse risposte dei terreni indagati in caso di evento sismico.

Si precisa che nel database delle indagini relativo alla MS2-3 così come nell'Elaborato grafico "Carta delle Indagini" non sono presenti le indagini già archiviate nello studio di MS1, ma sono archiviate e rappresentate solamente quelle che vanno ad integrare lo studio MS1 precedente: ossia le indagini pregresse recuperate da studi geologici comunali e le nuove indagini eseguite *ex-novo*.

5.1. Indagini pregresse

Per quanto riguarda le indagini pregresse sono state raccolte ed archiviate nell'ambito dello Studio di MS2-3 tutte le indagini puntuali e lineari presenti nella documentazione elencata nel Capitolo 1 (Introduzione).

Si tratta per lo più di trincee esplorative o sondaggi geognostici. In misura minore sono presenti indagini MASW, ESAC e HVSR e prove penetrometriche.

In totale, sono state catalogati **109 siti di indagini pregresse**, di cui 100 sono siti di indagine puntuali e 9 sono siti di indagine lineari.

Per il dettaglio si rimanda al *database* delle indagini e ai relativi *shapefile* "Ind_pu" e "Ind_ln".

5.2. Nuove indagini eseguite

La nuova campagna di indagini, a supporto degli approfondimenti di MS2, effettuata nel mese di novembre 2022 comprende:

- **N.51 analisi multicanale delle onde di superficie MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) con stendimenti da 22.0 e distanza inter-geofonica di 2.0 m, per la valutazione del profilo verticale delle velocità delle onde di taglio (calcolo $V_{s,eq}$);
- **N.21 indagini sismiche passive HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per la valutazione delle caratteristiche dinamiche del sito dal punto di vista sismico (calcolo frequenza di risonanza del sito).

Si rimanda all'**Allegato 1** della presente relazione per i risultati delle indagini sismiche eseguite.

Le nuove indagini sono state archiviate assieme a quelle pregresse, ottenendo così un totale complessivo di **181 siti di indagine**, di cui:

- **121 siti di indagine puntuali** (per una somma di 171 indagini puntuali fra sondaggi, prove penetrometriche SPT, prospezioni HVSR ed altro);
- **60 siti di indagine lineari** (rappresentati quasi totalmente da indagini MASW).

Nella nuova campagna di indagini geofisiche, eseguita a supporto degli approfondimenti di MS3, sono state eseguite:

- **N.8 analisi multicanale delle onde di superficie MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), con rilevamento:
 - delle onde Rayleigh, tramite 12 **geofoni-ricevitori verticali** allineati con l'asse parallelo allo stendimento, per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) e relativa elaborazione per ogni linea di indagine;
 - delle onde di Love, tramite 12 **geofoni-ricevitori orizzontali** allineati e con asse perpendicolare allo stendimento, per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio (V_S) e relativa elaborazione per ogni linea di indagine;
- **N.8 indagini sismiche passive HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), per la determinazione della frequenza di risonanza dei siti, per l'analisi del microtremore sismico;
- **N.8 indagini sismiche passive di superficie del tipo ESAC** (Extended Spatial Autocorrelation) per l'analisi del microtremore sismico con registrazione temporale minima di 20 min tramite stendimento di 12 geofoni-ricevitori verticali, con geometria non convenzionale, per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) e relativa elaborazione per ogni linea di indagine.
- **N.3 tomografie sismiche a rifrazione** con 24 geofoni verticali allineati e equidistanti fra loro, almeno 9 scoppi per ogni stendimento, per ottenere una sezione delle velocità delle onde P del terreno.

Si rimanda all'**Allegato 1** della presente relazione per i risultati delle indagini sismiche eseguite.

Le nuove indagini sono state archiviate assieme a quelle pregresse, ottenendo così un totale complessivo di **200 siti di indagine e 260 indagini**, così suddivisi:

- **129 siti di indagine puntuali** (189 indagini puntuali);
- **71 siti di indagine lineari** (71 indagini lineari).

6. Metodologie di elaborazione e risultati

Come sopra esposto al fine di integrare il quadro conoscitivo e definire il modello geologico del sottosuolo, si è reso necessario, nell'ambito dello Studio di MS2-3, programmare ed eseguire una campagna di indagini attraverso i metodi comunemente applicati agli studi di microzonazione sismica (MASW + HVSR, ESAC + HVSR e tomografia sismica). Il rapporto spettrale ricavato mediante tecnica HVSR, a partire dai microtremiti ambientali registrati in sito, è stato preso come dato input, in alcuni casi, per l'elaborazione della MASW. Le nuove prospezioni sismiche, pianificate come sopra descritto, sono volte alla quantificazione della modificazione locale del moto sismico in superficie (approfondimenti di livello 2) e alla ricostruzione della successione stratigrafica dell'area (approfondimento di livello 3).

Lo scopo delle prospezioni sismiche condotte è la parametrizzazione sismica del sottosuolo, ed in particolare:

- la valutazione dello stato di addensamento dei depositi (attraverso il profilo di V_s) al di sopra del substrato rigido di riferimento, da cui dipende l'entità dell'amplificazione delle onde sismiche in caso di terremoto;
- la valutazione della frequenza fondamentale del terreno f_0 (ed eventuali frequenze secondarie), utile a valutare la possibilità o meno che si verifichino fenomeni di doppia risonanza (terreno-struttura) conoscendo il periodo di oscillazione di un edificio.

Tale analisi viene condotta sulla base di una serie di parametri introdotti da normativa, come V_{seq} , f_0 , determinabili con metodi indiretti quali ad esempio MASW, HVSR ed ESAC rispettivamente classificati come metodi attivi e passivi in funzione della natura del segnale registrato.

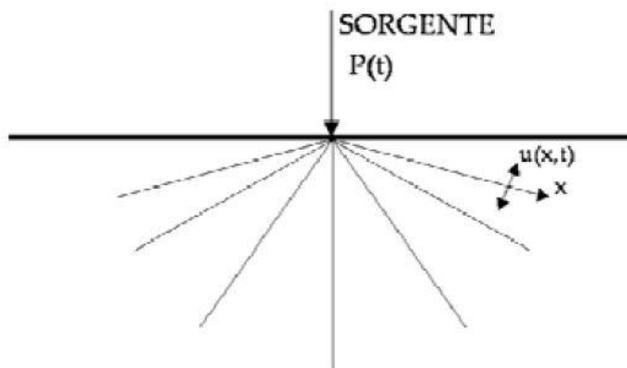
Prima di riportare sinteticamente i principi fondamentali dei metodi MASW, HVSR, ESAC e tomografia sismica, applicati nell'ambito del presente studio a livello comunale, vengono brevemente descritti i parametri sismici indagati.

6.1. Parametri sismici indagati

I metodi utilizzati per questi studi di MS2 e MS3 sono quelli della sismica attiva multicanale a geometria lineare (MASW) per indagare le porzioni di terreno superficiali attraverso l'analisi della dispersione delle onde di Love e di Rayleigh, i metodi sismici passivi multicanale a geometria bidimensionale (ESAC) e a stazione singola (HVSR) per indagare le porzioni medio-profonde, ed infine la tecnica della **sismica a rifrazione** per ricostruire le geometrie sepolte.

Le indagini eseguite, come i vari metodi sismici in generale, non sono altro che registrazioni di segnali mediante accelerometri o velocimetri; i segnali registrati possono avere varia origine: terremoti; perturbazioni prodotte in modo artificiale per prove geofisiche; perturbazioni prodotte da macchine, traffico stradale e ferroviario, ecc.. Generalmente le frequenze proprie di queste sorgenti sono differenti, come la sensibilità degli strumenti atti alla loro registrazione; la distinzione quindi di un determinato segnale permette di valutare come si comporta il terreno attraversato.

Le vibrazioni meccaniche sono una forma di energia che si propaga con una certa velocità, V , dipendente dal mezzo attraversato, in tutte le direzioni, imprimendo ai punti del mezzo attraversato movimenti di tipo oscillatorio intorno a una posizione di equilibrio.



Nel terreno lo stato vibratorio è legato al fatto che le particelle sono legate fra loro da vincoli elastici e non sono quindi totalmente libere di muoversi. Si generano così delle onde progressive di sforzo e di deformazione (longitudinali e/o trasversali rispetto alla direzione di propagazione) che si propagano con una velocità che dipende dal tipo di terreno e che, per analogia con le onde generate dai terremoti, vengono denominate "onde sismiche".

In generale le vibrazioni si attenuano con la distanza dalla sorgente e, a meno che il sistema oscillante non riceva continuamente energia dall'esterno (come nel caso delle macchine vibranti), sono per lo più smorzate nel tempo.

Le vibrazioni possono essere:

- *Periodiche:*

quando fissato un punto la vibrazione si ripete uguale a sé stessa ad intervalli regolari (ad es. le vibrazioni generate da macchine industriali):

- esiste un intervallo di tempo T (periodo) tale che $u(t+T) = u(t)$, essendo $u(t)$ lo spostamento al tempo t ;
- possono essere nella loro forma più semplice di tipo armonico o nella forma più generale con una componente aleatoria;
- bastano pochi parametri per descriverle.

- *Non periodiche (o irregolari):*

- possono essere di tipo impulsivo (generate ad es. da esplosioni, caduta di gravi) o transitorio (generate da terremoti o dal traffico);
- possono essere ricondotte ad una sommatoria di infiniti moti periodici ciascuno rappresentabile con pochi parametri (Teorema di Fourier), dalla cui analisi (analisi spettrale) si può dedurre il moto risultante.

L'energia prodotta dalla sorgente si propaga nel mezzo producendo vari tipi di onde, raggruppabili in onde di corpo e onde di superficie.

Onde di superficie

Con il metodo MASW le onde modellate sono le onde di superficie, delle quali viene registrata e modellata la dispersione di velocità. Tali onde sono generate artificialmente mediante delle battute verticali o orizzontali o anche mediante sorgenti esplosive. Le onde di superficie vengono chiamate così perché la loro ampiezza decreta in modo esponenziale con la profondità e la loro propagazione interessa quindi un limitato

spessore superficiale (la cui profondità dipende dalla lunghezza d'onda considerata). Rispetto alle onde di corpo (P ed S), la loro ampiezza è notevolmente maggiore e per questo motivo tipicamente dominano qualsiasi dataset sismico (spesso per tale motivo sono indicate con l'espressione "ground roll"). Le onde di superficie si distinguono in onde di Rayleigh e onde di Love.

Le **onde di Rayleigh (R)** si propagano secondo fronti d'onda cilindrici e producono vibrazioni che sono la risultante di una vibrazione polarizzata su un piano verticale, in direzione perpendicolare alla direzione di propagazione, e di una vibrazione orizzontale polarizzata lungo la direzione di propagazione. Il moto risultante sul piano verticale è ellittico retrogrado. La deformazione indotta è sia di taglio che di compressione. Assumono un ruolo fondamentale nelle "misure sismiche di superficie".

Le **onde di Love (L)** producono vibrazioni orizzontali polarizzate nella direzione perpendicolare alla direzione di propagazione e deformazioni di taglio. Sono onde legate alla stratificazione dei terreni e derivano dalla riflessione multipla tra superficie inferiore e superiore di uno strato di terreno in cui rimangono intrappolate le onde S. Come le onde S non si trasmettono nei fluidi. La velocità delle onde di Love dipende marcatamente dalla frequenza dell'eccitazione.

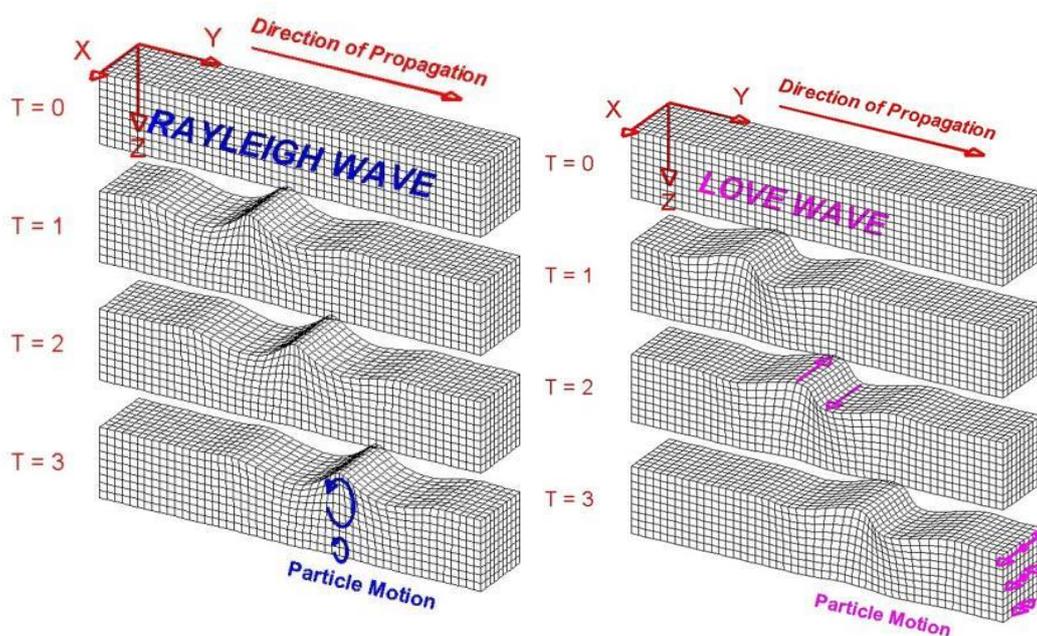


Figura 6.1: Movimento di una particella del caso di un'onda di Rayleigh e di un'onda di Love.

Microtremori ambientali

Le tecniche di sismica passiva, come le metodologie **ESAC** ed **HVSR**, si basano sulla misura e sull'analisi dei **microtremori ambientali**, ossia vibrazioni del terreno di piccola intensità, indotte da sorgenti non controllate (di origine sia naturale che antropica).

Le vibrazioni ambientali sono costituite da piccole vibrazioni del terreno (spostamenti dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-3} cm, in un intervallo di frequenze molto al di sotto della soglia di percezione umana) che è possibile osservare sperimentalmente in qualunque punto della Terra. Questo tipo di fenomeno è stato indagato sin dai primordi della sismologia strumentale ma negli ultimi anni c'è stata una progressiva crescita di interesse da parte dei sismologi e degli ingegneri in vista delle sue potenziali applicazioni per la caratterizzazione dinamica del sottosuolo e delle strutture edilizie.

Quando sono misurate, le vibrazioni ambientali mostrano un andamento molto irregolare ed esibiscono quindi una natura essenzialmente stocastica.

Noti studi nel corso degli anni hanno messo in evidenza che il rumore ambientale può essere differenziato in tre domini di frequenza:

- Bassa frequenza (<0.5 Hz) - Microsismi

È di origine essenzialmente naturale con sorgenti di grandi dimensioni spaziali (onde oceaniche, grandi perturbazioni atmosferiche, ecc.); ha un carattere stazionario (ovvero le sue proprietà statistiche non cambiano nel tempo) alla scala delle ore e dei giorni.

- Alta frequenza (>1 Hz) – Microtremore

È di origine essenzialmente antropica (traffico veicolare e pedonale, attività industriale, ecc.) e talvolta naturale ma a scala locale (vento sugli edifici e le piante, ecc.); mostra significative variazioni alla scala delle attività antropiche (giorno/notte, festivi/feriali, ecc.).

- Frequenza intermedia (<1 Hz e >0.5 Hz)

A seconda delle caratteristiche del sottosuolo, sia sorgenti naturali che antropiche possono condizionare le vibrazioni ambientali, con un livello di stazionarietà variabile da caso a caso.

La registrazione delle varie frequenze, che è data dalla sommatoria di rumori, onde P, onde S, onde di Rayleigh, onde di Love, viene quindi analizzata valutando, in funzione della stazionarietà degli spettri, la componente media costante, rappresentativa delle sorgenti di interesse ai fini della valutazione del comportamento dinamico di un sito specifico.

6.2. Metodologie di indagine

Prospezioni sismiche MASW

Il metodo MASW si basa sull'analisi della dispersione del segnale sismico nel sottosuolo. Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di superficie, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato, dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di superficie rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che queste si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

È possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica, la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times f$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Superficie possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Le onde di superficie decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Con il metodo MASW viene modellata la dispersione della velocità delle onde di superficie, il quale impulso può essere generato mediante delle battute su di una piastra metallica appoggiata al suolo. Le onde di superficie si distinguono in onde di Rayleigh e onde di Love.

Le onde di Rayleigh (R) si propagano secondo fronti d'onda cilindrici e producono vibrazioni che sono la risultante di una vibrazione polarizzata su un piano verticale, in direzione perpendicolare alla direzione di propagazione, e di una vibrazione orizzontale polarizzata lungo la direzione di propagazione. Il moto risultante sul piano verticale è ellittico e retrogrado. La deformazione indotta è sia di taglio che di compressione.

Le onde di Love (L) producono solo vibrazioni orizzontali polarizzate nella direzione perpendicolare alla direzione di propagazione e deformazioni di taglio. Sono onde legate alla stratificazione dei terreni e derivano dalla riflessione multipla tra superficie inferiore e superiore di uno strato di terreno in cui rimangono intrappolate le onde S. Come le onde S non si trasmettono nei fluidi. La velocità delle onde di Love dipende marcatamente dalla frequenza dell'eccitazione.

Le onde di Love possono essere acquisite solamente utilizzando geofoni orizzontali disposti perpendicolarmente rispetto allo stendimento sismico, mentre le onde di Rayleigh possono essere acquisite sia utilizzando geofoni verticali (registrando perciò la componente verticale del moto ellittico dell'onda di Rayleigh) che orizzontali, disposti parallelamente allo stendimento (registrando così la componente radiale del moto ellittico dell'onda di Rayleigh). Per provocare onde di Love è necessaria una sorgente di taglio (es. battuta a lato di una traversina), mentre per quanto riguarda le onde di Rayleigh è possibile utilizzare una forza verticale (es. battuta su piastra) oppure una sorgente esplosiva.

I principi fondamentali del metodo HVSR

La tecnica denominata "HVSR", acronimo di "Horizontal to Vertical Spectral Ratio", fu introdotta inizialmente da Nogoshi e Igarashi nel 1971 ed applicata per la prima volta da Nakamura nel 1989, il quale la propose come strumento speditivo per stimare l'incidenza delle condizioni locali sull'amplificazione dello scuotimento dovuto ad un sisma. Il metodo si basa sulla misura dei microtremiti (oscillazioni del suolo indotte da sorgenti naturali ed antropiche) e sul calcolo del rapporto tra le componenti orizzontali e verticali del segnale acquisito, al fine di individuare la frequenza di risonanza delle onde S di un sito. Quest'ultima, infatti, coincide con la frequenza alla quale si verifica un alto valore del rapporto HV, cioè un picco nella curva del rapporto spettrale (Lachet & Bard, 1994). La tecnica è comunemente utilizzata anche per determinare lo spessore dei sedimenti sciolti al di sopra di un substrato rigido (Bard & Bouchon, 1985). Infatti, l'individuazione di una frequenza di risonanza deriva dalla presenza di un contrasto di impedenza (l'impedenza di taglio è il prodotto tra densità e V_s) tra due strati con proprietà fisiche differenti (ad esempio tra uno strato di sedimenti sciolti e il bedrock), che causa un parziale intrappolamento delle onde sismiche nello strato soprastante.

La tecnica HVSR permette dunque in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito f_0 . Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo $V_{s,eq}$ attraverso un

processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta *Long Period*, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "*long*", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a *tapering* e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute a tale scopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di *windowing*.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo $V_{s,eq}$.

Prospezioni sismiche passive ESAC

Ad integrazione delle altre metodologie di indagine sopra descritte sono state eseguite, per gli approfondimenti di MS3, delle analisi della dispersione delle onde di superficie secondo la metodologia ESAC (Extended Spatial Autocorrelation), mirata ed utile a definire le basse frequenze e che permette quindi di indagare profondità superiori rispetto alle precedenti metodologie utilizzate, vincolando il modello in profondità.

Il metodo d'indagine ESAC (Aki 1959) si basa sul principio secondo il quale la funzione di correlazione media fra le registrazioni di un rumore isotropo effettuate su sensori verticali distribuiti nelle diverse direzioni a parità di distanza r da un sensore centrale, ha una forma nota (funzione di Bessel di ordine 0). La forma di questa funzione di Bessel ad una data frequenza ed una data distanza r è controllata dal valore della velocità di fase.

Il risultato del metodo ESAC è una curva di dispersione effettiva che rappresenta una combinazione delle diverse curve modali "pesate" in base al loro specifico contenuto energetico del sito. Nel caso di profili normalmente dispersivi, la curva di dispersione effettiva coincide con la curva relativa al modo fondamentale. In altri casi, per esempio in presenza di inversioni di velocità o di forti contrasti di impedenza sismica, la curva di dispersione effettiva risulta frutto di una combinazione dei diversi modi in funzione della relativa energia. Un vantaggio quindi della tecnica ESAC è quello di non dovere identificare (come in altre metodologie) i vari modi di vibrazione, che sono invece trattati, più semplicemente, in modo unitario.

Nel metodo ESAC si registra il segnale relativo a microtremiti spontaneamente presenti nell'ambiente, cioè sollecitazioni di qualsiasi origine, provenienti da sorgenti ignote e isotropiche (disposte in tutte le direzioni) rispetto ad uno stendimento sismico non lineare. In assenza di spazi sufficientemente lunghi e in presenza di ambienti urbanizzati, acquisizioni con stendimenti 2D (a "L", croci o cerchi) e di breve durata, consentono in maniera speditiva l'analisi del microtremore sismico. L'acquisizione secondo una geometria bidimensionale ovvia ad alcuni problemi legati alle velocità apparenti, presenti nei dati acquisiti mediante array unidirezionali (ReMi).

Prospezioni sismiche a rifrazione

Il metodo di esplorazione sismica consente la caratterizzazione del sottosuolo attraverso l'analisi della distribuzione delle velocità $V(x,y,z)$ di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo stesso. La tecnica dell'esplorazione sismica consiste nel generare onde elastiche, nel misurare i tempi impiegati dalle onde per viaggiare dalla sorgente al ricevitore e quindi cercare di ricostruire la struttura del sottosuolo. I terreni, ed in generale i materiali indagati, vengono quindi trattati come mezzi deformabili, le cui deformazioni possono essere descritte con la teoria dell'elasticità.

Il segnale trasmesso è impulsivo, generato in questo caso mediante energizzazione su piastra; la sorgente genera brevi treni d'onda, noti come impulsi, che contengono un certo *range* di frequenza. Nell'ipotesi che le piccole deformazioni siano elastiche, è possibile determinare i moduli elastici e la densità del materiale attraversato.

Le onde sismiche sono di due tipi: "onde di compressione" (onde P) e "onde di taglio" (onde S); esse sono messe in correlazione tra loro da alcuni parametri, ed in particolare il coefficiente di Poisson è il rapporto V_p/V_s .

Le prospezioni sismiche a rifrazione si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvaturei, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con

caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione:

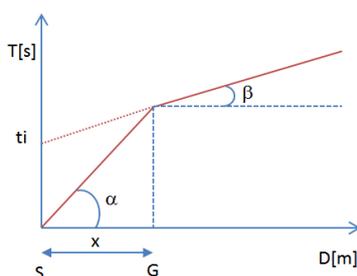
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come:

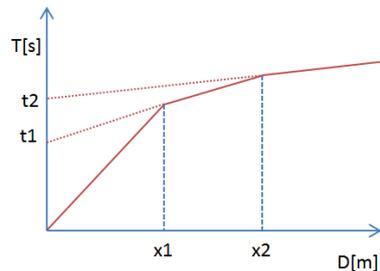
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.



Dal momento che i mezzi naturali presentano grande variabilità nelle tre dimensioni spaziali, le equazioni che descrivono il percorso sorgente-ricevitore saranno descritte da complesse formule matematiche. L'inversione tomografica, utilizzata per definire il modello sintetico del sottosuolo sulla base di un modello teorico di partenza, è stata realizzata mediante gli algoritmi genetici, studiati e sviluppati nel campo dell'intelligenza artificiale e delle tecniche di *soft computing*; essi rappresentano l'ultima frontiera delle tecniche di inversione nel campo della tomografia sismica. Gli algoritmi genetici simulano l'evoluzione di una popolazione di individui, che rappresentano soluzioni candidate di uno specifico problema, favorendo la sopravvivenza e la riproduzione dei migliori.

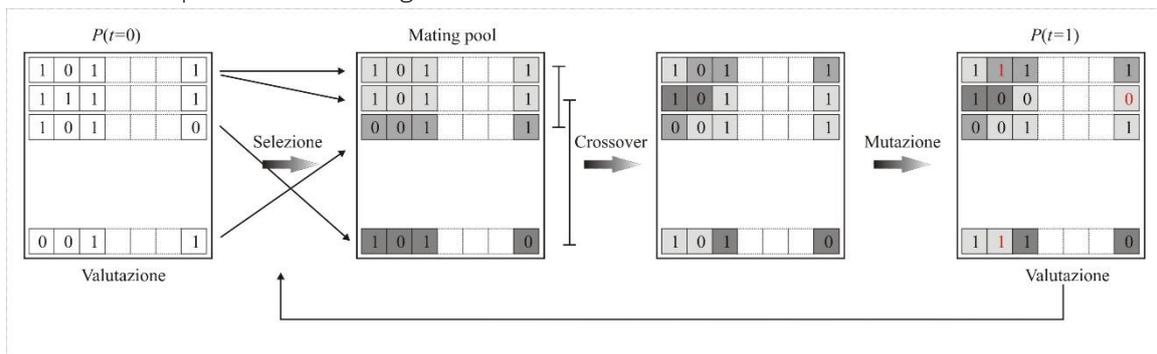


Figura 6.2: Schema iterativo originario dell'algoritmo di Holland (algoritmi genetici).

La funzione di fitness valuta la bontà degli individui g_i della popolazione P nel risolvere il problema di ricerca dato:

$$f: P \rightarrow (-\infty, +\infty); \quad f(g_i) = f_i$$

I valori di *fitness* definiscono il paesaggio di idoneità dell'algoritmo genetico. Una volta che la funzione di *fitness* ha determinato il valore di bontà di ogni individuo della popolazione, una nuova popolazione di individui (o genotipi) viene creata applicando alcuni operatori che si ispirano alla selezione naturale e alla genetica. Gli individui più "forti" sono quelli con *fitness* più alta, poiché risolvono meglio di altri il problema di ricerca dato; per questo essi devono essere privilegiati nella fase di selezione degli individui che potranno riprodursi dando luogo a nuovi individui.

6.3. Note relative alle modalità esecutive

Prospezioni MASW

Per la misura è stato utilizzato un sismografo a 24 canali, dinamica 24 bit (Pasi srl, mod.16S12-U). Sono stati eseguiti stendimenti lineari di lunghezza 22.0 m, con 12 geofoni verticali da 4.5 Hz equi-spaziati fra loro di 2.0 m. Sono stati acquisiti i segnali relativi a 3 battute realizzate ad una distanza di 5.0 m rispettivamente dal

primo e dall'ultimo geofono (inversione della sorgente rispetto lo stendimento) al fine di confrontare più acquisizioni ed ottenere un dettaglio maggiore. La durata impostata per ogni acquisizione è di 1024 ms, il periodo di campionamento 250 μ s. In fase di elaborazione, le tracce sono state ricampionate con un intervallo temporale di 1 ms, per una migliore prestazione del software utilizzato e senza togliere qualità al dato.

Sono stati utilizzati geofoni orizzontali con frequenza naturale pari a 4.5 Hz, con asse allineato allo stendimento, per l'acquisizione della componente radiale delle onde di Rayleigh. Per quanto riguarda la sorgente sismica, per l'acquisizione delle onde di Rayleigh la perturbazione è stata prodotta mediante battuta verticale su piastra metallica.

Prospezioni HVSR

Lo strumento utilizzato è il geofono 3D mod. Gemini-2 (2 Hz). Le indagini si sono protratte per 20 minuti con frequenza di campionamento di 200 Hz. Nell'acquisire i dati si è prestata attenzione ad evitare, ove possibile, fonti di rumore in alta frequenza, provvedendo ad annotare eventuali anomalie (traffico, ecc). La stazione di misura è stata posizionata, quando possibile, circa in corrispondenza del centro dello stendimento, in modo da poter meglio correlare fra loro i dati derivanti dalle acquisizioni MASW con quelli del microtremore ambientale.

Prospezioni ESAC

Gli stendimenti ESAC sono stati realizzati mediante l'utilizzo di un sismografo della Pasi srl mod.16S12-U (24 canali di acquisizione digitale con dinamica 16 bit e campionamento segnale ad intervalli di 1240 microsecondi) e 12 geofoni a componenti verticale da 4.5 Hz disposti secondo una geometria lineare o 2D a "L" ed una spaziatura di 3.0 m o 5.0 m. È stato acquisito un dataset di 10 acquisizioni da 1 minuto circa ciascuna. Al contrario di ciò che avviene con le tecniche attive, il metodo ESAC, consente una rapida ed agevole acquisizione dei dati senza dover operare con una sorgente attiva.

Prospezioni sismiche tomografiche

Lo strumento utilizzato per la misura è il sismografo DAQLink 4 System (24 canali di acquisizione digitale con dinamica 24 bit e campionamento segnale ad intervalli fino a 0.016 ms).

Sono stati eseguiti n.3 stendimenti di lunghezza pari a 115.0 m (SR1), 161 m (SR2) e 230 m (SR3) mediante disposizione di 24 geofoni verticali e orizzontali, con distanza intergeofonica di 5.0, 7.0 e 10 m rispettivamente. Lo stendimento SR1 è stato eseguito trasversalmente al parco gioco in direzione N-S. Gli stendimenti SR2 e SR3 invece sono stati eseguiti lungo Via XXX Aprile, Piazza dei Martiri e Via R. Psaro in direzione NW-SE.

Sono stati acquisiti i segnali relativi a battute sia interne agli stendimenti (ogni 3 geofoni), sia esterne ad essi; queste ultime sono realizzate ad una distanza di 5.0 m dal primo e dall'ultimo geofono per lo stendimento SR1, 5.0 dall'ultimo geogono e 10.0 e 20.0 dal primo geofono per SR2 e 5.0 dal primo geofono e 10.0 e 20.0 dall'ultimo geofono per SR3, mentre quelle interne sono state pianificate in modo speculare; l'inversione della sorgente rispetto lo stendimento permette la verifica di eventuali orizzonti inclinati e la validazione dei dati acquisiti. La durata impostata per ogni acquisizione è di 1024 ms, il periodo di campionamento 125 μ s. L'energizzazione è stata eseguita mediante battuta su piastra per lo stendimento SR1 e fucile sismico per SR2 e SR3. Per ogni punto di scoppio, sono state eseguite almeno 3 energizzazioni per lo stendimento SR1 e 2

energizzazioni per SR2 e SR3, al fine di sommare i segnali nella successiva fase di elaborazione e mantenere solo la parte utile di segnale, eliminando il rumore.

6.4. Note relative all'elaborazione dei dati

Prospezioni MASW

L'elaborazione dei dati acquisiti mediante metodo attivo (energizzazione su piastra) è stata effettuata con il software *winMASW[®] Academy*, il quale ha permesso di ricavare il modello sismo-stratigrafico delle velocità delle onde di taglio S, mediante l'analisi della dispersione delle velocità delle onde di Rayleigh (onde di superficie e onde di corpo sono fra loro correlate da relazioni note in bibliografia).

Prospezioni HVSr

L'elaborazione delle serie temporali delle registrazioni dei microtremiti è stata effettuata con il software *winMASW[®] Academy* per il processing di dati di rumore ambientale. Le tracce acquisite, della durata di 20 minuti sono state campionate con una frequenza di 200 Hz. La lunghezza delle finestre selezionate è pari a 20 secondi. Nel processing è stata applicato uno *smoothing* pari al 15% e *tapering* 5%. È stato generalmente analizzato un intervallo di frequenza compreso tra 0.5 Hz e 20.00 Hz, riducendolo occasionalmente per l'identificazione dei picchi di interesse.

Prospezioni ESAC

L'elaborazione delle serie temporali delle registrazioni dei microtremiti è stata effettuata con il software *winMASW[®] Academy* per il processing di dati di rumore ambientale. Le tracce acquisite, della durata di 10 minuti. È stato generalmente analizzato un intervallo di frequenza compreso tra 2 Hz e 25.00 Hz.

Prospezioni sismiche tomografiche

Sono stati acquisiti ed elaborati (mediante il software Front End della Geogiga) un grande numero di dati al fine di eseguire in fase di elaborazione operazioni di *stacking* (somma verticale di tracce riferite allo stesso scoppio al fine di eliminare i segnali non costanti) e di avere una certa ridondanza dei dati, da cui dipende il dettaglio dell'elaborazione. Nello spettro sono state individuate delle componenti di rumore in alta e bassa frequenza che sono state rimosse in fase di elaborazione mediante filtraggio.

Definito il modello sintetico, si è proceduto ad elaborare i dati filtrati per mezzo del software DW Tomo della Geogiga, in cui l'inversione del dato viene gestita da algoritmi genetici. Preliminarmente all'elaborazione con tecnica tomografica, i dati sono stati elaborati con tecnica sismica a rifrazione, definendo il modello sismico sintetico di partenza per l'analisi algoritmica.

La restituzione grafica è stata effettuata a dettaglio maggiore, per evidenziare geometrie a piccola scala, utilizzando quindi una discretizzazione spaziale nell'ordine di 0.5 m orizzontale e 0.25 m verticale ed un fattore di *smoothing* rispettivamente di 0.8 e 0.4 per SR1 e una discretizzazione spaziale nell'ordine di 1.0 m orizzontale e 0.5 m verticale ed un fattore di *smoothing* rispettivamente di 1.1 e 0.6 per SR2 e SR3. I valori di spaziatura e *smoothing* sono stati assegnati imponendo un valore orizzontalmente maggiore e uno verticalmente minore, al fine di dare maggiore risalto a possibili variazioni verticali della successione stratigrafica analizzata.

Sono state eseguite centinaia di iterazioni, finché si è ottenuto un modello rappresentativo, con alto grado di fiducia.

7. Approfondimenti di Livello 2

Le indagini sono state eseguite essenzialmente in corrispondenza dei nuclei abitati che non erano stati presi in considerazione nel precedente studio di MS1 e che non risultavano interessati da indagini sismiche pregresse. In particolare, sono state effettuate indagini sismiche di tipo attivo (MASW) e passivo (HVSr).

I risultati delle indagini MASW e HVSr condotte nell'ambito di approfondimento di MS2 sono illustrati nel dettaglio nell'**Allegato 1**. Per ciascun sito di indagine MASW sono riportati: l'ubicazione dello stendimento su base CTR ed ortofoto, il profilo di velocità delle onde S nei primi 30 m di sottosuolo, lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh ed infine la documentazione fotografica. Per ciascuna misura HVSr sono riportati: gli spettri delle tre componenti del microtremore ambientale, la curva del rapporto spettrale H/V, la frequenza di risonanza del sito e la documentazione fotografica.

Le indagini HVSr condotte hanno permesso di vincolare ancor più il modello di velocità delle onde S ottenuto dalla modellazione delle MASW. La frequenza di risonanza di un sito, infatti, è indice di un contrasto di impedenza nel sottosuolo, causato dalla presenza di due mezzi caratterizzati da una Vs molto diversa. I profili di Vs ricavati hanno consentito la definizione dei fattori di amplificazione FA ed FV.

Va specificato che, sulla base dei risultati ottenuti dalle nuove indagini sismiche condotte e da alcune pregresse non presenti nella MS1, limiti geometrici delle MOPS definite nel primo livello sono stati in parte modificati. Inoltre, è stata aggiornata la descrizione di ciascuna area, in accordo con i risultati delle prospezioni sismiche eseguite e consultate. Nella tabella che segue, le zone in rosso sono quelle che hanno subito modifica.

Ai fini degli approfondimenti sopra citati, volti a quantificare le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici, sono stati considerati i dati derivanti dalle prospezioni sismiche di nuova esecuzione e da quelle pregresse. In particolare, per ciascun sito di indagine MASW, a partire dal profilo delle Vs risultante, sono stati ricavati i valori del parametro V_{SH}^6 , necessari per ricavare i valori dei fattori di amplificazione per ciascuna zona individuata. I risultati sono sintetizzati di seguito:

ID SLN	Località	ZONA	H	Vs, eq (m/s)
025006L01	Stadio	2004	30	441
025006L02	Stadio	2004	30	432
025006L03	Istituto Calvi	2002	3.65	208
025006L04	Istituto Tiziano	2002 (ex 2004)	9.4	310
025006L05	Istituto Catullo	2003	15.8	529.4
025006L06	Villa Montalban	2005	14	330
025006L07	Safforze	2004	13	337

⁶ Velocità equivalente del deposito definita come:

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum_{i=1,50} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove: H è lo spessore totale del deposito e h_i indica lo spessore (in metri) dello strato i-esimo

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

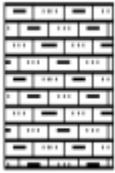
S. Stefano di Cadore (BL)
 Via Don Angelo Arnoldo, 18

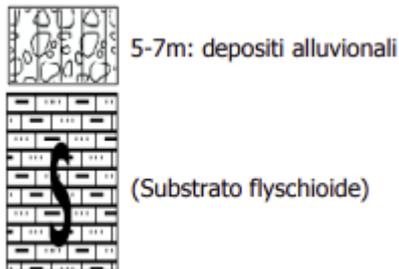
Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

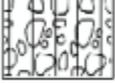
025006L08	Fiammoi	2004	22	331
025006L09	Fiammoi	2004	34	461
025006L10	Via Tiziano Vecellio	2005	15	336
025006L11	San Pietro in Campo	2005	12	448
025006L12	Via Ugo Neri	2005	35	278
025006L13	Cusighe	2004	34	513
025006L14	Cusighe	2004	31.5	501
025006L15	Praloran	2002	15	407
025006L16	Fontanelle	2004	25	419
025006L17	Levego	2002	10	328
025006L18	Castion	2003	7.5	265
025006L19	Castion	2003	5	394
025006L20	Modolo	2007	14	313
025006L21	Sossai	2003	6	357
025006L22	Nevegal	2003	2.6	318
025006L23	Nevegal	2003	4.8	298
025006L24	Nevegal	2007	12	456
025006L25	Pian Longhi	2003	5.6	374
025006L26	Faverga	2004	26	443
025006L27	Madeago - Via San Giacomo	2004	19	355
025006L28	Cirvoi	2003	17	373
025006L29	Cet	2003	16	380
025006L30	Castoi	2003	20	351
025006L31	Tisson	2007	17	365
025006L32	Visome	2006	35	207
025006L33	Visome	2003	37	273
025006L34	Col Cavalier	2002	14	281
025006L35	parcheggio Palasport De Mas	2002	20	392
025006L36	Via Battisti	2002 (ex 2004)	5	259
025006L37	Villa Magra	2002	32	488
025006L38	Mier	2002	9	338
025006L39	Mares	2002	7	311
025006L40	Col di Piana	2006	9	246
025006L41	Le Coste	2002	10	430
025006L42	San Sebastiano	2001	10	334
025006L43	Chiesurazza	2006 (ex 2002)	30	243
025006L44	Via Cordevole	2006 (ex 2001)	33	341
025006L45	Col di Salce	2006 (ex 2003)	13	222
025006L46	Salce	2003	9.8	364
025006L47	Bes	2002	8	348
025006L48	Sois	2003 (ex 2006)	10	506
025006L49	Orzes	2001	6	274
025006L50	Vignole	2006 (ex 2001)	31	341
025006L51	San Fermo	2002 (ex 2006)	3.5	300
025006L52	Bolzano Bellunese	2003	9	356
025006L53	Tisoi	2003	7	233
025006L54	Sopra Corda	2001	8	418

025006L55	Cavarzano	2004	20	400
025006L56	Sargnano	2004	22	328
025006L57	scuola cavarzano 1	2004	35	467
025006L58	scuola cavarzano 2	2004	30	486
025006L59	palasport de mas	2002	21	321
025006L60	ex caserma VFF	2003	5.7	458

Di seguito le modifiche apportate alla descrizione delle Microzone Omogenee dal punto di vista sismico:

MS1	MS2
<p>ZONA 1 (o 2001):</p>  <p>(alternanze di litotipi)</p> <p>Prof. : ?</p> <p>Descrizione da MS1: <i>"comprende il settore in cui affiora il substrato marnoso e arenaceo, caratterizzato da un'alternanza di litotipi marnosi arenacei e argillosi spesso alterati. Sono possibili fenomeni di amplificazioni locali legati alle caratteristiche morfologiche delle aree in ragione della presenza di creste, scarpate, terrazzi. Si possono ipotizzare fenomeni di locali amplificazioni litostratigrafiche dovuti a forti contrasti di impedenza laddove si rinvengono coperture di depositi sciolti o poco addensati."</i></p>	<p>ZONA 1 (o 2001):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lo spessore dei depositi è esiguo, in quanto si tratta in genere di prodotti di alterazione del substrato roccioso sottostante. - In genere H è compreso entro i 5 m. - Il substrato roccioso tenero, specie se alterato o fratturato, può presentare $V_s < 800$ m/s. Pertanto, in alcuni casi H risulta pari a 8 o 10 m.
<p>ZONA 2 (o 2002):</p>  <p>2-5m: depositi alluvionali</p> <p>(Substrato flyschioide)</p> <p>Prof.: ?</p> <p>Descrizione da MS1: <i>"corrisponde alla fascia pedemontana e di fondovalle in cui il substrato è rappresentato dal Flysch di Belluno, in affioramento fortemente alterato e fratturato, sovrastato a luoghi da coperture superficiali di origine alluvionale. Sono possibili fenomeni di amplificazioni legati alle caratteristiche morfologiche in ragione della presenza di scarpate e terrazzi fluviali. Tale zona comprende la fascia collinare dove sono, peraltro, presenti aree suscettibili di instabilità di versante per la presenza di frane. Si</i></p>	<p>ZONA 2 (o 2002):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lo spessore dei depositi è generalmente compreso entro i 15-20 m di profondità. Tuttavia in alcuni casi, le prove MASW hanno rilevato il substrato sismico ($v_s > 800$ m/s) anche a 30 m dal p.c.. - Il substrato roccioso è rappresentato dal Flysch di Belluno, caratterizzato da V_s spesso inferiori a 800 m/s (specie nella sua porzione più superficiale). - Le coperture sono in genere di origine alluvionale e caratterizzate da

<p><i>possono ipotizzare fenomeni di amplificazione litostratigrafica dovuti a forti contrasti di impedenza."</i></p>	<p>alternanze di depositi limoso-sabbiosi o limoso argillosi e orizzonti sabbioso-ghiaiosi.</p>
<p>ZONA 3 (o 2003):</p>  <p>5-7m: depositi alluvionali (Substrato flyschioide)</p> <p>Descrizione da MS1: <i>"è rappresentata dalla presenza di depositi alluvionali fluvio glaciali poggianti sul substrato flyschioide con spessori compresi tra i 5 e i 7mt. A causa di tale situazione litologico-stratigrafica, in questa zona sono possibili amplificazioni litostratigrafiche per presumibili forti contrasti di impedenza sismica. Tale zona è ubicata nelle aree di fondovalle sia a nord che a sud della valle del Piave e si spinge localmente fino agli orli di terrazzi. Pertanto, per caratteristiche litologiche e andamento topografico e morfologico non si possono escludere il verificarsi anche fenomeni di amplificazione litostratigrafica o morfologica o di entrambe. Sono anche presenti aree suscettibili di instabilità di versante per la presenza di frane. Dalle prove sismiche esaminate in Loc. Levego e Castion, i valori della Vs sono comprese tra i 337 e 525m/sec."</i></p>	<p>ZONA 3 (o 2003):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lo spessore dei depositi è generalmente compreso entro i 15-20 m di profondità. - Il substrato roccioso è rappresentato dal Flysh di Belluno, caratterizzato da Vs talora inferiori a 800 m/s (specie nella sua porzione più superficiale). - Le coperture sono in genere di origine alluvionale o fluvio-glaciale e sono caratterizzate da alternanze di depositi limoso-sabbiosi o limoso argillosi e orizzonti sabbioso-ghiaiosi.
<p>ZONA 4 (o 2004):</p>  <p>30m: depositi alluvionali</p> <p>Descrizione da MS1: <i>"è formata da un livello di alluvioni fluviali dati da ghiaie poco addensate e a tratti cementate con spessore di 20-30m. Appartengono a questa zona le aree delle conoidi alluvionali del</i></p>	<p>ZONA 4 (o 2004):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lo spessore H dei depositi si attesta in genere fra i 10 e i 30 m di profondità. - La granulometria dei depositi è generalmente grossolana (ghiaie e sabbie prevalenti). - L'origine dei depositi è mista: sono compresi sia

<p><i>fondovalle e l'intero centro abitato di Belluno. Non si esclude l'ipotesi di possibili fenomeni di amplificazione litostratigrafica per contrasto di impedenza e/o per fattori morfologici per la presenza di orli di terrazzi di altezze superiori 20m. Sono anche presenti piccole aree suscettibili di instabilità di versante per la presenza di frane."</i></p>	<p>depositi colluviali o di conoide di deiezione torrentizia (nella fascia pedemontana), sia depositi alluvionali (lungo il fondo valle).</p>
<p>ZONA 5 (o 2005):</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="margin-right: 10px;">  <p>5-8m: depositi alluvionali limo argillosi</p> </div> <div style="margin-right: 10px;">  <p>Depositi alluvionali Prof.: 30m</p> </div> </div> <p>Descrizione da MS1: <i>"questa microzona si localizza nel settore nordorientale, su un grande terrazzo fluviale del Piave. Si rinvencono alternanze di depositi alluvionali limo argillosi con spessori compresi tra 5m e 8m a cui seguono ghiaie grossolane mediamente addensate. Anche in queste aree potrebbero essere possibili amplificazioni litostratigrafiche per presumibili forti contrasti di impedenza sismica e fenomeni di amplificazione morfologica per la presenza di creste di terrazzi fluviali con altezze superiori a 20m."</i></p>	<p>ZONA 5 (o 2005):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lo spessore H dei depositi si attesta in genere fra i 10 e i 30 m di profondità. - Si tratta di alternanze di depositi limoso-argillosi e orizzonti ghiaioso-sabbiosi.
<p>ZONA 6 (o 2006):</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="margin-right: 10px;">  <p>3-5m: torbe</p> </div> <div style="margin-right: 10px;">  <p>5-6m: depositi alluvionali</p> </div> <div style="margin-right: 10px;">  <p>(Substrato flyschioide) Prof.: 30m</p> </div> </div> <p>Descrizione da MS1:</p>	<p>ZONA 6 (o 2006):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lo spessore H dei depositi è in genere inferiore ai 30 m di profondità. - In alcuni casi il substrato presenta valori di velocità inferiori a 800 m/s (molasse). - La natura dei depositi è in prevalenza argilloso-limosa. -

<p><i>“rientrano in queste aree le formazioni di origine lacustre, costituite da terreni torbosi con spessori maggiori di 3-5m, poggianti su ghiaie grossolane e ben addensate o localmente sul substrato flyschioide alterato. In queste condizioni è possibile ipotizzare amplificazioni litostratigrafiche per contrasti di impedenza. In queste zone, inoltre, si rinvergono localmente, materiali di riporto a copertura dei depositi torbosi. Gli spessori dei riporti non sono definiti. Sono possibili cedimenti differenziali al contatto col flysch o con depositi alluvionali con diverso comportamento meccanico.”</i></p>	
<p>ZONA 7 (o 2007):</p> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;">  <div> <p>depositi eluvio colluviali</p> <p>Prof.: ?m</p> </div> </div> <p>Descrizione da MS1: <i>“comprende il settore sudorientale, parte dell'area centrale e il settore nordorientale del comprensorio; caratterizzato da depositi di natura eluvio colluviali e/o conglomerati in matrice sabbioso limosa il cui spessore è indefinito per mancanza di sondaggi stratigrafici. Nel settore nordorientale si rinvergono a copertura del substrato calcareo-dolomitico. Potrebbero essere ipotizzabili fenomeni di amplificazione per contrasto di impedenza e/o caratteristiche morfologiche. Sono anche presenti aree suscettibili di instabilità di versante per la presenza di frane.”</i></p>	<p>ZONA 7 (o 2007):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lo spessore H dei depositi si attesta in genere entro i 15 m di profondità. - La granulometria dei depositi è prevalentemente fine (prevalgono limi sabbiosi e limi argillosi). - Sono compresi anche conglomerati in matrice sabbioso – limosa. - Queste aree si localizzano in corrispondenza di depositi di frana, scarpate, aree collinari e di versante.

Il Livello 2 di microzonazione fornisce quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali). Le amplificazioni sono quantificate per mezzo di “abachi” che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici in superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche.

Non avendo ancora predisposto la Regione Veneto dei propri abachi rappresentativi degli assetti sismo tettonici e geologico-tecnici regionali degli ambienti che li caratterizzano, si fa riferimento agli abachi degli ICMS (2008)⁷.

⁷ “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” approvati dalla Conferenza delle regioni e delle Province autonome del 13/11/2008.

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Via Don Angelo Arnoldo, 18

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

Gli ICMS (2008) infatti definiscono, nell'ambito degli approfondimenti di Livello 2, una serie di abachi finalizzati all'individuazione di un valore che caratterizzi le microzone stabili suscettibili di amplificazioni locali in termini di fattori di amplificazione.

Le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici sono espresse con due fattori numerici (FA e FV), così come definiti negli ICMS (2008), da applicare alle ordinate spettrali a basso periodo (FA) e alto periodo (FV). Gli abachi degli ICMS (2008) sono rappresentativi di assetti litostratigrafici semplificati e sono stati sviluppati con la finalità di consentirne un utilizzo quanto più possibile diffuso. Gli abachi utilizzati sono realizzati sintetizzando i risultati di analisi numeriche mono-dimensionali di propagazione delle onde sismiche di taglio effettuate con il programma SHAKE91 (Idriss e Sun, 1992). Tali analisi sono di tipo non lineare equivalente e sono condotte su un modello di sottosuolo costituito da terreni stratificati orizzontalmente, poggianti su un semispazio. Per la descrizione dettagliata di tali analisi si rimanda agli ICMS (2008) - §3.2 - Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici (livello 2).

Gli abachi riportano i valori dei fattori FA e FV calcolati applicando la metodologia sopra citata e prevedono i seguenti parametri di ingresso:

Spessore del deposito

Lo spessore totale del deposito di terreni soffici (H) varia nei calcoli da un minimo di 2.6m fino ad un massimo di 35 m.

Velocità media del deposito e profili di velocità

La velocità equivalente del deposito di terreni soffici (V_{SH}) copre l'intervallo tra 207 m/s e 530 m/s.

Per ognuno dei suddetti valori di velocità equivalente V_{SH} , possono essere considerati 3 diversi profili di velocità per lo spessore del deposito:

- Profilo 1 - velocità costante (V_{SH}) lungo tutto lo spessore del deposito
- Profilo 2 - velocità crescente con la profondità con il gradiente massimo compatibile con i seguenti limiti:
 - la V_s alla base del deposito non deve superare gli 800 m/s
 - la V_s in superficie non deve essere inferiore a 50 m/s
- Profilo 3 - profilo di velocità crescente con la profondità con gradiente intermedio tra i 2 precedenti.

In tutti i casi analizzati è stato utilizzato il profilo 3: gradiente intermedio.

Litotipi e curve di decadimento

Per i terreni di copertura possono essere considerati 3 litotipi diversi (argille, sabbie e ghiaie), a ciascuno dei quali vanno associate le curve di decremento del modulo di rigidezza a taglio (G/G_0) con la deformazione (γ) e le curve di incremento dello smorzamento (D) con la deformazione (γ) tratte dalla letteratura. Per le argille vengono proposte le curve di Vucetic e Dobry (1991) relative ad argille con indice di plasticità del 50%; per le sabbie si utilizzano le curve "medie" di Seed *et al.* (1986), mentre per le ghiaie le curve di Rollins *et al.* (1998).

Per il caso studio in esame si è scelto di utilizzare cautelativamente le curve relative alle sabbie nella quasi totalità dei casi, in quanto i depositi di copertura sono spesso rappresentati da terreni eterogenei, costituiti da miscele di sabbie e ghiaie o sabbie, limi e ghiaie. Fanno eccezione alcuni siti in cui i terreni di copertura

hanno evidenziato velocità delle onde Vs inferiori a 200 m/s nei primi 5 m di profondità o velocità Vs inferiori ai 300 m/s tra 5 e 10 m di profondità: in questi casi viste le basse velocità dovute alla presenza di terreni incoerenti, sono state utilizzate le curve relative alle argille. Questi ultimi casi corrispondono ad alcune delle perimetrazioni delle zone 2005, 2006 e 2003 della Carta delle MOPS dello studio di I° livello. Diversamente, negli altri siti ricadenti in zona 2005 o 2006 (zone caratterizzate da depositi limoso argillosi o torbosi in superficie), si è scelto di utilizzare comunque la curva relativa alle sabbie, in quanto lo spessore di terreno superficiale incoerente era trascurabile (generalmente nell'ordine del metro).

I valori riportati negli abachi sono la media dei risultati ottenuti da 7 simulazioni condotte con 7 accelerogrammi diversi per ciascun livello energetico (0.06g, 0.18g o 0.26g), su ciascun litotipo, spessore H e per ciascuno dei tre profili di Vs.

Al fine di ricavare i parametri FA ed FV è stata seguita la procedura illustrata negli ICMS (2008) e in Appendice ad essi (§3.2 - Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici (livello 2)). Sono stati utilizzati gli abachi per terreni prevalentemente sabbiosi o argillosi come indicato in tabella seguente. Il valore di $a_g = 0.26 g$ e il profilo di velocità scelto è quello a pendenza intermedia (pag. 136 e 154 degli ICMS). Facendo riferimento ai valori di V_{SH} e spessori dei depositi ricavati dalle indagini, sono stati ottenuti i seguenti fattori di amplificazione:

IDSPU	ZONA	H	Vs, eq (m/s)	FA	FV
025006L01	2004	30	441	1.49	1.36
025006L02	2004	30	432	1.49	1.36
025006L03	2002	3.65	208	1.81	1.09
025006L04	2002 (ex2004)	9.4	310	1.77	1.11
025006L05	2003	15.8	529.4	1.29	1.04
025006L06	2005	14	330	1.74	1.18
025006L07	2004	13	337	1.74	1.18
025006L08	2004	22	331	1.77	1.37
025006L09	2004	34	461	1.41	1.46
025006L10	2005	15	336	1.66	1.12
025006L11	2005	12	448	1.24	1.03
025006L12	2005	35	278	1.76	2.01
025006L13	2004	34	513	1.37	1.33
025006L14	2004	31.5	501	1.4	1.24
025006L15	2002	15	407	1.55	1.11
025006L16	2004	25	419	1.62	1.38
025006L17	2002	10	328	1.51	1.05
025006L18	2003	7.5	265	1.71	1.04
025006L19	2003	5	394	1.24	1.01
025006L20	2007	14	313	1.93	1.33
025006L21	2003	6	357	1.43	1.02
025006L22	2003	2.6	318	1.61	1.03
025006L23	2003	4.8	298	1.61	1.03
025006L24	2007	12	456	1.24	1.03

025006L25	2003	5.6	374	1.43	1.01
025006L26	2004	26	443	1.51	1.24
025006L27	2004	19	355	1.77	1.37
025006L28	2003	17	373	1.74	1.18
025006L29	2003	16	380	1.55	1.11
025006L30	2003	20	351	1.77	1.37
025006L31	2007	17	365	1.74	1.18
025006L32	2006	>30 (35)	207	1.77	2.79
025006L33	2003	37	273	1.71	2.5
025006L34	2002	14	281	1.93	1.33
025006L35	2002	20	392	1.63	1.23
025006L36	2002 (ex 2004)	5	259	1.71	1.04
025006L37	2002	32	488	1.4	1.24
025006L38	2002	9	338	1.51	1.05
025006L39	2002	7	311	1.61	1.03
025006L40	2006	9	246	1.96	1.13
025006L41	2002	10	430	1.24	1.03
025006L42	2001	10	334	1.51	1.05
025006L43	2006 (ex 2002)	30	243	1.89	2.32
025006L44	2006 (ex 2001)	33	341	1.67	1.63
025006L45	2006 (ex 2003)	13	222	2.35	1.95
025006L46	2003	9.8	364	1.51	1.05
025006L47	2002	8	348	1.51	1.05
025006L48	2003 (ex 2006)	10	506	1.18	1.02
025006L49	2001	6	274	1.71	1.03
025006L50	2006 (ex 2001)	31	341	1.58	1.78
025006L51	2002 (ex 2006)	3.5	300	1.61	1.03
025006L52	2003	9	356	1.51	1.05
025006L53	2003	7	233	1.71	1.04
025006L54	2001	8	418	1.34	1.04
025006L55	2004	20	400	1.63	1.23
025006L56	2004	22	328	1.77	1.37
025006L57	2004	35	467	1.41	1.46
025006L58	2004	30	486	1.4	1.24
025006L59	2002	21	321	1.89	1.62
025006L60	2003	5.7	458	1.12	1.01

7.1. Interpretazioni ed incertezze

Nell'ambito dello studio di secondo livello sono state reperite numerose indagini pregresse, e ne sono state eseguite di nuove appositamente. Ciò ha permesso di approfondire la conoscenza del modello geologico del territorio analizzato e l'andamento del substrato e il grado di addensamento delle coperture. Grazie ad una buona distribuzione delle indagini geofisiche, calibrate sui dati derivanti dalle indagini dirette, è stato possibile

quantificare gli effetti legati all'amplificazione litostratigrafica e definire i valori di amplificazione sismica. Permangono delle incertezze legate all'estensione del territorio comunale, e al contesto montano, frutto di una storia geologica complessa e articolata. Il grado di incertezza è variabile, in relazione alla numerosità di dati, loro rappresentatività, complessità dell'assetto litostratigrafico, orografia; generalmente le incertezze sono maggiori al di fuori dei centri abitati, e in particolare al di fuori dei nuclei principali. Nella pianificazione delle indagini, è stato valutato il miglior compromesso, compatibilmente con le risorse a disposizione, per ottenere una copertura omogenea dei dati all'interno dell'area indagata, e informazioni di maggior dettaglio nel consolidato e nelle aree di espansione urbanistica.

Le principali incertezze riguardano:

- Rappresentatività dei dati: funzione della numerosità e della tipologia delle indagini a disposizione, ma anche della variabilità più o meno accentuata a seconda dei settori comunali;
- Possibili effetti concomitanti di amplificazione: funzione dell'assetto litostratigrafico, dell'andamento del substrato roccioso, dell'orografia.

Rappresentatività dei dati

Gli effetti di modifica del moto sismico rilevati nel presente studio sono quelli legati principalmente ad amplificazioni litostratigrafiche, quantificati attraverso l'utilizzo di abachi, secondo le metodologie descritte al **Cap.7**. Come riportato negli "indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", l'utilizzo degli abachi è limitato ad un assetto geologico e geotecnico assimilabile a un modello fisico monodimensionale, cioè a n strati piani, orizzontali, paralleli, continui, di estensione infinita, omogenei a comportamento viscoelastico. Ciò rappresenta un'approssimazione, che è stata gestita facendo ricorso a un gran numero di microzone omogenee, eventualmente suddividendo quelle previste nel primo livello di microzonazione sismica, ovvero a numero quanto più possibile elevato di indagini. Permangono incertezze sull'effettiva profondità del substrato laddove le indagini dirette non hanno interessato il substrato. Le informazioni geognostiche e geotecniche sono per lo più riferibili a terreni di copertura, e per lo più campionati nell'ambito dell'urbanizzato. Laddove non è stato possibile ottenere dati, la caratterizzazione è stata effettuata estendendo il dato stratigrafico noto a terreni con analoghe caratteristiche litologiche e geotecniche presenti in settori diverse da quelle a cui il dato è riferito.

Amplificazioni topografiche e geometrie del substrato

In presenza di rilievi particolarmente acclivi, l'Eurocodice 8 indica nell'angolo formato dal pendio (α) e nella altezza del rilievo (H) gli elementi discriminanti per definire un fattore di amplificazione topografico. Sulla base delle indicazioni della norma europea, in prima approssimazione si può non tener conto della topografia, e quindi è possibile usare gli abachi per amplificazioni litostratigrafiche, se $\alpha < 15^\circ$ e $H < 30$ m. in generale, l'effetto litologico prevale sull'effetto morfologico, se si prevede di avere i due effetti congiunti si predilige quello litologico. Nell'ambito del 2° livello di microzonazione sismica, è definita una metodologia semplificata per la quantificazione dell'amplificazione topografica che può essere applicata esclusivamente in presenza di un bedrock sismico con particolari caratteristiche topografiche. Non è il caso del presente studio, dove gli effetti di modifica del moto sismico legati ad effetti topografici sono sempre associati ad effetti stratigrafici, e dove non ricorrono mai le casistiche individuate dagli "indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (creste, scarpate, picchi isolati).

Sono state individuate alcune sezioni rappresentative dell'assetto del territorio comunale, lungo le quali sviluppare specifici approfondimenti propri del **Livello 3** di Microzonazione Sismica. Tali approfondimenti ricorrono a modelli bidimensionali in grado di modellare l'effetto congiunto di amplificazioni legate alla stratigrafia, alla topografia, e all'andamento del substrato. Fondamentali risultano essere le condizioni al contorno, e tra queste molto importante è la geometria del substrato, nel caso specifico in particolare per la zona del centro storico, dove le indagini evidenziano un brusco approfondimento del substrato.



Figura 7.1: Sezioni individuate per gli approfondimenti di Livello 3.

8. Approfondimenti di Livello 3

Nel caso specifico del Comune di Belluno il Livello 3 di approfondimento si è reso necessario poiché nei livelli precedenti di approfondimento è stato riscontrato, in alcune situazioni, un contesto geologico complesso non esplicitabile con una modellazione 1D. In particolare, sono state prese in esame delle situazioni ritenute rappresentative per il contesto comunale, in corrispondenza del centro storico di Belluno e degli abitati di Bersaglio e Antole. Inoltre, essendo questi collocati sulla superficie di tre terrazzi al margine della valle alluvionale del Piave, alle normali cause di amplificazione del moto sismico si sommano gli “effetti di bordo” connessi alla geometria del problema.

8.1. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati

La scelta delle sezioni geologico-sismiche sulle quali sviluppare le analisi di RSL proprie del Livello 3 per il centro storico di Belluno è stata guidata dalla morfologia dell'area studio, possibile responsabile di fenomeni di amplificazione sismica, e dalle evidenze storiche di eventi sismici passati. In particolare, si è fatto riferimento ai dati del sisma del 29 giugno 1873, riportati in Alfieri M. et al. (2019), “29 Giugno 1873, Quindi seguì una scossa e un tremolio...”.

L'evento tellurico del 29 giugno 1873 si generò, secondo gli studi del geologo Alexander Bittner, a seguito della riattivazione del sistema di faglie dell'Alpago. Questo evento, come riportato dalle testimonianze dell'epoca, colpì tutta la valle dell'Alpago e le Città di Belluno, Vittorio Veneto, San Pietro di Felleto e Cappella Maggiore, molte delle frazioni montane isolate non furono esenti da danni anche gravi a edifici e persone. Complessivamente il sisma causò nell'area circa 80 morti, 83 feriti e centinaia di senzatetto.

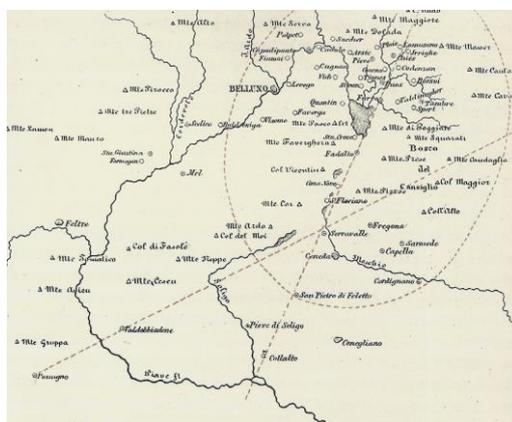


Figura 8.1: Particolare delle aree interessate dal sisma del 29 giugno 1873 (Alfieri M. et al, 2019).

L'attività sismica non si esaurì con l'evento del 29 giugno, ma proseguì fino a fine luglio con scosse di assestamento di magnitudo importante, come quelle avvenute in data 6 luglio, 27 luglio e 8 agosto. La prima di queste causò il completo crollo della porzione occidentale del Duomo di Belluno.

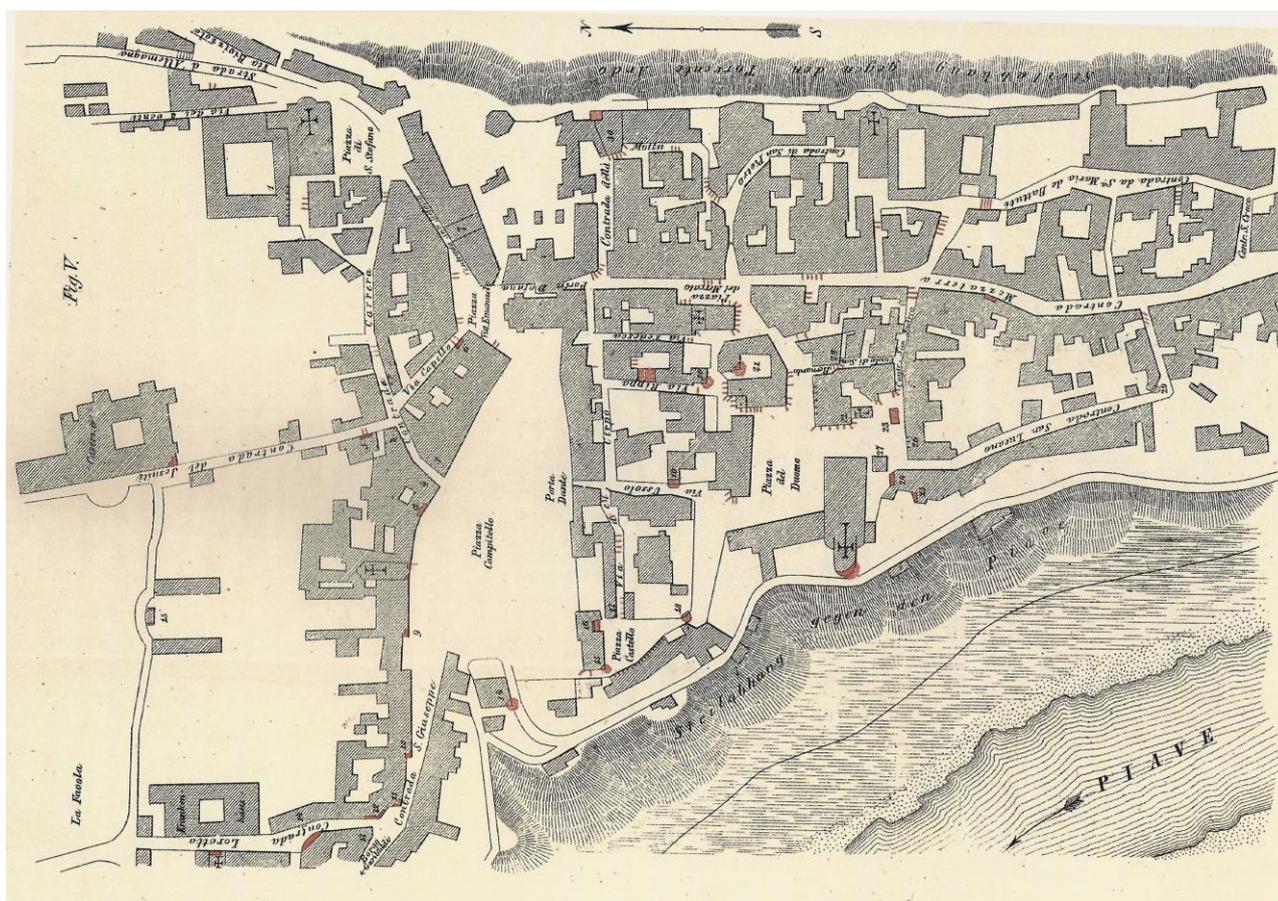


Figura 8.2: Pianta della Città di Belluno. Segnati con numeri progressivi gli edifici descritti nel resoconto e con colore rosso quelli dove i danni sono più rilevanti. Con i tratti rossi sono indicati i pali di sostegno in legno (Alfieri M. et al, 2019).

Il sisma del 29 giugno causò la distruzione di quasi 2/3 del centro storico del Comune di Belluno. I danni non si manifestarono omogeneamente su tutta l'area ma, come riportato da Bittner, interessarono maggiormente la porzione meridionale: *Via Cipro ha molte case puntellate. In via Ripa la parte sommitale di una casa è caduta e ha seppellito tre bambini sotto le macerie. Sulle parti ancora in piedi si notano fratture ovunque che separano i muri portanti ancora in piedi dalla piattaforma. L'angolo sud-ovest indicato con 20 all'uscita di questa via è anch'esso crollato. Una devastazione straordinaria ed enorme si trova nel complesso di case che si trovano di fronte, una volta residenza vescovile (21). Sul lato ovest del complesso, specialmente verso l'angolo sud-ovest, insorgono aperture colossali, le facciate nord e sud sono sostenute da numerosi e importanti puntelli e specialmente quest'ultima si è piegata verso l'esterno in maniera molto minacciosa. La torre sul lato nord-ovest è fratturata totalmente da fessure paurose che vanno dall'alto al basso. [...] La casa di fronte sembra altrettanto pericolante ed è assicurata da vari puntelli. [...] La piccola cappella della Madonna delle Grazie (23) dovrebbe venir subito demolita. [...] La casa sul fronte sud di piazza Duomo (26) mostra molte fratture verticali dall'alto al basso. Il campanile è stato poco danneggiato. [...] Tutta la parte del Duomo rivolta ad ovest è caduta. La stessa era comunque già pericolante. Questa caduta è avvenuta tuttavia non il 29 giugno, ma esattamente una settimana dopo, il 6 luglio, alle 5 della mattina.*

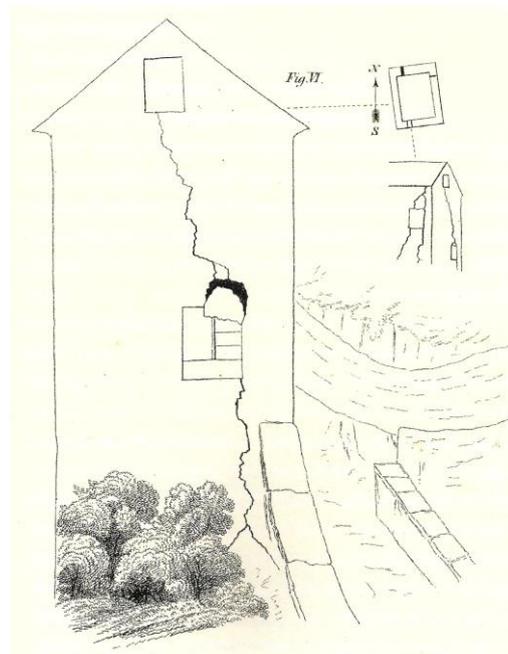


Figura 8.3: Rappresentazione di un'abitazione a monte di Borgo Piave danneggiata dal sisma (Alfieri M. et al, 2019).

Gli edifici ubicati nella porzione settentrionale del centro storico di Belluno sono stati interessati da danni, anche se di intensità minore rispetto a quelli sopra riportati. Questi si sono manifestati sotto forma di fratture diagonali agli edifici a partire dai lati liberi degli stessi e dai vertici di porte e finestre. Inoltre, in Piazza Campitello, oggi Piazza dei Martiri, si è generata una frattura del terreno larga 15-20 cm.



Figura 8.4: Due pagine tratte dal numero de "L'Emporio Pittoresco" del 20-26 luglio 1873.

8.2. Approfondimento geomorfologico

Il centro storico di Belluno si sviluppa al di sopra di un ampio terrazzo fluviale/fluvioglaciale in destra idrografica del Fiume Piave, il quale scorre in direzione NE-SW alcune decine di metri più a valle, e in destra idrografica del T. Ardo il quale scorre in direzione NNW-SSE alcune decine di metri più a valle.

L'abitato di Bersaglio si sviluppa ai piedi di Col Cavalier in corrispondenza della zona di passaggio fra terrazzo fluviale e piede di frana. Secondo le testimonianze dell'epoca la frana si è staccò dal versante settentrionale di Col Cavalier nel 1882 secondo una cinematica di scivolamento planare, caratterizzato da un piano di scivolamento compreso tra 7-15 m dal p.c. lungo molteplici superfici di strato del substrato flyschoidale.

Il piccolo agglomerato urbano presente in loc. Antole sorge al di sopra di una superficie pianeggiante, riconducibile ad un terrazzo erosivo, caratterizzata da roccia affiorante appartenente alla Formazione delle Arenarie Glauconitiche di Belluno.

L'ampio **terrazzo fluvioglaciale** su cui sorge il centro storico di Belluno presenta scarpate, lungo i lati E, W e S, con dislivelli che vanno dai 30 ai 40 m. All'interno del terrazzo, come per i vicini terrazzi di Cavarzano e Castion, sono evidenti ripetuti cicli alluvionali. Litologicamente dominano i depositi grossolani ghiaioso-sabbiosi con clasti spesso embriciati che possono essere localmente interrotti da lenti coesive. Questi depositi possono presentare orizzonti variamente cementati con estensione laterale e verticale limitata. In linea generale ogni ciclo alluvionale inizia con una fase erosiva che determina l'instaurarsi di fenomeni di incisione, segue poi una

fase di stazionamento in cui il corso d'acqua può dare origine a fenomeni di divagazione laterale e deposizione ghiaie e sabbie e termina con una fase di ridotta incisione dove, a seguito di fenomeni di tracimazione, si depositano sabbie fini e limi al tetto dei precedenti depositi ghiaiosi. Questi depositi sono stati in parte obliterati dai successivi cicli erosivi e deposizionali. Lo spessore dei depositi fluvio-glaciali quaternari tende ad aumentare irregolarmente spostandosi dai versanti a Nord dell'abitato di Belluno verso il corso del F. Piave.

Oltre alla morfologia di terrazzo fluvio-glaciale sopra descritta sono individuabili anche **terrazzi erosivi**, in cui l'attività geomorfologica quaternaria di corsi d'acqua e coltri glaciali hanno comportato l'erosione del substrato roccioso o di precedenti depositi senza però determinare una successiva fase deposizionale. L'area di Antole, in base alle evidenze raccolte, si sviluppa in corrispondenza di uno di questi terrazzi erosivi.

Le **morfologie di versante** sono visibili in molte aree del territorio del Comune di Belluno, queste presentano litologie e, di conseguenza, aspetti molto differenti. Lungo i versanti dell'arco prealpino, sono presenti versanti caratterizzati da roccia affiorante. La regolarità delle pareti rocciose non è rotta solamente dagli effetti tettonici che in passato hanno ripiegato la stratificazione, ma anche dalle profonde valli incise ad opera di scorrimenti idrici concentrati. Alla base delle pareti rocciose le coltri detritiche sono più marcate e spesse in corrispondenza delle principali incisioni.

Nello specifico, l'abitato di Bersaglio, si colloca al di sopra del piede di una paleofrana staccatasi dal versante settentrionale di Col Cavalier nel 1882. Il fenomeno franoso individuato è stato attivato dal F. Piave che ha eroso la parte più prossimale all'alveo del rilievo innescando così un movimento gravitativo roto-traslativo di un corpo roccioso flyschoidale di spessore compreso tra 7 e 14 m.

Oltre a scarpate e versanti in roccia lungo l'asta del F. Piave si possono inoltre individuare estese scarpate di terrazzo fluvio-glaciale caratterizzate da depositi incoerenti, sciolti o variamente cementati. A seguito del differente grado di cementazione la pendenza di queste scarpate può essere molto variabile mostrando comunque un aumento dell'acclività con il grado di cementazione.

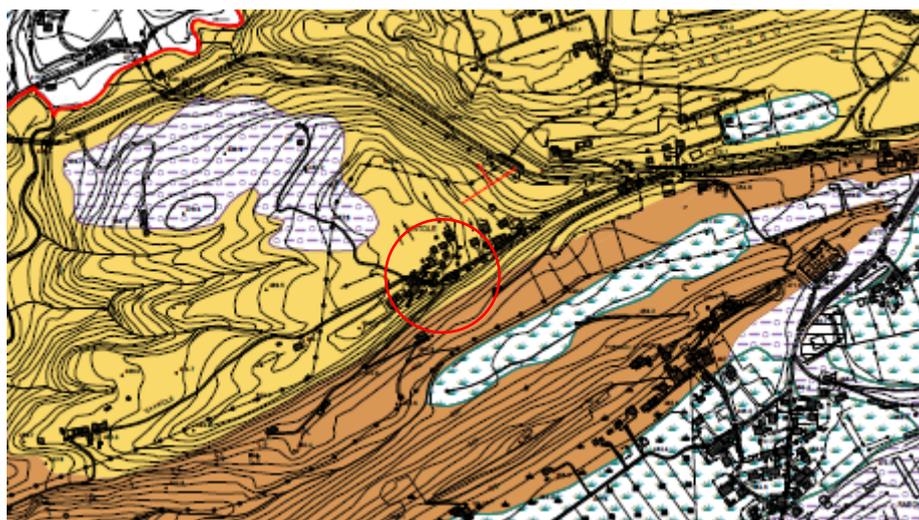
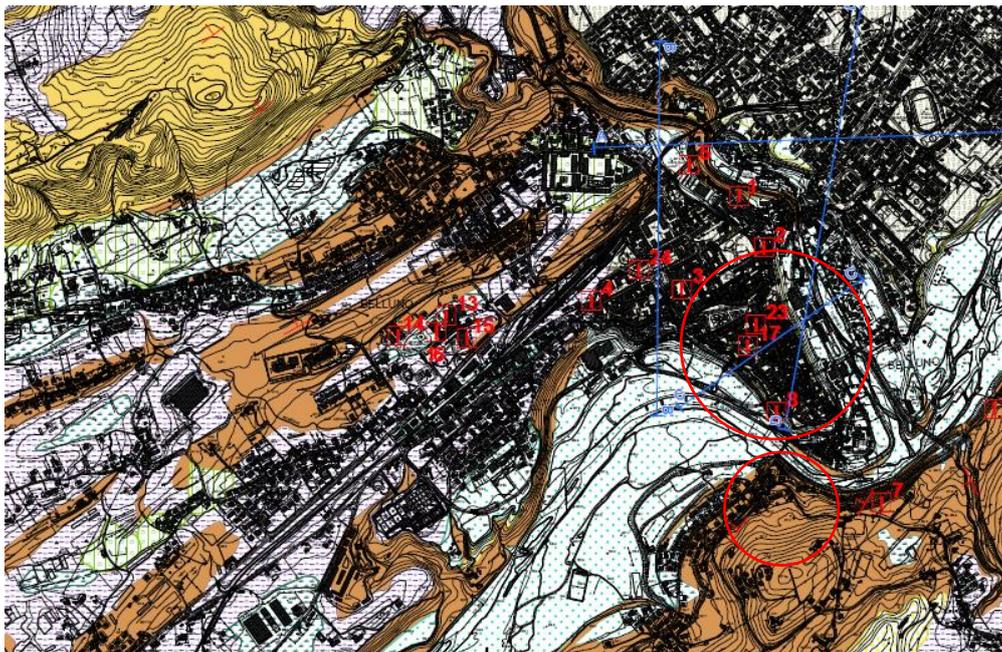
8.3. Approfondimento geologico

In corrispondenza del centro storico di Belluno sono riconoscibili 4 ordini di terrazzi morfologici, 2 inattivi (uno a monte della stazione e quello su cui sorge l'abitato), uno ancora soggetto ad esondazioni corrispondente a Borgo Piave e a Lambioi, e infine l'ultimo presente lungo il corso del F. Piave tutt'oggi attivo ed in evoluzione. Questi terrazzi fluviali e fluvio-glaciali sono caratterizzati da depositi grossolani ghiaioso-sabbiosi variamente addensati e cementati con sporadiche lenti limoso-argillose. Questi depositi quaternari in corrispondenza del centro storico di Belluno poggiano con contatto discordante e discontinuo su terrazzi erosivi sepolti generatisi a seguito di processi erosivi sul sottostante substrato flyschoidale.

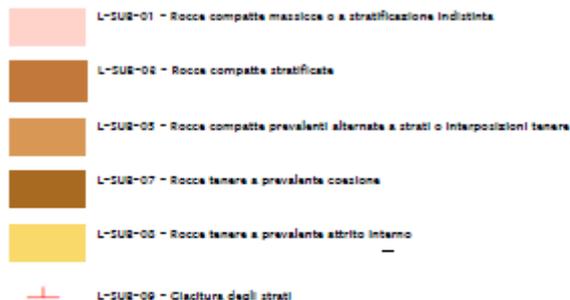
In località Bersaglio è individuabile il corpo di una paleofrana staccatasi nel 1882 da Col Cavalier e sulla cui propaggine più distale è sorto poi il centro abitato. In campagna sono infatti visibili le classiche morfologie da frana quali cambi di pendenza e contropendenze, queste ultime maggiormente concentrate verso il piede del corpo franoso.

