



Comune di Angolo Terme

Provincia di Brescia

Componente geologica, idrogeologica e sismica
del Piano di Governo del Territorio
AGGIORNAMENTO DELLA COMPONENTE SISMICA

Relazione illustrativa

Dicembre 2018


Geo.Te.C.

Geologia Tecnica Camuna
Studio associato - tel/fax 0364 533637
Via Albera 3 - Darfo Boario Terme (BS)
e-mail: info@geotec-studio.it

Dr. geol. Fabio Alberti



1. Premessa.....	1
2. Analisi del rischio sismico	3
2.1. Normativa di riferimento	3
2.2. Risposta sismica locale	3
2.3. Analisi sismica di primo livello: Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) – tavola 1	5
2.4. Analisi di secondo livello.....	7
2.5. Sovrapposizione nelle Carte di Fattibilità Geologica dei risultati dell'analisi sismica di secondo livello	14
3. Pericolosità morfologica di un'area situata nei pressi della località Fornaci emessa	15
3.1. Inquadramento geologico e morfologico.....	16
3.2. Aspetti morfologici	16
3.3. Metodologia per la valutazione della pericolosità da caduta di blocchi rocciosi.....	18
3.4. Modellazione delle traiettorie di caduta dei blocchi rocciosi	20
4. Rivalutazione delle condizioni di pericolosità per alcune aree di conoide	22
5. Carta PAI-PGRA	22
6. Bibliografia	25

1. Premessa

La presente relazione riguarda l'aggiornamento della componente sismica del Piano di Governo del Territorio del comune di Angolo Terme condotto, nell'ambito della Variante 1 al Piano di Governo del Territorio, in riferimento alle indicazioni contenute nella d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616.

Il comune di Angolo Terme dispone infatti di uno studio relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT redatto nel febbraio 2010 in riferimento alla precedente d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374.

Dal 10 aprile 2016 è entrata in vigore la d.g.r. 21 luglio 2014 n. X/2129 con la quale il territorio del comune di Angolo Terme è stato riclassificato da zona sismica 4 a zona sismica 3. Questa variazione ha comportato la necessità di aggiornare la componente sismica dello studio geologico del PGT con l'analisi sismica di secondo livello per gli ambiti urbanizzati e urbanizzabili del territorio comunale, così come previsto dalla normativa regionale per i comuni classificati in zona sismica 3.

In questa sede la componente sismica del PGT è stata aggiornata completamente a partire dall'analisi sismica di primo livello mentre lo studio del febbraio 2010 rimane valido per tutte le altre componenti di carattere geologico.

Si è inoltre tenuto conto della d.g.r. 19 giugno 2017 n. X/6738 relativa all'attuazione del Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA) verificando se nella valutazione della fattibilità geologica le situazioni di pericolosità e rischio individuate nella cartografia del PGRA non erano già state considerate come aree a pericolosità paragonabile o maggiore nell'ambito dello studio del febbraio 2010.

L'aggiornamento condotto in questa sede comprende anche una rivalutazione delle condizioni di pericolosità rispetto ai fenomeni di caduta di blocchi rocciosi di un'area situata in prossimità della località Fornaci, alla base del versante sinistro della valle del Dezzo, la rivalutazione delle condizioni di pericolosità delle aree di alcuni conoidi alluvionali e l'inserimento, sulla base di un'indagine idrogeologica condotta nel 2015, della perimetrazione della

Zona di Rispetto delle sorgenti Roncaiole e Montagni, utilizzate dall'acquedotto comunale e situate nei pressi del Colle Vareno.

In riferimento alla normativa regionale il presente aggiornamento della componente sismica del Piano di Governo del Territorio del comune di Angolo Terme comprende le seguenti tavole cartografiche che sostituiscono completamente le tavole allegata allo studio del febbraio 2010 e che, per non generare confusione, hanno la stessa numerazione delle precedenti, ma con l'indicazione "aggiornamento dicembre 2018".

- *Tavola 1 - Carta della Pericolosità Sismica Locale - scala 1:10.000* – estesa a tutto il territorio comunale; aggiornata rispetto alla versione precedente con alcune piccole modifiche sulla base dei risultati di indagini geologiche eseguite successivamente e delle prove geofisiche condotte in questa sede .
- *Tavola 2 - Carta dei Vincoli - scala 1:10.000* – estesa a tutto il territorio comunale; aggiornata rispetto alla versione del febbraio 2010 con le modifiche introdotte in questa sede con la Carta PAI e la perimetrazione delle Zone di Rispetto delle sorgenti del Colle Vareno.
- *Tavole 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f, 4g - Carta di Fattibilità Geologica - scala 1:2.000* – estesa alle aree urbanizzate e al loro intorno, aggiornata rispetto alla versione precedente con la sovrapposizione dei risultati dell'analisi sismica di secondo livello.
- *Tavola 5 - Carta di Fattibilità Geologica - scala 1:10.000* – estesa a tutto il territorio comunale, aggiornata rispetto alla versione precedente con la sovrapposizione dei risultati dell'analisi sismica di secondo livello e comprendente le modificazioni introdotte con lo studio di rivalutazione della pericolosità da caduta di blocchi di roccia nei pressi della località Fornaci e la perimetrazione della zona di rispetto delle sorgenti del Colle Vareno.
- *Tavola 6 – Carta PAI-PGRA - scala 1:10.000* – estesa a tutto il territorio comunale, dove sono stati rappresentati, oltre agli elementi già contenuti nella Carta dei rischi idraulici e idrogeologici (precedente tavola 6 dello studio del febbraio 2010 e aggiornata con le modificazioni introdotte con lo studio di rivalutazione della pericolosità nei pressi della località fornaci) gli elementi individuati nella cartografia del PGRA relativi alle aree allagabili sui corsi d'acqua principali e secondari.

La descrizione delle indagini e dell'analisi sismica condotta è contenuta nella presente Relazione Illustrativa mentre la normativa conseguente è contenuta nelle Norme Geologiche di Piano che sono state aggiornate e sostituiscono integralmente le precedenti norme del febbraio 2010.

Allo studio è allegata anche l'Asseverazione secondo l'allegato 6 della d.g.r. 19 giugno 2017 n. X/6738 – Nuovo schema di asseverazione (ex allegato 15 alla IX/2616/2011) – relativa alla congruità tra i contenuti della Variante 2 al PGT ed i contenuti della componente geologica del PGT, del PAI e del PGRA.

Alla presente relazione sono inoltre allegati a fine testo i seguenti elaborati:

- allegati 1a, 1b : ubicazione delle indagini geofisiche e delle tracce dei profili dell'analisi morfologica (scala 1:10.000);
- allegato 2: risultati delle indagini geofisiche;
- allegati 3a, 3b: profili delle velocità sismiche di taglio Vs e confronto con le schede di valutazione della d.g.r. IX/2616;
- allegato 4a, 4b, 4c: profili dell'analisi sismica di secondo livelli: effetti morfologici (scala 12.000);

- allegato 5: analisi sismica di secondo livello – creste;
- allegato 6 : analisi sismica di secondo livello – scarpate;
- allegato 7 : modellazione delle traiettorie di caduta - traccia dei profili;
- allegato 8: modellazione delle traiettorie di caduta - tabelle delle sezioni e dei materiali;
- allegato 9: modellazione delle traiettorie di caduta – diagrammi delle traiettorie;
- allegato 10: modellazione delle traiettorie di caduta – zonazione della pericolosità.

2. Analisi del rischio sismico

2.1. Normativa di riferimento

Per quanto riguarda la classificazione delle zone sismiche, avente valore solamente amministrativo, dal 10 aprile 2016 è entrata in vigore la d.g.r. 21 luglio 2014 n. X/2129 con la quale il territorio del Comune di Angolo Terme è stato riclassificato da zona sismica 4 a zona sismica 3.

Il DM 14/01/2008 “Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” aveva assunto come riferimento per la nuova definizione della sismicità del territorio nazionale la mappa dei valori di a_g calcolati su una griglia avente passo di $0,02^\circ$, relativa all'allegato 1b all'Ordinanza PCM n° 3519 del 28/04/2006, per cui i parametri sismici di una data area vanno definiti in base alle sue coordinate, interpolando i dati contenuti nelle tabelle dell'allegato B al DM 14/01/2008.

La Regione Lombardia si era adeguata al DM 14/01/2008 emanando la d.g.r. n° 8/7374 del 28/05/2008, successivamente sostituita dalla d.g.r. n° IX/2616 del 20/11/2011 in riferimento alla quale è stato redatto il presente studio.

Il recente DM 17/01/2018 - Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni” entrato in vigore il 22 marzo 2018 - ha confermato il riferimento agli allegati A e B del DM 14/01/2008 per i valori dei parametri necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

2.2. Risposta sismica locale

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi che devono essere considerati nella valutazione generale della pericolosità sismica di una data area e che costituiscono l'oggetto della “componente sismica” del Piano di Governo del Territorio secondo la d.g.r. n. IX/2616.

Gli effetti, in funzione delle caratteristiche del terreno presente, vengono distinti in due gruppi: effetti di sito, o di amplificazione sismica locale ed effetti di instabilità.

Gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche e sono rappresentati dall'insieme delle modificazioni che un moto sismico (terremoto di riferimento) relativo ad una formazione rocciosa di base (substrato sismico o bedrock sismico) può subire presso la superficie topografica o durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il substrato

sismico. Tali effetti si distinguono a loro volta in due sottogruppi che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito.

- Gli effetti di amplificazione topografica sono relativi a condizioni morfologiche più o meno articolate che favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche presso la cresta dei rilievi ed i ripiani sovrastanti le scarpate, con conseguente amplificazione delle onde a causa di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto.
- Gli effetti di amplificazione litologica sono relativi a profili stratigrafici sovrastanti il substrato sismico con determinate proprietà meccaniche che portano all'esaltazione locale delle azioni sismiche per fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e per fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrazione del terreno e della sovrastruttura.

Gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni caratterizzati da un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese, che può rivelarsi incompatibile con la stabilità delle strutture presenti. I principali effetti di instabilità sono i seguenti.

- Fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi (crolli, scivolamenti rotazionali e/o traslazionali, colamenti) per i quali il sisma rappresenta un fattore d'innescio del movimento a causa dell'accelerazione esercitata o a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali.
- Movimenti relativi verticali e orizzontali tra diversi settori areali posti in corrispondenza di faglie sismogenetiche che portano a scorrimenti e cedimenti differenziali (tali fenomeni sono possibili solo per terremoti di magnitudo molto elevata e in presenza di particolari strutture geologiche affioranti o sepolte).
- Fenomeni di rottura connessi a deformazione permanente del suolo nel caso di terreni caratterizzati da proprietà fisico-meccaniche particolarmente scadenti; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di addensamento del materiale, mentre per terreni granulari fini sabbiosi saturi sono possibili fluimenti e colamenti a causa di fenomeni di liquefazione.
- Nel caso di siti interessati da carsismo sotterraneo o da particolari strutture vucolari presenti nel sottosuolo, si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati, legati al crollo parziale o totale delle cavità sotterranee.

2.2.a. Metodologia per l'analisi della risposta sismica

Nel presente paragrafo è riassunta la metodologia definita dalla d.g.r. n° IX/2616 del 20/11/2011 per l'analisi della risposta sismica in un dato territorio comunale.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza, degli scenari di pericolosità sismica locale, dell'importanza degli edifici interessati e della fase di lavoro, di pianificazione o progettuale.

Analisi di primo livello. E' un approccio di tipo qualitativo che consiste nel riconoscimento delle situazioni passibili di amplificazione sismica o di effetti di instabilità sulla base di dati esistenti quali cartografie di inquadramento, osservazioni geologico-geomorfologiche, topografiche e morfometriche del territorio. Tale livello, obbligatorio per tutti i comuni, prevede la redazione della "Carta della pericolosità sismica locale" (PSL) su tutto il territorio comunale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale e lineare delle diverse situazioni-tipo, definite nella

legenda contenuta nell'allegato 5 alla dgr n° IX/2616, in grado di determinare gli effetti sismici locali e denominate "scenari di pericolosità sismica locale" (zone PSL da Z1 a Z5).

Analisi di secondo livello. E' un approccio di tipo semi-quantitativo che si applica nelle sole aree passibili di amplificazione perimetrata nella carta della pericolosità sismica locale (zone PSL Z3 e Z4). L'analisi permette di determinare un valore numerico, chiamato fattore di amplificazione sismica locale (Fa), che fornisce una stima dell'effettiva risposta sismica nelle situazioni individuate con il primo livello. Per applicare tale procedura (per i dettagli sulla quale si rimanda all'allegato 5 alla d.g.r. n° IX/2616) sono necessari, relativamente alle situazioni individuate, dati più approfonditi di tipo morfometrico, litologico-stratigrafico e geofisico; questi ultimi in particolare sono relativi alla velocità di propagazione nel terreno delle onde sismiche di taglio, Vs.

Per i comuni ricadenti in zona sismica 2 e 3, l'analisi di secondo livello è obbligatoria nelle zone interferenti con l'urbanizzato e nelle aree di espansione urbanistica; nei comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato nelle situazioni in cui si prevede la realizzazione o l'ampliamento di costruzioni strategiche e rilevanti secondo l'elenco tipologico del d.d.u.o. n° 19904/03.

Il valore di Fa relativo agli effetti litologici determinato con l'applicazione del secondo livello deve essere confrontato con i "valori soglia" definiti per ogni comune dalla Regione Lombardia in riferimento alle categorie di sottosuolo del DM 17/01/2018, al fine di determinare se la normativa nazionale risulti sufficiente o meno a tenere in considerazione anche gli effetti di amplificazione sismica locale ($Fa < \text{soglia}$) o sia invece insufficiente ($Fa > \text{soglia}$).

Il valore di Fa relativo agli effetti morfologici deve essere invece confrontato con il coefficiente di amplificazione topografica St definito dal DM 17/01/2018.

Analisi di terzo livello. E' un approccio di tipo quantitativo e consiste nella determinazione degli effetti di amplificazione con indagini e analisi ancor più approfondite, per la descrizione delle quali si rimanda all'allegato 5 alla d.g.r. n° IX/2616. Le analisi di terzo livello si applicano in fase progettuale nelle aree passibili di effetti di instabilità individuate con il primo livello (zone PSL Z1 e Z2) e nelle aree analizzate con il secondo livello per le quali si è ottenuto un valore di Fa superiore alla soglia; in quest'ultimo caso, in fase progettuale, in alternativa all'applicazione del terzo livello, per gli effetti litologici è possibile utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore secondo il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo D si utilizzerà quello della categoria di suolo E.

Nell'ambito delle casistiche descritte, l'analisi di terzo livello è prevista per tutte le tipologie di edifici nelle zone sismiche 2 e 3 e solo per gli edifici strategici e rilevanti, secondo il d.d.u.o. n. 19904/03, nei comuni ricadenti in zona sismica 4.

2.3. Analisi sismica di primo livello: Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) – tavola 1

L'analisi sismica di primo livello sull'intero territorio comunale è richiesta per tutti i comuni indipendentemente dalla zona sismica di appartenenza e consiste nell'individuazione delle aree passibili di amplificazione sismica o di effetti

di instabilità con la redazione della Carta di Pericolosità Sismica Locale (PSL) alla scala 1:10.000 la cui legenda, definita nell'allegato 5 alla dgr n° IX/2616, è riportata nella tabella della pagina seguente.

Nell'ambito del precedente studio per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT di Angolo Terme del settembre 2009 (con aggiornamento del febbraio 2010) era già stata condotta da parte dello scrivente l'analisi sismica di primo livello in riferimento alla d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374 ed era stata redatta la carta PSL alla scala 1:10.000. Poiché la d.g.r. n IX/2616 non ha di fatto modificato le modalità di esecuzione dell'analisi sismica di primo livello rispetto alla delibera precedente, si rimanda allo studio geologico precedente per i dettagli relativi.

Sigla	Scenario di Pericolosità Sismica Locale	Effetti di risposta sismica locale
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	<i>Instabilità (attivazione-riattivazione accelerazione movimenti)</i>
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	<i>Instabilità (cedimenti-liquefazioni)</i>
Z3a	Zona di ciglio di scarpate con altezza maggiore di 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	<i>Amplificazioni topografiche</i>
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntita–arrotondata	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	<i>Amplificazioni litologiche</i>
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)	
Z4d	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	<i>Instabilità (comportamenti differenziali)</i>

Nell'ambito del presente studio la carta PSL è stata comunque aggiornata apportando alcune modifiche legate ad una maggiore conoscenza del territorio grazie alle varie indagini svolte direttamente o che si sono rese disponibili successivamente alla redazione del precedente studio geologico.

In riferimento ad una rivalutazione dello spessore ipotizzato per i depositi superficiali è stato rivisto l'andamento del limite esterno dello scenario Z4 nelle seguenti località: Angolo, lungo il margine sud-est dell'abitato, Terzano, a valle dell'abitato in prossimità del ciglio della forra del torrente Dezzo, al Colle Vareno, ad Anfurro, immediatamente a monte dell'abitato, ed al Passo della Presolana. In particolare sono state stralciate dagli scenari soggetti ad

amplificazione per effetti litologici le aree per le quali si è ritenuto che la coltre dei depositi superficiali abbia uno spessore inferiore a 3 m.

E' stato inoltre rivisto l'andamento di alcune scarpate e creste (scenari Z3a e Z3b) indicato in modo non del tutto corretto nella precedente versione della carta PSL. Alcuni di questi elementi sono stati stralciati perché di limitata consistenza topografica e quindi privi dei requisiti morfometrici minimi definiti nella d.g.r. n° IX/2616 come necessari per generare gli effetti di amplificazione morfologica.

Si ricorda che la carta PSL ha comunque valore di inquadramento ed è da considerare come riferimento e punto di partenza per la valutazione degli effetti sismici di sito in una data area.

2.4. Analisi di secondo livello

A partire dal 10 aprile 2016, data di entrata in vigore della d.g.r. n. X/2129, il territorio del Comune di Angolo Terme ricade in zona sismica 3 e pertanto, in riferimento alla d.g.r. n° IX/2616, nello studio relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT è necessaria l'applicazione dell'analisi sismica di secondo livello nelle zone passibili di amplificazione litologica e morfologica (scenari Z3 e Z4) perimetrata nella carta della Pericolosità Sismica Locale ed interferenti con le zone urbanizzate e di espansione urbanistica.

Le aree di applicazione dell'analisi sismica di secondo livello sono evidenziate nelle Carte di Fattibilità Geologica alla scala 1:10.000 (tavola 5) e 1:2.000 (tavole 4a, b, c, d, e, f, g) e corrispondono alle principali zone urbanizzate del comune di Angolo Terme, poste principalmente sui ripiani morfologici di fondovalle del torrente Dezzo e secondariamente in alcuni settori della parte alta del territorio comunale. Nel dettaglio le aree di applicazione del secondo livello comprendono i nuclei abitati di Angolo, Mazzunno, Terzano, Colle Vareno, Passo della Presolana e Prave.

Tutte le altre aree, quali le zone non urbanizzate o quelle occupate da piccoli nuclei abitati, fabbricati isolati, cascine e malghe del settore montuoso, non sono state considerate nell'analisi di secondo livello perché sarebbe stato necessario un elevato impegno di tempo e di economie.

2.4.a. Valutazione dell'amplificazione sismica per effetti litologici

L'analisi di secondo livello per la valutazione dell'amplificazione sismica per effetti litologici proposta dalla normativa regionale richiede la conoscenza di alcuni dati di tipo litologico-stratigrafico e geofisico dei siti da investigare; fra questi, i principali sono costituiti dalla litologia prevalente nel sito e dal profilo di velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) fino al raggiungimento di valori pari o superiori ad 800 m/s che identificano il substrato sismico, o almeno nei primi trenta metri di profondità.

Nell'area di applicazione dell'analisi sismica di secondo livello sono stati definiti degli ambiti geologico-geomorfologici omogenei, che si ritiene siano caratterizzati da parametri litologico-stratigrafici e geofisici relativamente costanti, all'interno dei quali sono stati individuati uno o più siti rappresentativi per i quali, dopo la determinazione dei parametri geologici e geofisici necessari, è stata effettuata l'analisi.

I dati geofisici sono stati ottenuti con una campagna di indagini sismiche di terreno costituita da 8 stendimenti secondo la tecnica MASW, ad ognuno dei quali è stata abbinata un'indagine HVSR.

Per la caratterizzazione stratigrafica e litologica dei siti sono stati utilizzati i dati disponibili per le aree in esame, ricavati da indagini svolte in passato nell'ambito del territorio comunale e dalle sezioni naturali disponibili lungo le scarpate dei terrazzi morfologici.

Nella tabella seguente sono elencate le indagini geofisiche eseguite.

Numero	Tipo	Località	Contesto geologico-morfologico
1	MASW + HVSR	Angolo Via Dante	Terrazzi glaciali antichi con sovrapposti depositi di conoide più recenti (versante dx)
2	MASW + HVSR	Angolo Via Baccoli EST	Terrazzi glaciali antichi con sovrapposti depositi di conoide più recenti (versante dx)
3	MASW + HVSR	Angolo Via Baccoli OVEST	Terrazzi glaciali antichi con sovrapposti depositi di conoide più recenti (versante dx)
4	MASW + HVSR	Angolo Via Sovico	Terrazzi glaciali antichi con sovrapposti depositi di conoide più recenti (versante dx)
5	MASW + HVSR	Angolo Terme	Depositi alluvionali di fondovalle con sottostanti depositi glaciali
6	MASW + HVSR	Mazzunno	Terrazzi glaciali antichi con sovrapposti depositi di conoide più recenti (versante sx)
7	MASW + HVSR	Terzano	Terrazzi glaciali antichi con sovrapposti depositi di conoide più recenti (versante sx)
8	MASW + HVSR	Angolo Via Deserc	Terrazzi glaciali antichi con sovrapposti depositi di conoide più recenti (versante dx)
9	MASW + HVSR	Prave	Depositi glaciali in quota

L'ubicazione delle indagini svolte è riportata a fine testo nella cartografia degli allegati 1a (scala 1:7.500) e 1b (scala 1:15.000); i risultati delle indagini, con la descrizione delle tecniche utilizzate, sono esposti nell'allegato 2, mentre i profili di velocità ottenuti sono riportati negli allegati 3a e 3b.

La procedura di applicazione dell'analisi sismica di secondo livello per la determinazione del valore di F_a è descritta nei paragrafi seguenti.

Calcolo delle "Vs₃₀" e determinazione della categoria di suolo di fondazione secondo il DM 17/01/2018.

La d.g.r. n IX/2616, che contiene la procedura per l'analisi sismica di secondo livello, fa riferimento al parametro Vs₃₀ per l'individuazione delle categorie di sottosuolo contenuta nel precedente D.M. 14/01/2008 e definita come segue:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

Dove :

h_i = spessore in metri dello strato i -esimo per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo;

V_i = velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo;

N = numero strati nell'ambito dei primi 30 metri di sottosuolo.

Il DM 17/01/2018, ha sostituito il precedente parametro V_{s30} con la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) definita dalla seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

Dove :

h_i = spessore in metri dello strato i -esimo;

V_i = velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo;

N = numero strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s

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

Nell'analisi sismica di secondo livello svolta in questa sede per l'individuazione delle categorie di sottosuolo si è fatto quindi riferimento al parametro $V_{s,eq}$ definito nella Normativa cogente; in ogni caso, anche interpretando i profili di velocità ottenuti in riferimento al precedente parametro V_{s30} non si sarebbe ottenuta una diversa assegnazione delle categorie di sottosuolo.

Valutazione del fattore di amplificazione sismica locale (F_a).

Il fattore di amplificazione sismica locale F_a è stato determinato in ognuno degli 8 siti rappresentativi presi in considerazione utilizzando la metodologia stabilita nell'allegato 5 alla d.g.r. n° IX/2616 che permette di valutare se l'applicazione della normativa sismica nazionale relativa al DM 17/01/2018 sia da considerare sufficiente o meno a tenere in considerazione gli specifici effetti di amplificazione litologica del sito.

Per questo scopo il valore di F_a deve essere confrontato con i valori soglia definiti dalla Regione Lombardia per ogni singolo comune, differenziati in funzione della categoria di sottosuolo e distinti in due intervalli del periodo proprio dei fabbricati:

- periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi, rappresentativo di fabbricati bassi, regolari e piuttosto rigidi, aventi altezza indicativamente inferiore a 5 piani;
- periodo compreso tra 0,5 e 1,5 s rappresentativo di strutture più alte e flessibili.

Per il comune di Angolo Terme i valori delle soglie sono riportati nella seguente tabella.

<i>Categoria di sottosuolo di fondazione</i>	<i>Periodo 0,1 -0,5 s</i>	<i>Periodo 0,5 -1,5 s</i>
B	1,4	1,7
C	1,9	2,4
D	2,2	4,2
E	2,0	3,1

- Il primo passo di applicazione del metodo per la determinazione di F_a consiste nella scelta della scheda di valutazione in base alla litologia prevalente che caratterizza il sito e nel successivo confronto tra l'andamento delle V_s con la profondità previsto nella scheda e l'andamento reale riscontrato nell'indagine. In presenza di una litologia

non contemplata nelle schede di valutazione esistenti, nel caso di alternanze litologiche e nel caso in cui in cui esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata, ma l'andamento delle Vs con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda, può essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quello riscontrato nell'indagine.

In accordo con tali indicazioni, nell'ambito dei siti esaminati in questa sede la scelta della scheda di valutazione è stata fatta in via preliminare in riferimento ai dati litologico-stratigrafici esistenti e successivamente verificata con il confronto fra il profilo di velocità delle onde di taglio ricavato con le indagini geofisiche ed i profili di velocità delle schede disponibili. Tale confronto è schematizzato nei grafici dell'allegato 3a e 3b a fine testo, dove sono evidenziate quali schede sono compatibili con le diverse situazioni esaminate; le schede scelte ed utilizzate per i diversi siti sono indicate nella tabella a fine paragrafo.

- Il secondo passo consiste nell'individuazione dello spessore e della velocità Vs dello strato superficiale in base ai quali si sceglie, all'interno della scheda di valutazione, la curva di correlazione T-Fa più appropriata fra le tre disponibili. Nei casi in esame lo spessore e la velocità del primo strato sono stati desunti dai profili di velocità delle onde di taglio ricavati con le indagini geofisiche. In presenza di uno strato superficiale con spessore inferiore ai 4 m, come indicato dalla normativa, si è assunto un primo strato equivalente, con spessore pari alla somma dello strato superficiale più gli strati sottostanti fino al raggiungimento di 4 m di spessore e caratterizzato da velocità pari alla media pesata tra quella degli strati considerati. Le curve scelte sono indicate nella tabella a fine paragrafo.

- Il passo successivo consiste nella determinazione del periodo proprio del sito, T, espresso in secondi; in base alle indicazioni della normativa, il calcolo deve essere svolto considerando la stratigrafia fino alla profondità del substrato sismico, dove la velocità delle onde sismiche di taglio è uguale o superiore a 800 m/s, utilizzando la seguente relazione:

$$T (s) = \frac{4 \sum_{i=1, N} h_i}{(\sum_{i=1, N} h_i \times V_{s_i}) / \sum_{i=1, N} h_i}$$

Dove :

h_i =spessore (m) dello strato i -esimo; V_{s_i} =velocità (m/s) delle onde di taglio dello strato i -esimo; N =numero degli strati.

Le profondità del substrato sismico e i valori di T per i siti considerati sono riportati nella tabella a fine paragrafo.

- L'ultimo passo permette di determinare il valore di Fa lungo le curve di correlazione T-Fa in base al valore di T, sia per il periodo compreso fra 0,1 e 0,5 s sia per il periodo compreso fra 0,5 e 1,5 s. In base alle indicazioni della normativa il valore di Fa deve essere arrotondato alla prima cifra decimale e inoltre, nel confronto con il corrispondente valore di soglia, viene tollerata una variabilità di + 0,1.

I risultati ottenuti sono indicati nella tabella della pagina seguente.

Dal punto di vista litologico le aree in esame sono caratterizzate da una certa variabilità, per cui si è deciso di applicare l'analisi di secondo livello in riferimento a più schede, per poi scegliere il valore di Fa maggiore fra quelli ottenuti; ad eccezione dei siti n. 6 e 7 che sono stati analizzati solamente con la scheda ghiaiosa che risulta ben rappresentativa per gli stessi, nella presente analisi si è fatto quindi riferimento alle schede ghiaiosa, sabbiosa e limoso-sabbiosa.

