

Adozione DCC n. 23 del 20/12/2024

Approvazione DCC n. 10 del 05/06/2025

BURL n. 47 del 19/11/2025



COMUNE DI ARDESIO

Provincia di Bergamo

Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio in attuazione dell'art. 57 L.R. 11-03-2005 n. 12

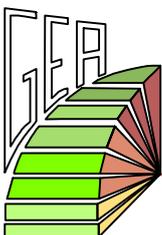
TITOLO ELABORATO

RELAZIONE TECNICA

N. PRATICA	TIPOLOGIA	FASE PROG.	SCALA	ELABORATO
20_083	PGT	-	-	A

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE
0	Agosto 2024	Prima emissione
1	Dicembre 2024	Aggiornamento in specifica delle modifiche alle aree PAI per pericolosità da valanghe
2	Maggio 2025	Aggiornamento a seguito del parere di Regione Lombardia
3	-	-

PROGETTISTI



Studio G.E.A.
24020 RANICA (Bergamo)
Via La Patta, 30/d
Telefono e Fax: 035.340112
E - Mail: gea@mediacom.it

Dott. Geol. SERGIO GHILARDI
iscritto all' O.R.G. della Lombardia n. 258



Dott. Ing. FRANCESCO GHILARDI
iscritto Ord. Ing. Prov. BG n. 3057



SOMMARIO

1. PREMESSA	4
1.1. Obiettivi e quadro normativo di riferimento	4
1.2. Articolazione del lavoro e rapporti con gli studi geologici precedenti ..	6
2. REVISIONE DELLE CARTOGRAFIE DI ANALISI	9
2.1. Carta litostrutturale e litotecnica	9
2.2. Sezioni geologiche.....	10
2.3. Carta geomorfologica e dei processi geomorfici in atto	11
2.3.1. Valanga di Ludrigno del 2014	22
2.3.2. Crollo della scarpata in roccia presso il Ponte delle Seghe, 2019	25
2.3.3. Frana tornanti via Acqualina, 2021	28
2.3.4. Evento alluvionale in Valcanale si settembre 2023	30
2.3.5. Esondazione valle giugno 2024	35
2.3.6. Eventi alluvionali di settembre ed ottobre 2024.....	36
2.4. Aggiornamento del quadro dissesti in relazione agli eventi storici	45
2.5. Carta idrogeologica	46
3. QUADRO DISSESTI	47
3.1. Modifiche apportate alla cartografia del dissesto	47
3.1.1. Adeguamento ambiti valanghivi al SIRVAL.....	48
3.1.2. Studio di dettaglio canali Valcanale.....	51
3.2. Recepimento ambiti P.G.R.A.....	54
3.2.1. Ambiti di rischio R4.....	54
4. VINCOLI	55
4.1. Criteri di realizzazione della cartografia dei vincoli	55
5. SINTESI DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI	57
5.1. Criteri di realizzazione della cartografia di sintesi	57
5.2. Individuazione delle aree di criticità.....	59



6. FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO	63
6.1. Criteri di realizzazione della cartografia di fattibilità.....	63
6.2. Individuazione delle classi di fattibilità sul territorio	64
6.3. Differenze introdotte dalla variante geologica	66
7. NORME GEOLOGICHE DI PIANO.....	67
8. VALUTAZIONE DELL'EFFETTO SISMICO.....	68
8.1. Generalità e metodologie di analisi	68
8.2. Analisi sismica di 1° livello	73
8.2.1. Differenze introdotte dalla variante geologica	74
8.1. Analisi sismica di 2° livello: Amplificazione Morfologica.....	75
8.1.1. Zona di scarpata (Scenario Z3a).....	75
8.1.2. Zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo (Scenario Z3b)	76
8.1.3. Profili analizzati	79
8.1.4. Elaborazione	81
8.1.5. Valutazione energetica	119
8.2. Analisi sismica di 2° livello: Amplificazione Litologica	122
8.2.1. Premessa	122
8.2.2. Indagine geognostica	124
8.2.3. Ubicazione delle indagini geofisiche	125
8.2.4. Tecniche multicanale a onde di superficie (MASW e ReMi)	127
8.2.5. Tecnica H/V	130
8.2.6. Sito 1: Valcanale – Via della Cristina (2018_15)	132
8.2.7. Sito 2: Ardesio – Via Alpini (2019_03)	135
8.2.8. Sito 3: Valcanale – Cimitero (2019_04).....	136
8.2.9. Sito 4: Bani – Via Varisco (2019_14).....	138
8.2.10. Sito 5: Ardesio – Cimitero (SIS1)	141
8.2.11. Sito 6: Ardesio – Campo sportivo comunale (SIS2)	151
8.2.12. Sito 7: Ardesio – Via dei Fantoni (SIS3)	161
8.2.13. Sito 8: Ardesio – Centrale Enel (SIS4).....	169
8.2.14. Sito 9: Valcanale – Via Alpe Corte (MASW5)	179
8.2.15. Sito 10: Bani – Campo Sportivo (SIS6)	189
8.2.16. Sito 11: Ludrigno – Parco Giochi (SIS7)	199
8.2.17. Classi di sottosuolo	209
8.2.18. Verifica del fattore di amplificazione Fa.....	214