L'abitato di Antole sorge invece al di sopra di un terrazzo erosivo dove affiora il substrato roccioso paleogenico riconducibile alle formazioni del Flysch di Belluno e delle Arenarie Glauconitiche, per la descrizione delle due formazioni si rimanda al **Cap. 2.3**. Entrambe le unità geologiche presentano una geometria a reggipoggio rispetto al versante, al di sopra del quale sorge il piccolo centro abitato.

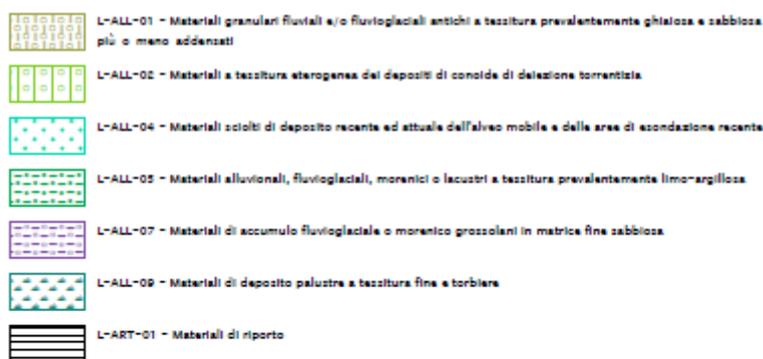
Di seguito si riporta un estratto della "Carta Litologica" allegata al P.A.T. del Comune di Belluno, per l'area del centro storico e delle località Bersaglio e Antole. Per una più completa trattazione e documentazione si rimanda agli allegati del P.A.T. stesso.



Substrati



Terreni di copertura alluvionali, morenici, fluvio-glaciali, lacustri e palustri



Copertura detritica colluviale ed eluviale

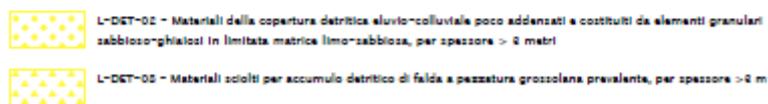


Figura 8.5: Estratto fuori scala della Carta Litologica - Tav. n. 02 02 allegata al P.A.T. del Comune di Belluno.

8.4. Ricostruzione del modello del sottosuolo

Per le aree del centro storico di Belluno e le loc. Bersaglio e Antole, a causa del differente contesto geologico-geomorfologico in cui si inseriscono, è necessario sviluppare tre distinti modelli geologici e di amplificazione sismica.

Gli spessori delle coltri quaternarie su cui sorgono il centro storico di Belluno e l'abitato di Bersaglio celano completamente l'andamento del substrato roccioso. Le indagini eseguite nell'ambito del presente studio MS3, ed in particolare le prospezioni sismiche a rifrazione, hanno permesso di ricostruire l'andamento del substrato al di sotto di queste coperture deposizionali.

Partendo dalle sismostratigrafie ricavate dalle indagini sismiche a rifrazione, eseguite nel centro storico di Belluno, opportunamente calibrate ed integrate con gli altri metodi geofisici precedentemente descritti, si individua una morfologia del substrato molto eterogenea caratterizzata da una morfologia a valle incisa con asse parallelo all'attuale corso del F. Piave. Nello specifico da NW a SE, è stato possibile individuare:

- un terrazzo in roccia affiorante presso la loc. La Vignetta (416 m s.l.m.);
- un primo terrazzo sepolto fra la stazione ferroviaria e Via G. Segato (375-382 m s.l.m.);
- un secondo terrazzo sepolto tra via G. Segato e il lato settentrionale di Piazza dei Martiri (345 m s.l.m.);

- un terzo terrazzo sepolto tra Piazza Duomo e Lambioi (302-315 m s.l.m.)

Successivamente spostandosi verso l'alveo attivo del F. Piave si individua un rialzo del substrato, che comunque si imposta al di sotto del piano di imposta della galleria Lambioi, fino a diventare sub affiorante in corrispondenza di Borgo Piave e affiorare poi lungo via Monte Grappa al di sotto dell'argine artificiale. Il substrato roccioso presenta una struttura a reggipoggio dalla loc. La Vignetta alla loc. Lambioi mentre successivamente, a causa della presenza di una piccola anticlinale e del rialzo del substrato, passa ad una geometria a franapoggio, ben visibile in affioramento.

Questa morfologia è conforme con quanto ipotizzato del Semenza E. (1957). Di seguito si riportano due immagini esplicative:

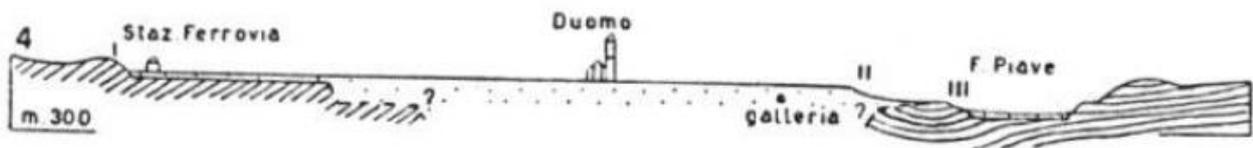


Figura 8.2: Sezione N-S lungo il centro storico di Belluno Semenza E. (1957).

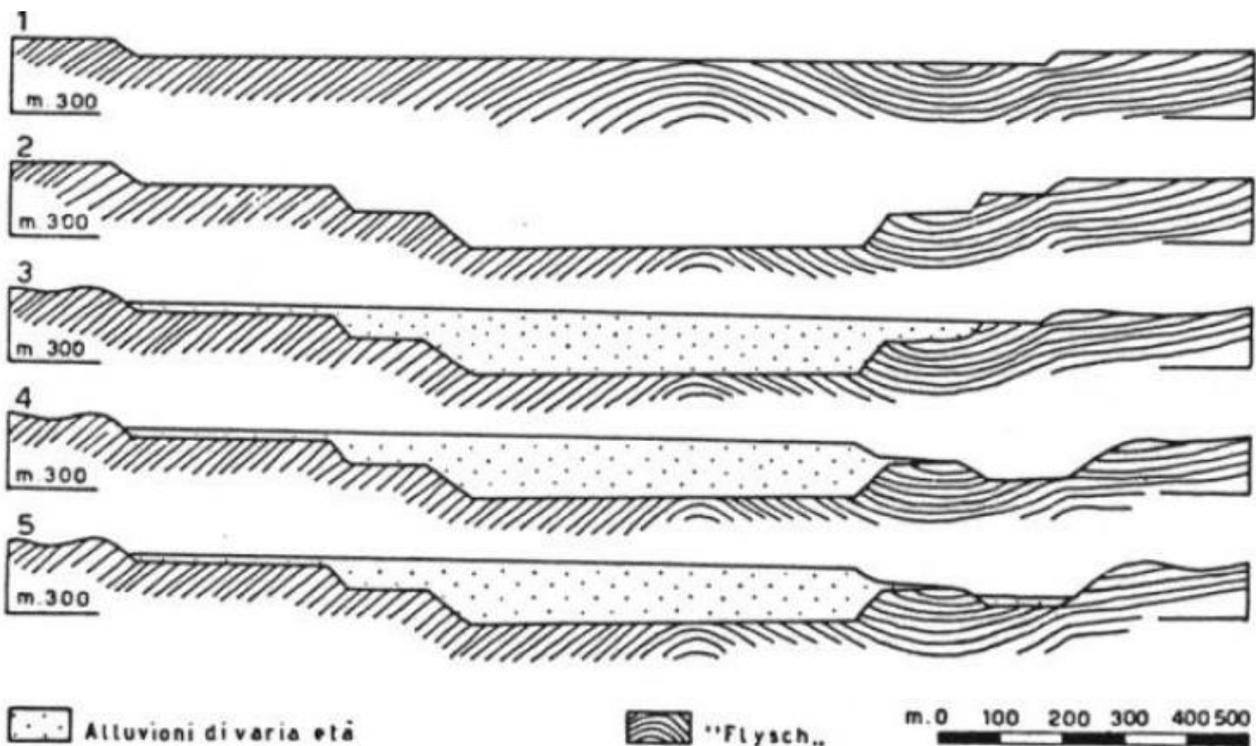


Figura 8.6: Evoluzione morfologica della valle del Piave in prossimità di Longarone. 1 - 1° fase; 2 - 2° fase: erosione; 3 - 3° fase: alluvionamento e formazione della conoide dell'Ardo; 4 - 4° fase: erosione e formazione dell'alveo epigenetico; 5 - 5° fase: Alluvionamento Semenza E. (1957).

In corrispondenza della loc. Bersaglio invece si individua un substrato flyschoidale immergente verso N, quindi con geometria a franapoggio, in approfondimento verso l'alveo attivo del F. Piave e ricoperto dal corpo di frana staccatosi nel 1882 da Col Cavalier. Lo spessore di questo corpo deposizionale è molto variabile fra la

nicchia di distacco e il piede della frana. In base alle indagini eseguite e ai dati raccolti nell'800 è stato comunque possibile stimare una profondità del piano di scivolamento variabile tra 7 e 15 m. con un aumento progressivo dello spessore da monte verso la zona di accumulo frontale.

In località Antole, stando ai rilievi geologici-geomorfologici eseguiti, alle indagini geofisiche eseguite e quanto riportato nella cartografia disponibile, è possibile individuare una morfologia di terrazzo erosivo caratterizzato da una scarpata meridionale acclive e con importante dislivello. Da un punto di vista litologico in questa zona affiorano le rocce del substrato appartenenti alle formazioni Arenaria Glauconitica di Belluno e Flysch di Belluno. Rispetto al versante a Sud dell'abitato di Antole il substrato roccioso mostra una geometria a reggipoggio.

8.5. Interpretazioni ed incertezze

Come sopra riportato, i dati diretti e studi specifici per l'area di studio non presentano una distribuzione uniforme lasciando così alcune aree prive di dati diretti o caratterizzati da profondità di indagine insufficiente per il presente studio. Le informazioni sono state ricavate per lo più da studi a scala regionale o macroregionale, mentre per l'analisi a scala di dettaglio è stato necessario ricorrere, nel presente e nei precedenti livelli di approfondimento, all'esecuzione di numerose indagini geofisiche, per risolvere le incertezze del modello sintetico iniziale.

Le interpretazioni riguardano in particolare la sismo-stratigrafia, alla base delle modellazioni per la definizione delle amplificazioni locali.

Una prima stima degli spessori dei terreni di copertura e del loro stato di addensamento è stata possibile grazie alle indagini eseguite nell'ambito degli approfondimenti di 2° Livello, anche se permanevano molte incertezze a causa dei limiti intrinseci dei metodi e della variabilità geolitologica e morfologica, con particolare riferimento all'andamento del substrato roccioso flyschoidale. Allo scopo di colmare, almeno in parte, dette incertezze, sono state eseguite specifiche indagini geofisiche con diversi metodi sismici. L'interpretazione dell'andamento del substrato verso il centro della valle, la potenza della copertura sedimentaria quaternaria e la parametrizzazione di tali strati in prospettiva sismica, in corrispondenza del centro storico di Belluno, è stata resa quasi univoca grazie all'esecuzione di ben 5 indagini dipendenti da fonti differenti presso ogni sito di indagine; dette indagini sono state elaborate congiuntamente mediante specifici software. La sismica a rifrazione in particolare ha permesso, lungo tre profili, di tracciare l'andamento dell'interfaccia roccia-detrito e parametrizzare le caratteristiche fisiche del deposito.

Le indagini MASW e HVSr (MS2) eseguite presso la loc. Bersaglio hanno permesso di individuare una successione stratigrafica caratterizzata da un corpo deposizionale ghiaioso-sabbioso di frana caratterizzato da uno spessore variabile da 0 a 15 m, in aumento verso il corso del F. Piave e poggiante con contatto discordante e discontinuo sul sottostante substrato roccioso flyschoidale immergente verso N.

I rilievi geologici-geomorfologici eseguiti presso loc. Antole hanno individuato il substrato roccioso affiorante e subaffiorante appartenente alla formazione Arenaria Glauconitica di Belluno che, rispetto al versante, presenta una geometria a reggipoggio.

Le principali incertezze che permangono nell'area del centro storico di Belluno sono legate alle variazioni di quota del tetto del substrato flyschoidale esternamente agli stendimenti tomografici realizzati. In più, l'elaborazione delle indagini geofisiche (MASW, HVSR ed ESAC), eseguite presso Piazza dei Martiri e Via Sottocastello, hanno rilevato valori di V_s proprie di un substrato roccioso ad una quota più elevata rispetto a tutte le altre indagini eseguite nell'area limitrofa. Questi valori potrebbero essere interpretati come la presenza di lenti o strati cementati caratterizzati da V_s prossime a quelle individuate per il substrato flyschoidale.

Per quanto riguarda invece l'abitato di Antole l'assenza di indagini geofisiche eseguite presso l'area non ha permesso di individuare la velocità di propagazione delle onde sismiche nel substrato roccioso.

8.6. Amplificazioni del moto sismico e Risposta Sismica Locale

In passato si è potuto osservare, a seguito di terremoti distruttivi, una distribuzione anomala del danneggiamento delle costruzioni, con forti differenziazioni fra zone contigue anche di modeste dimensioni. Oltre alle intrinseche differenze della vulnerabilità sismica delle costruzioni ed alle differenti caratteristiche dinamiche delle stesse, tali cause possono essere attribuite principalmente alle modificazioni delle caratteristiche del moto sismico indotte da condizioni geologiche e geomorfologiche locali.

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

- 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.

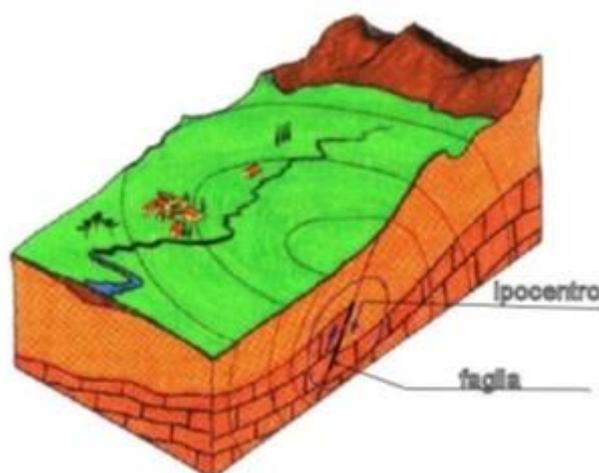


Figura 8.7: Schema della rottura del terreno e generazione e propagazione delle onde sismiche.

In altre parole, le caratteristiche del sito sono le responsabili delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenze, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (terremoto di riferimento), subisce attraversando gli strati dal bedrock fino alla superficie (Lanzo G. et al., 1999).

Nella **Figura 8.7** è rappresentato uno schema della rottura fragile del terreno in profondità con conseguente generazione di onde che si irradiano dall'ipocentro.

Se si ipotizza di avere installato un sismometro ad una grande distanza dall'ipocentro un possibile segnale registrato potrebbe essere quello mostrato nella **Figura 8.8**. Il segnale inizia con l'arrivo delle onde P caratterizzate da alte frequenze a bassa ampiezza. Successivamente arrivano le onde S che si propagano meno velocemente delle P e sono di frequenza più bassa e di maggiore ampiezza. Queste ultime sono in genere la causa dei maggiori danni. Le onde P e quelle S, come già descritto nel capitolo A sono chiamate onde di volume per distinguerle da quelle di superficie che sono più lente.



Figura 8.8: Tipico sismogramma registrato in superficie a grande distanza.

In generale si può dire che le onde generate dalla sorgente sismica sono di due differenti tipi, cioè quelle associate a stati deformativi di compressione-dilatazione volumetrica, dette onde **P** che si propagano con velocità V_p pari a:

$$V_p = \sqrt{\frac{Mv}{\rho}}$$

con:

$$Mv = \lambda + 2G$$

dove:

- λ = modulo di Lamé del terreno;
- G = modulo elastico del taglio del terreno;
- ρ = densità del volume del terreno;

Per le onde P il moto oscillatorio delle particelle di terreno avviene parallelamente alla direzione di propagazione.

Le onde S sono associate a deformazione di taglio ed hanno una velocità V_s pari a:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Il moto delle particelle di terreno è in tal caso perpendicolare alla direzione di propagazione. Il campo di spostamenti, in genere, è scomposto in due componenti perpendicolari tra di loro: le onde **SV** polarizzate

nel piano verticale contenente la sorgente e le onde *SH* polarizzate nel piano orizzontale (piano della superficie libera del terreno in direzione perpendicolare al precedente).

Per maggiore chiarezza, se si considera il piano π verticale e contenente la direzione di propagazione dell'onda incidente, il moto della particella di terreno perpendicolare a tale piano costituisce l'onda *SH*, viceversa il moto nel piano costituisce l'onda *SV*.

Le onde *P* e *S* arrivate in superficie possono trasformarsi parzialmente in onde di diverso tipo (*P* in *S* oppure *S* in *P*) oppure in onde superficiali chiamate così perché viaggiano in superficie attenuandosi rapidamente con la profondità. Queste ultime si differenziano in onde di Rayleigh quando il moto della particella di terreno è in un piano verticale oppure onde di Love quando il moto è in un piano orizzontale.

Con riferimento alla **Figura 8.9**, il fenomeno della propagazione delle onde può essere descritto come segue. Nella sua complessità morfologica, litologica e stratigrafica, un territorio può essere rappresentato come un insieme di formazioni superficiali, interessate dai loro fenomeni evolutivi tipici, poggianti su formazioni più profonde, i cui andamenti possono essere stati resi complessi fino alla creazione di affioramenti dai fenomeni tettonici ed orogenetici.

Prevalentemente, le formazioni profonde saranno costituite da rocce ignee o metamorfiche di origine sedimentaria, mentre quelle superficiali saranno di natura sedimentaria più recente, coerenti od incoerenti, e quindi di caratteristiche meccaniche ben differenziate rispetto alle prime.

Le onde sismiche che si sono generate in profondità, e che sono già caratterizzate diversamente a seconda del meccanismo proprio della sorgente, subiscono una serie di modificazioni ulteriori (riflessioni e rifrazioni) nell'attraversare la crosta terrestre e giungere fino alle formazioni di base per il sito. Ad una certa distanza dall'epicentro, e per una porzione di territorio ragionevolmente limitata, il moto sismico apparirà come un fronte d'onda uniforme propagantesi dal basso verso l'alto, con una certa angolazione rispetto alla verticale, che viene trasmesso dalle formazioni di base a quelle superficiali.

Il moto al suolo tende a non dipendere più solamente dal tipo di rottura della sorgente e a diventare il risultato di due ulteriori meccanismi eventualmente combinati:

- la propagazione delle onde sismiche all'interno delle formazioni di base e dalla conformazione delle frontiere della stessa;
- la risposta dinamica delle formazioni superficiali.

Tutto ciò comporta una non omogeneità del moto vibratorio in superficie che può cambiare da punto a punto anche a breve distanza. Sugli aspetti quantitativi e qualitativi del fenomeno hanno pertanto grande rilevanza diversi fattori quali la natura delle onde sismiche incidenti ed in particolare il meccanismo di sorgente, le diversità fra le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati, ed in particolare tra formazioni di base e superficiali, la conformazione e la giacitura degli strati, la presenza di falde idriche, l'entità dei fenomeni dissipativi ed altri ancora.

Al variare delle condizioni locali, il moto alla superficie risulterà quindi differente per quanto attiene ai suoi caratteri principali e cioè: ampiezza, contenuto in frequenza e durata. Si osserva che tutti e tre questi caratteri

sono significativi e concorrono a causare il danneggiamento delle strutture e l'instabilità dei terreni (frane, cedimenti, liquefazioni).

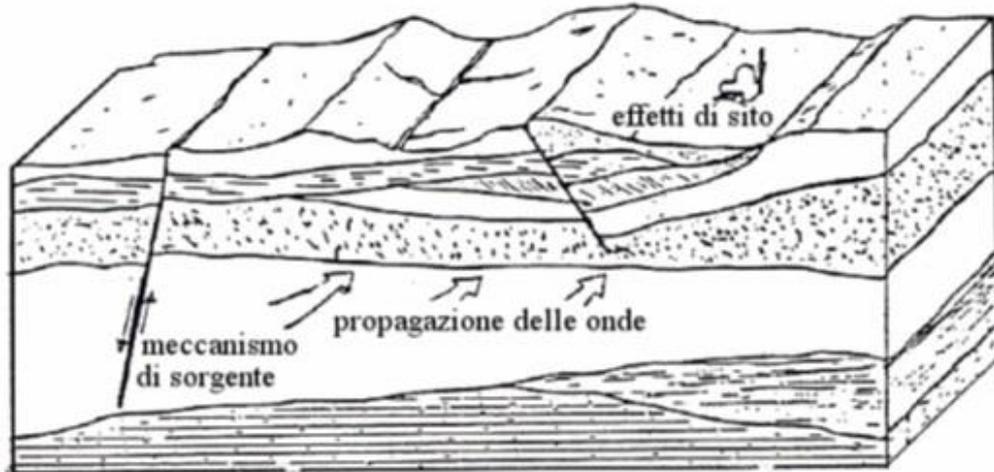


Figura 8.9: Schema di una situazione reale.

Impostazione del problema di calcolo dell'amplificazione locale

Per illustrare gli aspetti principali del fenomeno della risposta sismica locale si paragoni il moto in corrispondenza di tre siti, indicati con A, B e C nella **Figura 8.10**, posti alla stessa distanza dalla sorgente sismica durante lo stesso evento sismico. Si supponga inoltre che il primo sito sia su un semispazio affiorante (per esempio roccia) e il secondo B su un deposito alluvionale posto al di sopra del semi spazio ed il terzo C su di un rilievo.

In corrispondenza della coltre alluvionale si verifica, rispetto al moto sul semi spazio affiorante, una amplificazione del moto in particolari campi di frequenza e una deampificazione negli altri campi. Analogamente sul rilievo in C si verificheranno focalizzazioni oppure diradazioni di onde per effetto della forma del rilievo e della direzione di incidenza delle onde.

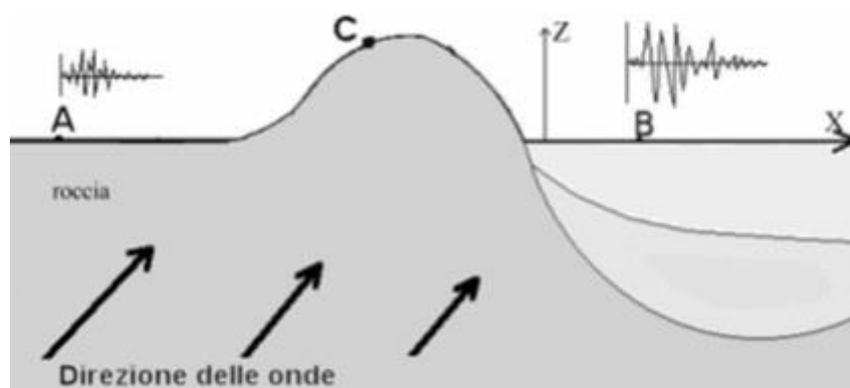


Figura 8.10: Schema della propagazione delle onde dalla sorgente e delle differenti condizioni locali.

In letteratura si parla di effetti stratigrafici o monodimensionali nel caso in cui le modifiche che il moto sismico subisce nel propagarsi in direzione prevalentemente verticale verso la superficie dal sottostante basamento

roccioso siano essenzialmente attribuibili a fenomeni di filtraggio. L'amplificazione delle onde sismiche dipende, in questo caso dalla stratigrafia del sottosuolo, dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e del contenuto in frequenza del moto sismico.

Il termine **"effetti di bacino"** è utilizzato quando le onde incidenti incontrano una valle alluvionale; in tal caso ai fenomeni sopra descritti si sovrappongono quelli dovuti al manifestarsi di fenomeni complessi di interazione tra le onde, che possono sommarsi o elidersi a vicenda, e generazione di onde superficiali. Spesso ai bordi della valle si verificano maggiori amplificazioni, dette: **"effetti di bordo"**, come nel caso del centro storico di Belluno e dell'abitato di Bersaglio.

Con **"effetti topografici"** si intendono le modifiche delle caratteristiche del moto sismico causate essenzialmente da fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche per effetto della particolare geometria della superficie (per es. la cresta di un rilievo o un canyon) e sono molto influenzati dalla lunghezza d'onda del moto incidente e dalla direzione di incidenza. Questi potrebbero manifestarsi in corrispondenza del centro storico di Belluno e dell'abitato di Antole.

Lo scopo delle analisi di amplificazione sismica locale è quello di determinare il moto in B oppure in C una volta noto il moto nel sito di riferimento A. Tale moto di riferimento è in genere determinabile in via statistica (analisi di pericolosità) o deterministica dallo studio del meccanismo di rottura della sorgente nell'ipotesi che tra la sorgente stessa ed il sito in esame il mezzo sia omogeneo ed isotropo.

Come è facile immaginare le caratteristiche del moto in superficie sono fortemente influenzate, oltre che dalla geometria degli strati e delle loro proprietà meccaniche, anche dalle caratteristiche del moto incidente, cioè dalla direzione di propagazione, dal suo contenuto energetico e dalla direzione del moto delle particelle del terreno.

Risposta Sismica Locale

Come già detto in precedenza, il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I passi da seguire nello studio del problema della risposta sismica locale sono:

1. Definizione input sismico;
2. Stima dell'accelerazione di base;
3. Dati di disaggregazione;
4. Estrazione, conversione e normalizzazione accelerogrammi di input;
5. Analisi di Risposta Sismica Locale;
6. Inserimento sismostratigrafia di input (derivata dalle indagini sismiche effettuate);
7. Esecuzione dell'analisi e restituzione grafica.

Le analisi numeriche che consentono di valutare gli effetti del sito nell'amplificazione delle onde sismiche possono essere distinte in:

- Analisi numeriche monodimensionali;
- Analisi numeriche bidimensionali;
- Analisi numeriche tridimensionali.

Il primo approccio consente di definire una realistica risposta sismica stratigrafica di terreni non affetti da problematiche bidimensionali. Questo approccio è ritenuto la via ufficiale delle NTC 2018 (Cap. 3.2.2) e consente, in determinati casi e mediante il confronto con la relativa categoria di sottosuolo, elementi di risparmio rispetto all'approccio semplificato di normativa, poiché identifica amplificazione per intervalli di periodi solitamente più limitati rispetto a quelli di normativa.

Il secondo approccio è da preferire in quelle situazioni in cui il sottosuolo presenta una geometria variabile in cui, oltre alla profondità, è importante considerare un'altra delle due restanti dimensioni spaziali. Un esempio di situazione che richiede l'utilizzo di modelli bidimensionali è il caso delle aree marginali delle valli alluvionali, in cui alle normali cause di amplificazione del moto sismico si sommano gli effetti di bordo connessi alla geometria del problema, come appunto nel caso del centro storico di Belluno e dell'abitato di Bersaglio, collocato sulla superficie di un piano morfologico al margine di una valle alluvionale.

Il terzo approccio necessita di modelli complessi che richiedono capacità computazionali notevoli; solo recentemente iniziano ad avere una certa diffusione grazie al rapido sviluppo degli strumenti informatici. Il loro utilizzo è principalmente concentrato sulla valutazione delle amplificazioni in presenza di effetti morfologici, data l'importanza assunta in queste analisi dalla conoscenza precisa e dalla gestione di un modello tridimensionale del terreno.

Metodo di calcolo adottato e descrizione del codice di calcolo LSR 2D

Le analisi di Risposta Sismica Locale sono state eseguite con il codice di calcolo LSR 2D (Local Seismic Response 2D - Vers. 4.2.0 - STACEC Srl) che, 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, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente 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, illustrato in **Figura 8.11**. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata $\dot{\gamma}$, secondo la relazione:

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

dove:

- G = Modulo di taglio;
- η = viscosità del mezzo;

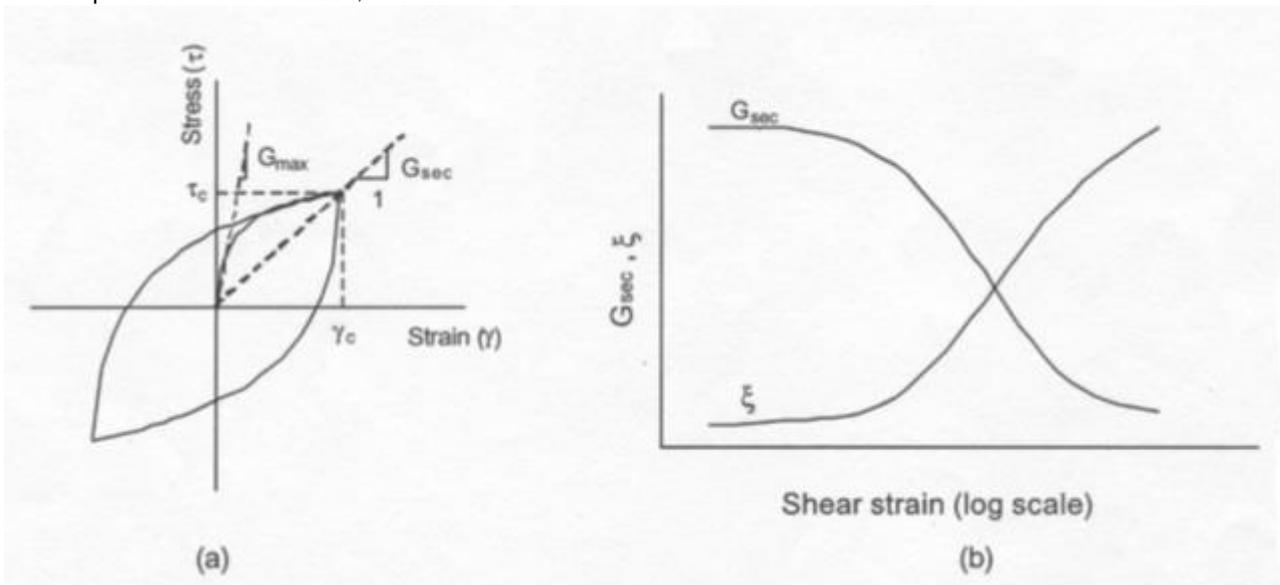


Figura 8.11: Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo.

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in **Figura 8.11**. Il modulo di taglio equivalente, G , è preso considerando il modulo di taglio secante G_s . È possibile notare come alla fine di un ciclo controllato e simmetrico di tensioni si ha:

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$

La curva $G_s - \gamma$ non può avere una forma arbitraria ma deriva dalla curva $\tau - \gamma$ e sussiste la seguente relazione:

$$\frac{d\tau}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma} \gamma \geq 0$$

La descrizione del comportamento meccanico dei terreni nei confronti dei carichi ciclici non può peraltro prescindere dalla dissipazione intrinseca di energia che si verifica durante i cicli di carico-scarico. Il parametro di riferimento a tal riguardo è costituito dal coefficiente di smorzamento D , definito come:

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W^{dissp}}{W^{max}}$$

dove:

- ΔW^{dissp} = quantità di energia dissipata, per unità di volume, dal terreno durante un ciclo di carico armonico;

- W^{max} = massima energia di deformazione, per unità di volume, immagazzinata dal terreno durante lo stesso ciclo di carico armonico;

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di 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 (Figura 8.9) 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.

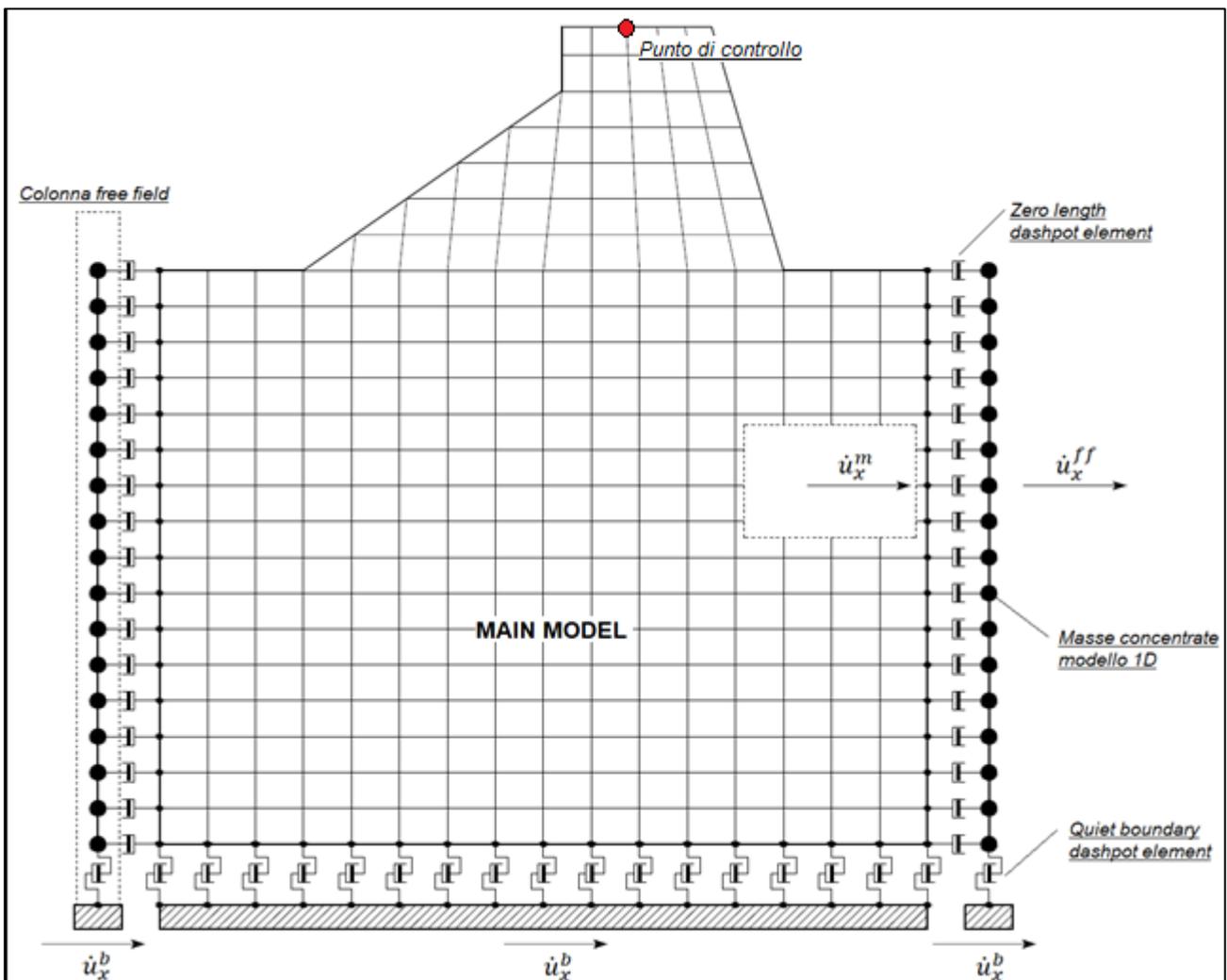


Figura 8.12: Discretizzazione FEM del deposito di terreno.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Ma_g$$

dove:

- M = matrice di massa del sistema;
- C = matrice di smorzamento del sistema;

- K = matrice di rigidezza del sistema;
- \ddot{u}, \dot{u}, u = rispettivamente vettori di accelerazione, velocità e spostamento del sistema;
- a_g = vettore di accelerazione alla base;

Tale equazione vale per ogni istante di tempo tn e descrive l'equilibrio dinamico del sistema. La soluzione in termini di spostamento velocità ed accelerazione per ogni tn viene ottenuta a partire dalle seguenti relazioni:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$
$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]$$

dove:

- Δt = incremento temporale tra l'istante di tempo tn e $tn - 1$;
- β = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25;
- γ = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50.

La matrice di smorzamento del sistema viene ottenuta mediante l'assemblaggio delle matrici di smorzamento dei singoli elementi, queste ultime ottenute a loro volta come:

$$C_q = \alpha_q M_q + \beta_q K_q$$

dove:

- α_q e β_q = coefficienti di smorzamento alla Reyleigh;

Tali coefficienti vengono ottenuti a partire dal rapporto di smorzamento viscoso del singolo elemento e dalla relazione seguente:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$
$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]$$

da cui si ottiene (Hudson, 1994):

$$D_q = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_q}{\omega} + \beta_q \omega \right)$$

dove:

- ω_1 = frequenza naturale del primo modo del deposito;
- $\omega_2 = n * \omega_1$ con $n = \omega_i / \omega_1$ (approssimato all'intero pari più grande) e ω_i frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione di bedrock.

Le condizioni di free-field sulle frontiere laterali vengono implementate mediante l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi delle frontiere laterali del modello e i nodi di opportune colonne di terreno monodimensionali (colonne free-field) in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero. Le coordinate dei nodi delle frontiere laterali del modello e delle colonne free-field possono essere uguali. È necessario, affinché tali condizioni al contorno siano applicabili, che le frontiere laterali del modello siano perfettamente verticali. Le forze interne agli smorzatori possono essere ottenute mediante le seguenti equazioni:

$$F_x = -\rho V_p (\dot{u}_x^m - \dot{u}_x^{ff}) A \quad (1)$$

$$F_y = -\rho V_s (\dot{u}_y^m - \dot{u}_y^{ff}) A \quad (2)$$

dove:

- ρ : densità di massa del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- V_p : velocità delle onde P del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- V_s : velocità delle onde S del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- A : area di influenza relativa al nodo su cui agisce lo smorzatore;
- \dot{u}_x^m : velocità del nodo del modello in direzione x ;
- \dot{u}_y^m : velocità del nodo del modello in direzione y ;
- \dot{u}_x^{ff} : velocità del nodo della colonna free-field in direzione x ;
- \dot{u}_y^{ff} : velocità del nodo della colonna free-field in direzione y .

Le componenti della velocità dei nodi delle colonne laterali ad ogni istante di tempo vengono ottenute mediante una soluzione numerica monodimensionale a masse concentrate dell'equazione di propagazione delle onde. Tale soluzione è affidata ad un processo di calcolo che opera in parallelo rispetto a quello impiegato per la soluzione del modello principale. In altre parole, per il generico passo di integrazione temporale, vengono dapprima ottenute le componenti delle velocità delle colonne di campo libero attraverso la soluzione 1D, per poi essere convertite in carichi applicati al modello principale mediante le equazioni (1) e (2).

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 rigidità e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Lo schema della procedura iterativa su cui è basato il modello lineare equivalente, da applicare ad ogni strato in cui è stato discretizzato il profilo stratigrafico, è il seguente:

- definizione di curve $G = G(\gamma)$ e $D = D(\gamma)$ per i diversi strati;
- inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni (G_0 e D_0);
- calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato (γ_1);
- aggiornamento dei valori $G_1 = G(\gamma_1)$ e $D_1 = D(\gamma_1)$;
- iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ($\gamma_{i-1} \sim \gamma_i$).

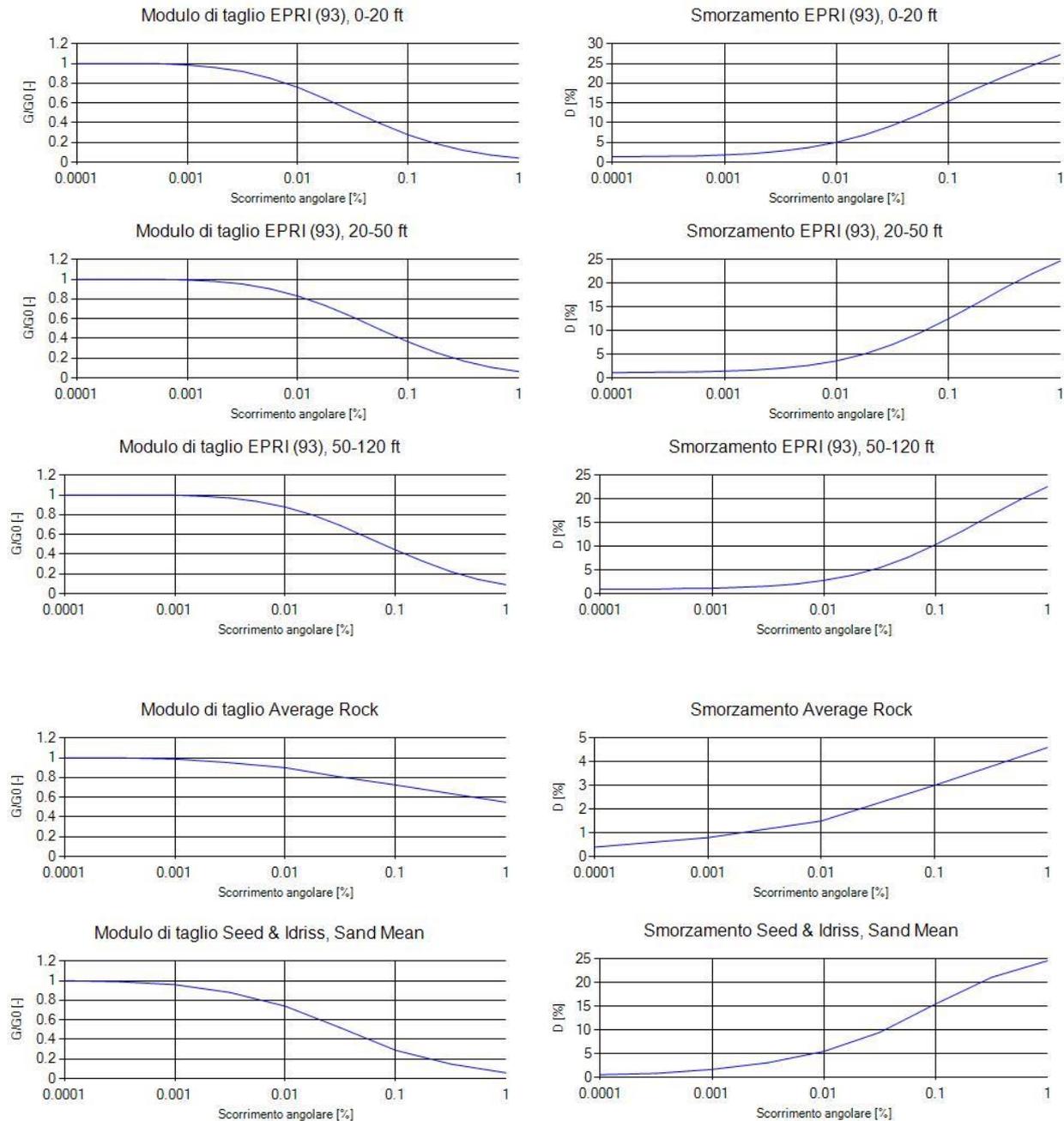
Il risultato della procedura iterativa sopradescritta non è altro che la storia temporale di accelerazione, velocità e spostamento di ogni grado di libertà del modello FEM. Tuttavia, dal punto di vista ingegneristico è interessante monitorare la risposta in termini di accelerazione in superficie in corrispondenza di uno o più punti di controllo in modo da comprendere quelli che sono gli effetti indotti dal sito sull'amplificazione della sorgente sismica.

Dati di input per l'analisi di RSL

1. Curve di decadimento dei materiali

All'aumentare del livello di deformazione angolare raggiunta dal terreno si ha una diminuzione del modulo di taglio G ed un aumento del rapporto di smorzamento D . Tale comportamento può essere descritto, per ogni tipo di materiale presente nella stratigrafia, da due curve di decadimento una relativa a G ed una D .

Di seguito si riportano le curve di riferimento utilizzate nell'analisi, tratte da bibliografia e in particolare da EPRI (1993) con valori in funzione della profondità, Average rock e Seed & Idriss, Sand Mean.



2. Stratigrafia e caratteristiche meccaniche dei singoli strati

Sulla base del cosiddetto volume significativo di terreno interessato dal problema in esame, viene definita una stratigrafia di progetto che rappresenta l'andamento delle singole lenti di terreno in una sezione verticale.

Tale stratigrafia viene rappresentata nel piano verticale X-Z mediante una serie di spezzate ognuna delle quali identifica l'andamento del singolo strato. La prima di tali spezzate serve ad identificare l'orografia della porzione di sito oggetto di studio. Tali spezzate sono state ricavate dall'interpretazione delle indagini sismiche a rifrazione eseguite, opportunamente calibrate con altre indagini elaborate congiuntamente.

La nuova campagna di indagini geofisiche eseguite ha fornito gli elementi necessari per la parametrizzazione dei litotipi oggetto di studio (Tabelle 8.1, 8.2, 8.3, 8.4 e 8.5). Nelle Figure 8.16, 8.17, 8.18, 8.19 e 8.20 sono riportate le cinque sezioni rappresentative sulle quali è stata condotta l'analisi di RSL (A-A', B-B', C-C', D-D' e E-E') delle quali si riporta di seguito l'ubicazione (Figura 8.13 e 8.14).



Figura 8.13: Ubicazione delle tre sezioni rappresentative lungo il centro storico di Belluno, A-A', B-B' e C-C', sulle quali è stata condotta l'analisi di RSL.

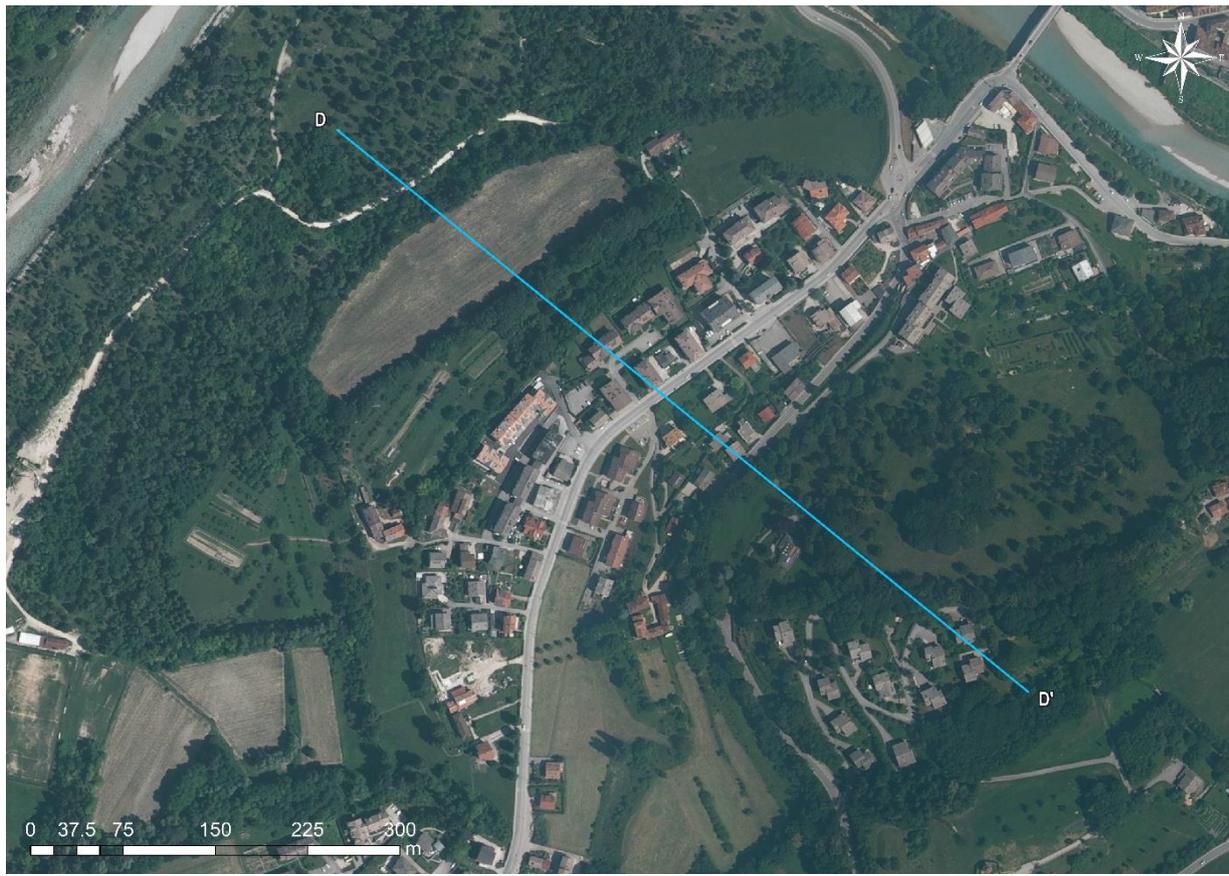


Figura 8.14: Ubicazione della sezione rappresentativa lungo l'abitato di Bersaglio e Col Cavalier, D-D'', sulla quale è stata condotta l'analisi di RSL.



Figura 8.15: Ubicazione della sezione rappresentativa lungo l'abitato di Antole, E-E", sulla quale è stata condotta l'analisi di RSL.

Data la scala di analisi, in considerazione dei costi da sostenere a fronte della scarsa rappresentatività quantitativa ed areale dei dati, per la determinazione delle curve di decadimento specifiche e delle proprietà meccaniche dei singoli livelli, si è ritenuto sufficiente utilizzare valori bibliografici, opportunamente calibrati con le risultanze delle indagini indirette eseguite. Tali incertezze sono state considerate ammissibili e non inficanti ai fini della definizione delle amplificazioni locali; va infatti considerato che la natura dei depositi non avrebbe permesso di prelevare campioni indisturbati. D'altra parte, la natura dei depositi risulta ampiamente caratterizzata in bibliografia, con scarsa variabilità. Va infine considerato che gli stessi accelerogrammi e spettri di input presentano delle incertezze insite, in quanto non è detto che il sito di registrazione sia effettivamente rappresentativo dell'area di studio, e specie per acquisizioni non recenti, verificare la qualità dei dati. In definitiva si è ritenuto più importante determinare il parametro V_s ed il coefficiente di Poisson medi per i singoli livelli discriminati e le geometrie del substrato e dei singoli livelli.

Il modello ricavato dalle indagini ed utilizzato per l'analisi è stato bloccato lateralmente al fine di eliminare possibili "effetti di bordo" del modello FEM.

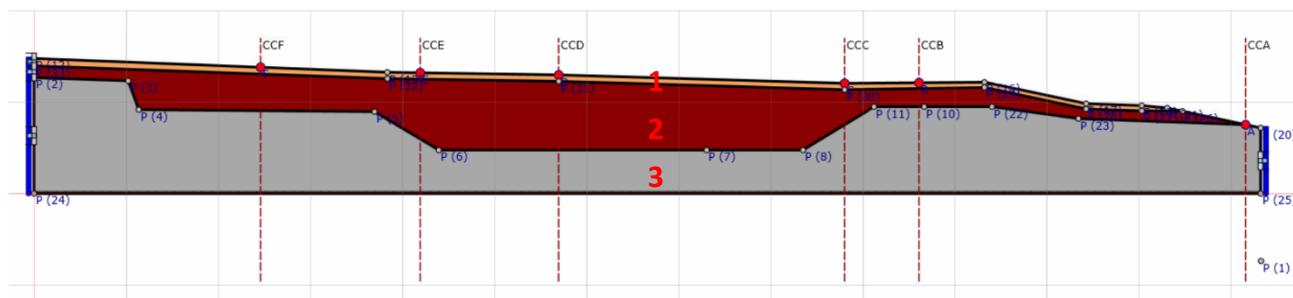


Figura 8.16: Sezione A-A' utilizzata per l'analisi con relativi punti di controllo.

Strato	Descrizione	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
1	Depositi di terrazzo poco addensati	-	1850.00	350.00	0.35	EPRI (93), 0-20 ft
2	Depositi di terrazzo addensati e localmente cementati	-	1900.00	450.00	0.35	EPRI (93), 50-120 ft
3	Substrato roccioso flyschoid	-	2400.00	8000.00	0.33	Average Rock

Tabella 8.1: Parametrizzazione relativa alla sezione A-A' - caratteristiche meccaniche degli strati.

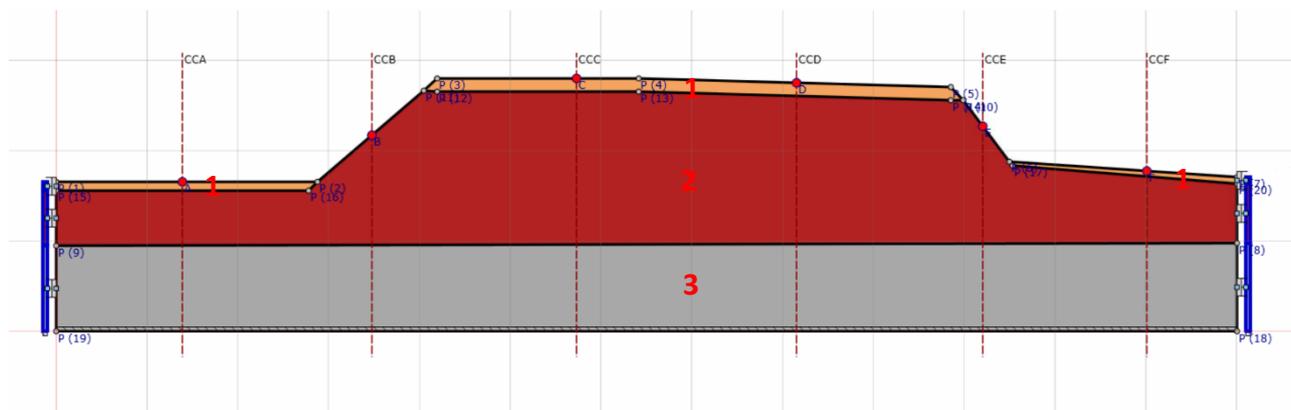


Figura 8.17: Sezione B-B' utilizzata per l'analisi con relativi punti di controllo.

Strato	Descrizione	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
1	Depositi di terrazzo poco addensati	-	1850.00	350.00	0.35	EPRI (93), 0-20 ft
2	Depositi di terrazzo addensati e localmente cementati	-	1900.00	450.00	0.35	EPRI (93), 50-120 ft
3	Substrato roccioso flyschoid	-	2400.00	8000.00	0.33	Average Rock

Tabella 8.2: Parametrizzazione relativa alla sezione B-B' - caratteristiche meccaniche degli strati.

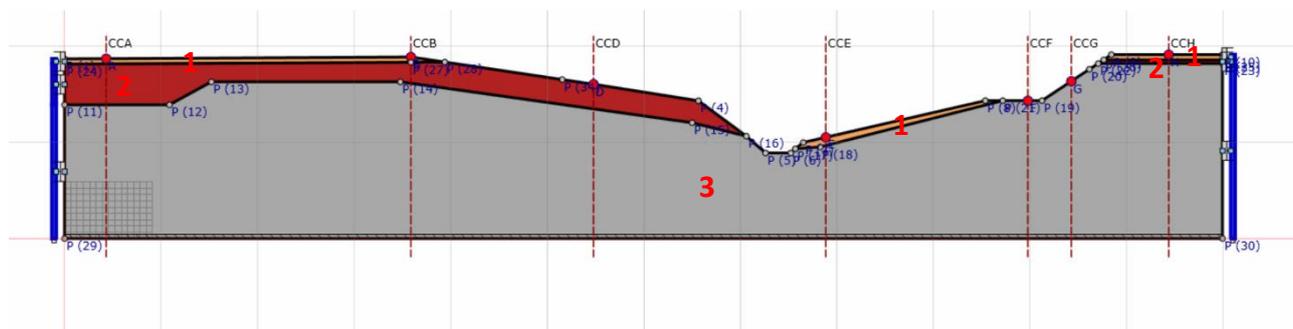


Figura 8.18: Sezione C-C' utilizzata per l'analisi con relativi punti di controllo.

Strato	Descrizione	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
1	Depositi di terrazzo poco addensati	-	1850.00	350.00	0.35	EPRI (93), 0-20 ft
2	Depositi di terrazzo addensati e localmente cementati	-	1900.00	450.00	0.35	EPRI (93), 20-50 ft
3	Substrato roccioso flyschoid	-	2400.00	8000.00	0.33	Average Rock

Tabella 8.3: Parametrizzazione relativa alla sezione C-C' - caratteristiche meccaniche degli strati.

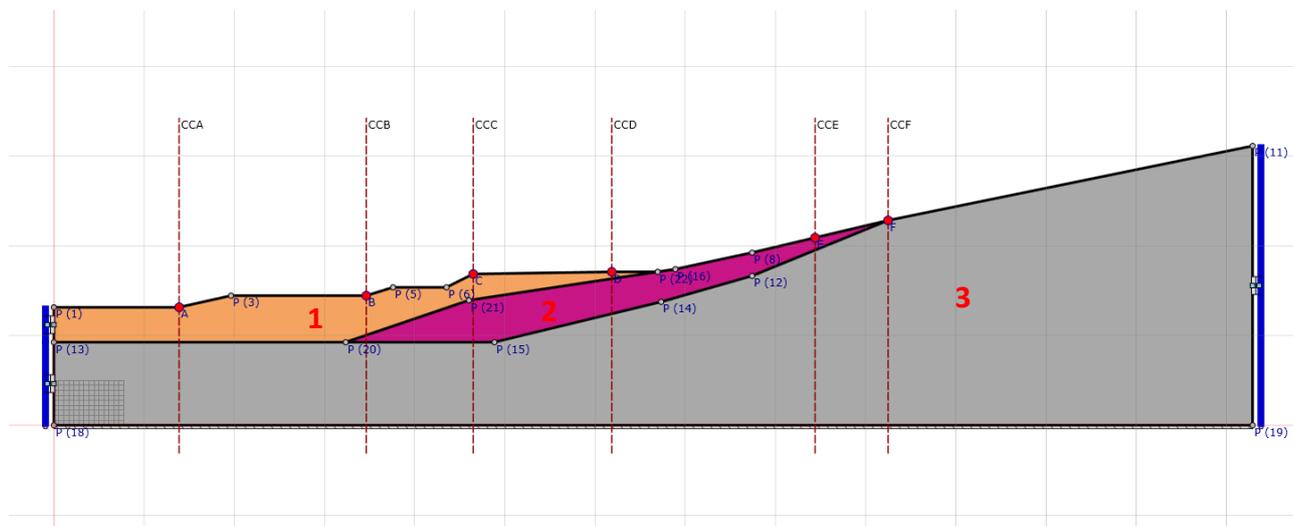


Figura 8.19: Sezione D-D' utilizzata per l'analisi con relativi punti di controllo.

Strato	Descrizione	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
1	Depositi di terrazzo poco addensati	-	1850.00	350.00	0.35	EPRI (93), 0-20 ft
2	Depositi di frana moderatamente addensati	-	1900.00	350.00	0.35	EPRI (93), 20-50 ft
3	Substrato roccioso flyschoid	-	2400.00	8000.00	0.33	Average Rock

Tabella 8.4: Parametrizzazione relativa alla sezione D-D' - caratteristiche meccaniche degli strati.

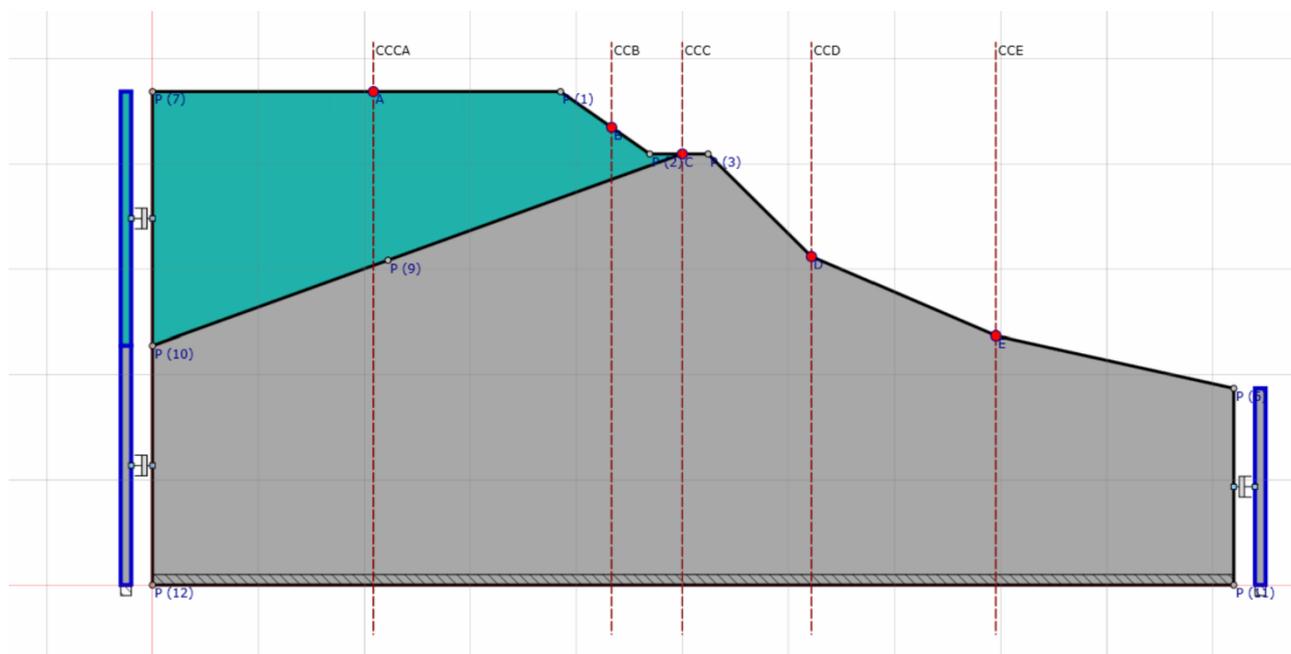


Figura 8.20: Sezione E-E' utilizzata per l'analisi con relativi punti di controllo.

Strato	Descrizione	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
1	Substrato roccioso - Arenarie glauconitiche	-	2000.00	425.00	0.40	Seed % Idriss, Sand Mean
2	Substrato roccioso flyschoidi	-	2400.00	8000.00	0.33	Average Rock

Tabella 8.5: Parametrizzazione relativa alla sezione E-E' - caratteristiche meccaniche degli strati.

Nelle tabelle:

- S = spessore del singolo strato;
- ρ = densità di massa del singolo strato;
- Vs = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato;
- γ = coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato.

3. Accelerogrammi e spettri di input

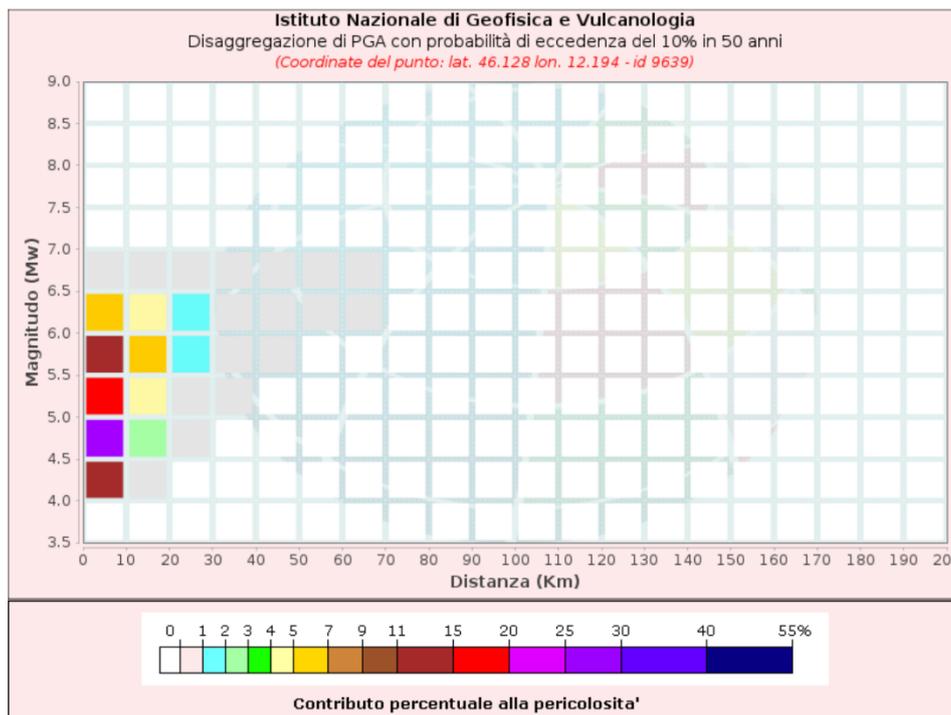
Le analisi di Risposta Sismica Locale realizzate per la MS3 del centro storico di Belluno e dei centri abitati presso le loc. Bersaglio e Antole fanno riferimento ad un input sismico relativo ad un periodo di ritorno di 475 anni, ovvero ad accelerogrammi di input relativi allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), tipicamente utilizzati negli studi di MS3.

Per la selezione delle combinazioni degli accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri da normativa si è utilizzato il programma REXEL versione 3.5, sviluppato da Iervolino I., Galasso C. e Chioccarelli E.. Gli accelerogrammi selezionati sono caratterizzati da valori di magnitudo e distanza epicentrale, compatibili con i risultati dello studio di disaggregazione. La tolleranza adottata sui valori di distanza è tipicamente maggiore di quella sui valori di magnitudo, poiché quest'ultima ha un'influenza maggiore sulle caratteristiche del moto sismico. L'altro criterio importante e restrittivo adottato per la selezione degli accelerogrammi reali è quello della spettrocompatibilità. Gli accelerogrammi selezionati per il sito in esame sono spettro-compatibili, in

media, con lo spettro di risposta elastico su suolo di categoria A prescritto dalle NTC 18 per il periodo di ritorno previsto per ciascuno stato limite nell'intervallo di periodo specificato.

Per ottenere i parametri di disaggregazione degli stati limite di interesse si è consultata la pagina web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it> (fonte ufficiale per l'identificazione della pericolosità di sito e dei valori di disaggregazione), con riferimento al nodo del reticolo nazionale di riferimento più sfavorevole in termini di a_g (essendo l'abitato grossomodo equidistante dai 4 nodi tra cui è compreso), il n. **9639**.

Come detto, le analisi sono state condotte per lo Stato limite di salvaguardia della vita (SLV) ed è stata selezionata una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. In **Figura 8.21** è riportato il grafico di disaggregazione ottenuto. Per la scelta degli accelerogrammi sismo-spettro compatibili rispetto allo spettro di target (cat. A) si sono quindi scelte una magnitudo M compresa tra 4.0 e 6.5 e una distanza R compresa tra 0 e 30 km, dati utilizzati nel software Rexel 3.5 per la ricerca del gruppo di 7 accelerogrammi utili alle analisi. I risultati della ricerca sono riportati in **Figura 8.22**. Gli accelerogrammi di input utilizzati per l'analisi sono stati archiviati nella struttura di archiviazione come indicato negli SRAI v 4.2.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
 (Coordinate del punto: lat. 46.128 lon. 12.194 - id 9639)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	11.6000	26.1000	19.5000	12.3000	6.7000	0.8580	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.5800	2.8800	4.5300	5.0800	4.4800	0.7540	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0298	0.4950	1.2200	1.6600	0.3500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0054	0.1820	0.4550	0.1150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0053	0.0828	0.0282	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0109	0.0075	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.25	7.31	0.777

Figura 8.21: Parametri di disaggregazione SLV.

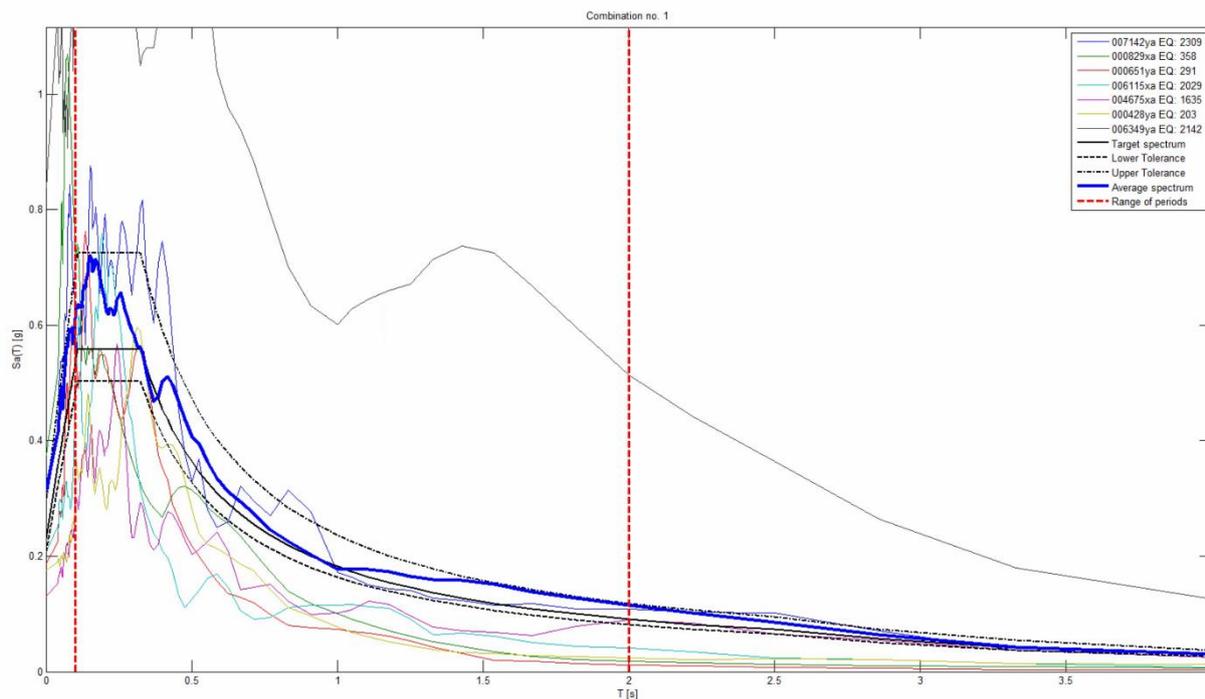


Figura 8.22: Risultati della ricerca in Rexel 3.5 – spettri della combinazione di accelerogrammi e spettro target.

Modello di calcolo FEM

Il modello di calcolo agli elementi finiti da utilizzare per lo studio della problematica in esame viene di seguito descritto.

Per ogni analisi, nel caso più generale, è necessario specificare due componenti di sollecitazione. In particolare, vi sono, per ogni condizione, un accelerogramma in direzione X (Orizzontale), ed uno in direzione Z (Verticale).

Ad ogni analisi corrispondono una serie di condizioni di carico. Per ognuna di esse vengono specificate due componenti di accelerazione di input in outcrop. In tabella vengono riportate le condizioni di carico relative al caso in esame:

Condizione	Accelerogramma X	Accelerogramma Z
CDC (1)	007142YA	Zero
CDC (2)	000829XA	Zero
CDC (3)	000651YA	Zero
CDC (4)	006115XA	Zero
CDC (5)	004675XA	Zero
CDC (6)	000428YA	Zero
CDC (7)	006349YA	Zero

Tabella 8.6: Condizioni di carico per le analisi effettuate.

Il modello FEM viene ottenuto mediante una discretizzazione con elementi finiti piani a tre o a quattro nodi del dominio. Il passo ed i rapporti di infittimento della mesh in corrispondenza dei punti di controllo sono dati di input e possono variare a seconda del caso. Il passo della mesh deve soddisfare la seguente relazione:

$$p \leq \frac{V_{s,min}}{5 f_{max}}$$

dove:

- p = passo della mesh;
- $V_{s,min}$ = velocità delle onde di taglio minima presente nel modello;
- f_{max} = frequenza massima che si vuole analizzare.

Le condizioni al contorno del problema in esame (posizione del bedrock) vengono prese in considerazione sul modello FEM mediante l'applicazione di smorzatori viscosi sui nodi facenti parte della porzione di terreno a contatto con il bedrock. Tali smorzatori esprimono due componenti (una orizzontale ed una verticale) di forza proporzionali alla velocità.

Le costanti di smorzamento Cx e Cz sono rispettivamente:

$$Cx = \rho b * Vsb * Vsb \text{ e } Cz = \rho b * Vpb * Vpb$$

dove:

- ρb = densità di massa del substrato;
- Vsb = velocità delle onde di taglio del substrato;
- Vpb = velocità delle onde p del substrato;

Sul modello possono essere applicati dei vincoli fissi nel caso in cui il substrato lo si volesse modellare come infinitamente rigido o per simulare un comportamento monodimensionale. In tal caso vengono applicati su tutti i nodi del modello dei vincoli in direzione verticale, in modo da consentire solo deformazioni di taglio.

Per i risultati ottenuti dalle analisi eseguite si rimanda al **Capitolo 9.3** e alla **Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2-3**.

9. Elaborati cartografici

9.1. Carta delle indagini

Nella **Carta delle indagini di Microzonazione Sismica aggiornata per i livelli 2 e 3** sono state riportate le indagini realizzate nell'ambito delle due nuove campagne di indagini, unitamente a indagini pregresse non contenute nello studio di MS1. Le indagini sono state ubicate in ambiente GIS su base cartografica CTRN 1:10.000, popolando gli *shapefile* "Ind_pu" e "Ind_ln", e parallelamente archiviate nel database "Cdl_tabelle" mediante l'utilizzo del software SoftMS v4.0.1, che facilita la generazione degli identificativi delle indagini e garantisce l'omogeneità e la coerenza nell'inserimento dati nelle tabelle previste, secondo quanto indicato negli SRAI.

Le nuove indagini sono state archiviate assieme a quelle pregresse, ottenendo così un totale complessivo di **200 siti di indagine e 260 indagini**, così suddivisi:

- **129 siti di indagine puntuali** (189 indagini puntuali);
- **71 siti di indagine lineari** (71 indagini lineari).

9.2. Carta di Microzonazione Sismica Livello 2-3

La Carta di Microzonazione Sismica è stata realizzata sulla base di tutte le informazioni disponibili acquisite in fase di studio preliminare mediante bibliografia, rilevamento, acquisizione dei dati sul campo, derivanti dai precedenti livelli di approfondimento (Carta delle MOPS), dalle nuove campagne di indagini geofisiche appositamente condotte e dalle elaborazioni svolte.

La Carta di MS così elaborata è costituita da **aree con approfondimento di Livello 2 e aree con approfondimento di Livello 3** (appositamente evidenziate nelle tavole allegate).

Nella Carta di Microzonazione Sismica sono state individuate e cartografate sulla base delle evidenze geolitologiche, geomorfologiche, litostratigrafiche e geofisiche, tre tipologie di zone che si differenziano per il diverso comportamento ipotizzato in condizioni di scuotimento sismico (diverso valore del fattore di amplificazione):

- **Zone stabili** (*shapefile* "Stab"), caratterizzate da un'amplificazione uguale a **1.0**, nelle quali non si ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento. Sono le zone dove è affiorante il substrato geologico (Livello 2 e Livello 3).
- **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** (*shapefile* "Stab") in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del territorio. Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono caratterizzate da **classi di fattori di amplificazione**. Le amplificazioni sono state valutate attraverso gli abachi descritti in precedenza (**Livello 2**) o mediante specifiche analisi di RSL 2D (**Livello 3**).
- **Zone suscettibili di instabilità** (*shapefile* "Instab"), ovvero zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazioni superficiale). Nella Carta di MS elaborata le zone suscettibili di instabilità per instabilità di versante conservano la geometria delle ZA della Carta delle MOPS, ma sono rappresentate da un simbolo che prevede lo stesso retino della ZA, con colore di fondo dato dall'amplificazione calcolata con gli Abachi. Ciò è legato al fatto che i fenomeni franosi in questione non sono attivi o quiescenti e non sono da considerarsi quindi riattivabili in caso di sisma. Essi non sono pertanto soggetti ad approfondimenti di Livello 3.

La distinzione delle diverse zone in carta è stata operata in base alla distribuzione dei valori del fattore di amplificazione FA.

ZONE STABILI

Queste zone sono caratterizzate da $FA = 1.0$. Sono le zone dove è affiorante il substrato geologico, o dove attraverso le analisi sviluppate attraverso simulazioni numeriche 2D, proprie degli approfondimenti di livello 3, sono state riscontrate delle deamplificazioni.



$FA = 1$

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Sulla base della distribuzione dei valori di FA, ricavati mediante la metodologia descritta al **Cap.7** (Livello 2) e successivamente (Livello 3), sono state individuate **n.5 classi del fattore di amplificazione:**



$FA = 1.1 - 1.2$



$FA = 1.3 - 1.4$



$FA = 1.5 - 1.6$



$FA = 1.7 - 1.8$



$FA = 1.9 - 2.0$

* Nella classe 1.1-1.2 sono compresi valori di amplificazione da 1.05 a 1.24, nella classe 1.3-1.4 sono compresi valori di amplificazione da 1.25 a 1.44 e così via.

AREE CON APPROFONDIMENTI DI LIVELLO 2

Avendo a disposizione più siti di indagine disponibili e diversi valori di FA risultanti, si è proceduto a ad assegnare il valore di FA più rappresentativo di ciascun poligono individuato nella precedente fase di MS1, eventualmente modificato a seguito degli approfondimenti svolti. In altre parole, la suddivisione del territorio in 7 MOPS non ha portato a soli 7 valori di FA ed FV, ma si è vista invece una certa variabilità in termini di amplificazione anche all'interno di una stessa area. Sebbene ciascuna microzona sia generalmente omogenea dal punto di vista geologico, essa presenta comunque una certa variabilità stratigrafica, specialmente quando comprende porzioni geograficamente molto distanti fra loro.

Di seguito si illustrano i valori di FA ed FV ottenuti per ciascuna zona, in ordine dal FA più favorevole al più sfavorevole. Alla fine di ogni tabella, i valori di FA ed FV medi risultanti.

zona 2001:

IDSPU	ZONA	FA	FV	Località
025006L54	2001	1.34	1.04	Sopra Corda
025006L42	2001	1.51	1.05	San Sebastiano
025006L49	2001	1.71	1.03	Orzes

Valori medi per la zona 2001:

1.52	1.04
------	------

Zona 2002:

IDSPU	ZONA	FA	FV	Località2
025006L41	2002	1.24	1.03	Le Coste
025006L37	2002	1.4	1.24	Villa Magra
025006L17	2002	1.51	1.05	Levego
025006L38	2002	1.51	1.05	Mier
025006L47	2002	1.51	1.05	Bes
025006L15	2002	1.55	1.11	Praloran
025006L39	2002	1.61	1.03	Mares
025006L51	2002 (ex 2006)	1.61	1.03	San Fermo
025006L35	2002	1.63	1.23	Palasport De Mas
025006L36	2002 (ex 2004)	1.71	1.04	Via Battisti
025006L04	2002 (ex2004)	1.77	1.11	Istituto Tiziano
025006L03	2002	1.81	1.09	Istituto Calvi
025006L59	2002	1.89	1.62	Palasport De Mas
025006L34	2002	1.93	1.33	Col Cavalier

Valori medi per la zona 2002:

1.62	1.14
------	------

Zona 2003:

IDSPU	ZONA	FA	FV	Località
025006L60	2003	1.12	1.01	Via Gregorio XVI - Ex caserma WFF
025006L48	2003 (ex 2006)	1.18	1.02	Sois
025006L19	2003	1.24	1.01	Castion
025006L05	2003	1.29	1.04	Istituto Catullo
025006L21	2003	1.43	1.02	Sossai
025006L25	2003	1.43	1.01	Pian Longhi
025006L52	2003	1.51	1.05	Bolzano Bellunese
025006L46	2003	1.51	1.05	Salce
025006L29	2003	1.55	1.11	Cet
025006L23	2003	1.61	1.03	Nevegal
025006L22	2003	1.61	1.03	Nevegal
025006L53	2003	1.71	1.04	Tisoi
025006L18	2003	1.71	1.04	Castion
025006L33	2003	1.71	2.5	Visome

025006L28	2003	1.74	1.18	Cirvoi
025006L30	2003	1.77	1.37	Castoi

Valori medi per la zona 2003:

1.51	1.16
------	------

Zona 2004:

IDSPU	ZONA	FA	FV	Località
025006L13	2004	1.37	1.33	Cusighe
025006L14	2004	1.4	1.24	Cusighe
025006L58	2004	1.4	1.24	Cavarzano – Scuola
025006L09	2004	1.41	1.46	Fiammoi
025006L57	2004	1.41	1.46	Cavarzano – Scuola
025006L02	2004	1.49	1.36	Stadio
025006L01	2004	1.49	1.36	Stadio
025006L26	2004	1.51	1.24	Faverga
025006L16	2004	1.62	1.38	Fontanelle
025006L55	2004	1.63	1.23	Cavarzano
025006L07	2004	1.74	1.18	Safforze
025006L56	2004	1.77	1.62	Sargnano
025006L08	2004	1.77	1.37	Fiammoi
025006L27	2004	1.77	1.37	Madeago - Via San Giacomo

Valori medi per la zona 2004:

1.56	1.35
------	------

Zona 2005:

IDSPU	ZONA	FA	FV	Località
025006L11	2005	1.24	1.03	San Pietro in Campo
025006L10	2005	1.66	1.12	Via Tiziano Vecellio
025006L06	2005	1.74	1.18	Villa Montalban
025006L12	2005	1.76	2.01	Via Ugo Neri

Valori medi per la zona 2005:

1.60	1.34
------	------

Zona 2006:

IDSPU	ZONA	FA	FV	Località
025006L50	2006 (ex 2001)	1.58	1.78	Vignole
025006L44	2006 (ex 2001)	1.67	1.63	Via Cordevole
025006L32	2006	1.77	2.79	Visome
025006L43	2006 (ex 2002)	1.89	2.32	Chiesurazza
025006L40	2006	1.96	1.13	Col di Piana
025006L45	2006 (ex 2003)	2.35	1.95	Col di Salce

Valori medi per la zona 2006:

1.87	1.93
------	------

Zona 2007:

IDSPU	ZONA	FA	FV	Località
025006L24	2007	1.24	1.03	Nevegal
025006L31	2007	1.74	1.18	Tisson
025006L20	2007	1.93	1.33	Modolo

Valori medi per la zona 2007:

1.64	1.18
------	------

AREE CON APPROFONDIMENTI DI LIVELLO 3

Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, caratterizzate da diverse classi di fattori di amplificazione, sono state definite sulla base dei risultati derivanti dalle specifiche analisi di Risposta Sismica Locale 2D eseguite con le metodologie descritte al **Cap. 8.3**. Si ricorda che il modello ricavato dalle indagini ed utilizzato per l'analisi è stato esteso lateralmente in modo fittizio al fine di eliminare possibili "effetti di bordo" del modello FEM; per tale motivo tale estensione è opacizzata nelle seguenti immagini e da ritenersi non rappresentativa.