Sito di indagine	Vs eq	categoria sottosuolo da indagine	Scheda di valutazione	curva T-Fa	Profondità substrato sismico (m)	T (s)	Fa 0,1-0,5 s	Fa 0,5-1,5 s	risultato	
									0,1-0,5 s	0,5-1,5 s
1 via Dante	377	E	Ghiaiosa	3	13,3	0,121	1,2	1,0	<soglia	<soglia
			Sabbiosa	2			1,4	1,1	<soglia	<soglia
			Limoso Sabbiosa 1	3			1,2	1,0	<soglia	<soglia
2 via Baccoli EST	360	E	Ghiaiosa	3	12,4	0,112	1,2	1,0	<soglia	<soglia
			Sabbiosa	2			1,3	1,0	<soglia	<soglia
			Limoso Sabbiosa 1	3			1,2	1,0	<soglia	<soglia
3 via Baccoli OVEST	428	B	Ghiaiosa	3	25,4	0,196	1,3	1,1	<soglia	<soglia
			Sabbiosa	2			1,6	1,2	>soglia	<soglia
			Limoso Sabbiosa 1	2			1,6	1,1	>soglia	<soglia
4 via Sovico	471	B	Sabbiosa	3	32,8	0,255	1,4	1,3	<soglia	<soglia
			Limoso Sabbiosa 2	3			1,7	1,2	>soglia	<soglia
8 via Deserc	504	B	Sabbiosa	3	29,6	0,223	1,4	1,2	<soglia	<soglia
			Limoso Sabbiosa 2	3			1,6	1,2	>soglia	<soglia
5 Terme	285	E	Ghiaiosa	2	10,6	0,105	1,3	1,0	<soglia	<soglia
			Sabbiosa	2			1,3	1,0	<soglia	<soglia
			Limoso Sabbiosa 1	2			1,3	1,0	<soglia	<soglia
6 Mazzunno	563	B	Ghiaiosa	3	4,2	0,029	1,0	1,0	<soglia	<soglia
7 Terzano	500	B	Ghiaiosa	3	7,1	0,047	1,1	1,0	<soglia	<soglia
9 Prave	251	E	Ghiaiosa	2	6,3	0,076	1,2	1,0	<soglia	<soglia
			Sabbiosa	2			1,2	1,0	<soglia	<soglia
			Limoso Sabbiosa 1	2			1,2	1,0	<soglia	<soglia

Per l'intervallo superiore del periodo proprio (0,5-1,5s), in tutti i casi i valori di Fa ottenuti sono di gran lunga inferiori alle relative soglie. Per l'intervallo inferiore del periodo proprio si esprimono le seguenti considerazioni:

- I siti 1, 2, 5 e 9 sono caratterizzati da valori di Vs,eq e profondità del substrato sismico tali da rientrare nella categoria di sottosuolo E; operando a favore della sicurezza si è infatti ritenuto di far rientrare in tale categoria anche il sito 1 che supera di soli 17 m/s il limite superiore della categoria, pari a 360 m/s, mentre il sito 2 ricade esattamente sul limite. I valori di Fa ottenuti sono ampiamente inferiori alla relativa soglia per tutte le tre schede rispetto alle quali è stata svolta l'analisi.
- I siti 3, 4 e 8 sono caratterizzati da valori di Vs,eq tali da rientrare nella categoria di sottosuolo B; per tali siti la scheda ghiaiosa risulta sismicamente non valida (4 e 8) o non completamente valida (3), mentre per la limoso-sabbiosa nel caso dei siti 4 e 8 è necessario far riferimento a quella di tipo 2. Facendo riferimento ai valori di Fa maggiori fra quelli ottenuti con le diverse schede (vedi valori in grassetto in tabella), sia ha un superamento del valore di soglia relativo alla categoria B mantenendosi però al di sotto di quello della categoria C.

- I siti 6 e 7 sono caratterizzati da valori di V_s,eq tali da rientrare nella categoria di sottosuolo B; per tali siti la scheda ghiaiosa è valida sia litologicamente che sismicamente e i valori di F_a ottenuti sono inferiori alla relativa soglia di categoria.

Tali considerazioni sono riassunte nella tabella seguente.

sito e indagine	categoria sottosuolo da indagine	Periodo proprio tipologia edilizia 0,1-0,5 s		Periodo proprio tipologia edilizia 0,5-1,5 s	
		F_a	Categoria di sottosuolo da utilizzare in fase progettuale	F_a	Categoria di sottosuolo da utilizzare in fase progettuale
1 via Dante 2 via Baccoli EST 5 Terme 9 Prave	E	<i>Inferiore alla soglia</i>	E	<i>Inferiore alla soglia</i>	E
3 via Baccoli OVEST 4 via Sovico 8 via Deserc	B	<i>Superiore alla soglia</i>	C	<i>Inferiore alla soglia</i>	B
6 Mazzunno 7 Terzano	B	<i>Inferiore alla soglia</i>	B	<i>Inferiore alla soglia</i>	B

2.4.b. Valutazione dell'amplificazione sismica per effetti morfologici

L'analisi di secondo livello per la valutazione dell'amplificazione sismica per effetti morfologici consiste nella determinazione di fattori di amplificazione (F_a) sulla base della morfometria degli elementi che originano tale effetto di sito e si applica solo per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s e per situazioni con substrato sismico affiorante o subaffiorante. Per costruzioni con strutture flessibili e sviluppo prevalentemente verticale, indicativamente comprese tra 5 e 15 piani, non è infatti disponibile la procedura di secondo livello ed è quindi necessario che in fase progettuale si passi direttamente all'analisi di terzo livello.

I valori di F_a determinati devono essere confrontati con il valore del coefficiente di amplificazione topografica (St) definito dal DM 17/01/2018 per le diverse categorie topografiche secondo la tabella seguente:

caratteristiche topografiche	ubicazione intervento	categoria topografica	St
Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media inferiore o uguale a 15°	-	T1	1,0
Pendii con inclinazione media maggiore di 15°	in corrispondenza della sommità del pendio	T2	1,2
Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media compresa fra 15° e 30°	in corrispondenza della cresta del rilievo	T3	1,2
Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media maggiore di 30°	in corrispondenza della cresta del rilievo	T4	1,4

In questa sede sono stati analizzati gli elementi passibili di amplificazione morfologica interferenti con le principali aree urbanizzate e di espansione urbanistica individuati con il primo livello di approfondimento e rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale (zone Z3 - creste e scarpate).

I dati morfometrici delle creste e delle scarpate sono stati ottenuti dalla Carta Tecnica Comunale alla scala 1:2.000 e dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 e in particolare sono stati realizzati dei profili topografici dai quali sono stati ricavati i parametri morfometrici necessari per l'applicazione del secondo livello. Le tracce dei profili sono indicate negli allegati 1a e 1b mentre i profili, i parametri morfometrici e i valori di Fa ottenuti sono riportati nelle schede degli allegati 4, 5 e 6.

Per quanto riguarda lo scenario di scarpata (Z3a), i profili analizzati con le relative caratteristiche morfometriche sono elencati nell'allegato 6; per ciascuno di essi è stata individuata la relativa zona di influenza a tergo del ciglio ed il valore di Fa. Alcuni profili interessano direttamente il substrato sismico, mentre altri sono impostati in depositi superficiali. In alcuni casi si è verificato che i requisiti morfometrici richiesti dalla procedura di secondo livello non sono soddisfatti e quindi la situazione non è assimilabile a quella di una scarpata, con conseguente amplificazione sismica assente e valore di Fa pari all'unità.

Negli altri casi il valore di Fa massimo ottenuto è risultato pari ad 1,3; poiché il coefficiente di amplificazione topografica St relativo alla categoria T2 che individua le scarpate è pari ad 1,2 e considerando il fatto che il valore di Fa deve essere arrotondato con una variabilità di +0,1, i valori di Fa ottenuti non superano i valori di St e quindi la normativa sismica nazionale, se applicata correttamente, è sufficiente per tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica per cause morfologiche con presenza di scarpate.

Per quanto riguarda le scarpate impostate nei depositi superficiali, occorre tuttavia sottolineare che il secondo livello di approfondimento della d.g.r. n° IX/2616 non prevede in realtà una procedura semplificata per la valutazione di queste situazioni: siccome queste aree sono soggette anche all'amplificazione per effetti litologici (valutati nel capitolo precedente) e poiché l'amplificazione topografica è inferiore a quella litologica, l'utilizzo corretto delle categorie topografiche unitamente alla valutazione degli effetti litologici possono essere ritenuti sufficienti per tenere conto dell'amplificazione sismica locale anche di queste aree; in alternativa si può ricorrere ad un approfondimento di terzo livello.

Per quanto riguarda lo scenario di cresta (Z3b), i 4 profili interferenti con urbanizzato/urbanizzabile analizzati con le relative caratteristiche morfometriche sono elencati nell'allegato 5; tutti i profili interessano direttamente il substrato sismico. Nel caso del profilo 10 (Passo della Presolana E-W) si è verificato che i requisiti morfometrici richiesti dalla procedura di secondo livello non sono soddisfatti e quindi la situazione non è assimilabile a quella di una cresta, con conseguente valore di Fa pari all'unità. Gli altri tre casi ricadono nella categoria topografica T4 del DM 17/01/2018 (un versante ha inclinazione superiore ai 30°), avente coefficiente St pari ad 1,4.

Per i profili 11 (Passo della Presolana N-S) e 12 (Prave) il valore di Fa ottenuto è di 1,4 quindi pari al coefficiente St della categoria topografica corrispondente; la normativa sismica nazionale, se applicata correttamente, è quindi sufficiente per tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica per cause morfologiche che si originano lungo tali creste.

Per il profilo 9 (Colle Vareno) il valore di Fa ottenuto è di 1,6, quindi superiore al coefficiente St della categoria topografica corrispondente anche ammettendo la variabilità di +0,1; in questo caso la normativa sismica nazionale

non è quindi sufficiente per tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica per cause morfologiche ed è quindi necessario, in fase progettuale, ricorrere ad un'analisi sismica di terzo livello.

2.5. Sovrapposizione nelle Carte di Fattibilità Geologica dei risultati dell'analisi sismica di secondo livello

Sulle Carte di Fattibilità Geologica (Tavola 5 alla scala 1:10.000 – Tavole 4a, b, c, d, e, f, g alla scala 1:2.000) sono stati riportati i limiti delle aree all'interno delle quali è stata applicata l'analisi sismica di secondo livello, corrispondenti ai principali settori urbanizzati/urbanizzabili del territorio comunale, e per le quali si ritengono validi i risultati dell'analisi svolta.

Relativamente all'amplificazione litologica, i 9 siti di indagine sono stati raggruppati in base ai risultati dell'analisi sismica di secondo livello, estendendoli lateralmente rispetto ai punti di indagine, in ambiti omogenei dal punto di vista geologico-geomorfologico e litologico-stratigrafico, ed ottenendo così delle aree omogenee relativamente alla pericolosità sismica per effetti litologici che sono state differenziate nelle seguenti categorie a seconda della problematica riscontrata.

- Aree in categoria di sottosuolo E con valori di F_a inferiori alle soglie della categoria E per entrambi i periodi di riferimento. Corrispondono alla fascia lungo il margine sud-est dell'abitato di Angolo sul versante destro principale, alla piana di fondovalle del torrente Dezzo dalla zona delle Terme fino alla centrale idroelettrica di Mazzunno e all'area urbanizzata in località Prave. Per queste aree, in sede progettuale, è corretto l'utilizzo della categoria di sottosuolo E per tutti i fabbricati.
- Aree in categoria di sottosuolo B con valori di F_a superiori alla soglia della categoria B per il periodo 0,1-0,5 secondi e inferiori alla soglia della categoria B per il periodo 0,5-1,5 secondi. Queste aree corrispondono alla porzione centrale e nord-occidentale dell'abitato di Angolo ed al nucleo abitato lungo la SP 294 fra la Val di Se e la Val Bassile sul versante destro principale. In queste aree è sufficiente l'utilizzo della categoria di sottosuolo B per i fabbricati con periodo di 0,5-1,5 s mentre per i fabbricati con periodo proprio di 0,1-0,5 s è richiesto il terzo livello di approfondimento oppure il ricorso alla categoria di sottosuolo C.
- Aree in categoria di sottosuolo B con valori di F_a inferiori alle soglie della categoria B per entrambi i periodi di riferimento. Corrispondono alla porzione posta lungo il versante sinistro principale fra gli abitati di Terzano, Mazzunno e Dazze. Per queste aree, in sede progettuale, è corretto l'utilizzo della categoria di sottosuolo B per tutti i fabbricati.
- Aree con amplificazione litologica assente in quanto il substrato sismico ($V_s > 800$ m) è affiorante, subaffiorante o posto a profondità inferiori a 3 m, ricadenti pertanto nella categoria di sottosuolo A. Tali aree sono localmente presenti alla base del versante sinistro a valle dell'abitato di Terzano e sul versante destro lungo il margine sud-est dell'abitato di Angolo.

Relativamente all'amplificazione morfologica, è stata perimetrata l'area di cresta in località Colle Vareno ricadente nella categoria T4 caratterizzata da valori di F_a superiori al relativo valore di S_t per la quale, in sede progettuale, è richiesto il terzo livello di approfondimento.

Le restanti aree caratterizzate da amplificazione morfologica ed i risultati dell'analisi sismica di secondo livello su di esse ottenuti non sono stati riportati nelle carte di fattibilità in quanto il valore di F_a non supera mai le corrispondenti soglie; per tener conto degli effetti di sito di tipo morfologico è quindi sufficiente applicare correttamente quanto previsto dalle norme tecniche nazionali.

Si ricorda che in caso di fabbricati con periodo proprio di 0,5-1,5 s ricadenti in zone interessate da amplificazione morfologica è sempre richiesto il terzo livello di analisi sismica.

Infine, per quanto riguarda le scarpate e le creste impostate nei depositi superficiali, l'utilizzo corretto delle categorie topografiche del DM 17/01/2018 unitamente alla valutazione degli effetti litologici come precedentemente esposto, possono essere ritenuti sufficienti per tenere conto dell'amplificazione sismica locale; in alternativa è possibile ricorrere ad un approfondimento di terzo livello.

All'esterno dell'area di applicazione dell'analisi sismica di secondo livello è necessario valutare l'amplificazione sismica per effetti morfologici e litologici in sede progettuale, facendo riferimento a quanto riportato nella carta di Pericolosità Sismica Locale alla scala 1:10.000 (allegato 1).

Le norme riguardanti la componente sismica per le aree individuate nella carta di fattibilità sono riportate nelle "Norme Geologica di Piano".

3. Pericolosità morfologica di un'area situata nei pressi della località Fornaci

L'area in esame si trova alla quota di circa 495 m, nella parte inferiore del versante sinistro della valle del torrente Dezzo nel tratto compreso tra Dazze e Fornaci. Morfologicamente l'area si trova nella parte interna dei terrazzamenti che rappresentano il vecchio fondovalle glaciale inciso dalla forra del torrente Dezzo, al limite con il settore distale della falda di detrito che raccorda i terrazzamenti alle pareti rocciose soprastanti, che costituiscono la parte inferiore del fianco della valle del Dezzo. Nell'ambito dello studio geologico del febbraio 2010 la pericolosità della falda di detrito e delle zone poste a valle di essa rispetto ad eventuali blocchi in caduta dalle pareti rocciose del versante era stata valutata sulla base delle osservazioni di terreno relative all'estensione della falda di detrito, alla presenza o testimonianze di blocchi caduti in passato e di una ricostruzione delle massime distanze di arresto dei blocchi in cada sulla base del metodo empirico proposto da Onofri e Candian in riferimento all'altezza delle pareti rocciose ed all'inclinazione del versante a partire da sezioni topografiche ricavate dalla carta fotogrammetrica comunale alla scala 1:5.000. A favore di sicurezza le sezioni topografiche erano state posizionate in corrispondenza delle situazioni più critiche per altezza della parete e per inclinazione del versante ed estendendo le relative valutazioni alle aree adiacenti per cui si è trattato di valutazioni relativamente conservative, che in alcuni casi possono avere penalizzato negativamente delle aree meno problematiche rispetto a quelle considerate direttamente.

In questa sede è stata fatta pertanto una rivalutazione delle situazioni di pericolosità di maggiore dettaglio sulla base di una modellazione delle traiettorie di caduta dei blocchi rocciosi luno sezioni tracciate direttamente in corrispondenza dell'area in esame.

3.1. Inquadramento geologico e morfologico

L'area in esame si trova alla quota di circa 495 m, nella parte inferiore del versante sinistro della valle del torrente Dezzo nel tratto compreso tra Dazze e Fornaci. Morfologicamente l'area si trova nella parte interna dei terrazzamenti che rappresentano il vecchio fondovalle glaciale inciso dalla forra del torrente Dezzo, al limite con il settore distale della falda di detrito che raccorda i terrazzamenti alle pareti rocciose soprastanti, che costituiscono la parte inferiore del fianco della valle del Dezzo

Le pareti rocciose che sovrastano direttamente l'area sono costituite dalla formazione del Calcere di Esino e solo lateralmente, più ad est, affiorano localmente anche le rocce della Formazione di Wengen. Il Calcere di Esino è rappresentato da calcari e calcari dolomitici biocostruiti, con coralli, bivalvi, gasteropodi, ammoniti, alghe e cementi di riempimento, sono di colore grigio, bianchi in alterazione, massivi o organizzati in grossi banchi,

Nel settore ovest dell'area in esame la parete rocciosa è alta circa 130 m, compresa tra le quote di 600 e 730 m circa, ed ha un'inclinazione media di 48° con tratti più ripidi, fino a circa 75°, nella parte medio-superiore mentre nel settore est la parete è alta circa 275 m con un tratto inferiore compreso tra 675 e 800 m di quota che ha un'inclinazione media di circa 58° con tratti a 62°, ed un tratto superiore, da 800 a 950 m circa, che ha un'inclinazione abbastanza regolare dell'ordine di 43°. I due settori della parete sono separati da una leggera incisione impostata lungo una linea faglia.

Alla base della parete rocciosa si trova un'ampia falda di detrito che si estende lateralmente con continuità tra le confluenze della Valle Poia e della valle di San Giovanni. La falda a valle del settore ovest della parete è tutta colonizzata dalla vegetazione mentre a valle del settore est è priva di vegetazione nella fascia superiore. Nella parte media e superiore della falda la vegetazione è rappresentata da latifoglie, manca il sottobosco e il suolo è quasi assente mentre nella parte inferiore prevalgono le conifere e sono presenti un suolo discontinuo ed un sottobosco rado.

La falda è costituita in media da blocchi e ciottoli con ghiaia e scarsa frazione fine e le dimensioni dei singoli blocchi arrivano fino a circa 8 m³.

3.2. Aspetti morfologici

Pareti rocciose

L'assetto morfologico complessivo delle pareti rocciose è relativamente frastagliato, sia in senso verticale con tratti a diversa pendenza definiti dalla disposizione delle bancate maggiori, sia in senso orizzontali con alcune leggere incisioni impostate lungo le discontinuità normali alla parete.

I fenomeni di degradazione ed il conseguente distacco di blocchi rocciosi sono relativamente diffusi.

L'ammasso roccioso è nel complesso poco alterato, solo decolorato in superficie, e presenta un grado di fratturazione generalmente medio tranne che nella parte inferiore dove è un poco maggiore dove la potenza delle bancate è minore e sono presenti localmente delle porzioni di ammasso soggette a fenomeni di rilascio tensionale.

La maggiore fratturazione della parte basale dell'ammasso roccioso determina una caduta relativamente frequente di frammenti e blocchi di piccole dimensioni che si accumulano alla base della parete e determinano condizioni di impatto relativamente poco elastiche per i blocchi di dimensioni maggiori.

L'esame della situazione morfologica ha permesso di verificare una possibilità di distacco e caduta di blocchi, sia nell'immediato sia su tempi relativamente brevi, in diversi settori della parete rocciosa considerate. I volumi dei blocchi potenzialmente instabili nell'immediato, completamente disarticolati ed in condizioni di equilibrio precario, sono relativamente contenuti e in genere non superiori a 1-2 m³ mentre le volumetrie potenzialmente instabili nel breve periodo, indicativamente dell'ordine di pochi cicli stagionali, arrivano a dimensioni dei singoli blocchi maggiori di circa 8-10 m³. In parete si osservano nicchie di distacco relativamente fresche relative a fenomeni di caduta di blocchi recenti.

I fenomeni di distacco avvengono a causa della progressiva degradazione delle condizioni degli ammassi rocciosi per effetto principalmente della pressione esercitata entro le fratture dall'acqua e dal ghiaccio nel periodo freddo e secondariamente dalla corrosione operata ancora dall'acqua e localmente per effetto delle radici della vegetazione.

Falda detritica alla base delle pareti rocciose

Il rilievo geologico condotto in corrispondenza dei depositi detritici di versante posti alla base delle pareti rocciose ha permesso di osservare direttamente le dimensioni dei blocchi caduti in passato, valutando i volumi modali ed i volumi massimi.

Il volume modale minimo osservato in corrispondenza dei depositi è dell'ordine di pochi dm³, il volume modale medio è dell'ordine di 0,5-1 m³ mentre il volume modale maggiore varia da 2 a 4 m³ circa, ma le dimensioni maggiori osservate arrivano a circa 8-10 m³ e subito alla base del settore ovest si trova un blocco di circa 24 m³ ribaltatosi dal piede della parete.

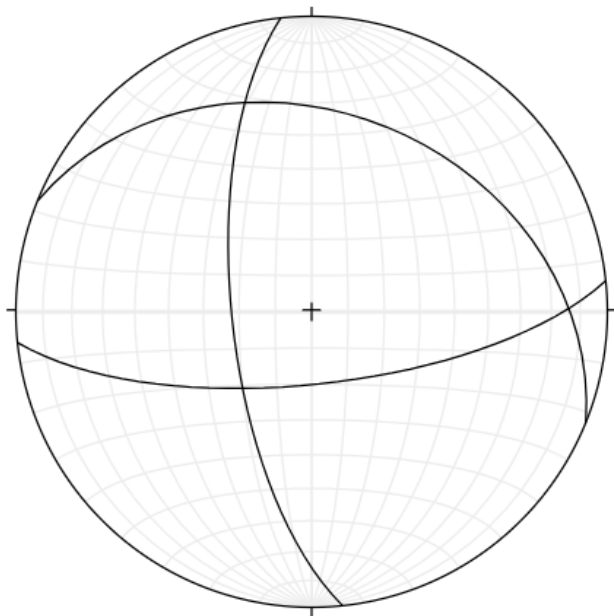
Sulla base della relativa freschezza dei blocchi presenti si ritiene che i fenomeni di caduta di blocchi maggiormente frequenti coinvolgono solo volumetrie contenute, non superiori in genere al volume modale medio, mentre la caduta di blocchi con le dimensioni del volume modale maggiore è un evento relativamente poco frequente.

Rilievo strutturale della parete rocciosa

Per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso che costituisce la parete sono stati eseguiti due rilievi strutturali che hanno dato sostanzialmente gli stessi risultati a meno di qualche lieve differenza nell'orientazione delle famiglie di discontinuità. I dati relativi ai rilievi strutturali sono stati sintetizzati nella tabella seguente.

<i>famiglia</i>	S	k1	k2
<i>giacitura</i>	22°/31° 20°/33°	264°/68°-84° 87°/84°	174°/70°-76° 182°/76°
<i>tipo</i>	stratificazione	giunto	giunto
<i>andamento</i>	planare	leggermente ondulata	leggermente ondulata
<i>persistenza</i>	media	media	media
<i>spaziatura</i>	0,8-3-6 m	1,2-4 m	0,8-3 m
<i>apertura</i>	0 mm	0-1 mm	0-1 mm
<i>riempimento</i>	no	no	no
<i>alterazione</i>	bassa	bassa	bassa
<i>rugosità</i>	bassa	bassa	media
<i>JRC</i>	6	8	9

Come si osserva dalla proiezione ciclografica sottostante i banchi sono disposti con immersione verso nord-nord-est e con un'inclinazione media dell'ordine di 30°-33°. Le altre famiglie di discontinuità sono subverticali e con direzione est-ovest e nord-sud. Per le superfici di stratificazione relativamente persistenti le spaziature sono in media dell'ordine di 3-6 m, ma possono essere maggiori, mentre le spaziature locali, per superfici poco persistenti, sono dell'ordine di 0,83 m. Le altre famiglie hanno spaziature medie dell'ordine di 3-4m, e locali di 0,8-1,2 m.



Proiezione ciclografica, emisfero inferiore, reticolo equiangolare

I valori della spaziatura trovano corrispondenza con le dimensioni modali, medie e massime dei blocchi osservati nella falda di detrito posta alla base delle pareti.

In riferimento alle giaciture medie delle famiglie di discontinuità e rispetto all'orientazione principale della parete, disposta secondo la famiglia k2, la situazione geometrica è favorevole al verificarsi di fenomeni di ribaltamento o scorrimento planare secondo la medesima famiglia che definisce la parete mentre in corrispondenza delle rientranze e sono possibili forme di ribaltamento e al limite di scorrimento planare secondo la famiglia k1. Su alcune superfici di discontinuità è stata fatta la misura indiretta con lo sclerometro della resistenza alla compressione del materiale roccia sulle superfici di discontinuità, ottenendo dei valori relativamente alti, compresi tra 40 e 60 MPa con una media dell'ordine di 50 MPa, che sono in accordo con la natura litologica ed il basso grado di alterazione dell'ammasso roccioso.

Sulla base dell'analisi della situazione morfologica complessiva delle pareti rocciose e della falda di detrito sono stati definiti i volumi modali e massimi da assumere nella modellazione dei fenomeni di caduta finalizzata a valutare la pericolosità delle aree a valle della parete, considerando un volume modale di 0,5-1 m³ ed un volume massimo di 8 m³.

3.3. Metodologia per la valutazione della pericolosità da caduta di blocchi rocciosi

Per la zonazione della pericolosità rispetto ai fenomeni di caduta di blocchi rocciosi si è fatto riferimento alla metodologia indicata nell'Allegato 2 della d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616.

La metodologia prevede che lungo una serie di profili del versante in esame sia effettuata una modellazione delle traiettorie di caduta dei blocchi dalle aree sorgente delle pareti rocciose alle aree di interesse, considerando il blocco avente volume modale ed il blocco avente volume massimo potenzialmente instabili presenti nei diversi settori delle pareti ed individuando le distanze di espansione longitudinale di tali blocchi alle quali viene associata una zonazione preliminare della pericolosità secondo il seguente schema:

- zona di transito e arresto del 70% dei blocchi di volume modale alla quale viene assegnata una classe di pericolosità relativa 4;
- zona di arresto del 95% dei blocchi di volume modale alla quale viene assegnata una classe di pericolosità relativa 3;
- zona di arresto del 100% (distanza massima raggiunta) dei blocchi di volume modale alla quale viene assegnata una classe di pericolosità relativa 2;
- zona di arresto del 100% (distanza massima raggiunta) dei blocchi di volume massimo alla quale viene assegnata una classe di pericolosità relativa 1.

La metodologia prevede che per ogni situazione considerata vengano simulate almeno 1000 traiettorie di caduta e nel caso di variazioni nell'ambito dello stesso settore di parete (blocchi di forma differente, presenza di più pareti nell'ambito dello stesso profilo, eventualmente con differenti volumetrie modali e/o massime associate) dovrà essere tenuta in conto la zonazione longitudinale più sfavorevole.

Successivamente nell'ambito delle "aree omogenee", corrispondenti alle aree dove si mantengono relativamente costanti le caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi, la morfologia dei versanti e l'eventuale presenza di opere di difesa, deve essere valutata la probabilità di accadimento dei fenomeni di caduta, ovvero la propensione al distacco dei blocchi rocciosi in relazione alla presenza dei seguenti elementi di instabilità rilevati sulle pareti:

- fratture aperte con evidenze di attività associate a cinematismi di distacco possibili;
- blocchi ruotati;
- zone intensamente fratturate;
- superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi;
- emergenza di acqua alla base dei blocchi.

In base all'individuazione di questi elementi si arriva a determinare il grado di attività dei vari settori di parete.