9. CONCLUSIONI.....	222
10. BIBLIOGRAFIA	223
11. ELENCO ALLEGATI	225



1. PREMESSA

1.1. *Obiettivi e quadro normativo di riferimento*

Il Comune di Ardesio (BG) ha incaricato lo scrivente Studio G.E.A. di redigere gli Studi Nivologici delle valanghe ricadenti entro il territorio comunale e per il conseguente aggiornamento della componente geologica idrogeologica e sismica del PGT (art. 7 c. 1 della l.r. 12/2005 e s.m.i.) del territorio comunale con Determinazione del 29/08/2019.

Nel Titolo II, art. 57 comma 1 della summenzionata legge, ai fini della prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici, è previsto che:

- a) il documento di piano contenga la definizione dell'assetto geologico, idrogeologico e sismico comunale sulla base dei criteri ed indirizzi emanati dalla Giunta Regionale, sentite le Province, entro tre mesi dall'entrata in vigore della L.R. n.12/05
- b) il piano delle regole contenga:
 1. il recepimento e la verifica di coerenza con gli indirizzi e le prescrizioni del P.T.C.P. e del Piano di Bacino;
 2. l'individuazione delle aree a pericolosità e vulnerabilità geologica, idrogeologica e sismica, secondo i criteri e gli indirizzi di cui alla lettera a), nonché le norme e le prescrizioni a cui le medesime aree sono assoggettate in ordine alle attività di trasformazione territoriale, compresa l'indicazione di aree da assoggettare a eventuali piani di demolizione degli insediamenti esistenti, ripristino delle condizioni di sicurezza, interventi di rinaturalizzazione dei siti o interventi di trasformazione urbana, PRU o PRUSST.

Il lavoro è stato condotto secondo quanto disposto nei "*Criteri ed indirizzi per la*



definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11 marzo 2005, N. 12" (D.G.R. 28 maggio 2008 n. 8/7374) e della D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616.

Lo studio geologico proposto contiene il quadro del dissesto derivante da valutazioni di maggior dettaglio rispetto ai dati contenuti nel primo livello di approfondimento dei P.T.C.P., e sarà perciò strumento di riferimento una volta raggiunta la compatibilità ai sensi dell'art. 18 delle N.d.A. del P.A.I.

Lo studio illustrato in queste pagine, redatto secondo i riferimenti normativi citati, è costituito dalla presente relazione tecnica e dalla relativa cartografia delle Norme Tecniche di Attuazione.

Per i rilievi di terreno e la rappresentazione grafica dei dati è stato utilizzato, come base topografica, il nuovo Database Topografico Regionale.

Ciò che emerge da questo studio è una sintesi geoambientale di carattere interpretativo, che non ha lo scopo di affrontare singoli problemi geologico - tecnici, né esime l'Amministrazione Comunale ed i Cittadini dall'assolvere gli obblighi derivanti da specifiche normative di legge concernenti il settore edilizio, geotecnico ed ambientale.

Essendo uno strumento a supporto della programmazione, l'obiettivo di questo studio è quello di raccogliere i principali parametri geologici delle aree esaminate e di evidenziare la vocazione delle stesse e le limitazioni d'uso del territorio per una corretta ed efficace gestione delle risorse; in particolare si fa riferimento alle previsioni della nuova variante urbanistica, al fine di valutarne la fattibilità, predisponendo nel contempo i provvedimenti di salvaguardia e valorizzazione del patrimonio naturale.



1.2. Articolazione del lavoro e rapporti con gli studi geologici precedenti

Il primo studio geologico di Ardesio di cui si ha notizia è stato redatto nell'agosto 1993 dallo Dott. Geol. Daniele Ravagnani (Studio GeoTer) ed era denominato “*Studio geologico di supporto al Piano Regolatore Generale*”; esso era composto da una cartografia tematica di base tuttora valida, da una cartografia di sintesi/rischio e di fattibilità geologica, oltre che da una relazione illustrativa.

In un secondo tempo è stato eseguito dallo scrivente un nuovo studio geologico del territorio comunale ai sensi della L.R. 41/1997, senza tavole tematiche di base.