Come desumibile dalle figure seguenti, dai risultati delle analisi condotte i maggiori effetti di amplificazione del moto sismico si riscontrano lungo la sezione A-A', nella porzione meridionale dell'area di studio, in prossimità dell'orlo del terrazzo ed in corrispondenza della scarpata. Ciò appare anche in accordo con le testimonianze storiche relative ai danni causati dal sisma del 29 giugno 1873.

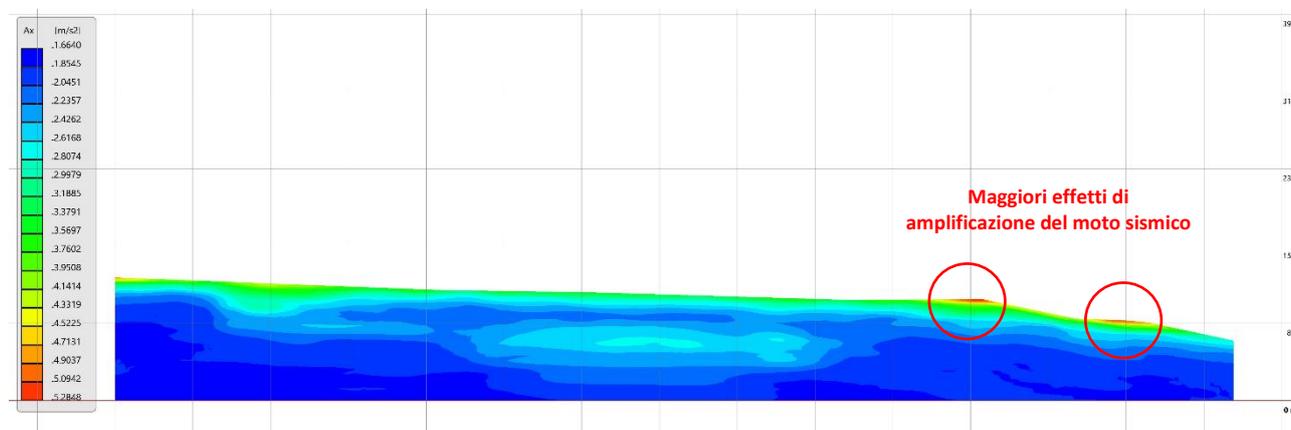


Figura 9.1: Valori di accelerazione $[m/s^2]$ risultanti dall'analisi di RSL 2D lungo la sezione A-A'.

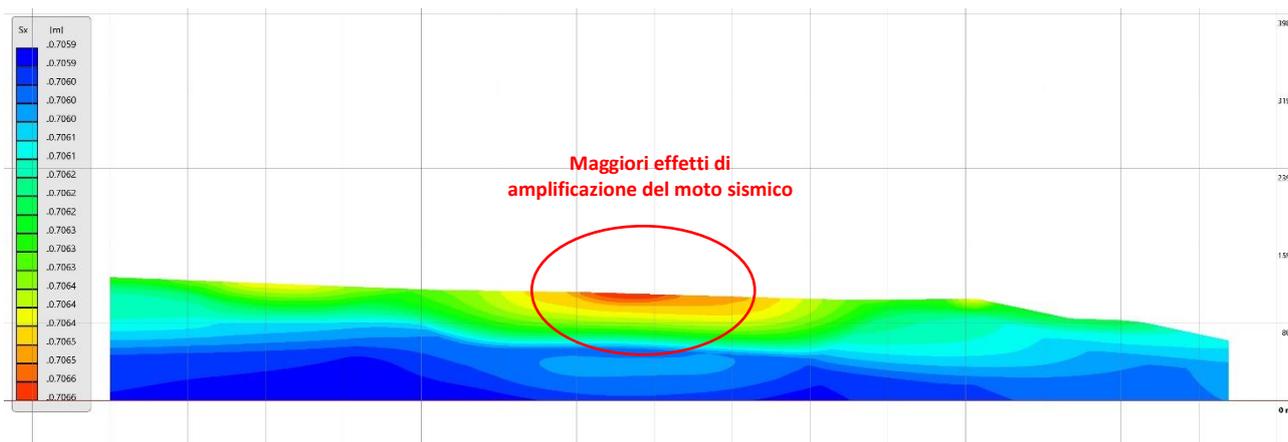


Figura 9.2: Valori di spostamento [m] risultanti dall'analisi di RSL 2D lungo la sezione A-A'.

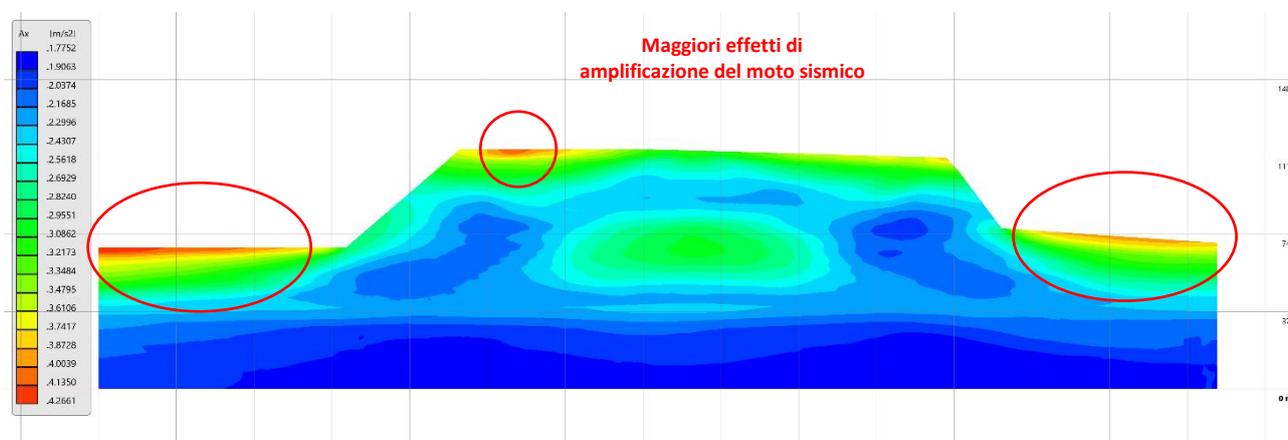


Figura 9.3: Valori di accelerazione [m/s²] risultanti dall'analisi di RSL 2D lungo la sezione B-B'.

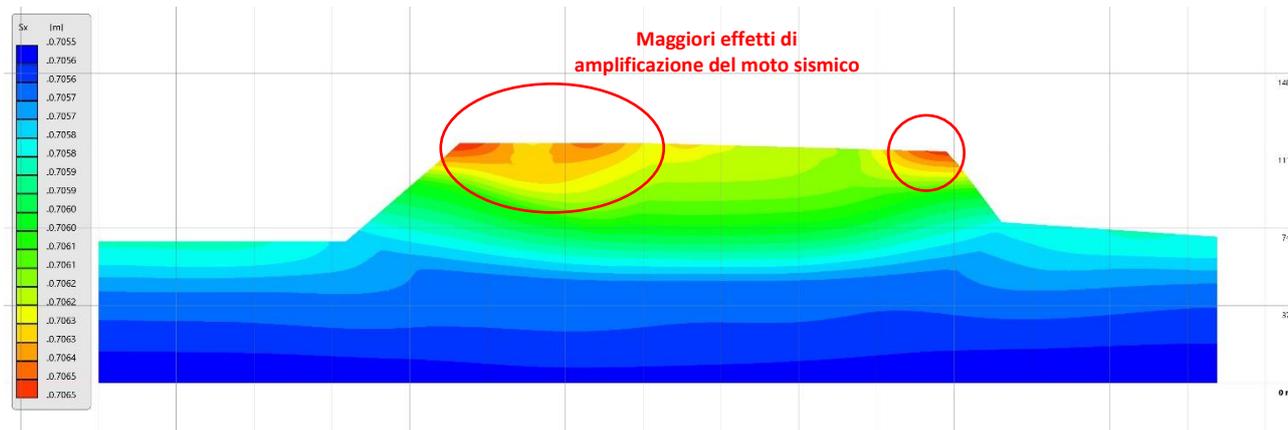


Figura 9.4: Valori di spostamento [m] risultanti dall'analisi di RSL 2D lungo la sezione B-B'.

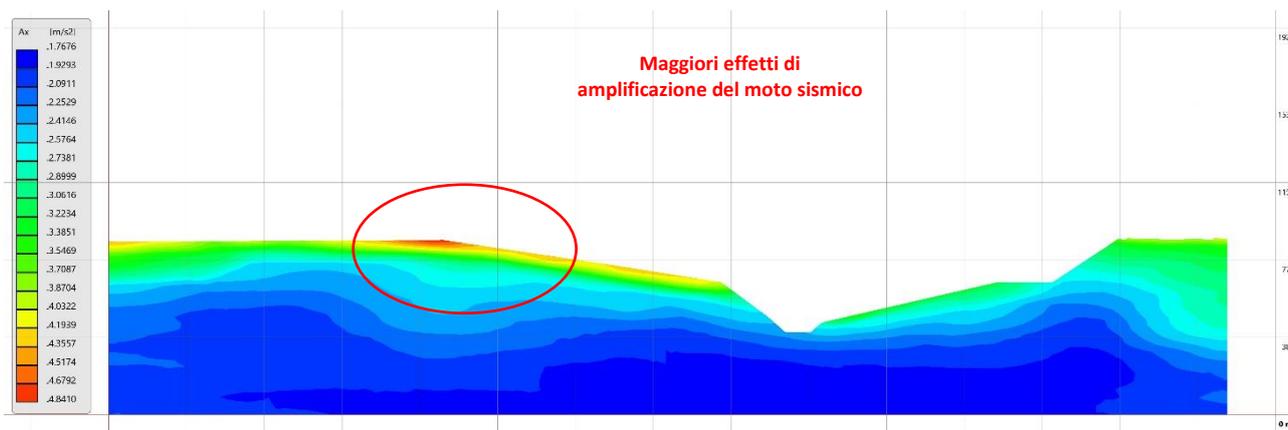


Figura 9.5: Valori di accelerazione [m/s^2] risultanti dall'analisi di RSL 2D lungo la sezione C-C'.

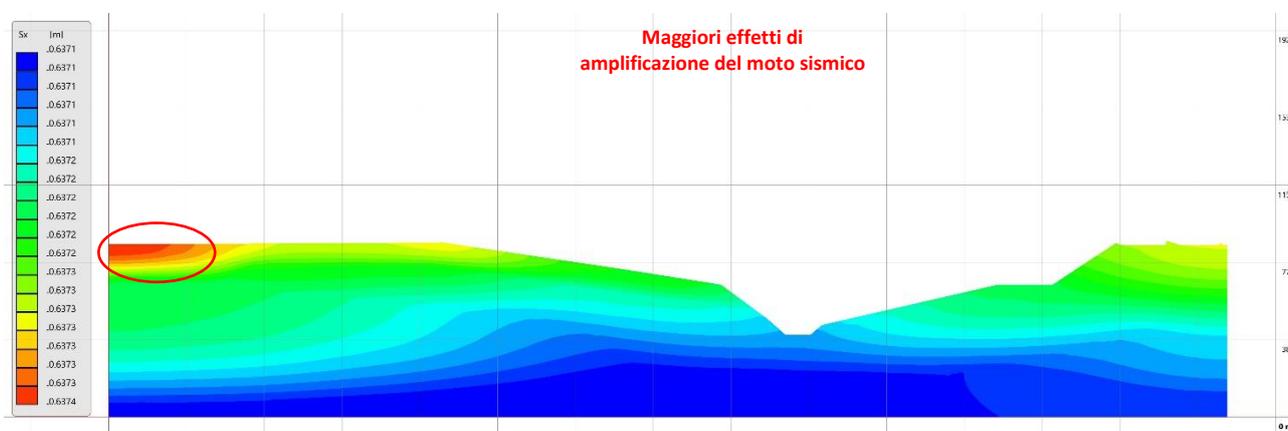


Figura 9.6: Valori di spostamento [m] risultanti dall'analisi di RSL 2D lungo la sezione C-C'.

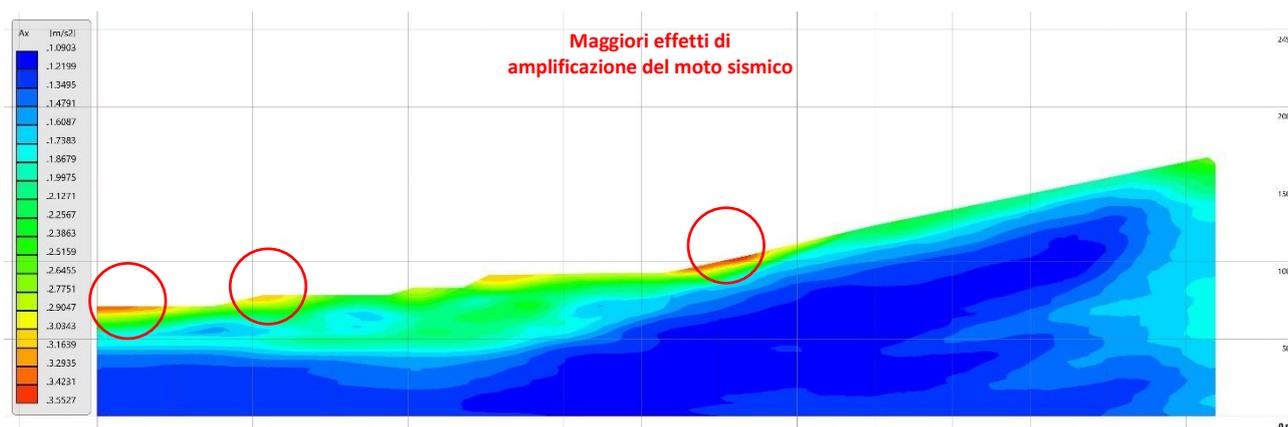


Figura 9.7: Valori di accelerazione [m/s^2] risultanti dall'analisi di RSL 2D lungo la sezione D-D'.

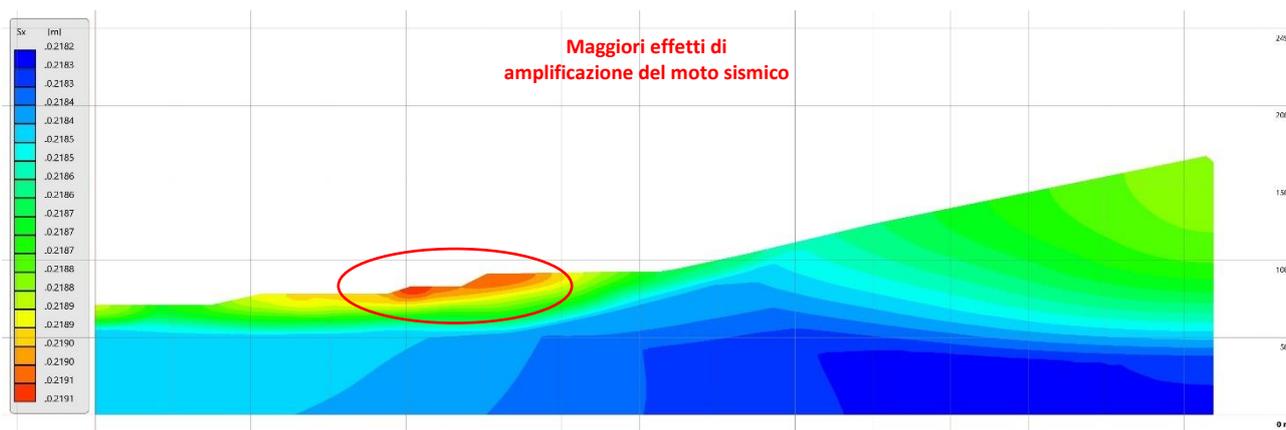


Figura 9.8: Valori di spostamento [m] risultanti dall'analisi di RSL 2D lungo la sezione D-D'.

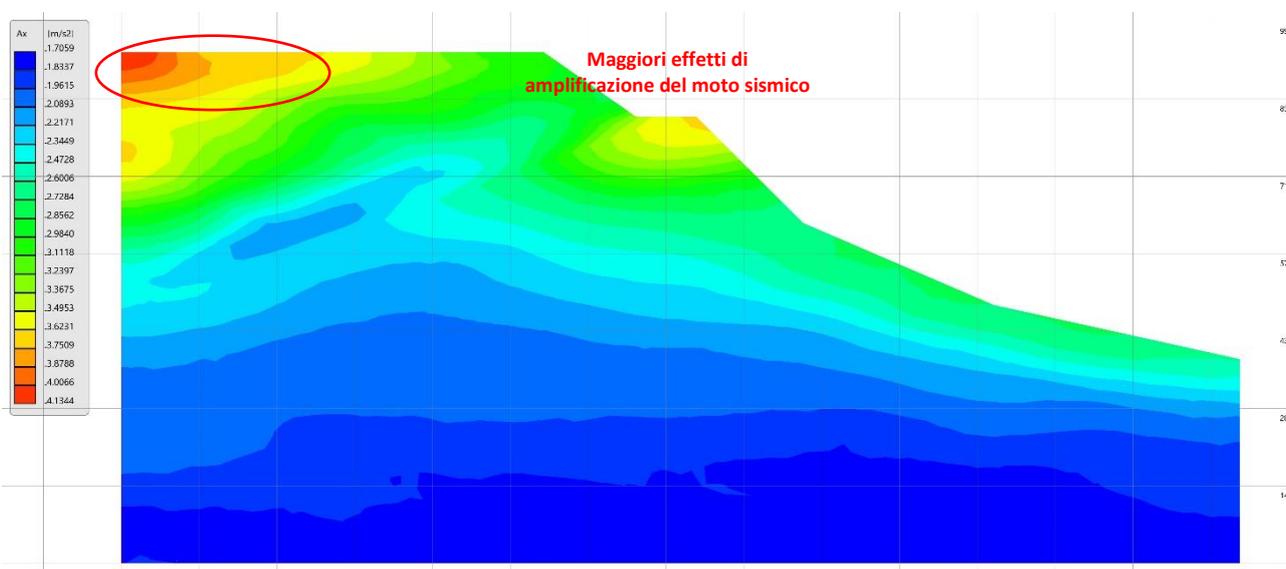


Figura 9.9: Valori di accelerazione [m/s²] risultanti dall'analisi di RSL 2D lungo la sezione E-E'.

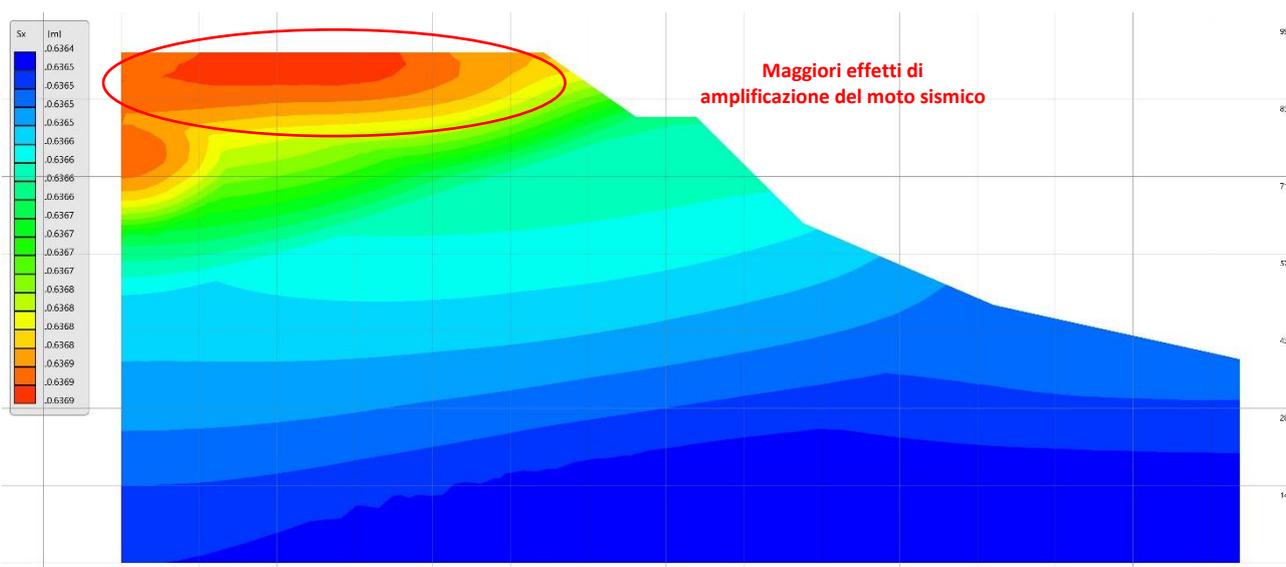


Figura 9.10: Valori di spostamento [m] risultanti dall'analisi di RSL 2D lungo la sezione E-E'.

I valori dei fattori di amplificazione sono stati ricavati in corrispondenza dei punti di controllo definiti lungo le cinque sezioni in fase di analisi. Sono stati ricavati i valori di **FA** (fattore di amplificazione) calcolato per gli intervalli 0.1 - 0.5 s, 0.4 - 0.8 s e 0.7 - 1.1 s.

$$FA = \frac{amax,S}{amax,A}$$

dove **amax,S** rappresenta l'accelerazione massima registrata sulla superficie del deposito e **amax,A** l'accelerazione massima sulla roccia affiorante. Tale fattore può risultare maggiore o minore dell'unità identificando un effetto di amplificazione o di smorzamento.

Come riportato negli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, microzonazione sismica, Versione 4.2" le zone stabili sono caratterizzate sempre da un'amplificazione uguale a 1.0. Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono invece caratterizzate da classi di fattori di amplificazione. Se dalle analisi sviluppate con gli abachi o attraverso simulazioni numeriche vengono riscontrate delle deamplificazioni, per convenzione si attribuirà alla microzona un valore uguale a 1.0.

Di seguito si riportano i valori dei fattori di amplificazione ottenuti in corrispondenza dei diversi punti di controllo.

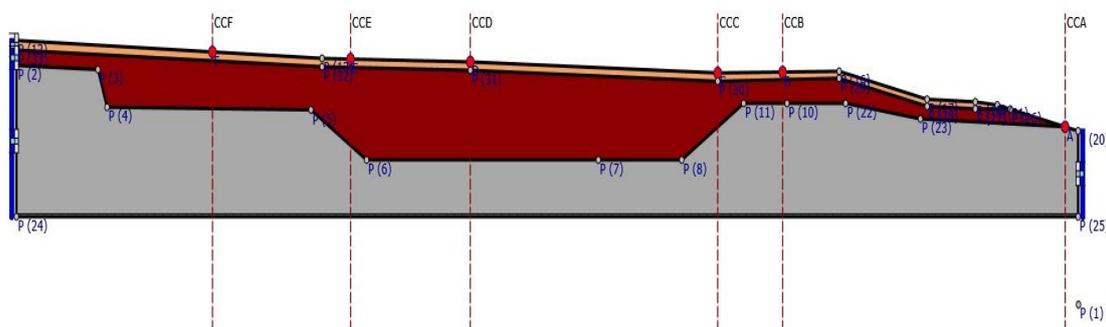


Figura 9.11: Sezione A-A' utilizzata per l'analisi con relativi punti di controllo.

PUNTO DI CONTROLLO	PROGRESSIVA	FA (0.1 - 0.5 s)	FA (0.4 - 0.8 s)	FA (0.7 - 1.1 s)
CCF	211.4859	1.5551	1.7000	1.3657
CCE	360.4574	1.1739	1.4161	1.4540
CCD	489.7258	1.2438	1.6695	1.8374
CCC	756.6083	1.2600	1.4570	1.3775
CCB	826.6007	1.4683	1.3848	1.2385
CCA	1131.4009	0.9502	0.9482	0.9463

Tabella 9.1: Valori del fattore di amplificazione FA calcolato per gli intervalli 0.1 - 0.5, 0.4 - 0.8 e 0.7 - 1.1 s in corrispondenza dei punti di controllo posizionati lungo la sezione A-A'. In verde sono evidenziati i punti utilizzati per la definizione delle zone.

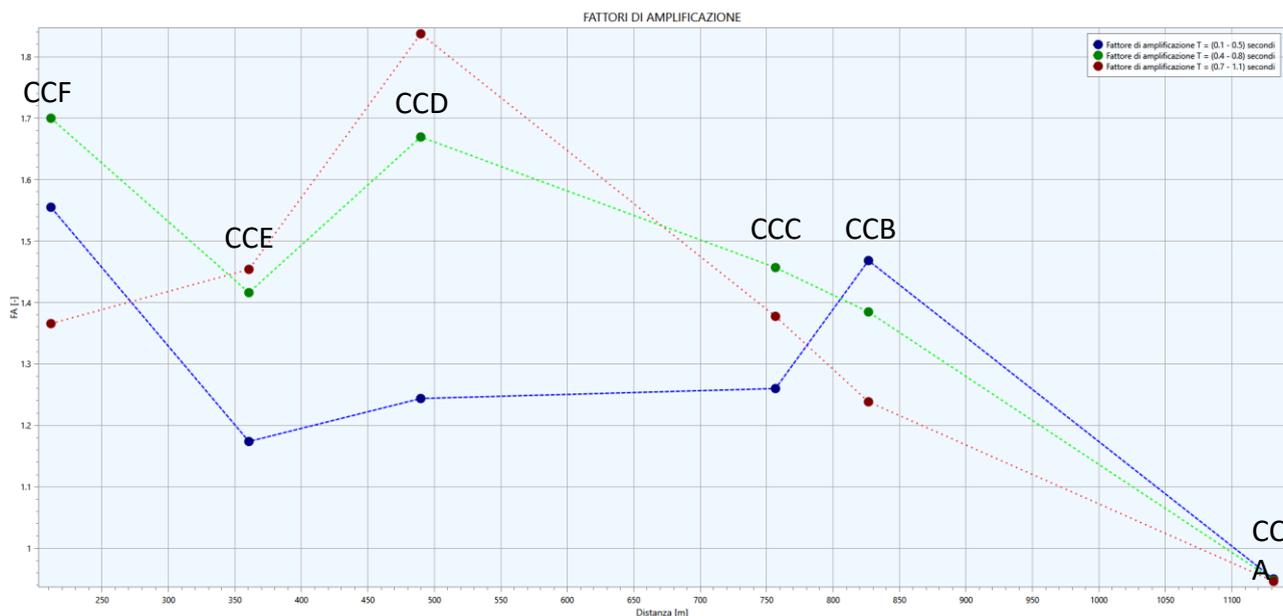


Figura 9.12: Andamento del fattore di amplificazione FA calcolato lungo la sezione A-A'.

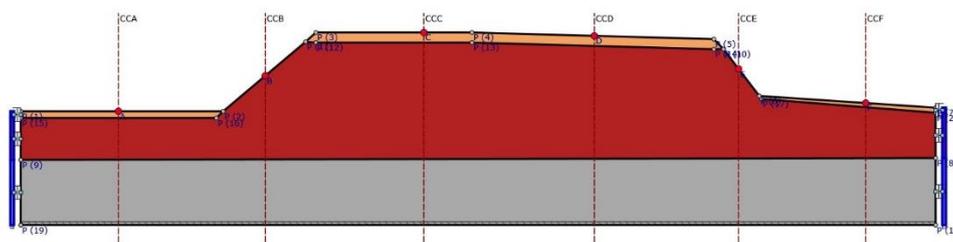


Figura 9.13: Sezione B-B' utilizzata per l'analisi con relativi punti di controllo.

PUNTO DI CONTROLLO	PROGRESSIVA	FA (0.1 – 0.5 s)	FA (0.4 – 0.8 s)	FA (0.7 -1.1 s)
CCA	56.9697	1.6600	1.4878	1.0876
CCB	142.5476	0.8794	1.1832	1.5943
CCC	234.9506	1.3411	1.8686	2.1276
CCD	334.3177	1.2648	1.7811	2.0449
CCE	418.4114	0.9525	1.3396	1.6634
CCF	492.4999	1.6004	1.4571	1.0819

Tabella 9.2: Valori del fattore di amplificazione FA calcolato per gli intervalli 0.1 – 0.5, 0.4 – 0.8 e 0.7 – 1.1 s in corrispondenza dei punti di controllo posizionati lungo la sezione B-B'. In verde sono evidenziati i punti utilizzati per la definizione delle zone.

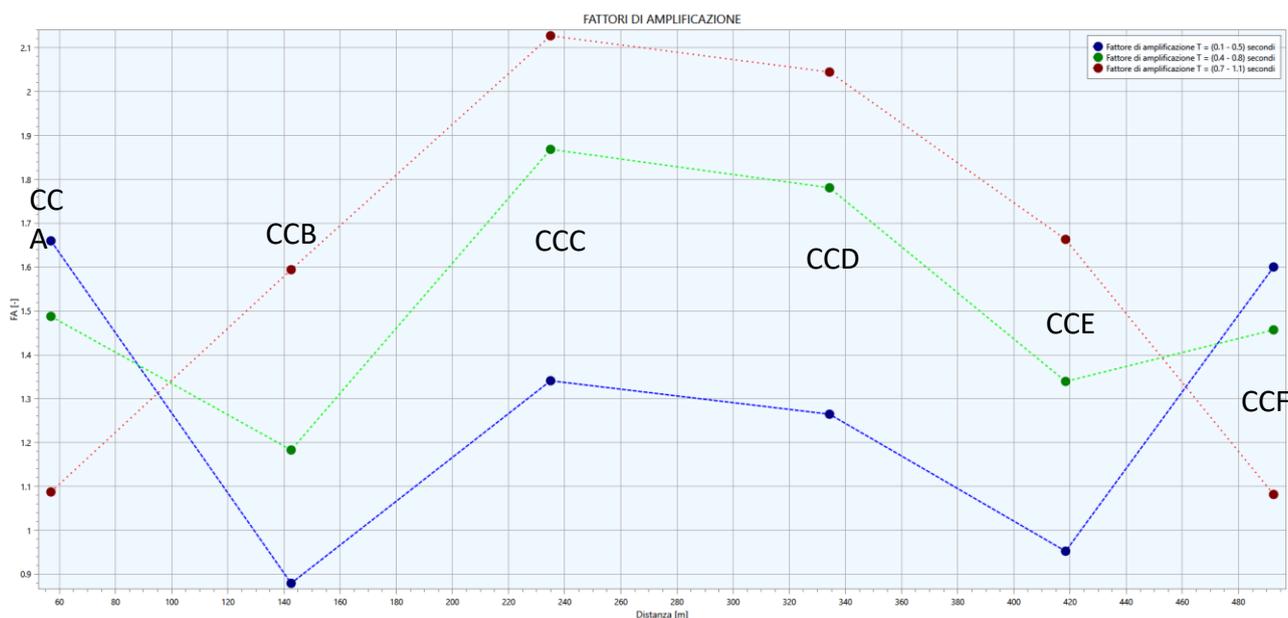


Figura 9.14: Andamento del fattore di amplificazione FA calcolato lungo la sezione B-B'.

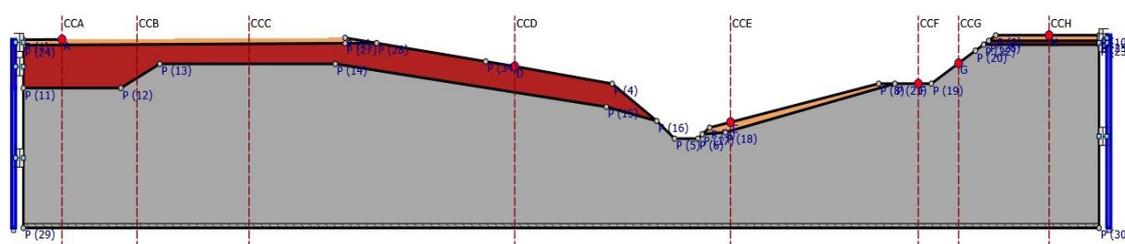


Figura 9.15: Sezione C-C' utilizzata per l'analisi con relativi punti di controllo.

PUNTO DI CONTROLLO	PROGRESSIVA	FA (0.1 – 0.5 s)	FA (0.4 – 0.8 s)	FA (0.7 -1.1 s)
CCA	19.8417	1.5379	1.3479	1.1837
CCB	164.9977	1.5169	1.1739	1.1093
CCD	252.0311	1.3363	1.0126	1.0247
CCE	362.6925	0.8690	0.7908	0.8905
CCF	458.9790	0.9187	1.0543	1.0230
CCG	479.6585	1.0895	1.2018	1.0910
CCH	526.0779	1.3679	1.2835	1.1306

Tabella 9.3: Valori del fattore di amplificazione FA calcolato per gli intervalli 0.1 – 0.5, 0.4 – 0.8 e 0.7 – 1.1 s in corrispondenza dei punti di controllo posizionati lungo la sezione C-C'.

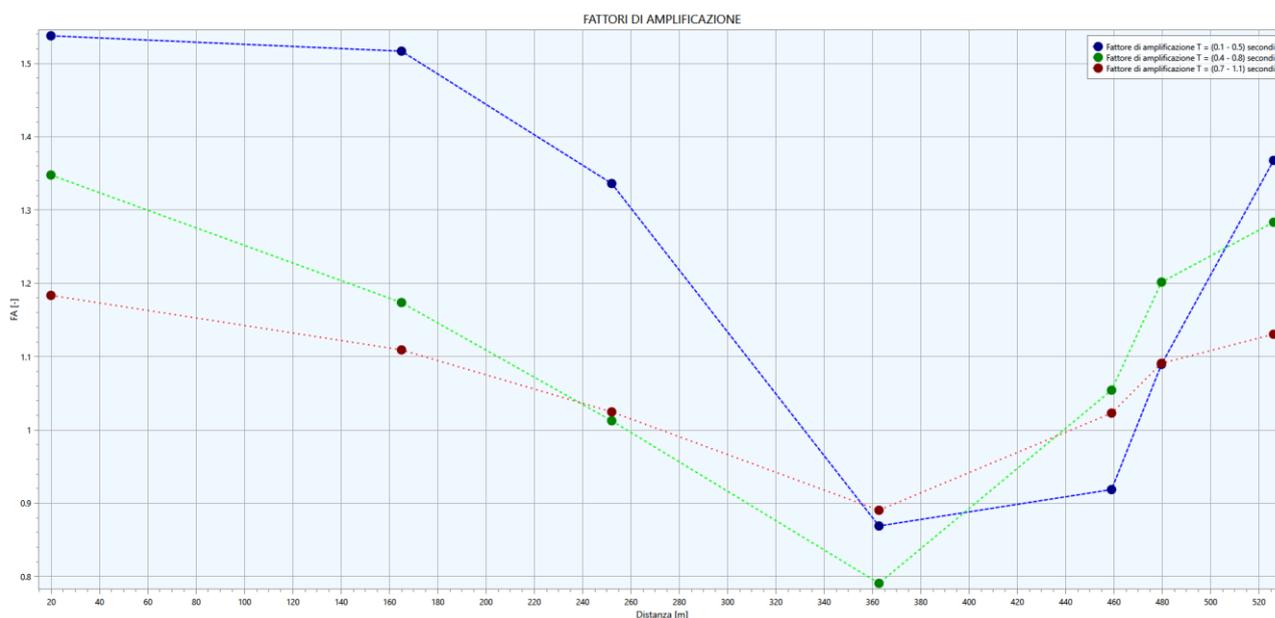


Figura 9.16: Andamento del fattore di amplificazione FA calcolato lungo la sezione C-C'.

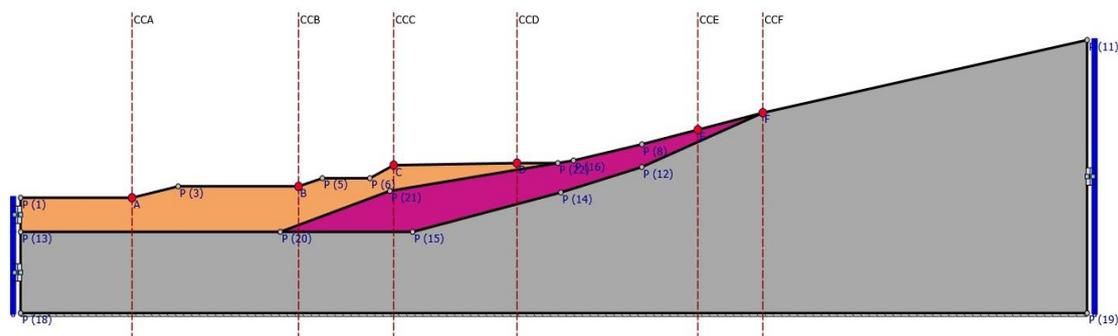


Figura 9.17: Sezione D-D' utilizzata per l'analisi con relativi punti di controllo.

PUNTO DI CONTROLLO	PROGRESSIVA	FA (0.1 - 0.5 s)	FA (0.4 - 0.8 s)	FA (0.7 - 1.1 s)
CCA	75.0000	1.2171	1.5422	1.3448
CCB	187.0220	1.2214	1.9063	1.5216
CCC	251.0586	1.6202	2.2258	1.6031
CCD	334.0000	1.3715	1.3644	1.1496
CCE	455.7024	1.1274	0.8815	0.9825
CCF	499.4380	0.9478	0.8631	1.0322

Tabella 9.4: Valori del fattore di amplificazione FA calcolato per gli intervalli 0.1 - 0.5, 0.4 - 0.8 e 0.7 - 1.1 s in corrispondenza dei punti di controllo posizionati lungo la sezione D-D'.

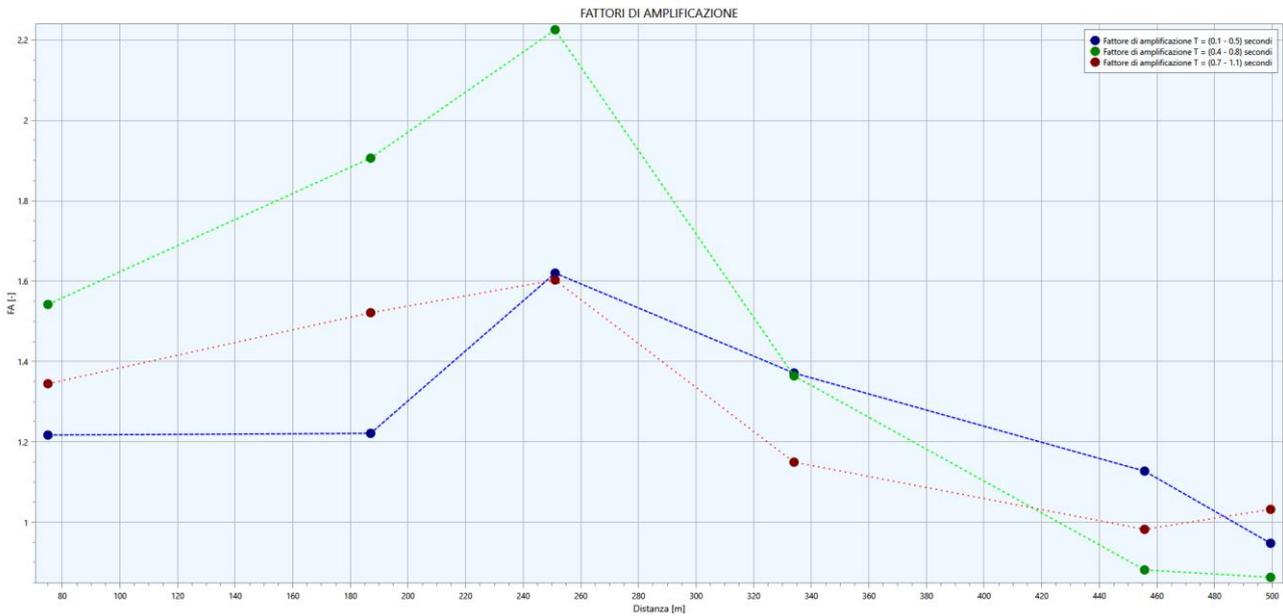


Figura 9.18: Andamento del fattore di amplificazione FA calcolato lungo la sezione D-D'.

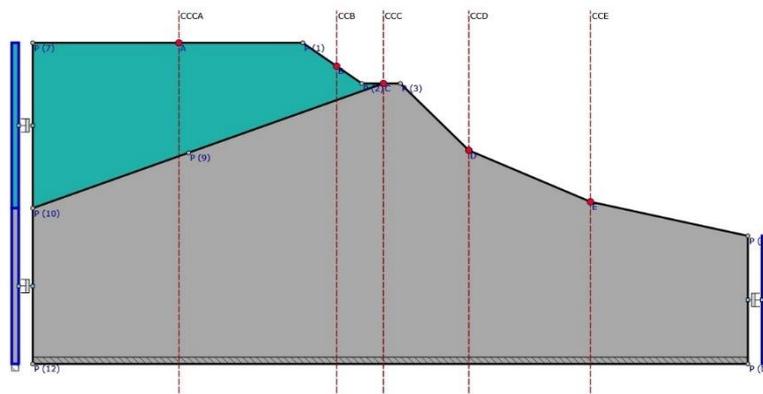


Figura 9.19: Sezione E-E' utilizzata per l'analisi con relativi punti di controllo.

PUNTO DI CONTROLLO	PROGRESSIVA	FA (0.1 - 0.5 s)	FA (0.4 - 0.8 s)	FA (0.7 -1.1 s)
CCA	41.6847	1.4470	1.8700	1.4772
CCB	86.6527	1.0950	1.3057	1.2361
CCC	100.0000	1.0954	1.0119	1.0735
CCD	124.3631	0.9295	0.8993	0.9978
CCE	159.0542	0.8032	0.7874	0.8969

Tabella 9.5: Valori del fattore di amplificazione FA calcolato per gli intervalli 0.1 – 0.5, 0.4 – 0.8 e 0.7 – 1.1 s in corrispondenza dei punti di controllo posizionati lungo la sezione E-E'.

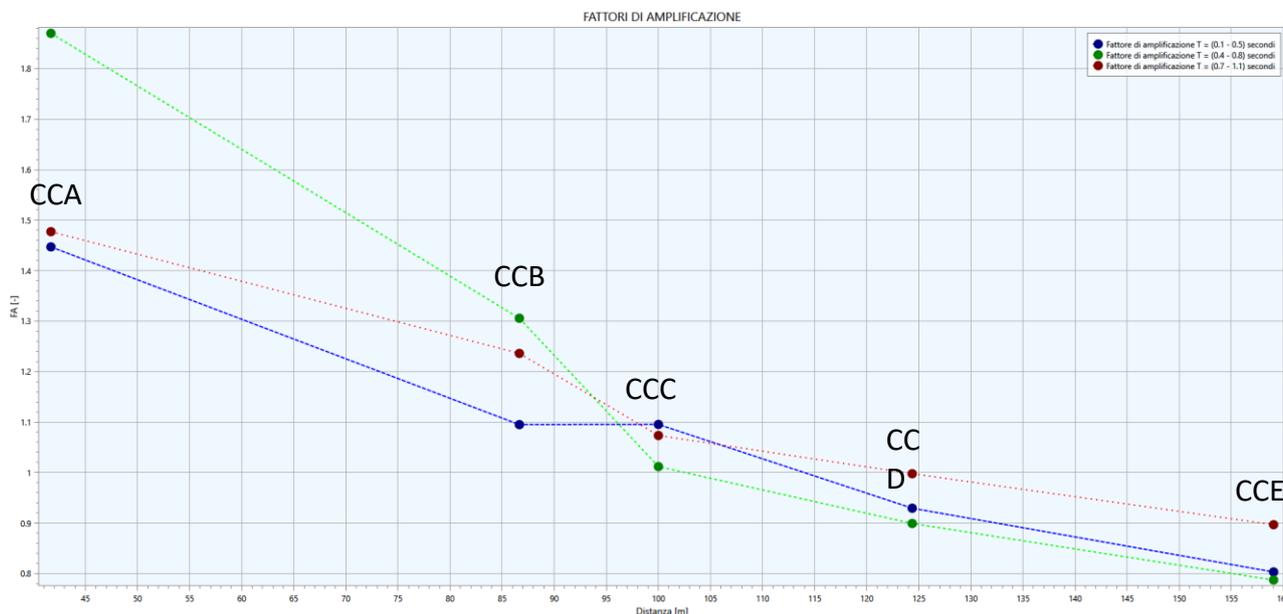


Figura 9.20: Andamento del fattore di amplificazione FA calcolato lungo la sezione E-E'.

I valori più elevati dei fattori di amplificazione si registrano lungo la sezione A-A', nella porzione settentrionale dell'area di studio (FA = 1.56) e in prossimità dell'orlo del terrazzo meridionale (FA = 1.47); agli estremi della sezione B-B' (FA = 1.66 e 1.60); in corrispondenza dell'estremo centro-meridionale della sezione C-C' (FA = 1.54); nella porzione centrale della sezione D-D' (FA = 1.62) e in corrispondenza dell'abitato di Antole, nella Sezione E-E' (FA = 1.45). Sulla base della distribuzione dei fattori di amplificazione sono state individuate **5 classi di fattore di amplificazione**, oltre alla classe con FA=1, distribuite secondo fasce essenzialmente parallele.

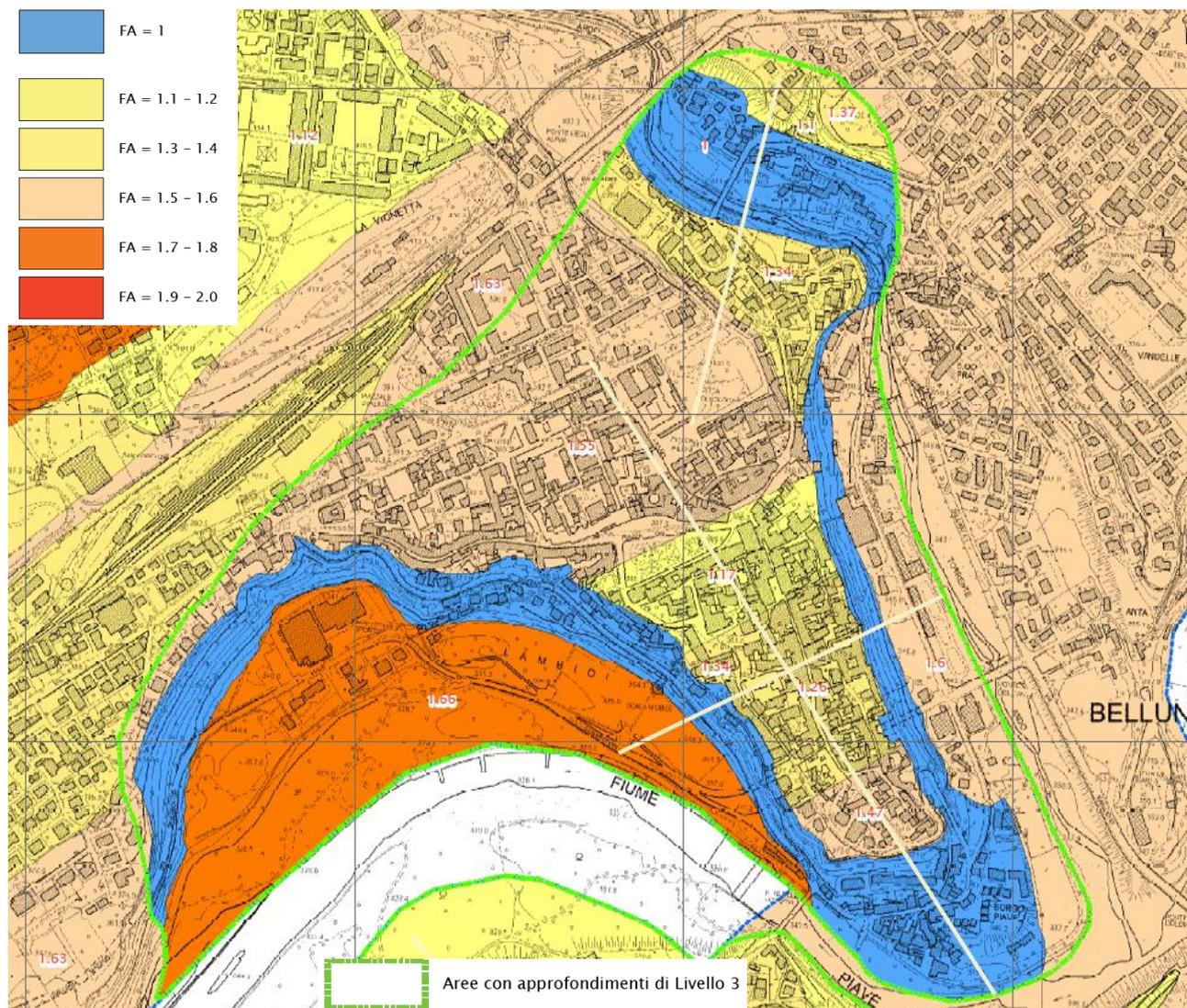


Figura 9.21: Estratto fuori scala della Carta di MS con evidenziata l'area del centro di Belluno con approfondimenti di Livello 3.

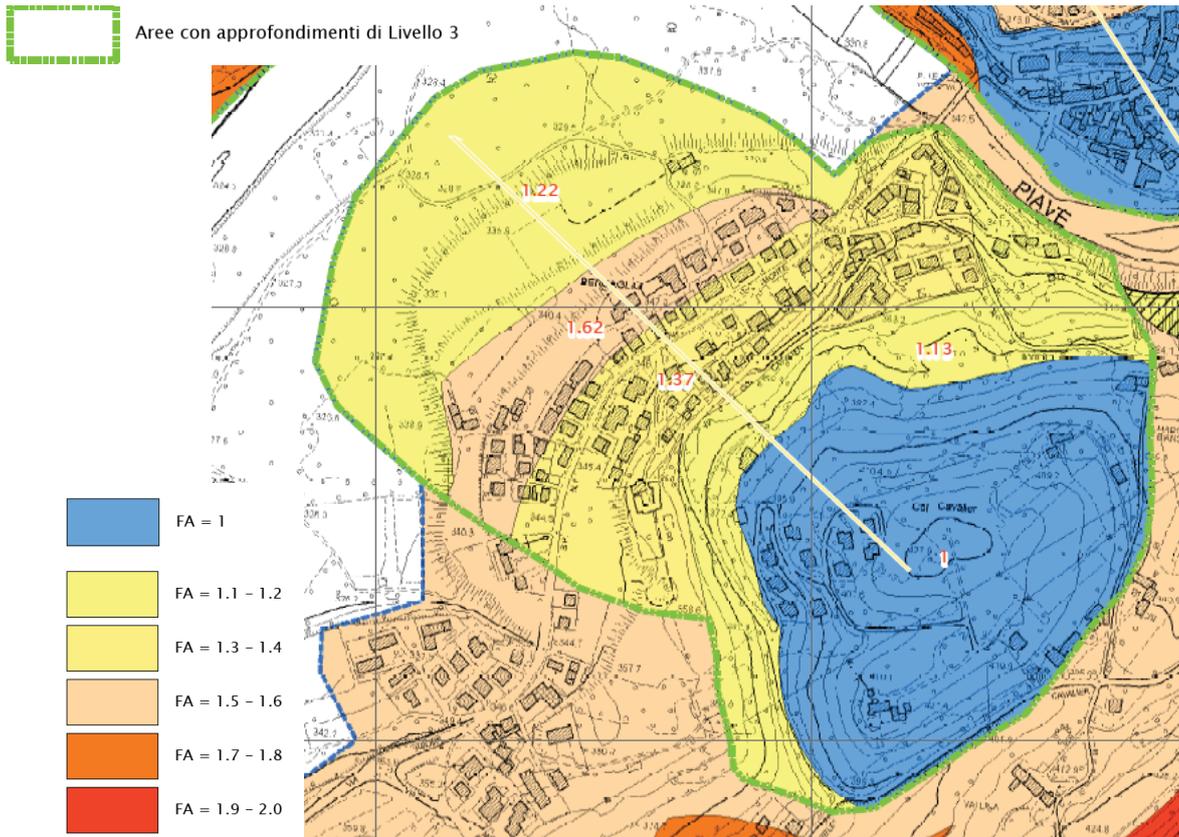


Figura 9.22: Estratto fuori scala della Carta di MS con evidenziata l'area di Bersaglio con approfondimenti di Livello 3.

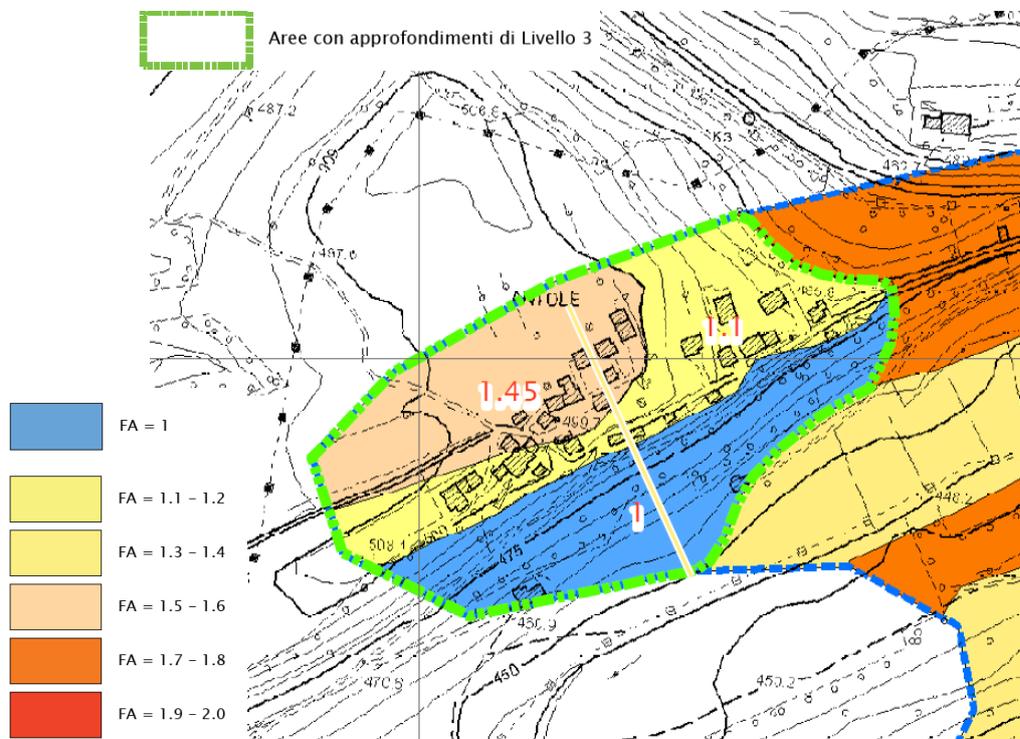


Figura 9.23: Estratto fuori scala della Carta di MS con evidenziata l'area di Antole con approfondimenti di Livello 3.

Di seguito si riportano le principali caratteristiche delle diverse zone individuate, con i relativi valori del fattore di amplificazione e spettri di risposta ottenuti dalle analisi di RSL 2D effettuate. Gli spettri di risposta elastici in superficie, in pseudoaccelerazione e in pseudovelocità, rappresentativi di ogni zona in formato txt sono stati archiviati nella cartella "Spettri" della struttura di archiviazione, così come previsto da Standard v. 4.2.

Classe FA = 1.0 ($0.00 \leq FA \leq 1.04$)

La classe caratterizzata dai valori di FA (0.1 – 0.5 s), compresi tra 0.00 e 1.04, è rappresentata dalla fascia alla base della scarpata del terrazzo (FA = 0.879, 0.953 e 0.950), oltre che dalla fascia disposta alla base dei versanti a monte dell'abitato di Bersaglio (FA = 0.948) e a valle dell'abitato di Antole (FA = 0.930 e 0.803).

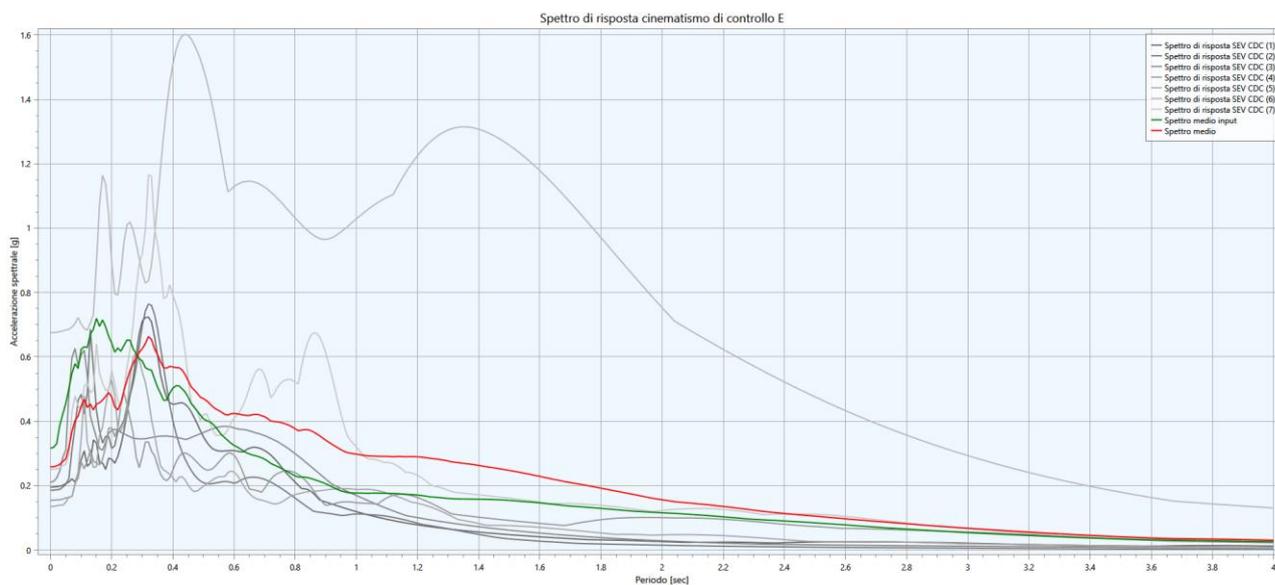


Figura 9.24: Spettro medio di risposta elastico in accelerazione in input (in verde) e in output (in rosso) rappresentativo della zona caratterizzata da FA = 0.953 - fascia della scarpata del terrazzo (Punto di controllo C, sezione B-B).

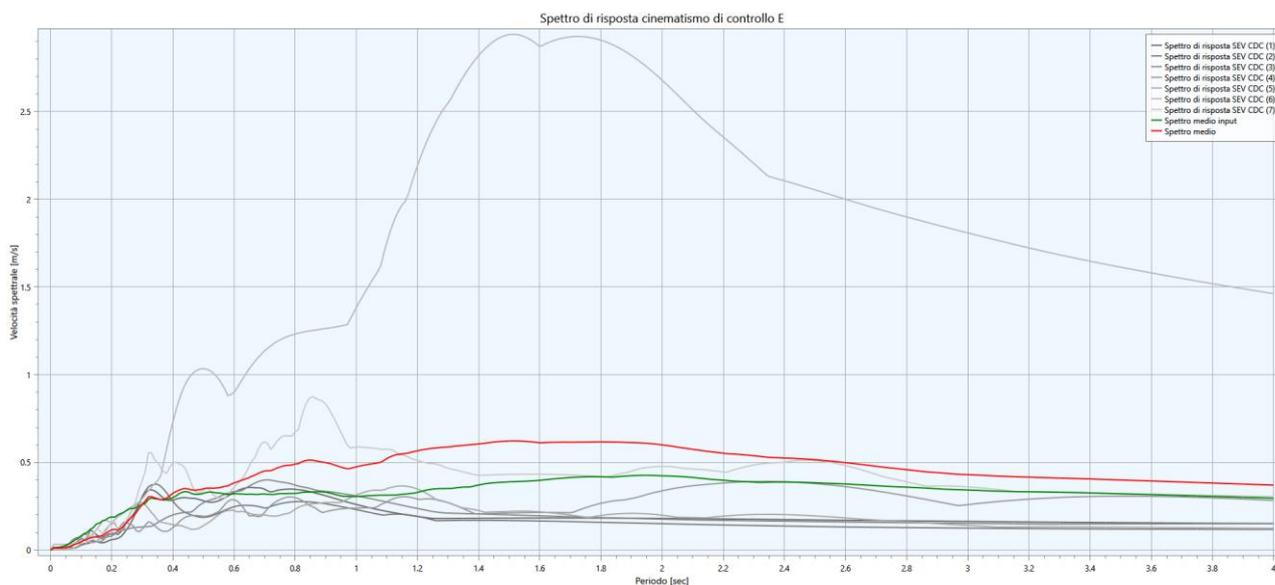


Figura 9.25: Spettro medio di risposta elastico in Velocità in input (in verde) e in output (in rosso) rappresentativo della zona caratterizzata da FA = 0.953 - fascia della scarpata del terrazzo (Punto di controllo C, sezione B-B).

Classe FA = 1.1-1.2 ($1.05 \leq FA \leq 1.24$)

La classe caratterizzata da valori di FA (0.1 – 0.5 s) compresi tra 1.05 e 1.04, è rappresentata da una fascia in corrispondenza del centro storico di Belluno, a valle dell'abitato di Bersaglio in corrispondenza di un terrazzo alluvionale e in corrispondenza dell'abitato di Antole, a cui è stato attribuito il valore di **FA = 1.17**, calcolato per Piazza dei Martiri. In quest'area, infatti, rispetto alla fascia posta a valle, all'effetto dell'amplificazione stratigrafica si somma quello dell'amplificazione topografica, il che giustifica i valori più elevati del fattore di amplificazione. Questa classe comprende inoltre la fascia a valle dell'abitato di Bersaglio (FA = 1.22) e dell'abitato di Antole (FA = 1.10)

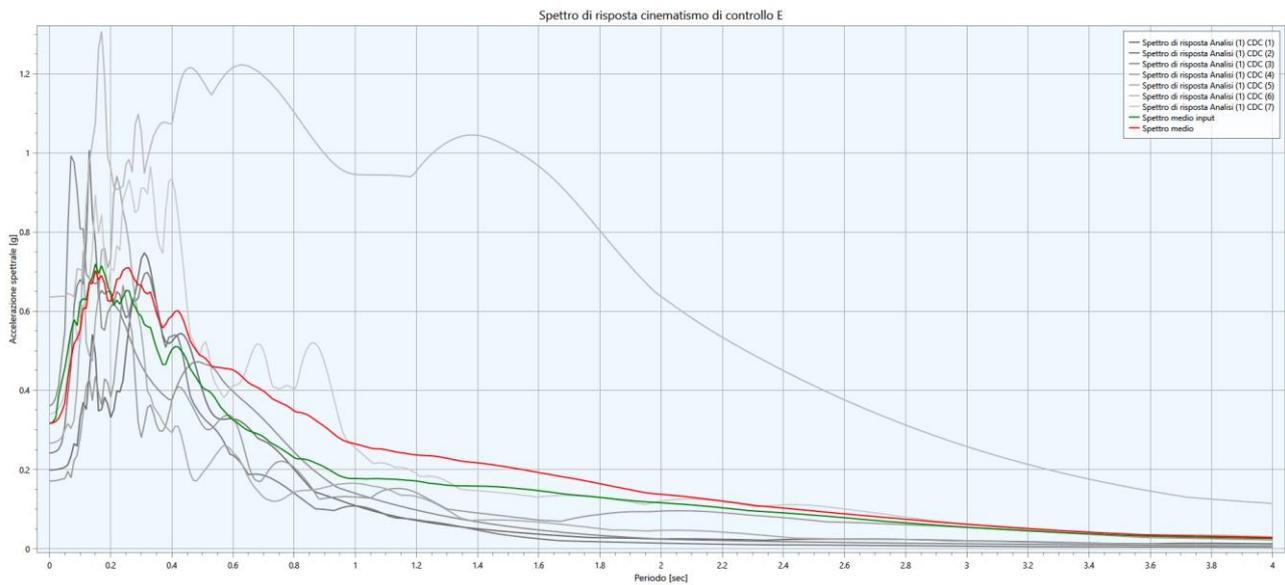


Figura 9.26: Spettro medio di risposta elastica in accelerazione in input (in verde) e in output (in rosso) rappresentativo della zona caratterizzata da FA = 1.17 - fascia della scarpata del terrazzo (Punto di controllo E, sezione A-A).

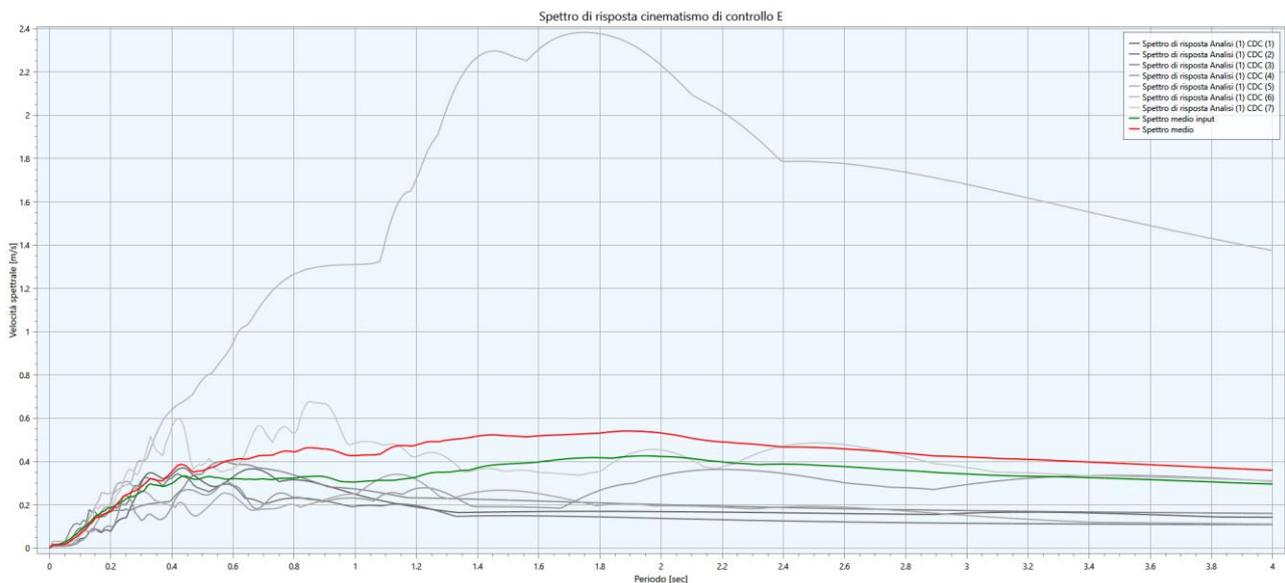


Figura 9.27: Spettro medio di risposta elastica in velocità in input (in verde) e in output (in rosso) rappresentativo della zona caratterizzata da FA = 1.17 - fascia della scarpata del terrazzo (Punto di controllo E, sezione A-A).

Classe FA = 1.3-1.4 ($1.25 \leq FA \leq 1.44$)

La classe caratterizzata da valori di FA (0.1 – 0.5 s) compresi tra 1.25 e 1.44, è rappresentata da una fascia che si sviluppa in corrispondenza di Piazza Duomo (FA = 1.24, 1.34 e 1.26), lungo via S. Biagio (in destra idrografica del T. Ardo) (FA = 1.34) e a monte della loc. Ponte Nuovo (in sinistra idrografica del T. Ardo) (FA = 1.37).

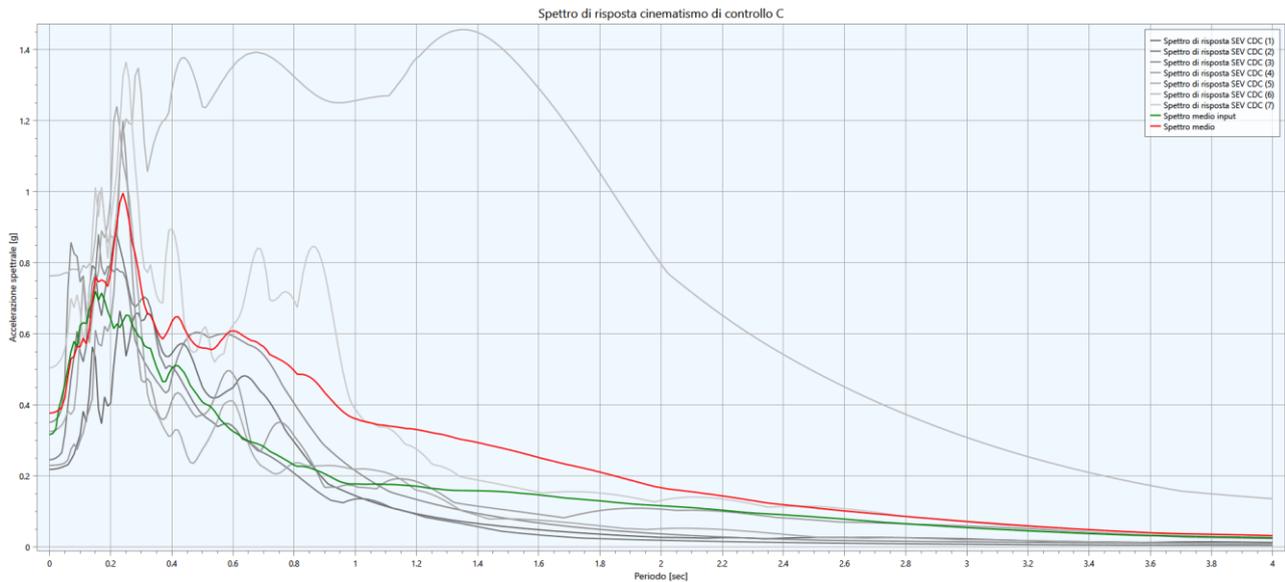


Figura 9.28: Spettro medio di risposta elastica in accelerazione in input (in verde) e in output (in rosso) rappresentativo della zona caratterizzata da FA = 1.34 - fascia della scarpata del terrazzo (Punto di controllo C, sezione B-B').

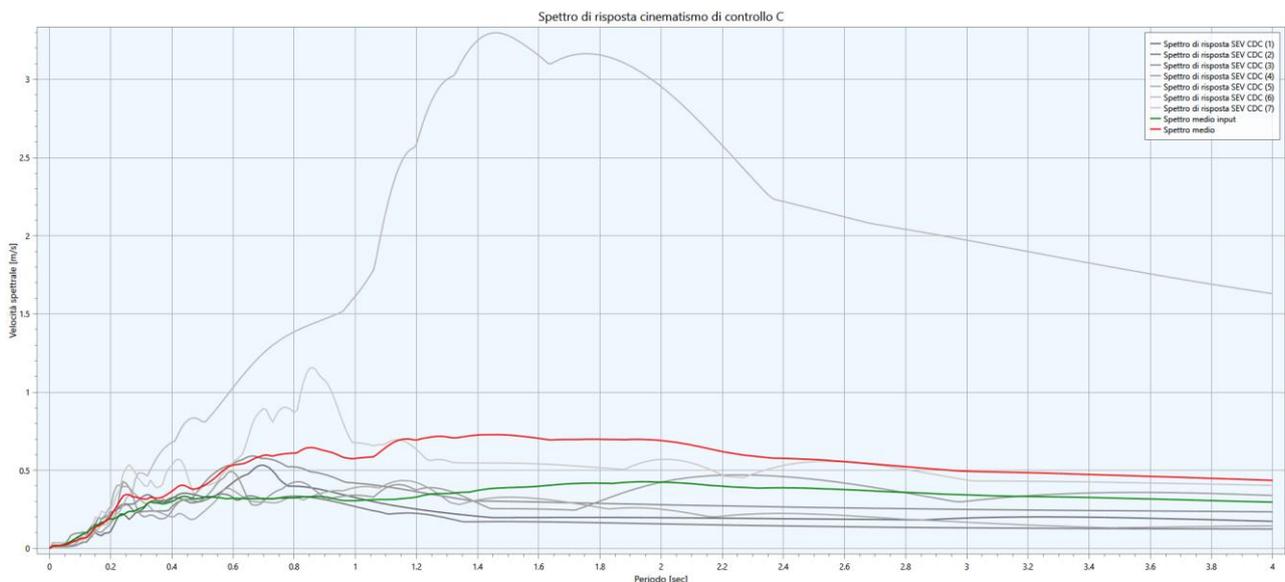


Figura 9.29: Spettro medio di risposta elastica in velocità in input (in verde) e in output (in rosso) rappresentativo della zona caratterizzata da FA = 1.34 - fascia della scarpata del terrazzo (Punto di controllo C, sezione B-B').

Classe FA = 1.5-1.6 ($1.45 \leq FA \leq 1.64$)

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Via Don Angelo Arnoldo, 18

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

La classe caratterizzata da valori di FA (0.1 – 0.5 s) compresi tra 1.45 e 1.64, è rappresentata da un'ampia fascia che si sviluppa a nord di Piazza dei Martiri (FA = 1.56, 1.54 e 1.53), a monte dio Borgo Piave (FA = 1.49), lungo l'abitato di Bersaglio (FA = 1.62) e a monte dell'abitato di Antole (FA = 1.45).

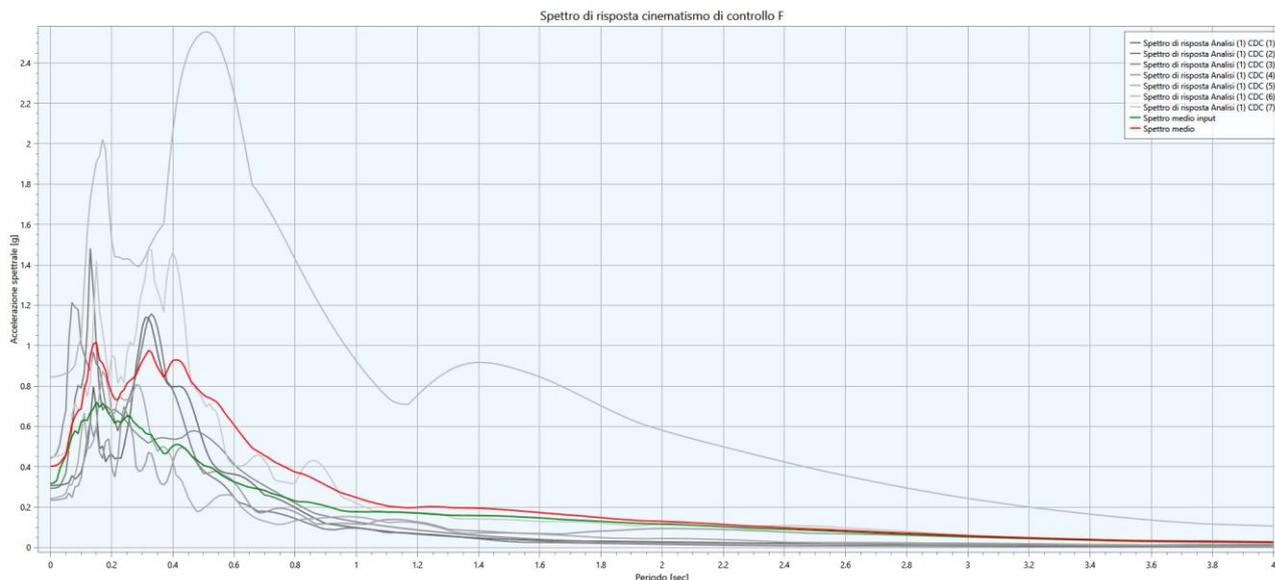


Figura 9.30: Spettro medio di risposta elastico in accelerazione in input (in verde) e in output (in rosso) rappresentativo della zona caratterizzata da FA = 1.56 - fascia della scarpata del terrazzo (Punto di controllo F, sezione A-A).

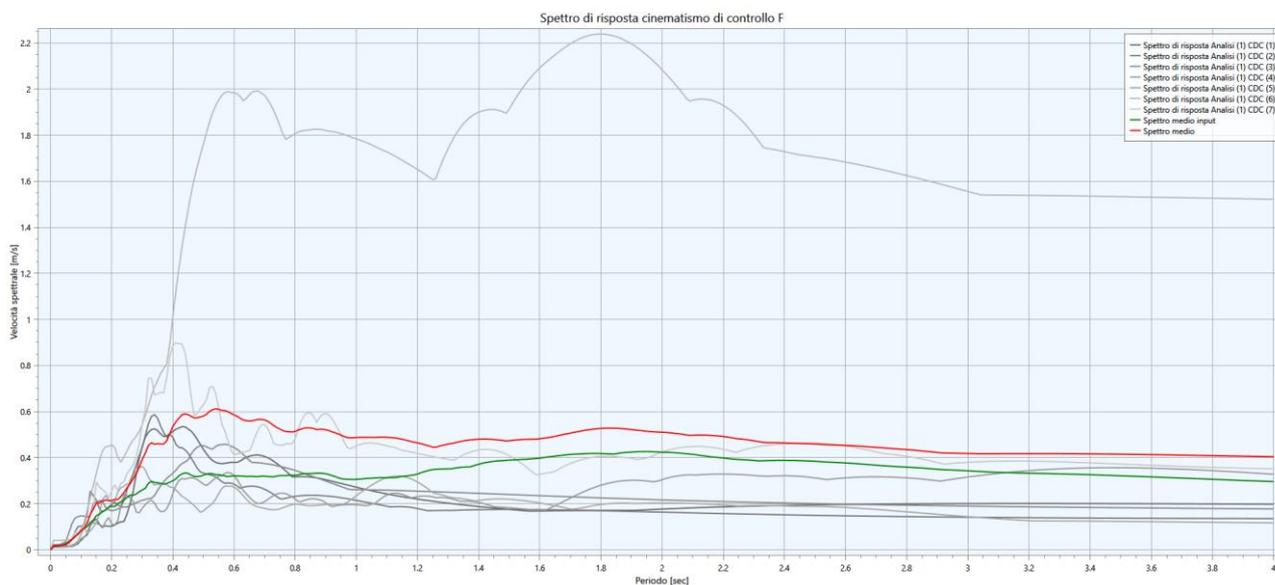


Figura 9.31: Spettro medio di risposta elastico in velocità in input (in verde) e in output (in rosso) rappresentativo della zona caratterizzata da FA = 1.56 - fascia della scarpata del terrazzo (Punto di controllo F, sezione A-A).

Classe FA = 1.7-1.8 ($1.65 \leq FA \leq 1.84$)

La classe caratterizzata da valori di FA (0.1 – 0.5 s) compresi tra 1.65 e 1.84 (FA = 1.66 e 1.60) è rappresentata da una fascia che si sviluppa lungo i lati W e E del centro storico di belluno in corrispondenza del terrazzo fluviale più recente.