Per la parete rocciosa in esame è stata rilevata in modo relativamente diffuso la presenza di fratture aperte con possibilità di distacco di blocchi e localmente la presenza di superfici non alterate relative a distacchi recenti. In riferimento alla situazione morfologica rilevata è stata fatta una valutazione semplificata del grado di attività rispetto a quanto previsto dalla metodologia, considerando un grado di attività medio su tutti e due i settori della parete e quindi assumendo, a favore della sicurezza, che le condizioni riconosciute anche solo per alcuni settori siano diffusi e applicabili a tutta la parete.

Combinando le classi di pericolosità relativa con il grado di attività si arriva alla pericolosità finale che, nel caso di grado di attività medio, si ottiene mantenendo il valore numerico della pericolosità relativa ricavando in questo modo le classi di pericolosità finale.

Nella tabella della pagina seguente sono descritte le classi di pericolosità e la loro corrispondenza con le classi di fattibilità geologica delle azioni di piano in riferimento alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616.

<i>Pericolosità preliminare</i>	<i>Pericolosità finale</i>	<i>Classi di fattibilità geologica</i>
Aree sorgenti (pareti)	Aree sorgenti (pareti)	4 – con gravi limitazioni
4 (70% blocco modale)	H4 – elevata	
3 (95% blocco modale)	H3 – media	3 – con consistenti limitazioni
2 (100% blocco modale)	H2 - bassa	
1 (100% blocco massimo)	H1 – molto bassa	2 – con modeste limitazioni

I risultati ottenuti lungo le sezioni del versante considerate sono stati correlati fra loro tenendo conto delle caratteristiche morfologiche locali per ricavare la zonazione della pericolosità.

3.4. Modellazione delle traiettorie di caduta dei blocchi rocciosi

Per la modellazione delle traiettorie di caduta dei blocchi rocciosi nell'area in esame è stato utilizzato il programma GeoRock 2D (versione 2008.6 Rev. 86) prodotto da Geostru.

Generalità sul metodo di modellazione

Il programma di modellazione utilizzato permette la ricostruzione delle traiettorie di caduta di blocchi lungo un pendio secondo diversi metodi di calcolo per descriverne il movimento. Per le aree in esame è stato utilizzato il metodo CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program) messo a punto da Pfeiffer e Bowen (1989) per modellare il moto di caduta di blocchi aventi la forma di sfere, cilindri o dischi, cioè con sezione circolare nel piano verticale del movimento. Per descrivere il movimento dei blocchi il modello CRSP applica l'equazione del moto parabolico di un corpo in caduta libera ed il principio di conservazione dell'energia totale; le posizioni degli impatti al suolo sono determinate in base all'intersezione tra il profilo del pendio e la traiettoria parabolica del blocco. Il fenomeno dell'impatto è modellato utilizzando alcuni parametri di ingresso, rappresentati dai coefficienti di restituzione normale e tangenziale, che indicano l'aliquota di energia assorbita dal suolo in ogni impatto, dalla rugosità del pendio, che ne rappresenta la regolarità morfologica, e dalla dimensione dei blocchi.

Il modello CRSP assume che l'angolo formato tra la direzione del blocco in uscita da un impatto ed il profilo del pendio vari in modo statistico in funzione della rugosità assegnata e della dimensione del blocco, per cui sono trattati in modo statistico anche i risultati della modellazione nei vari punti del profilo che consistono principalmente nell'altezza e lunghezza di rimbalzo rispetto alla superficie del pendio e nella velocità ed energia del blocco. Il modello considera quindi le combinazioni dei movimenti di caduta libera, rimbalzo, rotolamento e scivolamento che possono variare a seconda delle dimensioni dei blocchi e della rugosità del pendio.

L'affidabilità del modello è stata verificata in numerosi studi presenti in letteratura attraverso confronti fra i risultati numerici e quelli ottenuti da prove in sito; le varie funzionalità di restituzione grafica e numerica del programma permettono di ottenere una visualizzazione dei risultati rispetto ai diversi parametri di interesse come distanze di arresto, altezze e lunghezze delle traiettorie e valori di energia.

Parametri di ingresso

Per la modellazione delle traiettorie di caduta nell'area in esame sono stati ricostruiti due profili del pendio ricavati dalla carta aerofotogrammetrica alla scala 1:2.000 di Angolo Terme, uno per il settore ovest e l'altro per il settore

est della parete, scelti in modo da essere rappresentativi delle situazioni dell'area. I valori utilizzati per i coefficienti di restituzione normale, tangenziale e di rugosità sono stati definiti a partire dai dati disponibili nella letteratura specifica e rivisti sulla base delle condizioni locali del versante; in particolare è stato possibile tarare i coefficienti sulla base della modellazione a ritroso di alcune situazioni relative alla posizione dei blocchi presenti lungo la falda di detrito.

I dati relativi alla topografia del pendio, posizione delle aree sorgente, valori dei coefficienti di restituzione normale e tangenziale e valori dei coefficienti di rugosità utilizzati nella modellazione sono riportati nell'allegato 8 a fine testo; le tracce dei profili del pendio sono invece rappresentate nell'allegato 7.

Per ognuna delle sezioni modellate, rappresentative di settori di versante con caratteristiche omogenee, le dimensioni dei blocchi considerate nella modellazione sono relative al volume modale e al volume massimo dei blocchi potenzialmente instabili. Queste dimensioni sono state definite in base alle caratteristiche strutturali delle pareti rocciose, valutando in particolare la spaziatura delle diverse famiglie di discontinuità e la volumetria dei blocchi instabili o parzialmente disarticolati osservati in parete e in base alle dimensioni dei blocchi presenti nella falda di detrito alla base delle pareti rocciose o comunque di quelli relativi ad eventi verificatisi in passato: per entrambe le sezioni è stato considerato un volume modale di 0,5-1 m³ e un volume massimo di 8 m³.

Operando a favore della sicurezza la forma dei blocchi in caduta è sempre stata considerata sferica. Ogni modellazione è stata condotta simulando la caduta di 1000 blocchi.

Risultati della modellazione

I risultati della modellazione consistono principalmente nella determinazione delle distanze di arresto del 70%, 95% e 100% dei blocchi di volume modale e del 100% dei blocchi di volume massimo lungo i profili considerati, che consentono di applicare la metodologia di riferimento per la valutazione della pericolosità da caduta di blocchi rocciosi.

I risultati ottenuti nei singoli profili sono stati correlati tra loro tenendo anche conto delle caratteristiche morfologiche dei versanti, ricavando la zonazione della pericolosità preliminare e finale (allegato 10).

In riferimento alla variabilità assunta per il volume modale, compreso tra 0,5 e 1 m³, i risultati della modellazione mettono in evidenza che per il volume di 0,5 m³ il 95% dei blocchi si arresta a monte della strada comunale che collega Dazze con Prave e la distanza massima di espansione si trova poco a valle della strada, che decorre nella zona di passaggio tra la falda di detrito e i depositi glaciali mentre per il volume di 1 m³ il 95% dei blocchi riesce a raggiungere la zona della strada anche se la distanza massima di espansione non si porta molto più a valle della strada rispetto ai blocchi di 0,5 m³. Dal confronto tra i risultati delle due volumetrie considerate per il volume modale si sono assunte le distanze di arresto relative ai blocchi di 1 m³.

Nel complesso la zonazione della pericolosità scaturita dalla modellazione mette in evidenza che le aree a pericolosità maggiore, da media a molto elevata, arrivano a comprendere sostanzialmente tutta la falda di detrito posta a valle della parete mentre le aree a pericolosità minore, da bassa a molto bassa si estendono un poco all'esterno della falda di detrito.

I risultati ottenuti dalla modellazione sono riportati in forma riassuntiva nelle tabelle dell'allegato 8 per quanto riguarda le elaborazioni statistiche ed i risultati numerici; l'allegato 9 contiene invece a titolo esemplificativo la

rappresentazione grafica delle traiettorie modellate per il blocco di volume massimo in ciascuna sezione e, per motivi di leggibilità, rappresenta solo 50 blocchi in caduta invece dei 1000 effettivamente simulati.

4. Rivalutazione delle condizioni di pericolosità per alcune aree di conoide

La valutazione delle condizioni di pericolosità e la conseguente perimetrazione delle aree dei conoidi alluvionali potenzialmente soggette a fenomeni di esondazione e colata contenuta nello studio relativo alla Componente Geologico Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio del febbraio 2010 è stata condotta su base morfologica. Per alcuni conoidi alluvionali che si raccordano ai ripiani dei terrazzi morfologici della zona di Angolo e di Mazzunno, e che quindi si trovano sospesi rispetto al fondovalle del torrente Dezzo, le aree individuate come potenzialmente raggiungibili in caso di esondazione erano state chiuse a valle a partire dalle zone dove, in ragione delle condizioni locali, si verifica la deposizione della frazione grossolana del materiale in carico e dove la frazione fluida si disperde lateralmente nelle aree disponibili al deflusso riducendo in questo modo il tirante idrico e la portata locale. A valle di queste zone, che erano assegnate alle classi di pericolosità da conoide H3 o H2 a seconda delle situazioni locali, non erano state pertanto assegnate ad una classe di pericolosità da conoide le aree dove le condizioni di deflusso delle frazioni fluide in caso di esondazione non sarebbero molto dissimili da quelle conseguenti al deflusso superficiale delle acque cadute nelle medesime zone in occasione di eventi meteorici intensi. In questa sede, a valle delle aree assegnate alla classe di pericolosità da conoide H2 sono state invece inserite delle aree assegnate alla classe di pericolosità H1. Le aree sono state definite su base morfologica individuando, rispetto alle pendenze locali, le zone di deflusso potenziale delle acque superficiali fino al loro recapito nell'alveo di un corso d'acqua. Queste aree sono state individuate per le zone di potenziale esondazione in corrispondenza dei conoidi del Re Barzino, della Valle Bertina (situata a destra al Re Barzino), delle due linee di impluvio che insistono sull'abitato di Mazzunno e della linea di impluvio che insiste su via Bregno a monte della zona di accesso al parco delle Terme e sono state assegnate alla categoria Cn della classificazione del Piano di assetto Idrogeologico.

5. Carta PAI-PGRA

In riferimento alla d.g.r. 19/06/2017 n. 6738 riguardante le disposizioni per l'attuazione del Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza è stata redatta la Carta PAI-PGRA nella quale, oltre agli elementi contenuti nella Carta dei Rischi Idraulici e Idrogeologici della precedente tavola 6 dello studio del febbraio 2010 e relativi al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), sono stati rappresentati gli elementi individuati nella cartografia del PGRA relativi alle aree allagabili sui corsi d'acqua principali e secondari.

Elementi dal PGRA

Gli elementi relativi al cartografia del Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA), redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po, sono stati ricavati dalla cartografia di riferimento del Geoportale della Regione Lombardia e coincidono in genere con elementi già presenti nella Carta dei Rischi Idraulici e Idrogeologici, contenuta nello studio geologico del febbraio 2010, e derivanti dall'aggiornamento della cartografia PAI proposta con lo stesso studio del febbraio 2010.

Le discrepanze tra la cartografia PGRA e la Carta dei Rischi Idraulici e Idrogeologici del febbraio 2010 sono relative alla presenza, nella cartografia PGRA, di alcune aree assegnate allo scenario M - poco frequente - ed allo scenario H - raro - del Reticolo Superficiale Collinare e di Montagna (RSCM) che non compaiono come aree potenzialmente allagabili nella Carta dei Rischi Idraulici ed Idrogeologici.

Nel dettaglio l'area assegnata allo scenario M si trova a monte dell'abitato di Angolo, nel tratto compreso tra gli impluvi del Re Barzino e della Val di Sé, subito al piede delle pareti rocciose che costituiscono la base del versante, mentre le aree assegnate allo scenario H si trovano in corrispondenza delle fasce laterali dei conoidi alluvionali della Valle Bertina (Angolo, a destra del Re Barzino), Re Barzino (Angolo), della Val di Sé (Angolo), della Val Bassile (Angolo), della linea di impluvi posta subito a sinistra della Val Bassile (Angolo, località Magatì), della Val Padone (in località Padone), della Valle di Poja (località Fornaci), della Valle di San Giovanni (Valle di Terzano) e della linea di impluvio che forma il conoide della chiesa di Mazzunno.

L'area assegnata allo scenario M corrisponde in realtà ad una falda di detrito quiescente, interessata da episodi di caduta di blocchi rocciosi, ma non soggetta a fenomeni di allagamento da parte delle acque superficiali e che nella Carta dei Rischi Idraulici ed Idrogeologici era stata assegnata alla categoria Fq: si è ritenuto pertanto di mantenere nella Carta PAI-PRG l'assegnazione alla categoria Fq e non allo scenario H-RSCM.

Le aree assegnate nel PGRA allo scenario M e che non compaiono nella Carta dei Rischi Idraulici ed Idrogeologici corrispondono effettivamente da un punto di vista litologico e morfologico ad aree di conoidi alluvionali tuttavia, come era stato evidenziato nello studio geologico del febbraio 2010, si tratta di settori antichi dei conoidi alluvionali, non più raggiungibili da fenomeni di esondazione, allagamento o colata. Si tratta infatti di forme che si raccordavano alla quota locale del fondovalle alla fine dell'ultima glaciazione, successivamente eroso dal torrente Dezzo che ha lasciato sospesi il proprio fondovalle antico e gli stessi conoidi delle valli laterali, a loro volta successivamente incisi dai rispettivi corsi d'acqua che hanno formato in genere nuovi conoidi, di minori dimensioni, a quote inferiori rispetto al vecchio fondovalle.

Nella Carta dei Rischi Idraulici ed Idrogeologici redatta nel febbraio 2010 i settori ormai morfologicamente inattivi e relitti dei conoidi non sono stati quindi considerati come aree Cn, ovvero "aree di conoidi non recentemente riattivatisi o completamente protette da opere di difesa (pericolosità media o moderata)".

In ragione della situazione morfologica descritta si è ritenuto di mantenere nella Carta PAI-PGRA la valutazione fatta nella precedente Carta di Rischi Idraulici ed Idrogeologici, aggiornata in questa sede con la rivalutazione delle zone a pericolosità molto bassa di alcuni conoidi, non inserendo nelle aree pericolose per fenomeni di allagamento/colata i settori relitti dei conoidi considerati erroneamente come tali nella cartografia PGRA.

Per il resto nella Carta PAI-PGRA gli elementi delle due cartografie si corrispondono secondo lo schema seguente.

Legenda PGRA	Legenda PAI
Reticolo Secondario Collinare e Montano	Esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua e trasporto di massa sui conoidi
Aree P3/H aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti	- Ee, aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità molto elevata - Ca - aree di conoidi attivi o potenzialmente attivi non protette da opere di difesa e di sistemazione a monte (pericolosità molto elevata)
Aree P2/M aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti	- Eb, aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità elevata; - Cp aree di conoidi attivi o potenzialmente attivi parzialmente protette da opere di difesa e di sistemazione a monte (pericolosità elevata),
Aree P1/L aree potenzialmente interessate da alluvioni rare	- Em, aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità media o moderata. - Cn, aree di conoidi non recentemente riattivatisi o completamente protette da opere di difesa (pericolosità media o moderata).

Gli elementi in comune alle due legende sono stati rappresentati in carte con entrambe le simbologie, a colore piena per il PGRA e con retinatura per il PAI.

Dr. geol. Fabio Alberti

Ha collaborato: dr. Sabrina Adamini

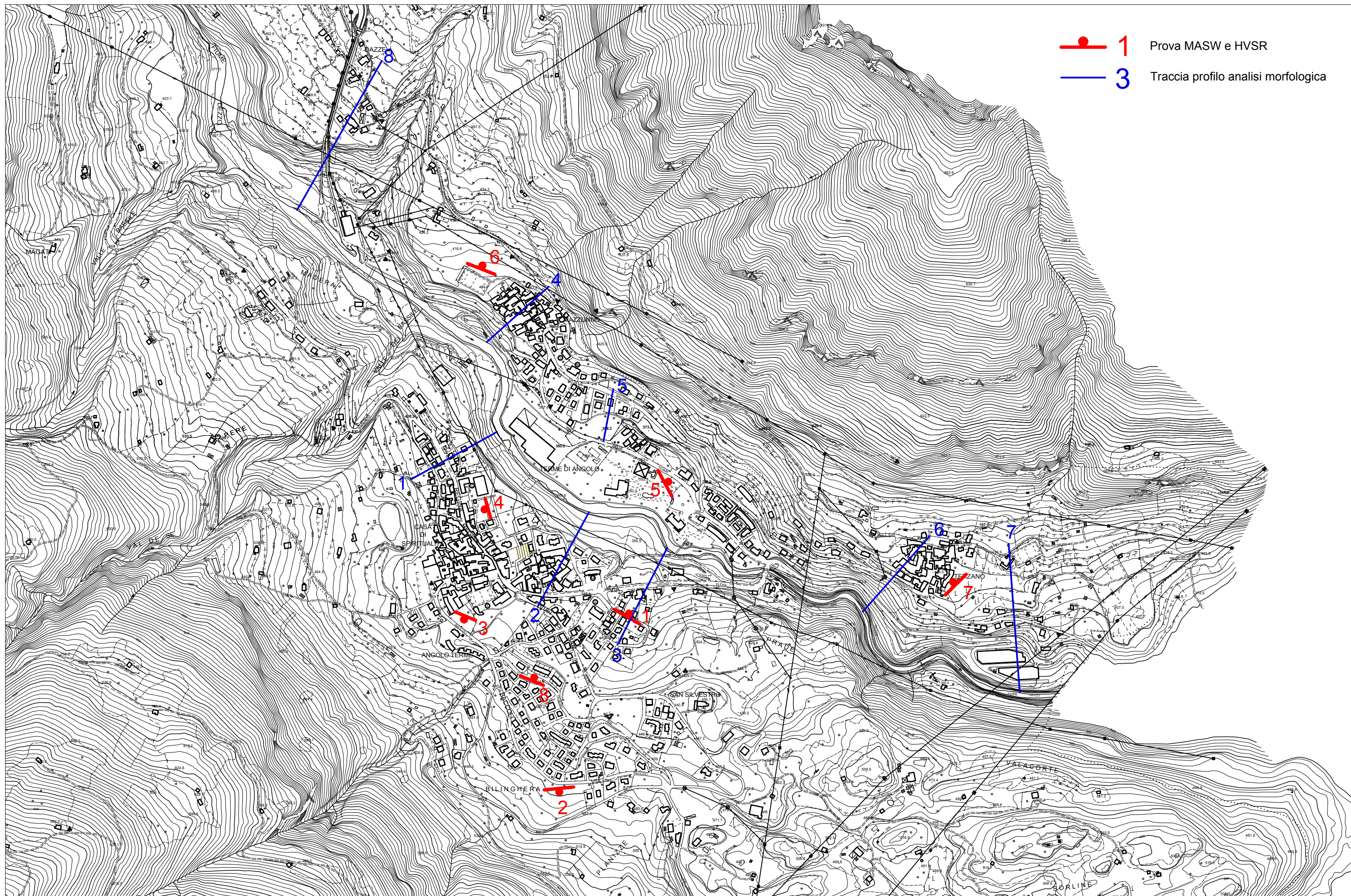




Darfo Boario Terme, dicembre 2018.

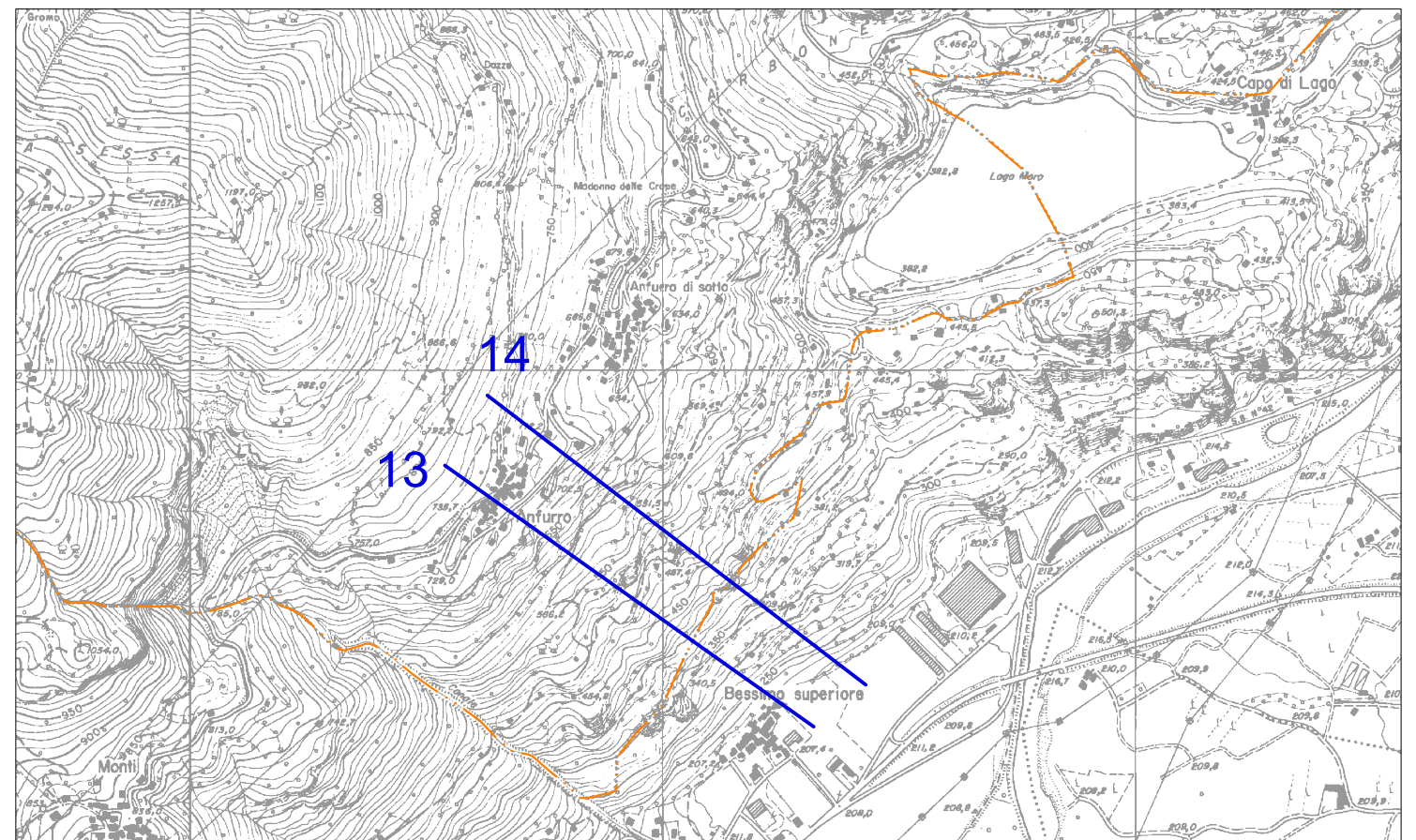
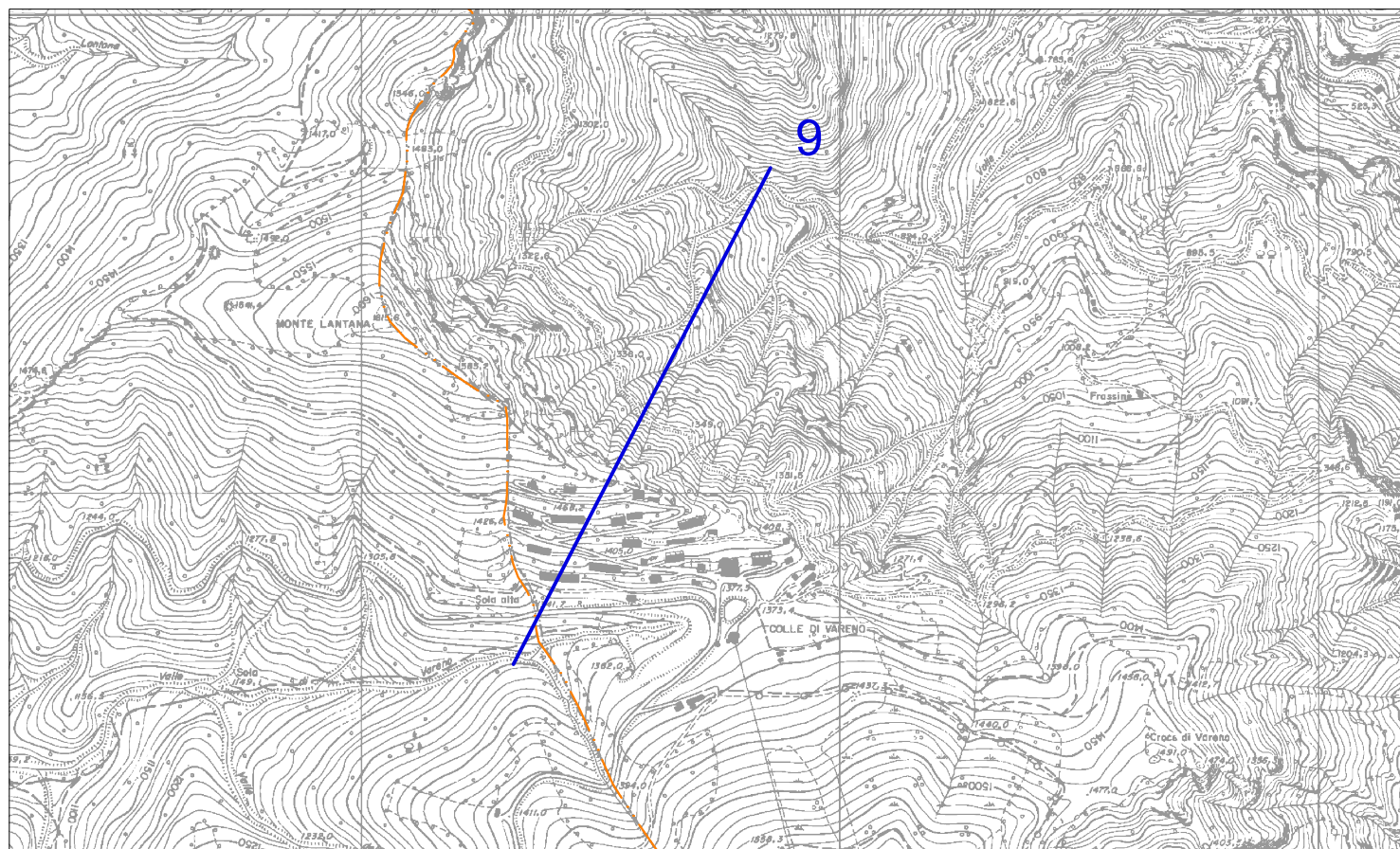
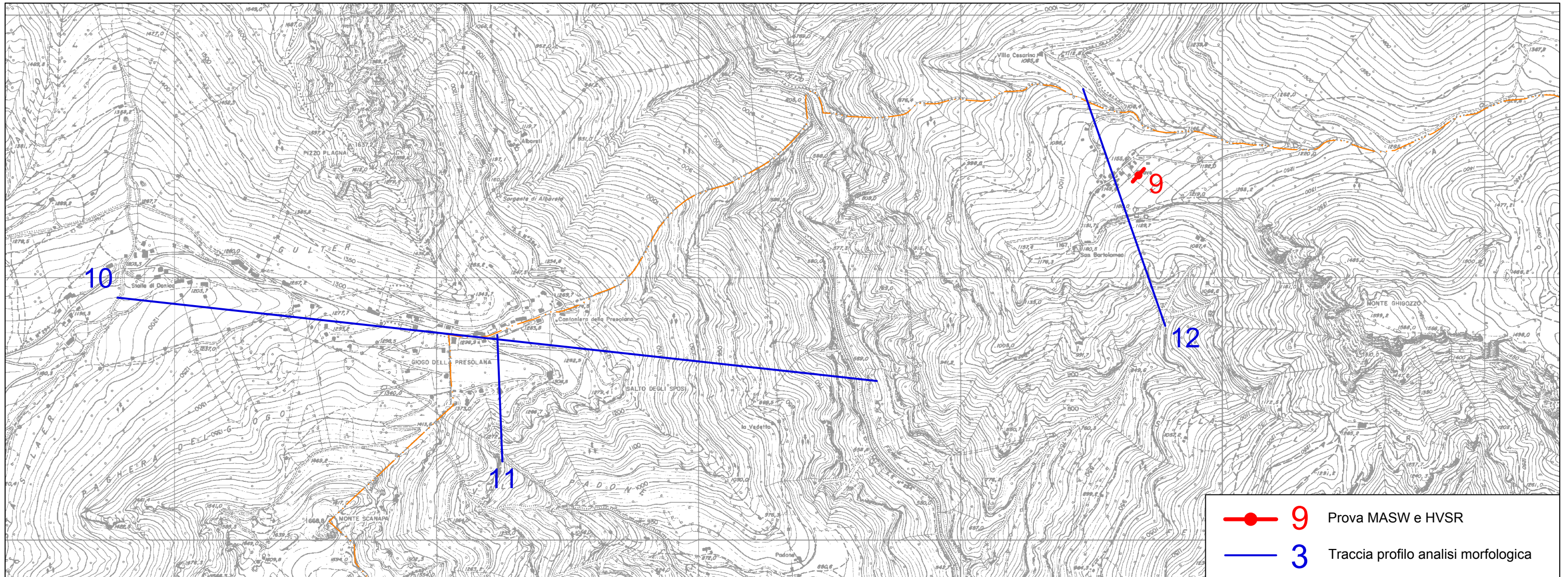
6. Bibliografia

- 1) Autorità di Bacino del fiume Po - Parma - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti (Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter). - Norme di Attuazione - 2001
- 2) Geo.Te.C. Studio Associato – Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio ai sensi della dgr 22/12/2005 n. 8/1566 in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11/03/2005 n. 12 – Comune di Angolo Terme (BS), febbraio 2010.
- 3) D.lgs. 16 gennaio 2008 n. 4 - G.U. n. 24 del 29/01/08, Suppl. Ord.
- 4) D.M. 14 gennaio 2008 - Approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni. - Gazz. Uff., n. 29 del 04/02/2008.
- 5) D.M. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.- Gazz. Uff., n. 29 del 20/02/2018.
- 6) Decreto del Capo del Dipartimento della protezione civile del 21 ottobre 2003 “Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003” – G.U. n. 252 del 29 ottobre 2003
- 7) Ordinanza PCM n. 3274 del 20 marzo 2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica - G.U. n. 105, 8 maggio 2003, Suppl. Ord. n. 72.
- 8) Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006 - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone - Gazz.Uff., anno 147, n. 108 del 11-05-2006
- 9) Regione Lombardia – D.g.r. 19 giugno 2017 n. X/6738 – Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) in campo urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio di assetto idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po così come integrato dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n. 5 del comitato istituzionale dell'autorità di bacino del fiume Po. – BURL 21 giugno 2017, serie ordinaria n. 25.
- 10) Regione Lombardia – D.g.r. 30 marzo 2016 n. X/5001 – Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13 comma 1, della l.r. 33/2015) – BURL Serie Ordinaria n. 14 – Giovedì 07 aprile 2016
- 11) Regione Lombardia - D.g.r. 30 Novembre 2011 n. IX/2616 – Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12” approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r 28 maggio 2008 n, 8/7374” - BURL - anno XLI Serie Ordinaria n. 3 - 19 gennaio 2012.
- 12) Regione Lombardia - D.g.r. n 7/14964 del 7 Novembre 2003 - Disposizioni preliminari per l'attuazione dell'OPCM n°3274/2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”- Boll. Uff. della Reg. Lomb. - anno XXXIII, n. 275, 2003.

- 13) Regione Lombardia - D.g.r. n X/2129, 11 Luglio 2014 - Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) - Boll. Uff. della Reg. Lomb. - anno XLIV, n. 176, 2014.
- 14) Regione Lombardia - Decreto dirigente dell'unità organizzativa n. 19904/03 21/11/2003 - Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, commi 3 e 4 dell'ordinanza p.c.m. n 3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n° 14964 del 7 Novembre 2003 - Boll. Uff. della Reg. Lomb. – serie ordinaria, n. 49 del 1/12/2003.
- 15) Regione Lombardia - L.r. 11 marzo 2005 n. 12 - Legge per il governo del territorio - BURL. - anno XXXV, n. 69, 16 marzo 2005, 1° Suppl. Ordinario.
- 16) Regione Lombardia - L.r. 14 luglio 2006 n. 12 - Modifiche ed integrazioni alla legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 "legge per il governo del territorio". - BURL 18 luglio 2006, n. 29, 1° suppl. ord.
- 17) Geo.Te.C. Studio Associato. – Indagine idrogeologica riguardante due sorgenti situate in località Colle Vareno nel comune di Angolo Terme e captate per uso potabile. - Comune di Angolo Terme ottobre 2015.



-  1 Prova MASW e HVSR
-  3 Traccia profilo analisi morfologica



allegato 2: RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE

Per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio nei siti ritenuti significativi è stata condotta una campagna di prove geofisiche con l'esecuzione di 9 analisi sismiche MASW con sovrapposta analisi sismica HVSR la cui ubicazione è riportata negli allegati 1a-1b. Le indagini e l'interpretazione dei dati sono state condotte dal dr. geol. Devid Stain.

ANALISI SISMICHE MASW

Il metodo MASW "Multichannel Analysis of SurfaceWaves" è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di un allineamento di geofoni posti sulla superficie del suolo. Le onde di superficie sono due: quelle di Rayleigh e quelle di Love e sono dette superficiali perché la loro ampiezza decreta in modo esponenziale con la profondità e la loro propagazione interessa quindi un limitato spessore di sottosuolo; rispetto alle onde di corpo la loro ampiezza è notevolmente maggiore e per questo motivo dominano tipicamente qualsiasi dataset sismico.

Le onde di Rayleigh si muovono su un piano radiale secondo un moto detto retrogrado; l'andamento del moto indica che queste onde hanno sia una componente verticale che una componente orizzontale radiale.

Le onde di Love si muovono solamente sul piano orizzontale con un'oscillazione la cui direzione è perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere uno spettro delle velocità di fase sperimentale che fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

Nel caso in esame l'acquisizione dei dati è stata condotta con il sismografo Pasi 16S24-U, con 12 geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz; l'energizzazione è stata effettuata tramite battitura con una mazza del peso di 10 kg. La spaziatura e l'offset dei vari stendimenti sono riportati nella tabella sottostante.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), sono stati acquisiti 3 dataset differenti con altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF); 12 geofoni verticali da 4,5 HZ, energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio;
- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF); 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento, energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio;
- Dataset Onde Love componente orizzontale (THF); 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento, energizzazione orizzontale su traversina in legno.

ANALISI SISMICHE HVSR

Le vibrazioni ambientali (o rumore sismico ambientale o microtremori) sono movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm. Queste vibrazioni sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti agenti a diverse frequenze: onde marine e perturbazioni atmosferiche, ad esempio, contribuiscono al campo d'onda prevalentemente a frequenze inferiori a 0.5 Hz mentre vento, traffico veicolare e attività industriali contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 0.5 Hz. L'indipendenza dinamica delle sorgenti e la molteplicità dei percorsi delle onde da esse generate spiega la mancanza di regolarità nell'andamento temporale del campo del microtremore. Se da un lato il

carattere stocastico del fenomeno presenta difficoltà di tipo teorico, dall'altro consente, mediante operazioni di tipo statistico, di ridurre la complessità dell'analisi.

Dato che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, le tecniche di sismica passiva trovano una ideale applicazione negli studi della risposta sismica locale. In particolare, esse permettono di individuare situazioni sismo-stratigrafiche potenzialmente responsabili di fenomeni di risonanza sismica, valutandone qualitativamente l'entità e determinando i periodi di risonanza delle coperture sedimentarie ed i profili di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri.

Esistono sostanzialmente due configurazioni sperimentali per lo studio del rumore sismico: la configurazione a stazione singola e quella ad antenna sismica (array). La prima è basata sull'analisi dell'ampiezza delle componenti spettrali del campo di vibrazioni ambientali misurato nelle tre direzioni, mentre nella seconda vengono analizzati i rapporti di fase tra i treni d'onda che attraversano un'antenna sismica (array) ovvero una distribuzione di geofoni disposti con geometrie variabili sulla superficie del terreno.

Le prove effettuate in questo caso sono a stazione singola, note anche come prova Nakamura (1989) o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio); è stato utilizzato un geofono 3d da 2 Hz collegato al sismografo Pasi 16S24-U.

Il risultato di tali prove è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. La prova consiste quindi nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti; essa ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

La determinazione della curva HVSR in sito prevede i seguenti passi:

- misura delle tre componenti x, y, z del moto in un punto sulla superficie libera del suolo per una durata dai 10 ai 20 minuti;
- eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi transitori non conformi al rumore ambientale;
- definizione degli N intervalli o finestre temporali stazionari entro cui calcolare le curve HVSR;
- calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto;
- operazione di smoothing degli spettri di Fourier;
- somma delle due componenti orizzontali x e y;
- calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari;
- calcolo della curva HVSR media tra le N curve HVSR.

Infine, i risultati ottenuti vengono verificati secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME esposti nel seguito:

Condizioni di Reliability della curva HVSR:

- 1) in corrispondenza della frequenza del picco di interesse vi siano almeno 10 cicli significativi in ogni finestra temporale individuata nel segnale registrato;
- 2) è necessario utilizzare un grande numero di finestre temporali e di cicli, almeno 200 cicli;
- 3) il livello di scattering, cioè di dispersione delle curve HVSR ottenute nelle diverse finestre temporali deve essere moderato, altrimenti potrebbe essere un sintomo di un rumore ambientale fortemente non-stazionario, che influenza la forma della curva HVSR in maniera non ripetibile.

Le condizioni 1) e 2) confermano che la durata del segnale registrato sia sufficientemente estesa, la condizione 3) assicura che la curva HVSR misurata sia di buona qualità e poco dispersa.

Condizioni di Clarity del picco massimo:

Condizioni sull'Ampiezza:

- 4) esiste una frequenza f^- , compresa tra $f^0/4$ e f^0 , tale che $A^0 / A_{H/V}(f^-) > 2$;
- 5) esiste un'altra frequenza f^+ , compresa tra f^0 e $4 \cdot f^0$, tale che $A^0 / A_{H/V}(f^+) > 2$;
- 6) deve essere $A^0 > 2$.

Le condizioni 4) e 5) confermano che il picco sia sufficientemente isolato sia a sinistra (condizione 4), sia a destra (condizione 5). La condizione 6) assicura che il picco sia sufficientemente elevato e questo dipende dall'entità del contrasto di rigidità tra gli strati.

Condizioni sulla Stabilità della curva HVSR:

- 7) il picco dovrebbe comparire alla stessa frequenza (entro il $\pm 5\%$) nelle curve H/V corrispondenti alla media + e- lo standard deviation;
- 8) lo scarto quadratico medio σ deve essere inferiore ad un valore limite $\theta(f)$ dipendente dalla frequenza come riportato nella tabella dei criteri Sesame;
- 9) deve essere $\sigma A(f_0)$ inferiore ad un valore limite $\theta(f)$ dipendente dalla frequenza come riportato in tabella dei criteri Sesame.

Le condizioni 7), 8) e 9) confermano che la curva HVSR misurata sia stabile, cioè di buona qualità e poco dispersa.

ELABORAZIONE DATI

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASWAcademy 2018. Nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti, scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF), per le Onde di Love (THF) e HVSR. Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset e dopo svariate elaborazioni si è scelta l'analisi congiunta migliore tra le combinazioni (ZVF-THF) o (RVF-THF) o (ZVF/RVF/THF-HVSR). Scelta la combinazione per l'elaborazione da utilizzare è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzata come modello per lanciare l'inversione con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati. Le elaborazioni svolte hanno permesso di ottenere i profili di Vs ritenuti più attendibili.

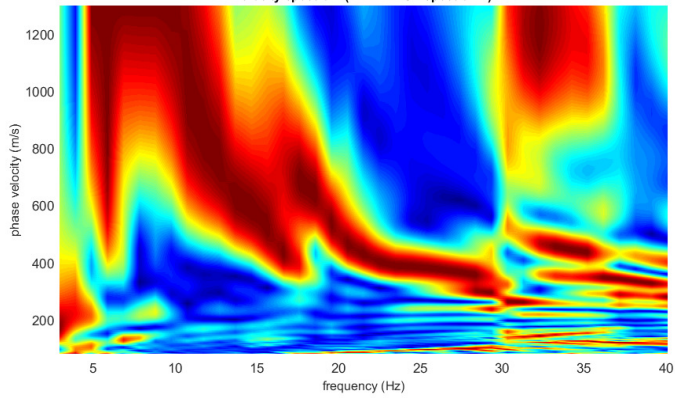
I parametri relativi ai 9 siti di indagine sono riportati nella tabella seguente.

SITO	SPAZIATURA MASW	OFFSET MASW	LUNGHEZZA STENDIMENTO	MISURAZIONI HVSR	COMBINAZIONE UTILIZZATA
1 VIA DANTE	5 m	10 m	65 m	20min - 15min	(THF- HVSR1)
2 VIA BACCOLI EST	5 m	10 m	65 m	20 min - 15 min	(RVF - THF)
3 VIA BACCOLI OVEST	3,5 m	10 m	48,5 m	20 min - 15 min	(RVF - THF)
4 VIA SOVICO	3 m	10 m	43 m	20 min - 15 min	(ZVF - THF)
5 TERME	5 m	10 m	65 m	20 min - 15 min	(THF- HVSR1)
6 MAZZUNNO	5 m	10 m	65 m	20 min - 15 min	(RVF - THF)
7 TERZANO	5 m	10 m	65 m	20 min - 15 min	(RVF - THF)
8 VIA DESERC	4 m	10 m	54 m	20 min - 15 min	(THF- HVSR1)
9 PRAVE	5 m	10 m	65 m	20 min - 15 min	(RVF - THF)

I profili di Vs ottenuti sono riportati negli allegati 3a – 3b; nelle pagine seguenti si riportano i risultati delle acquisizioni effettuate nell'ambito delle 9 prove MASW (spettri di velocità ZVF, RVF e THF) e HVSR effettuate.

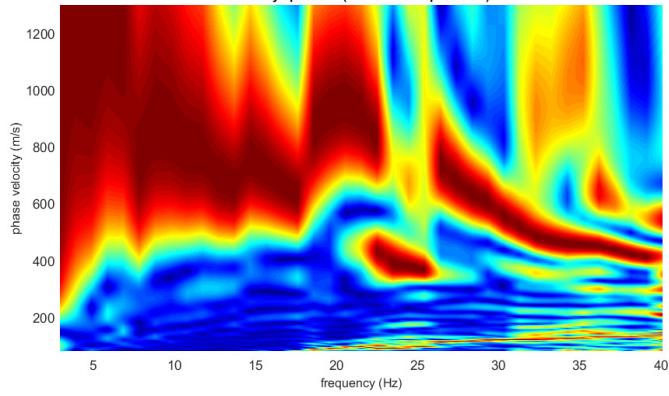
MASW spettro ZVF

velocity spectrum (ZVF-PHASE-spectrum1)



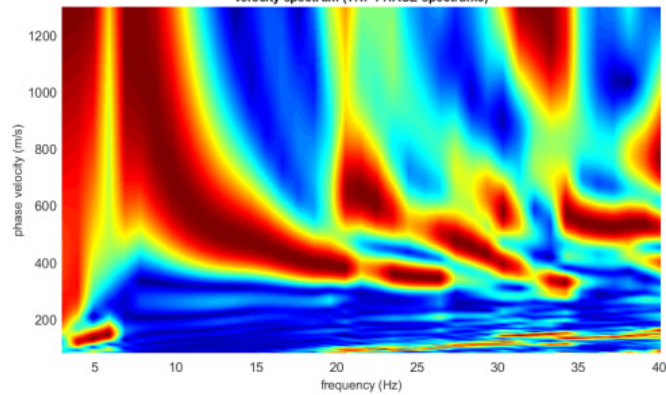
MASW spettro RVF

velocity spectrum (RVF-PHASE-spectrum2)



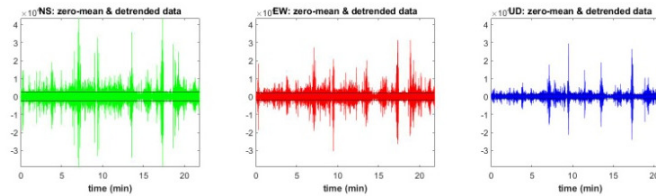
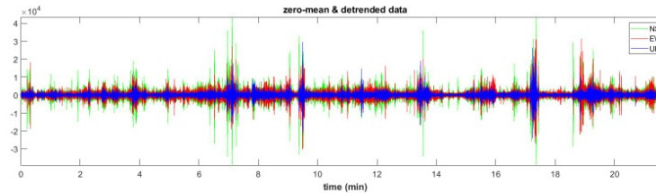
MASW spettro THF

velocity spectrum (THF-PHASE-spectrum3)

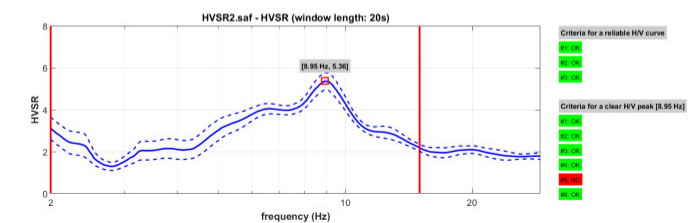
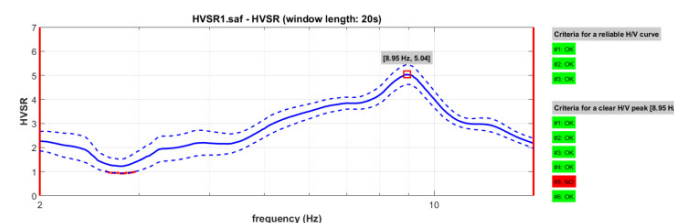
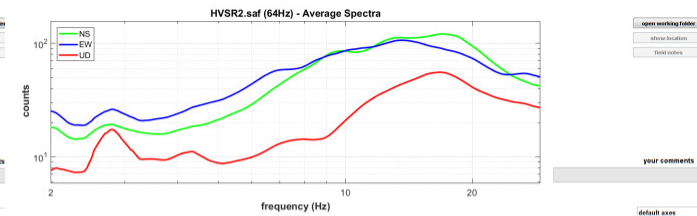
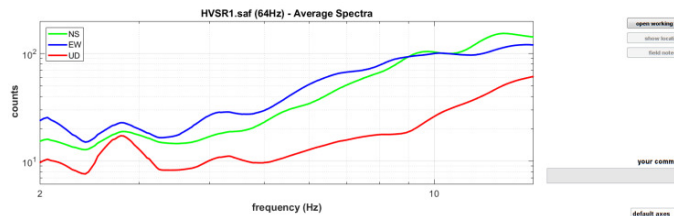
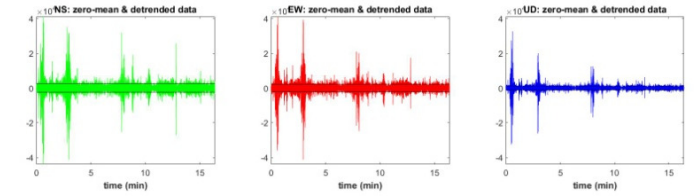
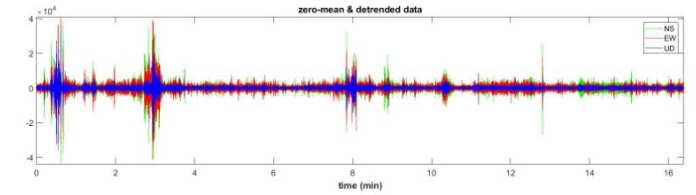


SITO 1: VIA DANTE

HVSR misura 1

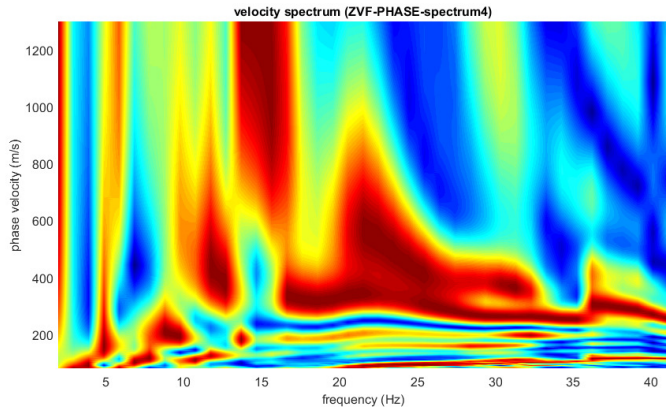


HVSR misura 2

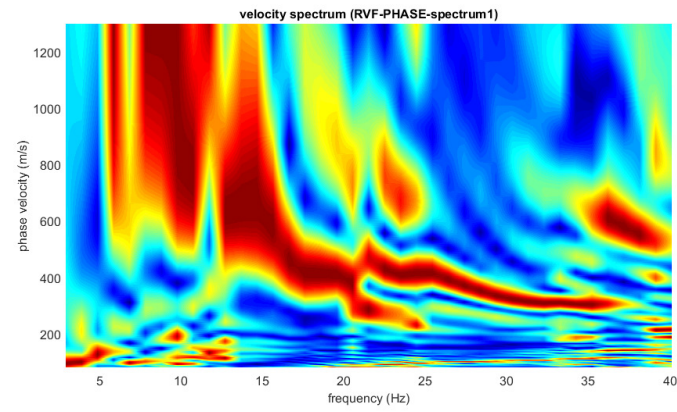


SITO 2: VIA BACCOLI EST

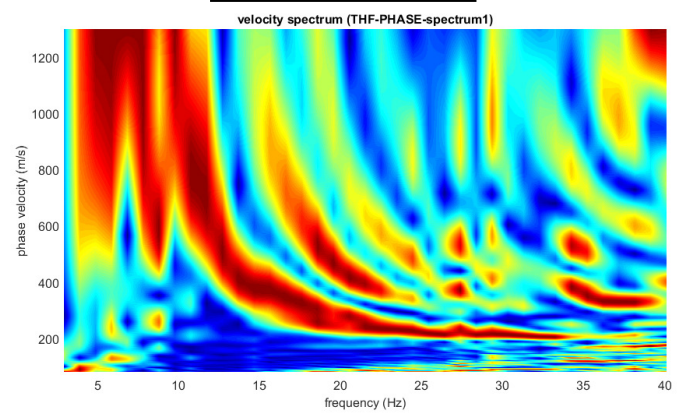
MASW spettro ZVF



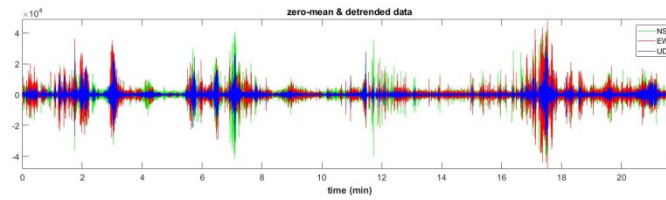
MASW spettro RVF



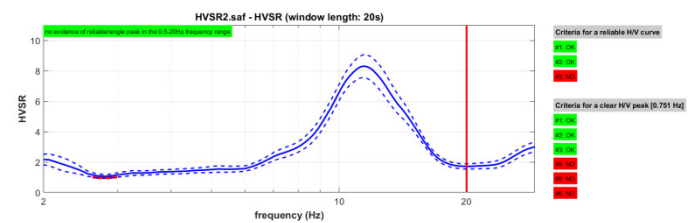
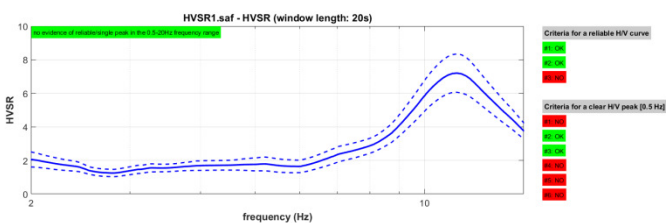
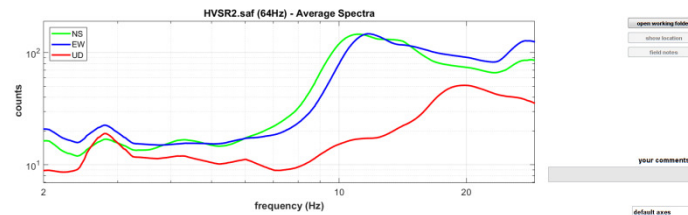
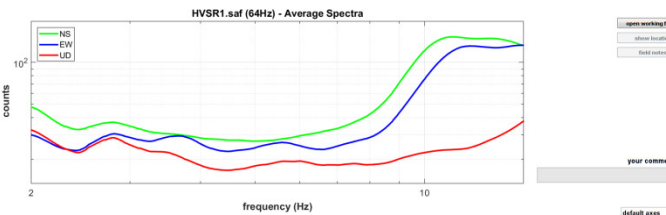
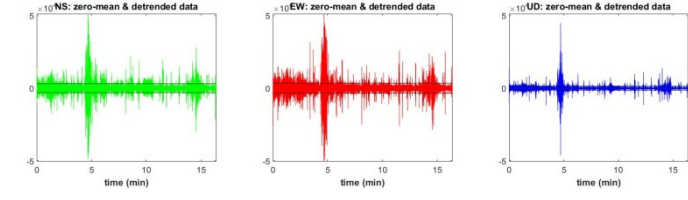
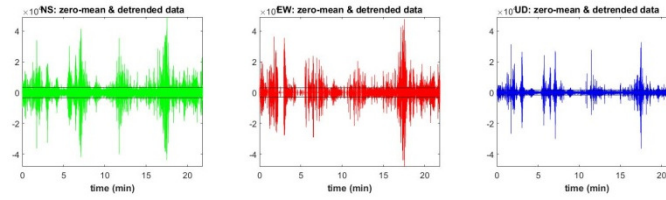
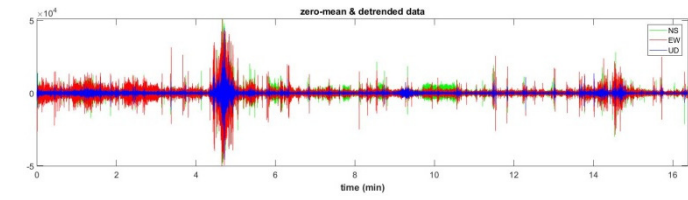
MASW spettro THF



HVSR misura 1

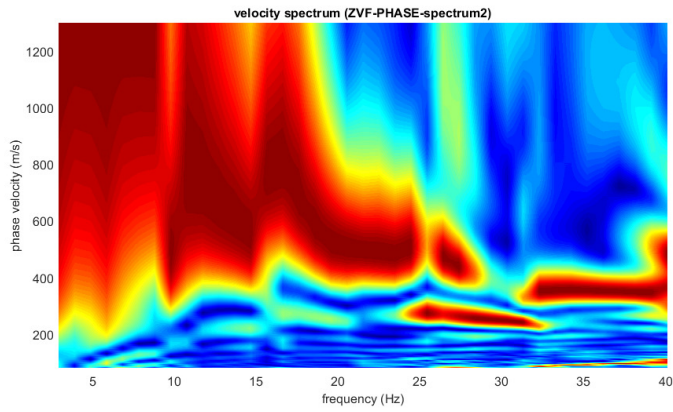


HVSR misura 2

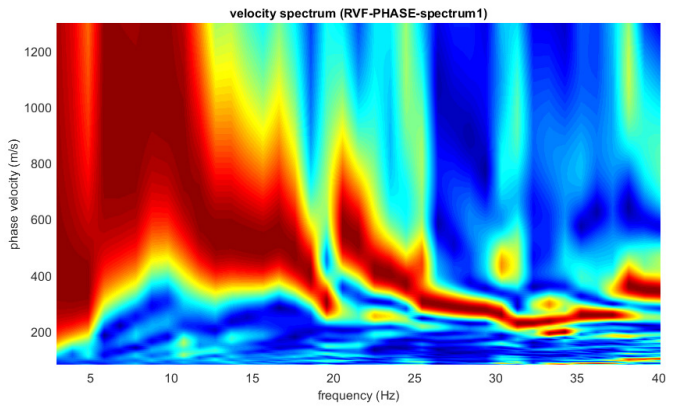


SITO 3: VIA BACCOLI OVEST

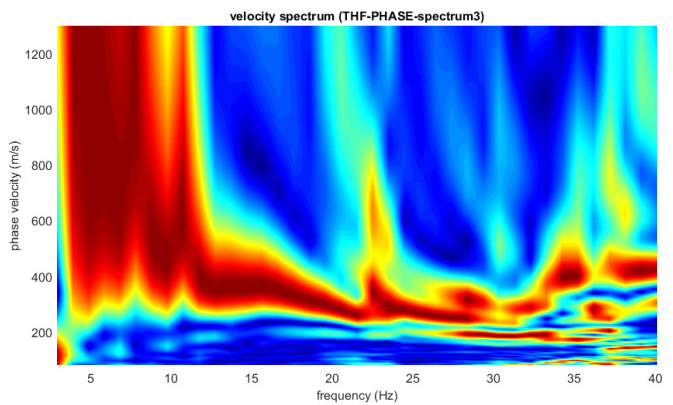
MASW spettro ZVF



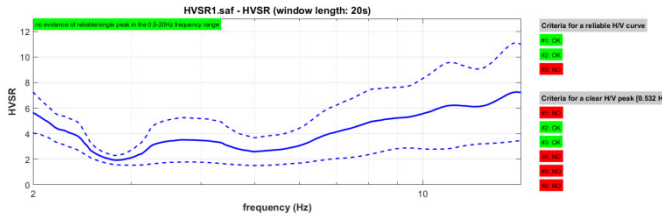
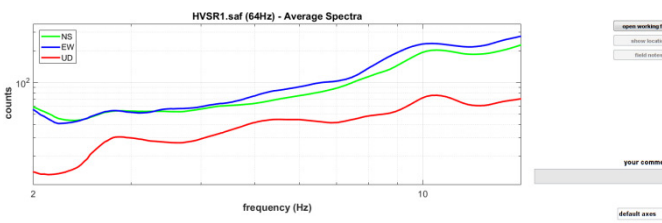
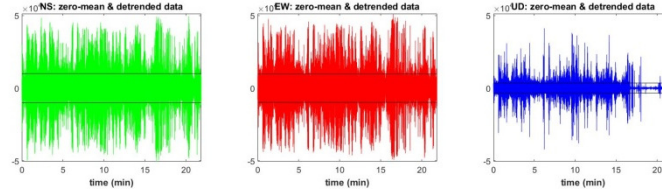
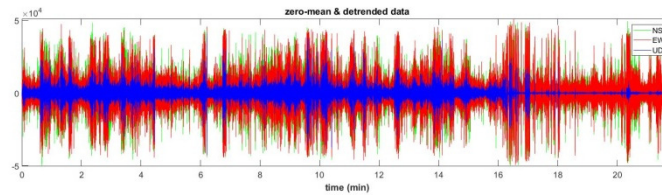
MASW spettro RVF