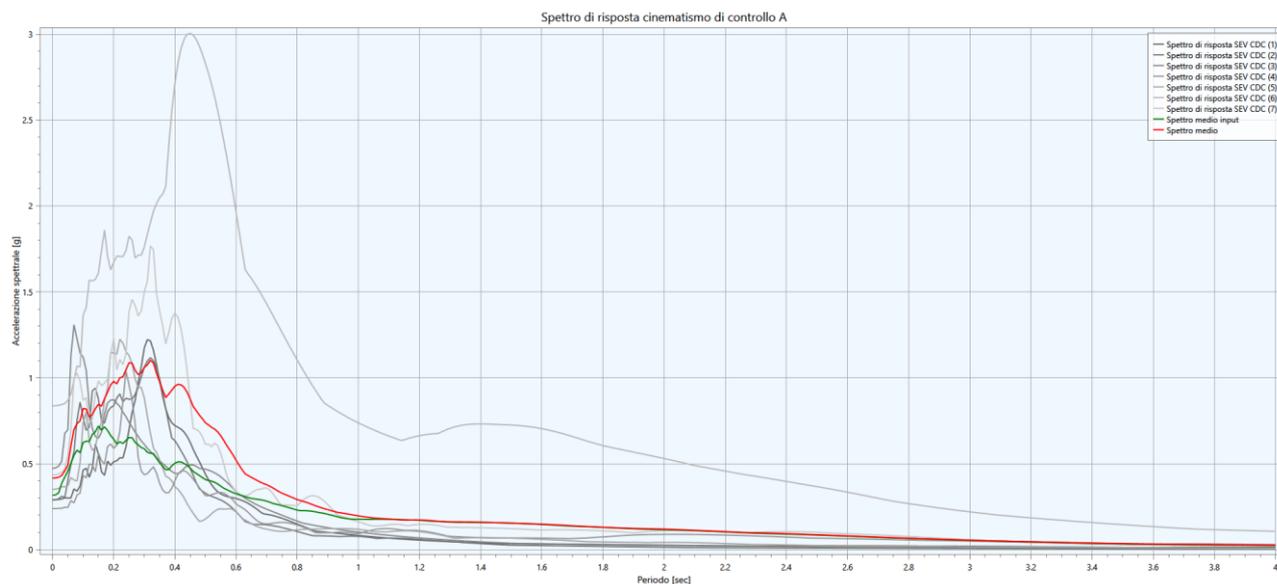


Figura 9.32: Spettro medio di risposta elastica in accelerazione in input (in verde) e in output (in rosso) rappresentativo della zona caratterizzata da $FA = 1.66$ - fascia della scarpata del terrazzo (Punto di controllo A, sezione B-B').

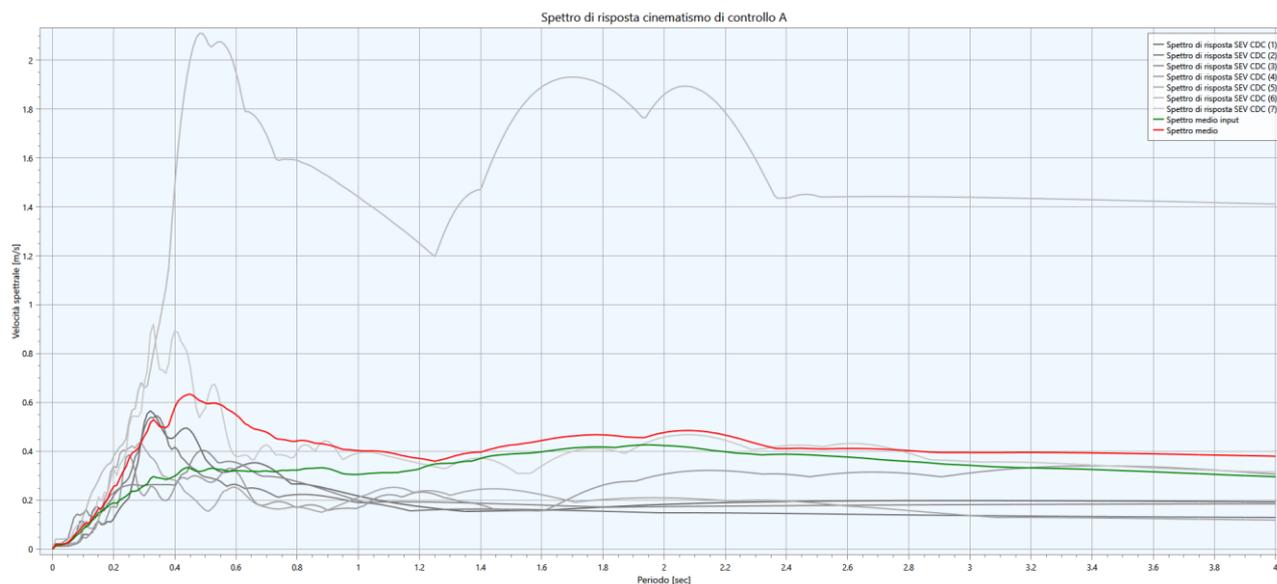


Figura 9.33: Spettro medio di risposta elastica in velocità in input (in verde) e in output (in rosso) rappresentativo della zona caratterizzata da $FA = 1.66$ - fascia della scarpata del terrazzo (Punto di controllo A, sezione B-B').

Parametri di amplificazione

Non avendo ancora fornito indicazioni la Regione Veneto né la Regione Friuli-Venezia Giulia su quale parametro utilizzare per quantificare l'amplificazione, si è scelto di utilizzare **FA**, ovvero il valore del fattore di amplificazione a bassi periodi nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s.

ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ (LIVELLO 2)

Nella Carta di Microzonazione Sismica sono state riportate alcune zone di attenzione per instabilità di versante, derivanti dai precedenti livelli di MS, sulle quali non sono stati effettuati approfondimenti di livello 3. Si tratta infatti di fenomeni di instabilità classificati come "inattivi" o "indefiniti" spesso al di fuori di aree urbanizzate/urbanizzabili. Nella Carta di MS elaborata le zone suscettibili di instabilità per instabilità di

dal Dott. Doglioni Nicolò nel 2013 a supporto della “Variante al Territorio Rurale del 2013” e depositata agli atti del Comune di Belluno.

L’area in questione è stata compresa nelle zone con approfondimenti di Livello 3. L’area rientra tra le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e le sono stati quindi assegnati valori del fattore di amplificazione derivanti dalle specifiche analisi di RSL 2D.

10. Commenti finali e criticità

I dati diretti e studi specifici per l’area di studio non presentano una distribuzione uniforme lasciando così alcune aree prive di dati diretti o caratterizzati da profondità di indagine insufficiente per il presente studio. Le informazioni sono state ricavate per lo più da studi a scala regionale o macroregionale, mentre per l’analisi a scala di dettaglio è stato necessario ricorrere, nel presente e nei precedenti livelli di approfondimento, all’esecuzione di numerose indagini geofisiche, per risolvere le incertezze del modello sintetico iniziale.

Le interpretazioni riguardano in particolare la sismo-stratigrafia, alla base delle modellazioni per la definizione delle amplificazioni locali.

Una prima stima degli spessori dei terreni di copertura e del loro stato di addensamento è stata possibile grazie alle indagini eseguite nell’ambito degli approfondimenti di 2° Livello, anche se permanevano molte incertezze a causa dei limiti intrinseci dei metodi e della variabilità geolitologica e morfologica, con particolare riferimento all’andamento del substrato roccioso flyschoidale. Allo scopo di colmare, almeno in parte, dette incertezze, sono state eseguite specifiche indagini geofisiche con diversi metodi sismici. L’interpretazione dell’andamento del substrato verso il centro della valle, la potenza della copertura sedimentaria quaternaria e la parametrizzazione di tali strati in prospettiva sismica, in corrispondenza del centro storico di Belluno, è stata resa quasi univoca grazie all’esecuzione di ben 5 indagini dipendenti da fonti differenti presso ogni sito di indagine; dette indagini sono state elaborate congiuntamente mediante specifici software. La sismica a rifrazione in particolare ha permesso, lungo tre profili, di tracciare l’andamento dell’interfaccia roccia-detrito e parametrizzare le caratteristiche fisiche del deposito.

Il Livello 3 di approfondimento si è reso necessario poiché sono state individuate delle zone caratterizzate da un contesto geologico complesso non esplicitabile con una modellazione 1D. In particolare, sono state prese in esame delle situazioni ritenute rappresentative per il contesto comunale, in corrispondenza del centro storico di Belluno e degli abitati di Bersaglio e Antole. Inoltre, essendo questi collocati sulla superficie di tre terrazzi al margine della valle alluvionale del Piave, alle normali cause di amplificazione del moto sismico si sommano gli “effetti di bordo” connessi alla geometria del problema.

Dai risultati delle analisi di RSL 2D condotte, i maggiori effetti di amplificazione del moto sismico si riscontrano lungo la sezione A-A’, passante per il centro storico di Belluno, nella porzione meridionale dell’area di studio, in prossimità dell’orlo del terrazzo ed in corrispondenza della scarpata. Tali risultanze trovano riscontro nelle testimonianze storiche relative ai danni causati dal sisma del 29 giugno 1873 che causò la distruzione di quasi 2/3 del centro storico del Comune di Belluno. I danni non si manifestarono omogeneamente su tutta l’area ma, come riportato da Bittner, interessarono maggiormente la porzione meridionale: Via Cipro ha molte case puntellate. In via Ripa la parte sommitale di una casa è caduta e ha seppellito tre bambini sotto le macerie.

Sulle parti ancora in piedi si notano fratture ovunque che separano i muri portanti ancora in piedi dalla piattaforma. L'angolo sud-ovest indicato con 20 all'uscita di questa via è anch'esso crollato. Una devastazione straordinaria ed enorme si trova nel complesso di case che si trovano di fronte, una volta residenza vescovile (21). Sul lato ovest del complesso, specialmente verso l'angolo sud-ovest, insorgono aperture colossali, le facciate nord e sud sono sostenute da numerosi e importanti puntelli e specialmente quest'ultima si è piegata verso l'esterno in maniera molto minacciosa. La torre sul lato nord-ovest è fratturata totalmente da fessure paurose che vanno dall'alto al basso. [...] La casa di fronte sembra altrettanto pericolante ed è assicurata da vari puntelli. [...] La piccola cappella della Madonna delle Grazie (23) dovrebbe venir subito demolita. [...] La casa sul fronte sud di piazza Duomo (26) mostra molte fratture verticali dall'alto al basso. Il campanile è stato poco danneggiato. [...] Tutta la parte del Duomo rivolta ad ovest è caduta. La stessa era comunque già pericolante. Questa caduta è avvenuta tuttavia non il 29 giugno, ma esattamente una settimana dopo, il 6 luglio, alle 5 della mattina.

I risultati dei livelli 2 e 3 della Microzonazione Sismica, per i fenomeni di amplificazione del moto sismico, hanno evidenti ricadute in ambito di pianificazione. Gli studi di MS3 possono però anche fornire un supporto in fase di progettazione dei manufatti, in quanto presentano evidenti analogie con le analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) previste dalle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2018).

Le analogie riguardano l'elevato livello di approfondimento delle indagini di caratterizzazione dei siti e dei materiali, le procedure di analisi (approccio numerico e sperimentale) e la tipologia dei risultati prodotti (spettri elastici).

La differenza sostanziale tra le due analisi quantitative (MS3 e RSL) risulta essere l'estensione dell'area investigata: "microzona" nel caso degli studi di MS e "area interessata dalle fondazioni dell'edificio" nel caso di studi di RSL. Inoltre, gli studi di MS3 sono generalmente svincolati dall'opera in progetto, mentre nel caso degli studi di RSL sono note le caratteristiche dell'opera ed esse sono un dato di input strettamente necessario.

I risultati forniti dagli studi di livello MS3 sono generalmente spettri di risposta elastici in accelerazione al 5% dello smorzamento critico, calcolati in *free field* e riferiti ad un determinato livello di pericolosità sismica (ovvero ad un determinato tempo di ritorno, che normalmente è riferito a 475 anni).

Gli spettri elastici di MS3 possono essere confrontati con il corrispondente spettro di risposta elastico dell'approccio semplificato o con quello degli studi di RSL dell'approccio specifico. Il confronto dovrebbe essere eseguito in termini di valori spettrali in corrispondenza dell'intervallo di periodo di vibrazione compreso tra 0.15-2.0 s.

Il confronto con lo spettro elastico calcolato con l'approccio semplificato di NTC potrà avvenire dopo un semplice processo di standardizzazione (modifica della forma in ICMS cap.2.5.3.3).

Il confronto tra spettro di MS3 e spettro di RSL potrà invece avvenire direttamente senza nessun intervento di modificazioni sulla forma.

Per diretta derivazione della definizione e degli ambiti di applicabilità della MS (ICMS, 2008), gli studi di MS3 possono fornire utili indicazioni in fase di progettazione, limitatamente all'area di estrapolabilità dei risultati, solo per edifici di importanza ordinaria (classi d'uso I e II ovvero per il periodo di riferimento $V_r \geq 50$) e per lo

Stato Limite di salvaguardia della Vita, SLV. Per gli edifici di classe d'uso III e IV sono necessari studi di RSL. Si ritiene comunque che i risultati degli studi di MS3 debbano essere di supporto agli studi di RSL, anche per edifici di classe III e IV, per valutazioni su eventuali amplificazioni su aree più estese rispetto a quelle del volume significativo interessato dalle fondazioni. Si ritiene inoltre che anche per tali edifici i risultati degli studi di MS3 possano essere di supporto agli studi di RSL sotto la diretta responsabilità del progettista che li assume autonomamente.

Si ricorda che gli studi di MS3 hanno come obiettivo la caratterizzazione sismica, mediante parametri quantitativi, di aree omogenee dal punto di vista geologico, geotecnico e geofisico (microzone), mentre le NTC richiedono che nella progettazione siano affrontati aspetti e conseguiti obiettivi simili agli studi di MS ma alla scala dell'opera o del sistema geotecnico.

Santo Stefano di Cadore, ottobre 2023

Per IGS SRL

dott. geol. David Pomarè Montin

dott.ssa geol. Cristina Gerdol



11. Bibliografia

- AGAMENNONE G.; 1941: Studio macrosismico del terremoto del Bellunese del 27 dicembre 1933 e discussione sulla profondità ipocentrale. Boll. Soc. Sismol. Ital., 38, 150-193.
- AGLIARDI F., ZANCHI A. and CROSTA G.B.; 2009: Tectonic vs. gravitational morphostructures in the central Eastern Alps (Italy): Constraints on the recent evolution of the mountain range. *Tectonophysics*, 474, 250-270.
- ALBARELLO D. & CASTELLARO S. (2011): Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. Supplemento a *Ingegneria Sismica*, anno XXVIII, n. 2, Patroni editore, Granarolo dell'Emilia, Bologna.
- ALFIERI M., NART F. & PIAT M. (2019): 29 Giugno 1873, Quindi seguì una scossa e un tremolio... – Dario De Bastiani Editore
- AMBROSETTI P. ET AL (1983): Neotectonic map of Italy - scala 1:500000 - CNR Progetto Finalizzato Geodinamica, Litografia artistica cartografica Firenze.
- ANTONELLI R., BARBIERI G., DAL PIAZ G.V., DAL PRA A., DE ZANCHE V., GRANDESSO P., MIETTO P., SEDEA R. E ZANFERRARI A. (1990): Carta Geologica del Veneto scala 1:250.000, Regione del Veneto, SELCA, Firenze.
- BASILI, R. et al. (2008) - The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3; summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology – *Tectonophysics*, 453.
- BERNARDIS G., CECOTTI C., POLI E., RENNER G., SNIDARCIG A. and ZANFERRARI A.; 1996: Considerazioni sulla sismicità dell'area di Claut (Prealpi carniche) e sui danni causati dal terremoto del 13 aprile 1996. In: Atti del Convegno, La Scienza e i Terremoti: Analisi e prospettive dall'esperienza del Friuli; 1976-1996, Forum Editrice, Udine, Italy, pp. 61-68.
- BERNARDIS G., POLI E., RENNER G., SNIDARCIG A. and ZANFERRARI A.; 1997: Le tre sequenze sismiche del 1996 a Claut (Prealpi Carniche). In: CNR-GNGTS (ed), Atti del 15° Convegno Nazionale, Esagrafica, Roma, Italy, pp. 343- 348.
- BONDESAN A., CANIATO G., VALLERANI F., ZANETTI M. a cura di, 2000; Il Piave. Cierre Edizioni
- BOSELLINI A.; 2004: The Western passive margin of Adria and its carbonate platforms. In: Crescenti V., D'Offizi S., Merlini S. and Sacchi L. (eds), *Geology of Italy, Spec. Vol. Ital. Geol. Soc., Proc. 32nd International Geological Congress*, Firenze, pp. 79-92.
- BURRATO P., POLI M.E., VANNOLI P., ZANFERRARI A., BASILI R. AND GALADINI F. (2008): Sources of Mw 5+ earthquakes in northeastern Italy and western Slovenia: An updated view based on geological and seismological evidence. *Tectonophysics*, 453, 157-176.
- CALAIS E., NOCQUET J.M., JOUANNE F., TARDY, M., 2002. Current strain regime in the Western Alps from continuous Global Positioning System measurements, 1996–2001. *Geology*, 7, 651–654.
- CARTON A., BONDESAN A., FONTANA A., MENEGHEL M., MIOLA A., MOZZI P., PRIMON S., SURIAN N. (2009) - Geomorphological evolution and sediment transfer in the Piave River system (northeastern Italy) since the Last Glacial Maximum. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, n° 3: 155-174
- CASTELLARIN A., SELLI L., PICOTTI V. and CANTELLI L.; 1998b: La tettonica delle Dolomiti nel quadro delle Alpi meridionali orientali. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 53, 133-143.

CASTELLO B., SELVAGGI, G., CHIARABBA, C., AMATO, A., 2006. CSI Catalogo della sismicità italiana 1981–2002. versione 1.1. INGV-CNT, Roma. <http://www.ingv.it/CSI/>.

CHAU, K.T., WONG, R.H.C. AND WU, J.J. (2002) - Coefficient of restitution and rotational motions of rockfall impacts. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 39: 69–77.

COSTA V., DOGLIONI C., GRANDESSO P., MASETTI D., PELLEGRINI G.B. and TRACANELLA E.; 1996: Note illustrative del Foglio 063 BELLUNO. Servizio Geologico d'Italia, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, Italy, 74 pp.

DE BIASI G. & SALTI L. (2010) – Studio Geologico del P.A.T.I. “Longaronese” - Piano di assetto del territorio intercomunale dei Comuni di Longarone e Soverzene.

D'INTINOSANTE V., GLD-FIVIZZANO (2015) – Analisi di risposta sismica locale del centro abitato di Fivizzano (MS). GNGTS 2015, Sessione 2.2: 101-108

D'INTINOSANTE V., BAGLIONE M. & GALLORI F. (2016) - La Microzonazione Sismica di Terzo Livello: l'esempio di Fivizzano (MS) - Regione Toscana Settore Sismica

DOGLIONI C. (1992) - Escursione nel Sudalpino Orientale (Dolomiti e Prealpi Venete) - Agip Adde, 1-118

DORREN L.K.A. AND SEIJMONSBERGEN A.C. (2003) - Comparison of three GIS-based models for predicting rockfall runout zones at a regional scale. Geomorphology 56(1-2): 49-64.

DORREN L.K.A., MAIER B., PUTTERS U.S. AND SEIJMONSBERGEN A.C. (2004) - Combining field and modelling techniques to assess rockfall dynamics on a protection forest hillslope in the European Alps. Geomorphology 57(3): 151-167.

DORREN L.K.A., BERGER F., LE HIR C., MERMIN E. AND TARDIF P. (2005) - Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. Forest Ecol. Manage. 215(1-3): 183-195.

DORREN L.K.A., BERGER F. AND PUTTERS U.S. (2006) - Real size experiments and 3D simulation of rockfall on forested and non-forested slopes. Nat. Haz. Earth Syst. Sci. 6: 145-153.

DORREN L.K.A. & SIMONI, S. (2014) - Rockyfor3D (V5.1) rivelato – Descrizione trasparente del modello 3D di caduta massi. ecorisQ Paper (www.ecorisq.org): 27 p.

DORREN L.K.A. (2016) - Rockyfor3D (v5.2) revealed - Transparent description of the complete 3D rockfall model. ecorisQ paper (www.ecorisq.org): 32 p.

GALADINI F. (2000) - Faglie attive nelle Alpi nordorientali - Relazione Annuale PF

HOUSNER G.W. (1959) - Behaviour of structures during earthquakes. Journal of the Engineering Mechanics Division. ASCE, Vol.85, N. EM14, pp. 109-129.

IERVOLINO I., GALASSO C., COSENZA E. (2009) - REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis - Bull Earthquake Eng (2010) 8: 339–362

KIRKBY M.J., AND STATHAM I. (1975) - Surface stone movement and scree formation, J. Geol. 83: 349–362.

KRANITZ F. & MARIANI R. a cura di (2013) - Standard minimi per la stesura di carte di suscettibilità e pericolosità per le frane di crollo - Progetto comunitario Interreg Italia-Austria "Massmove"

LANZO G., SILVESTRI F. (1999) – Risposta sismica locale. Teoria ed esperienze. Hevelius Edizioni, Benevento, pp. 160.

LARGAIOLLI & SEMENZA (1966) – Studi geologici sulla zona della Giunzione Cadorina (Cadore orientale) – Studi Trentini di Scienze Naturali, Sez. A, Volume XLIII, N.1, pagg. 157-199.

LOCATI M., CAMASSI R., ROVIDA A., ERCOLANI E., BERNARDINI F., CASTELLI V., CARACCILOLO C.H., TERTULLIANI A., ROSSI A., AZZARO R., D'AMICO S., CONTE S., ROCCHETTI E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15

LUNEDI E. & ALBARELLO D. (2009) - On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth, Geophys. J. Int., 177, 1001-1014.

MACHETTE M.N. (2000) - Active, capable, and potentially active faults — a paleoseismic perspective. J. Geodyn. 29, 387–392.

MARINONI F. & OLIVOTTO M. (2017) - Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Soverzene

MARINONI F. & OLIVOTTO M. (2018) - Studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 del Comune di Soverzene.

MELETTI C. & VALENSISE G. (2004) - Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo, Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

MONTALDO V., 2006. Seismic hazard and uncertainties assessment in Northeastern Italy: comparing approaches with varied geological and seismological background. Ph.D. Thesis, University of Milano—Bicocca, 146 pp.

PERGALANI F., COMPAGNONI M., SANÒ T., NASO G. (2014) – L'Amplificazione del moto sismico negli studi di Microzonazione Sismica e nelle Norme Tecniche delle Costruzioni. NGTGS 2014, Sessione 2.2: 246-252

PFEIFFER T.J. AND BOWEN T.D. (1989) - Computer simulation of rockfalls. Bull. Ass. Eng. Geol. XXVI: 135-146.

POLI M.E., BURRATO P., GALADINI F. AND ZANFERRARI A. (2008): Seismogenic sources responsible for destructive earthquakes in north-eastern Italy. Boll. Geof. Teor. Appl., 49, 301-313.

RIVA M., BESIO M., MASETTI D., ROCCATI F. SAPIGNI M., SEMENZA E. (1990) - Carta geologica delle Valli Vaiont e Gallina. Annali dell'Università' di Ferrara, 2, 76.

SANTANGELO S., MAGGIORE R., PACINI L.U. (2014) – Modellazione numerica bidimensionale per la valutazione degli effetti di sito a supporto della progettazione di ristrutturazione e restauro della chiesa di San Giusto di Brancoli (LU)

SARTORI G. a cura di (2012): Annotazioni ed indicazioni dalla storia sismologica del Veneto; Ufficio Territorio - Consiglio Regionale del Veneto.

SEMENZA E. (1957): L'alveo sepolto del Piave a Belluno (nota preliminare); Estratto degli atti dell'istituto Veneto di scienze, letteratura ed arti, anno accademico 1956-57 – Tomo CXV – Classe di scienze matem. E naturali.

SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, UNIVERSITÀ DI PADOVA, ISTITUTO DI GEOLOGIA (1988): Carta geologica del Veneto, scala 1:250,000. Venezia, Segretaria Regionale per il Territorio.

SLEJKO D., CARULLI G.B., CARRARO F., CASTALDINI D., CAVALLIN A., DOGLIONI C., ILICETO V., NICOLICH R., REBEZ A., SEMENZA E., ZANFERRARI A. & ZANOLLA C. (1987): Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale. C.N.R.- G.N.D.T., Rend. n. 1, pp. 82, 3
carte scala 1:500 000, Trieste.

SPANG M.R. AND KRAUTER E. (2001) - Rock fall simulation - A state of the art tool for risk assessment and dimensioning of rockfall barriers. – Int. Conf. Landslides; Causes, Impacts and Countermeasures, 17-21 June 2001, Davos, Switzerland: pp. 607-615.

SUGAN M & PERUZZA L. (2011): Distretti sismici del Veneto, Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata Vol. 52, n. 4 supplemento, December 2011

WELLS D. L., COPPERSMITH K. J. (1994) - New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement - Bulletin of the Seismological Society of America, 84.

ZANFERRARI A., BOLLETTINARI G., CAROBENE L., CARTON A., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., PANIZZA M., PELLEGRINI G.B., PIANETT F. and SAURO U. (1982): Evoluzione neotettonica dell'Italia nord-orientale. Mem. di Sc. Geol., 35, 355-376.

ZEVENBERGEN L.W. AND THORNE C.R. (1987) - Quantitative Analysis of Land Surface Topography. Earth Surf. Proc. Landforms 12: 47-56.

Siti internet e banche dati

DISS (Database of Individual Seismogenic Sources):
<http://diss.rm.ingv.it/dissGM/>

Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15):
<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Infrastruttura Dati Territoriali della Regione Veneto – IDT-RV 2.0
<https://idt2.regione.veneto.it/idt/downloader/download>

ITHACA - ITaly HAZards from CApable faulting:
<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>

Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale:
http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html

Mappe interattive di pericolosità sismica:
<http://esse1-gis.mi.ingv.it>

PAI - Progetto di Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del Piave, adottato dal Comitato Istituzionale con delibera n. 3 del 09.11.2012 pubblicata nella G.U. n. 280 del 30.11.2012, con le rispettive norme di salvaguardia.



http://pai.adbve.it/PAI_4B_2012/val_piave.html

Progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

<http://193.206.192.136/cartanetiffi/carto3.asp?cat=47&lang=IT>

PTCP - Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Belluno, approvato con Deliberazione della Giunta Regionale n.1136 del 23 marzo 2010, pubblicata sul BUR Bollettino Ufficiale della Regione del Veneto n. 39 del 11 maggio 2010.

http://www.provincia.belluno.it/nqcontent.cfm?a_id=5070



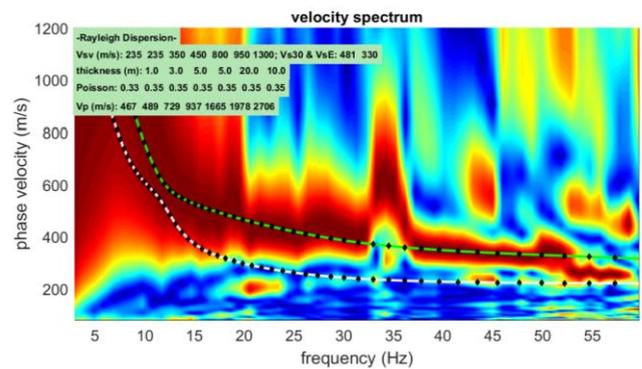
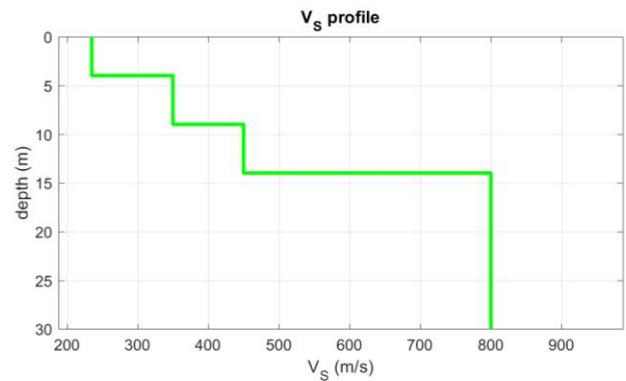
ALLEGATO 1

SCHEDE RELATIVE ALLE INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER GLI APPROFONDIMENTI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO

MASW 01_Villa Montalban

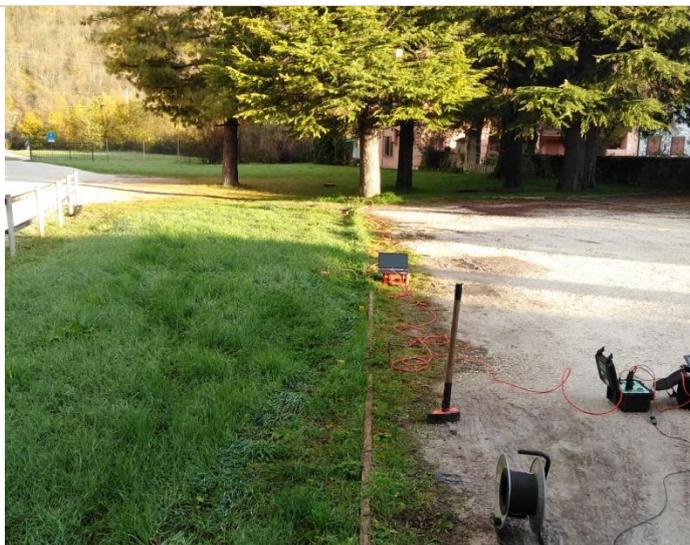
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Villa Montalban
DATA ESECUZIONE	15/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 330

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 01_Villa Montalban

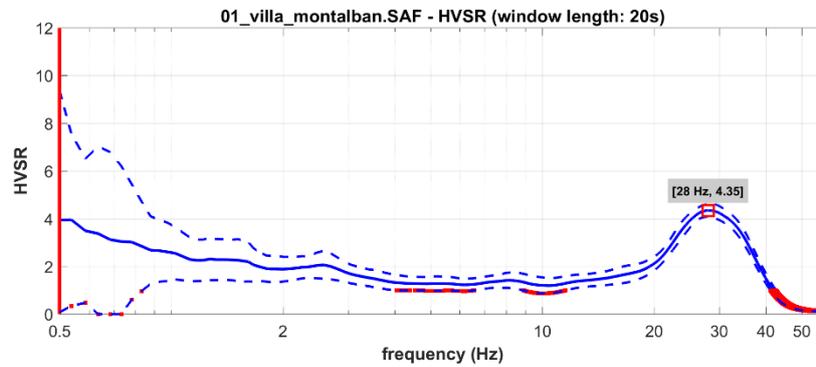
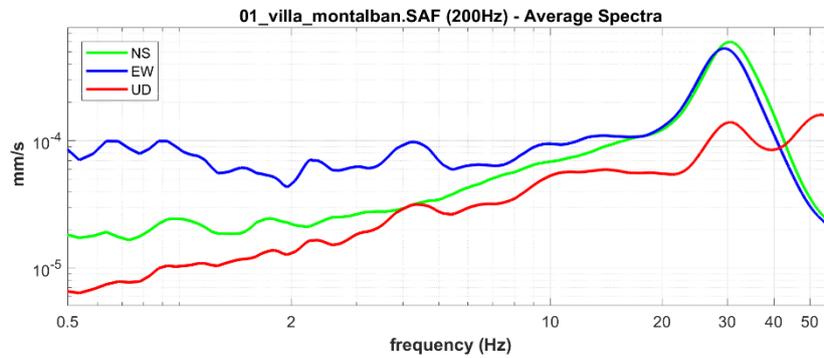
Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Villa Montalban
DATA ESECUZIONE	15/11/2022

RISULTATI



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/ia, Modeling & Picking" panels and u

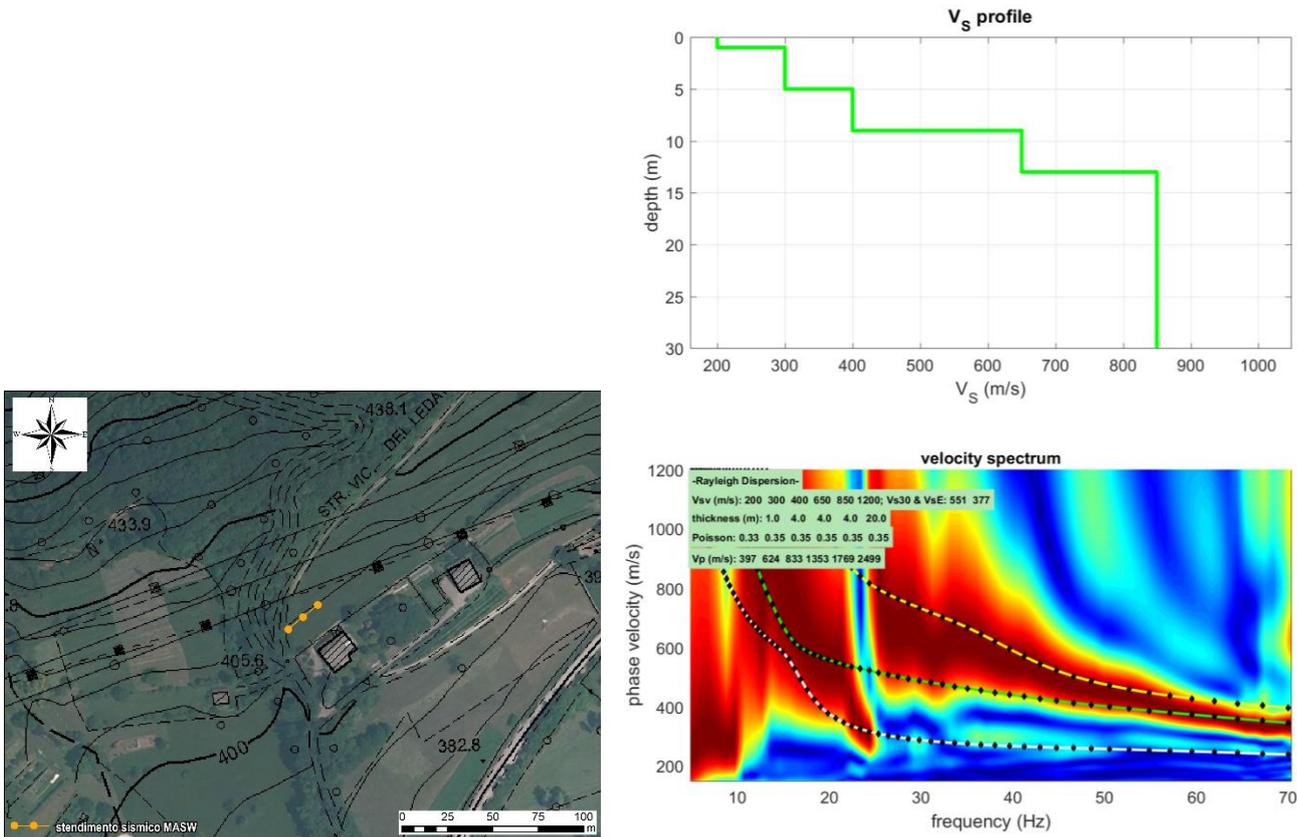
Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	28 Hz
--	-------

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 02_Safforzè	
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Safforzè
DATA ESECUZIONE	15/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



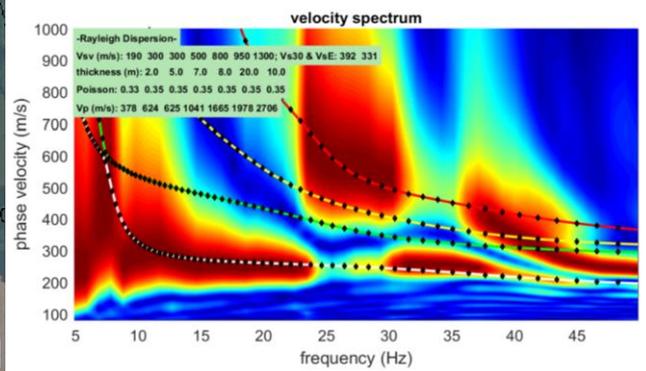
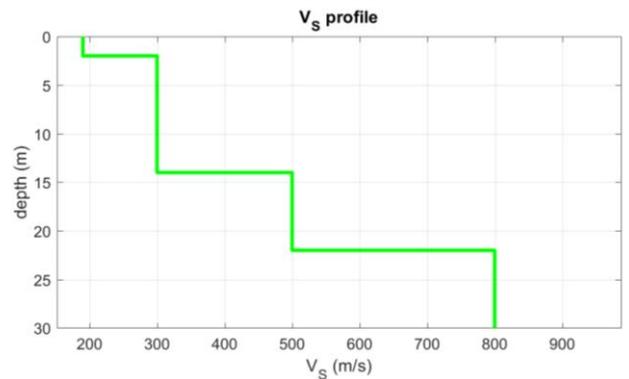
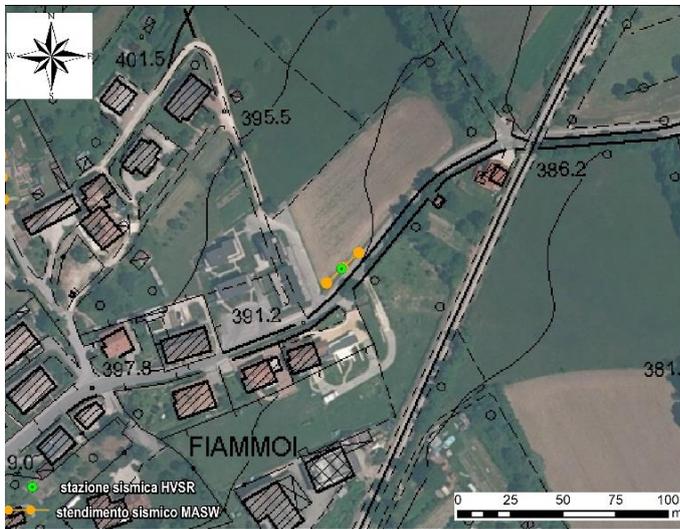
V_{s,eq} [m/s] 377

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 03_Fiammoi A	
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Fiammoi
DATA ESECUZIONE	15/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 331

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

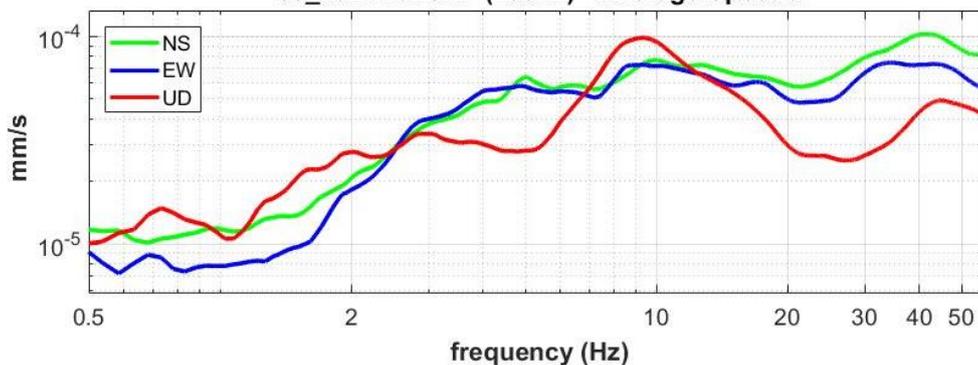
Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

HV 03_Fiammoi A

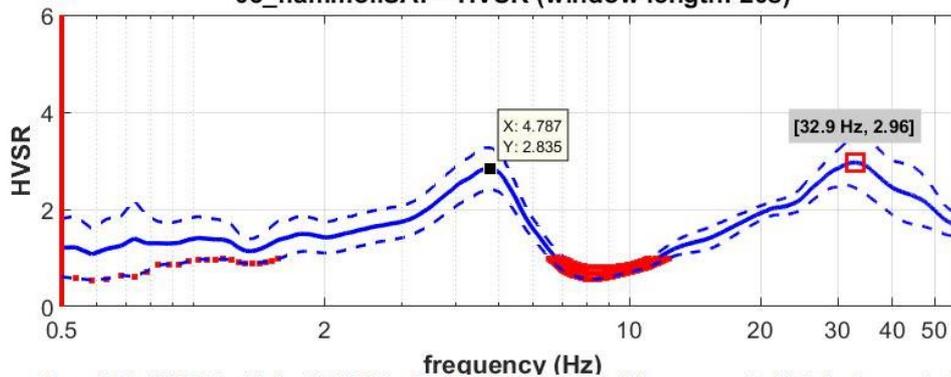
TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Fiammoi
DATA ESECUZIONE	15/11/2022

RISULTATI

03_fiammoi.SAF (200Hz) - Average Spectra



03_fiammoi.SAF - HVSR (window length: 20s)



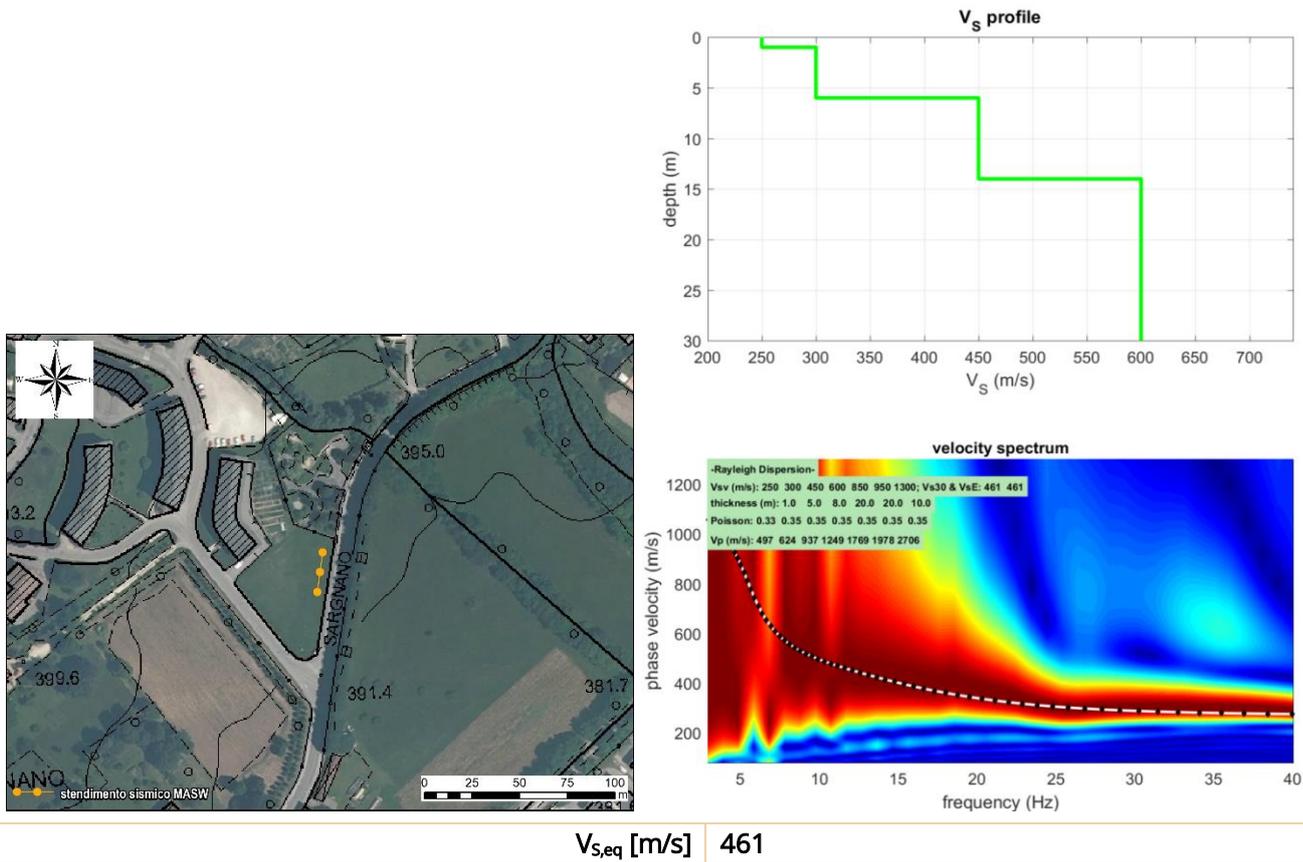
Frequenza fondamentale del sito F_0	4.79 Hz
Frequenza secondaria	32.9 Hz (poco rilevante ai fini della progettazione sismica)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 04_Fiammoi B	
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Fiammoi B
DATA ESECUZIONE	15/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

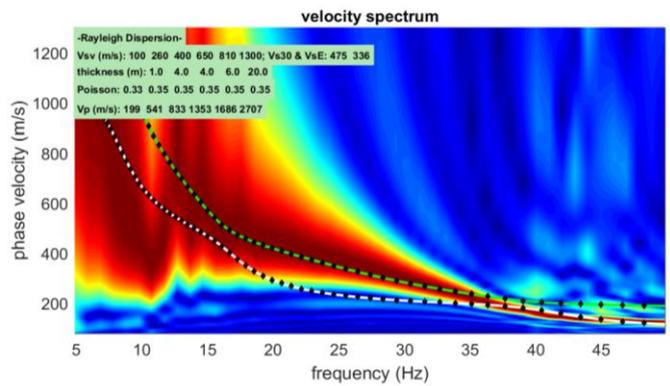
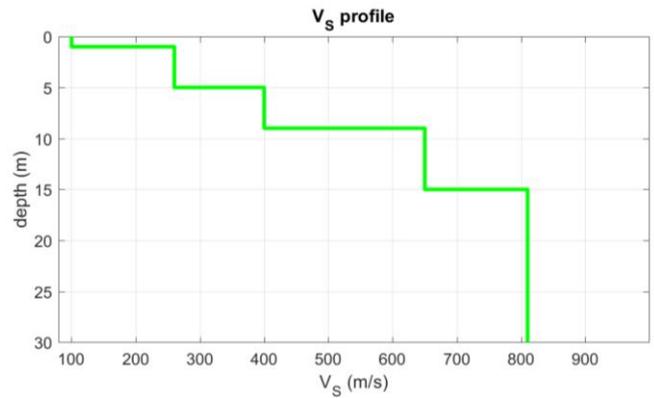
S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

MASW 05_Alpin Calcio

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Via Tiziano Vecellio
DATA ESECUZIONE	15/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 336

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



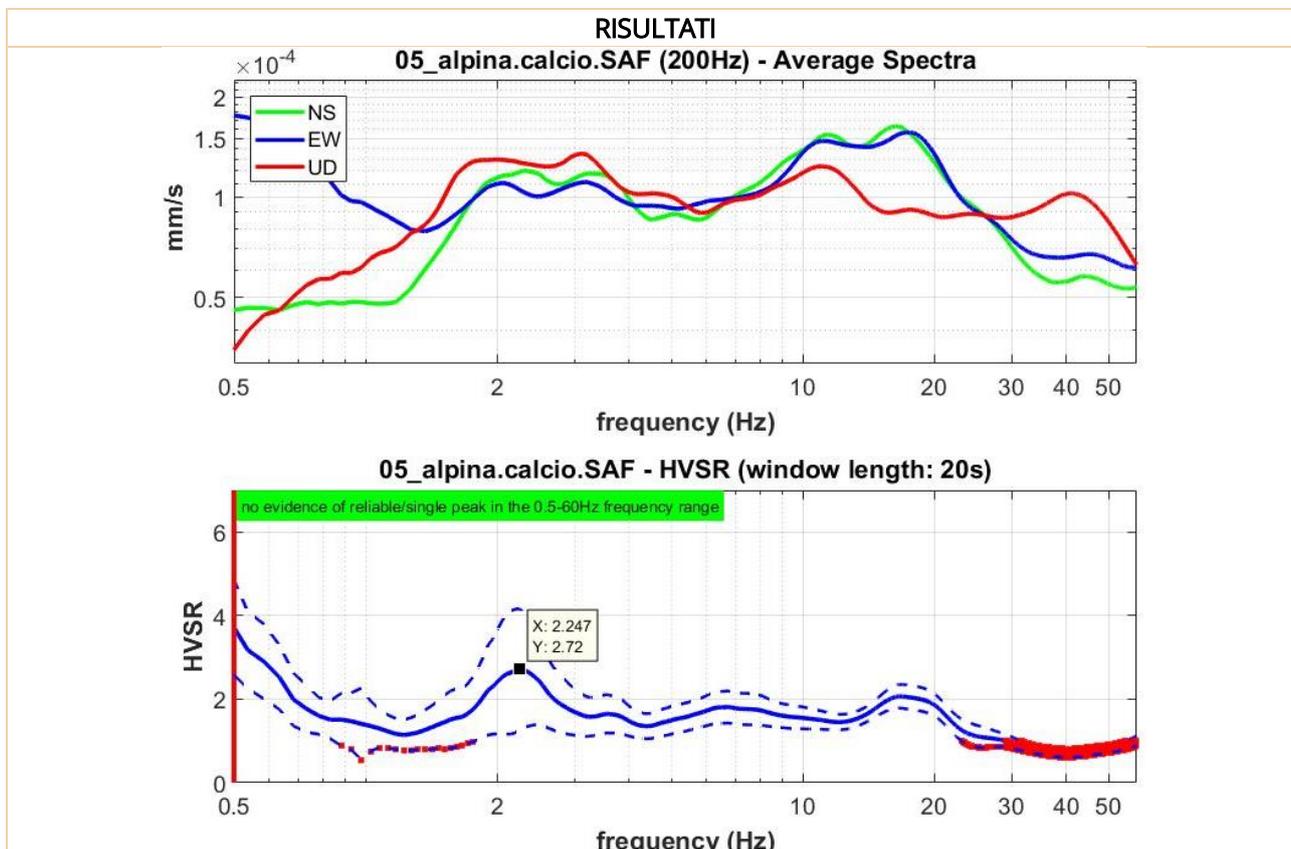
HV 05_Alpin Calcio

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Via Tiziano Vecellio
DATA ESECUZIONE	15/11/2022



Frequenza fondamentale del sito F_0	2.25 Hz
Frequenza secondaria	16.61 Hz



MASW 06_San Pietro

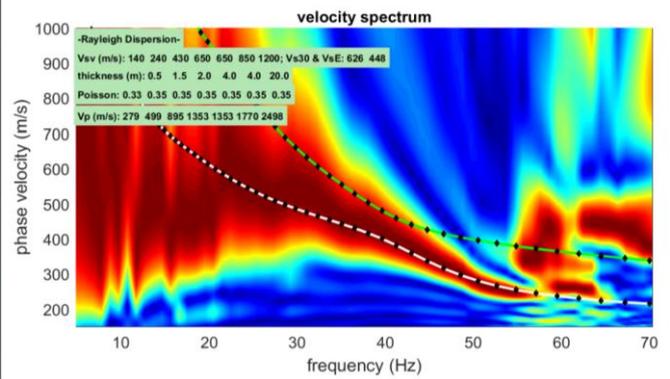
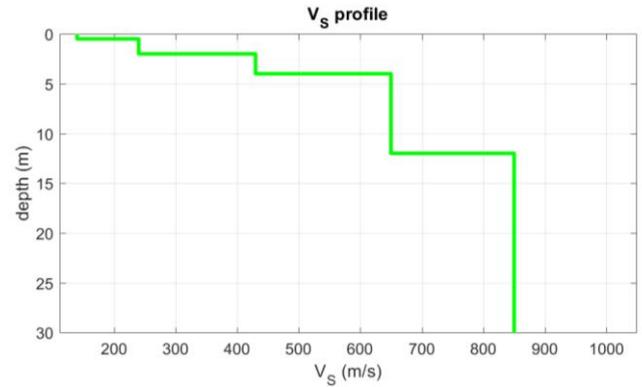
Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	San Pietro in Campo
DATA ESECUZIONE	15/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] **448**

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 06_San Pietro

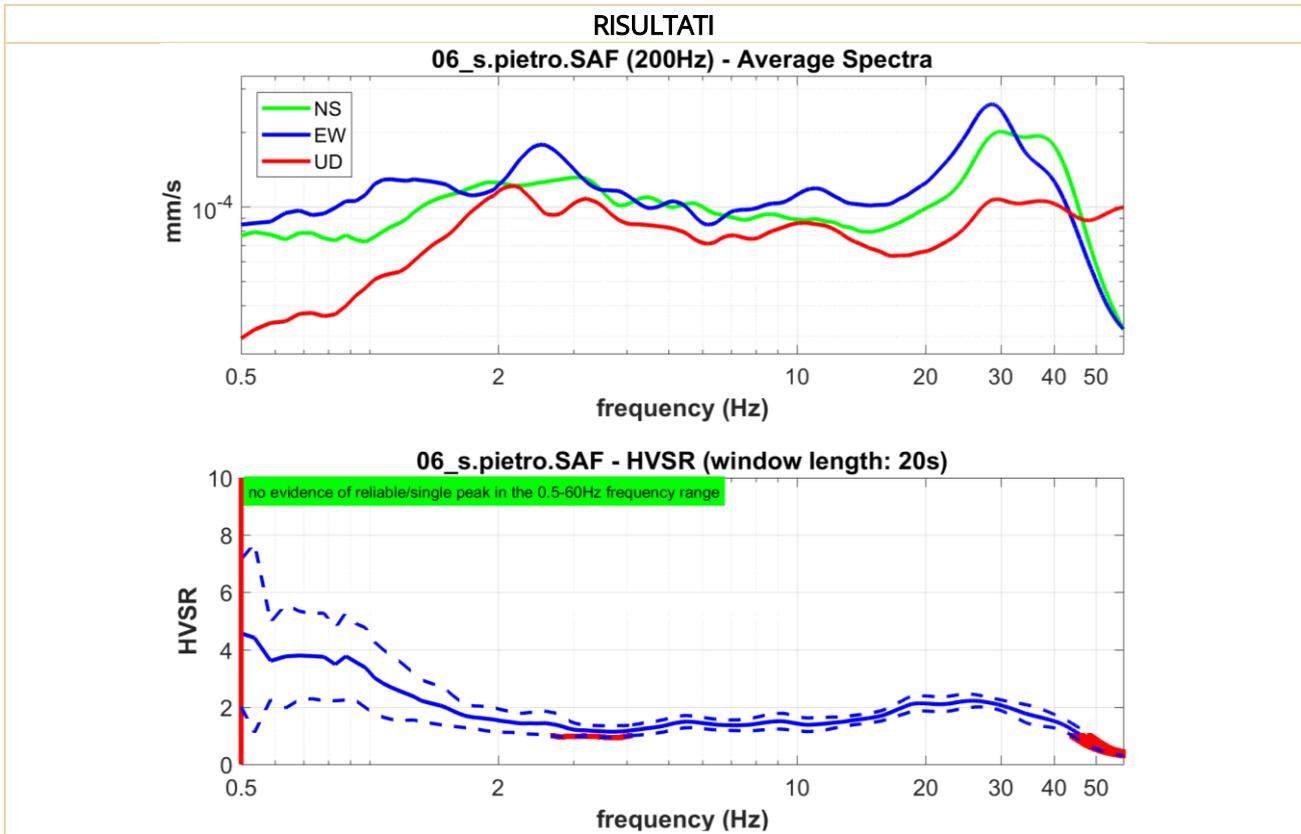
TIPO INDAGINE	HVSR
---------------	------

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

LOCALITÀ	San Pietro in Campo
DATA ESECUZIONE	15/11/2022



Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	nessuna
--	---------



MASW 07_Ugo Neri	
TIPO INDAGINE	MASW

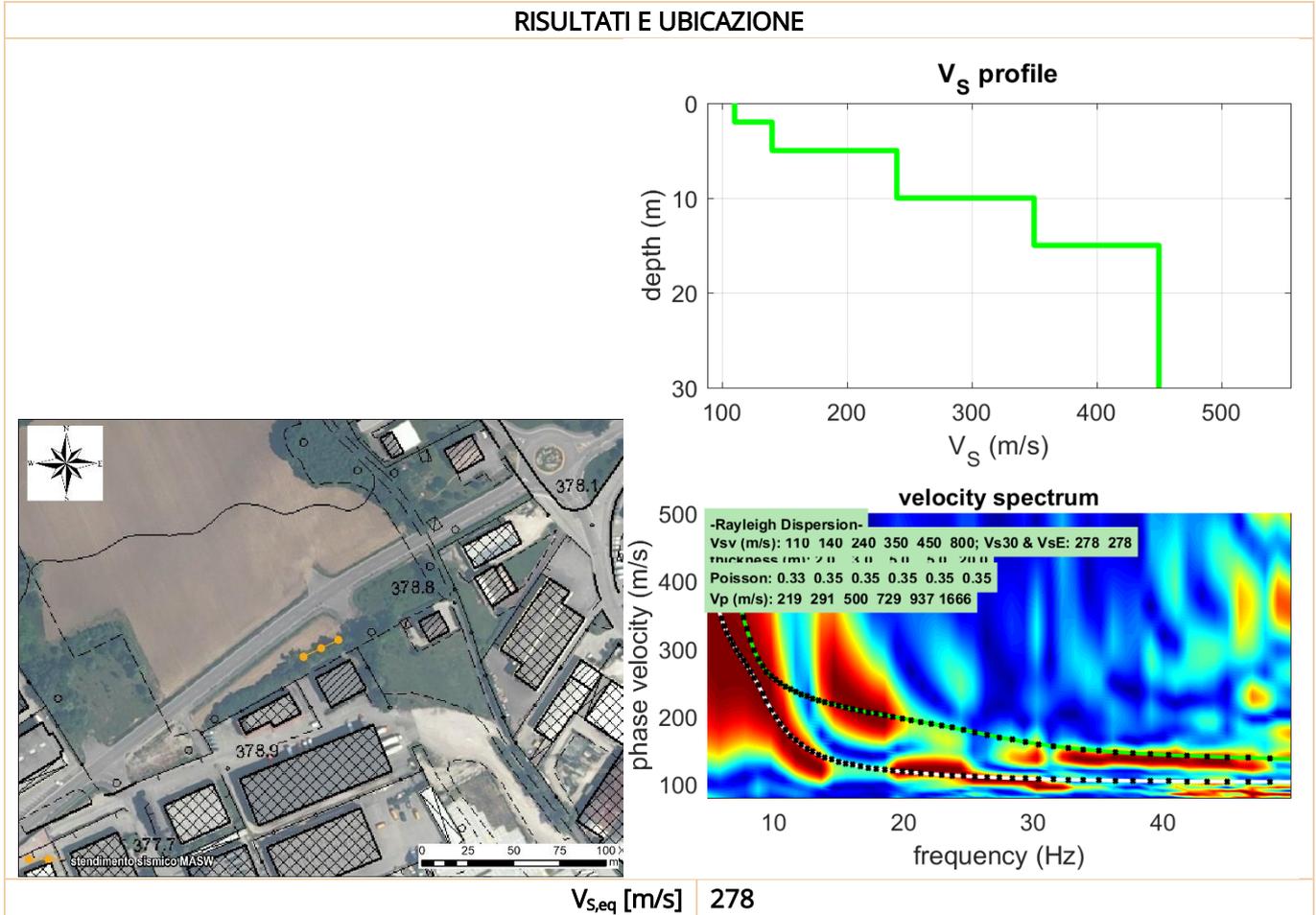
Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

LOCALITÀ	Via Ugo Neri
DATA ESECUZIONE	15/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

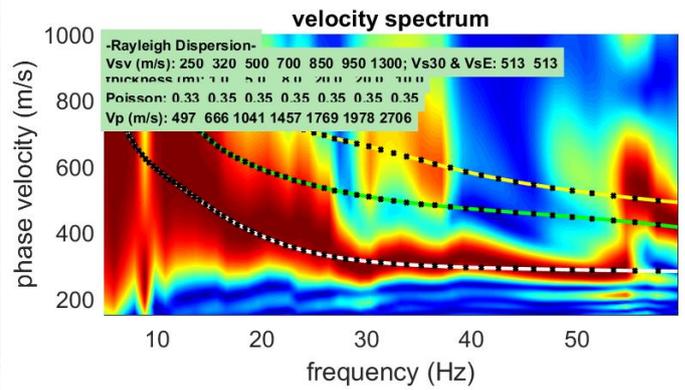
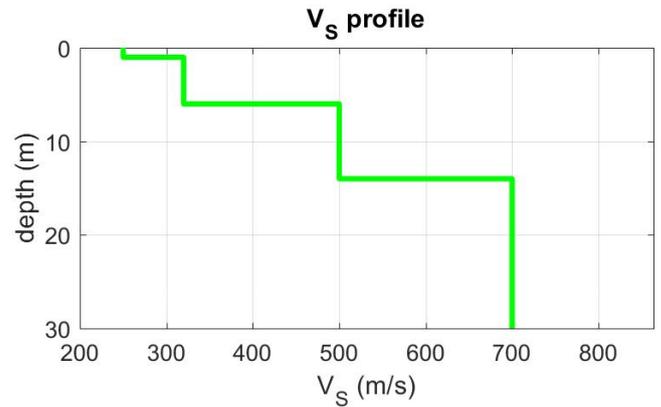


MASW 08_Cusighe

TIPO INDAGINE	MASW
---------------	------

LOCALITÀ	Cusighe
DATA ESECUZIONE	15/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



V_{S,eq} [m/s] 513

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

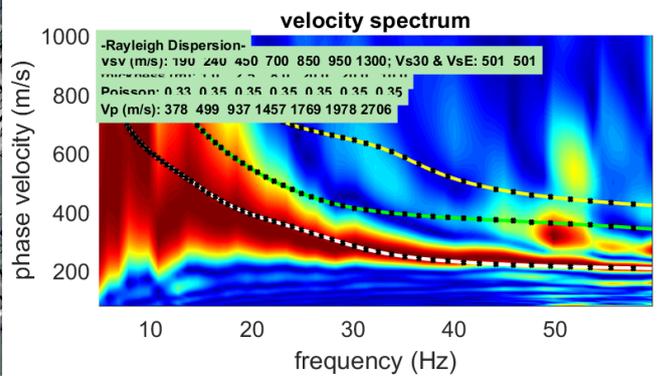
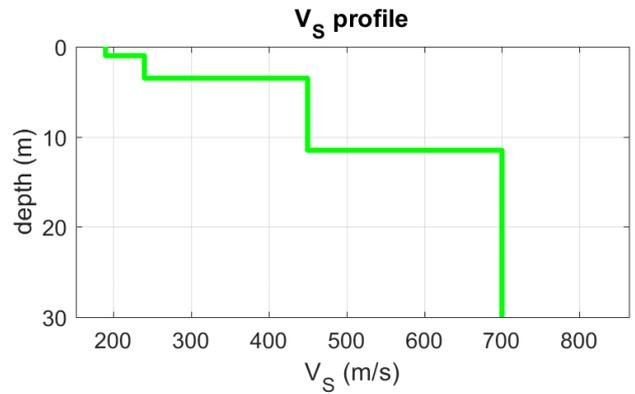


MASW 09_ Cimitero Cusighe

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Cusighe

DATA ESECUZIONE	15/11/2022
------------------------	------------

RISULTATI E UBICAZIONE



V_{S,eq} [m/s]	501
-------------------------------	-----

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

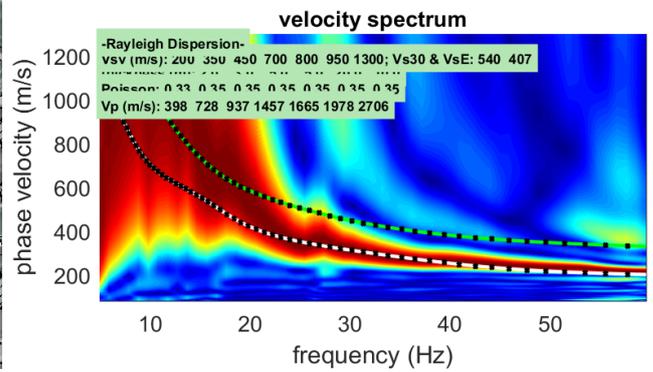
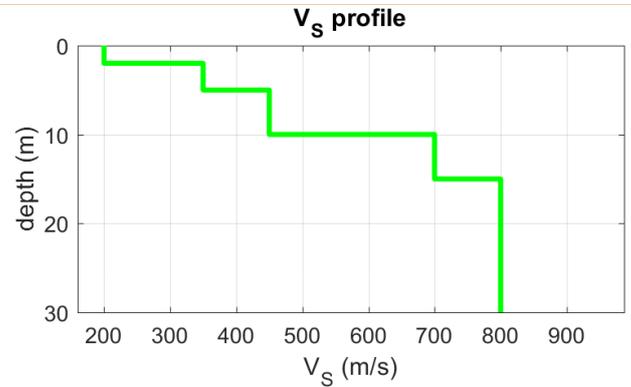


MASW 10_Praloran

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Praloran

DATA ESECUZIONE	15/11/2022
------------------------	------------

RISULTATI E UBICAZIONE



V_{s,eq} [m/s]	407
-------------------------------	-----

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

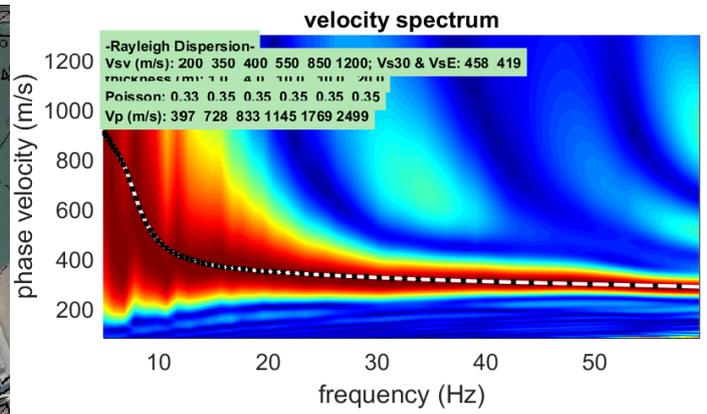
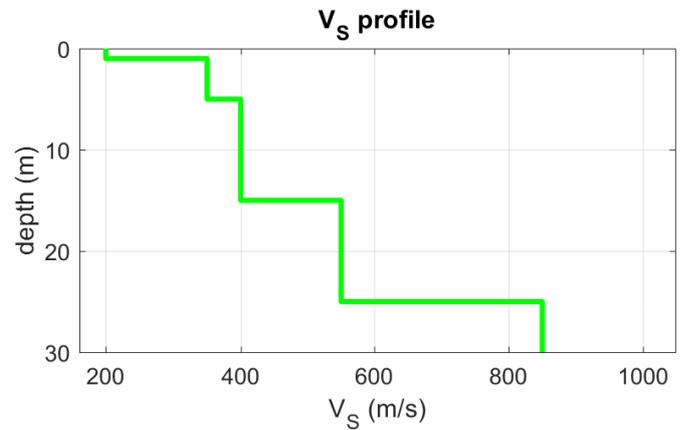


MASW 11_Fontanelle

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Fontanelle

DATA ESECUZIONE	15/11/2022
------------------------	------------

RISULTATI E UBICAZIONE



V_{s,eq} [m/s] 419

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

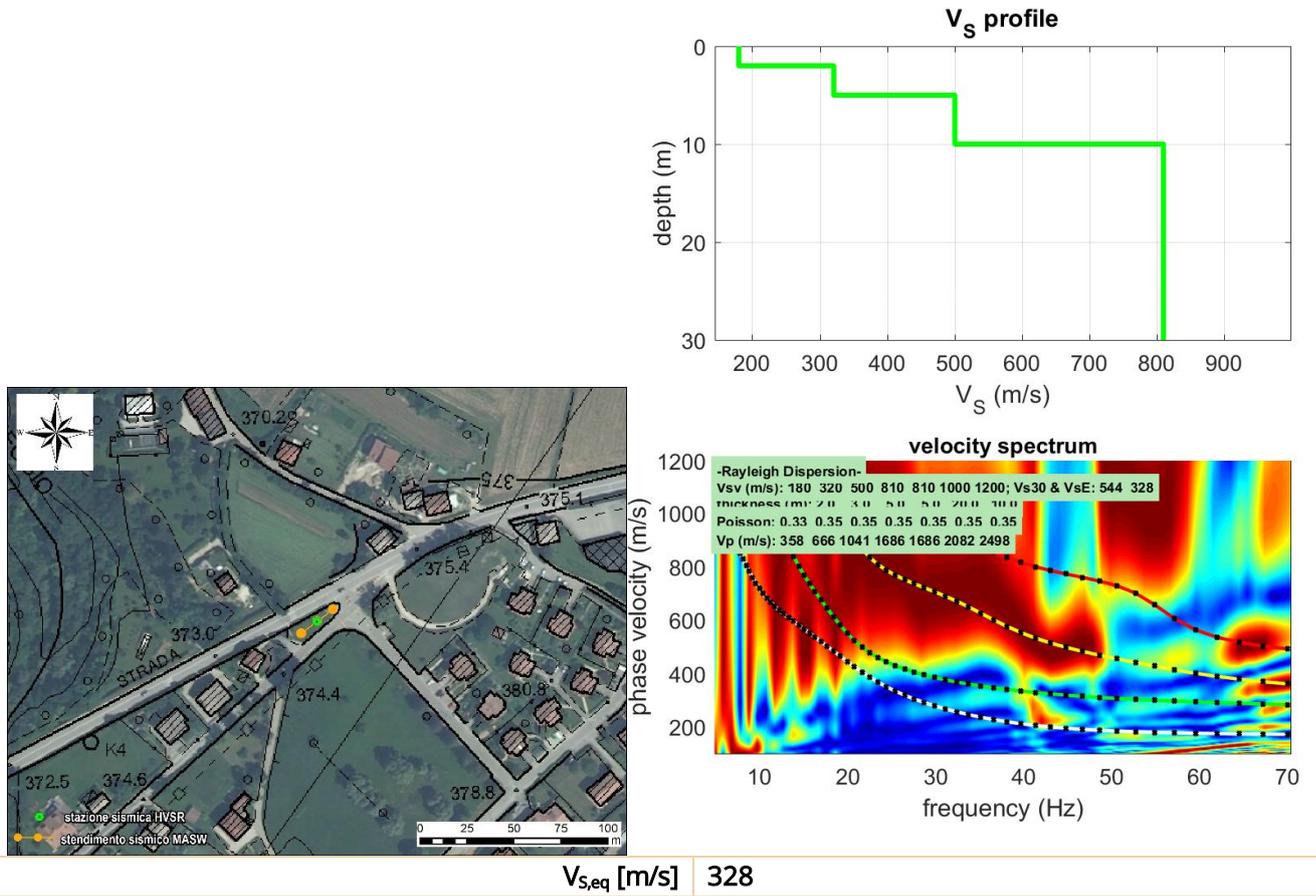


MASW 12_Levego

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Levego

DATA ESECUZIONE	17/11/2022
------------------------	------------

RISULTATI E UBICAZIONE



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



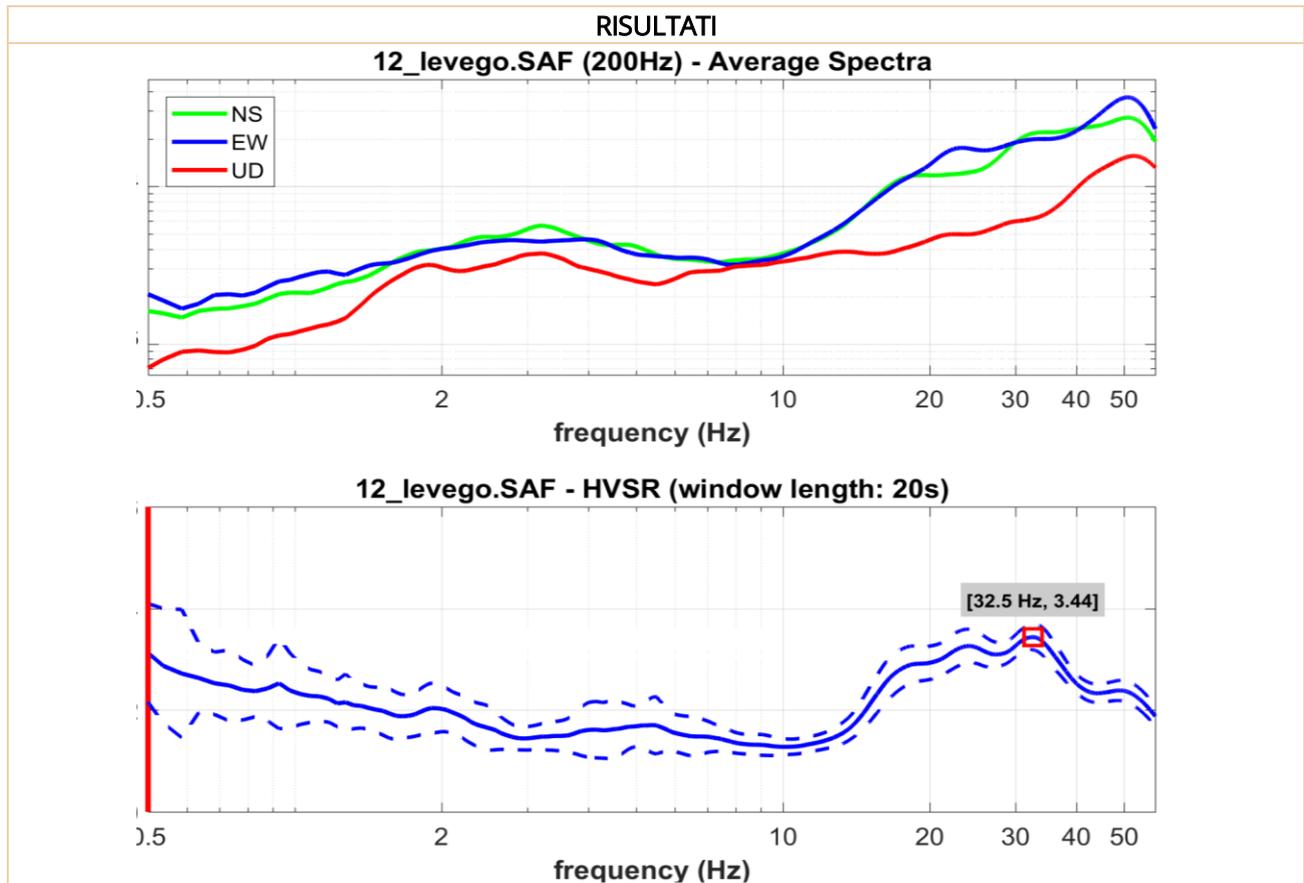
HV 12_Levego

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Levego
DATA ESECUZIONE	17/11/2022

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



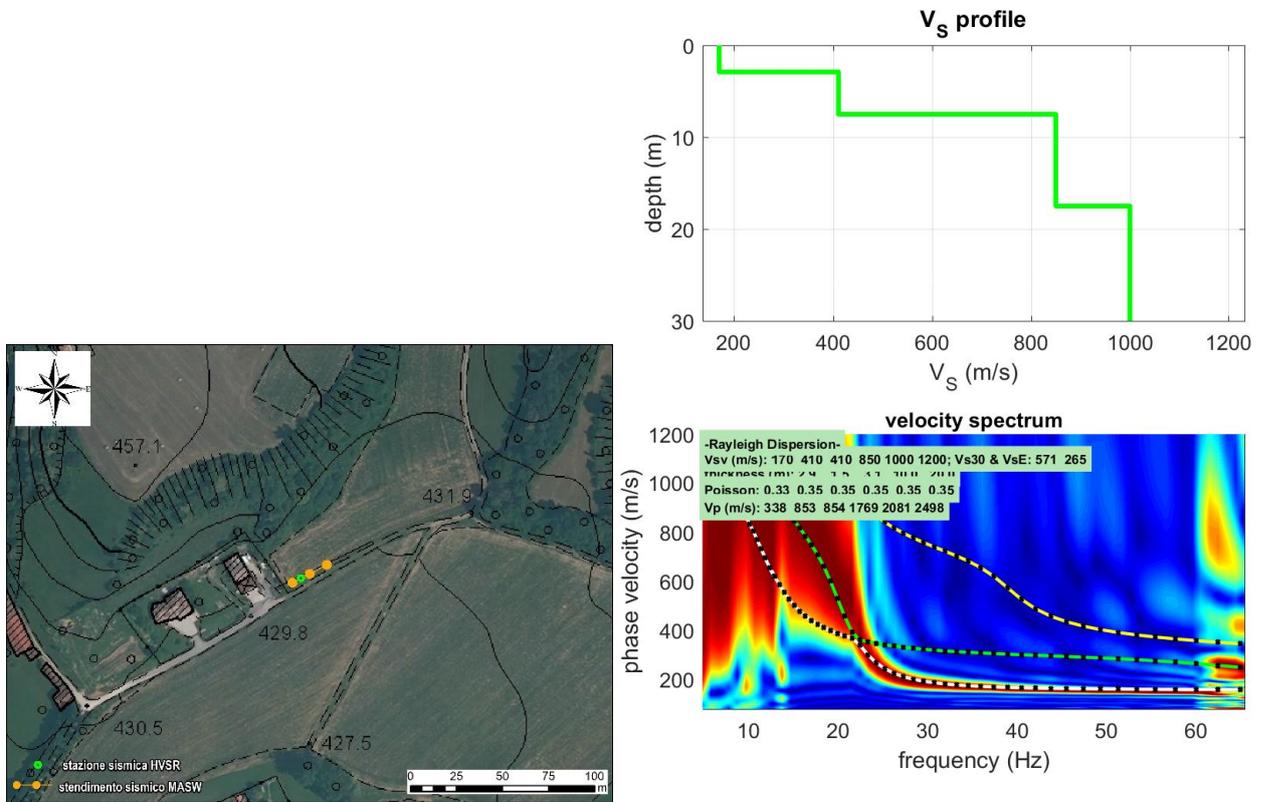
Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	32.5 Hz (poco rilevante ai fini della progettazione sismica)
--	--



MASW 13_Castion

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Castion
DATA ESECUZIONE	17/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



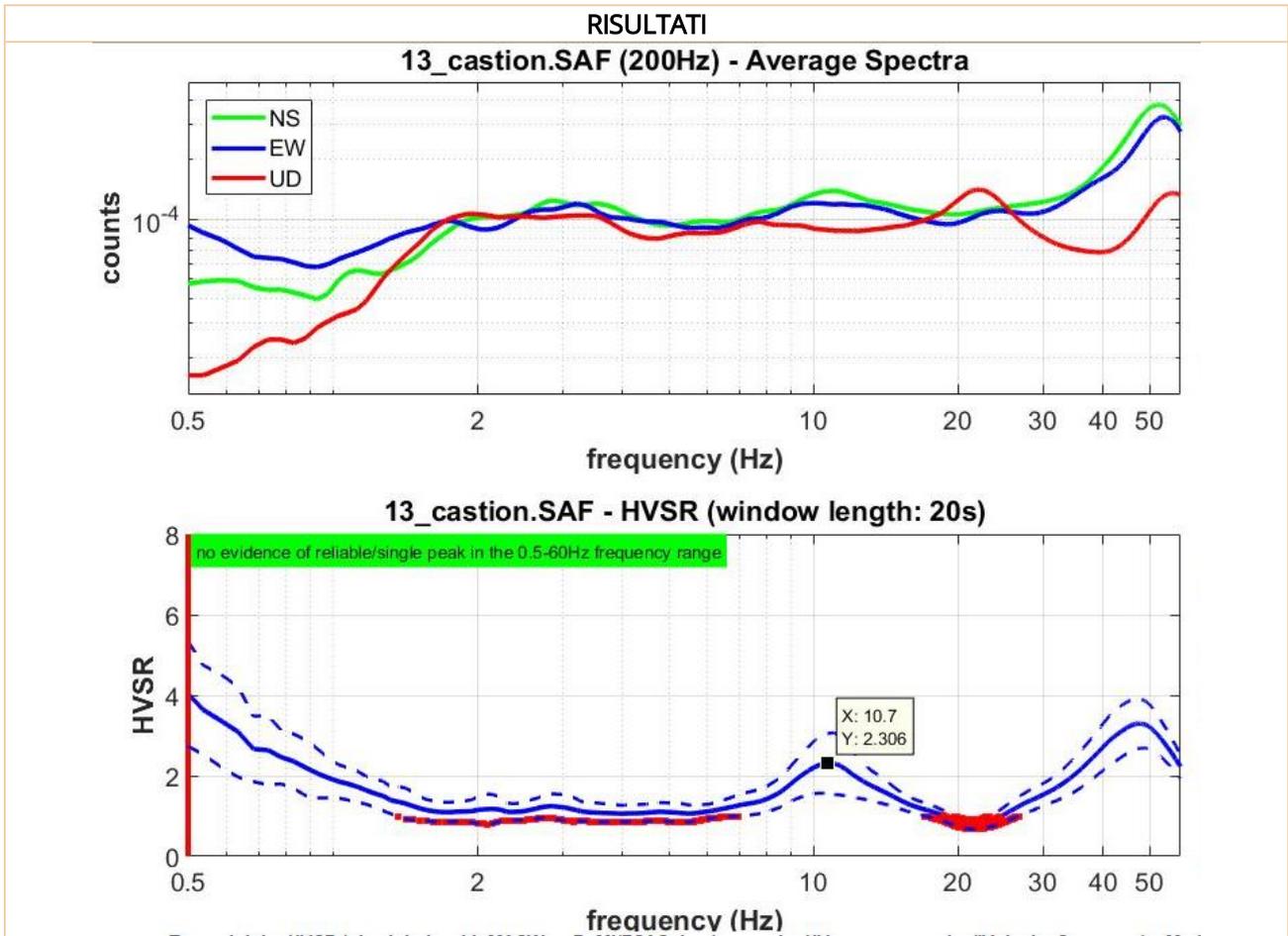
V_{s,eq} [m/s] 265

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 13_Castion

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Castion
DATA ESECUZIONE	17/11/2022



Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	10.70 Hz
--	----------



MASW 14_Castion Cimitero	
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Castion

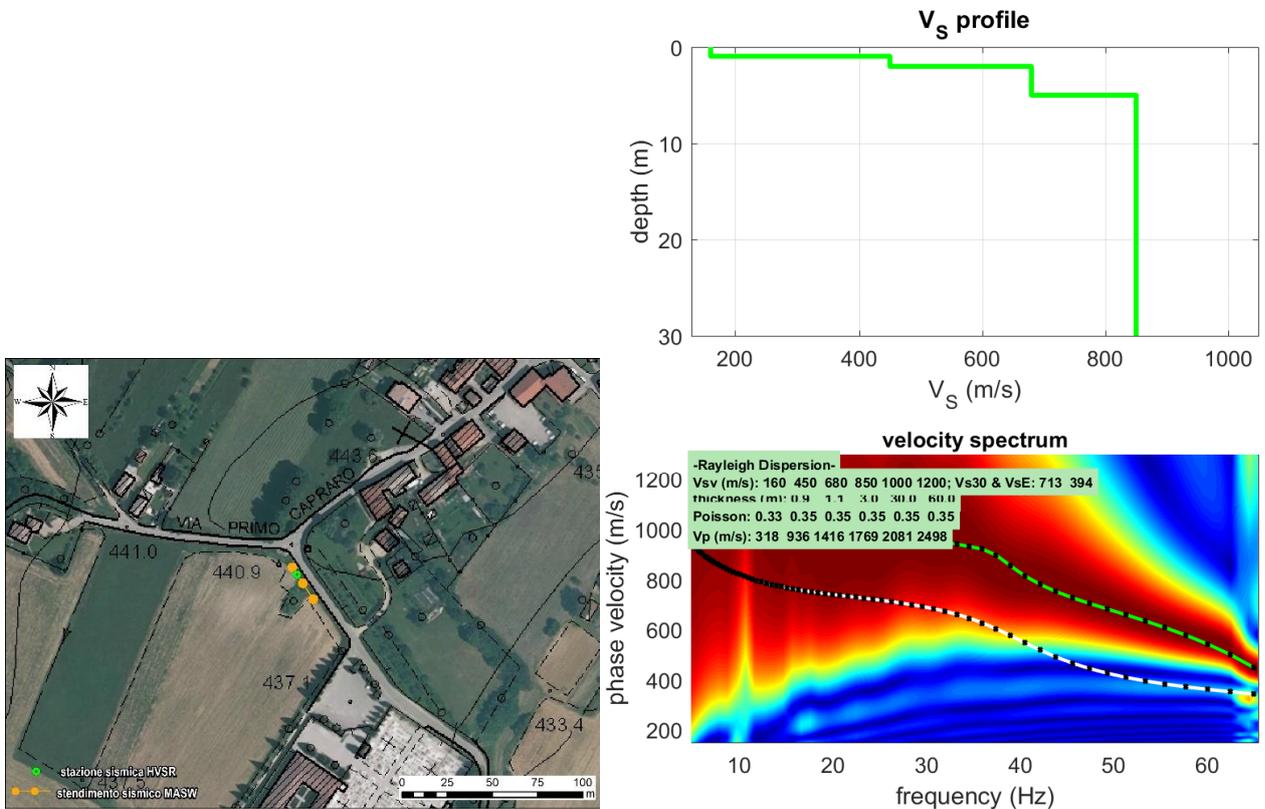
Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

DATA ESECUZIONE	17/11/2022
------------------------	------------

RISULTATI E UBICAZIONE



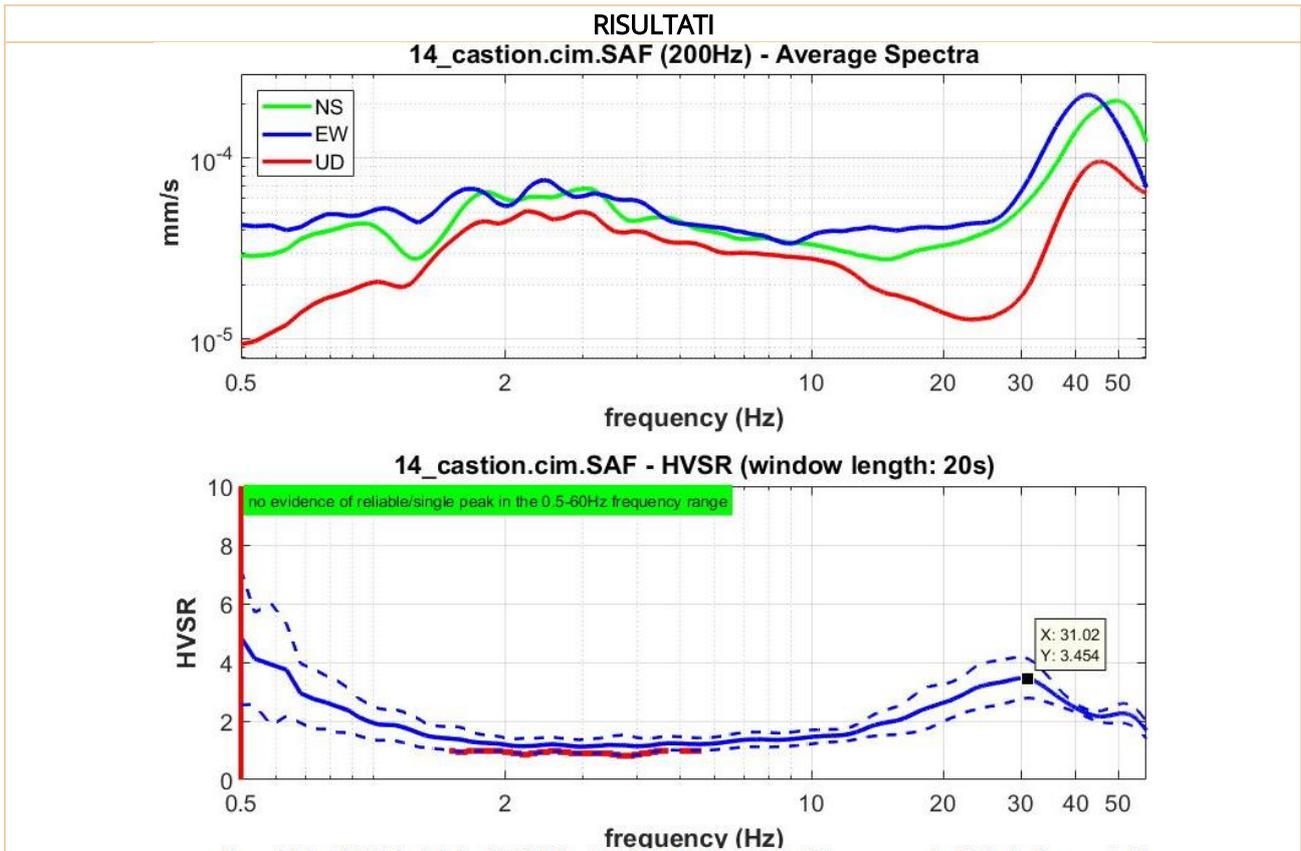
V_{S,eq} [m/s] 394

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 14_Castion Cimitero

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Castion
DATA ESECUZIONE	17/11/2022



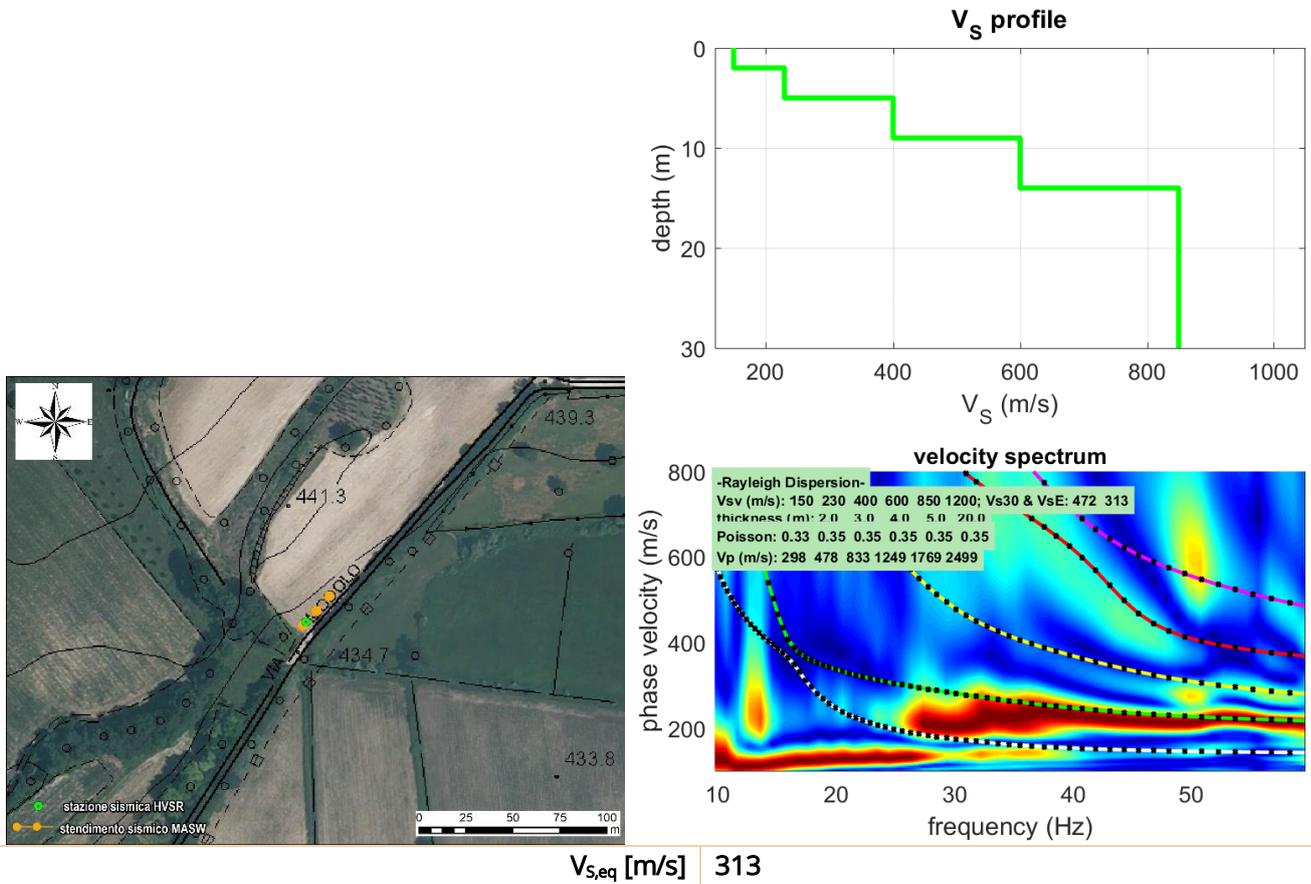
<p>Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]</p>	<p>31.02 Hz (poco rilevante ai fini della progettazione sismica)</p>
--	---



MASW 15_Modulo

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Modolo
DATA ESECUZIONE	17/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

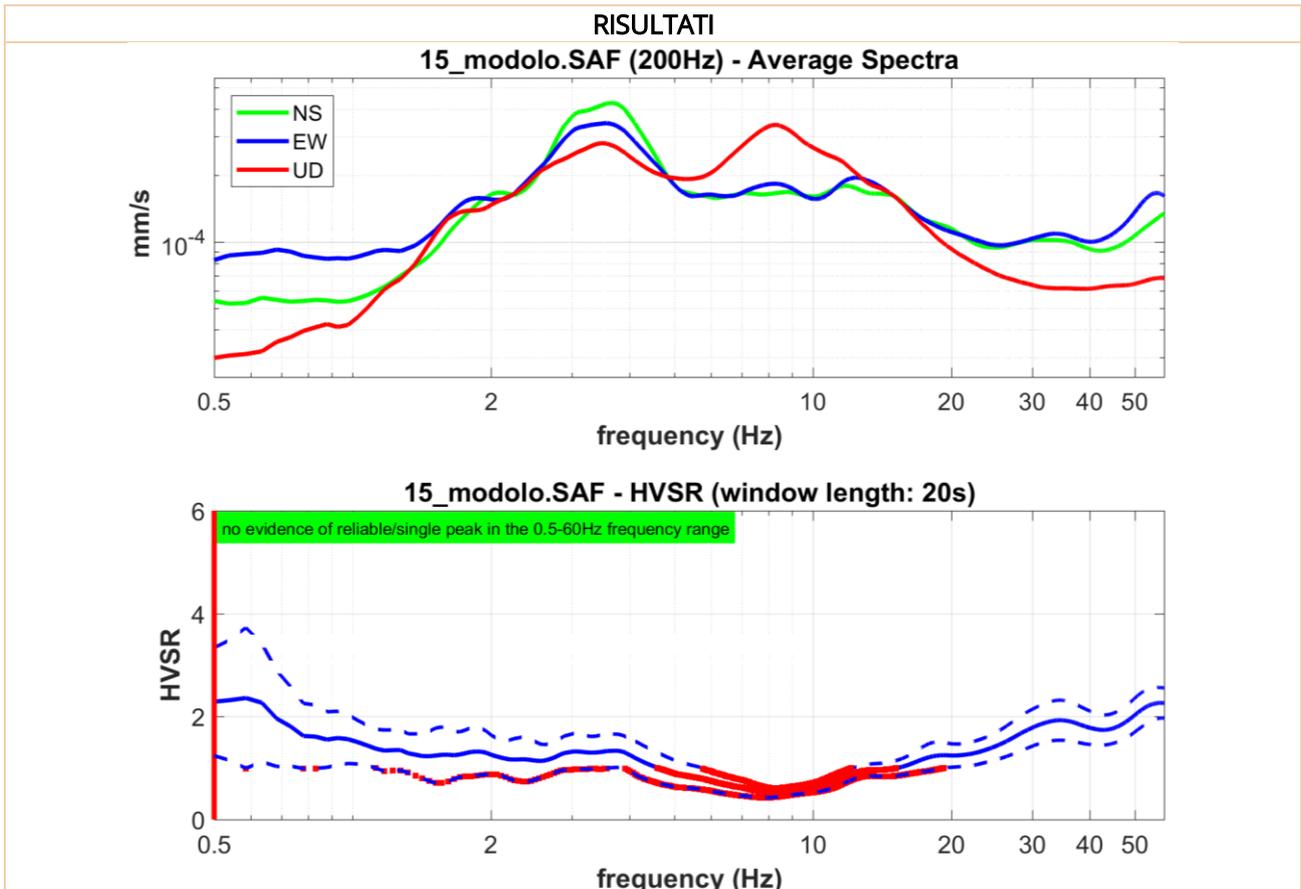


DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 15_Modolo

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Modolo
DATA ESECUZIONE	17/11/2022



<p>Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]</p>	<p>nessuna</p>
--	----------------



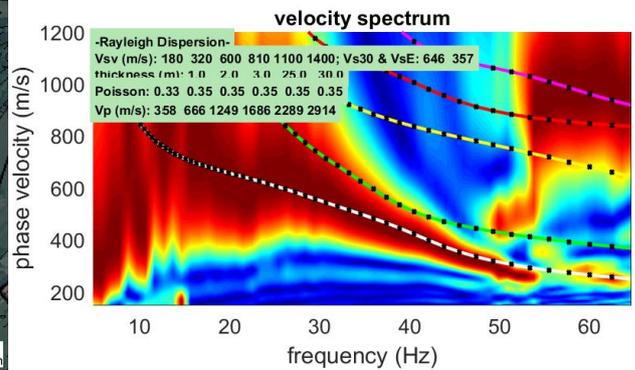
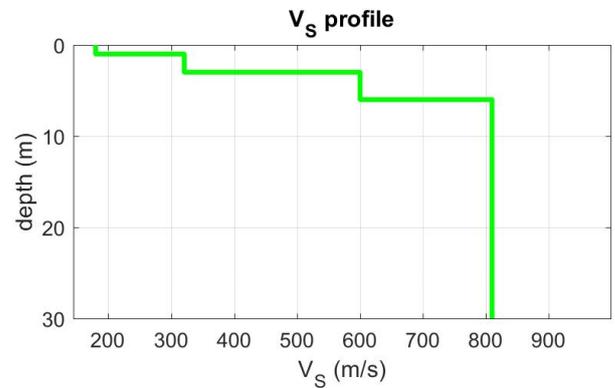
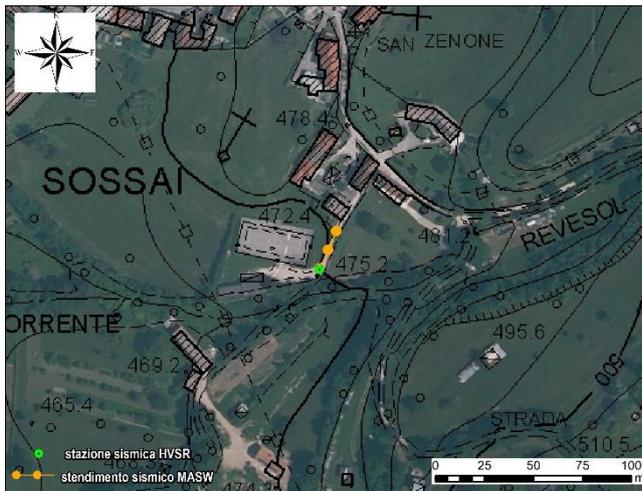
MASW 16_Sossai	
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Sossai
DATA ESECUZIONE	17/11/2022

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

RISULTATI E UBICAZIONE



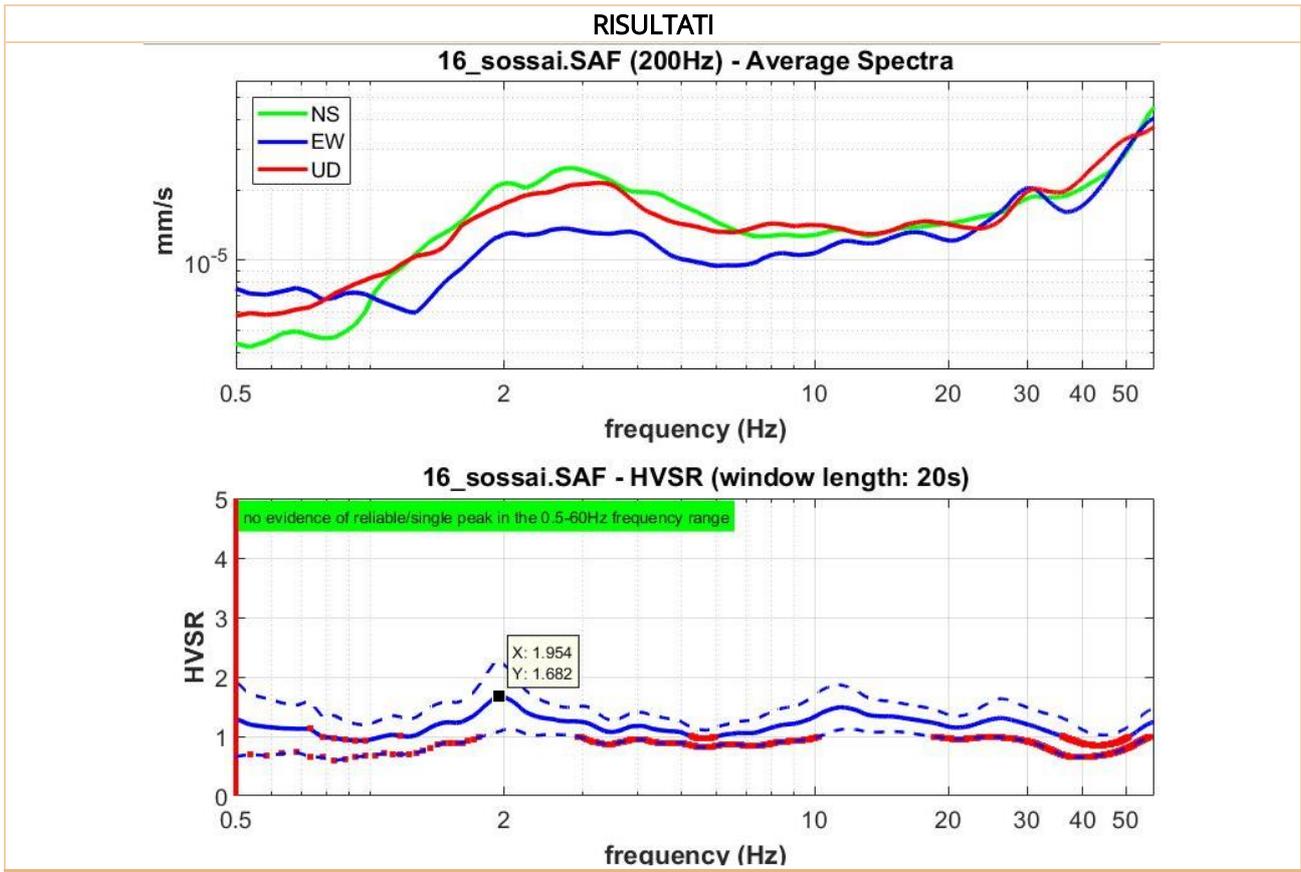
$V_{s,eq}$ [m/s] 357

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 16_Sossai

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Sossai
DATA ESECUZIONE	17/11/2022



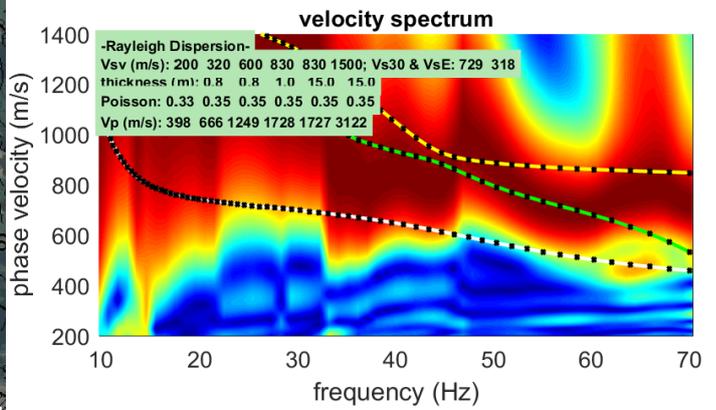
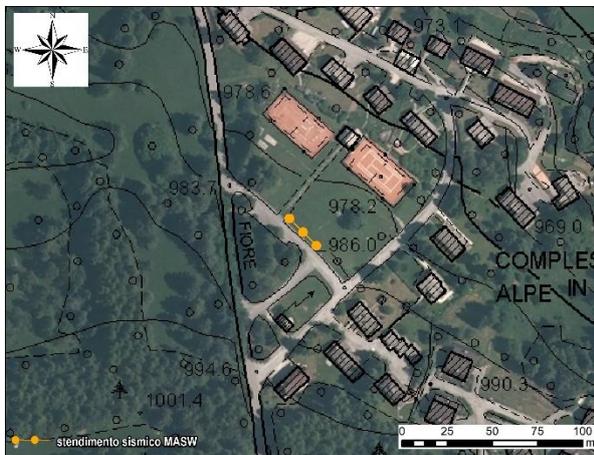
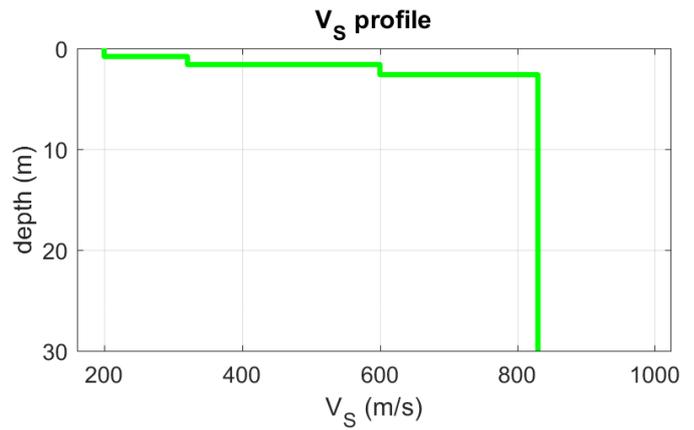
<p>Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]</p>	<p>1.95 Hz</p>
--	----------------



MASW 17_Alpe Nevegal

<p>TIPO INDAGINE</p>	<p>MASW</p>
<p>LOCALITÀ</p>	<p>Nevegal</p>
<p>DATA ESECUZIONE</p>	<p>17/11/2022</p>

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 318

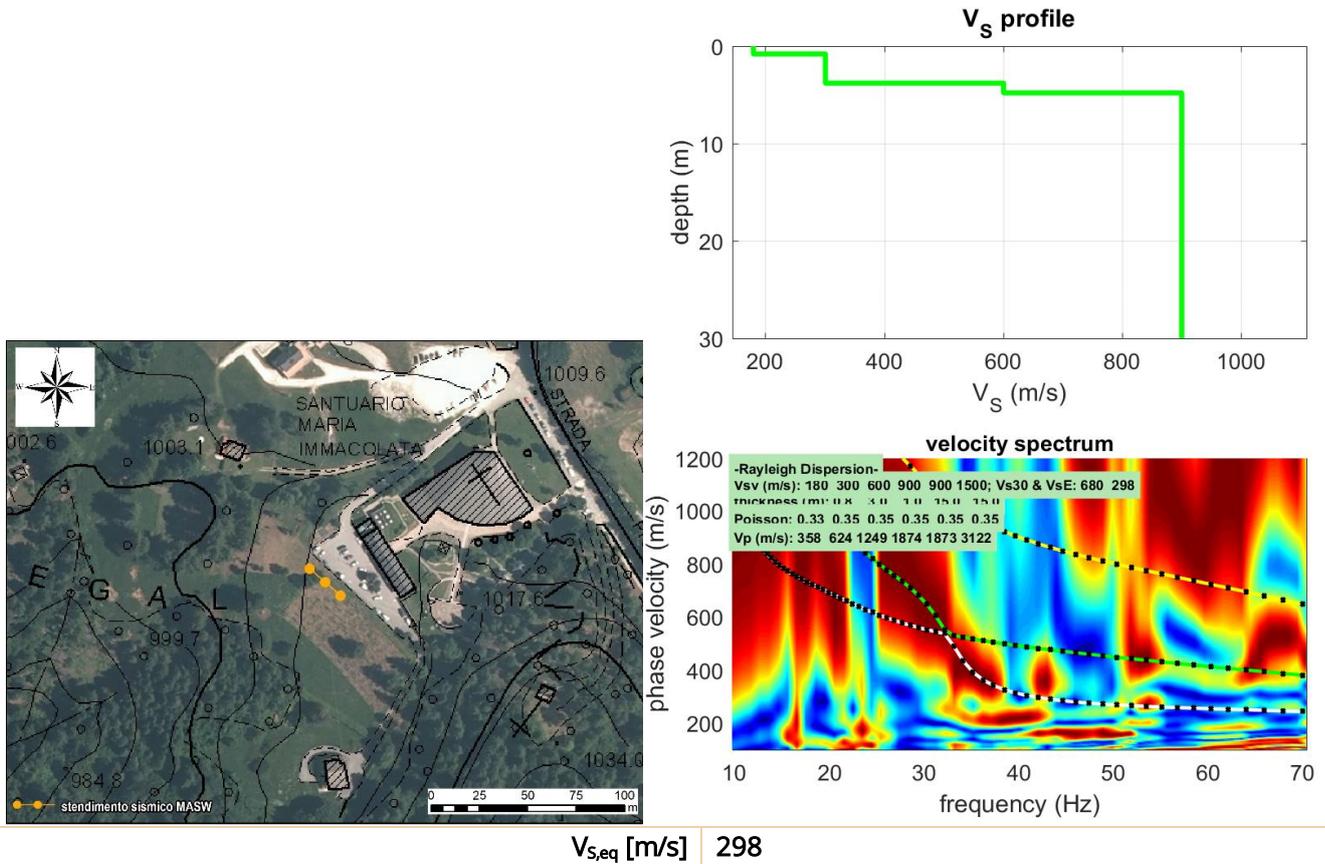
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 18_Santuario Nevegal

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Nevegal
DATA ESECUZIONE	17/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 19_Villaggio Olimpo

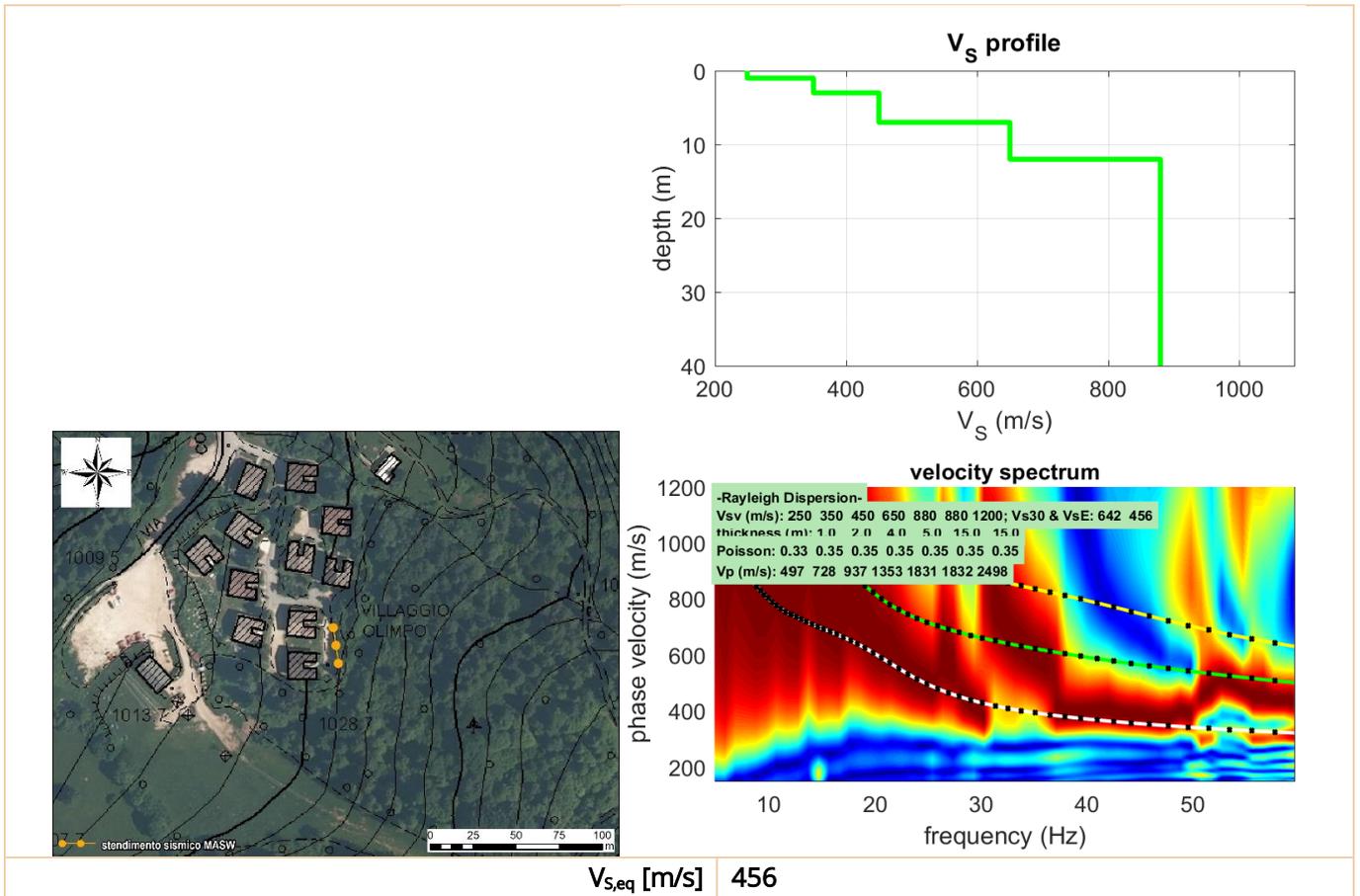
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Nevegal
DATA ESECUZIONE	17/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 20_Pian Longhi

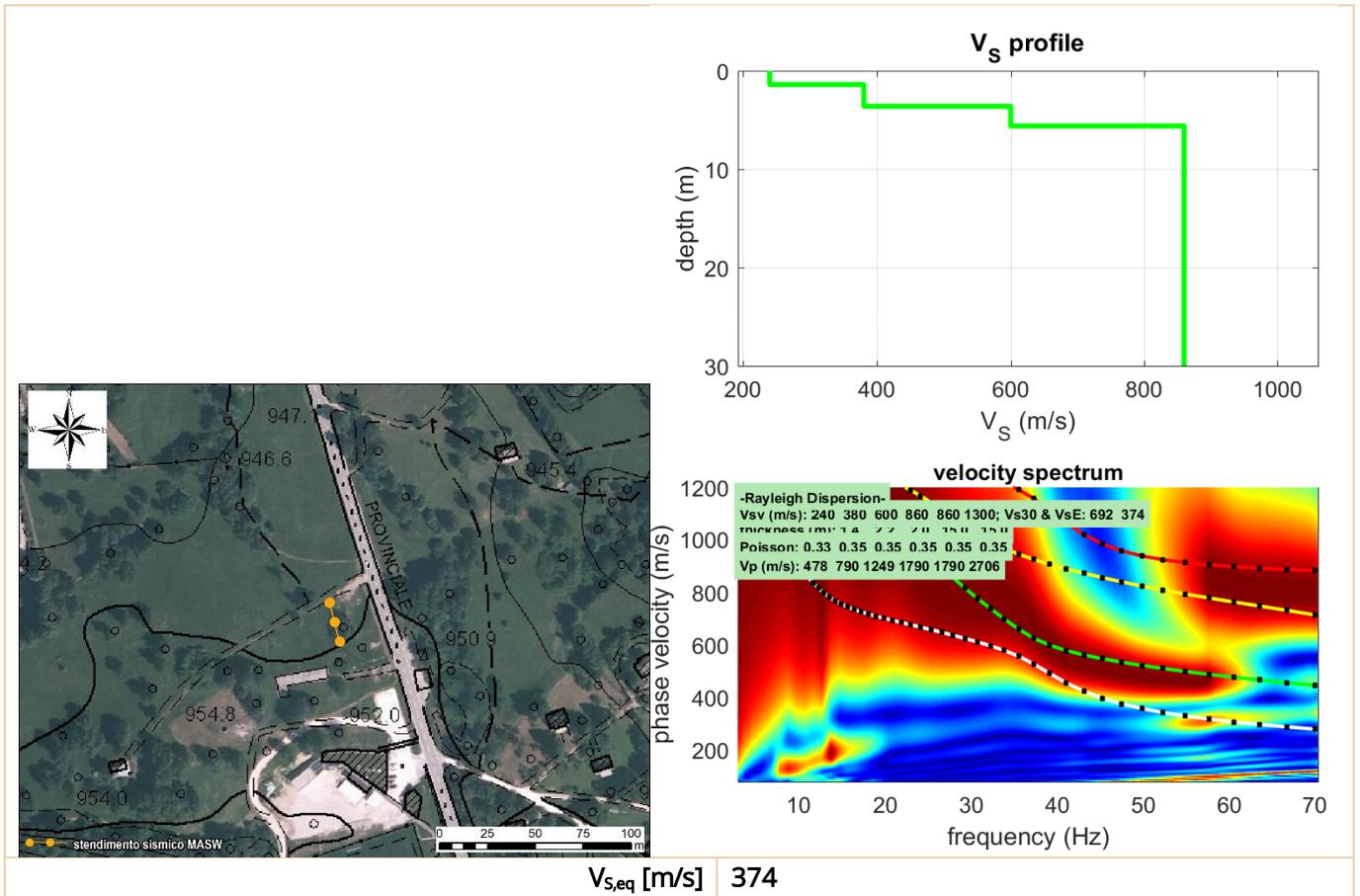
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Pian Longhi
DATA ESECUZIONE	17/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 21_Faverga

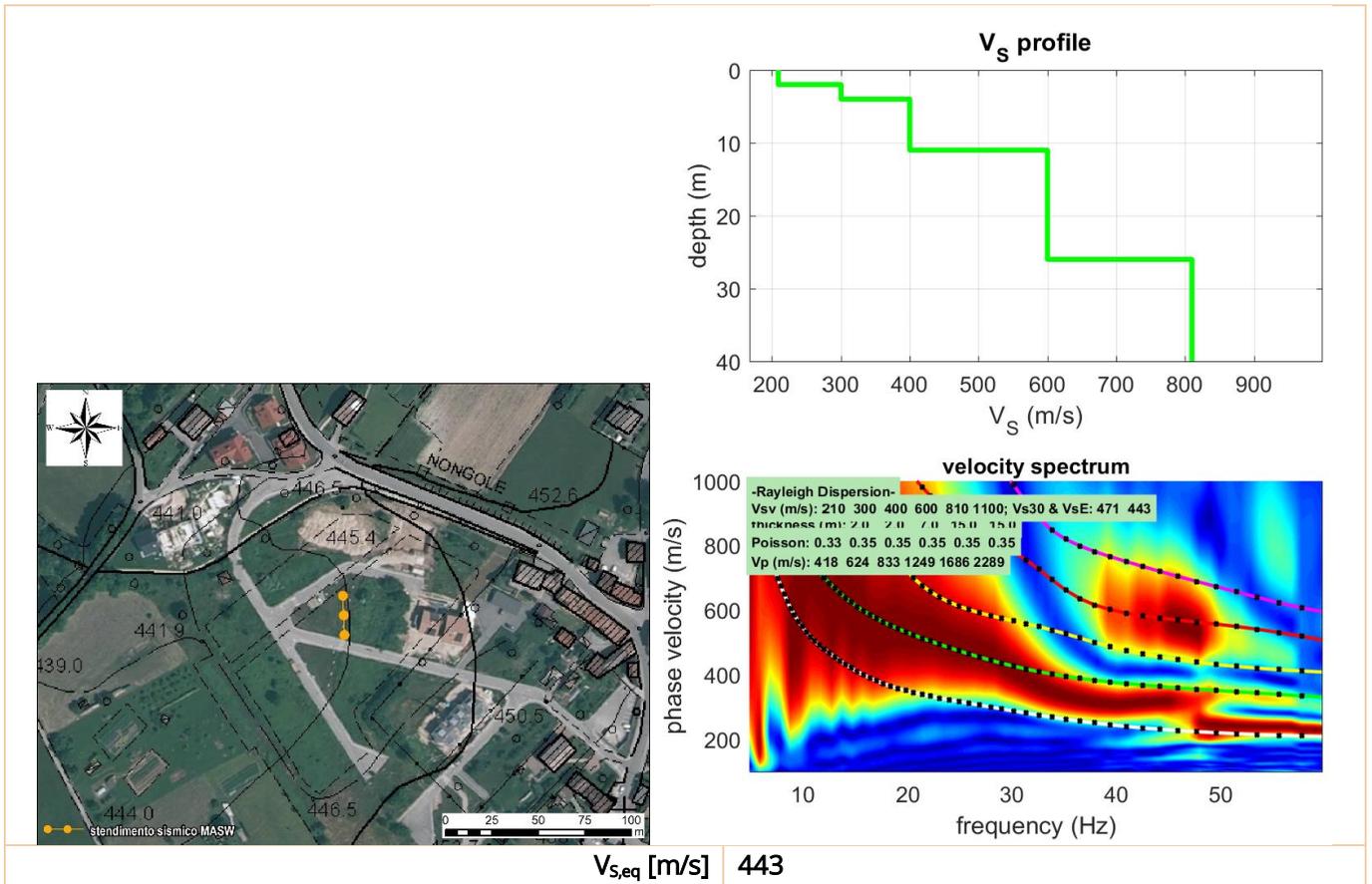
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Faverga
DATA ESECUZIONE	21/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 22_San Giacomo

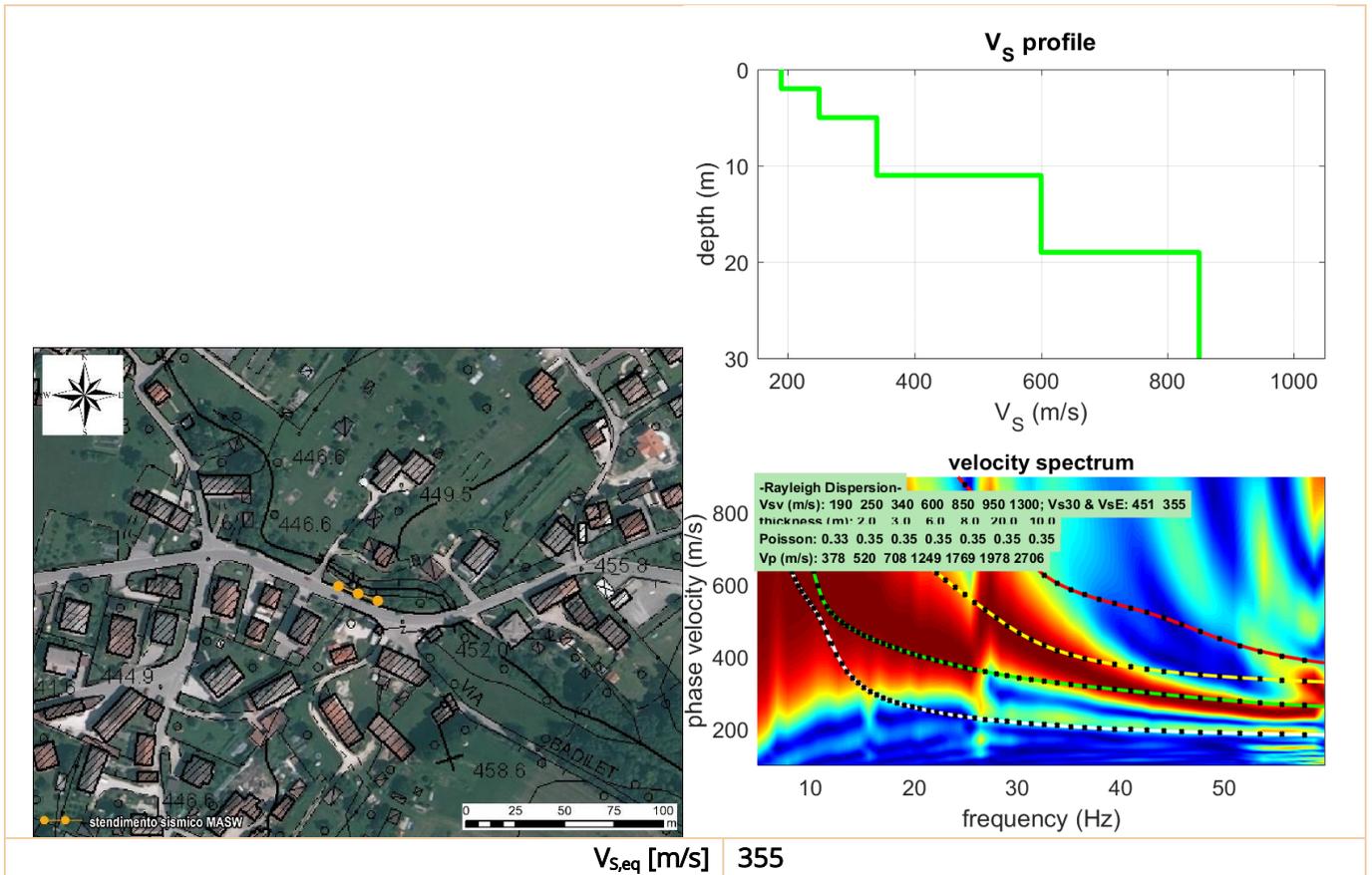
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Madeago - Via San Giacomo
DATA ESECUZIONE	17/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 23_Cirvoi

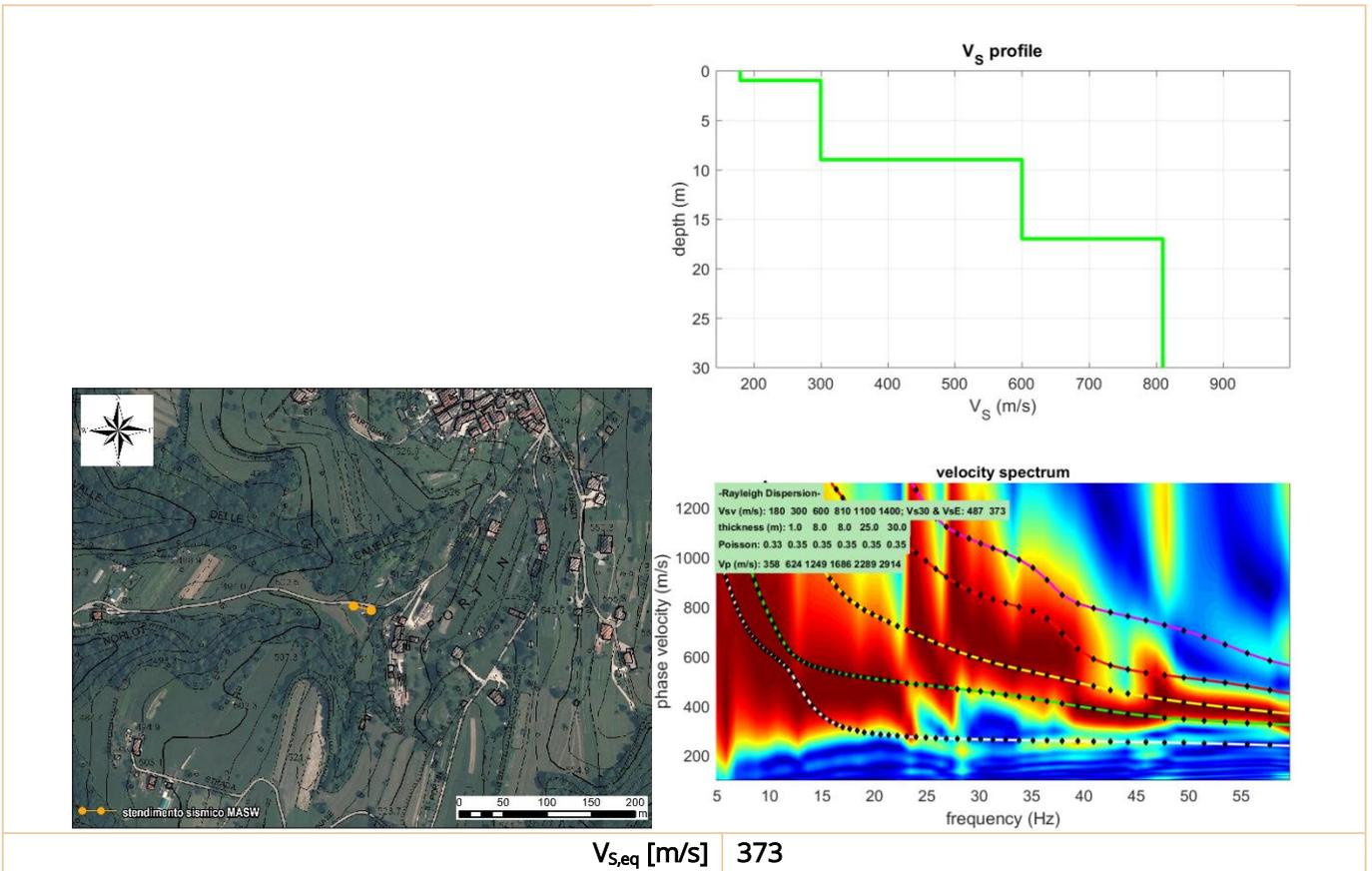
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Cirvoi
DATA ESECUZIONE	17/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 24_Cet

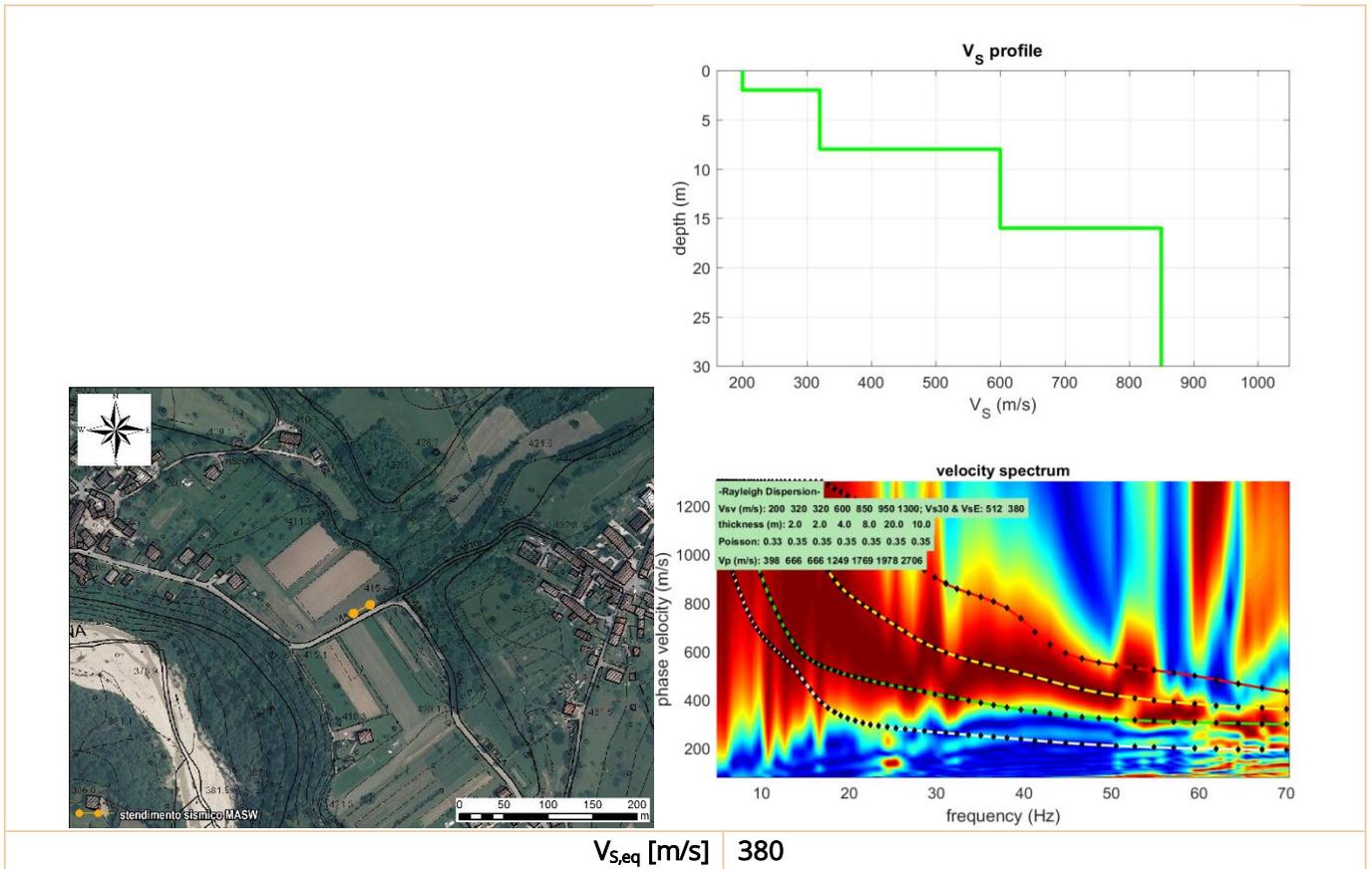
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Cet
DATA ESECUZIONE	17/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



24

MASW 25_Castoi

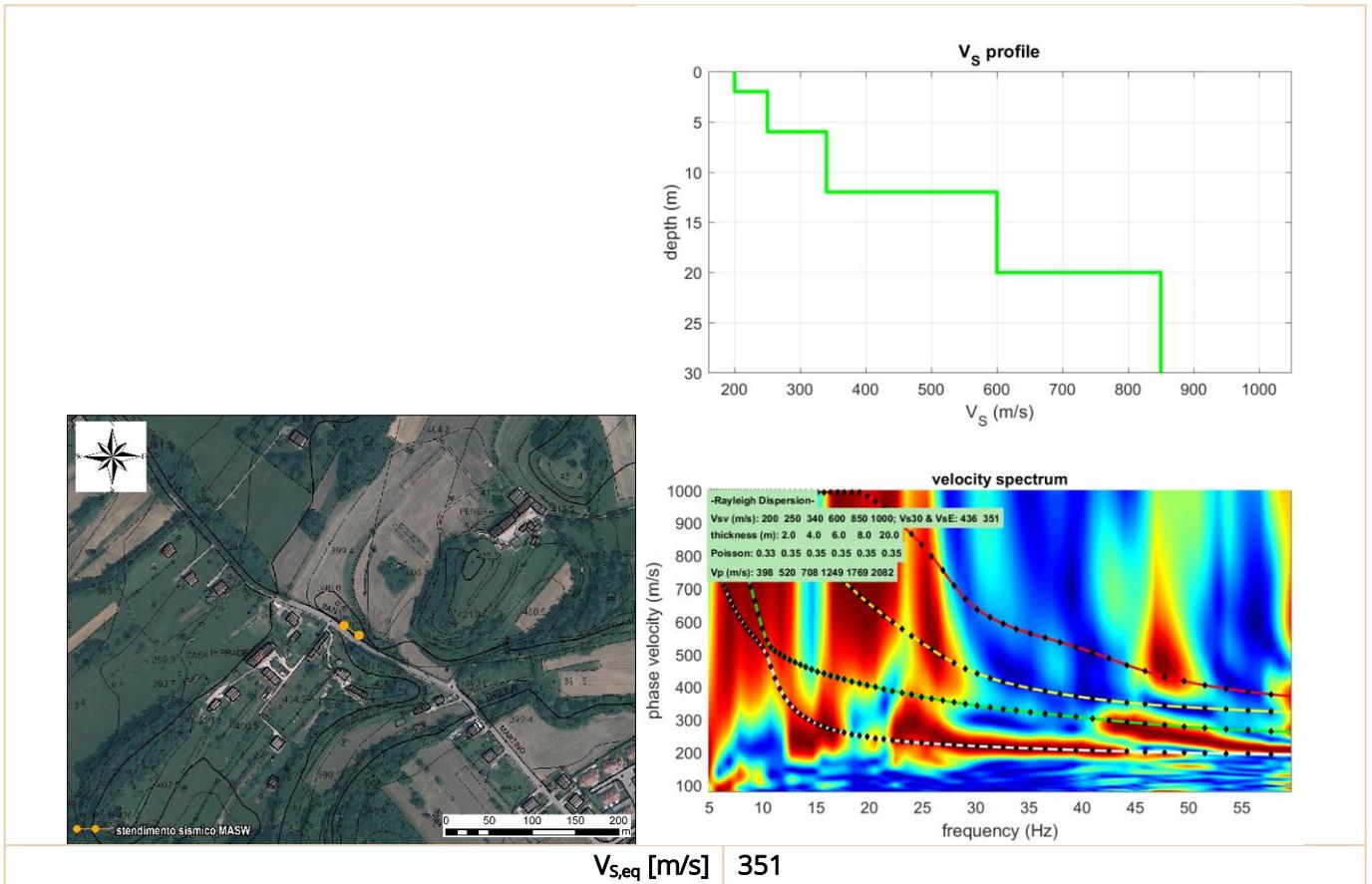
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Castoi
DATA ESECUZIONE	17/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 26_Tisson

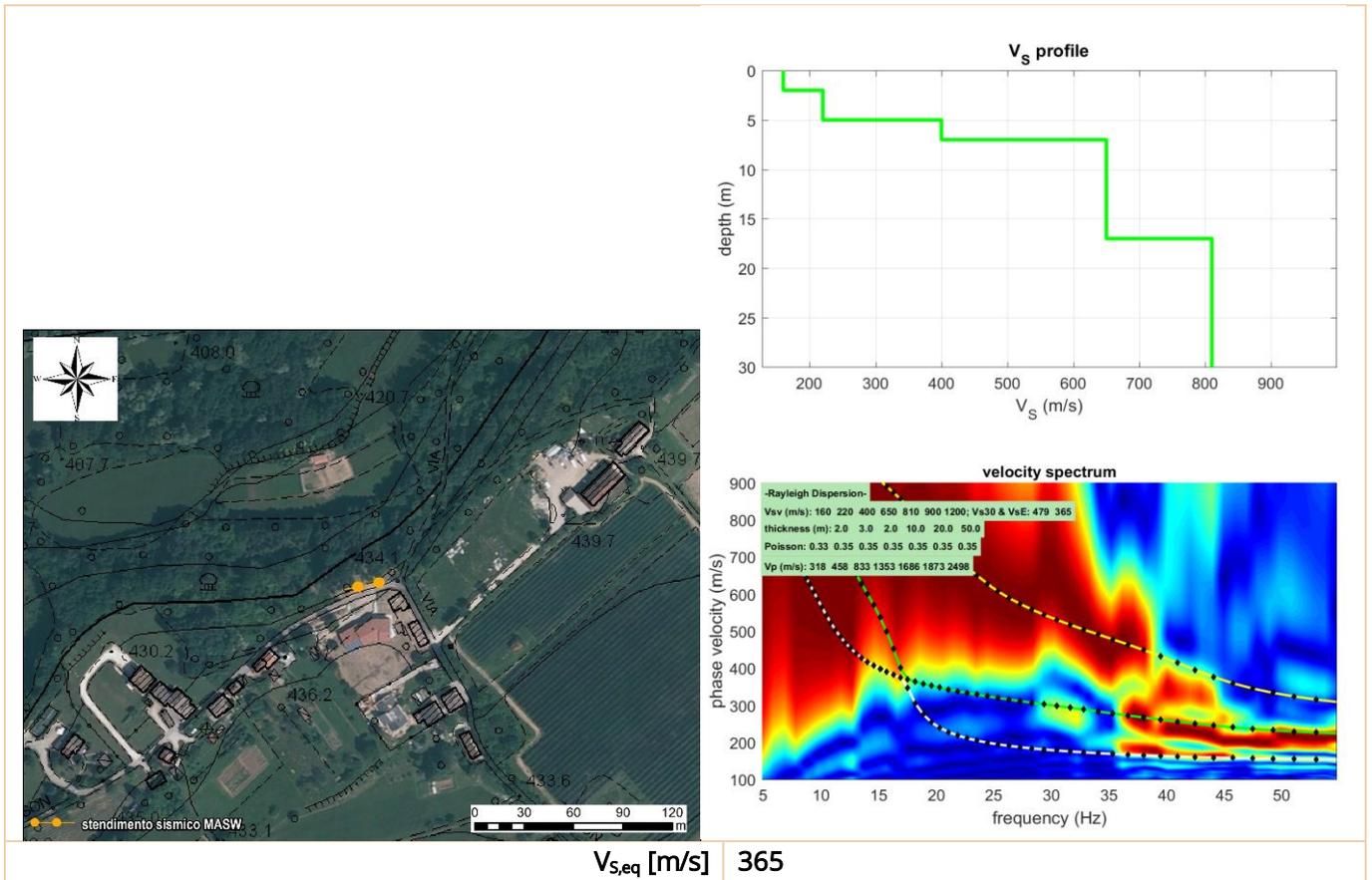
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Tisson
DATA ESECUZIONE	17/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 27_Visome A

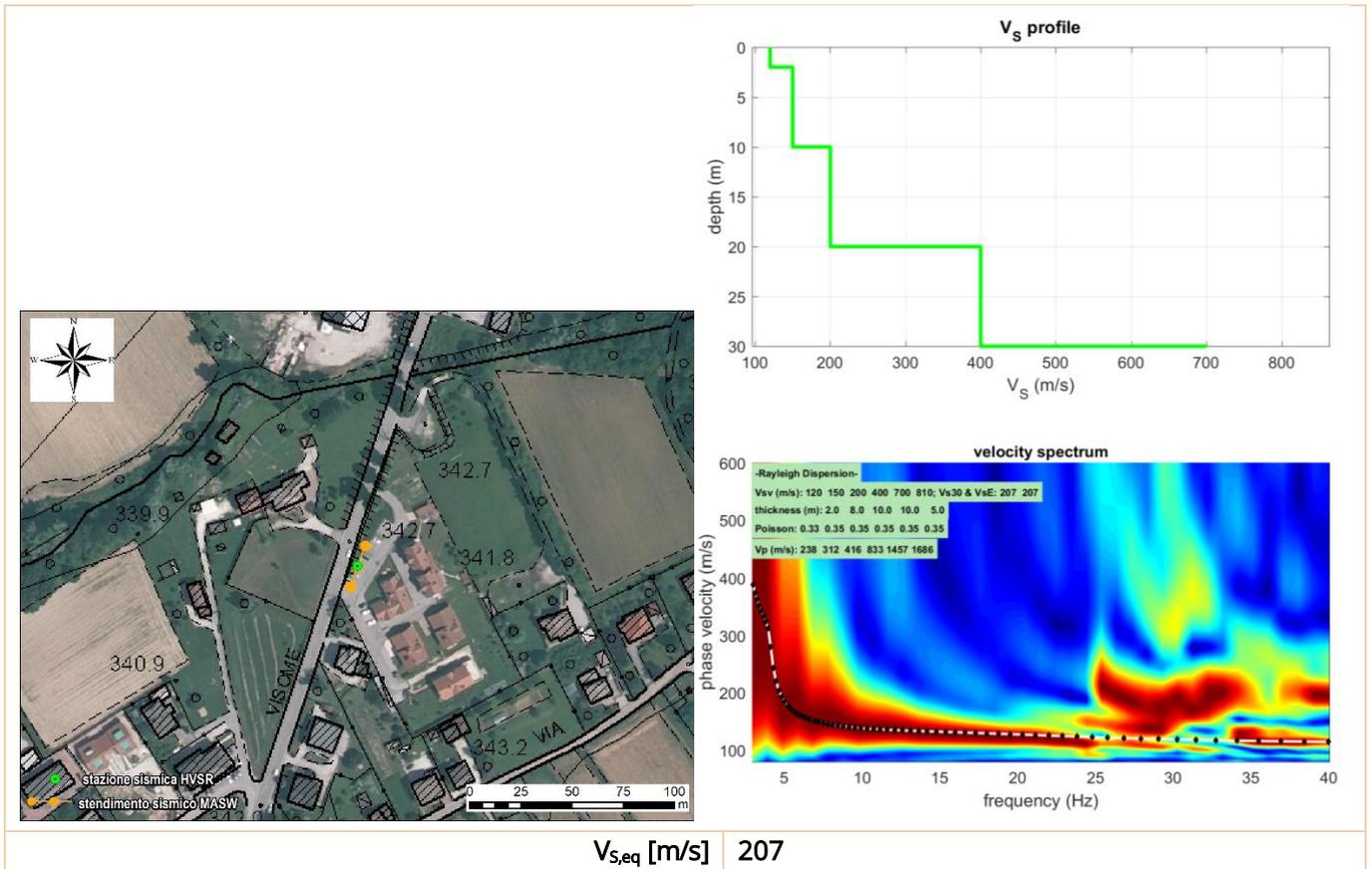
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Visome
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 27_Visome A

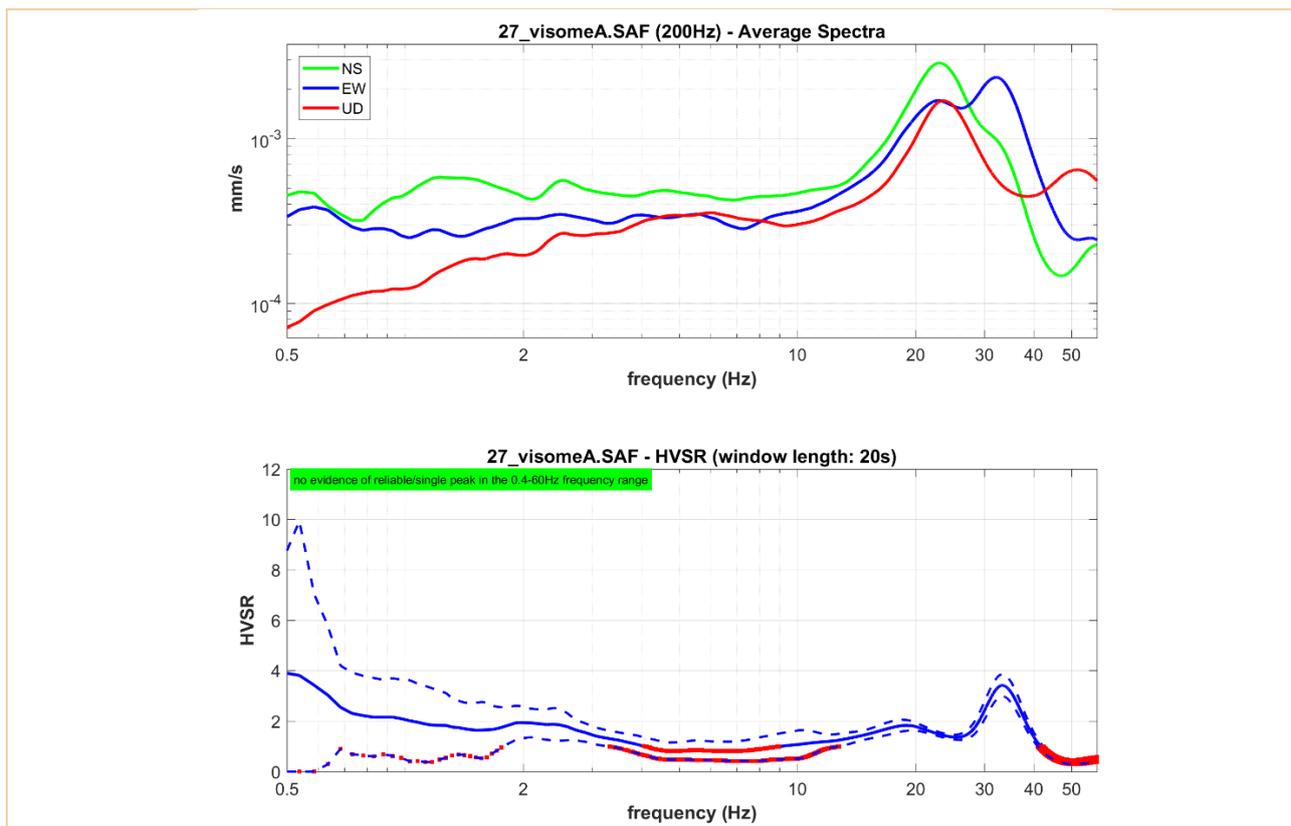
TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Visome A
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



<p>Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]</p>	<p>32 Hz (di poco interesse ai fini della progettazione sismica)</p>
---	--

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 28_Visome B

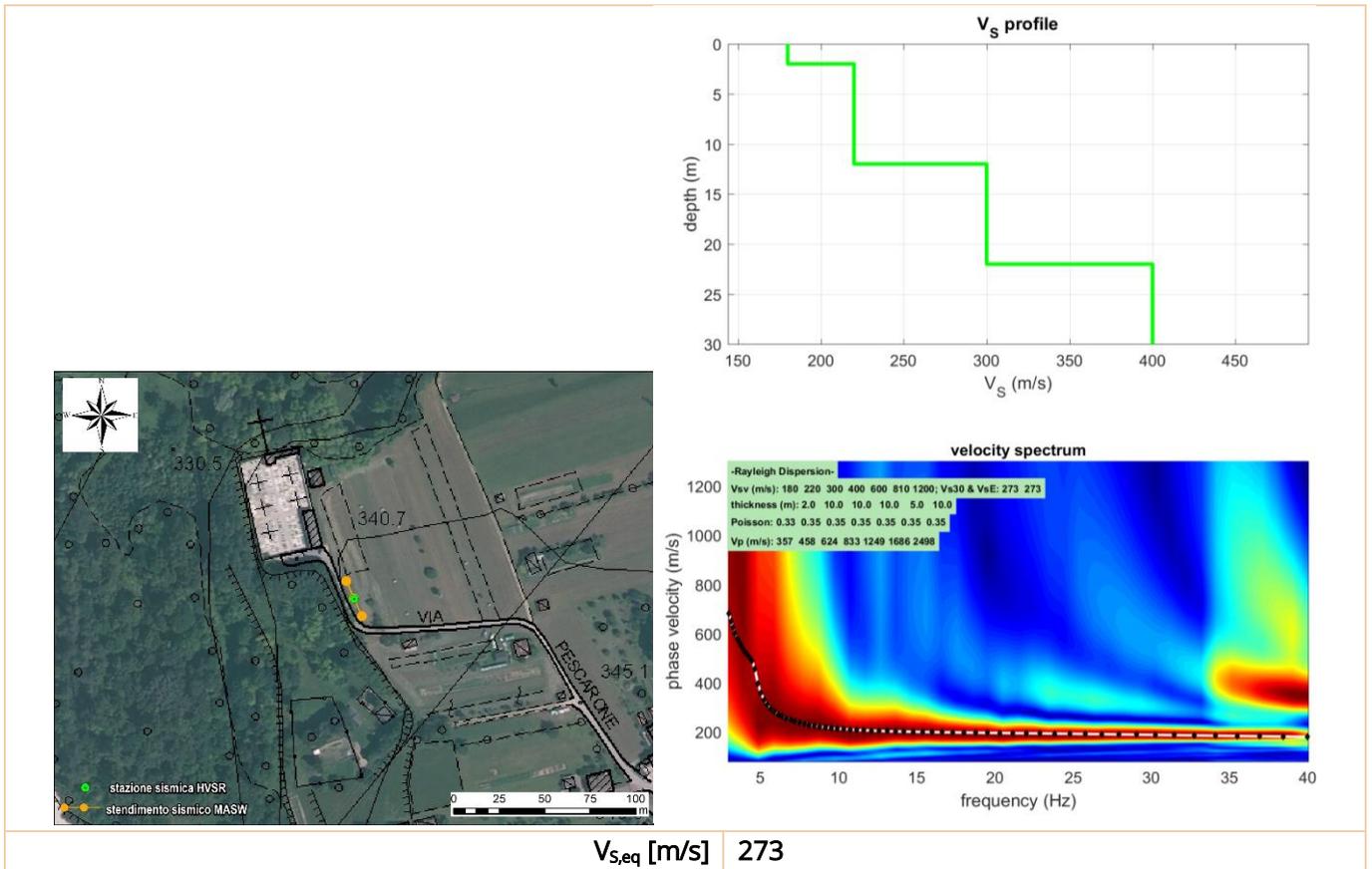
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Visome B
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 28_Visome B

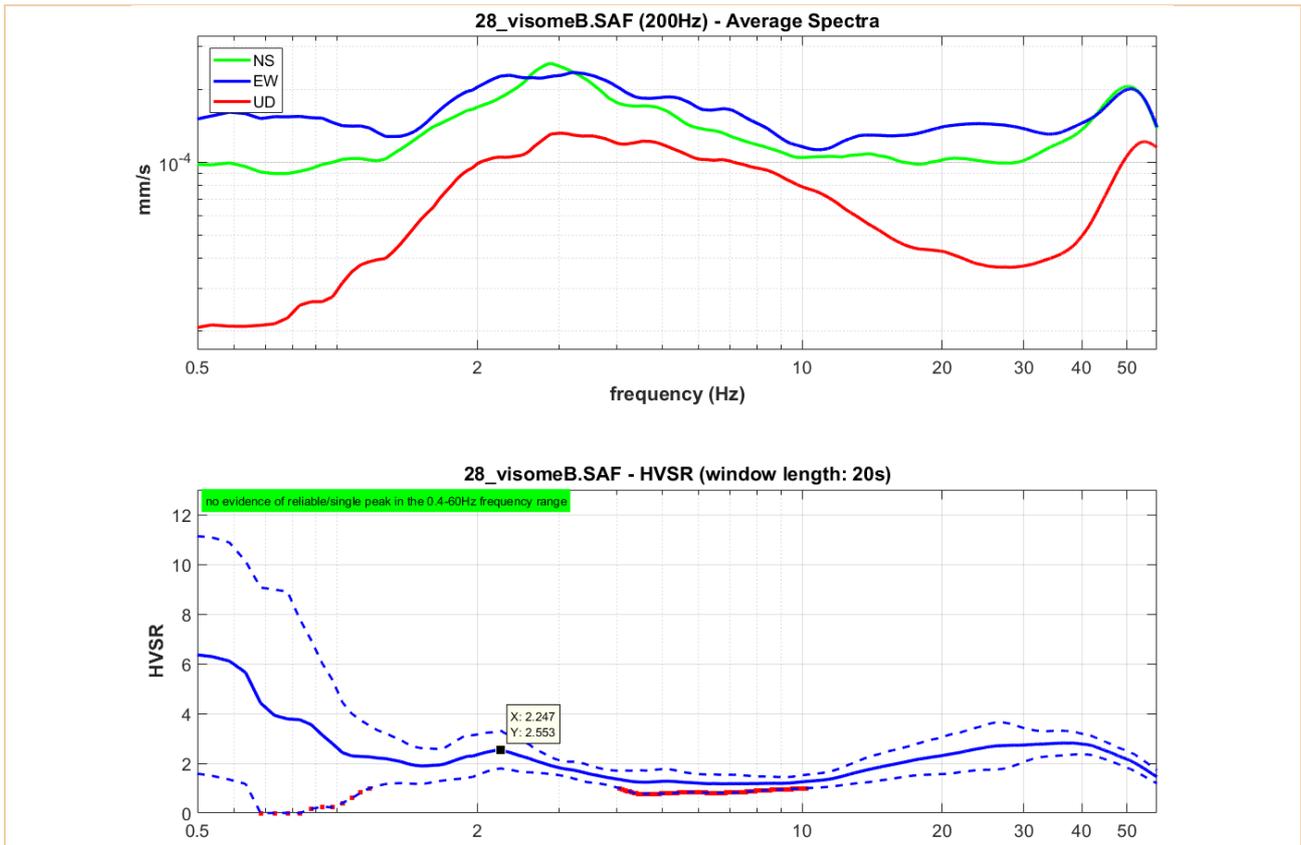
TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Visome (cimitero)
DATA ESECUZIONE	15/11/2022

RISULTATI

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	2.25 Hz (ampiezza debole)
Frequenza secondaria	26.50 Hz (poco rilevante ai fini della progettazione sismica)

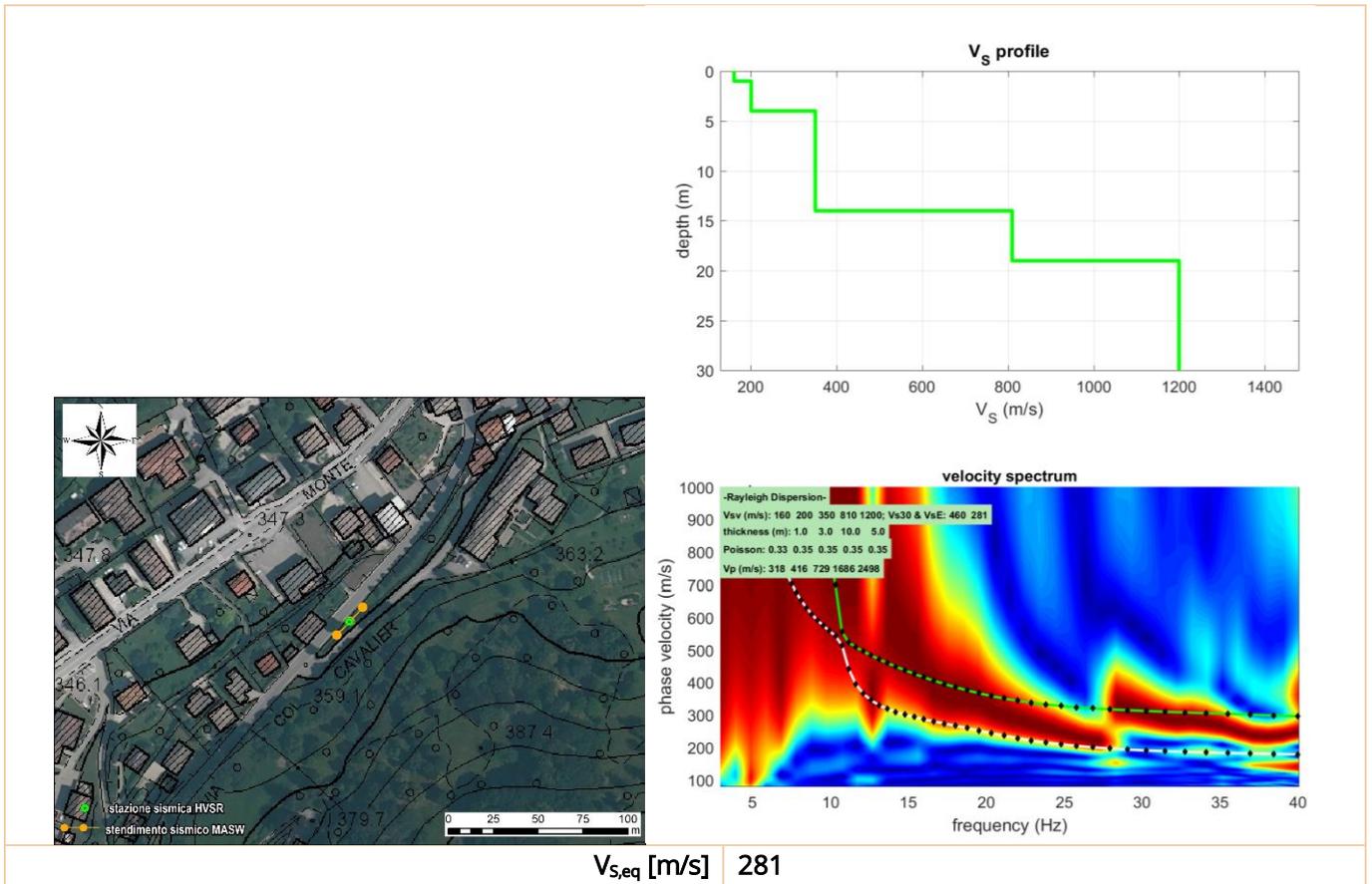
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 29_Col Cavalier	
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Col Cavalier
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

-  Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18
-  S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2
-  Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 29_Col Cavalier

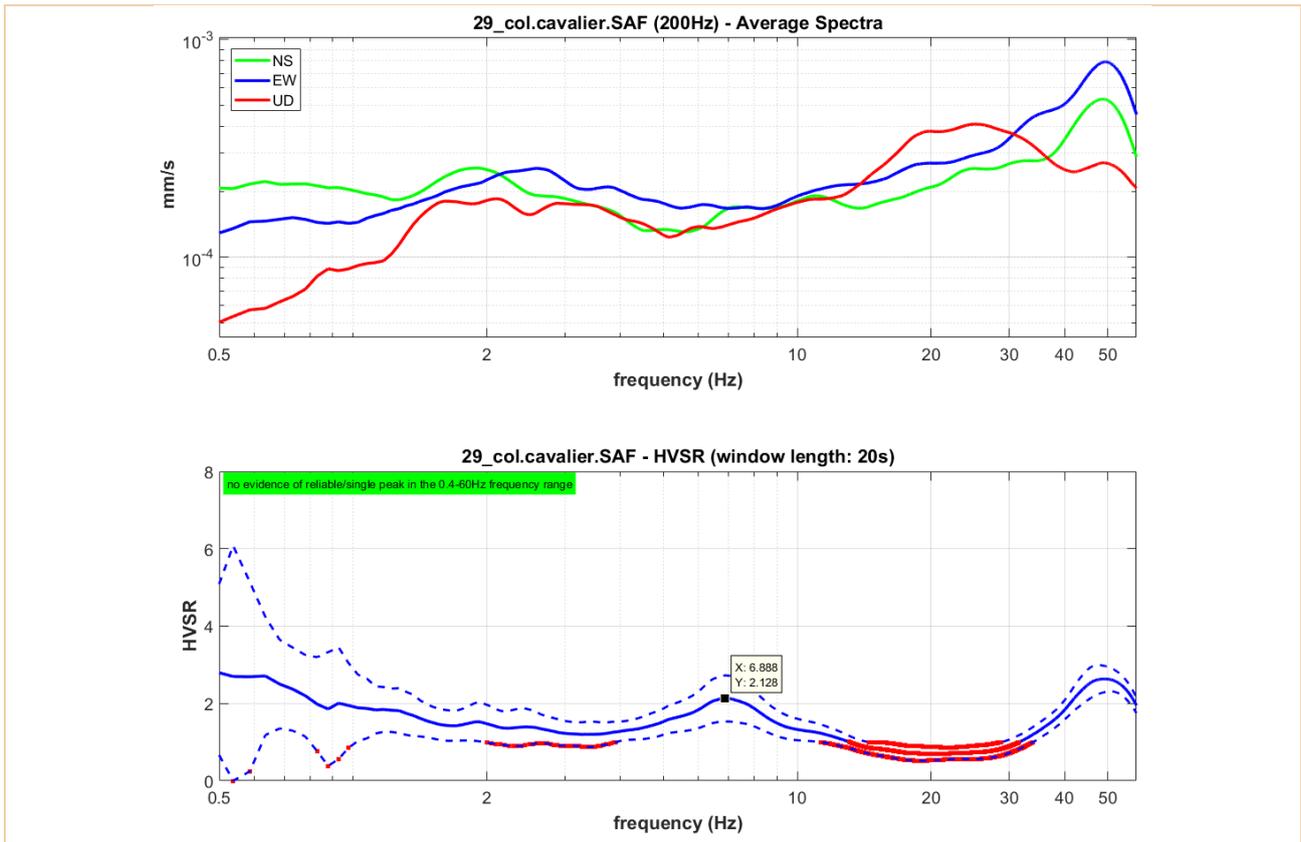
TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Col Cavalier
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