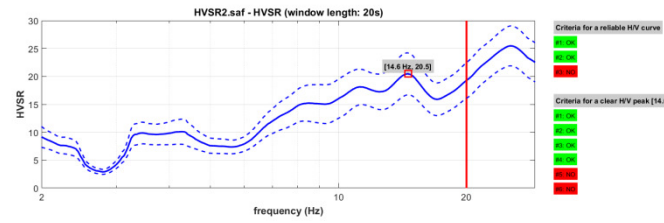
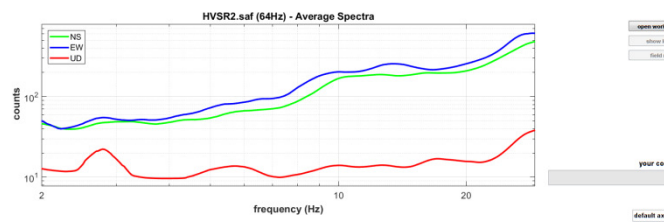
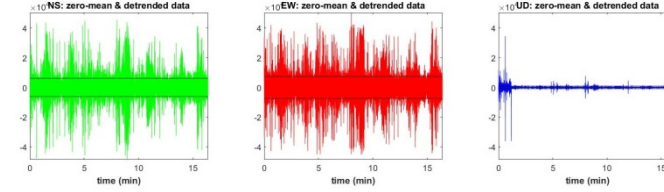
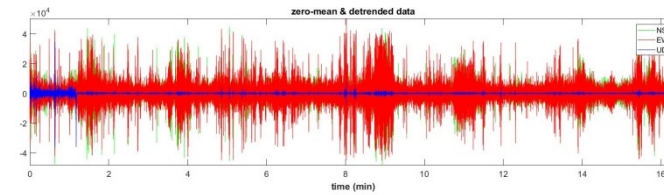
MASW spettro THF



HVSR misura 1

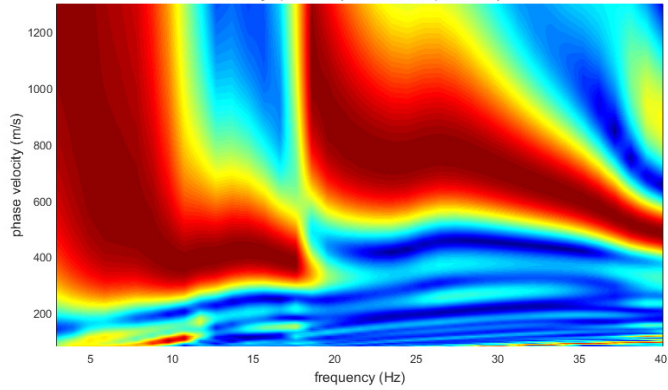


HVSR misura 2



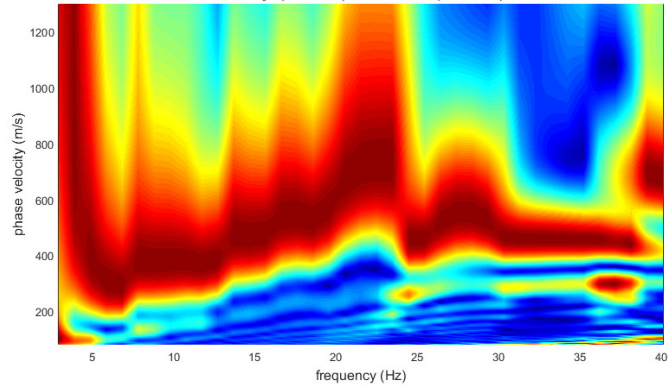
MASW spettro ZVF

velocity spectrum (ZVF-PHASE-spectrum2)



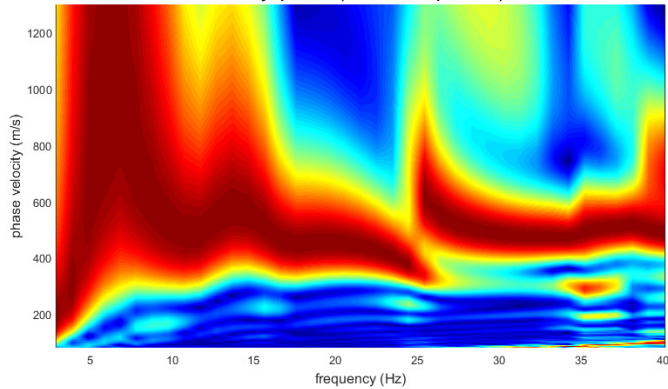
MASW spettro RVF

velocity spectrum (RVF-PHASE-spectrum1)



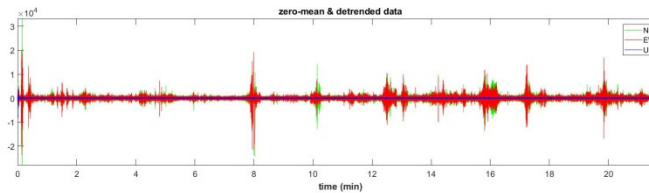
MASW spettro THF

velocity spectrum (THF-PHASE-spectrum3)

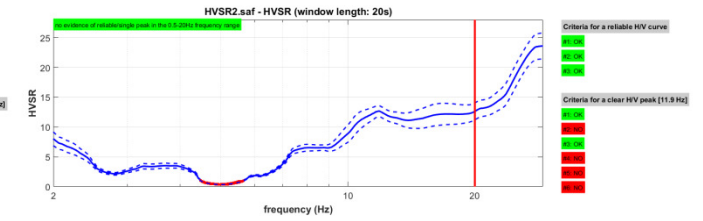
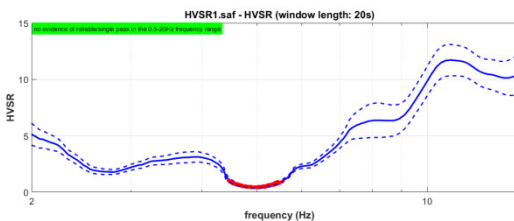
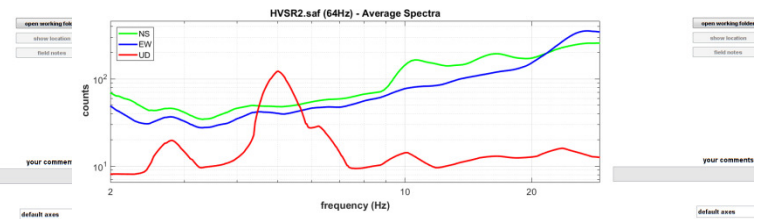
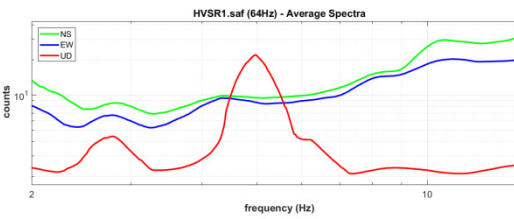
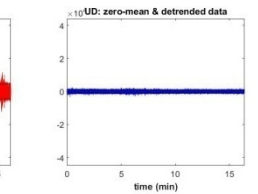
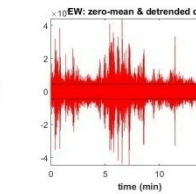
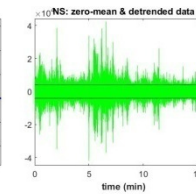
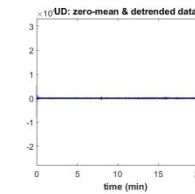
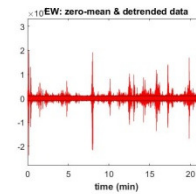
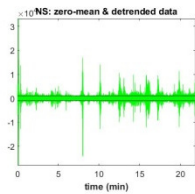
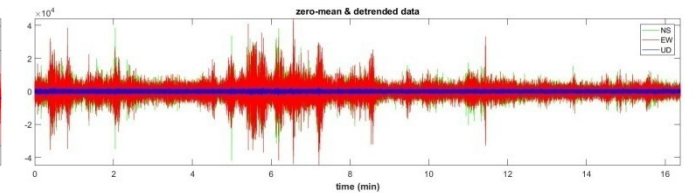


SITO 4: VIA SOVICO

HVSR misura 1

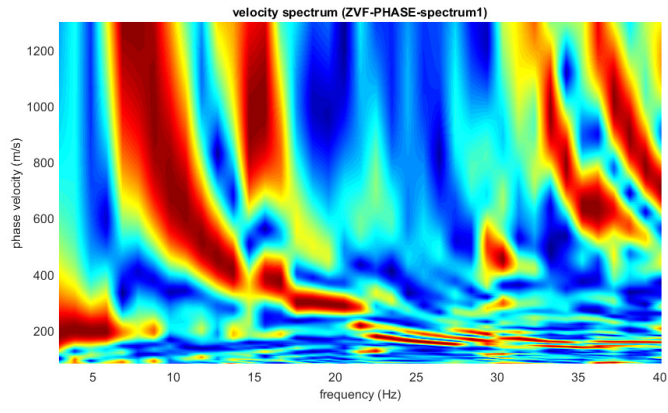


HVSR misura 2

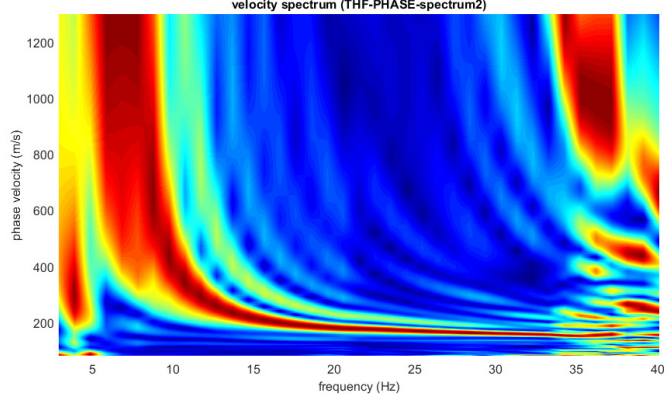


To model the HVSR (also jointly with MASW or InMUSIC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrometry, Modelling & Picking" panels and upload the saved HV curve

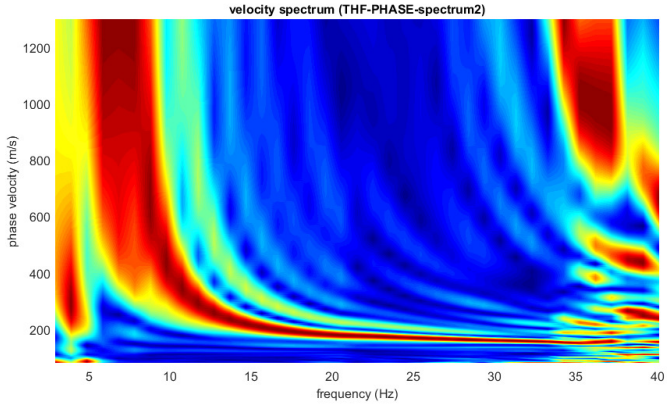
MASW spettro ZVF



MASW spettro RVF

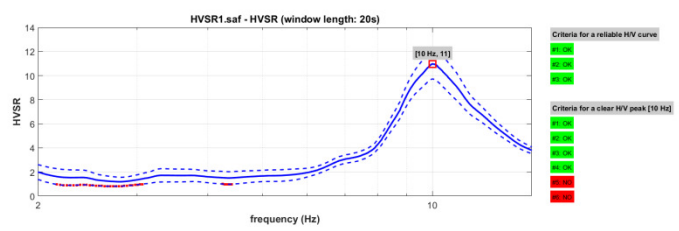
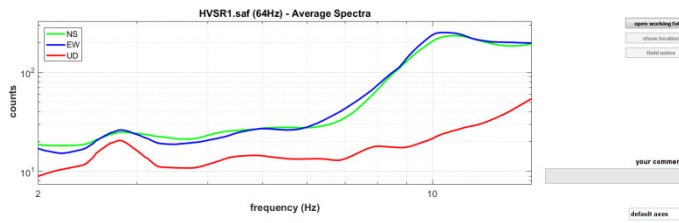
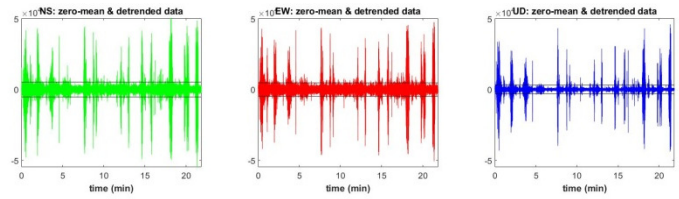
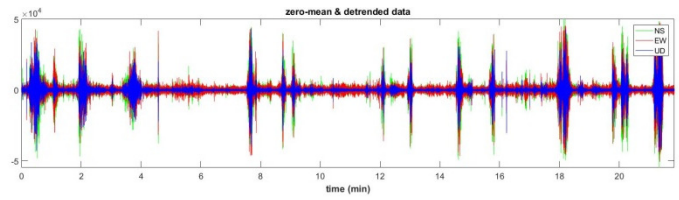


MASW spettro THF

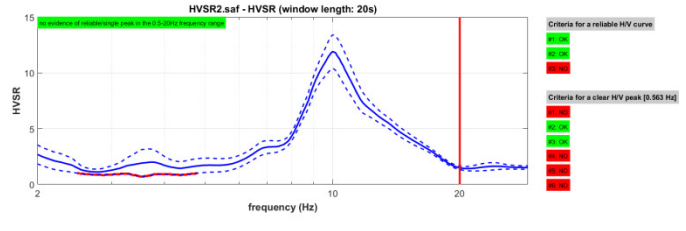
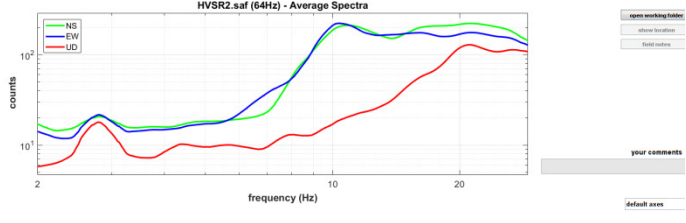
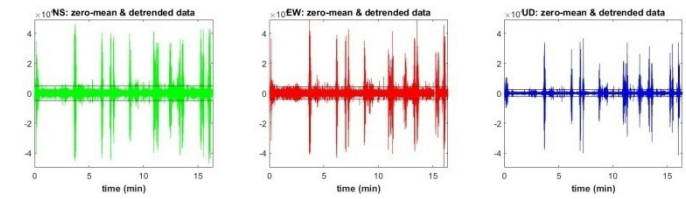
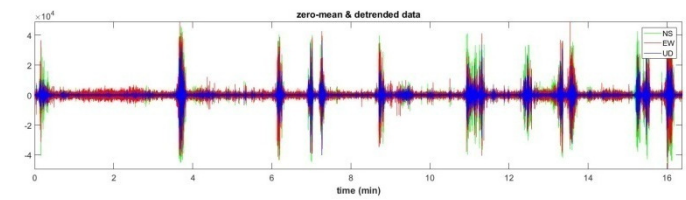


SITO 5: TERME

HVSR misura 1



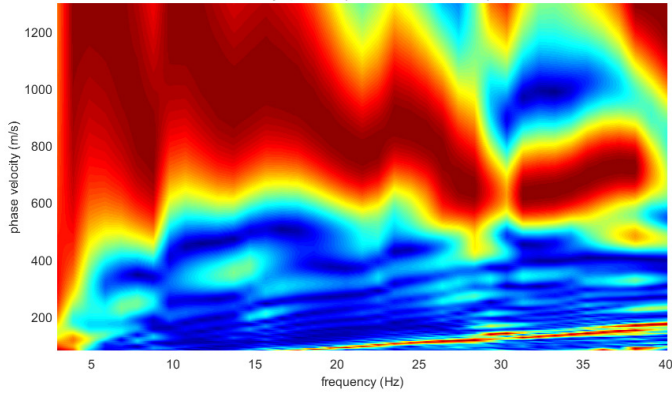
HVSR misura 2



SITO 6: MAZZUNNO

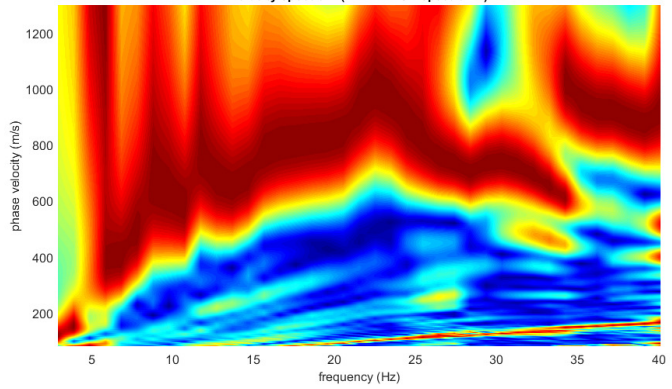
MASW spettro ZVF

velocity spectrum (ZVF-PHASE-spectrum1)



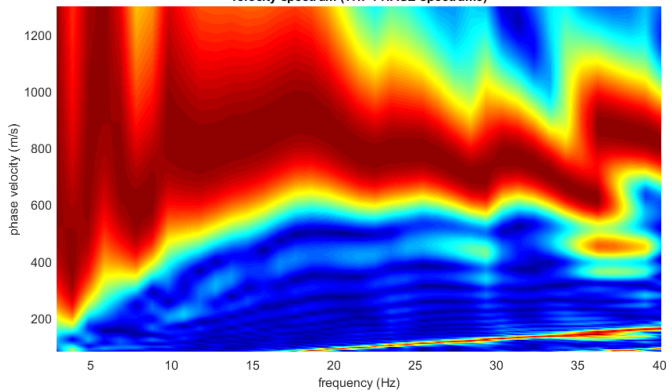
MASW spettro RVF

velocity spectrum (RVF-PHASE-spectrum2)

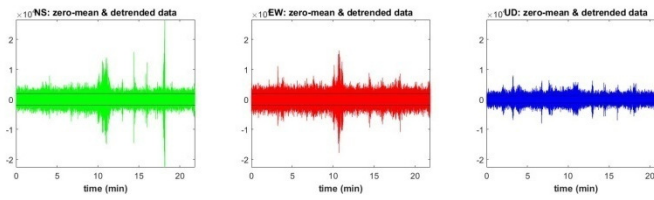
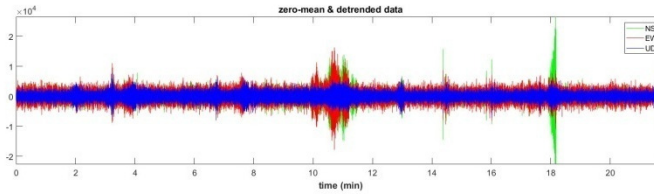


MASW spettro THF

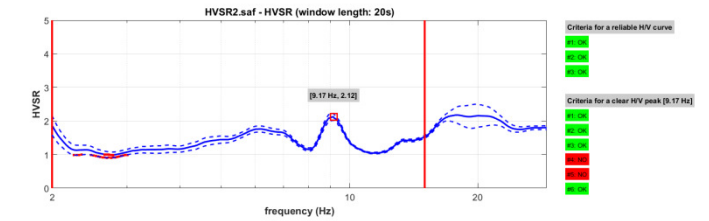
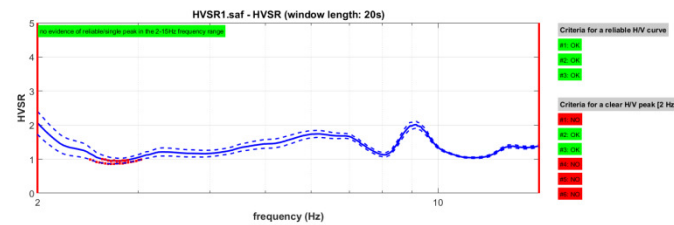
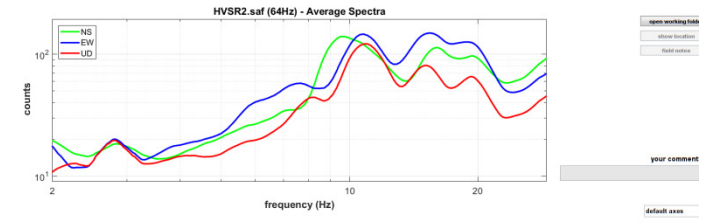
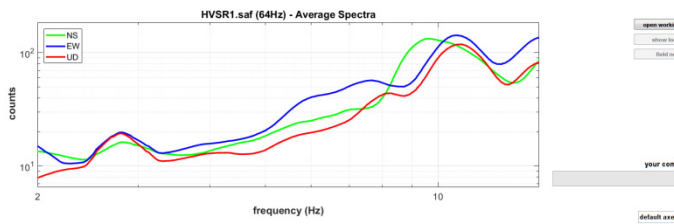
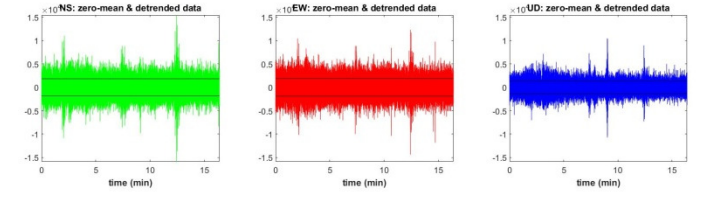
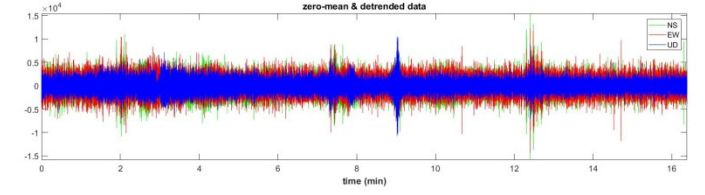
velocity spectrum (THF-PHASE-spectrum3)



HVSR misura 1



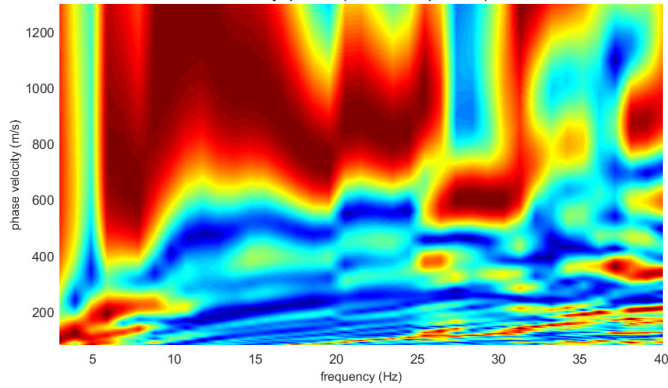
HVSR misura 2



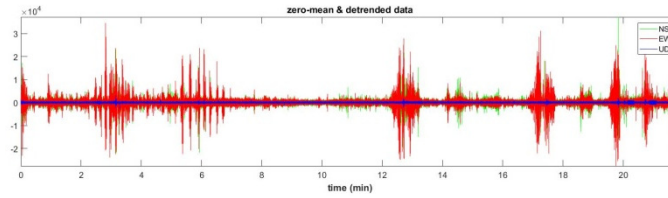
SITO 7: TERZANO

MASW spettro ZVF

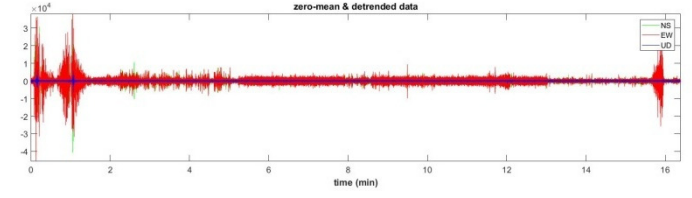
velocity spectrum (ZVF-PHASE-spectrum1)



HVSR misura 1

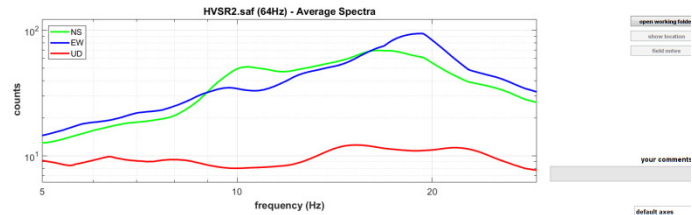
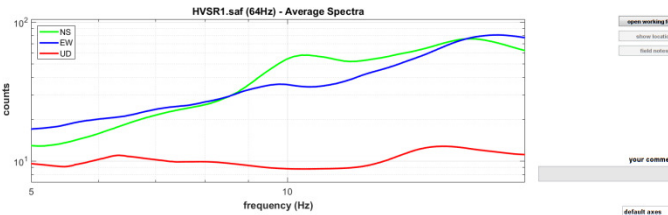
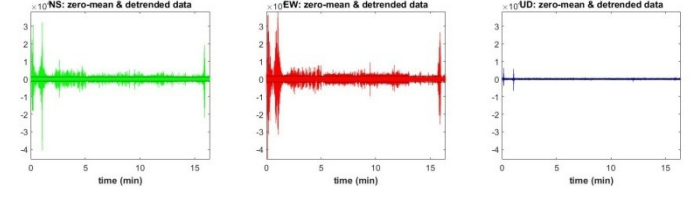
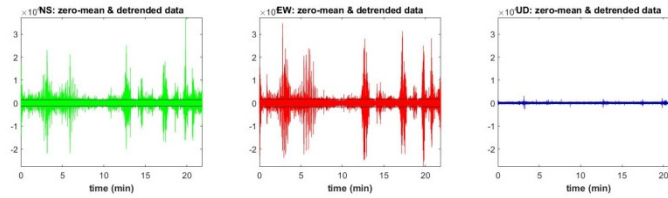
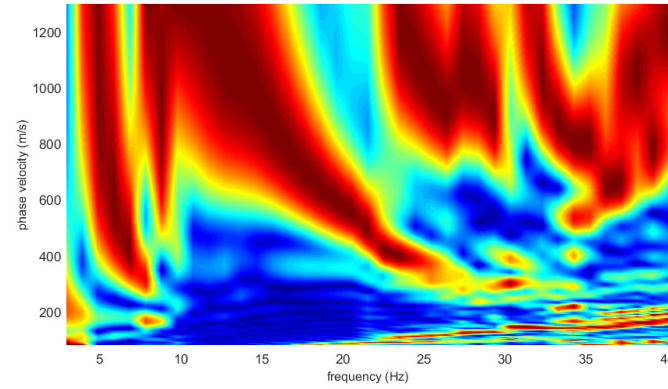