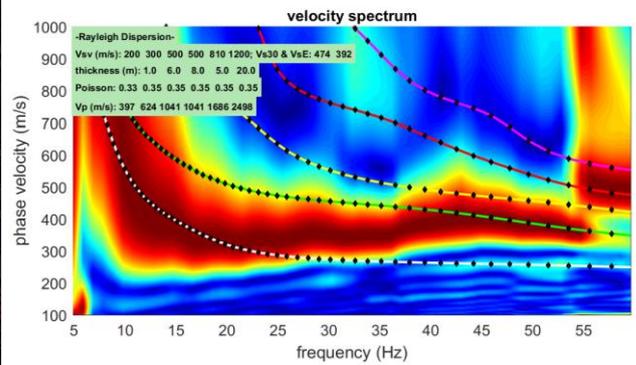
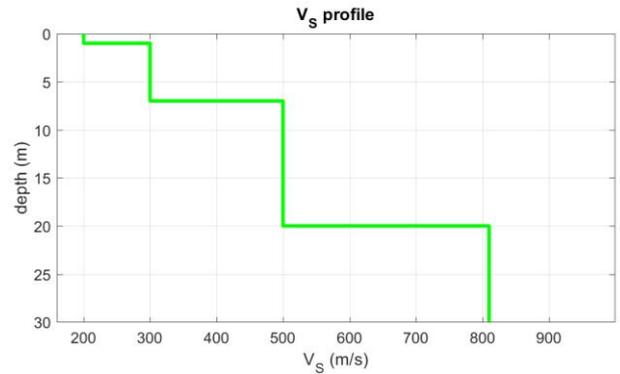
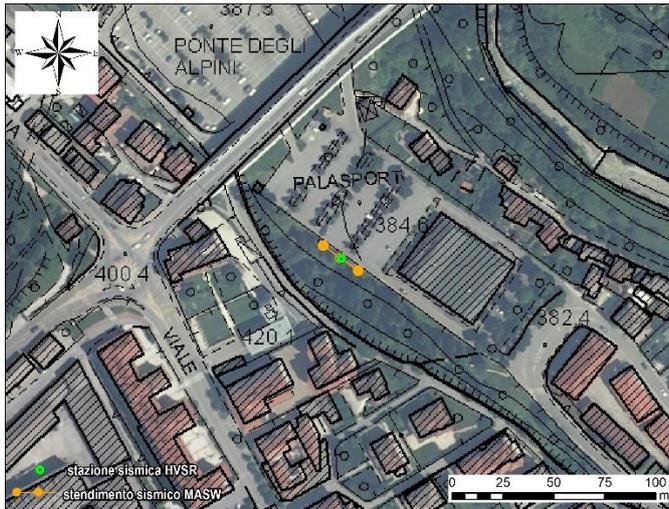


Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	6.88 Hz
--	---------



MASW 30_Palaspport	
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Piazzale Associazione Bellunese Volontari del Sangue (c/o parcheggio Palaspport De Mas)
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 392

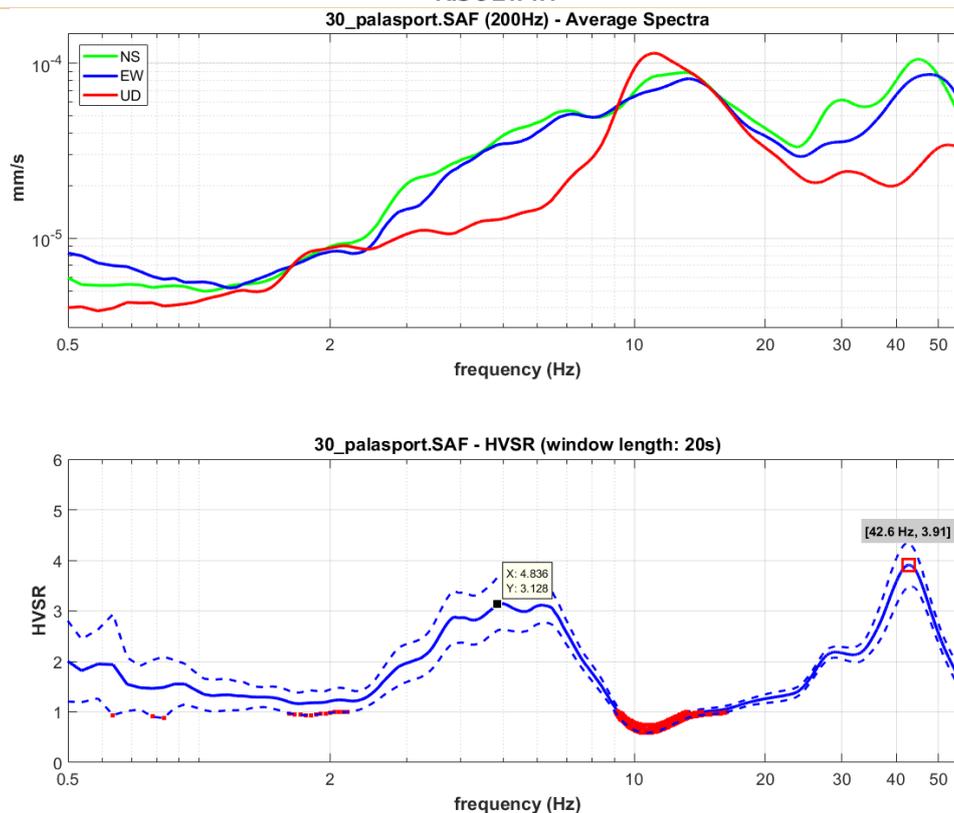
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 30_Palasport

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Piazzale Associazione Bellunese Volontari del Sangue (c/o parcheggio Palasport De Mas)
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI



Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	4.83 Hz
Frequenza secondaria	42.6 Hz (poco rilevante ai fini della progettazione sismica)

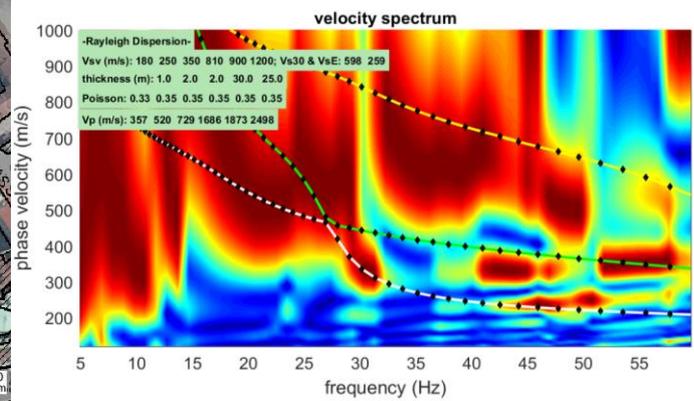
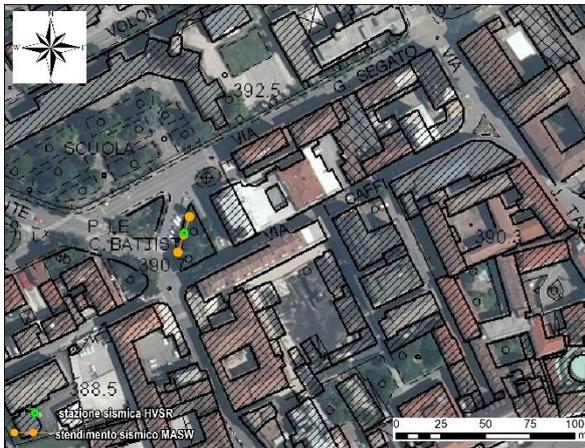
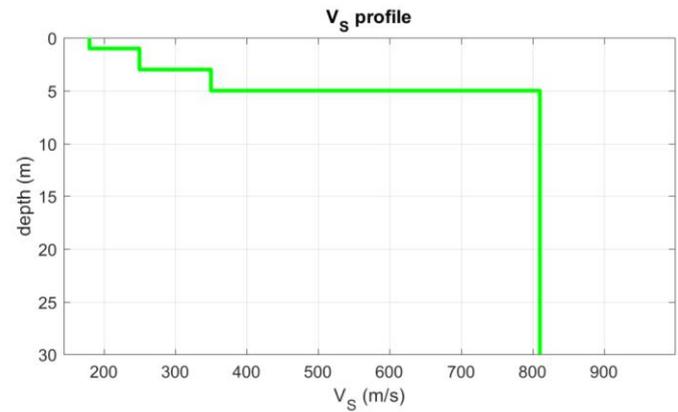
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 31_Battisti

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Piazzale Battisti
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 259

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 31_Battisti

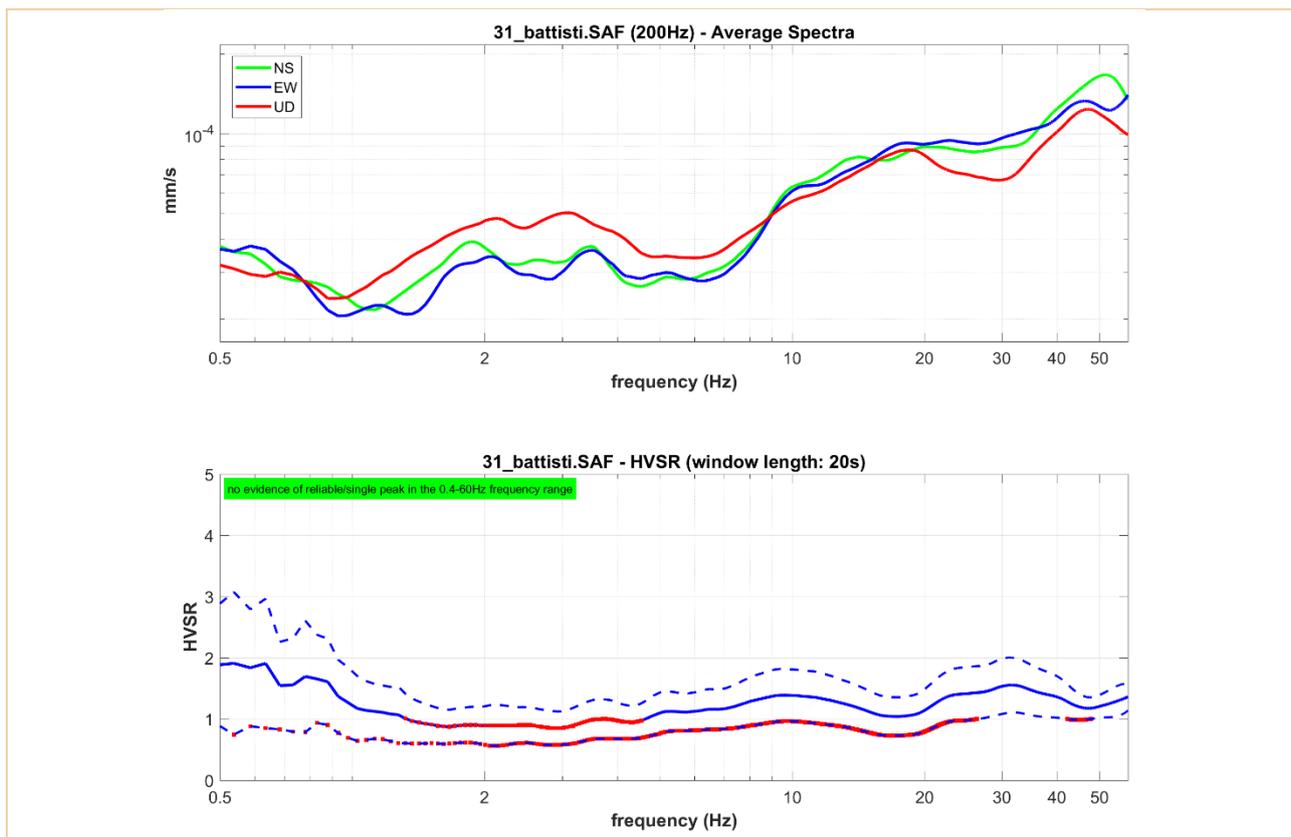
TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Piazzale Cesare Battisti
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

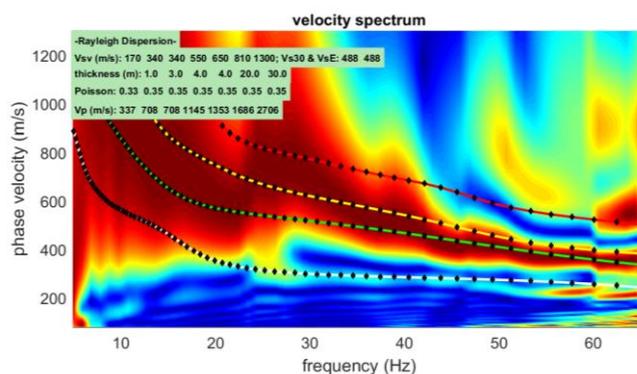
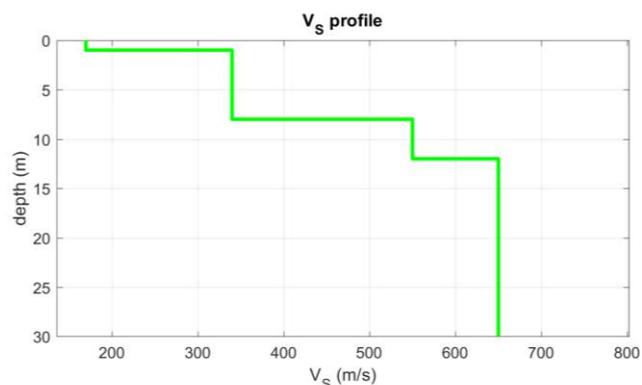


Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	nessuna
--	---------



MASW 32_Villa Magra	
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Villa Magra
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 488

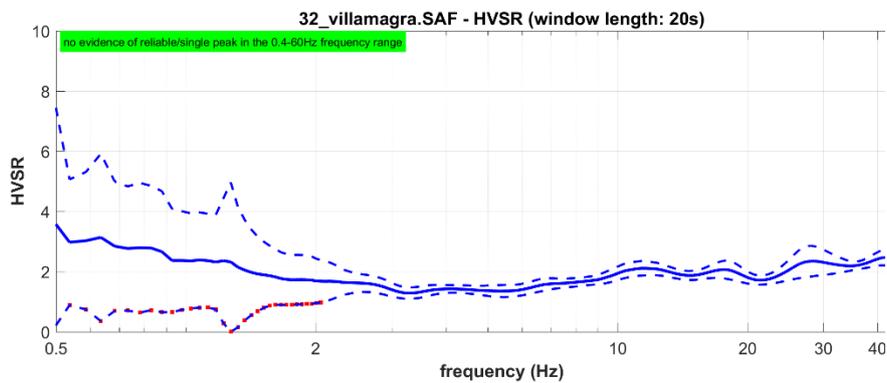
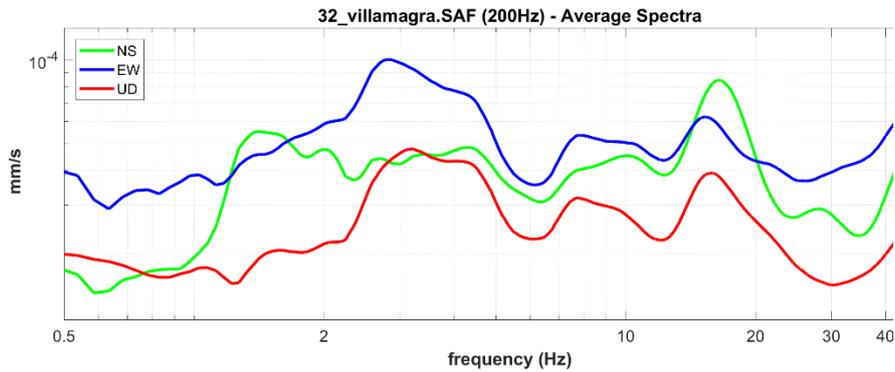
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 32_Villa Magra

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Villa Magra
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI



Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]

Nessuna

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 33_Mier

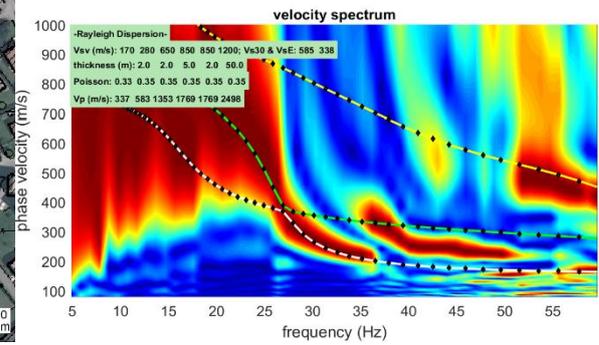
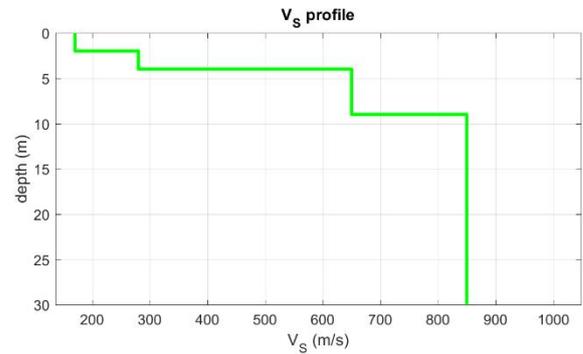
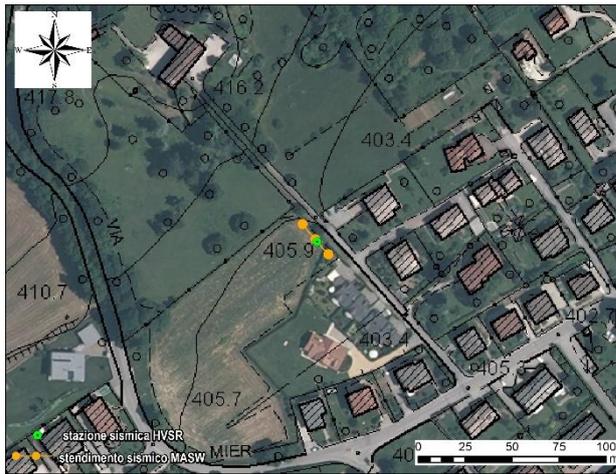
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Mier
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

RISULTATI E UBICAZIONE



V_{s,eq} [m/s] 338

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

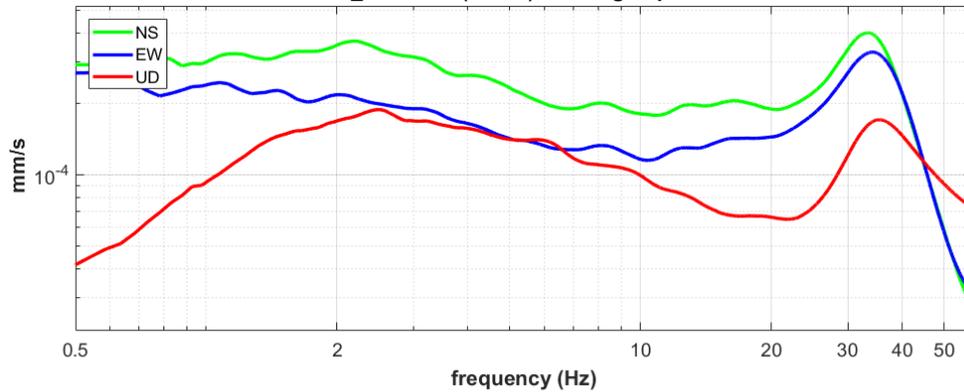


HV 33_Mier

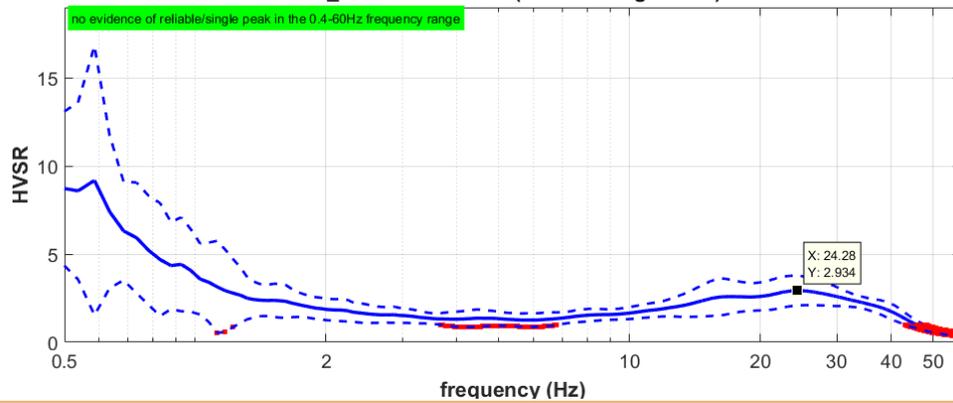
TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Mier
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI

33_mier.SAF (200Hz) - Average Spectra



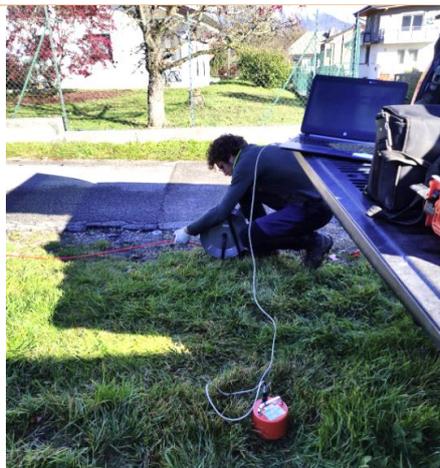
33_mier.SAF - HVSr (window length: 20s)



Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]

24.28 Hz

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 34_Mares

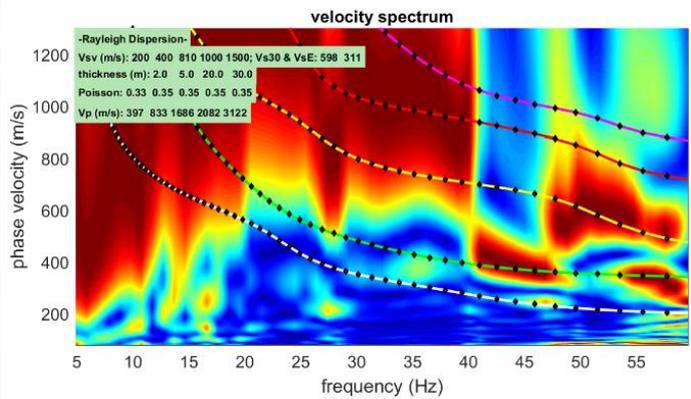
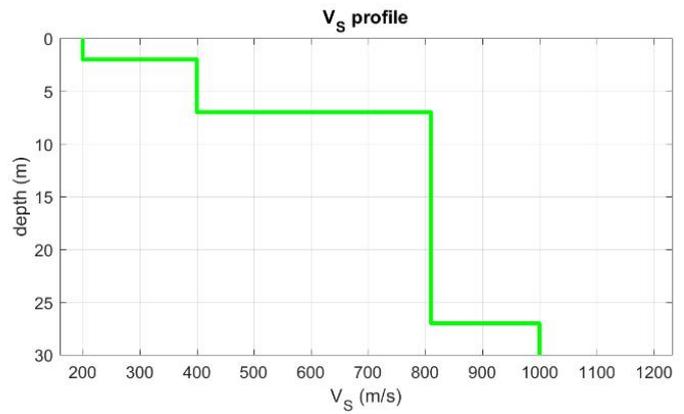
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Mares
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 311

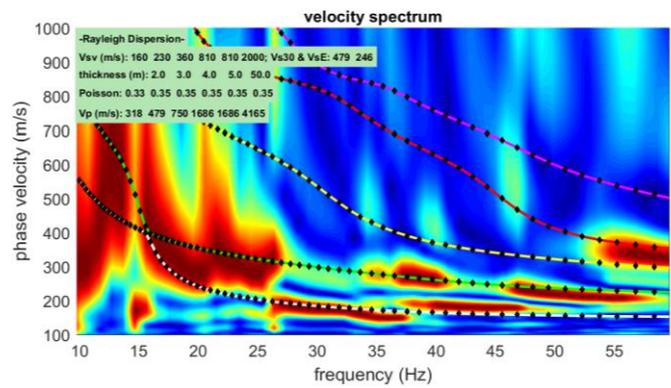
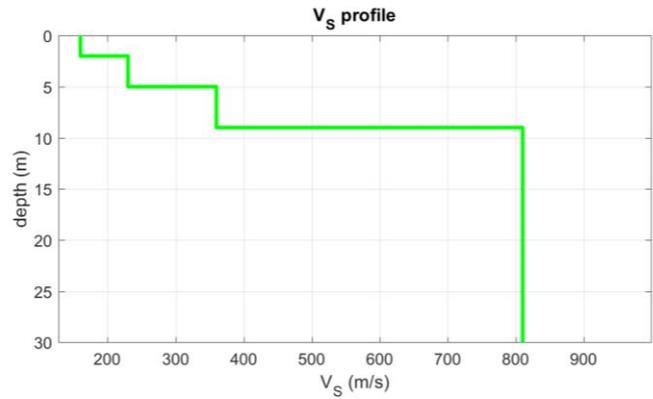
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 35_Col di Piana

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Col di Piana
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 246

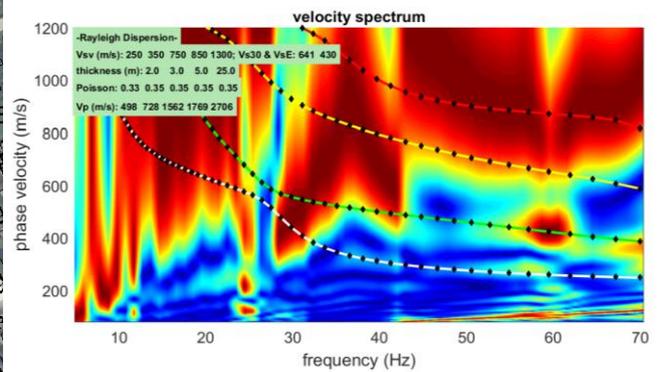
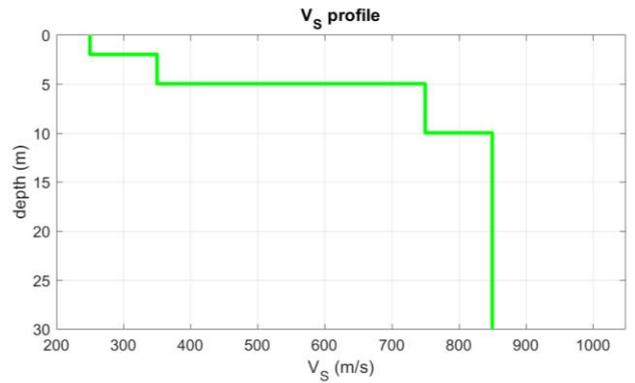
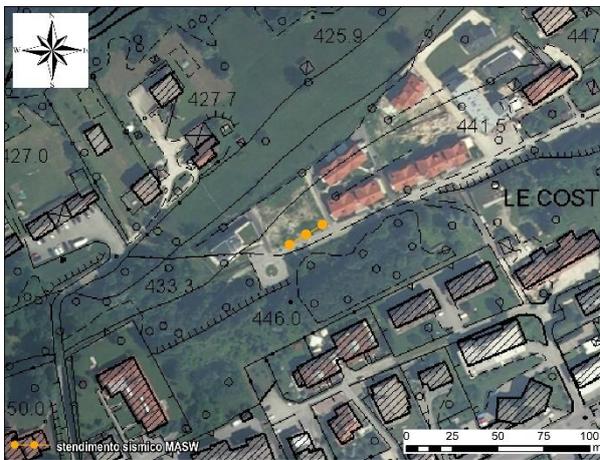
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 36_Le Coste

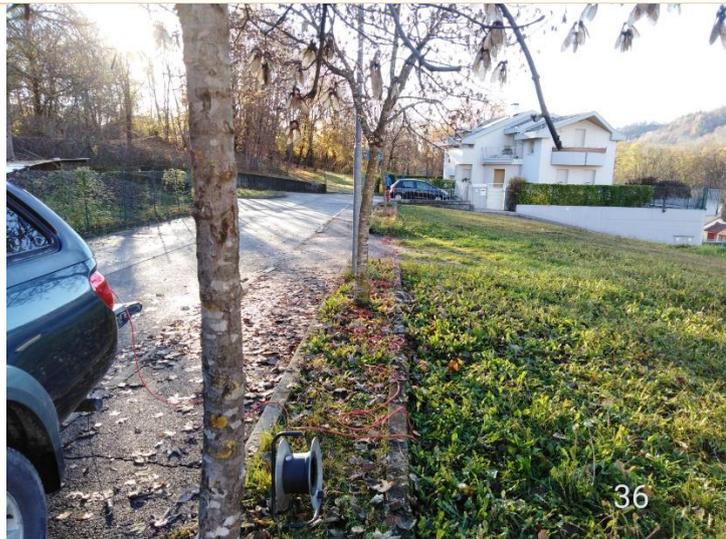
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Le Coste
DATA ESECUZIONE	23/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 430

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 37_San Sebastiano

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	San Sebastiano

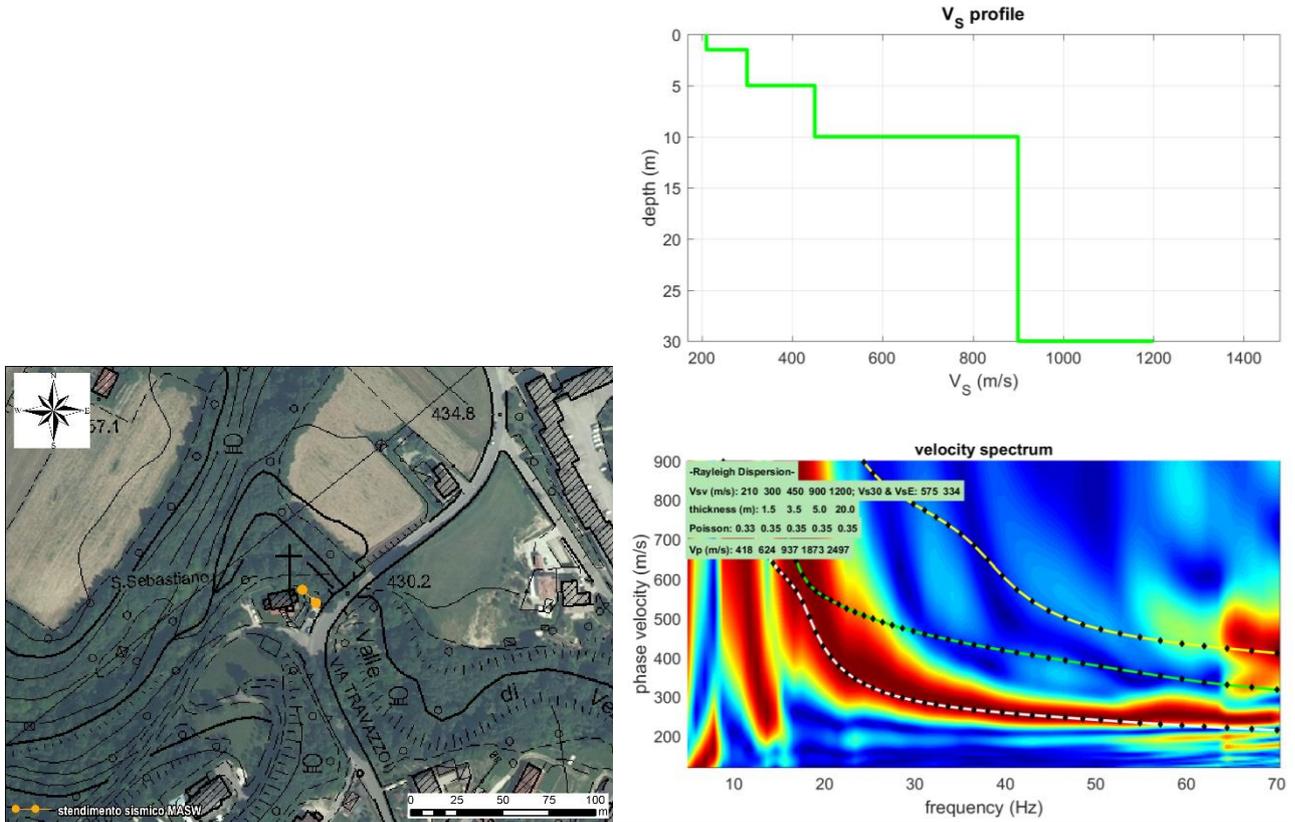
Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

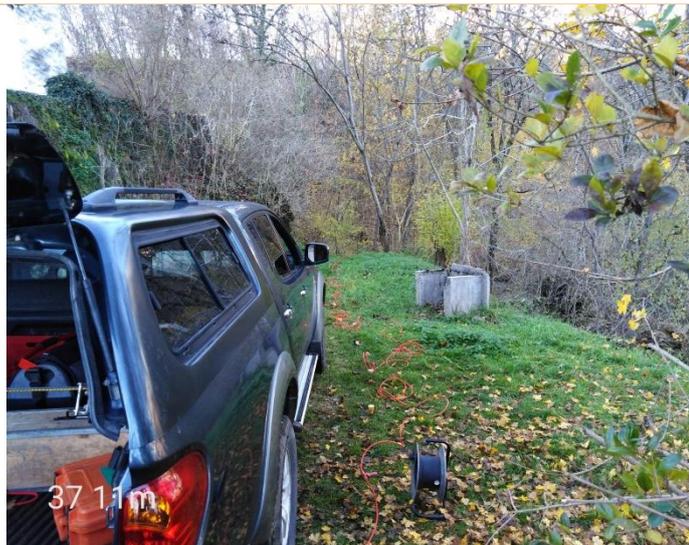
DATA ESECUZIONE	23/11/2022
------------------------	------------

RISULTATI E UBICAZIONE



V_{s,eq} [m/s] 334

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

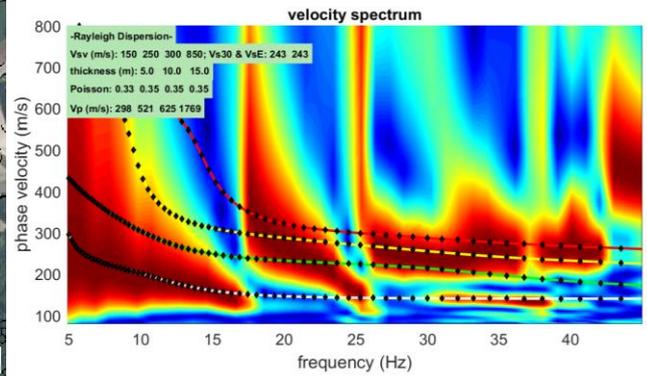
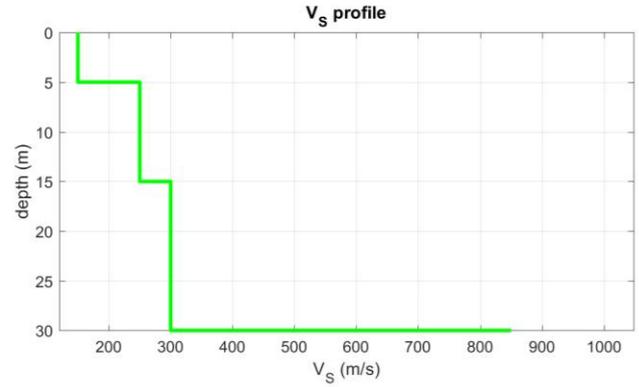
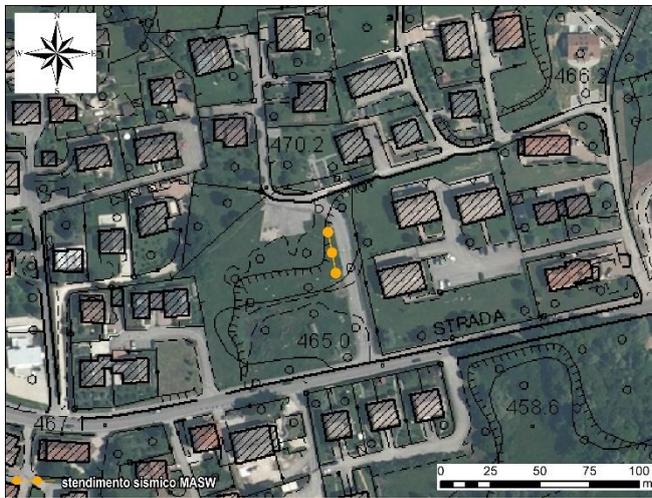


MASW 38_Chiesurazza

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Chiesurazza

DATA ESECUZIONE	23/11/2022
------------------------	------------

RISULTATI E UBICAZIONE



V_{s,eq} [m/s] 243

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 39_Primo

TIPO INDAGINE	MASW
----------------------	------

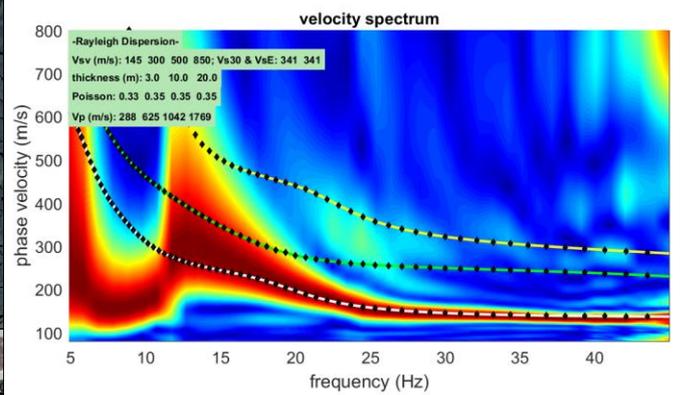
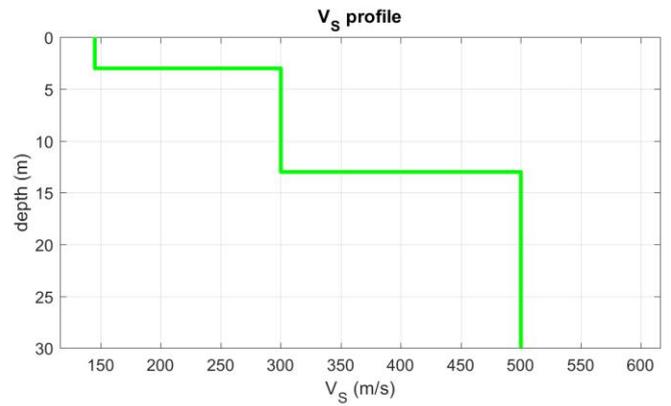
Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

LOCALITÀ	Via Cordevole
DATA ESECUZIONE	29/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



V_{s,eq} [m/s] 341

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 40_Col di Salce

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Col di Salce

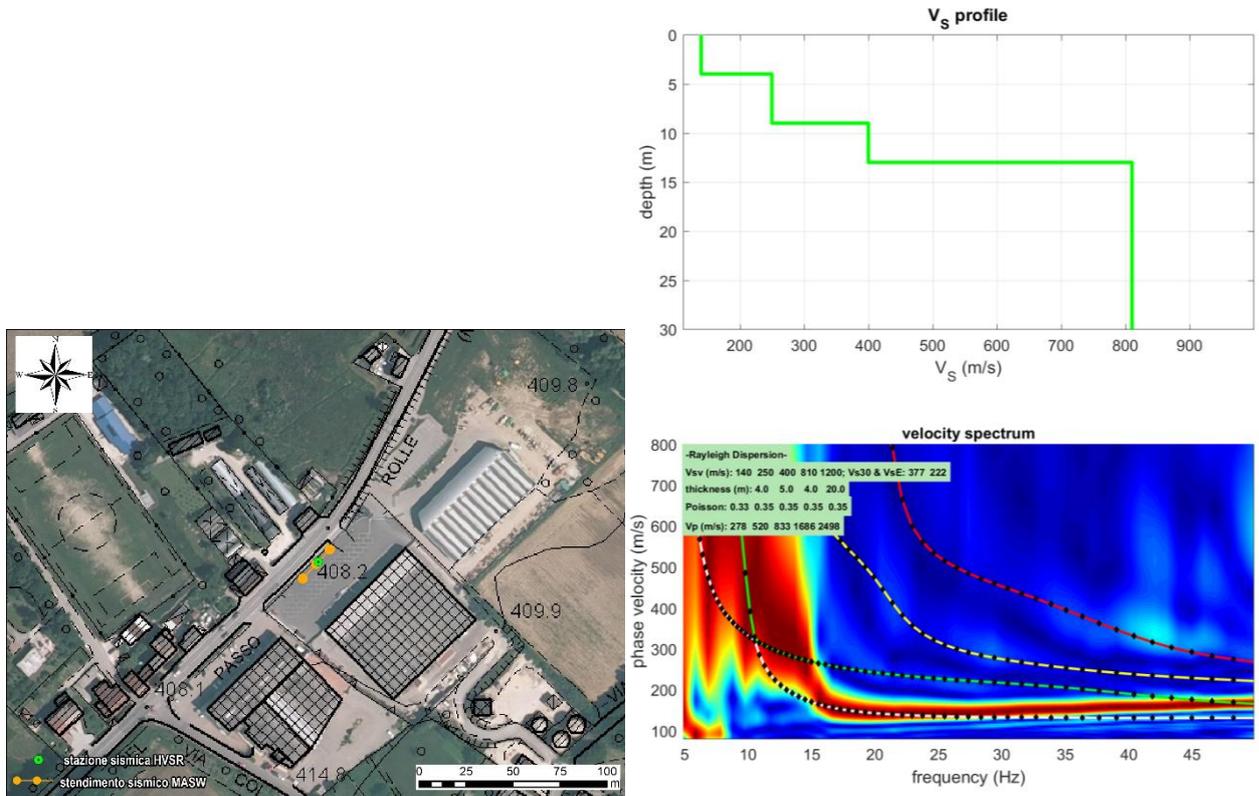
Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

DATA ESECUZIONE	25/11/2022
------------------------	------------

RISULTATI E UBICAZIONE



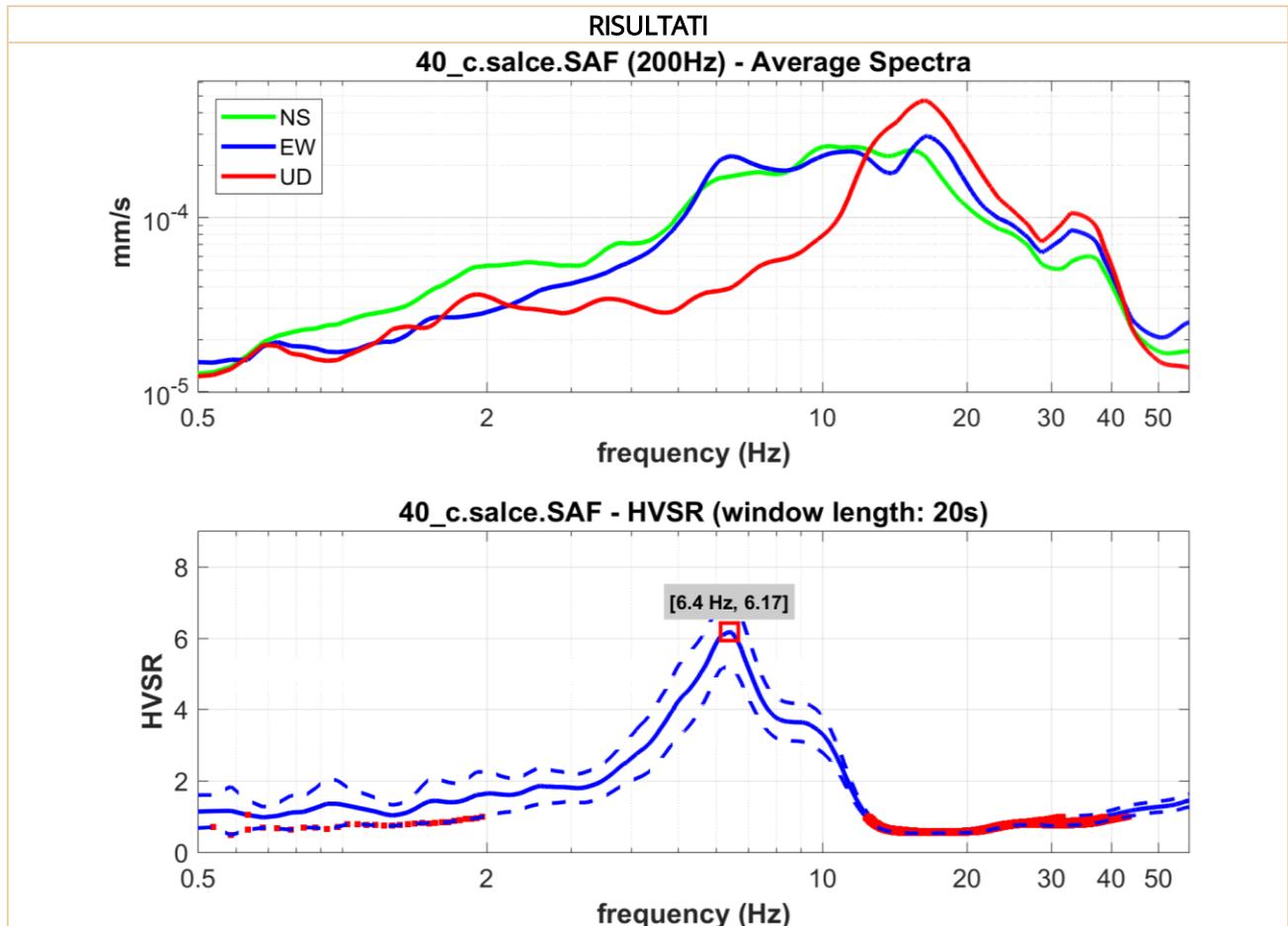
V_{s,eq} [m/s] 222

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 40_Col di Salce

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Col di Salce
DATA ESECUZIONE	25/11/2022



Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	6.40 Hz
--	---------



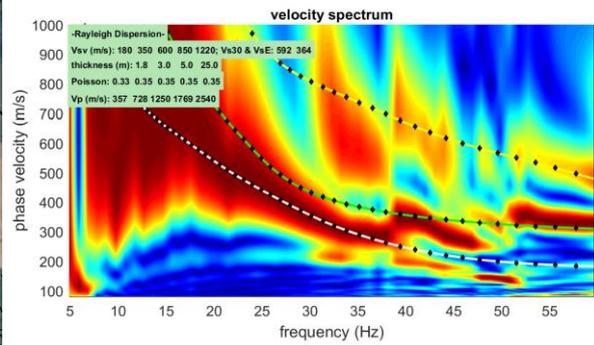
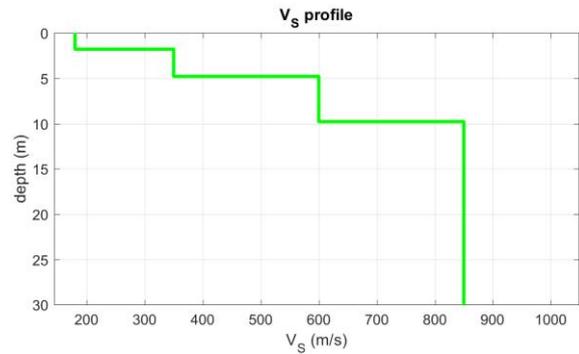
MASW 41_Salce	
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Salce
DATA ESECUZIONE	25/11/2022

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

RISULTATI E UBICAZIONE



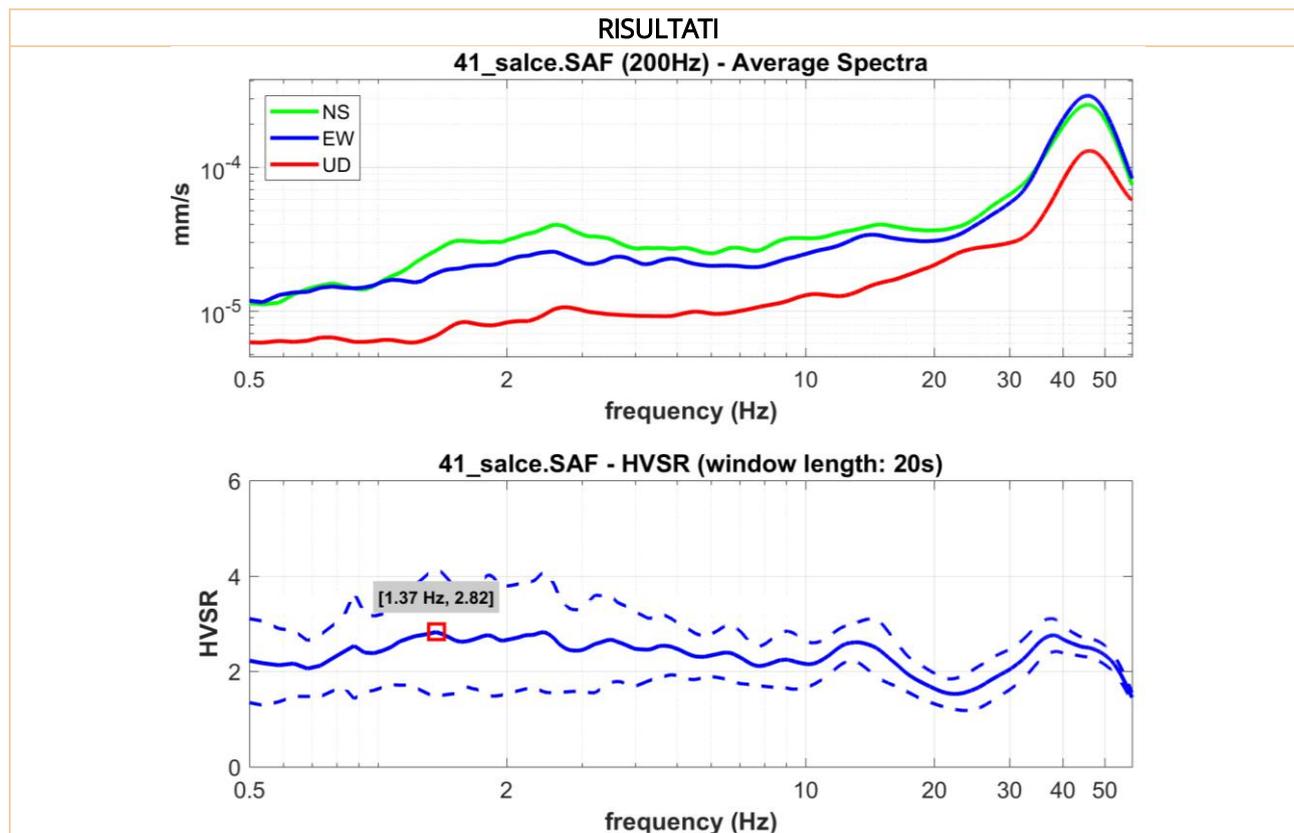
V_{s,eq} [m/s] 364

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 41_Salce

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Salce
DATA ESECUZIONE	25/11/2022



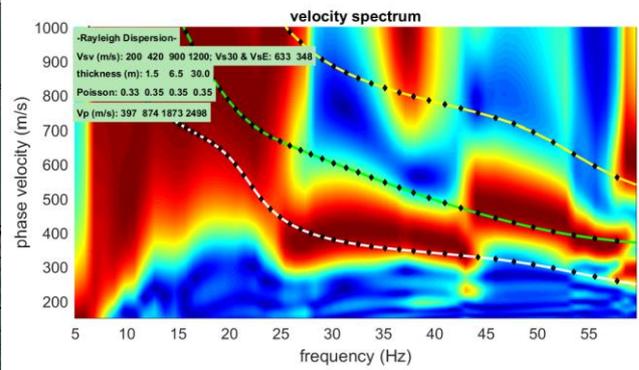
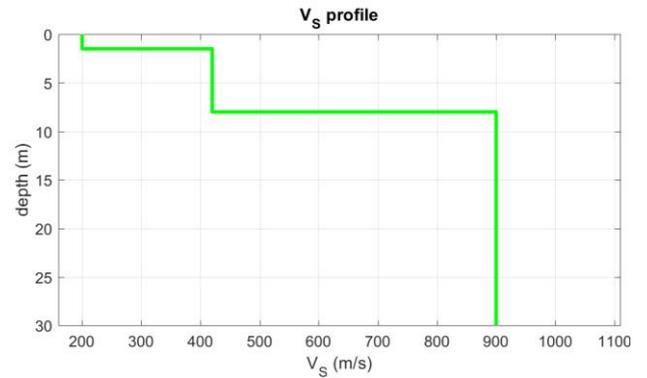
Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	Nessuna
--	---------



MASW 42_Bes

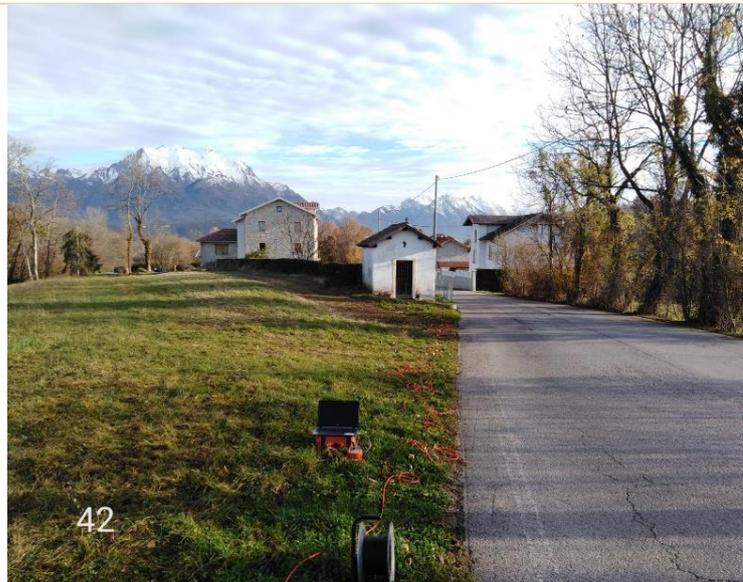
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Bes
DATA ESECUZIONE	25/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



V_{s,eq} [m/s] 348

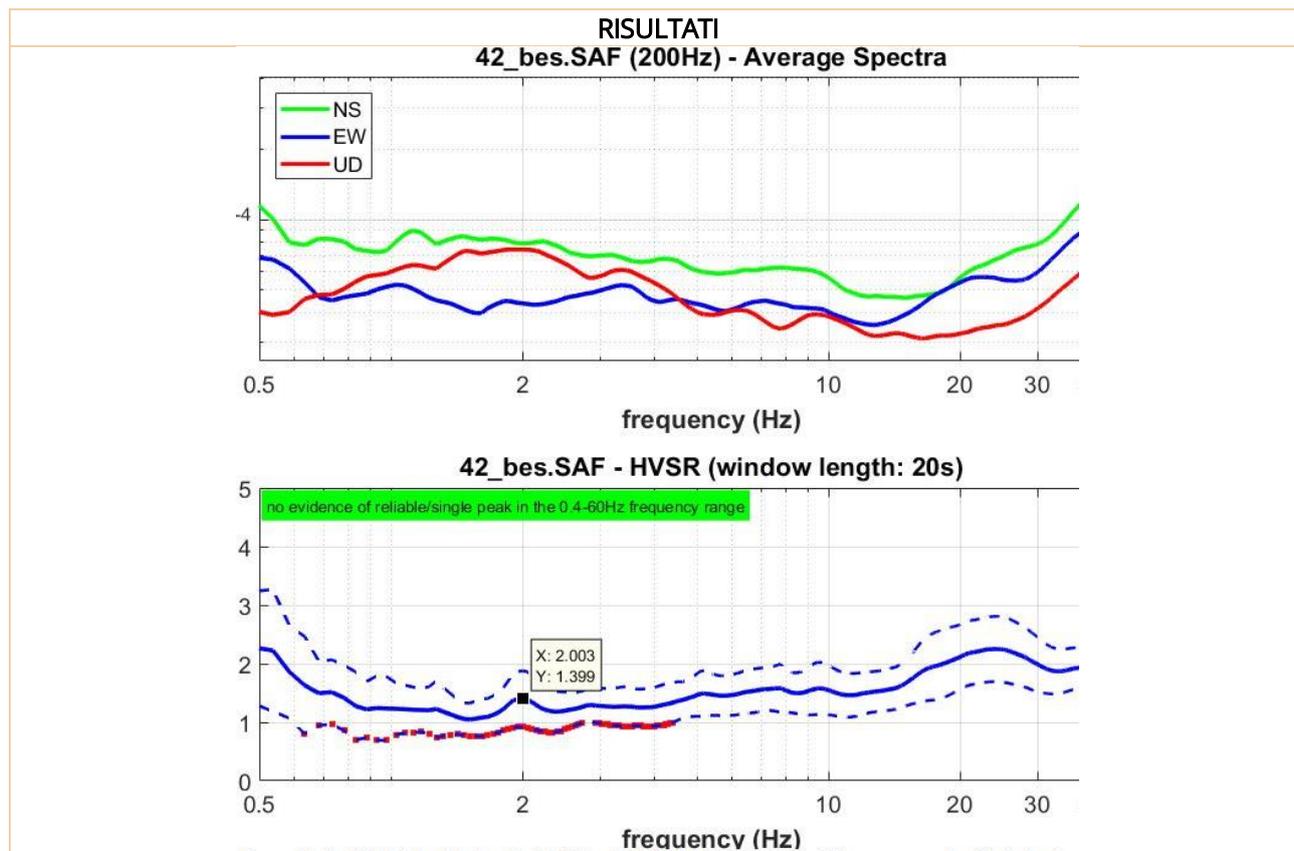
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



42

HV 42_Bes

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Bes
DATA ESECUZIONE	25/11/2022



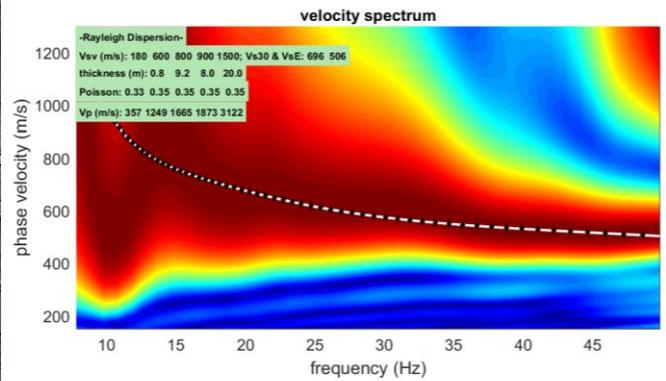
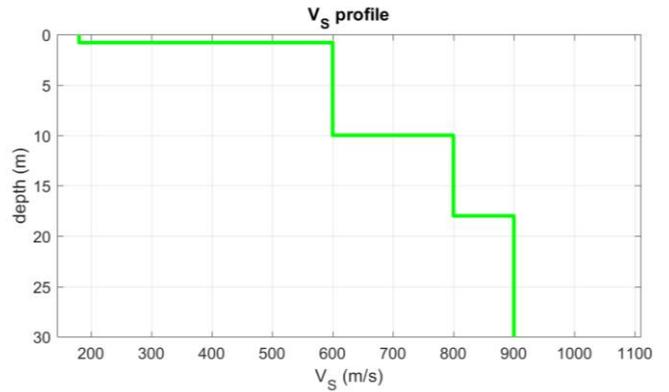
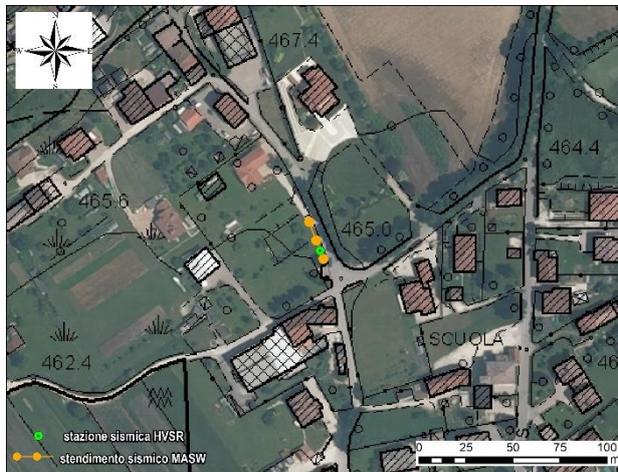
Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	2 Hz
Frequenza secondaria	24 Hz



MASW 43_Sois

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Sois
DATA ESECUZIONE	25/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



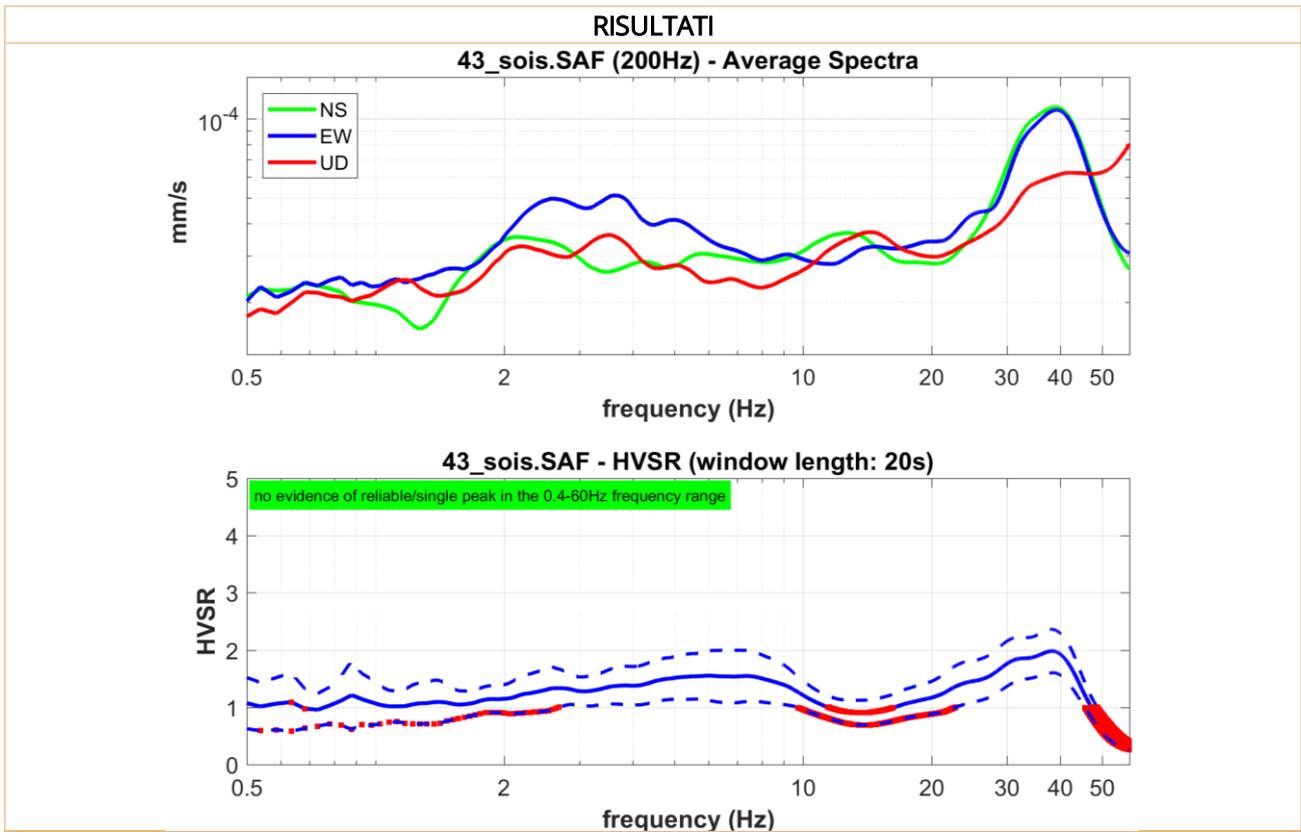
$V_{s,eq}$ [m/s] 506

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



HV 43_Sois

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	Sois
DATA ESECUZIONE	25/11/2022



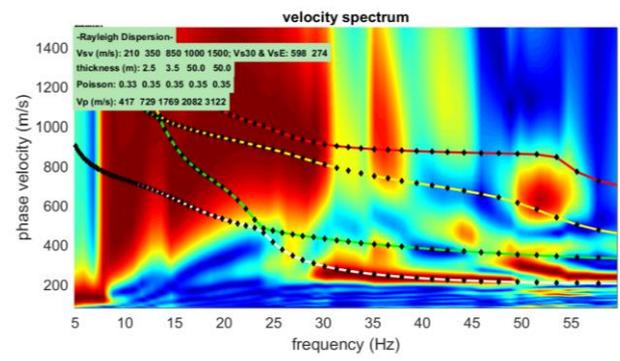
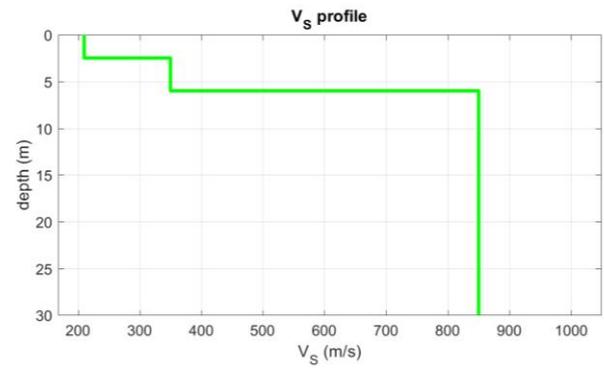
Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	nessuna
--	---------



MASW 44_Orzes

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Orzes
DATA ESECUZIONE	25/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 274

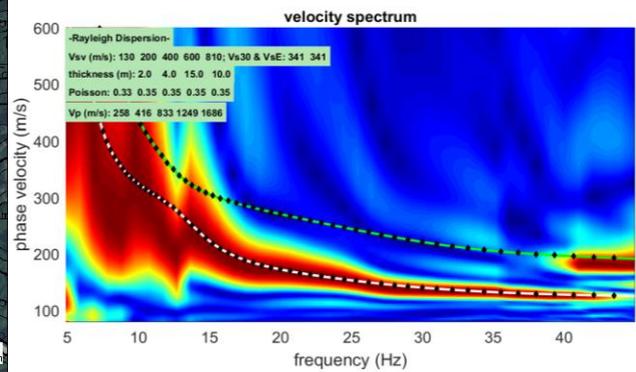
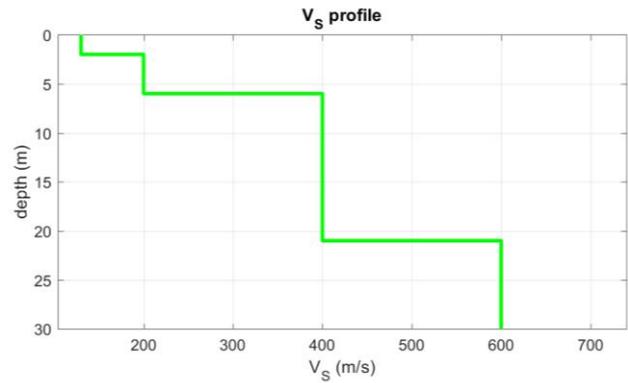
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 45_Vignole

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Vignole
DATA ESECUZIONE	25/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 341

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 46_San Fermo

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	San Fermo

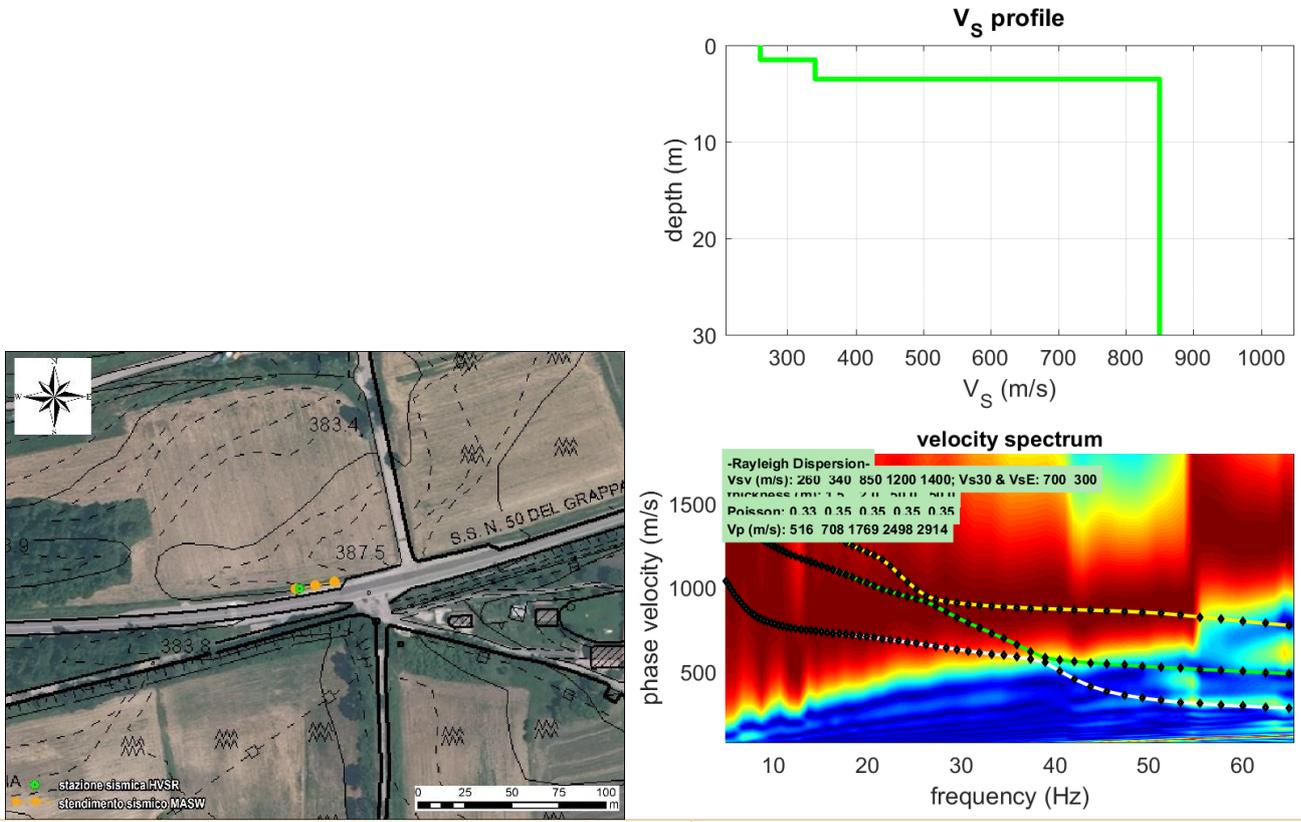
Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

DATA ESECUZIONE	25/11/2022
------------------------	------------

RISULTATI E UBICAZIONE



V_{s,eq} [m/s] 300

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



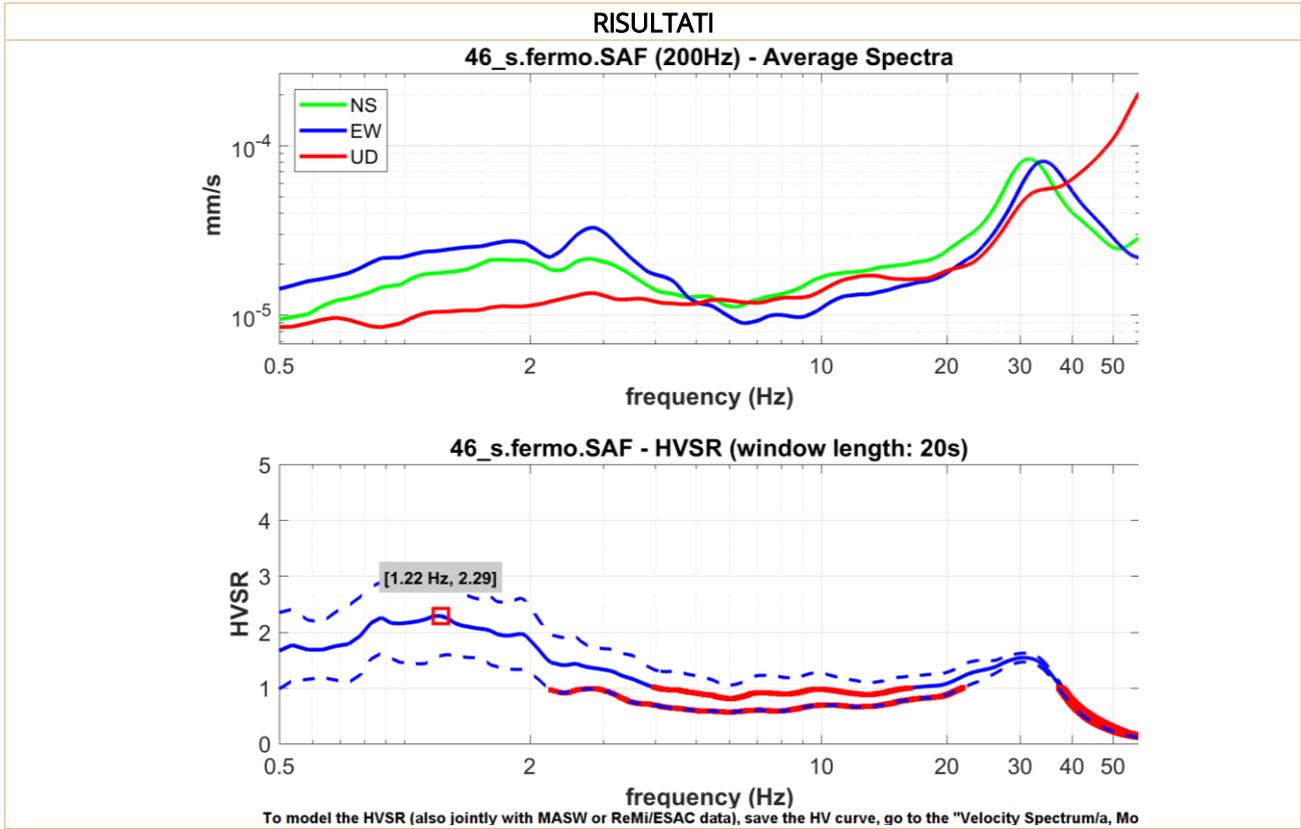
HV 46_San Fermo

TIPO INDAGINE	HVSR
LOCALITÀ	San Fermo
DATA ESECUZIONE	25/11/2022

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



Frequenza fondamentale del sito F_0 [Hz]	1.22 Hz
--	---------



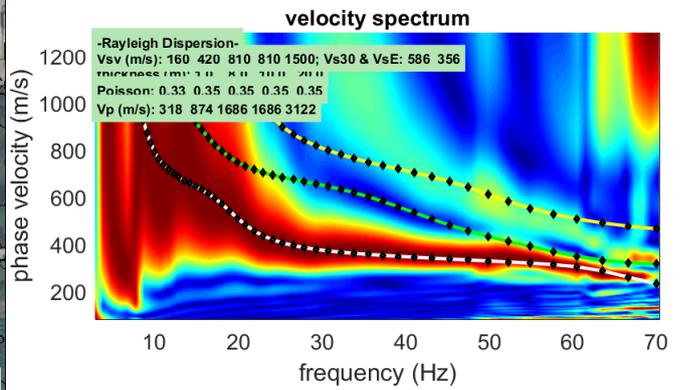
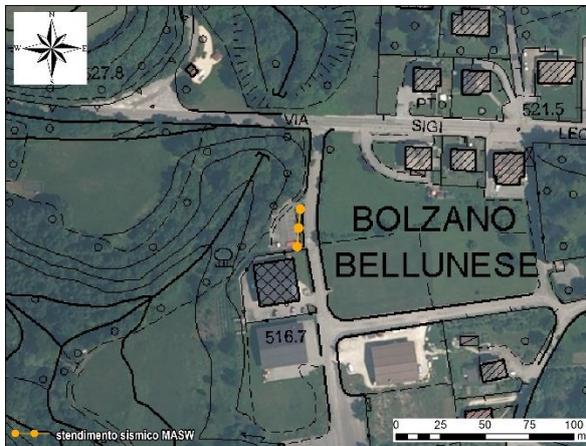
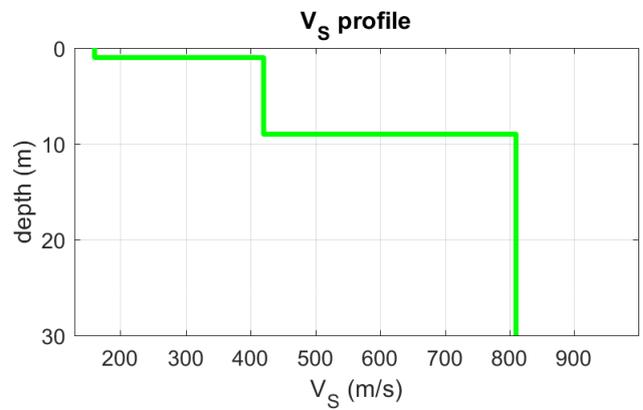
MASW 47_Bolzano Bellunese	
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Bolzano Bellunese
DATA ESECUZIONE	25/11/2022

Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 356

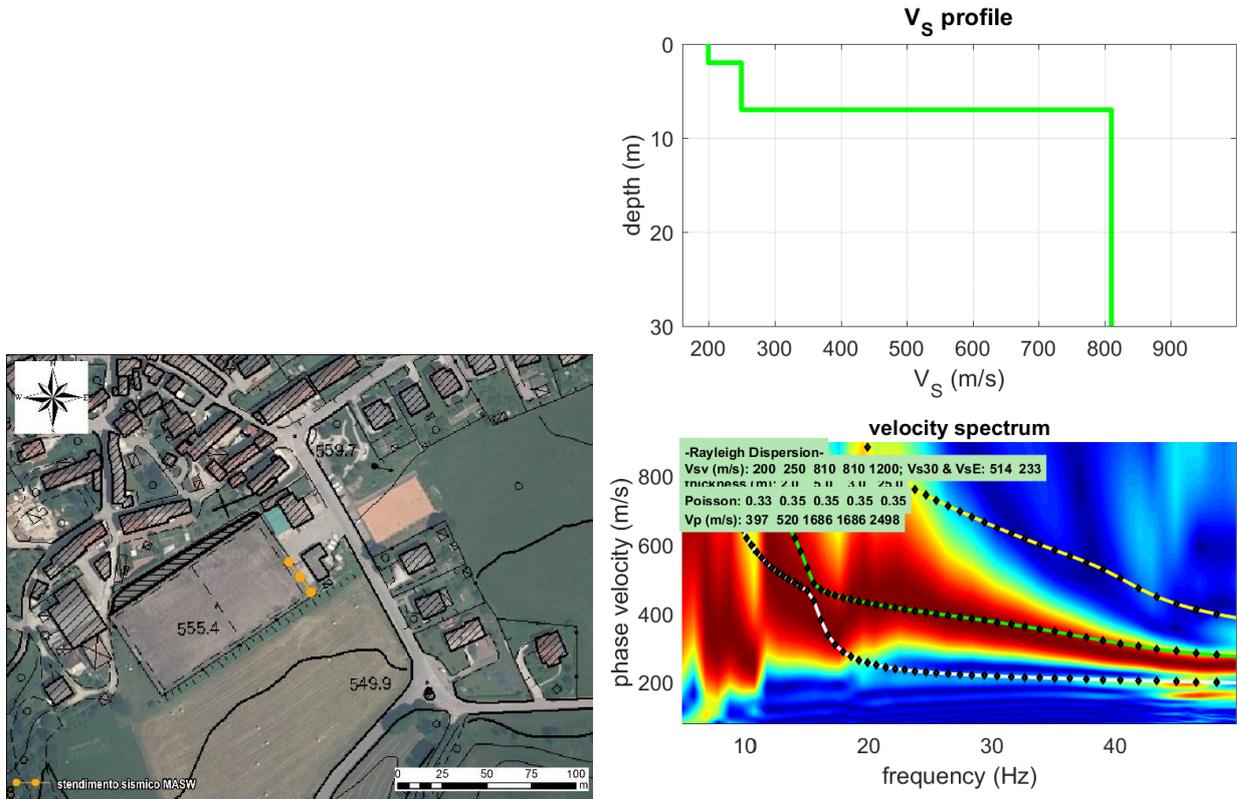
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 48_Tisoi

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Tisoi
DATA ESECUZIONE	25/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



V_{s,eq} [m/s] 233

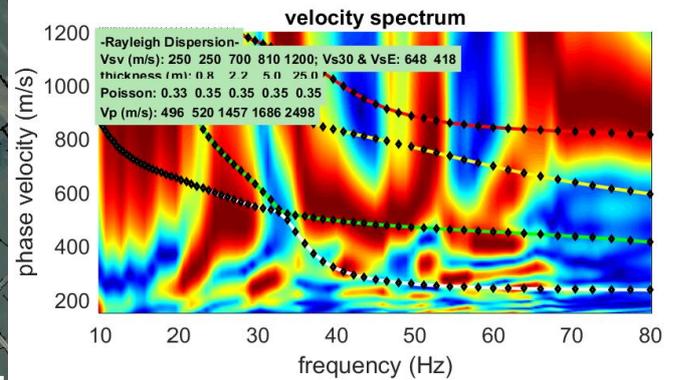
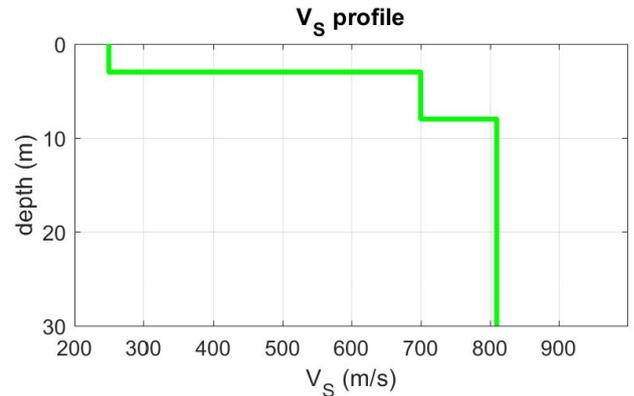
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 49_Sopra Corda

TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Sopra Corda
DATA ESECUZIONE	25/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE



$V_{s,eq}$ [m/s] 418

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 50_Cavarzano

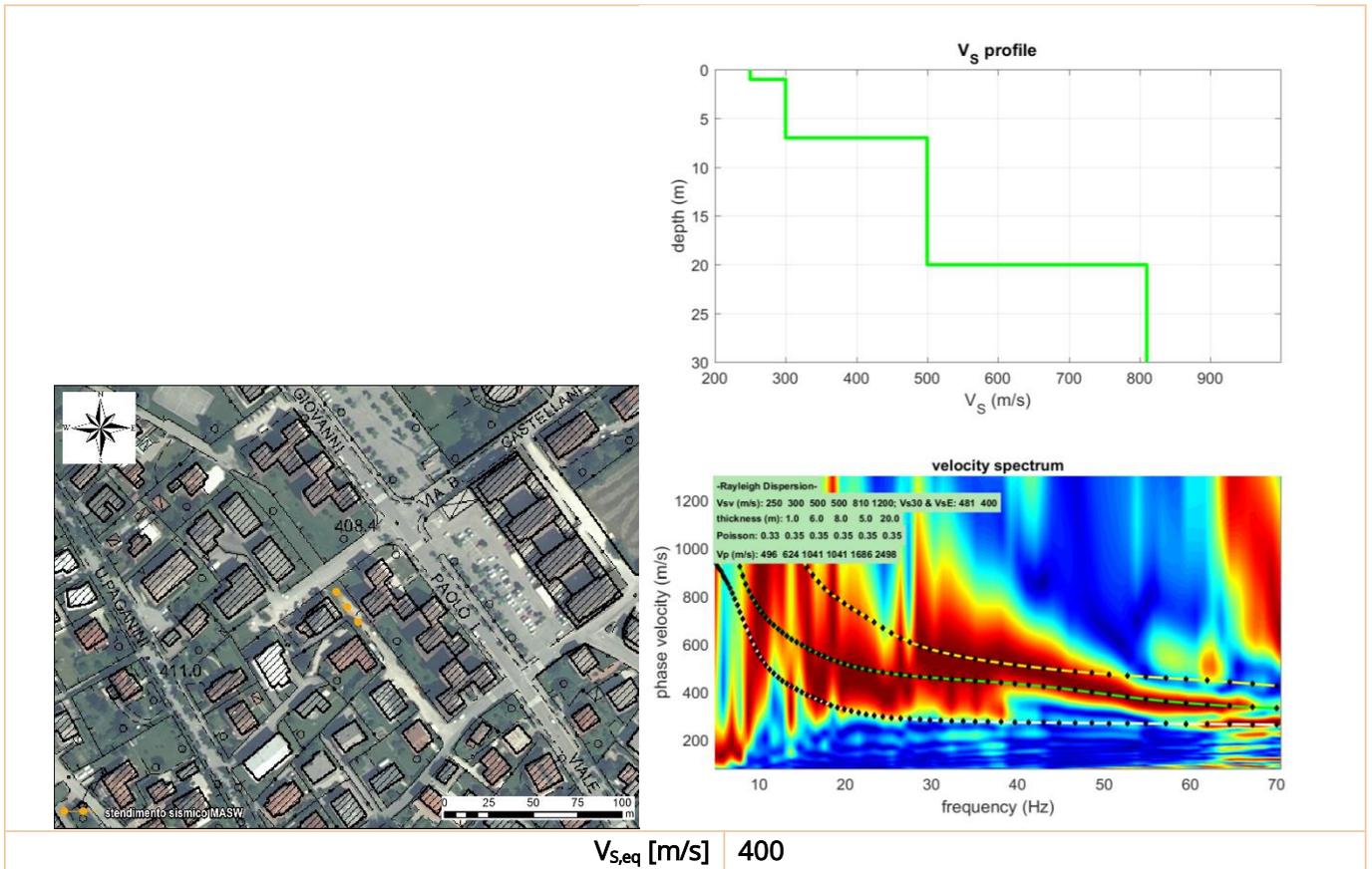
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Cavarzano
DATA ESECUZIONE	25/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



MASW 51_Sargnano

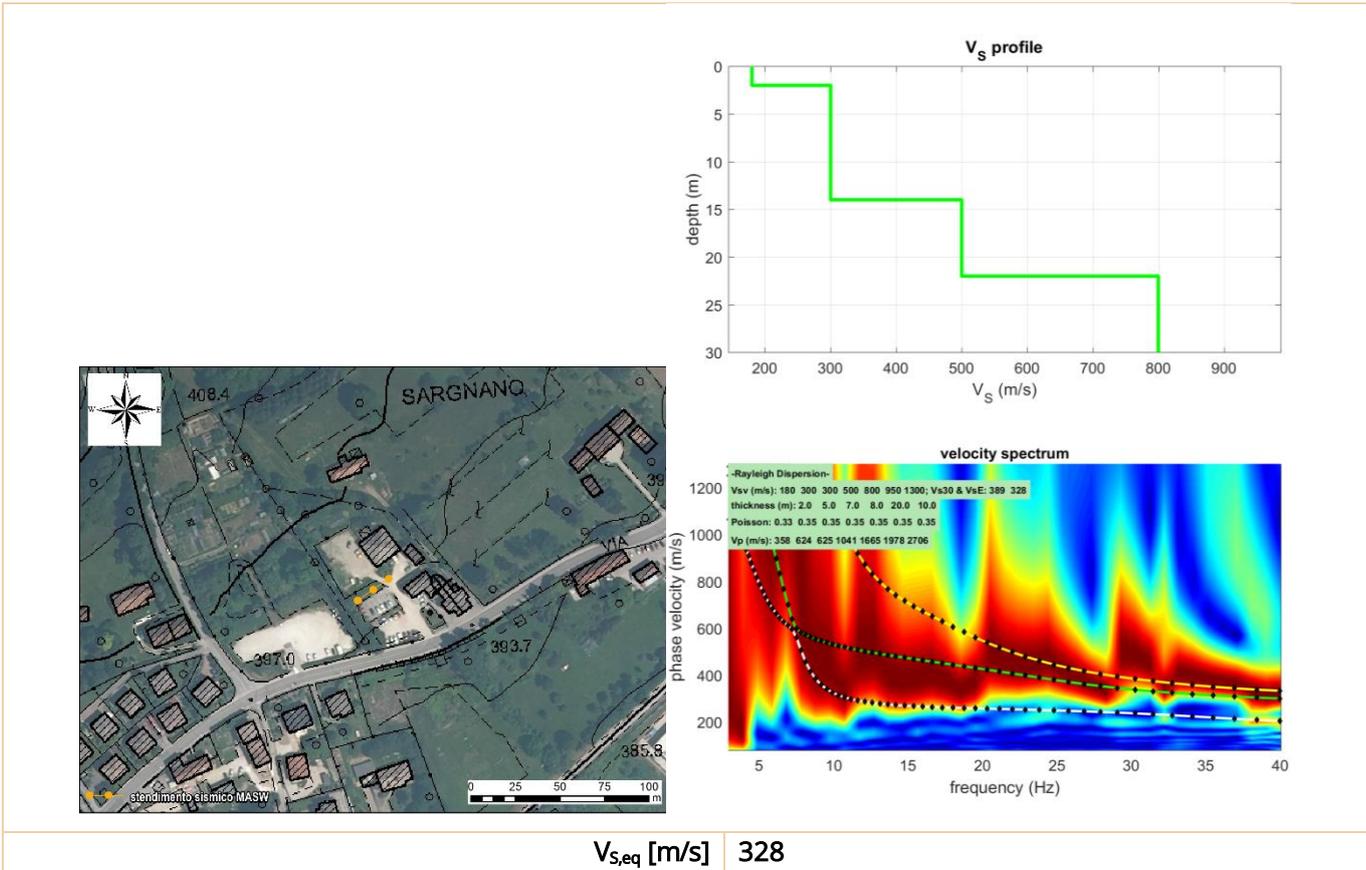
TIPO INDAGINE	MASW
LOCALITÀ	Sargnano
DATA ESECUZIONE	25/11/2022

RISULTATI E UBICAZIONE

Trieste (TS)
 Via del Lazzaletto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17





SCHEDE RELATIVE ALLE INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER GLI APPROFONDIMENTI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI 3° LIVELLO

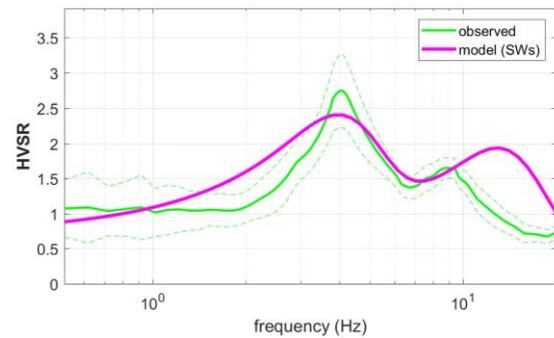
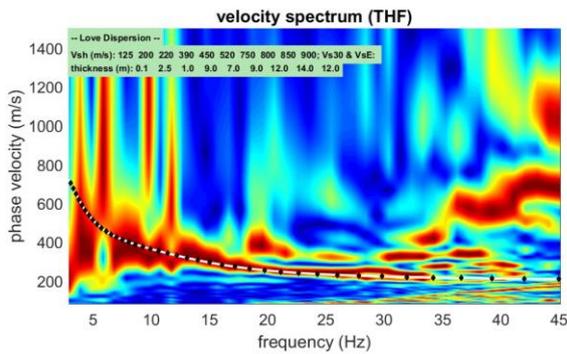
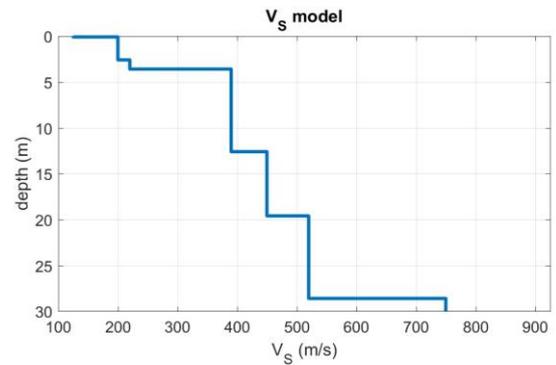
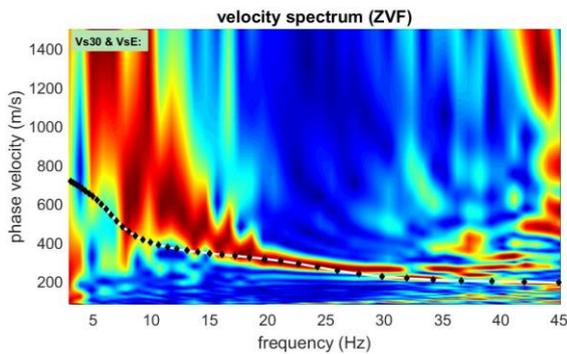
📍 Trieste (TS)
Via del Lazzaretto Vecchio, 18

📍 S. Stefano di Cadore (BL)
Vicolo Venaghi, 2

📍 Bolzano (BZ)
Via Marie Curie, 17

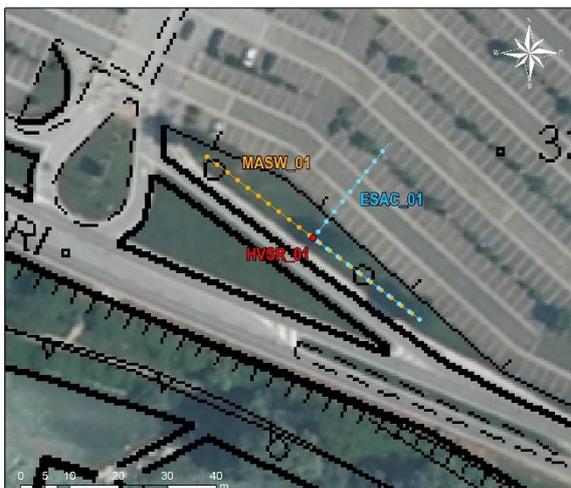
01_Lambioi	
TIPO INDAGINE	MASW e HVSR
LOCALITÀ	Parceggio Lambioi
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI



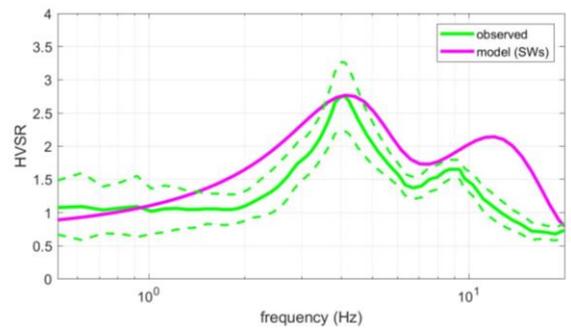
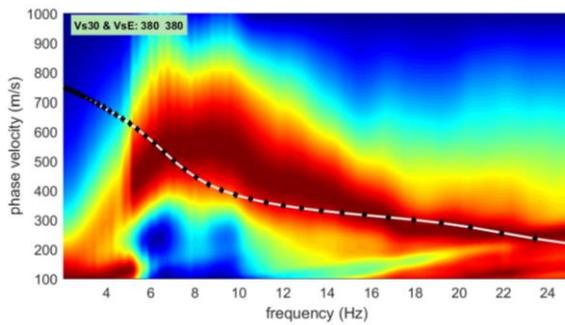
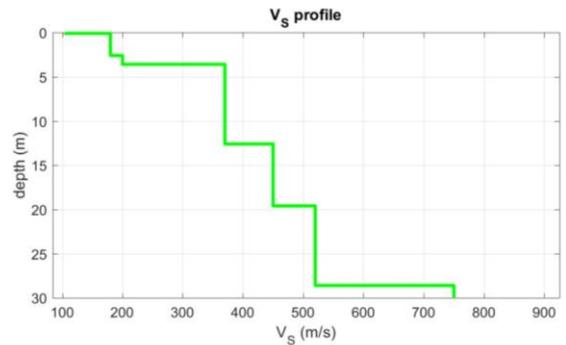
$V_{s,eq}$	437 m/s
Frequenza fondamentale del sito F_0	4.07 Hz
Frequenza secondaria	9.4 Hz

UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



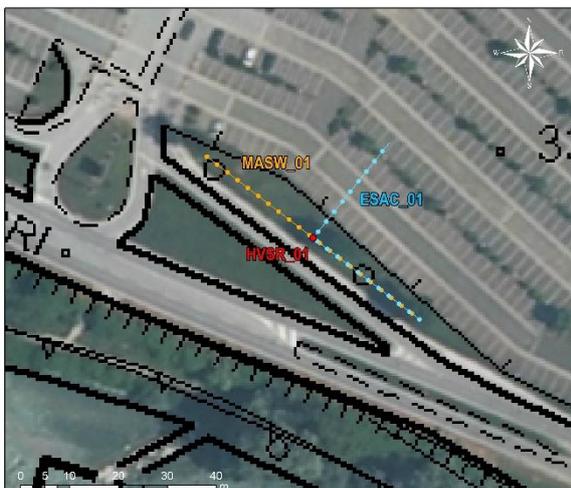
01_Lambioi	
TIPO INDAGINE	ESAC e HVSR
LOCALITÀ	Parcaggio Lambioi
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI



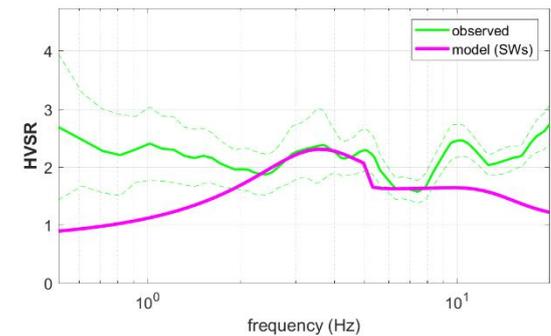
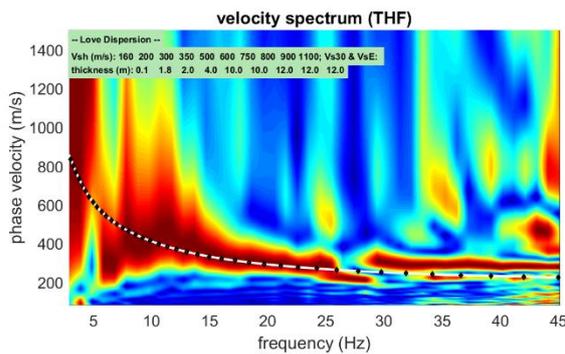
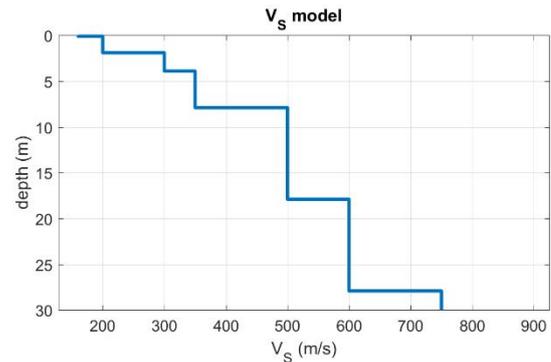
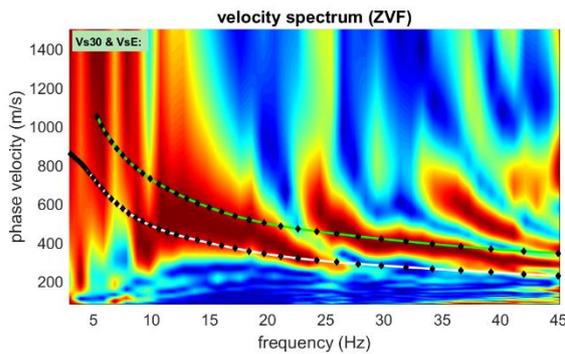
$V_{s,eq}$	437 m/s
Frequenza fondamentale del sito F_0	4.07 Hz
Frequenza secondaria	9.4 Hz

UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



02_Parco Cairoli	
TIPO INDAGINE	MASW e HVSR
LOCALITÀ	Parco Cairoli
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI



V _{s,eq}	498 m/s
Frequenza fondamentale del sito F ₀	10 Hz
Frequenza secondaria	5 Hz

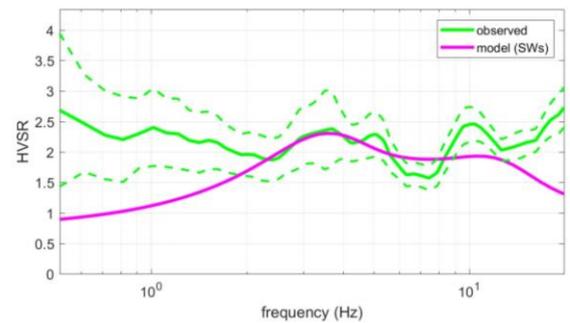
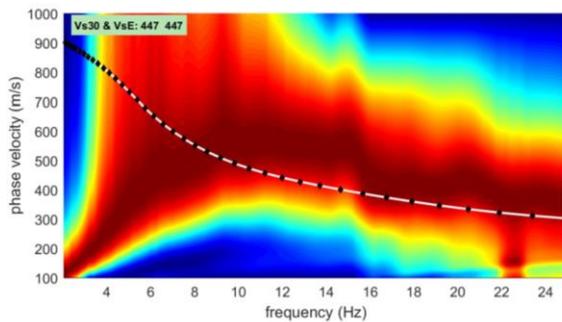
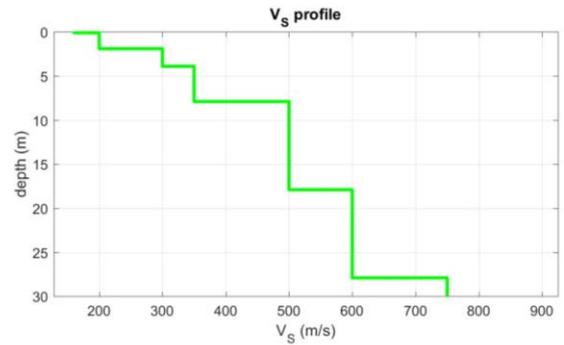
UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



02_Parco Cairoli

TIPO INDAGINE	ESAC e HVSR
LOCALITÀ	Parco cairoli
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI



$V_{s,eq}$ 498 m/s

Frequenza fondamentale del sito F_0 10 Hz

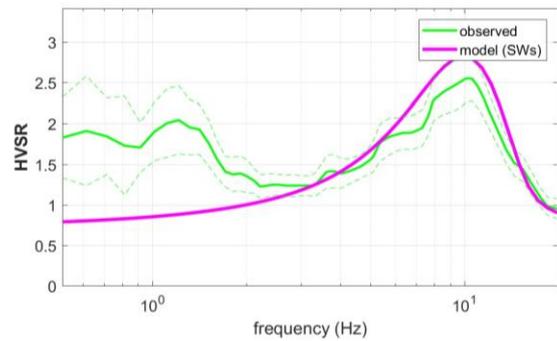
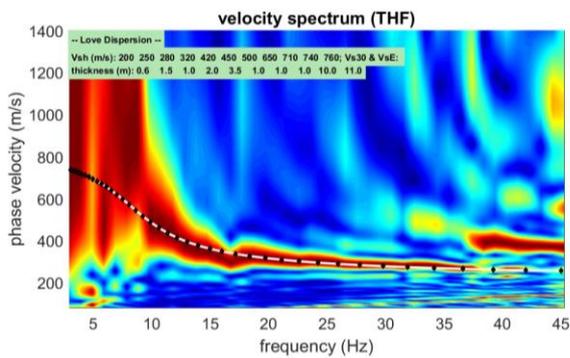
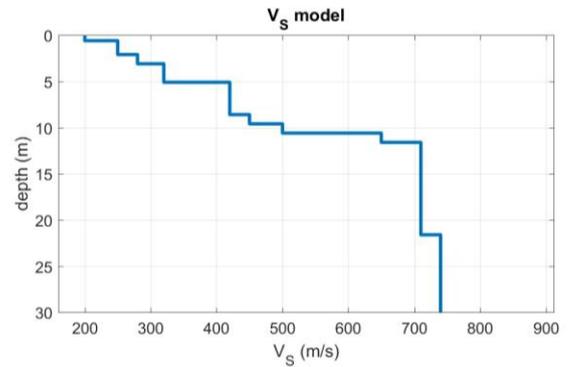
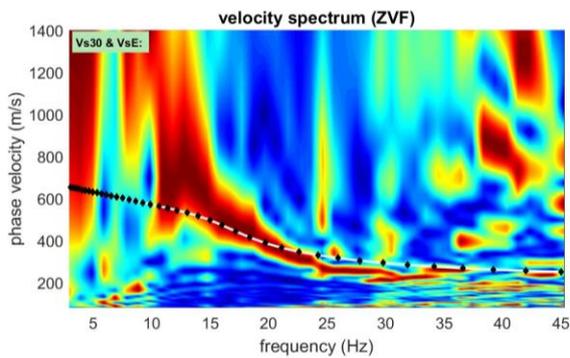
Frequenza secondaria 5 Hz

UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



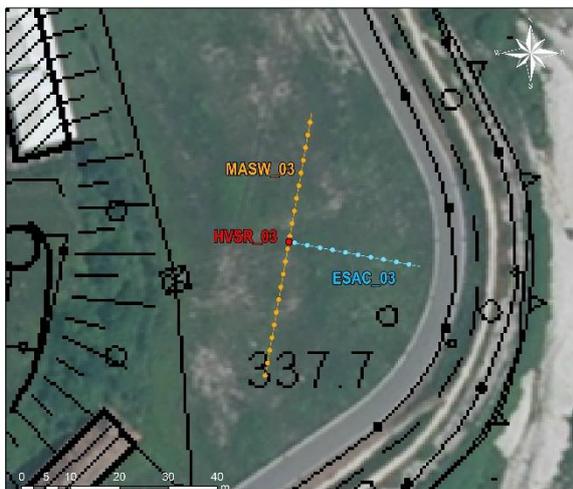
03_Borgo Piave	
TIPO INDAGINE	MASW e HVSR
LOCALITÀ	Borgo Piave, Via Guido Rossa
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI



$V_{s,eq}$	593 m/s
Frequenza fondamentale del sito F_0	10.2 Hz
Frequenza secondaria	

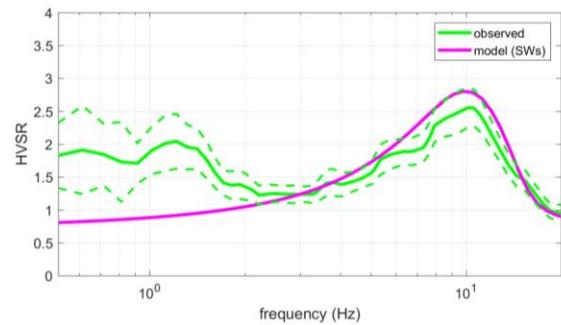
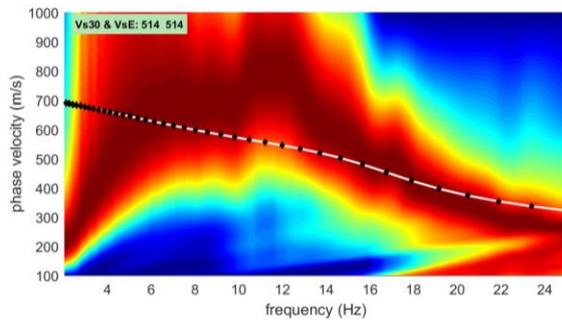
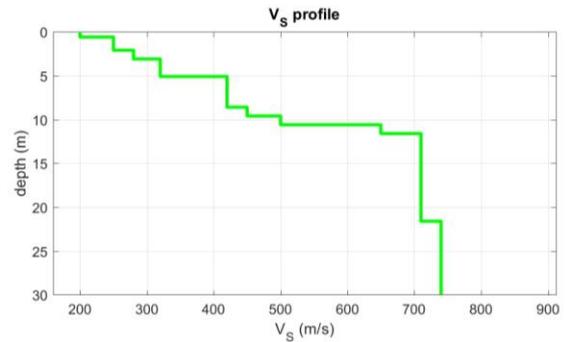
UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



03_Borgo Piave

TIPO INDAGINE	ESAC e HVSR
LOCALITÀ	Borgo Piave, Via Guido Rossa
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI

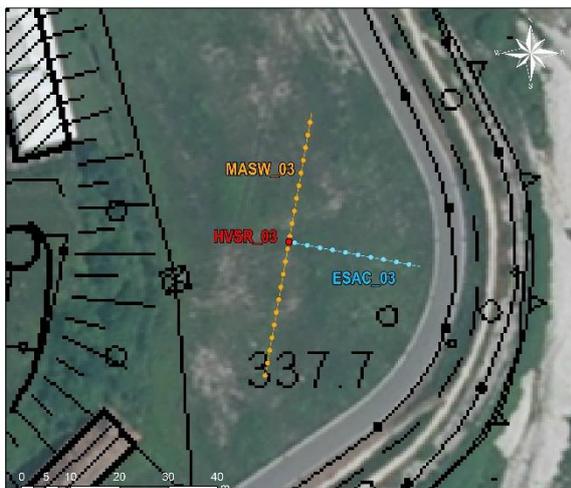


$V_{s,eq}$ 593 m/s

Frequenza fondamentale del sito F_0 10.2 Hz

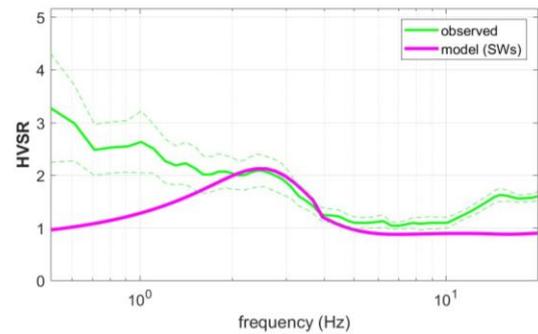
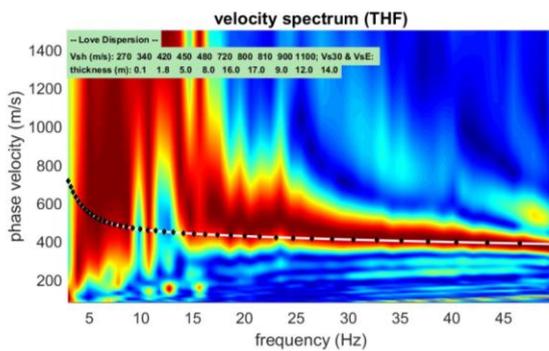
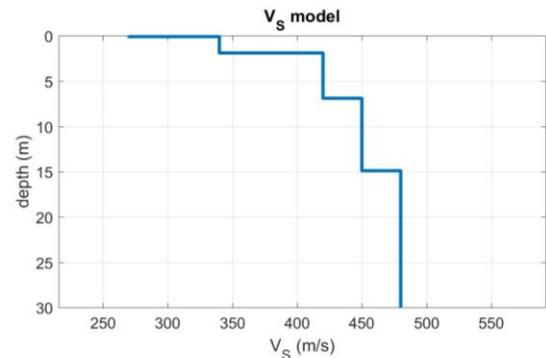
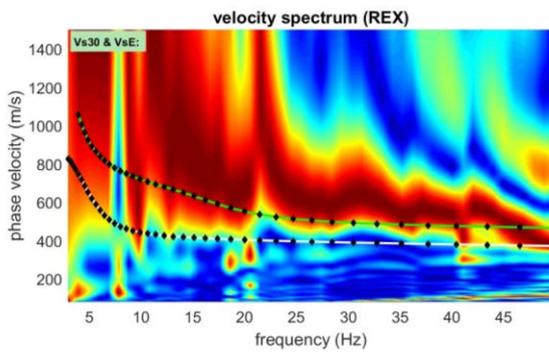
Frequenza secondaria

UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



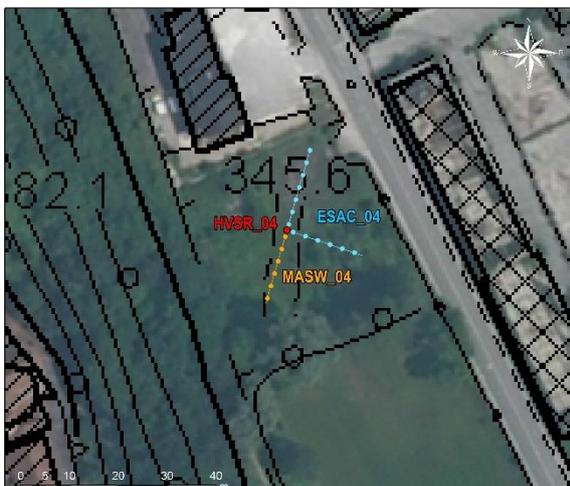
04_Via Lungardo	
TIPO INDAGINE	MASW e HVSR
LOCALITÀ	Via Lungardo
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI



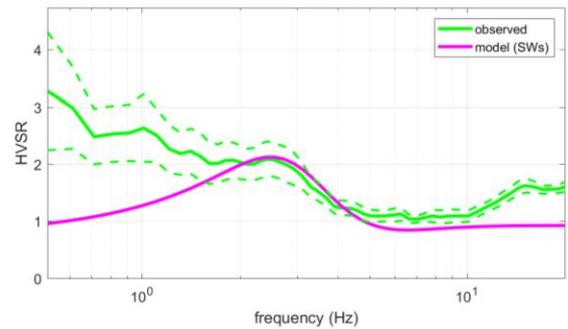
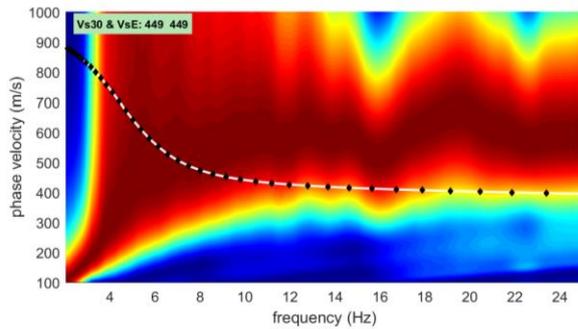
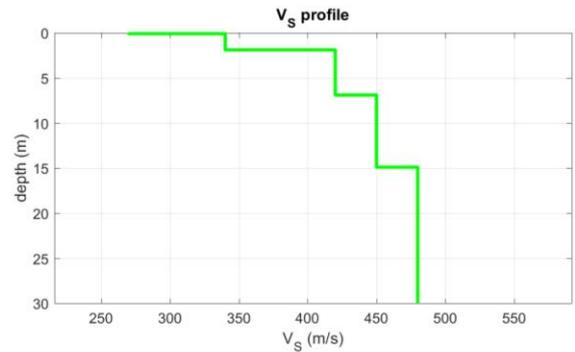
V _{s,eq}	453 m/s
Frequenza fondamentale del sito F ₀	
Frequenza secondaria	

UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



04_Via Lungardo	
TIPO INDAGINE	ESAC e HVSr
LOCALITÀ	Via Sottocastello
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI



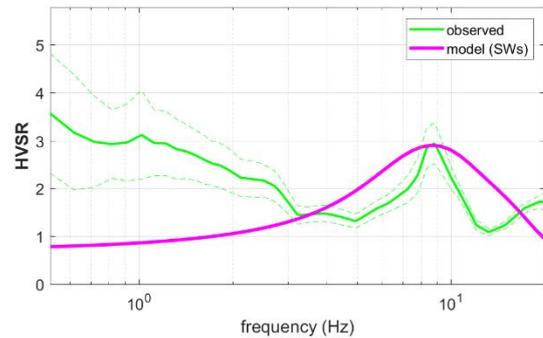
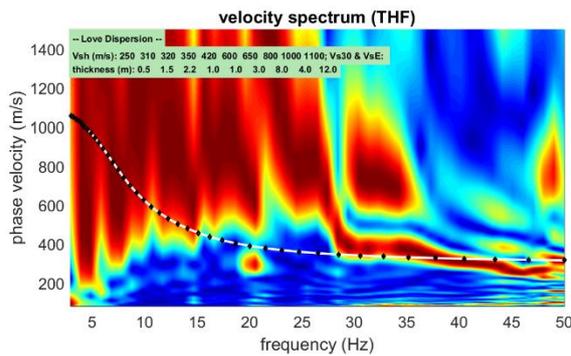
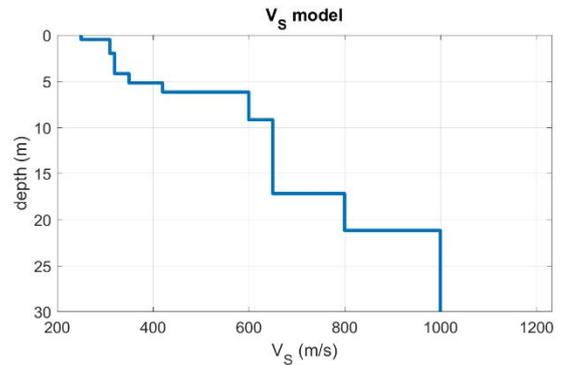
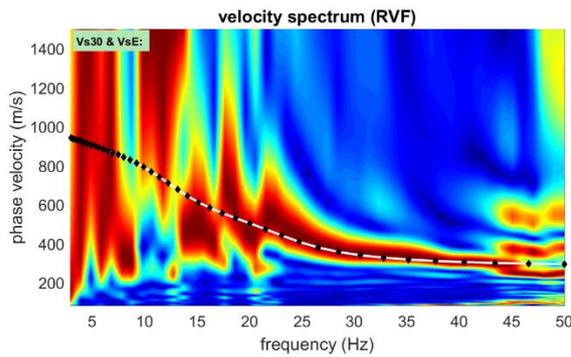
$V_{s,eq}$	453 m/s
Frequenza fondamentale del sito F_0	
Frequenza secondaria	

UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



05_Via Sottocastello	
TIPO INDAGINE	MASW e HVSR
LOCALITÀ	Via Sottocastello
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI



05V _{s,eq}	527 m/s
Frequenza fondamentale del sito F ₀	8.8 Hz
Frequenza secondaria	

UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Trieste (TS)
 Via del Lazzaretto Vecchio, 18

S. Stefano di Cadore (BL)
 Vicolo Venaghi, 2

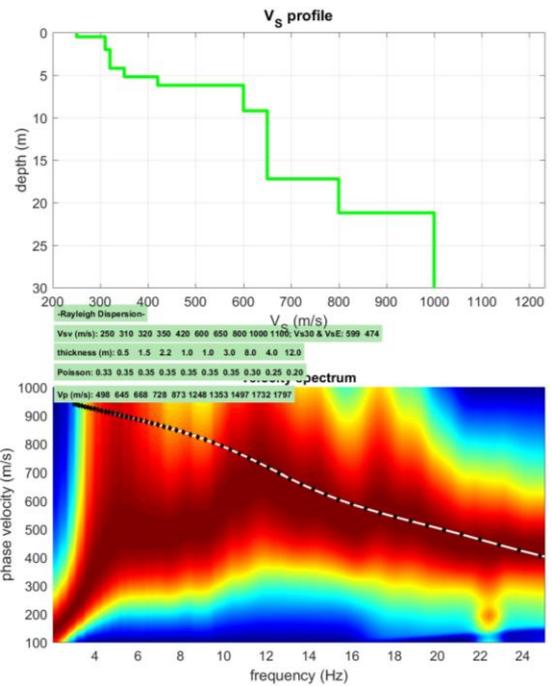
Bolzano (BZ)
 Via Marie Curie, 17

05_Via Sottocastello	
TIPO INDAGINE	ESAC e HVSr
LOCALITÀ	Via Sottocastello
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI



ESAC/ReMi data
 (no active seismic data to visualize)



$V_{S,eq}$	527 m/s
Frequenza fondamentale del sito F_0	8.8 Hz
Frequenza secondaria	

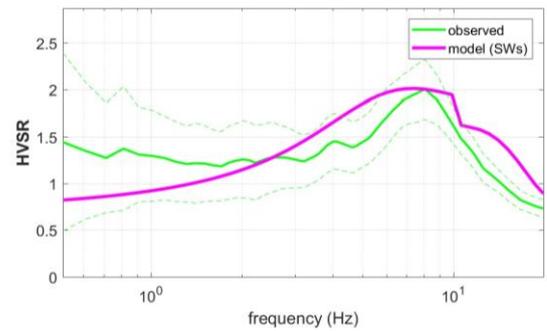
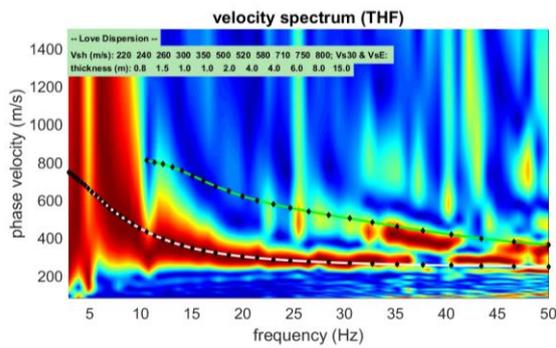
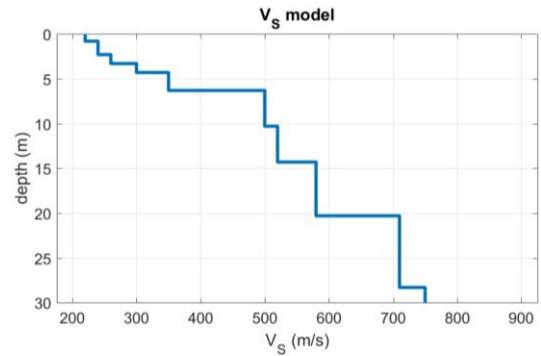
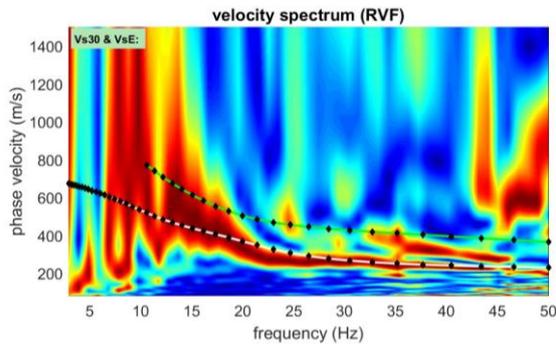
UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



06_Piazza dei Martiri

TIPO INDAGINE	MASW e HVSR
LOCALITÀ	Piazza dei Martiri
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI



V_{S,eq} 544 m/s

Frequenza fondamentale del sito F₀ 8.1 Hz

Frequenza secondaria

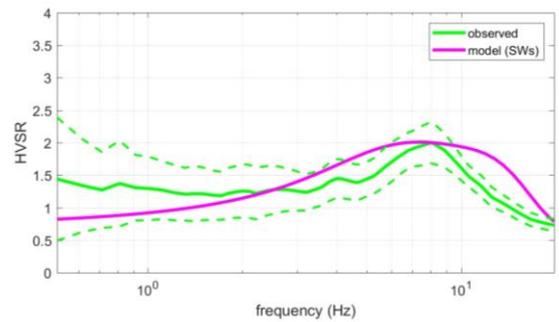
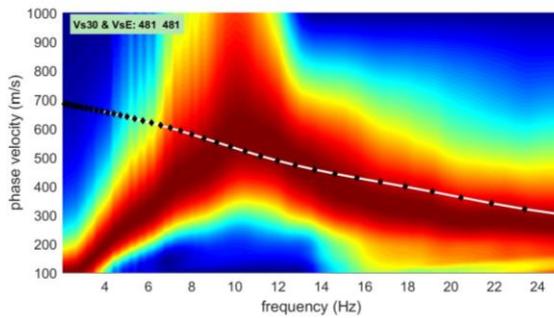
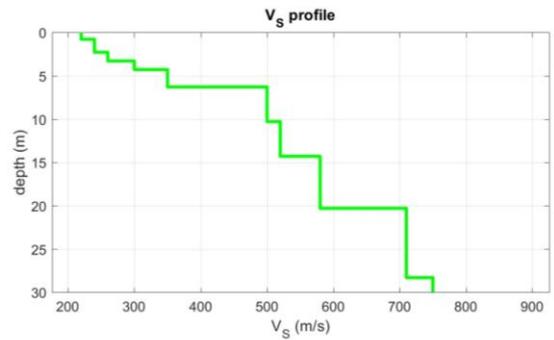
UBICAZIONE



06_Piazza dei Martiri

TIPO INDAGINE	ESAC e HVSR
LOCALITÀ	Piazza dei Martiri
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI



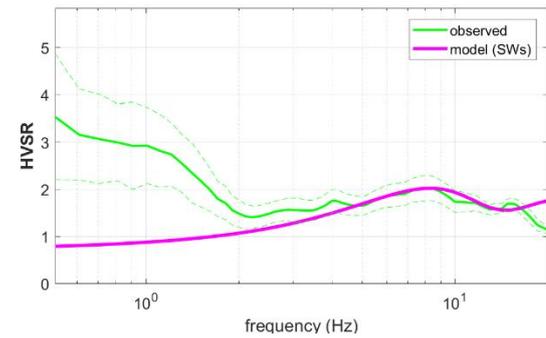
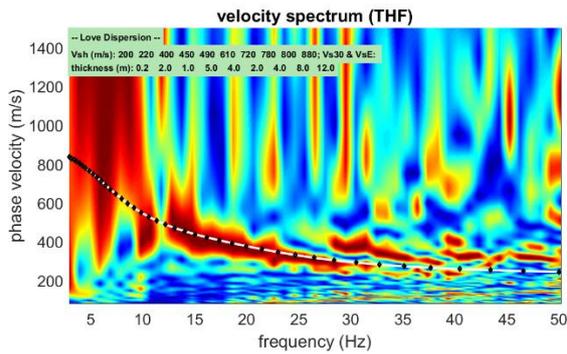
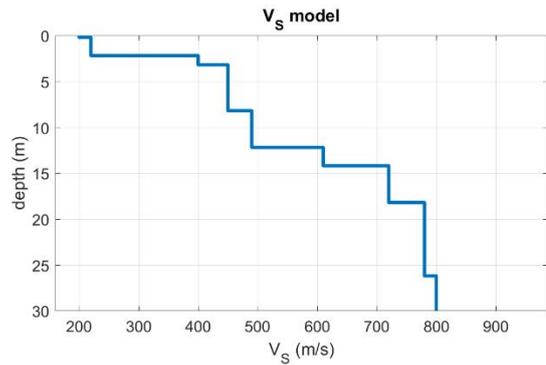
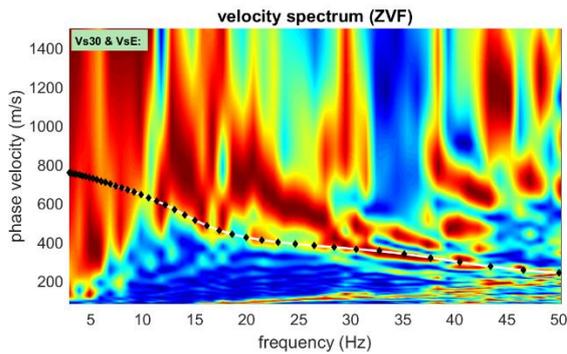
$V_{s,eq}$	544 m/s
Frequenza fondamentale del sito F_0	8.1 Hz
Frequenza secondaria	

UBICAZIONE



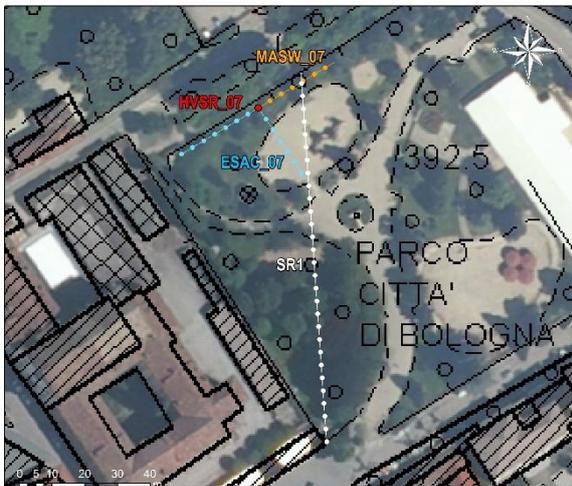
07_Parco Bologna	
TIPO INDAGINE	MASW e HVSR
LOCALITÀ	Parco Bologna
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI



V _{s,eq}	589 m/s
Frequenza fondamentale del sito F ₀	
Frequenza secondaria	

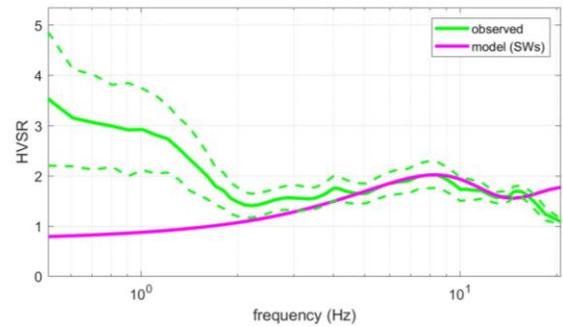
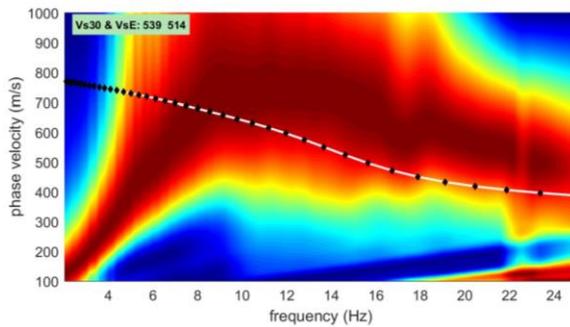
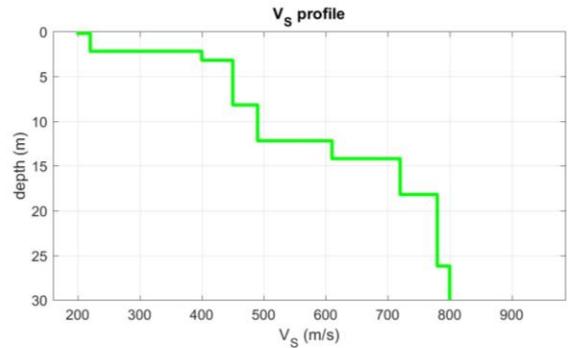
UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



07_Parco Bologna

TIPO INDAGINE	ESAC e HVSR
LOCALITÀ	Parco Bologna
DATA ESECUZIONE	19/06/2023

RISULTATI

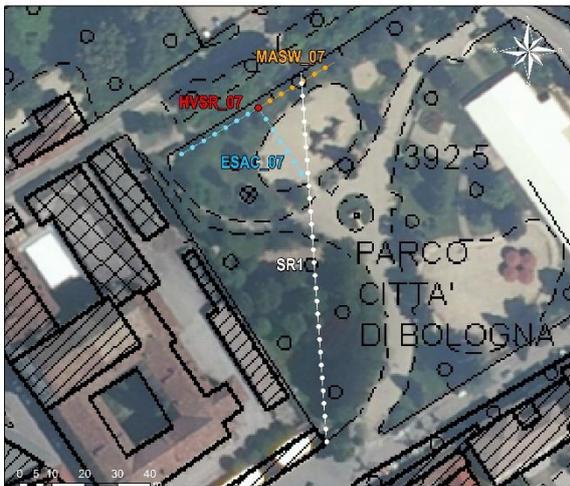


$V_{s,eq}$ 589 m/s

Frequenza fondamentale del sito F_0

Frequenza secondaria

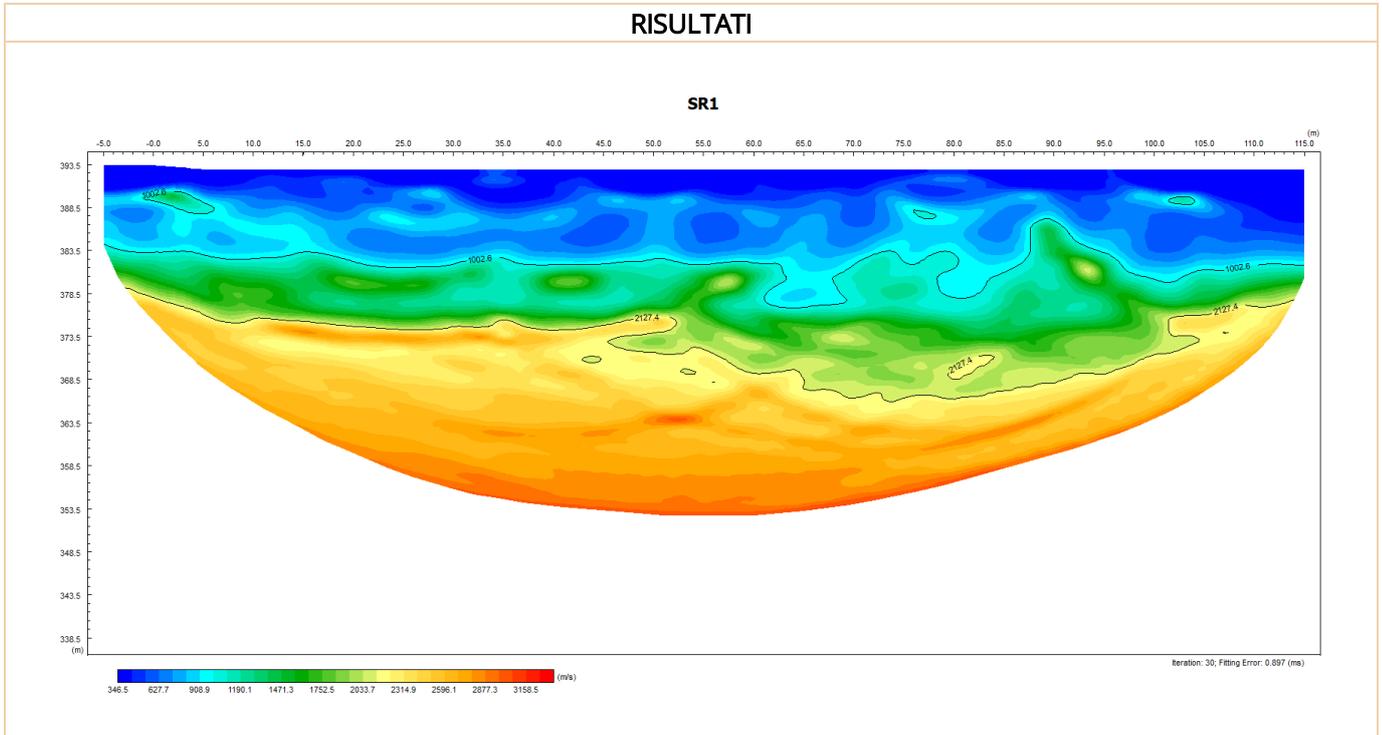
UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



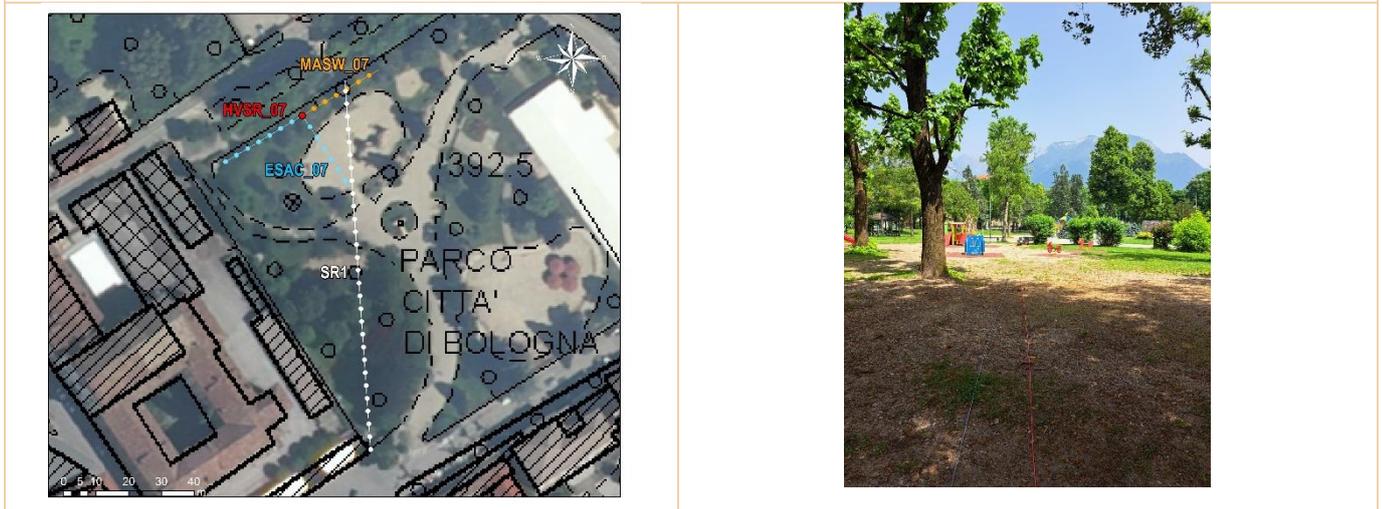
SR1_Parco Bologna

TIPO INDAGINE	TOMOGRAFIA SISMICA
LOCALITÀ	Parco Bologna
DATA ESECUZIONE	20/06/2023

RISULTATI

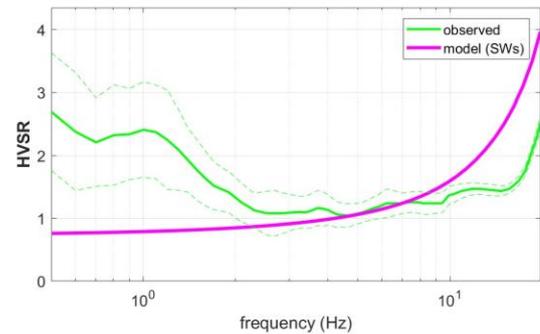
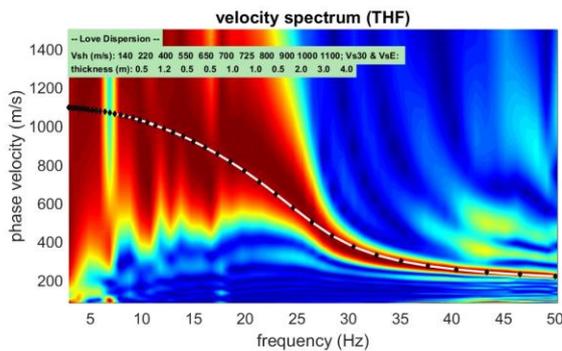
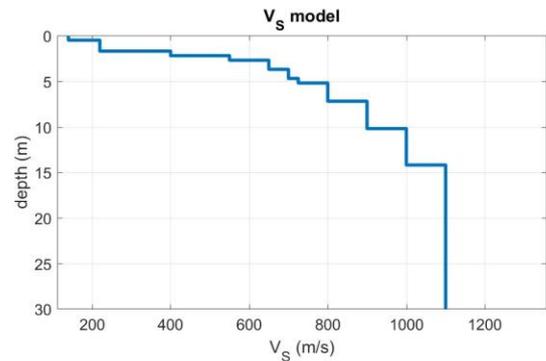
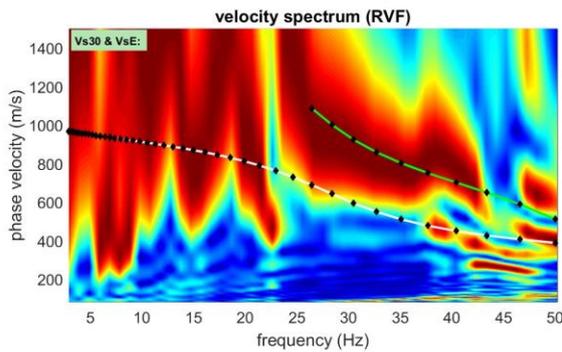


UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



08_Ponte Nuovo	
TIPO INDAGINE	MASW e HVSR
LOCALITÀ	Ponte Nuovo
DATA ESECUZIONE	20/06/2023

RISULTATI



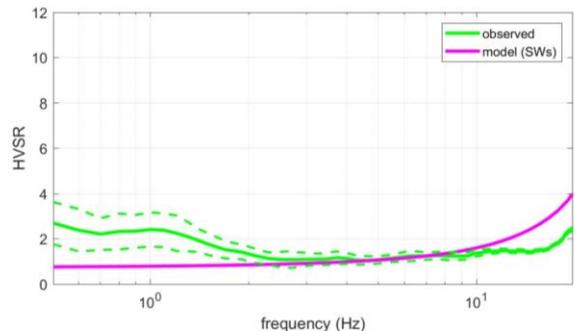
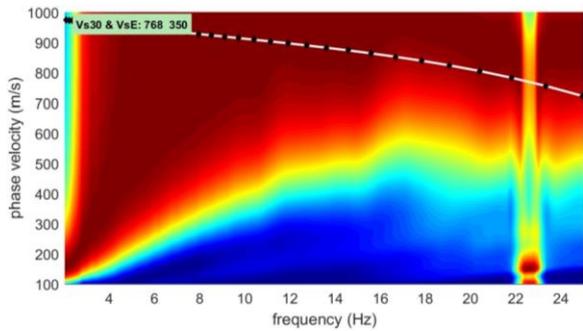
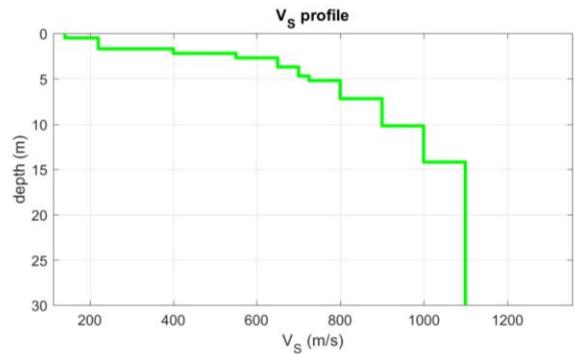
V _{s,eq}	485 m/s
Frequenza fondamentale del sito F ₀	20.5 Hz
Frequenza secondaria	

UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



08_Ponte Nuovo	
TIPO INDAGINE	ESAC e HVSR
LOCALITÀ	Ponte Nuovo
DATA ESECUZIONE	20/06/2023

RISULTATI



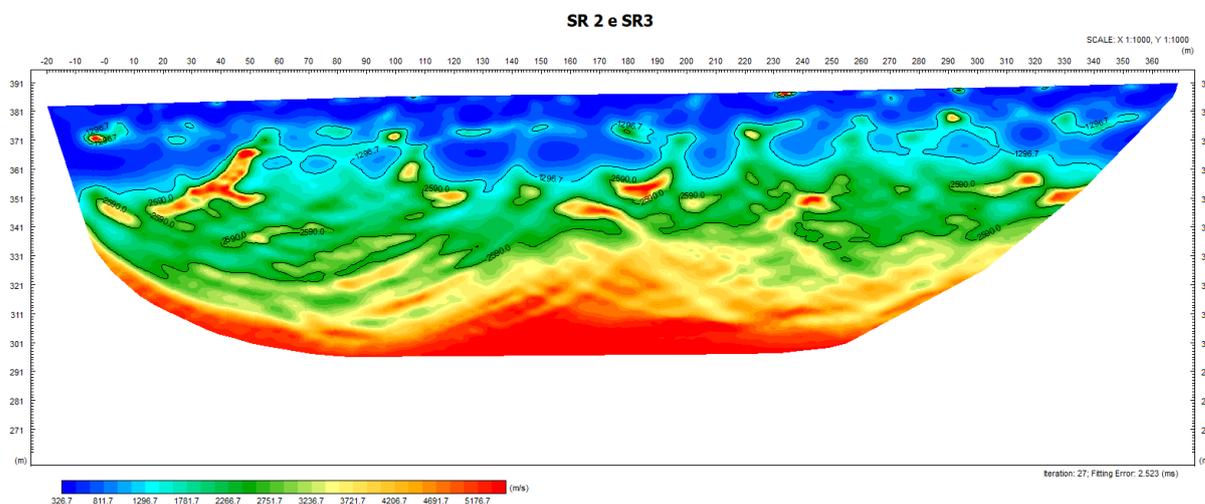
$V_{s,eq}$	485 m/s
Frequenza fondamentale del sito F_0	20.5 Hz
Frequenza secondaria	

UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



SR2_Via XXX Aprile	
TIPO INDAGINE	TOMOGRAFIA SISMICA
LOCALITÀ	Piazza Duomo, Via XXX Aprile e Piazza dei Martiri
DATA ESECUZIONE	11/07/2023
SR3_Via R. Psaro	
TIPO INDAGINE	TOMOGRAFIA SISMICA
LOCALITÀ	Piazza dei Martiri e Via R. Psaro
DATA ESECUZIONE	11/07/2023

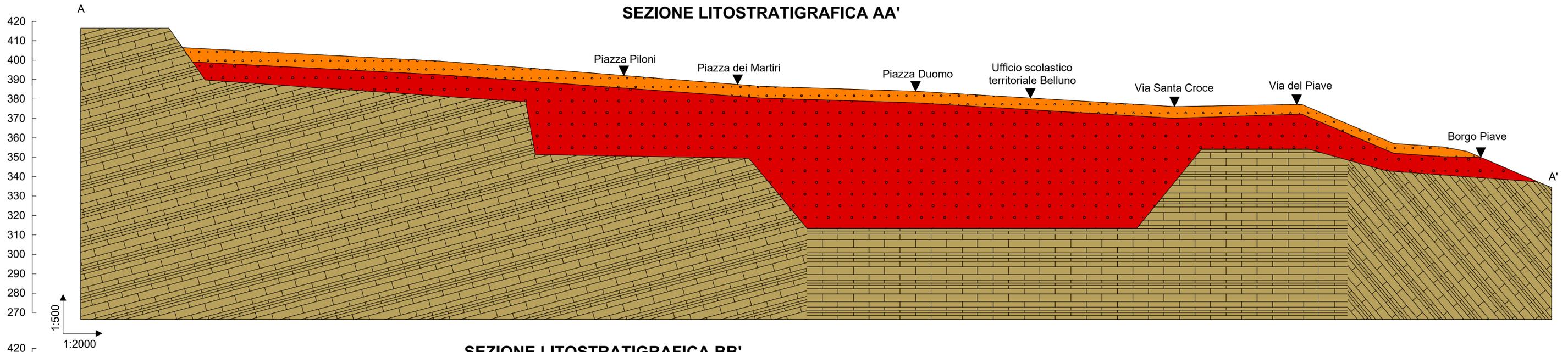
RISULTATI



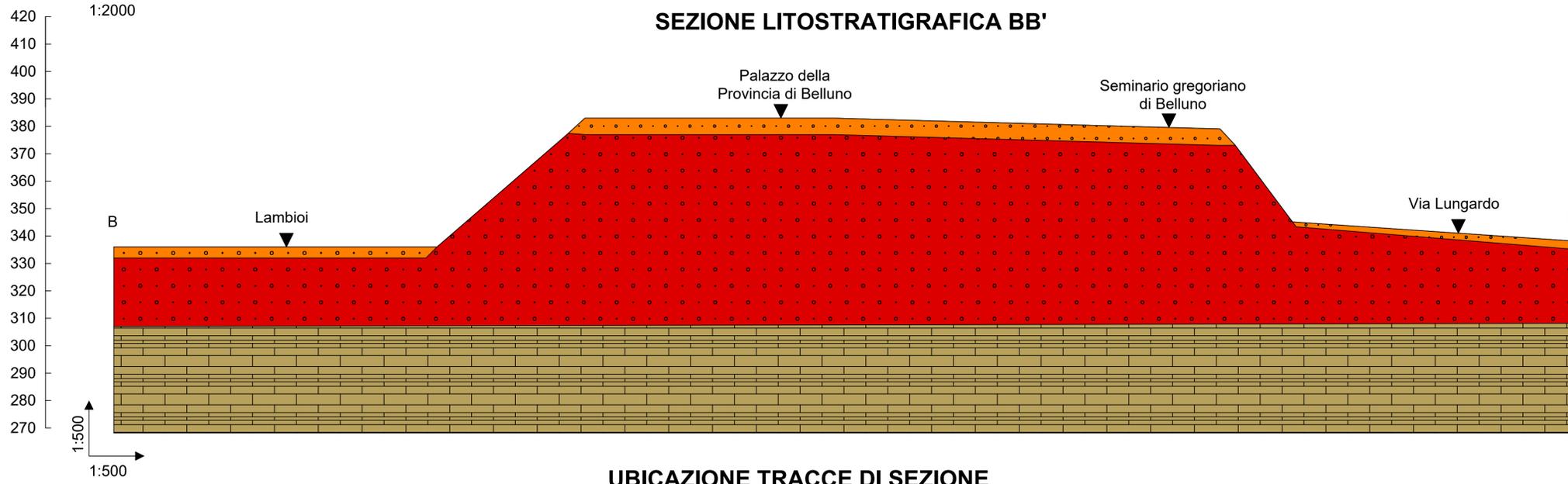
UBICAZIONE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



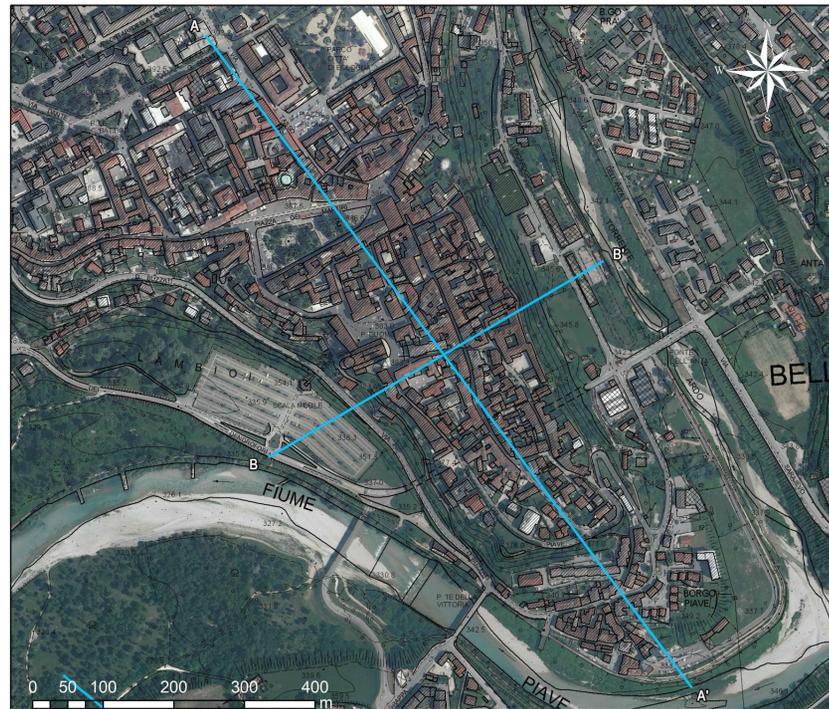
SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA AA'



SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA BB'



UBICAZIONE TRACCE DI SEZIONE



LEGENDA

-  Depositi di terrazzo poco addensati
-  Depositi di terrazzo addensati e localmente cementati
-  Flysh di Belluno

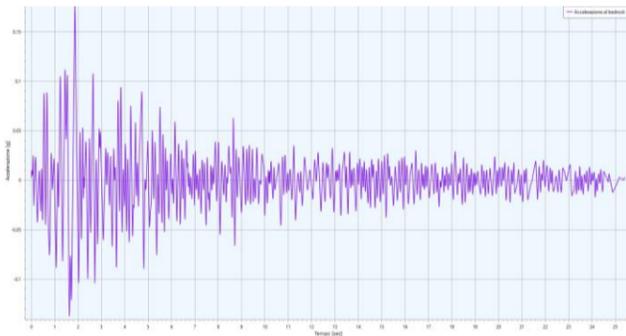
ALLEGATO 2 SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE DI SINTESI



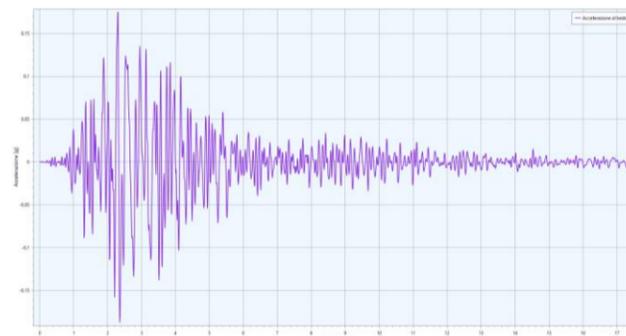
ACCELEROGRAMMI DI INPUT

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14	5.0514	2.9178	0.336	0.2097	7.3341	8.4263	0.64556	0.85171	A
829	358	ST236	Umbria Marche (aftershock)	16/10/1997	4.3	strike slip	1	3.6788	3.9885	0.1414	0.0983	2.5659	5.8243	0.64972	0.53692	A
651	291	ST236	Umbria Marche (aftershock)	06/10/1997	5.5	normal	5	2.2292	1.8377	0.1007	0.0842	6.0098	11.1199	0.90021	0.57384	A
6115	2029	ST1320	Kozani	13/05/1995	6.5	normal	17	2.0388	1.3962	0.0854	0.0656	9.846	13.7558	0.97696	0.5284	A
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13	1.2916	1.5325	0.1611	0.101	4.8619	7.669	0.79499	0.70631	A
428	203	ST169	Etolia	18/05/1988	5.3	thrust	23	1.6238	1.7297	0.0619	0.0875	9.0231	10.8768	0.572	0.587	A
6349	2142	ST2558	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	5	7.2947	8.218	0.4557	0.9202	3.1036	2.2626	0.61082	0.66152	A
mean:					5.828571 429		11.14286	3.315471	3.088629	0.191743	0.223786	6.106343	8.5621	0.73575	0.635099	

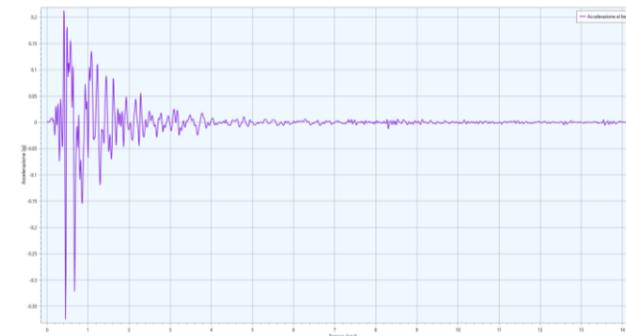
000428YA



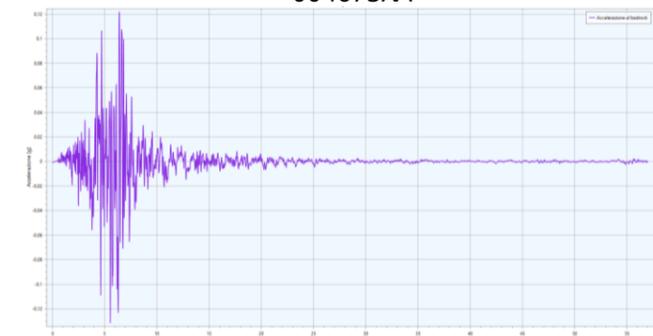
000651YA



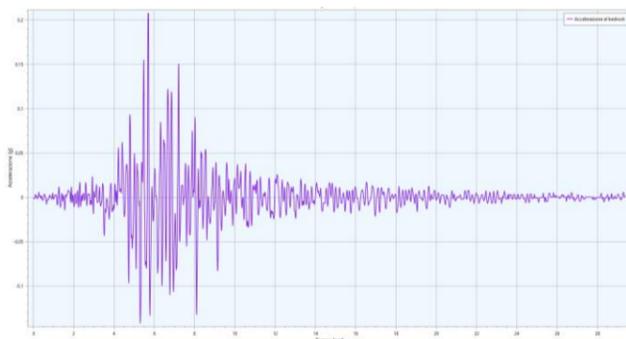
000829XA



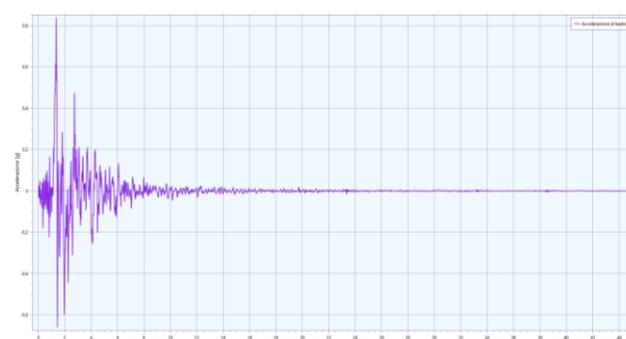
004675XA



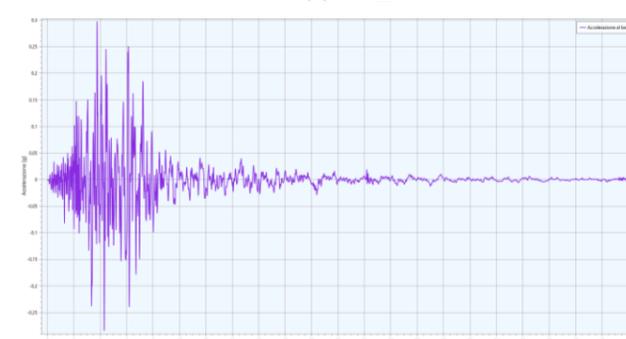
006115XA



006349YA



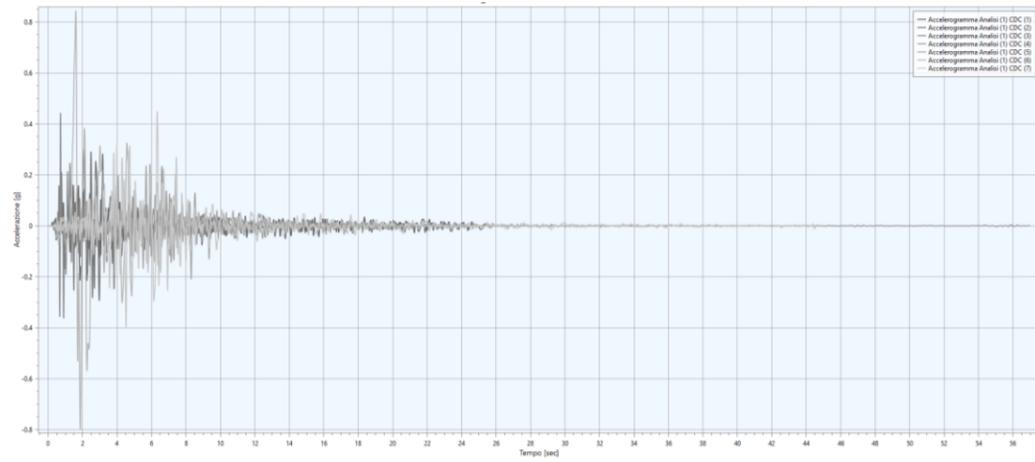
007142YA



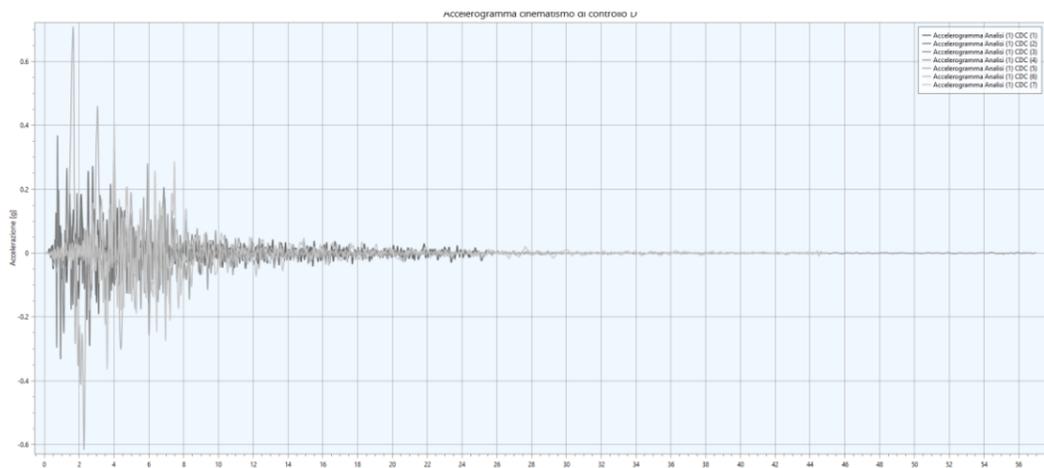
Condizione	Accelerogramma (x)
CDC(1)	000428YA
CDC(2)	000651YA
CDC(3)	000829XA
CDC(4)	004675XA
CDC(5)	006115XA
CDC(6)	006349YA
CDC(7)	007142YA