HVSR misura 2



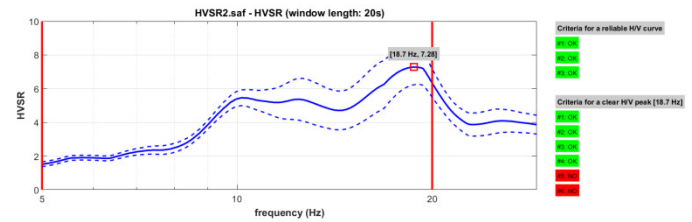
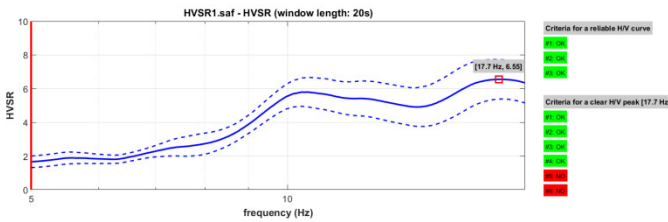
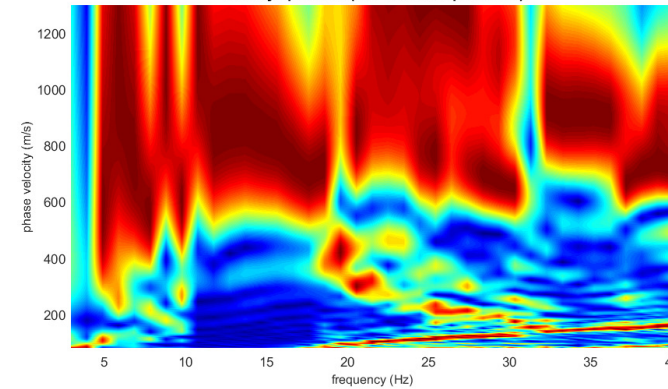
MASW spettro RVF

velocity spectrum (RVF-PHASE-spectrum3)



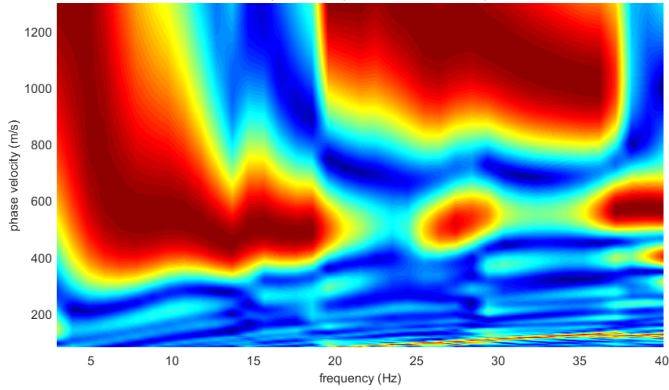
MASW spettro THF

velocity spectrum (THF-PHASE-spectrum1)



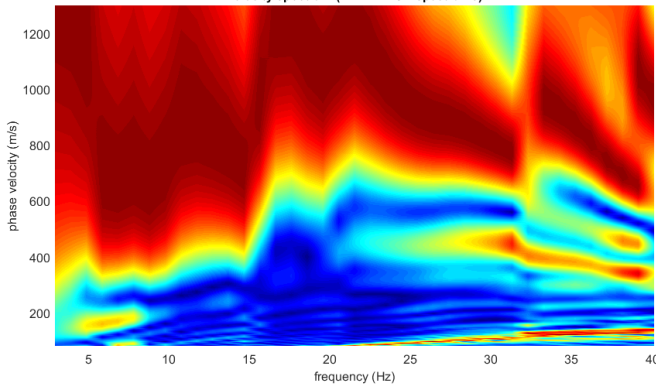
MASW spettro ZVF

velocity spectrum (ZVF-PHASE-spectrum1)



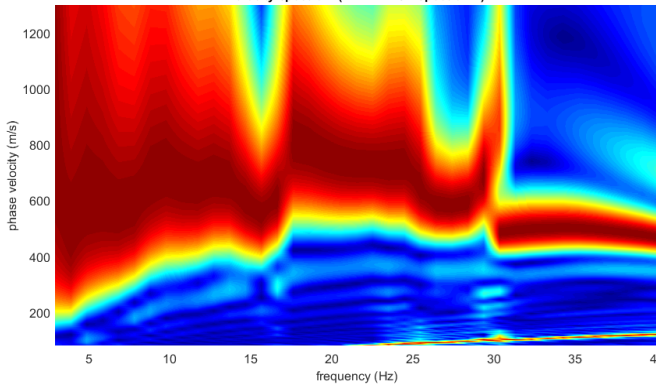
MASW spettro RVF

velocity spectrum (RVF-PHASE-spectrum3)



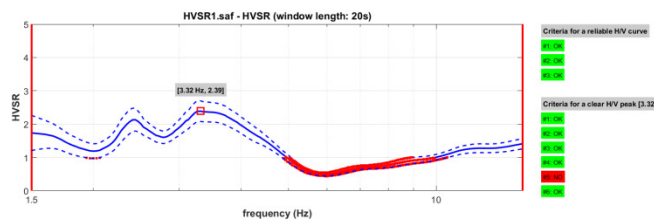
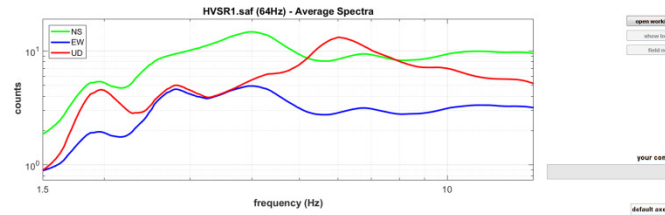
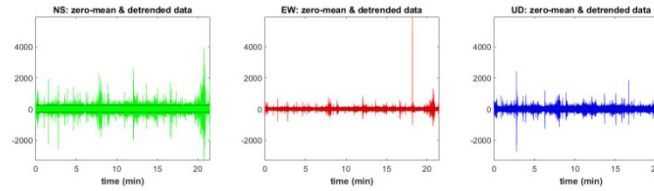
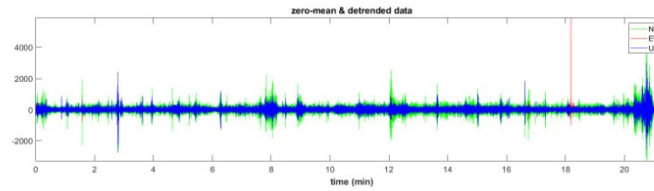
MASW spettro THF

velocity spectrum (THF-PHASE-spectrum1)

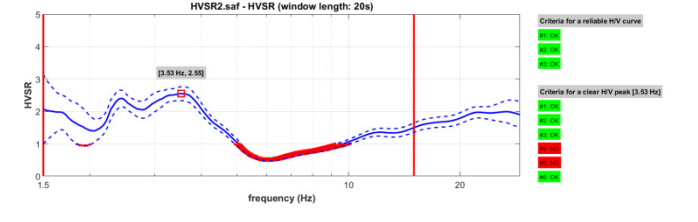
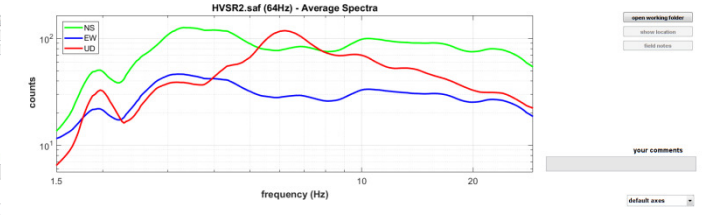
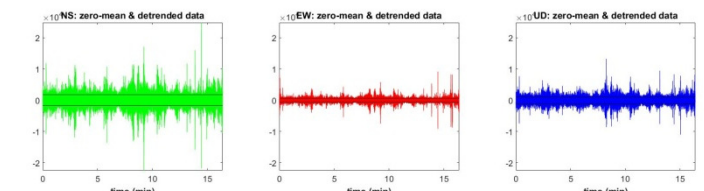
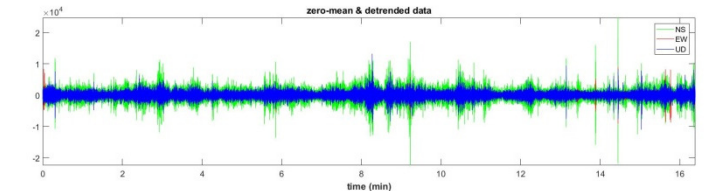


SITO 8: VIA DESERC

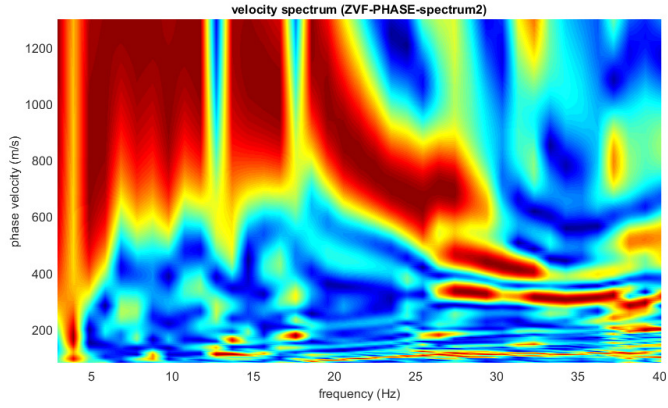
HVSR misura 1



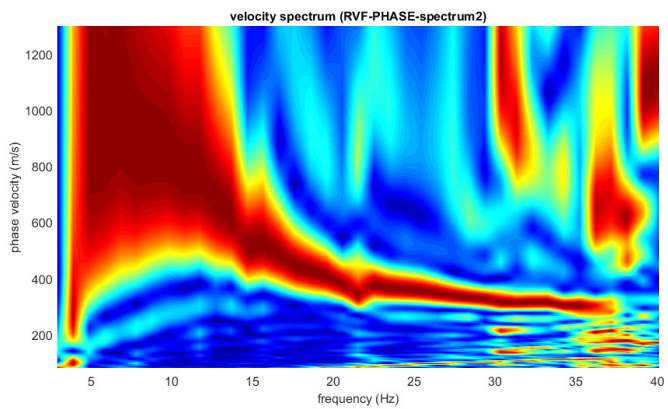
HVSR misura 2



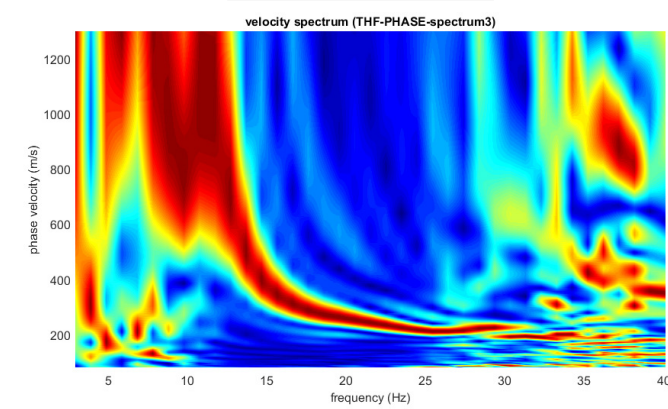
MASW spettro ZVF



MASW spettro RVF

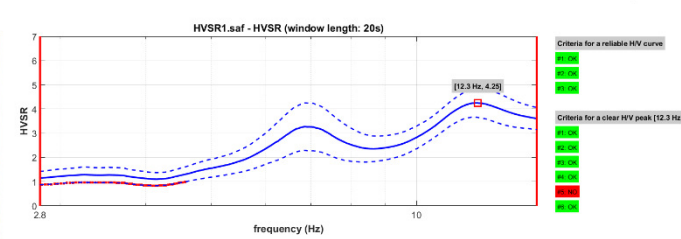
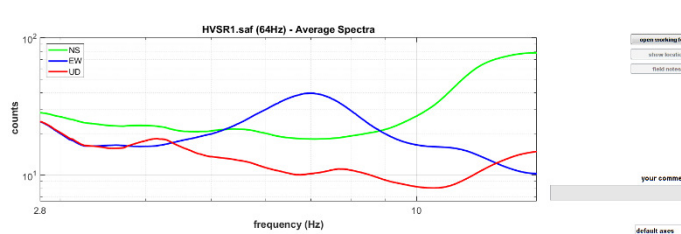
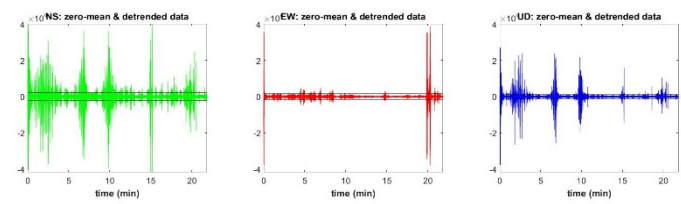
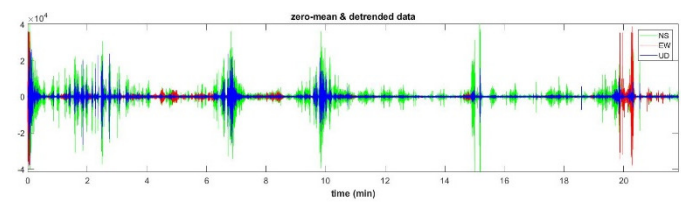


MASW spettro THF

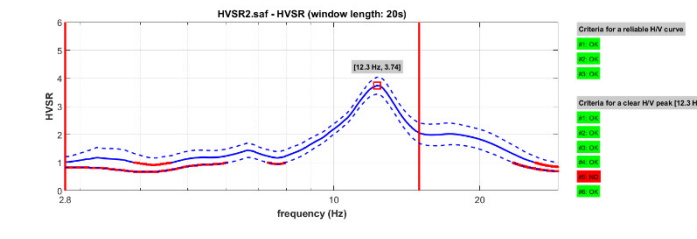
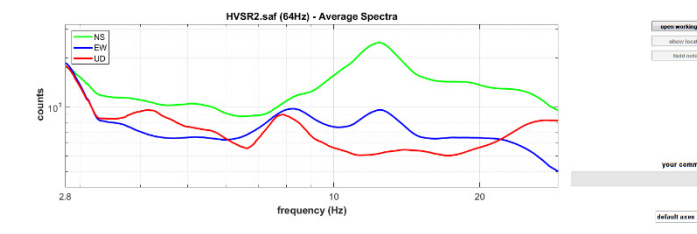
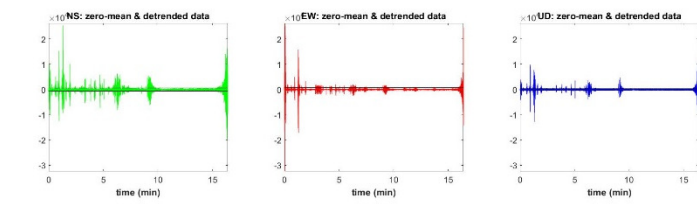
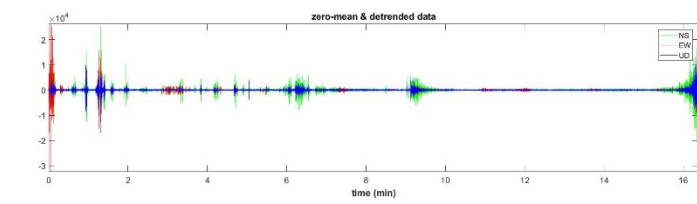


SITO 9: PRAVE

HVSR misura 1



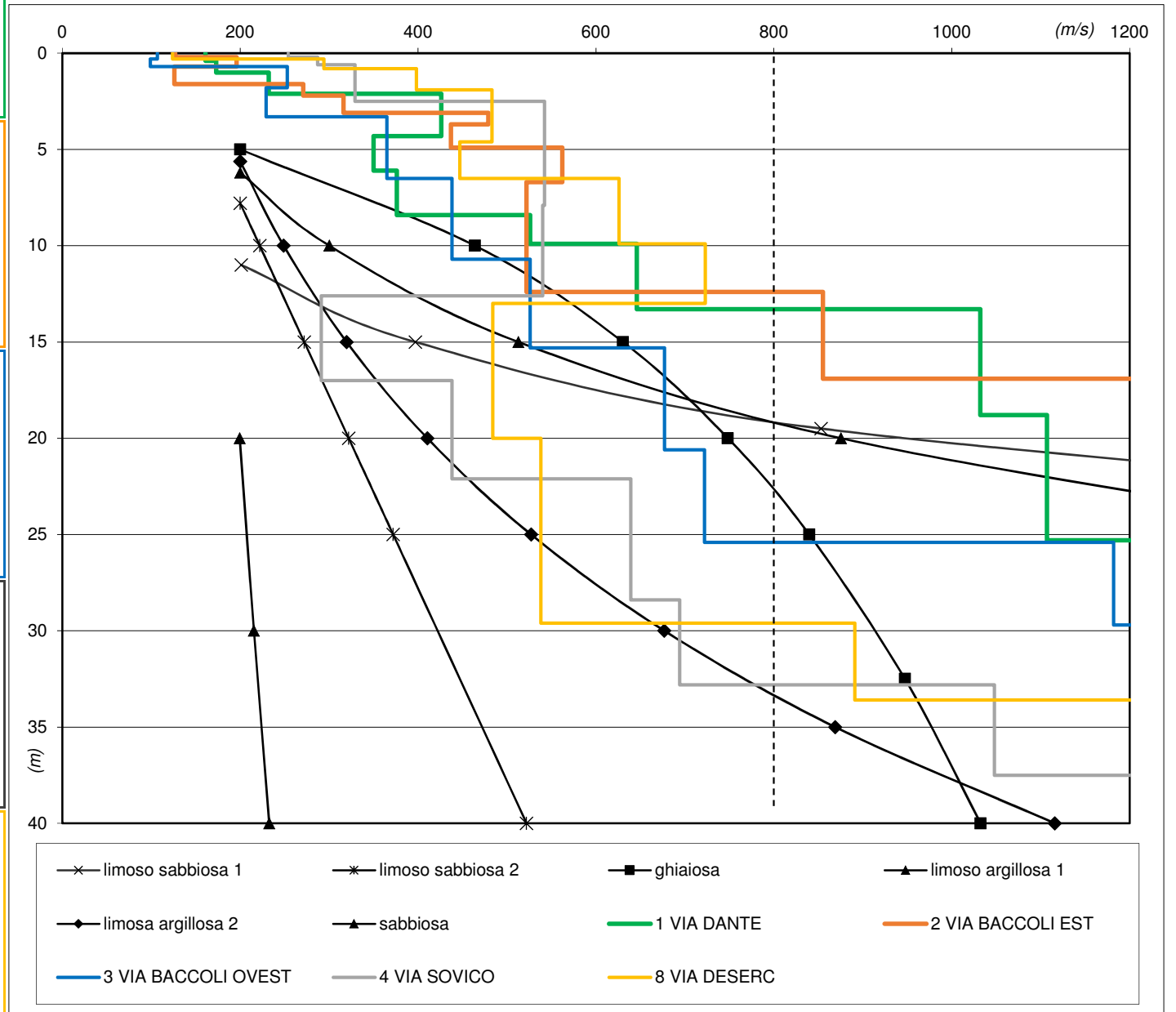
HVSR misura 2



ALLEGATO 3a

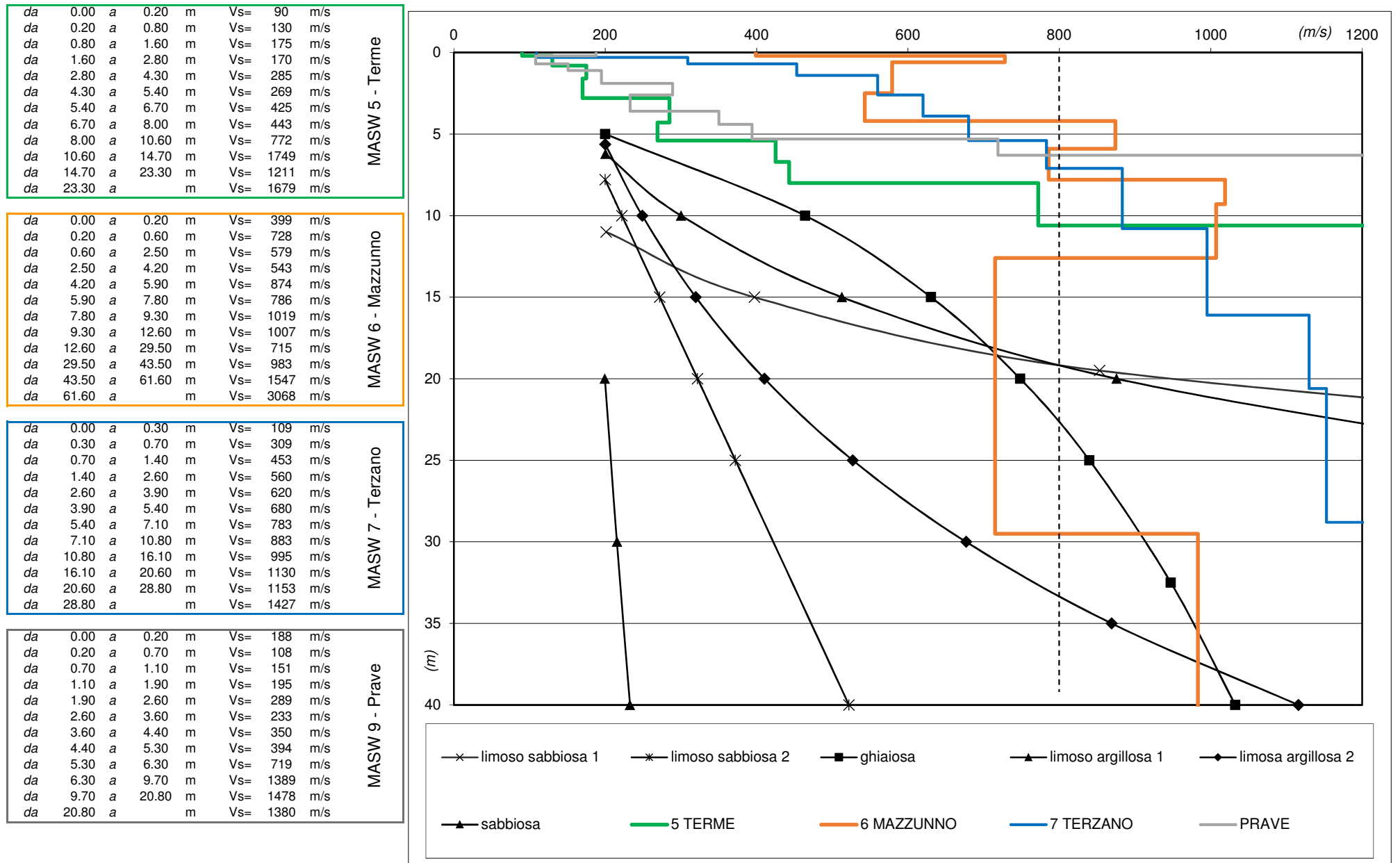
Profili delle velocità sismiche di taglio Vs e confronto con le schede di valutazione della d.g.r. IX/2616

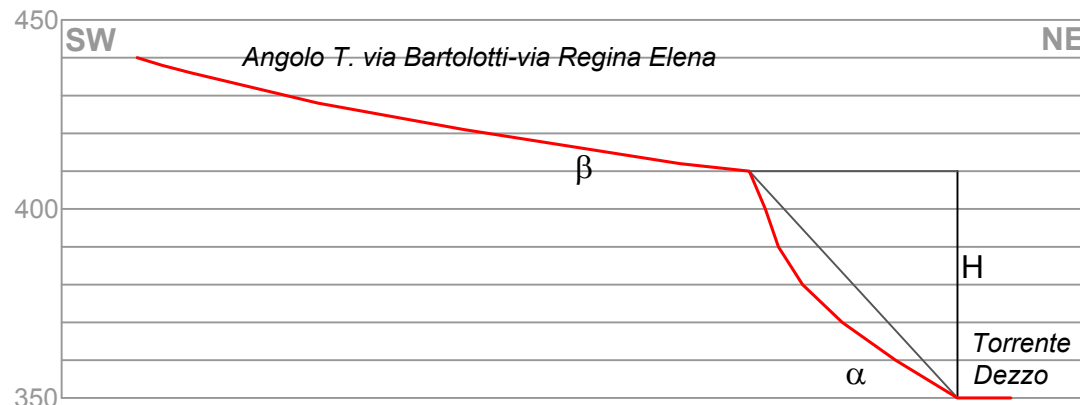
da	0.0	a	0.4	m	Vs=	161	m/s	MASW 1 - Via Dante
da	0.4	a	1.0	m	Vs=	173	m/s	
da	1.0	a	2.1	m	Vs=	232	m/s	
da	2.1	a	4.3	m	Vs=	426	m/s	
da	4.3	a	6.1	m	Vs=	350	m/s	
da	6.1	a	8.4	m	Vs=	376	m/s	
da	8.4	a	9.9	m	Vs=	526	m/s	
da	9.9	a	13.3	m	Vs=	646	m/s	
da	13.3	a	18.8	m	Vs=	1032	m/s	
da	18.8	a	25.3	m	Vs=	1107	m/s	
da	25.3	a	35.3	m	Vs=	1497	m/s	
da	35.3	a		m	Vs=	1837	m/s	
da	0.00	a	0.20	m	Vs=	127	m/s	MASW 2 - Via Baccoli E
da	0.20	a	0.70	m	Vs=	196	m/s	
da	0.70	a	1.60	m	Vs=	126	m/s	
da	1.60	a	2.20	m	Vs=	271	m/s	
da	2.20	a	3.10	m	Vs=	316	m/s	
da	3.10	a	3.70	m	Vs=	479	m/s	
da	3.70	a	4.90	m	Vs=	437	m/s	
da	4.90	a	6.70	m	Vs=	562	m/s	
da	6.70	a	12.40	m	Vs=	522	m/s	
da	12.40	a	16.90	m	Vs=	855	m/s	
da	16.90	a	24.30	m	Vs=	1715	m/s	
da	24.30	a		m	Vs=	2990	m/s	
da	0.00	a	0.30	m	Vs=	107	m/s	MASW 3 - Via Baccoli W
da	0.30	a	0.70	m	Vs=	99	m/s	
da	0.70	a	1.80	m	Vs=	253	m/s	
da	1.80	a	3.30	m	Vs=	229	m/s	
da	3.30	a	6.50	m	Vs=	365	m/s	
da	6.50	a	10.70	m	Vs=	438	m/s	
da	10.70	a	15.30	m	Vs=	526	m/s	
da	15.30	a	20.60	m	Vs=	677	m/s	
da	20.60	a	25.40	m	Vs=	722	m/s	
da	25.40	a	29.70	m	Vs=	1182	m/s	
da	29.70	a	38.20	m	Vs=	1664	m/s	
da	38.20	a		m	Vs=	2442	m/s	
da	0.00	a	0.20	m	Vs=	254	m/s	MASW 4 - Via Sovico
da	0.20	a	0.60	m	Vs=	287	m/s	
da	0.60	a	2.50	m	Vs=	329	m/s	
da	2.50	a	7.90	m	Vs=	542	m/s	
da	7.90	a	12.60	m	Vs=	540	m/s	
da	12.60	a	17.00	m	Vs=	291	m/s	
da	17.00	a	22.10	m	Vs=	438	m/s	
da	22.10	a	28.40	m	Vs=	639	m/s	
da	28.40	a	32.80	m	Vs=	694	m/s	
da	32.80	a	37.50	m	Vs=	1048	m/s	
da	37.50	a	42.40	m	Vs=	1561	m/s	
da	42.40	a		m	Vs=	1959	m/s	
da	0.00	a	0.30	m	Vs=	124	m/s	MASW 8 - Via Deserc
da	0.30	a	0.80	m	Vs=	294	m/s	
da	0.80	a	1.90	m	Vs=	398	m/s	
da	1.90	a	4.60	m	Vs=	483	m/s	
da	4.60	a	6.50	m	Vs=	447	m/s	
da	6.50	a	9.90	m	Vs=	626	m/s	
da	9.90	a	13.00	m	Vs=	723	m/s	
da	13.00	a	20.00	m	Vs=	484	m/s	
da	20.00	a	29.60	m	Vs=	538	m/s	
da	29.60	a	33.60	m	Vs=	891	m/s	
da	33.60	a	45.70	m	Vs=	1526	m/s	
da	45.70	a		m	Vs=	1797	m/s	