ACCELEROGRAMMI DI OUTPUT

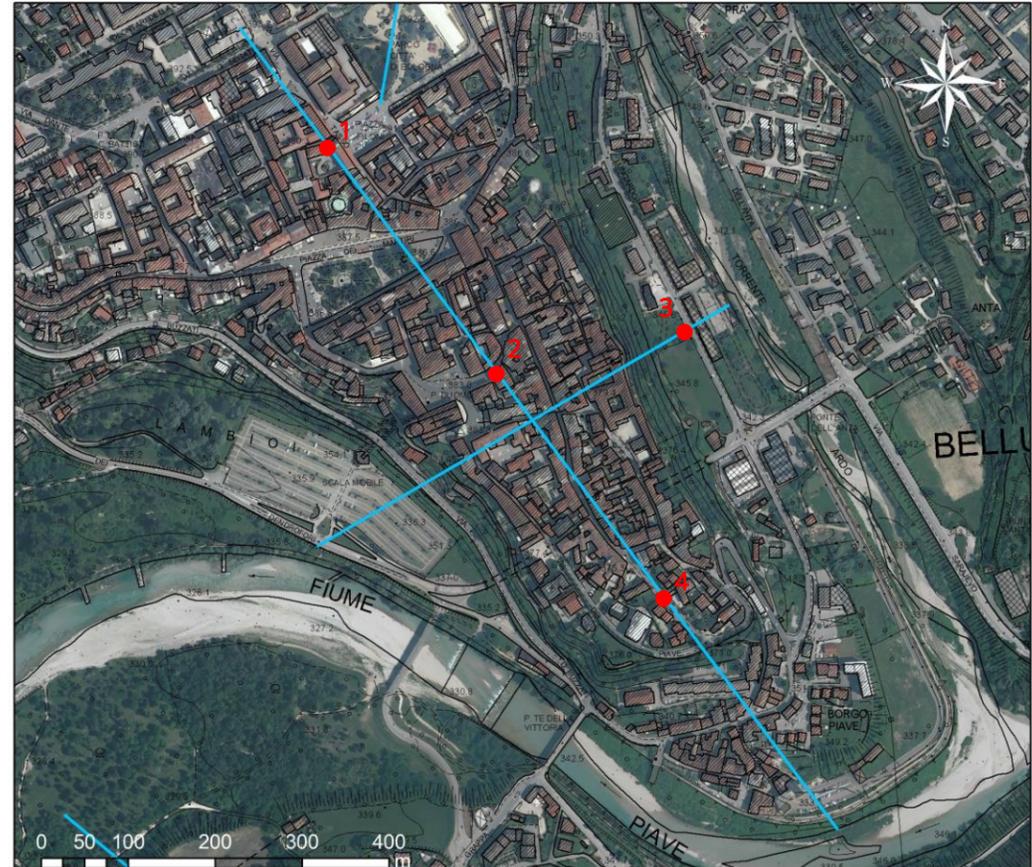
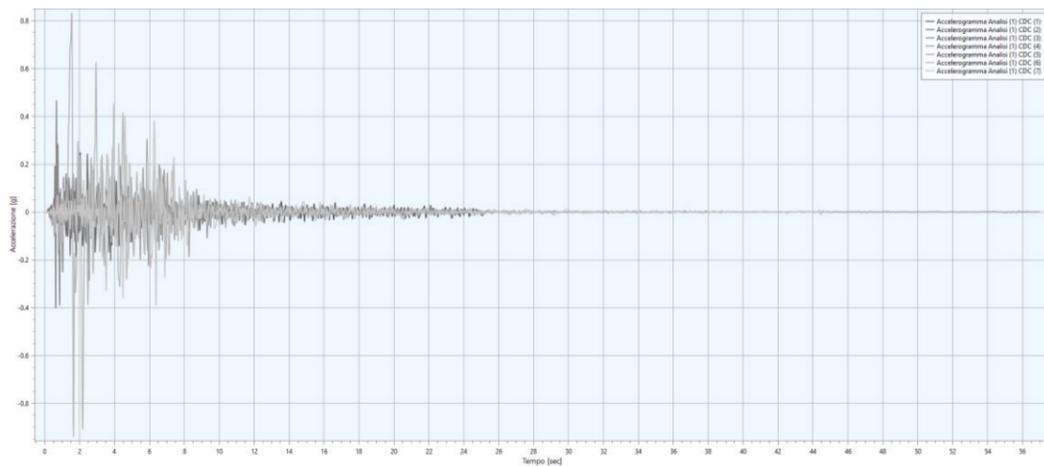
Output Accelerogrammi punto di controllo 1



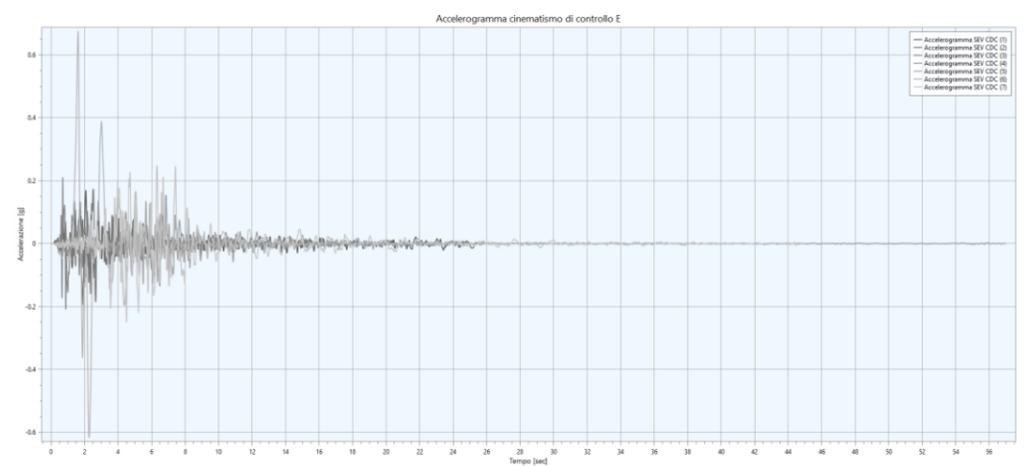
Output Accelerogrammi punto di controllo 2



Output Accelerogrammi punto di controllo 3



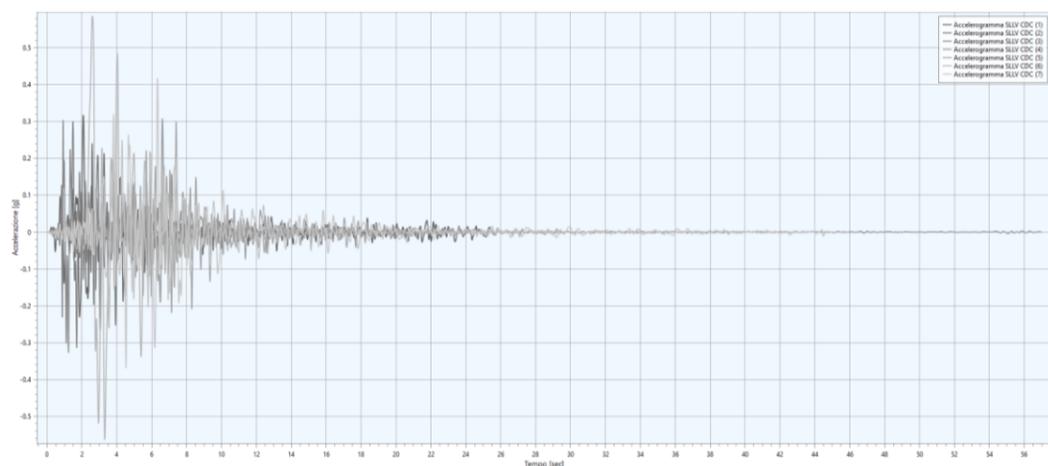
Output Accelerogrammi punto di controllo 4



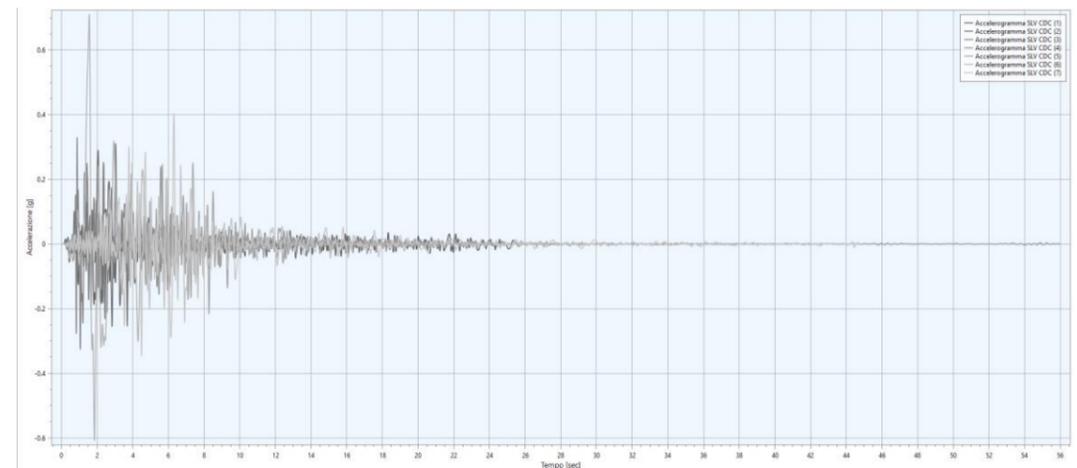
ACCELEROGRAMMI DI OUTPUT



Output Accelerogrammi punto di controllo 5

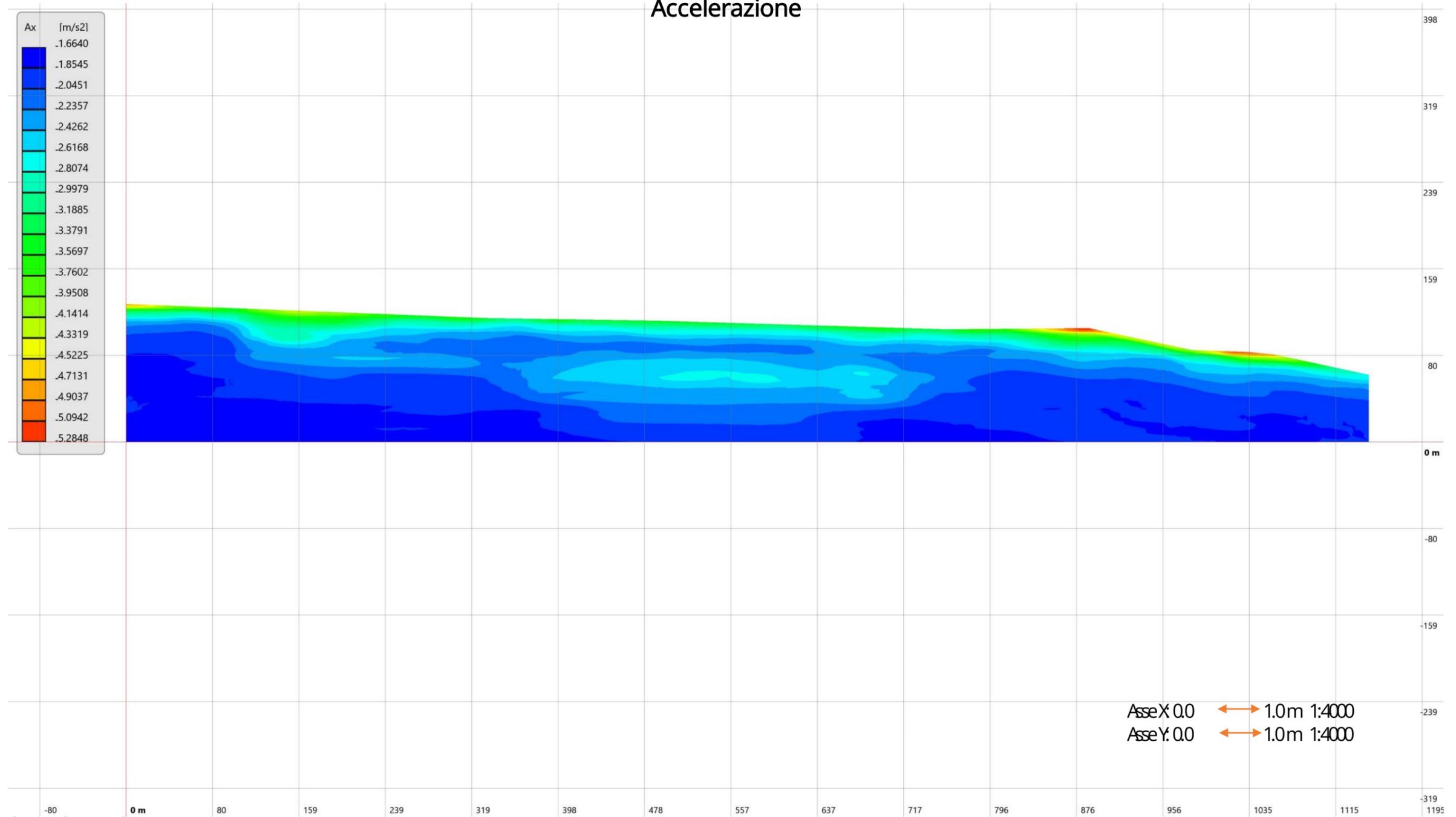


Output Accelerogrammi punto di controllo 6



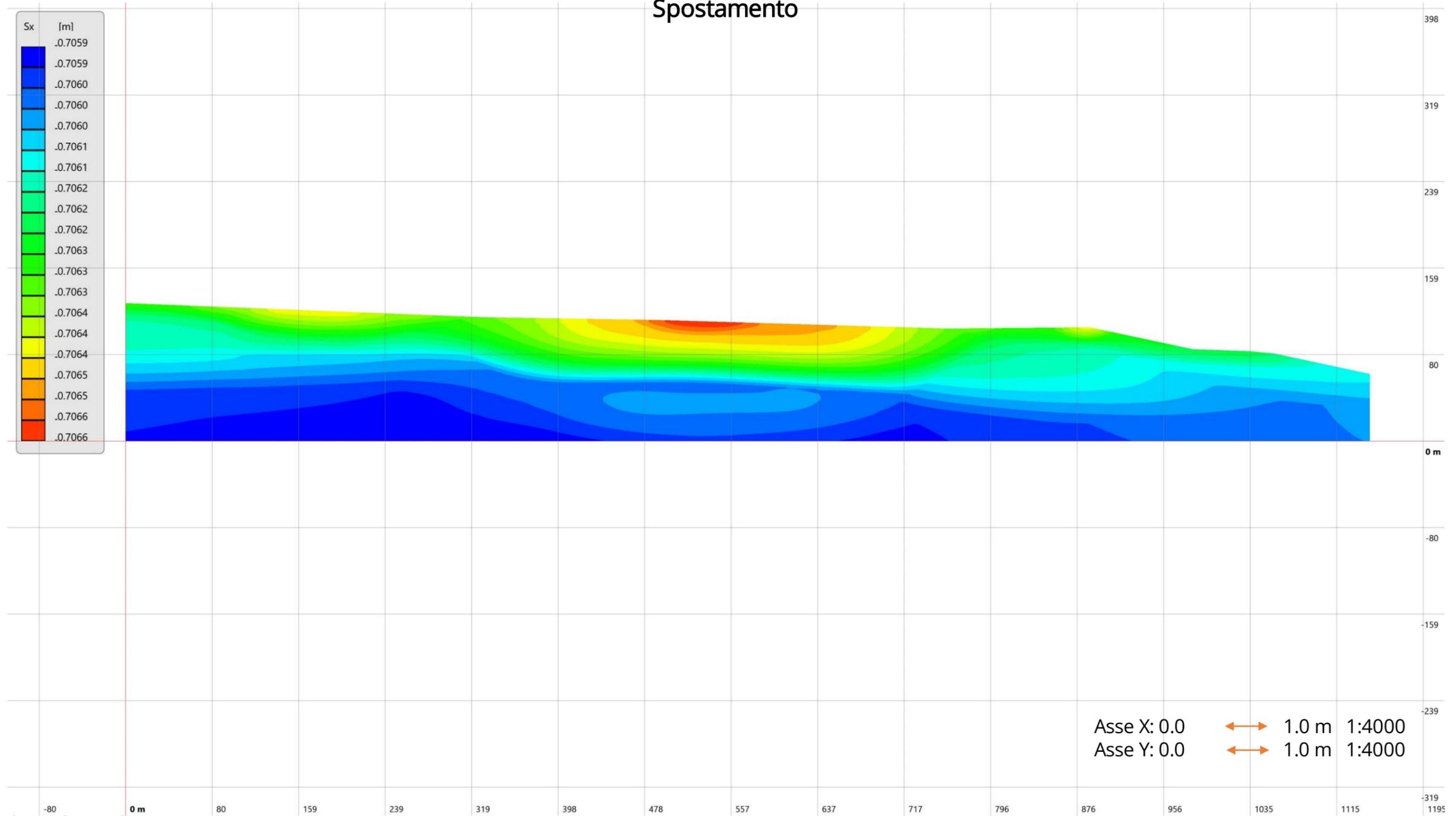
Sezione A-A'

Accelerazione

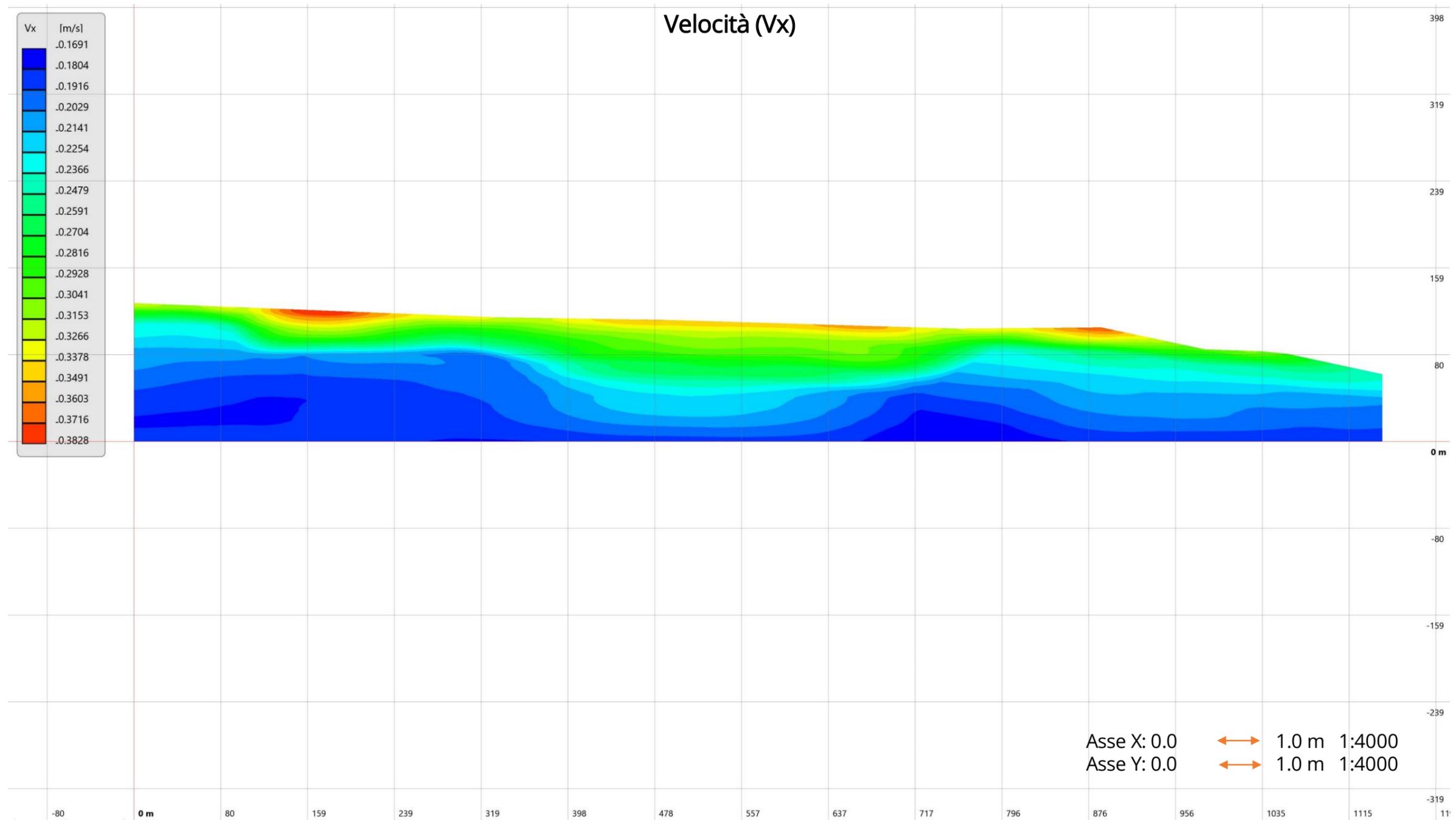


Sezione A-A'

Spostamento

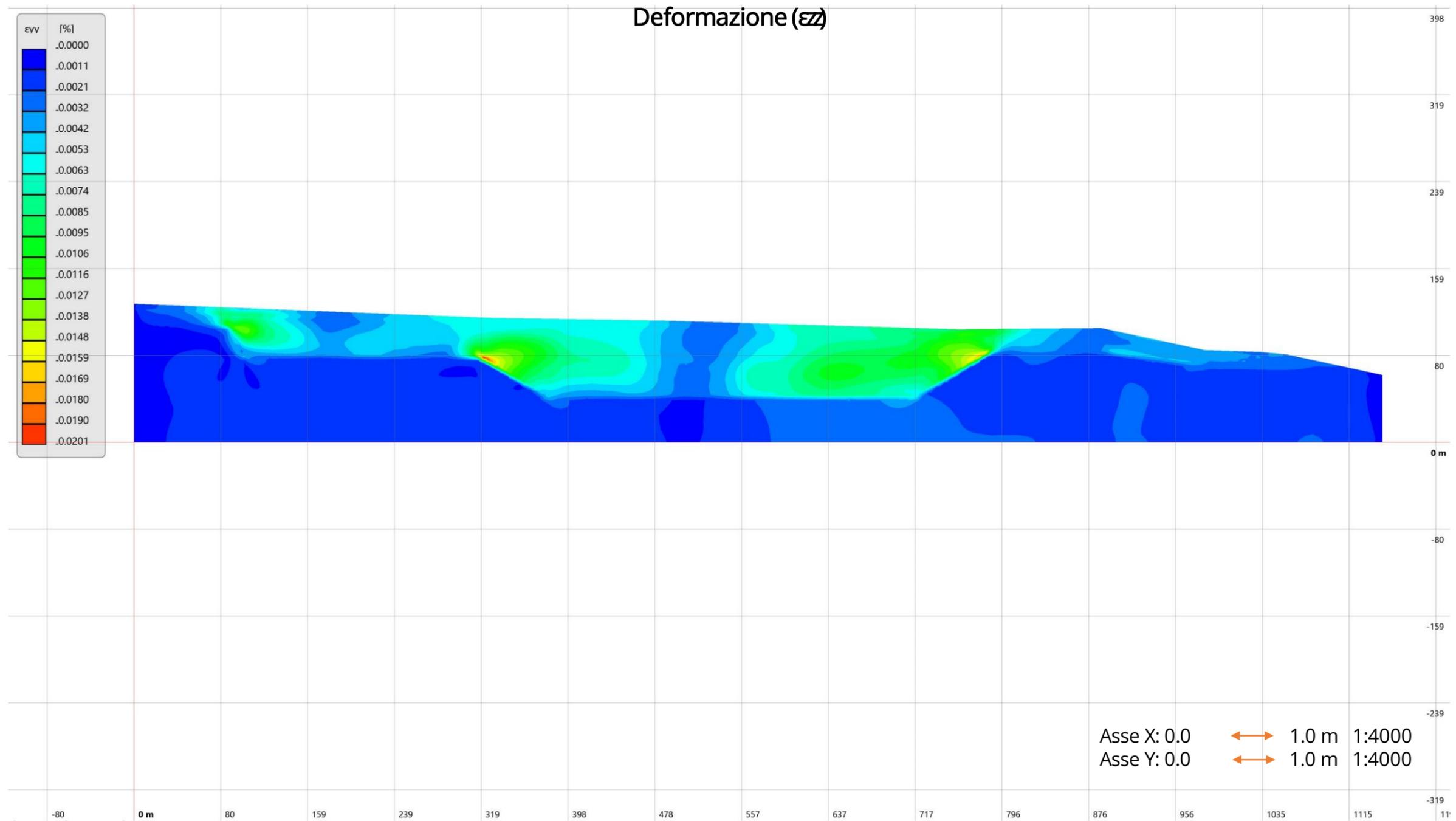


Sezione A-A'



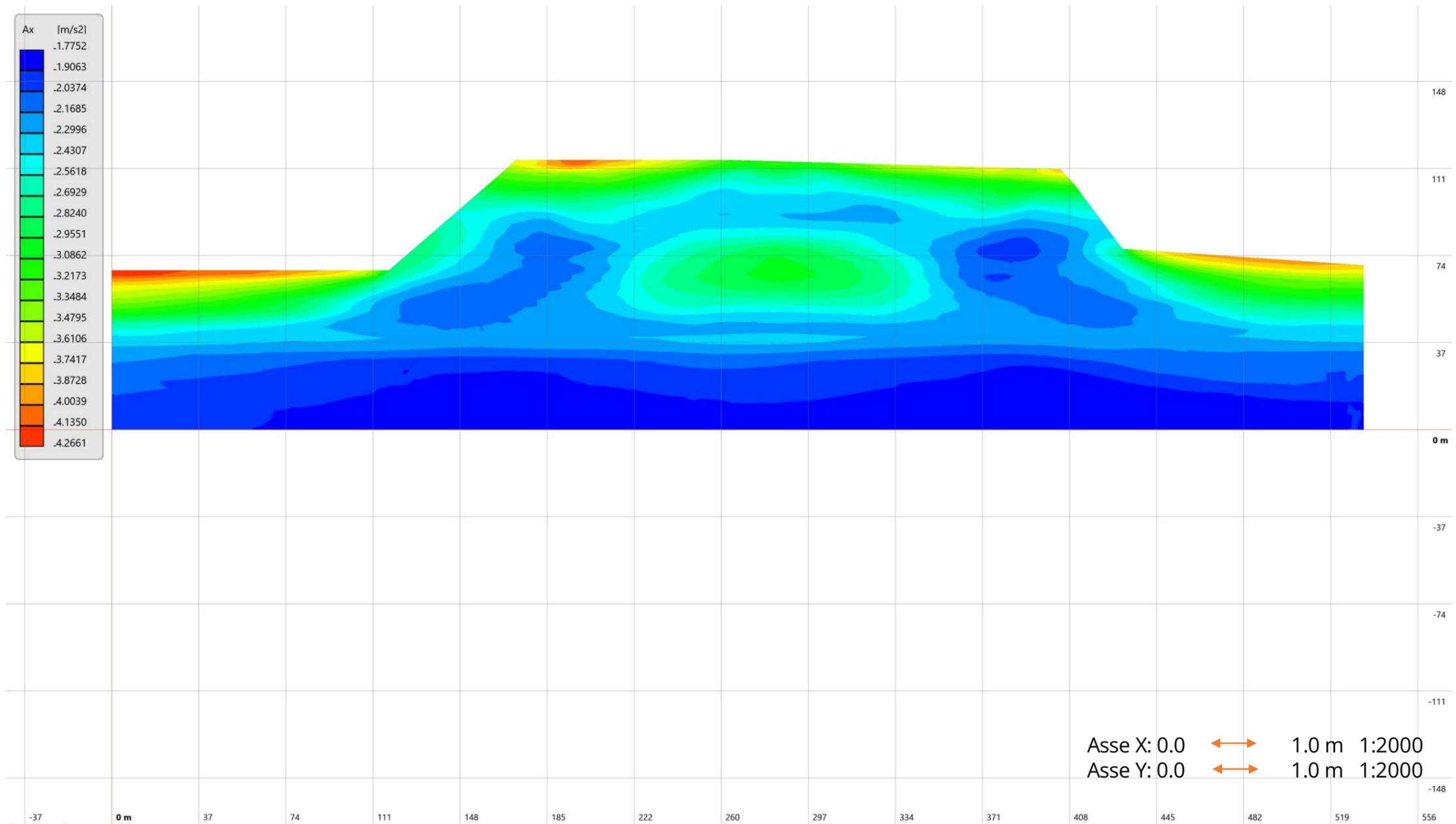
Sezione A-A'

Deformazione (ϵ_z)



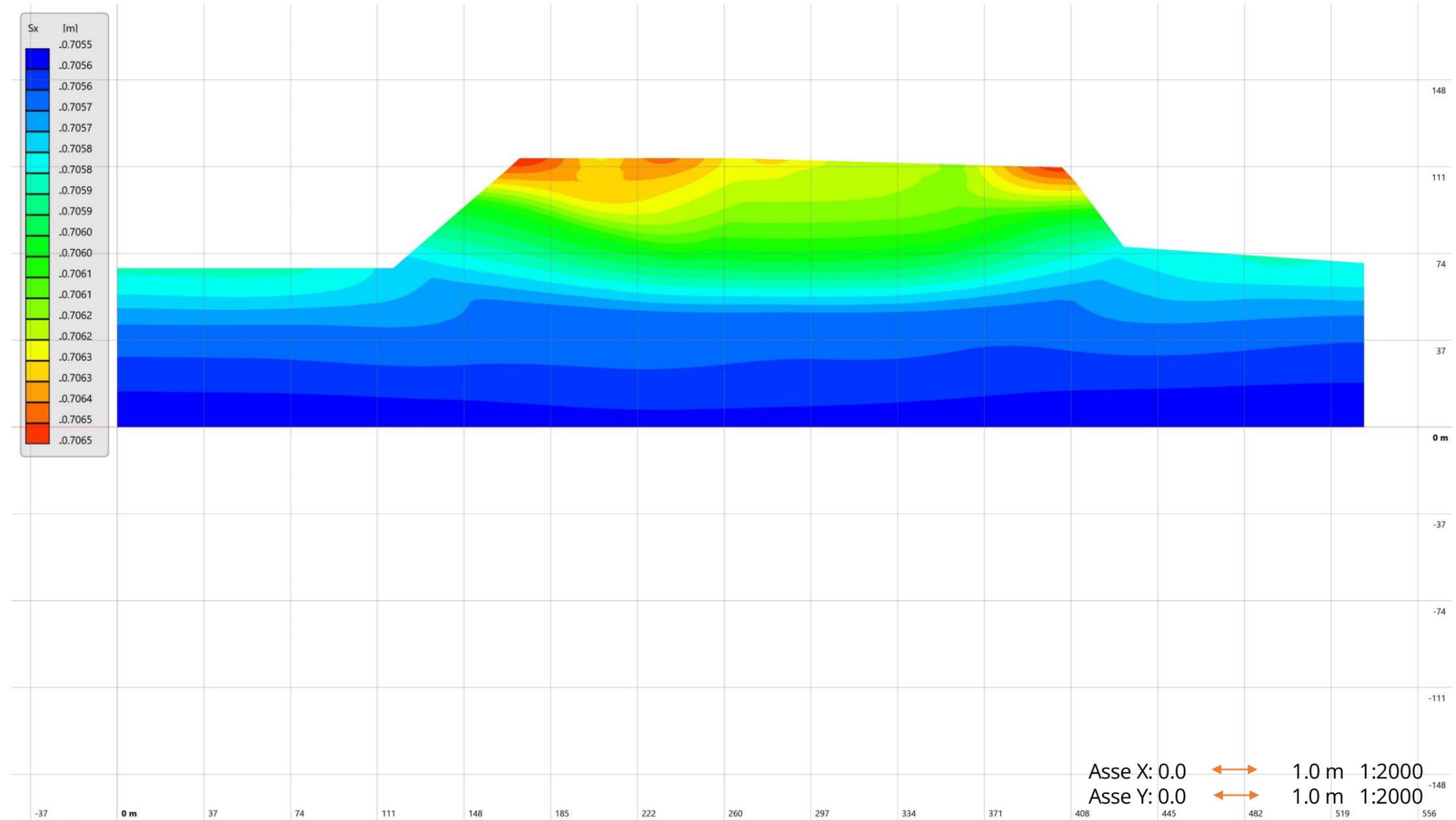
Sezione B-B'

Accelerazione



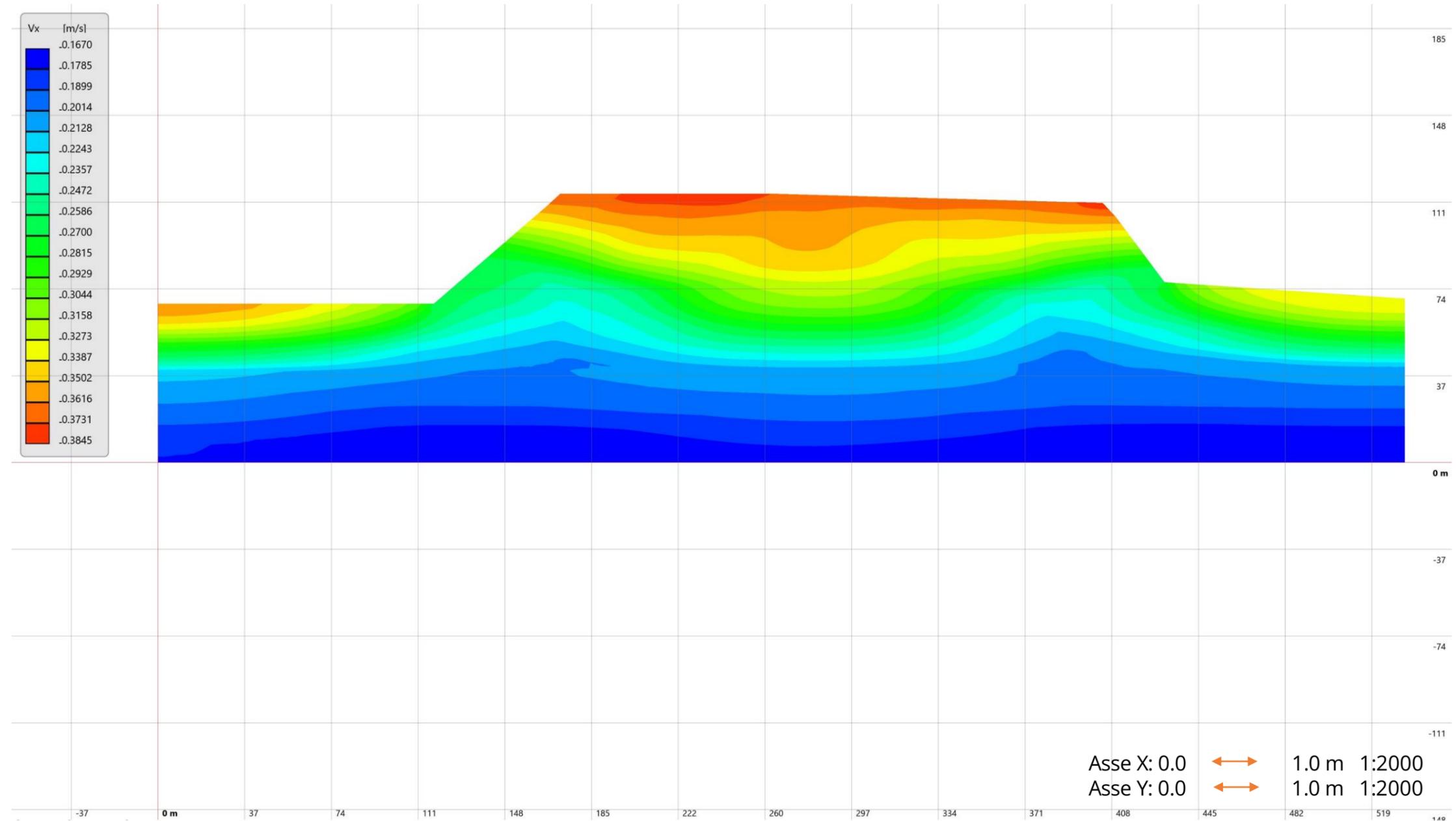
Sezione B-B'

Spostamento



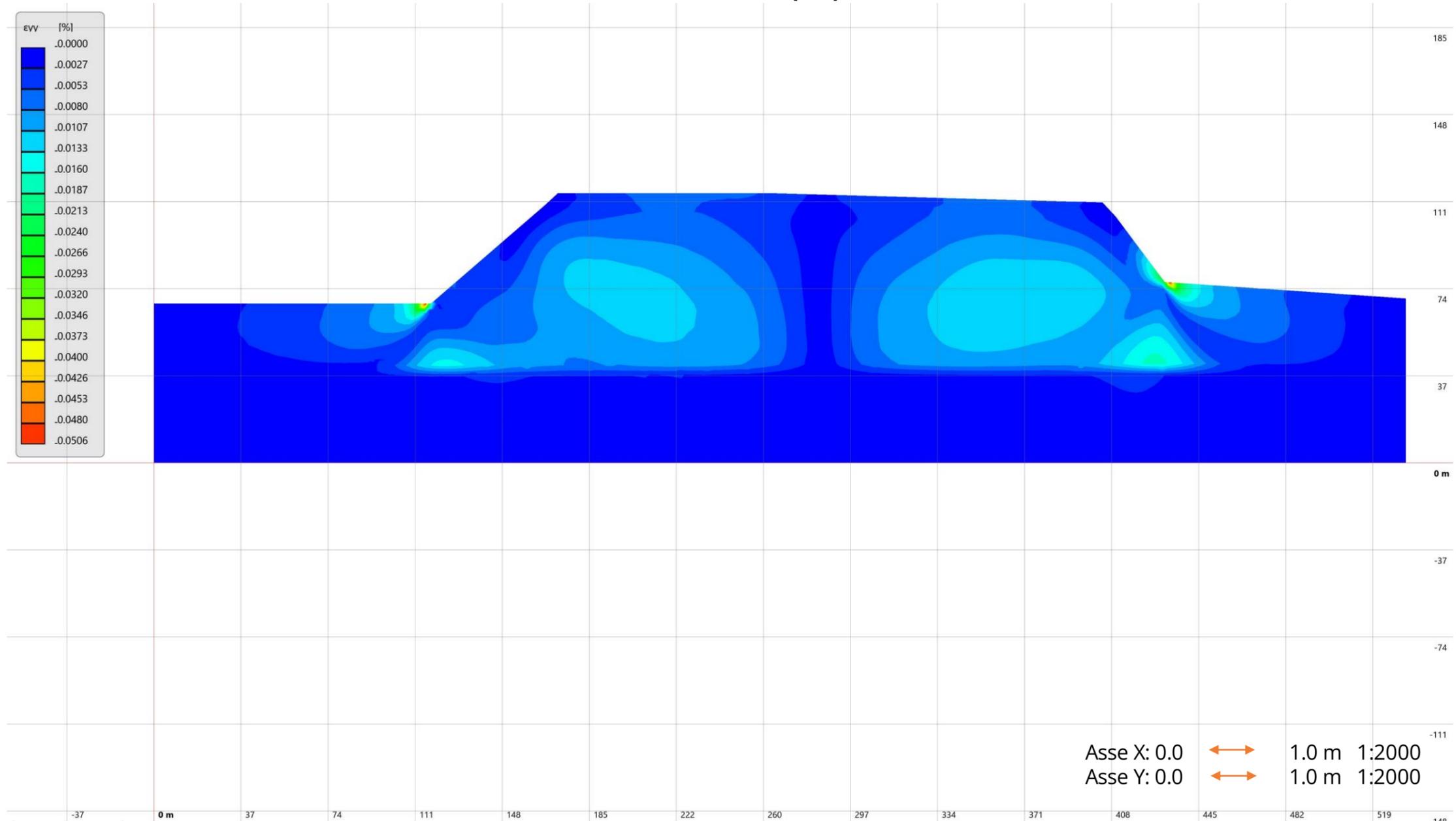
Sezione B-B'

Velocità (Vx)



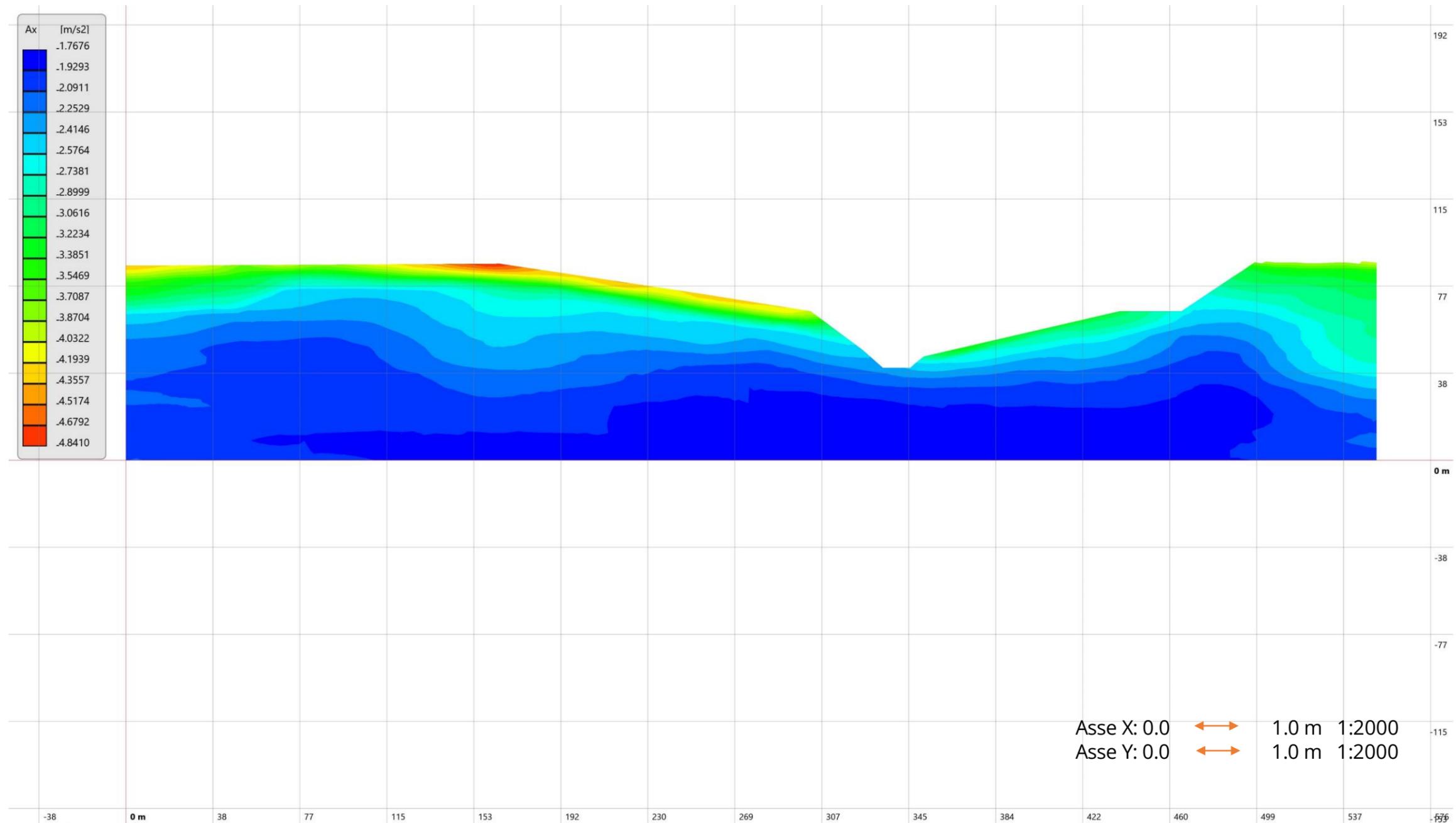
Sezione B-B'

Deformazione (ϵ_{zz})



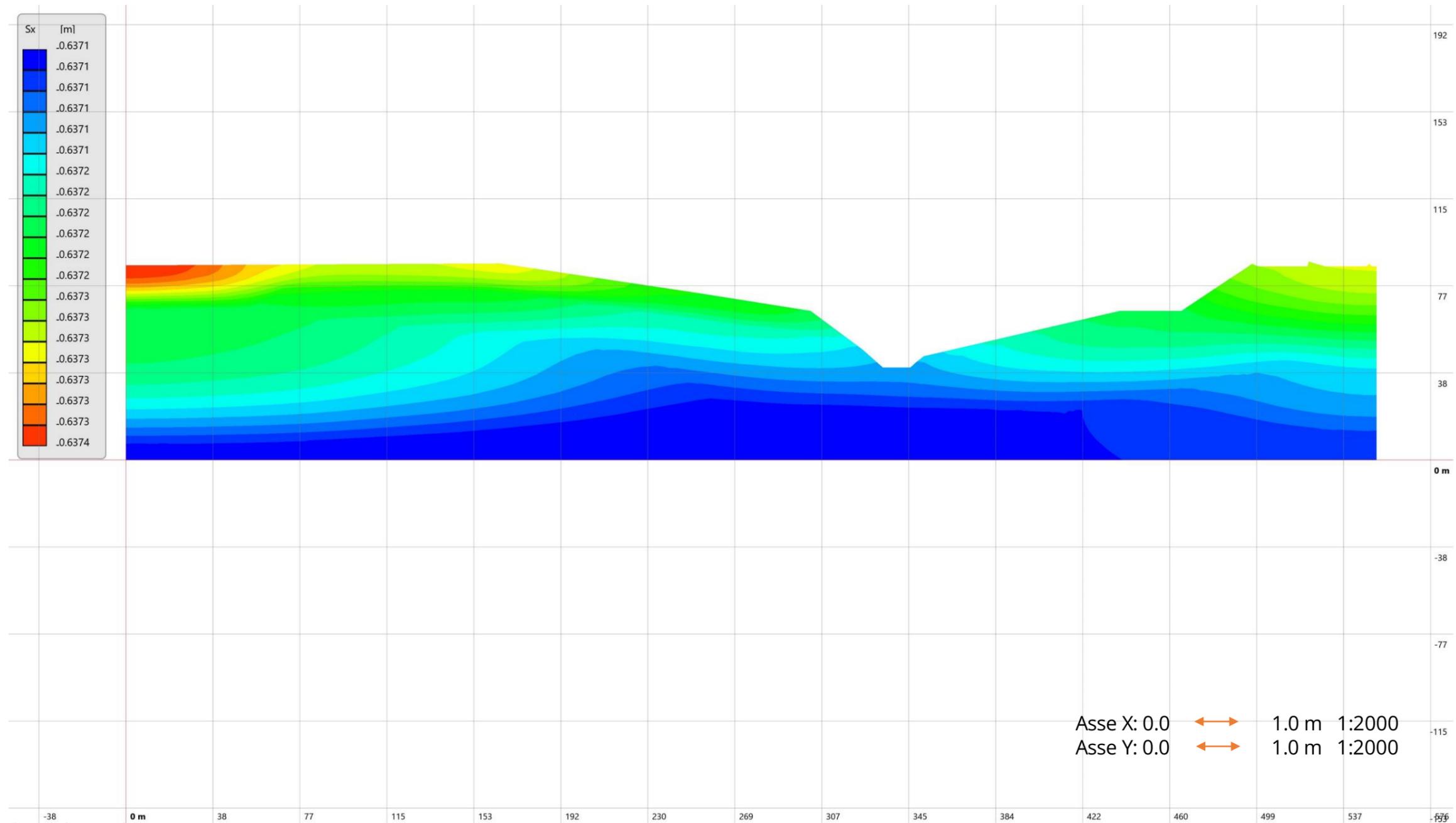
Sezione C-C'

Accelerazione



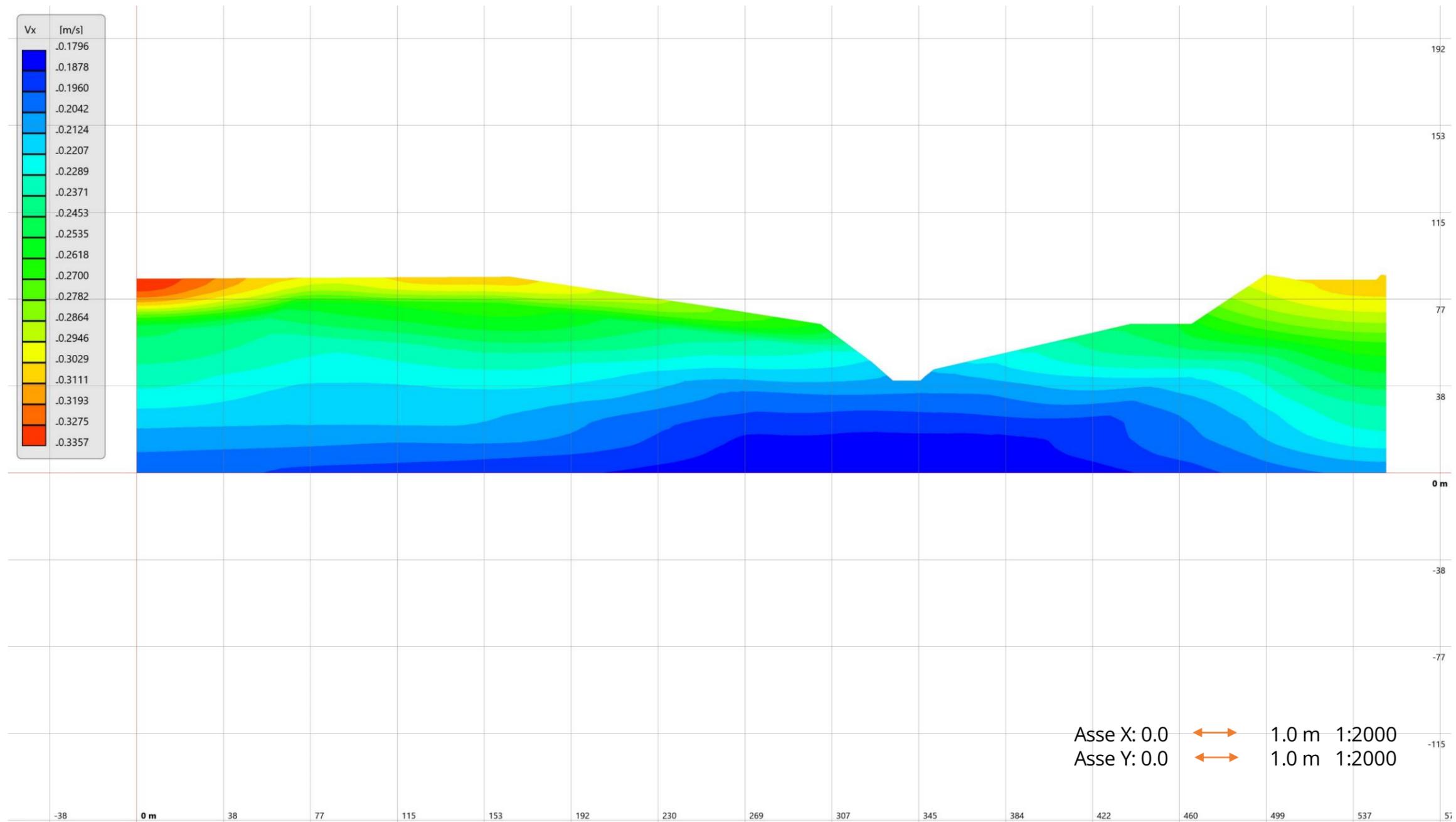
Sezione C-C'

Spostamento



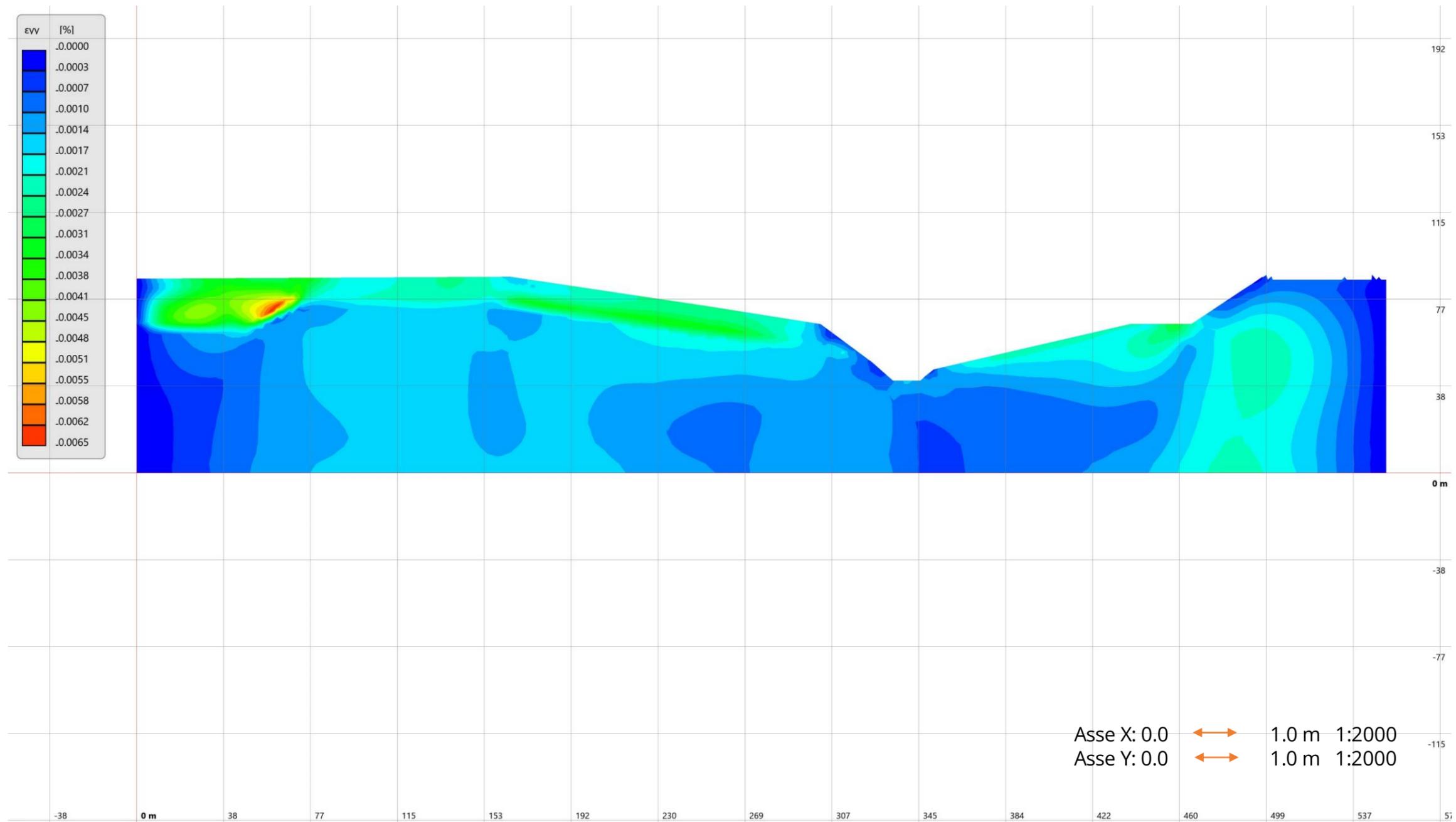
Sezione C-C'

Velocità (Vx)



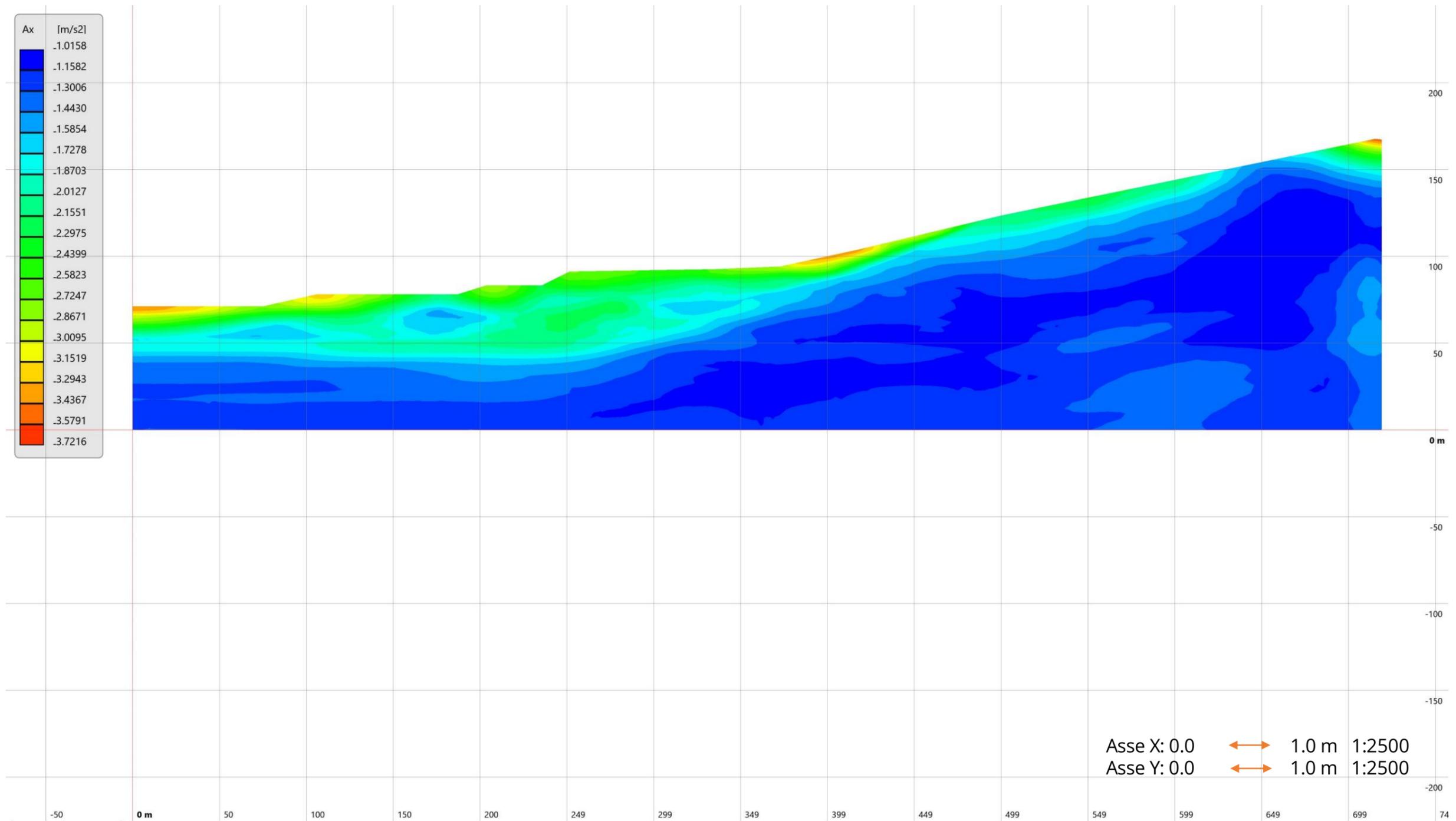
Sezione C-C'

Deformazione (ϵ_{zz})



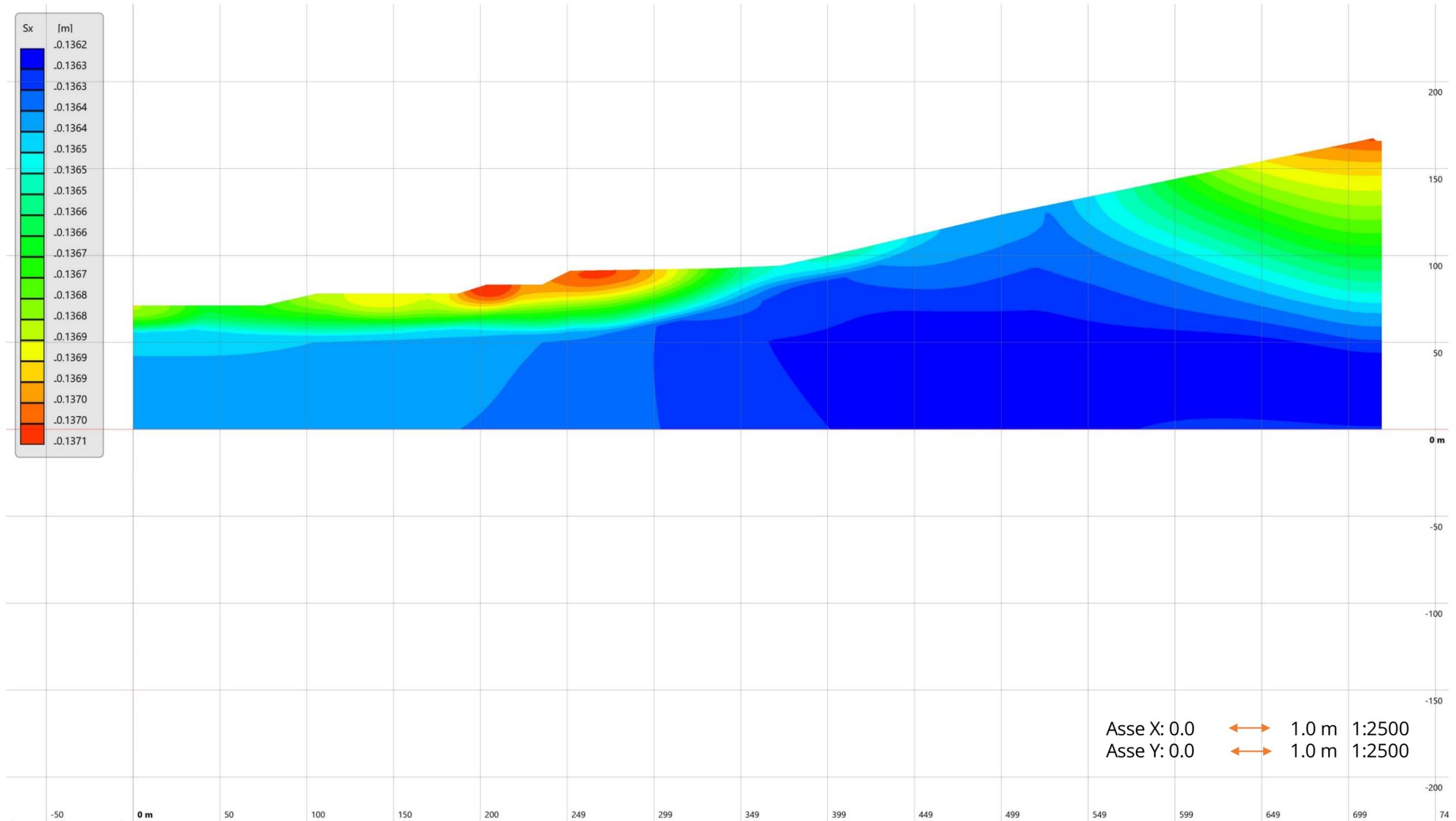
Sezione D-D'

Accelerazione



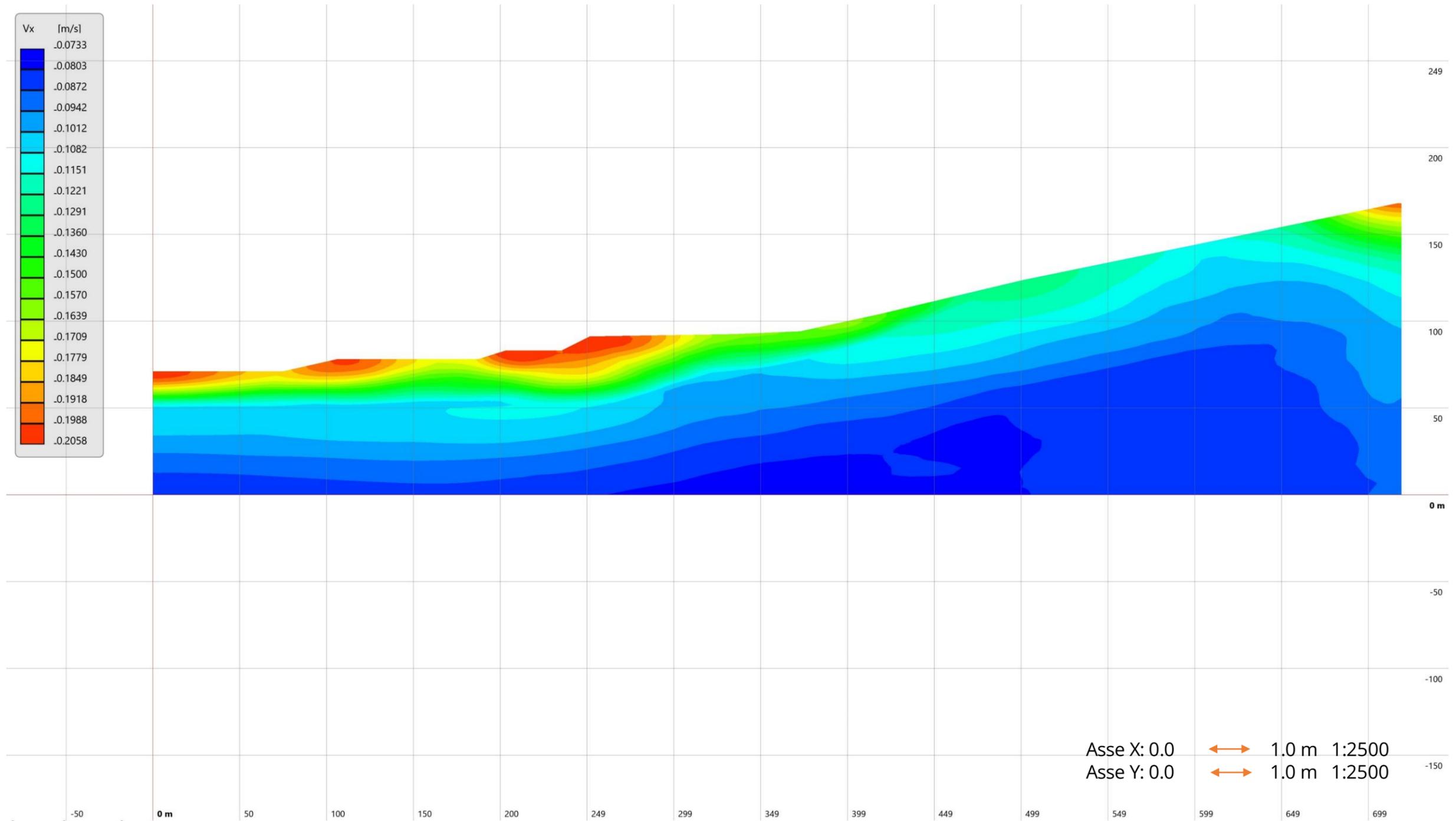
Sezione D-D'

Spostamento



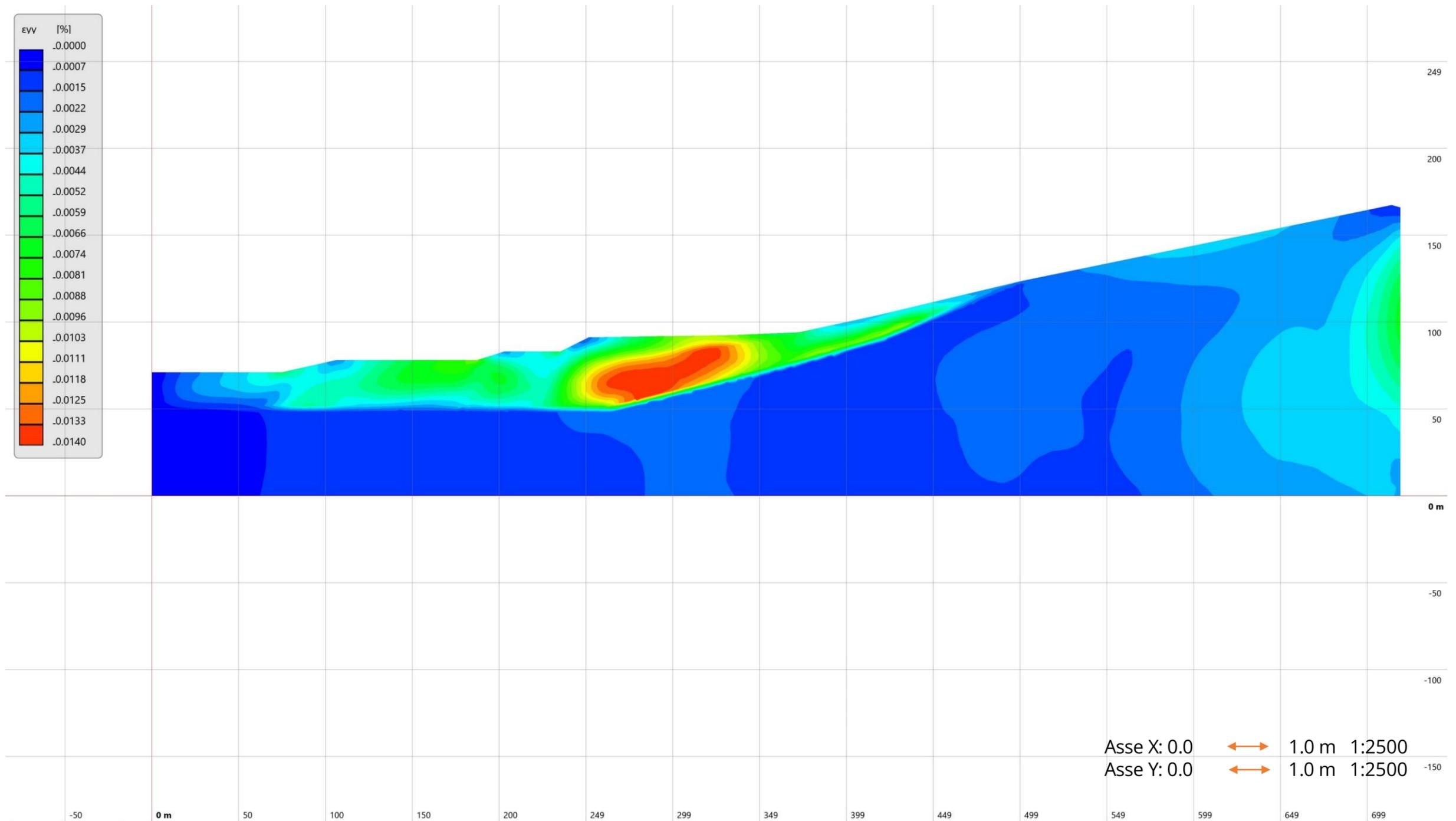
Sezione D-D'

Velocità (Vx)



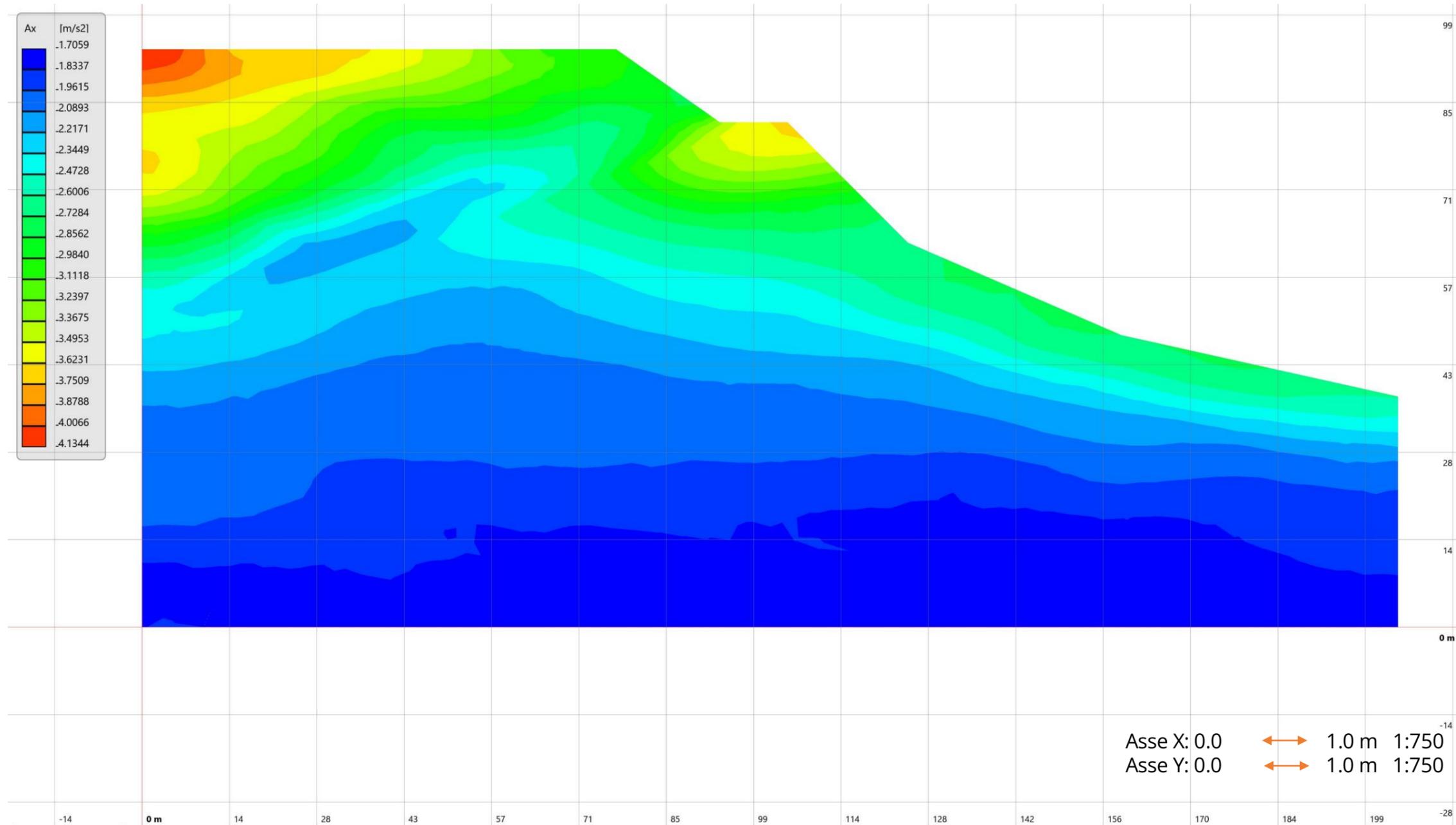
Sezione D-D'

Deformazione (ϵ_{zz})



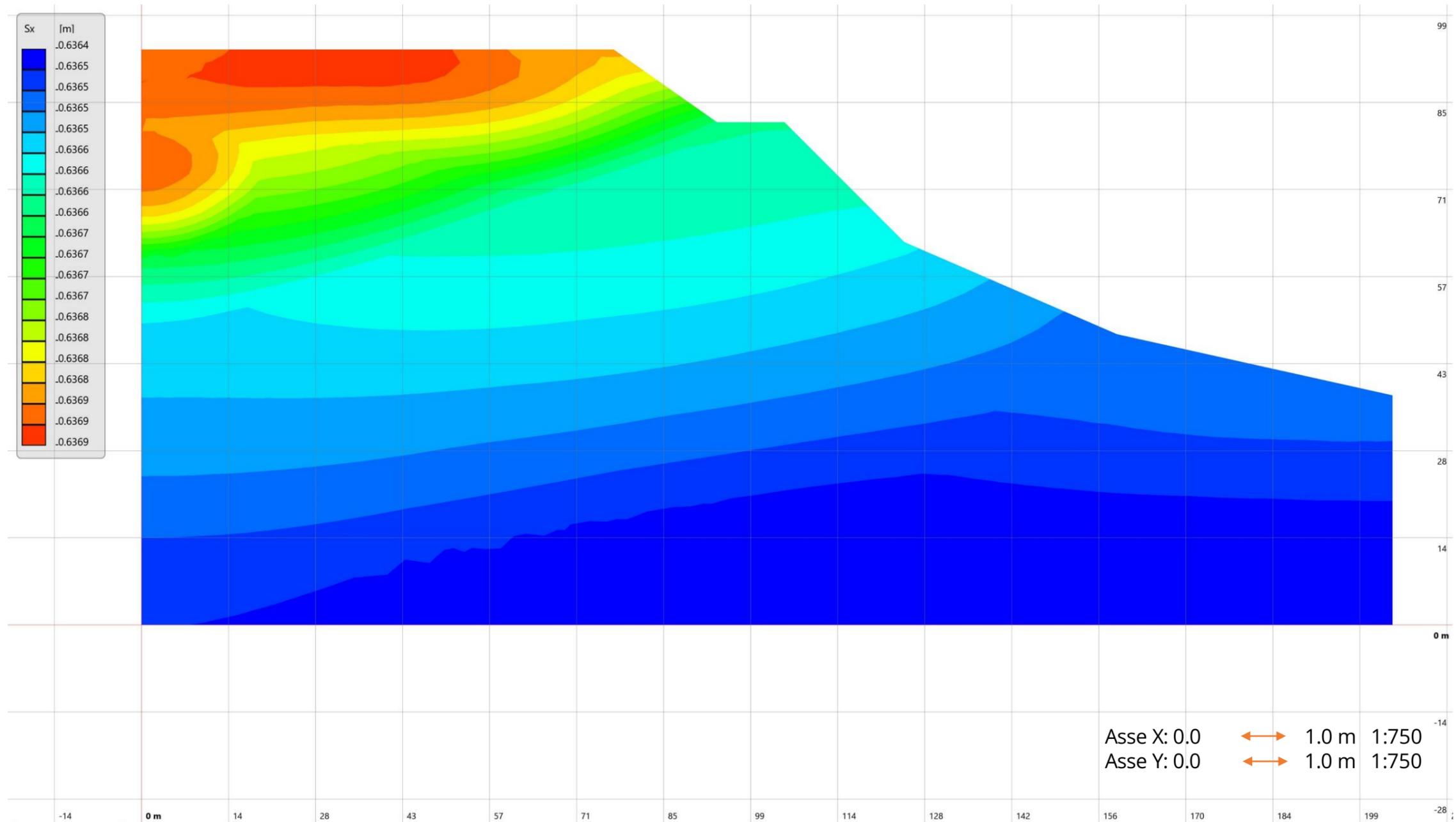
Sezione E-E'

Accelerazione



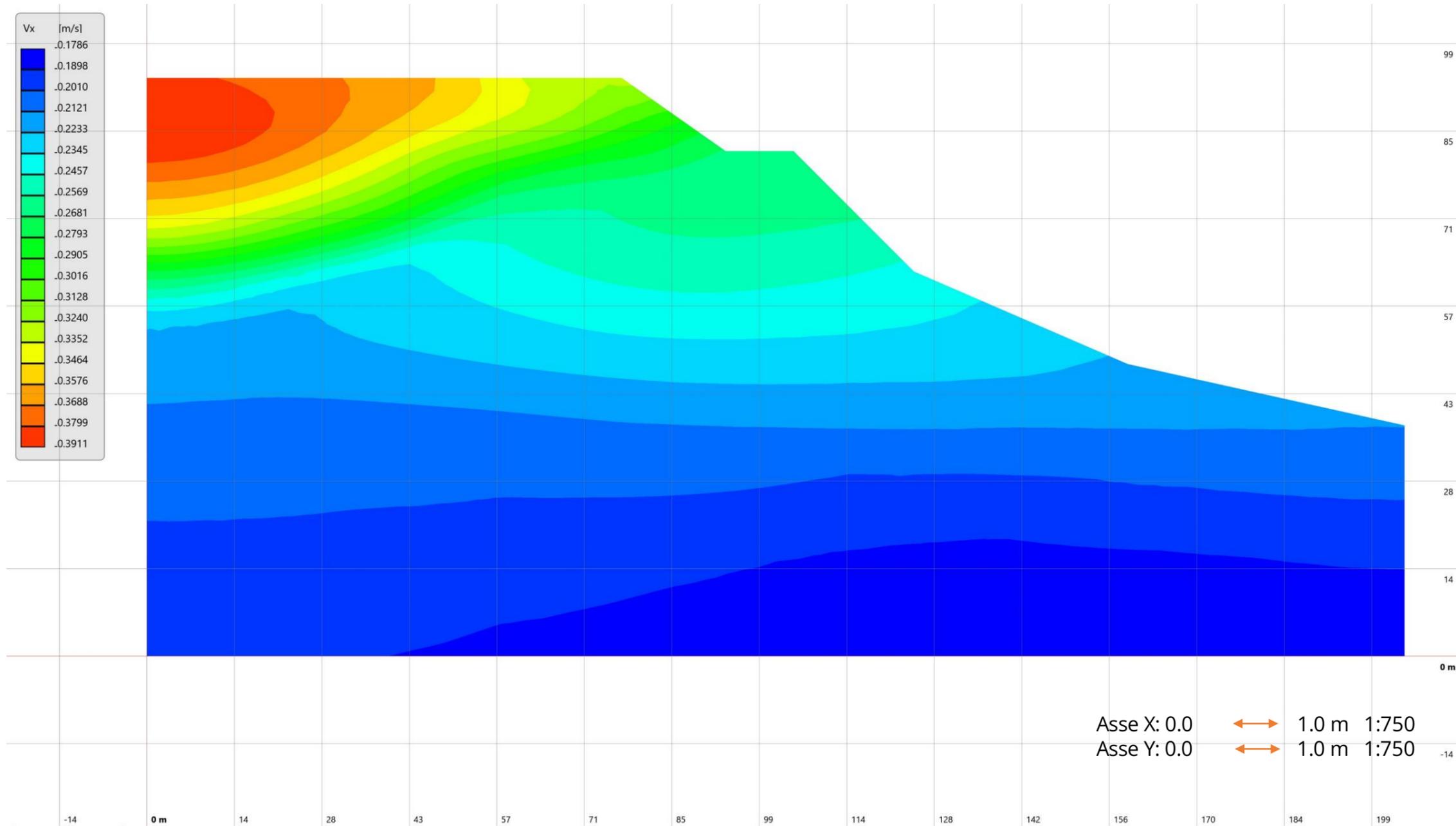
Sezione E-E'

Spostamento



Sezione E-E'

Velocità (Vx)



Sezione E-E'

Deformazione (ϵ_{zz})