ALLEGATO 3b

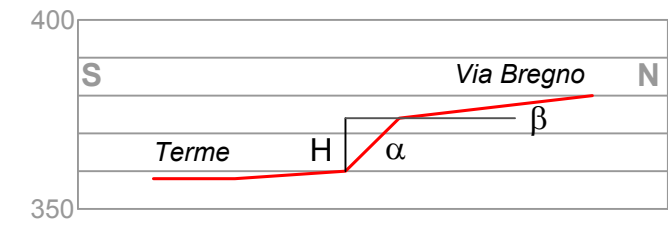
Profili delle velocità sismiche di taglio Vs e confronto con le schede di valutazione della d.g.r. IX/2616





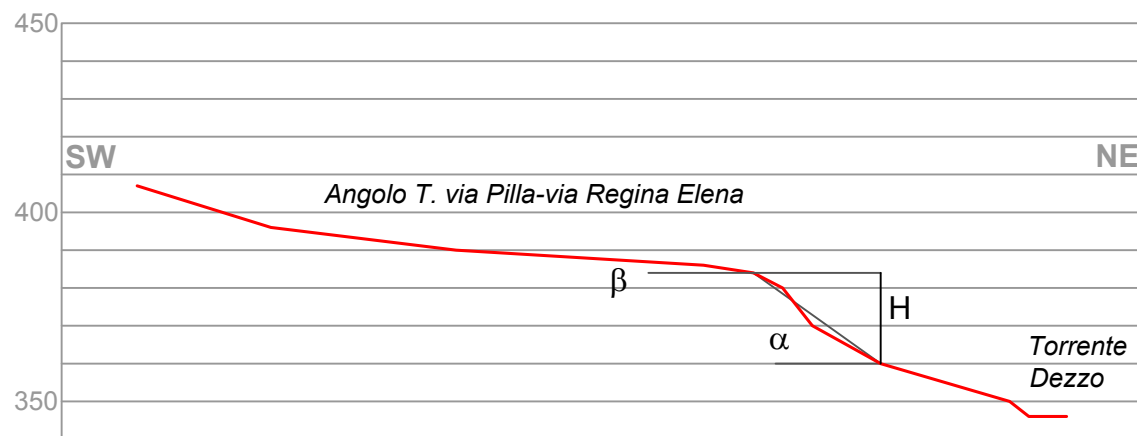
PROFILO 1

H=60m $\alpha=47,5^\circ$
 $\beta=8^\circ (<1/5 \alpha)$
Fa=1,3



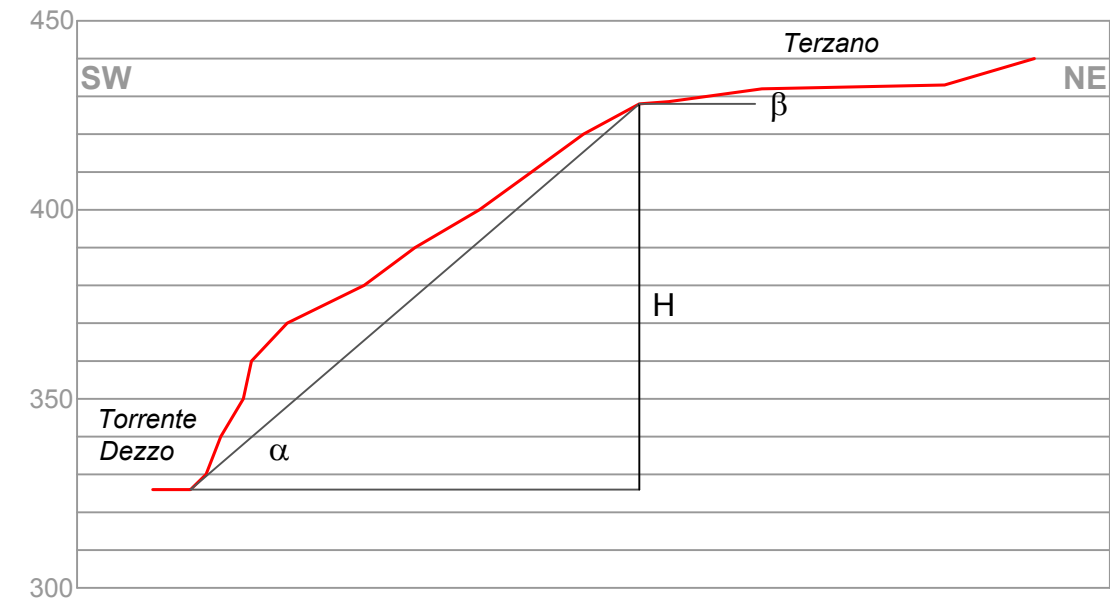
PROFILO 5

H=14m $\alpha=45^\circ$
 $\beta=7^\circ (<1/5 \alpha)$
Fa=1,1



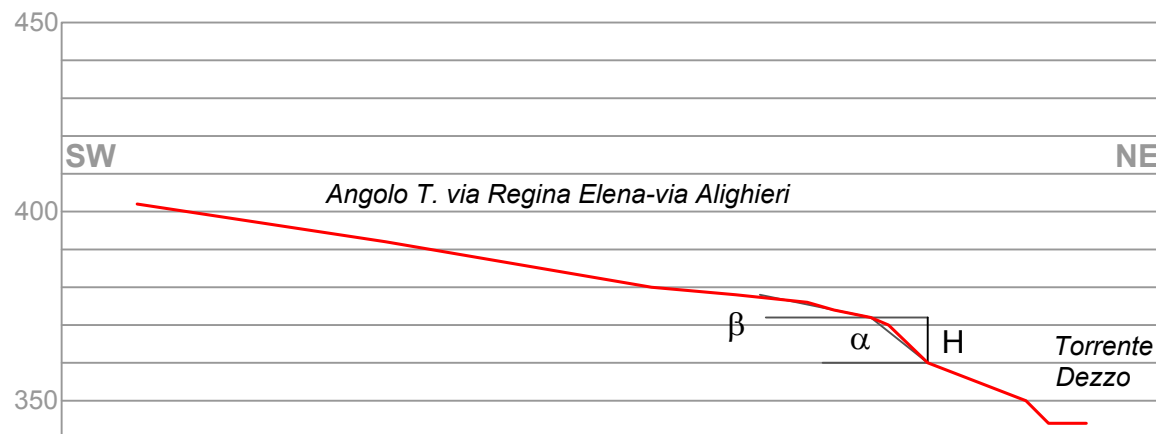
PROFILO 2

H=24m $\alpha=35^\circ$
 $\beta=4^\circ (<1/5 \alpha)$
Fa=1,2



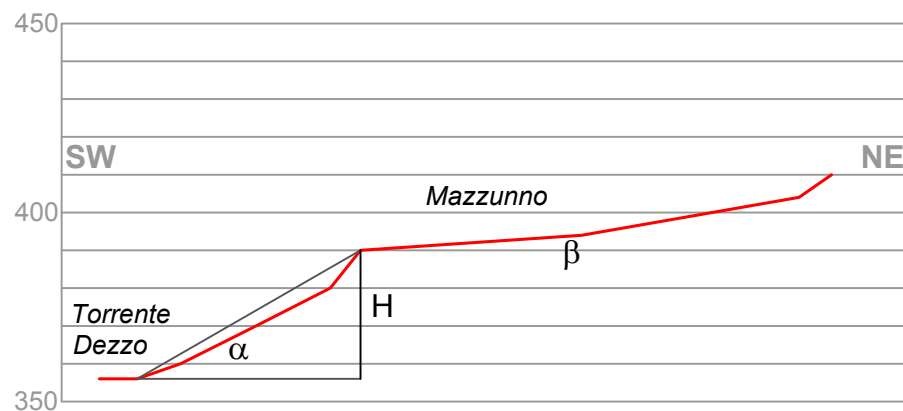
PROFILO 6

H=102m $\alpha=41^\circ$
 $\beta=7^\circ (<1/5 \alpha)$
Fa=1,3



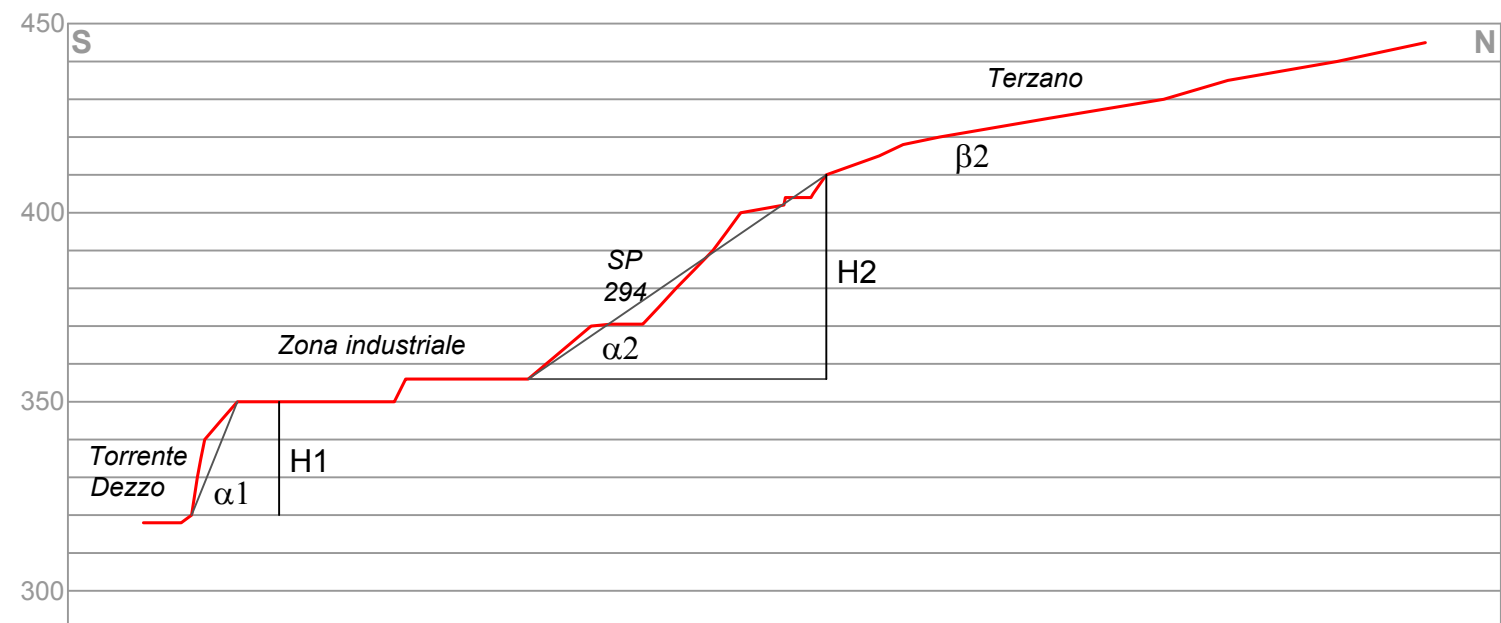
PROFILO 3

H=12m $\alpha=39^\circ$
 $\beta=12^\circ (>1/5 \alpha)$
Fa=1,0



PROFILO 4

H=34m $\alpha=30^\circ$
 $\beta=4^\circ (<1/5 \alpha)$
Fa=1,2



PROFILO 7

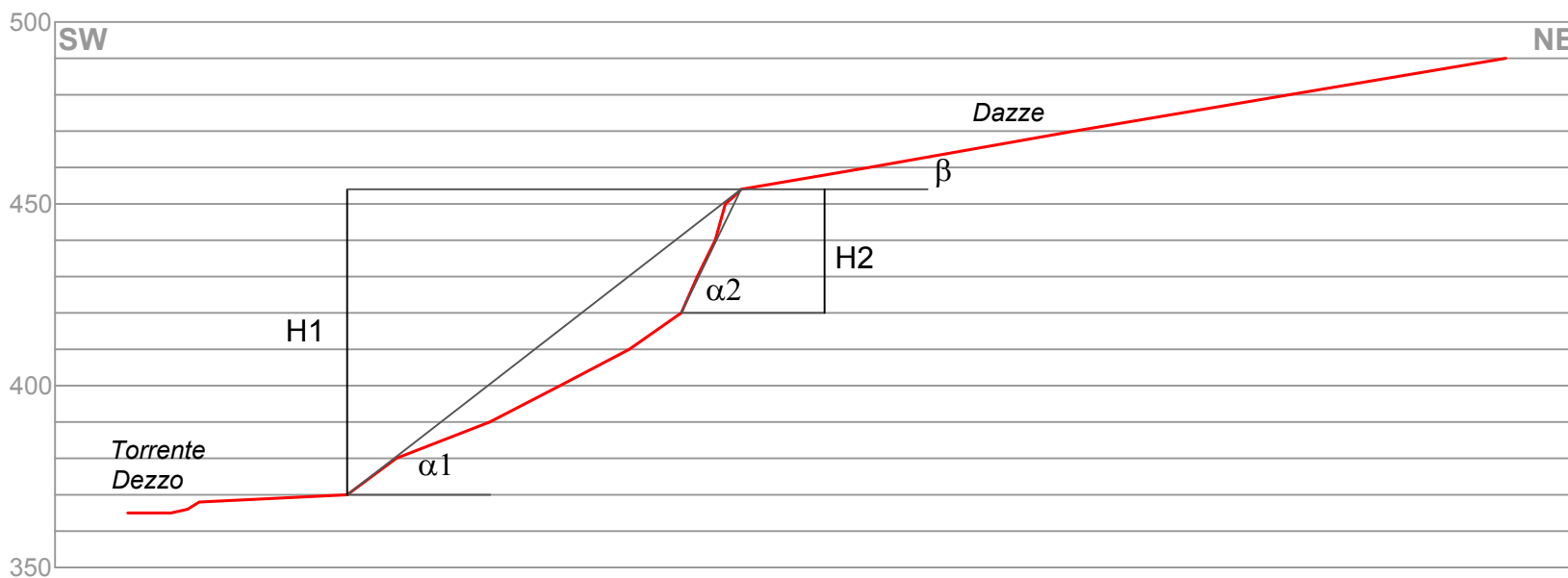
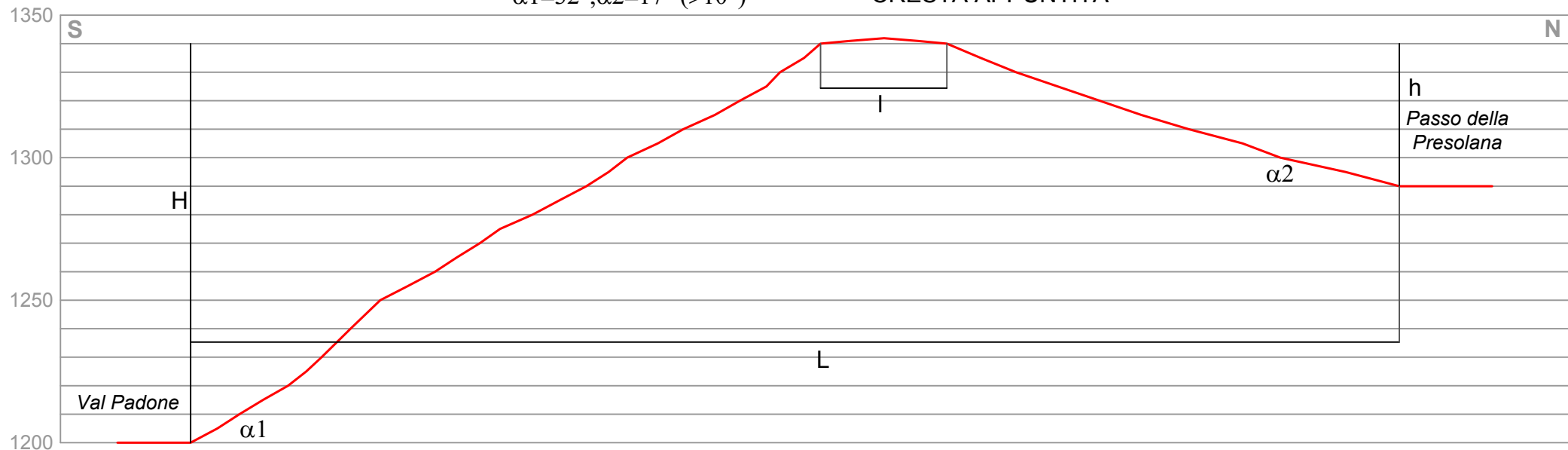
H1=30m $\alpha1=68^\circ$
Fa=1,2
 H2=54m $\alpha2=34^\circ$
 $\beta2=14^\circ (>1/5 \alpha)$
Fa=1,0

PROFILO 11

H=140m h=50m (>1/3H)
 $\alpha_1=32^\circ, \alpha_2=17^\circ (>10^\circ)$

L=425m l=45m (<1/3L)
 CRESTA APPUNTITA

H/L=0,33 Fa=1,4



PROFILO 8

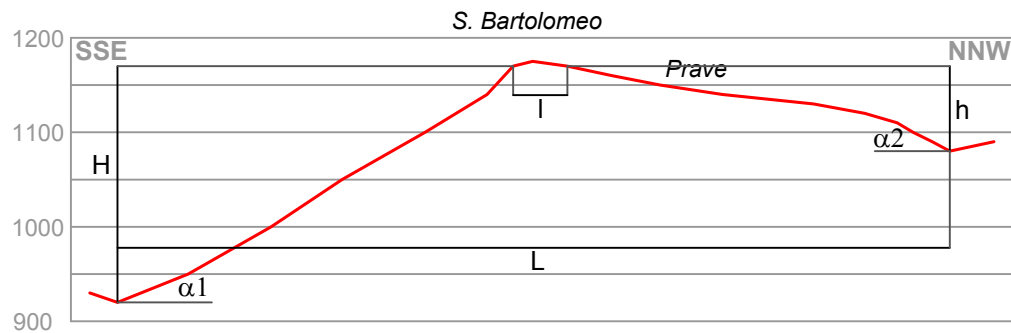
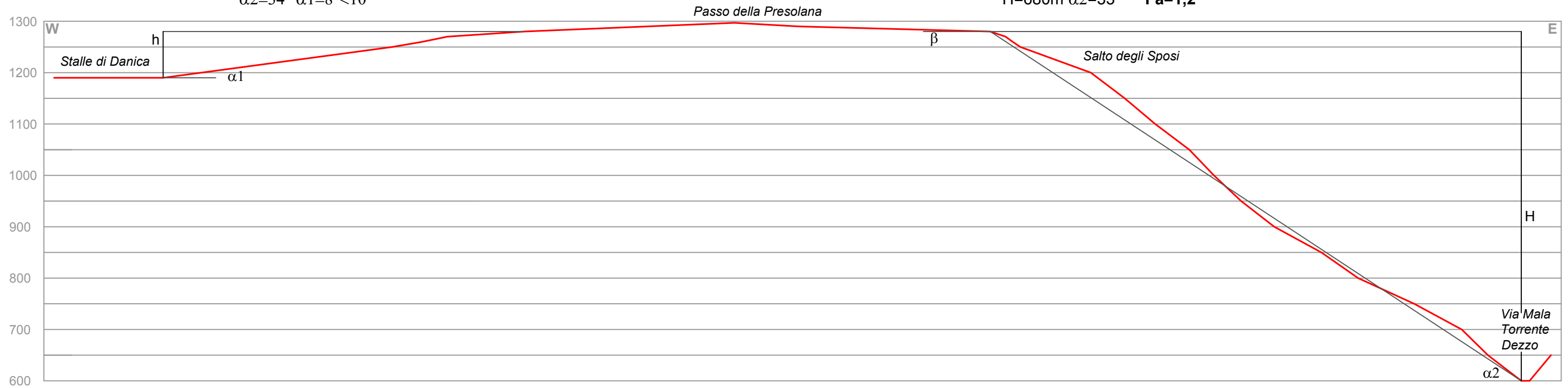
H1=84m $\alpha_1=38^\circ$
 $\beta=9^\circ (>1/5 \alpha)$
 Fa=1,0

H2=34m $\alpha_2=65^\circ$
 $\beta=9^\circ (<1/5 \alpha)$
 Fa=1,2

PROFILO 10

H=680m h=90m (<1/3H) NO CRESTA
 $\alpha_2=34^\circ$ $\alpha_1=8^\circ < 10^\circ$

SCARPATA: $\beta=2^\circ (<1/5 \alpha_2)$
 H=680m $\alpha_2=33^\circ$ **Fa=1,2**

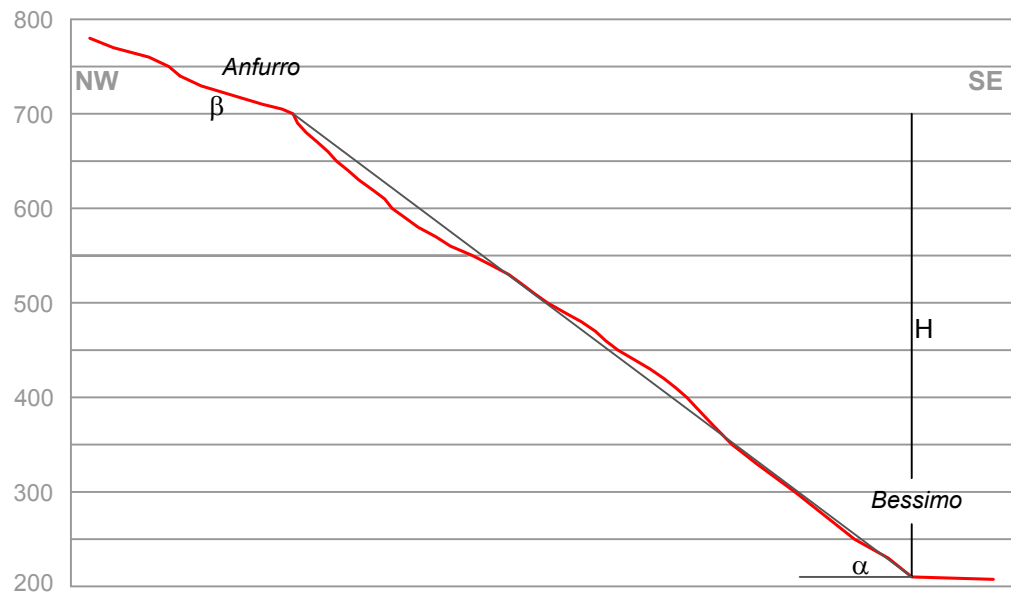
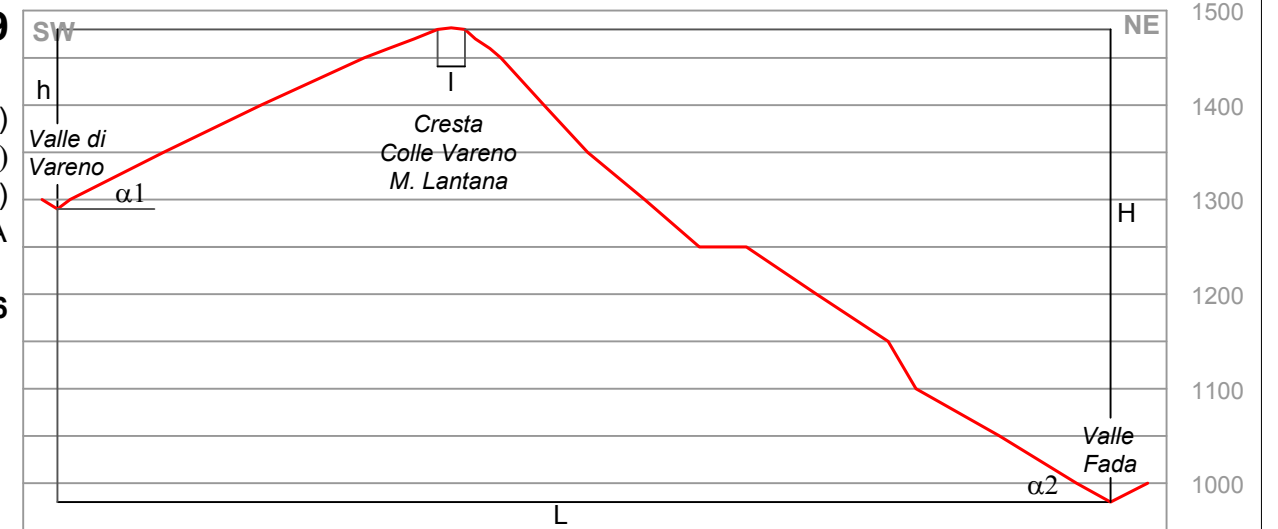


PROFILO 12

H=250m h=90m (>1/3H)
 $\alpha_1=31^\circ$, $\alpha_2=15^\circ (>10^\circ)$
 L=880m l=60m (<1/3L)
 CRESTA APPUNTITA
 H/L=0,28 **Fa=1,4**

PROFILO 9

H=500m h=190m (>1/3H)
 $\alpha_1=25^\circ$, $\alpha_2=36^\circ (>10^\circ)$
 L=1115m l=30m (<1/3L)
 CRESTA APPUNTITA
 H/L=0,45 **Fa=1,6**

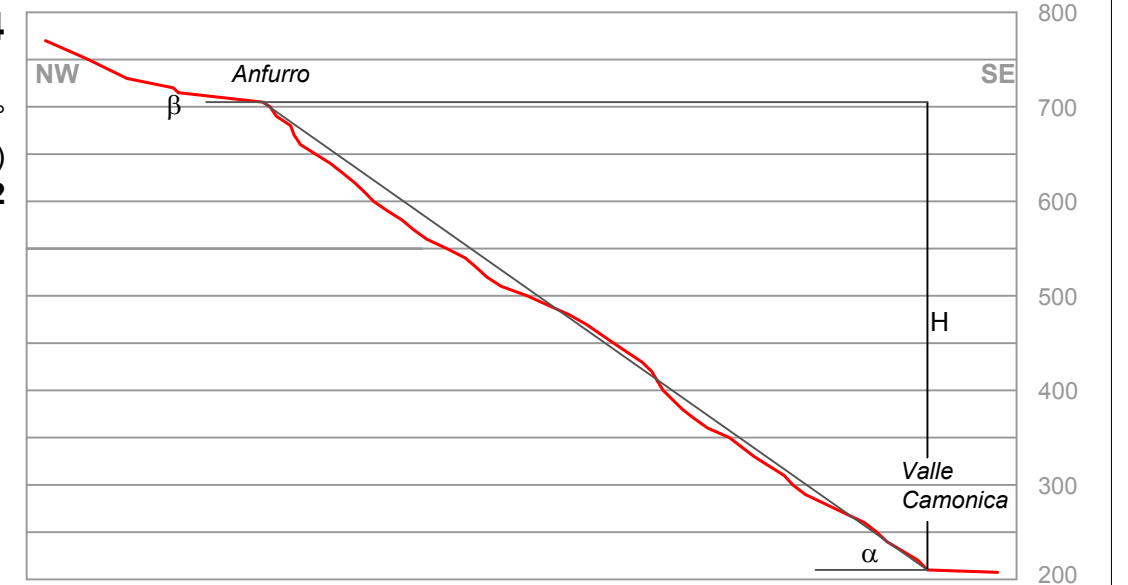


PROFILO 13

H=490m $\alpha=37^\circ$
 $\beta=17^\circ (>1/5 \alpha)$
Fa=1,0

PROFILO 14

H=495m $\alpha=35^\circ$
 $\beta=6,5^\circ (<1/5 \alpha)$
Fa=1,2



ALLEGATO 5

ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO - CRESTE

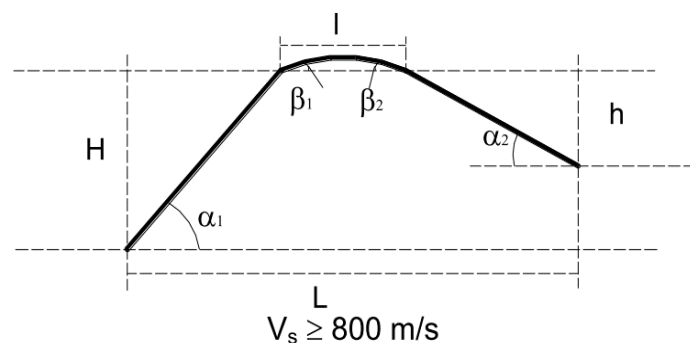
sezione	α_1	α_2	h	H	l	L	L/3	H/L	H/3	Fa	forma	cat DM 20-2-18
9 Colle Vareno	25	36	190	500	30	1115	371.7	0.45	166.7	1.6	appuntita	T4
10 Passo della Presolana E-W	7	33	90	680	910	2650	883.3	0.26	226.7	1.0	NO CRESTA	T2
11 Passo della Presolana N-S	32	17	50	140	45	425	141.7	0.33	46.7	1.4	appuntita	T4
12 Prave	31	15	90	250	60	880	293.3	0.28	83.3	1.4	appuntita	T4

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA
 $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$



	L > 350	250 < L < 350	150 < L < 250	L < 150
Creste Appuntite	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.93H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.73H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.40H/L}$
Creste Arrotondate	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.47H/L}$			

ALLEGATO 6

ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO - SCARPATE

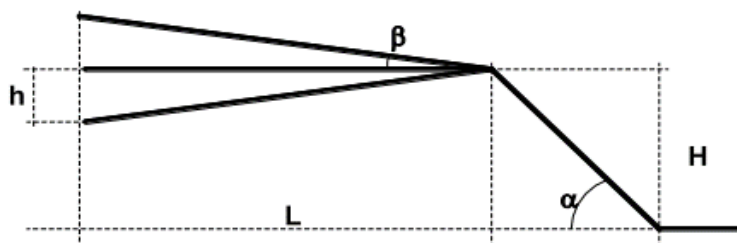
sezione	H (m)	l (m)	α (°)	β (°)	$A_i=H$ (m)	$A_i=3H/4$ (m)	$A_i=2H/3$ (m)	Fa	cat DM 20-2-18
1 Angolo	60	55	47.5	8.0			40.0	1.3	T2
2 Angolo	24	34	35.2	4.0		18.0		1.2	T2
3 Angolo	12	15	38.7	12.0	no scarpata			1	T1
4 Mazzunno	34	59	30.0	4.0		25.5		1.2	T2
5 Via Bregno	14	14	45.0	7.0	14			1.1	T2
6 Terzano	102	119	40.6	7.0			68.0	1.3	T2
7 Zona Industriale	30	12	68.2	0.0		22.5		1.2	T2
7 Terzano	54	79	34.4	14.0	no scarpata			1	T1
8 Dazze	84	108	37.9	9.0	no scarpata			1	T1
8 Dazze	34	16	64.8	9.0		25.5		1.2	T2
10 Passo Presolana	680	1035	33.3	2.0			453.3	1.2	T2
13 Anfurro	490	655	36.8	17.0	no scarpata			1	T1
14 Anfurro	495	704	35.1	6.5			330.0	1.2	T2

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

$H \geq 10 \text{ m}$

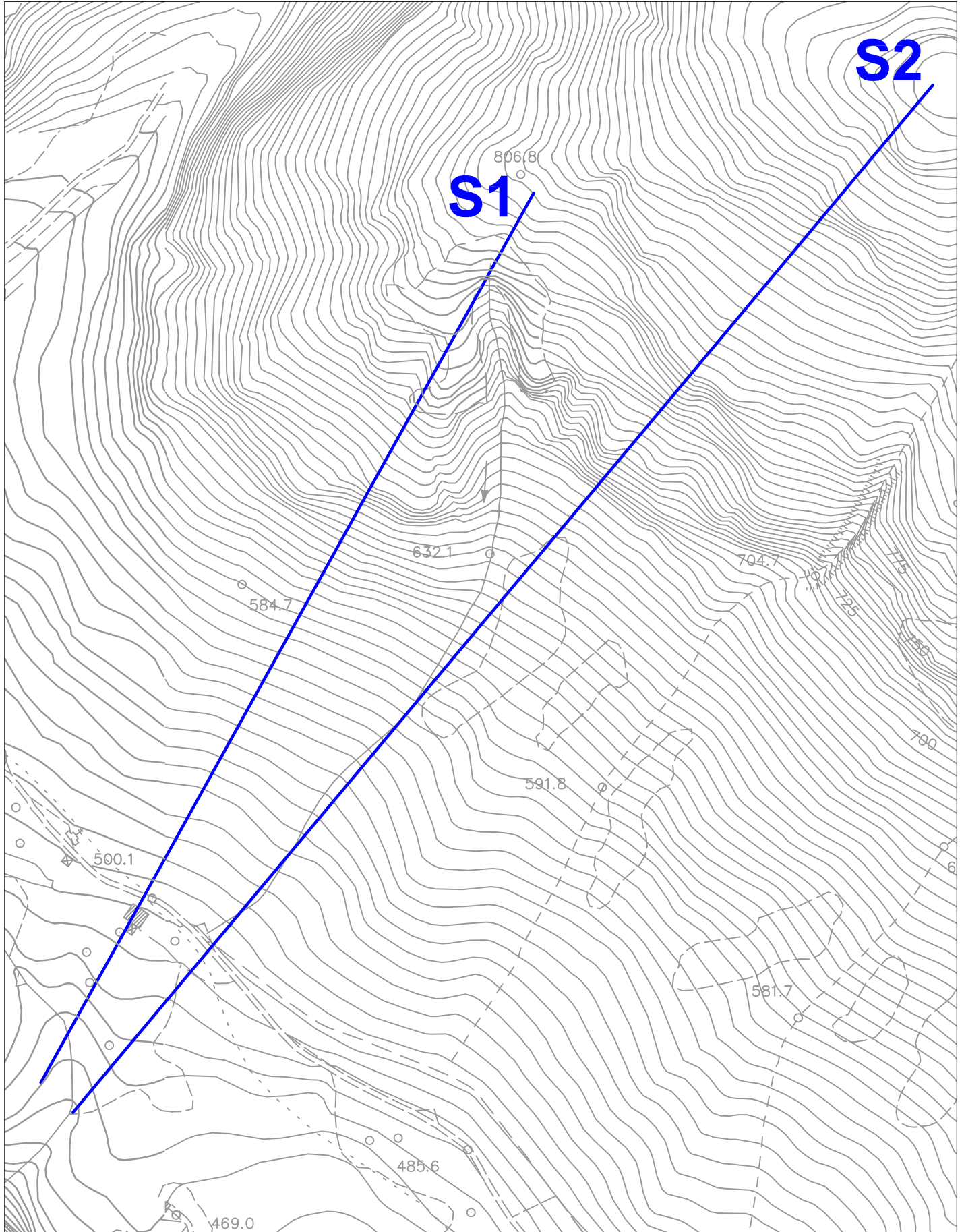
$\alpha \geq 10^\circ$

$L \approx H$ oppure $L > 15-20 \text{ m}$



- profili impostati nel substrato roccioso
- profili impostati in depositi superficiali
- profili impostati in parte nel substrato roccioso ed in parte in roccia

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $Fa_{0.1-0.5}$	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	



Scala 1:2.500



S1



Traccia delle sezioni

ALLEGATO 7:

TRACCIA DELLE SEZIONI

ALLEGATO 8 - MODELLAZIONE DELLE TRAIETTORIE DI CADUTA DEI BLOCCHI – TABELLE RIASSUNTIVE**SEZIONE 1****Dati Pendio**

<i>N</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Materiale</i>
1	0.0	750.0	Roccia integra
2	34.0	736.0	Roccia integra
3	50.0	720.0	Roccia alterata
4	60.0	714.0	Roccia integra
5	70.0	700.0	Roccia integra
6	100.0	676.0	Roccia integra
7	110.0	650.0	Roccia alterata
8	144.0	600.0	Detrito vegetato
9	180.0	575.0	Detrito vegetato
10	240.0	540.0	Detrito con arbusti
11	260.0	530.0	Detrito con arbusti
12	270.0	525.0	Detrito con arbusti
13	310.0	510.0	Detrito vegetato
14	334.0	500.0	Terreno o prato
15	376.0	490.0	Terreno o prato
16	402.0	478.0	Terreno o prato
17	440.0	475.0	Terreno o prato

Caratteristiche dei materiali lungo il pendio

<i>Descrizione</i>	<i>Rn</i>	<i>Rt</i>	<i>Rugosità (m)</i>
Roccia integra	0,65	0,7	0,2
Roccia alterata	0,55	0,6	0,25
Detrito vegetato	0,18	0,28	0,35
Detrito con arbusti	0,2	0,3	0,5
Terreno o prato	0,17	0,27	0,05

Caratteristiche dei blocchi modellati (forma sferica)

<i>diametro</i>	<i>volume</i>	<i>densità</i>	<i>massa</i>	<i>elasticità</i>	<i>Velocità iniziale in x</i>	<i>Velocità iniziale in x</i>	<i>Velocità minima di arresto</i>
<i>(m)</i>	<i>(m³)</i>	<i>(kN/m³)</i>	<i>(kg)</i>	<i>kPa</i>	<i>m/s</i>	<i>m/s</i>	<i>m/s</i>
1,0	0,5	26,5	1.325,0	98066	0,3	-0,3	0,01
1,25	1,0		2.650,0				
2,675	10,0		26.500,0				

Elaborazioni statistiche

	<i>V=0,5 m³</i> <i>Modale minore</i>	<i>V=1,0 m³</i> <i>Modale maggiore</i>	<i>V=10,0 m³</i> <i>Massimo</i>
Velocità massima (m/s)	33,249	33,601	32,167
Velocità minima (m/s)	0,846	0,843	2,536
Velocità media (m/s)	10,21	11,984	19,047
Scarto quadratico medio (m/s)	4,335	0,964	0,0
Energia massima pre-impatto (kJ)	733,369	1437,516	13448,75
Energia media pre-impatto (kJ)	87,501	203,617	3614,03
Scarto quadratico energia (kJ)	84,342	164,46	0,0
Ascissa media di arresto (m)	277,3	29,046	337,2
Ascissa di arresto 70% blocchi (m)	283,0	304,0	339,0
Ascissa di arresto 95% blocchi (m)	300,0	335,0	340,0
Ascissa massima raggiunta (m)	338,9	347,5	342,2

SEZIONE 2**Dati Pendio**

<i>N</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Materiale</i>
1	0.0	950.0	Roccia integra
2	100.0	850.0	Roccia alterata
3	140.0	825.0	Roccia integra
4	170.0	800.0	Roccia integra
5	190.0	775.0	Roccia integra
6	198.0	750.0	Roccia alterata
7	225.0	725.0	Roccia integra
8	245.0	675.0	Detrito vegetato
9	276.0	650.0	Detrito vegetato
10	312.0	625.0	Detrito vegetato
11	346.0	600.0	Detrito vegetato
12	382.0	575.0	Detrito con arbusti
13	420.0	550.0	Detrito vegetato
14	476.0	525.0	Detrito vegetato
15	530.0	500.0	Terreno o prato
16	594.0	485.0	Terreno o prato
17	662.0	465.0	Terreno o prato

Caratteristiche dei materiali lungo il pendio

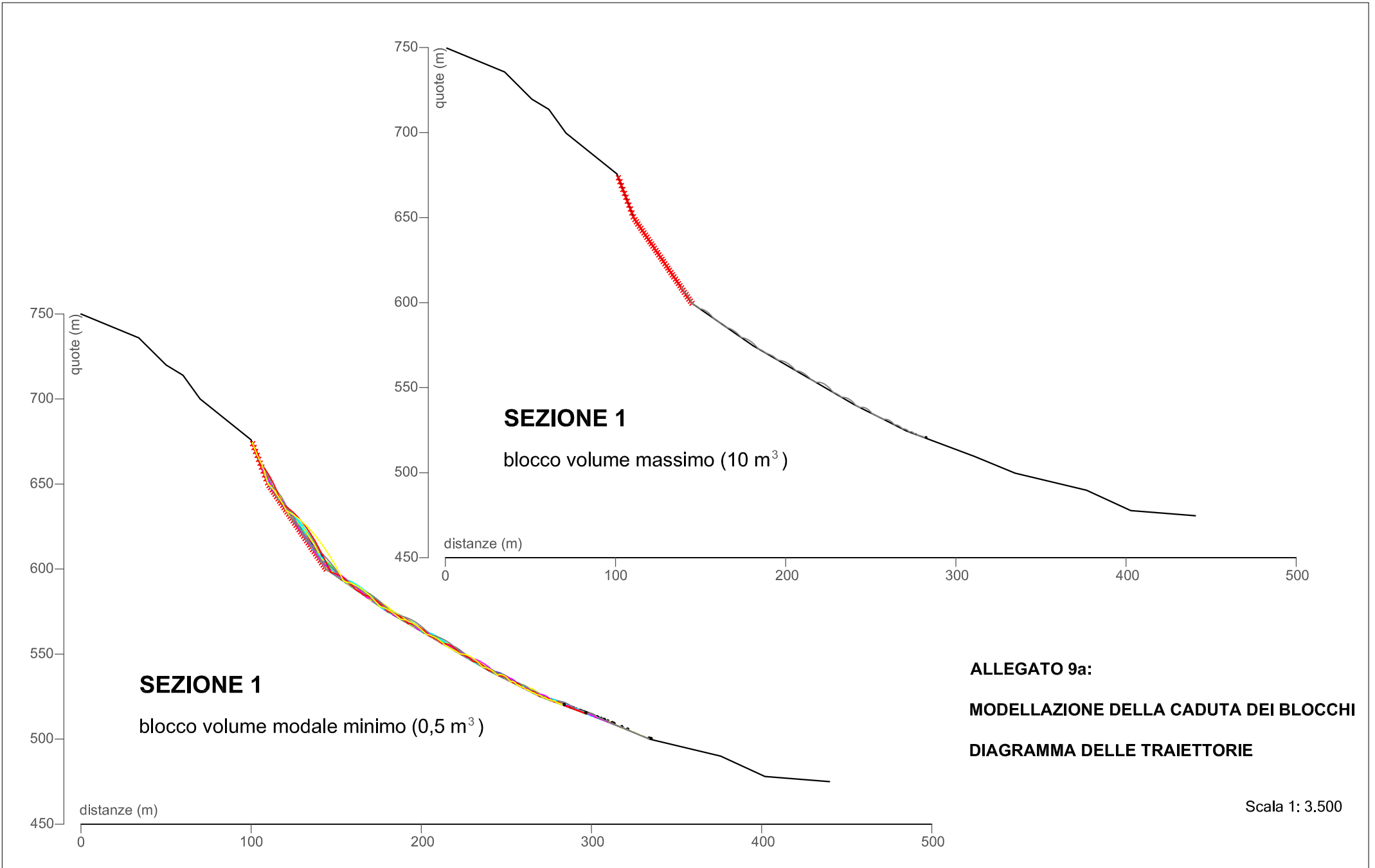
<i>Descrizione</i>	<i>Rn</i>	<i>Rt</i>	<i>Rugosità (m)</i>
Roccia integra	0,65	0,75	0,2
Roccia alterata	0,55	0,6	0,25
Detrito vegetato	0,18	0,28	0,3
Detrito con arbusti	0,2	0,3	0,4
Terreno o prato	0,17	0,3	0,05

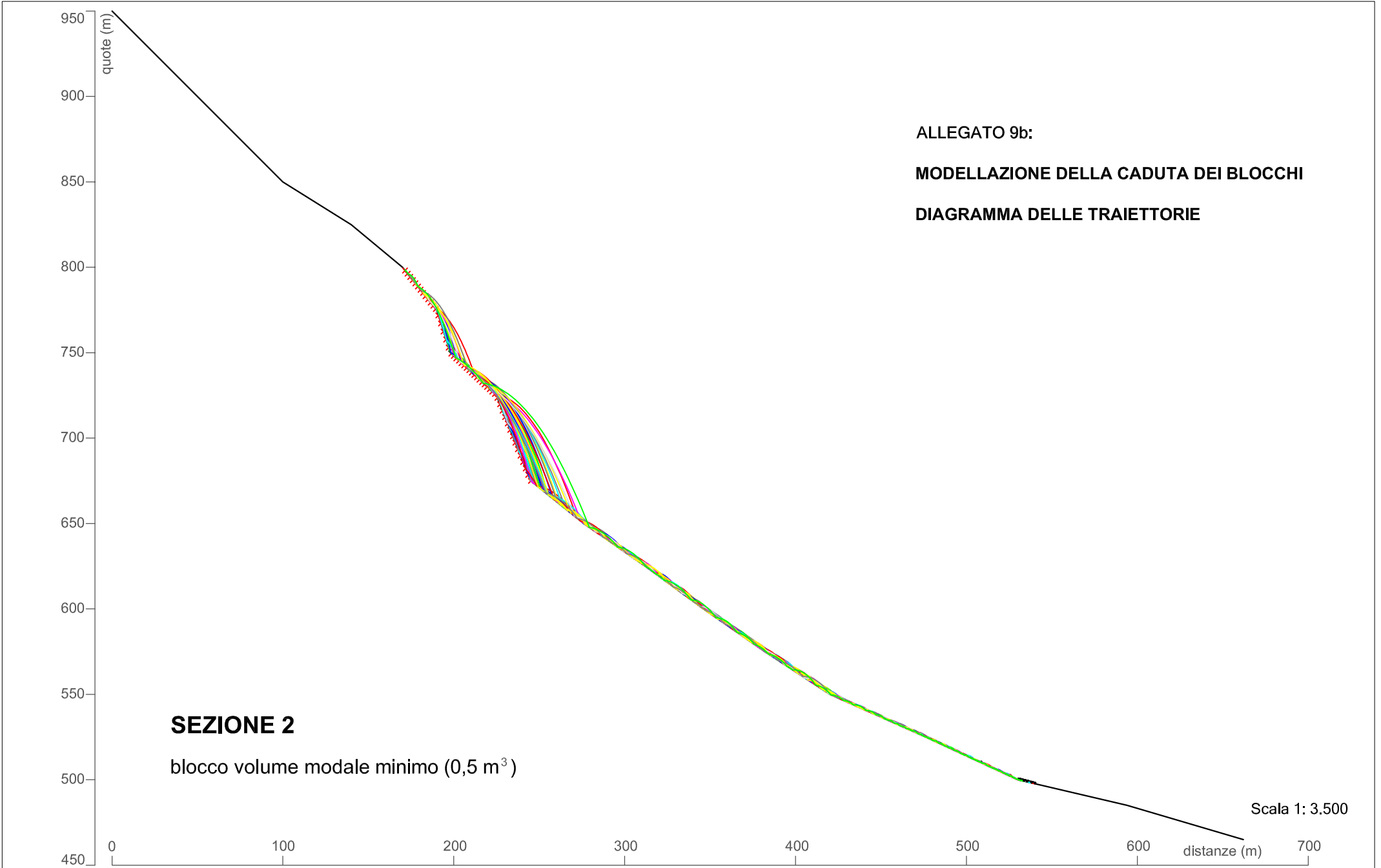
Caratteristiche dei blocchi modellati (forma sferica)

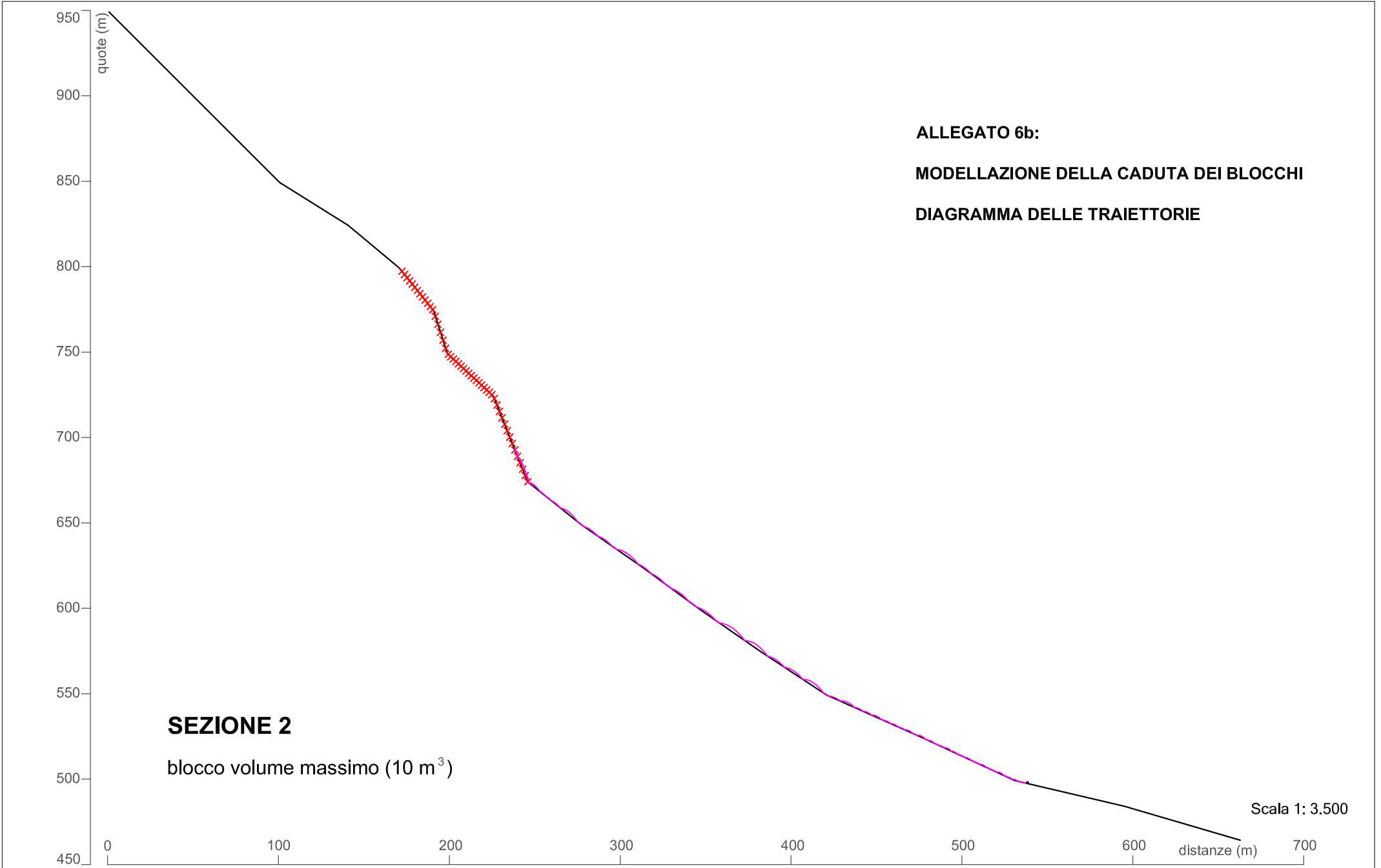
<i>diametro</i>	<i>volume</i>	<i>densità</i>	<i>massa</i>	<i>elasticità</i>	<i>Velocità iniziale in x</i>	<i>Velocità iniziale in y</i>	<i>Velocità minima di arresto</i>
<i>(m)</i>	<i>(m³)</i>	<i>(kN/m³)</i>	<i>(kg)</i>	<i>kPa</i>	<i>m/s</i>	<i>m/s</i>	<i>m/s</i>
1,0	0,5	26,5	1.325,0	98066	0,3	-0,3	0,01
1,25	1,0		2.650,0				
2,675	10,0		26.500,0				

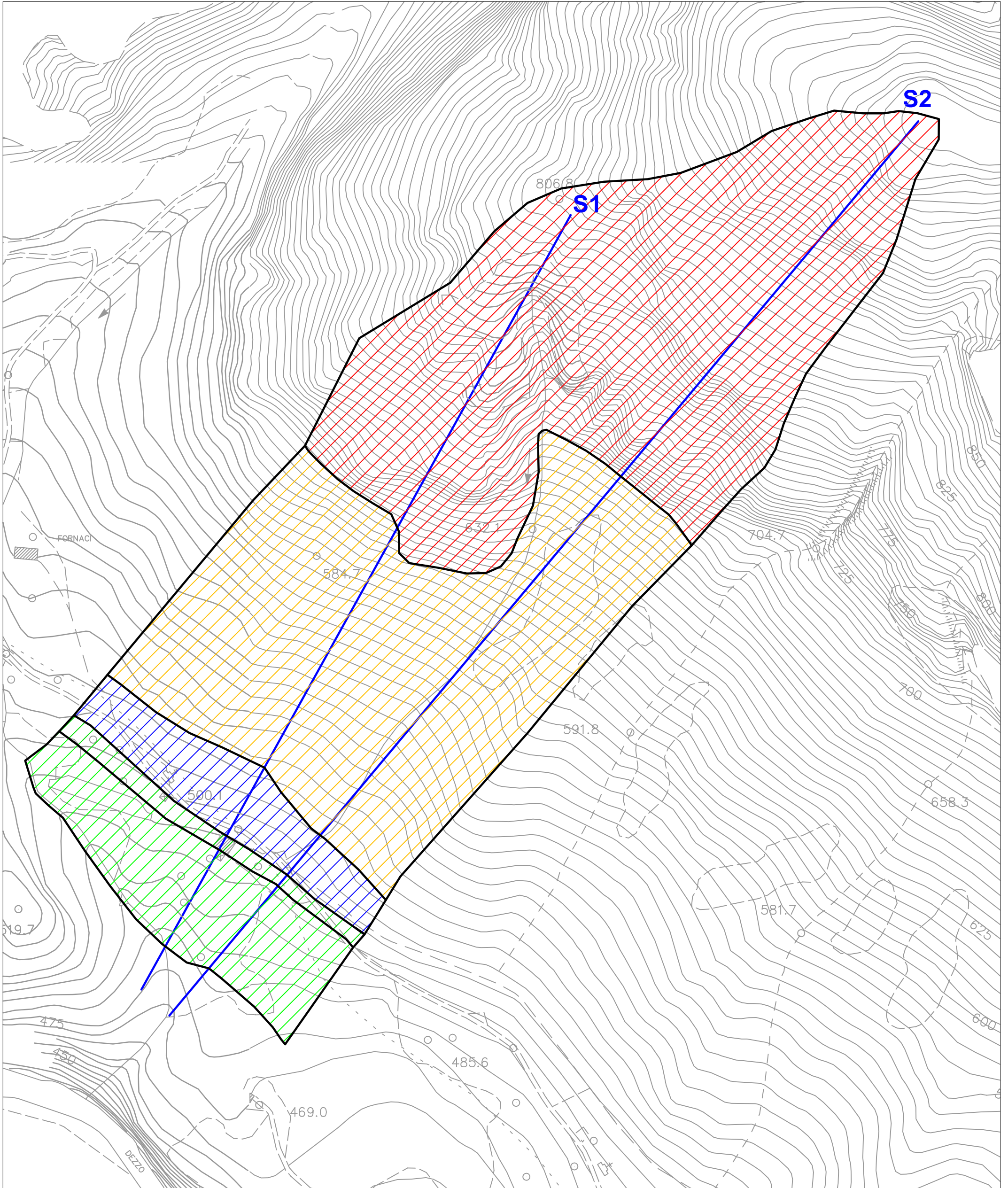
Elaborazioni statistiche

	<i>V=0,5 m³ Modale minore</i>	<i>V=1,0 m³ Modale maggiore</i>	<i>V=10,0 m³ Massimo</i>
Velocità massima (m/s)	45,164	45,922	44,691
Velocità minima (m/s)	1,458	1,916	2,56
Velocità media (m/s)	21,591	21,621	28,98
Scarto quadratico medio (m/s)	0,0	0,0	0,0
Energia massima pre-impatto (kJ)	1302,12	2629,826	24941,51
Energia media pre-impatto (kJ)	188,891	416,073	5948,544
Scarto quadratico energia (kJ)	86,934	117,8	0,0
Ascissa media di arresto (m)	522,716	526,44	522,122
Ascissa di arresto 70% blocchi (m)	534,0	538,0	536,0
Ascissa di arresto 95% blocchi (m)	538,0	540,0	537,0
Ascissa massima raggiunta (m)	545,1	544,2	539,0

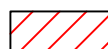




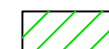








Aree a pericolosità potenziale per caduta di blocchi rocciosi

-  Aree sorgente - pericolosità molto alta (H5)
-  Aree di accumulo a pericolosità molto alta (H4)
-  Aree di accumulo a pericolosità media (H3)

-  Aree di accumulo a pericolosità bassa (H2)
-  Aree di accumulo a pericolosità molto bassa (H1)
-  S1 Traccia delle sezioni

ALLEGATO 10:
ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITA'
PRELIMINARE E FINALE

Scala 1:2.000 0 20 100 m