Quindi, nel marzo 2003 è stata predisposta una “*Integrazione alla indagine geologica di supporto al Piano Regolatore Generale ai sensi della L.R. 41/97*”, finalizzata all'adeguamento della cartografia a seguito dell'approvazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'Autorità di Bacino del Fiume Po. Tale integrazione comprendeva anche una serie di studi di approfondimento su vari conoidi, oltre alla predisposizione di nuove carte del rischio e della fattibilità geologica.

Successivamente, nel gennaio 2008 la cartografia di fattibilità è stata ancora aggiornata sulle aree a rischio idrogeologico molto elevato nelle località Babes e Sottocornola.

Un ulteriore versione è stata redatta dagli scriventi nel giugno 2010.

La D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 definisce l'Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio; a seguito di tale, i documenti di Piano vengono ulteriormente aggiornati tra il giugno 2012 ed il settembre 2013.

L'attuale aggiornamento recepisce la D.G.R. X/6378 del 19 giugno 2017 integrando all'interno della cartografia P.A.I. gli ambiti del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.). Inoltre, nell'aggiornamento viene colta l'occasione per predisporre l'analisi



sismica di II livello del territorio comunale.

Il presente aggiornamento comprende inoltre la ripermimetrazione degli ambiti P.A.I. di Valanga, adeguandone la cartografia alla base conoscitiva del SIRVAL, ove possibile, e recepisce lo Studio di dettaglio di due canali di valanga situati in località Valcanale (Canale di Valcua e Valle Barenisini).

La tabella seguente riassume la composizione finale del pacchetto completo del nuovo studio geologico:

CARTOGRAFIA DI ANALISI	
NOME DELL'ELABORATO	PROVENIENZA
Relazione tecnico - illustrativa	Dott. Geol. Ravagnani Daniele, 1993
Tavola 1a-1b-1c-1d – Carta litostrutturale e litotecnica	Dott. Geol. Ravagnani Daniele, 1993
Tavola 2 – Sezioni geologiche	Dott. Geol. Ravagnani Daniele, 1993
Tavola 3a-3b– Carta geomorfologica e dei processi geomorfici in atto	Studio G.E.A. maggio 2025
Tavola 4 – Carta idrogeologica	Dott. Geol. Ravagnani Daniele, 1993

COMPOSIZIONE DELLO STUDIO GEOLOGICO	
NOME DELL'ELABORATO	PROVENIENZA
Tavola 5a – Carta della Pericolosità Sismica Locale 1° Livello	Studio G.E.A. maggio 2025
Tavola 5b – Carta della Pericolosità Sismica Locale 2° Livello	Studio G.E.A. maggio 2025
Tavola 6 – Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. + P.G.R.A.	Studio G.E.A. maggio 2025
Tavola 7 – Carta dei Vincoli	Studio G.E.A. maggio 2025
Tavola 8 – Carta di Sintesi	Studio G.E.A. maggio 2025
Tavola 9 – Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano	Studio G.E.A. maggio 2025



Tavola 10 – Carta della fattibilità geologica per aggiornamento del mosaico regionale	Studio G.E.A. maggio 2025
Relazione tecnica (completa)	Studio G.E.A. maggio 2025
Norme geologiche di piano	Studio G.E.A. maggio 2025
Studi di dettaglio (n. 12 studi)	Studio G.E.A. 2012-2013 e altri
Studio di dettaglio valanghe canale Valcua e valle Barensini	Studio G.E.A. 2020 – con in supporto tecnico del Dott. Geol. Rota

Composizione del pacchetto completo della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio

N.B.: sono altresì da tenere in considerazione tutti gli eventuali studi di approfondimento, di qualsiasi Professionista, eseguiti nel corso degli anni, e che hanno contribuito alla ridefinizione delle classi di rischio e/o degli ambiti di fattibilità per determinate aree del territorio comunale.

Con lo studio odierno di supporto alla nuova prima variante del PGT vengono mantenute inalterate le carte di analisi, a meno della cartografia geomorfologica, mentre si esegue una revisione parziale, relativa ai soli ambiti valanghivi e loro dintorni di:

- Carta geomorfologica
- Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano
- Carta di individuazione delle fasce P.A.I. + P.G.R.A.
- Carta di sintesi
- Carta dei vincoli
- Carta della pericolosità sismica locale - recepimento analisi di II livello



2. REVISIONE DELLE CARTOGRAFIE DI ANALISI

La cartografia di analisi di riferimento è quella redatta dal 1993 dal dott. Geol. Daniele Ravagnani in supporto alla prima emissione del PRG del comune di Ardesio.

La cartografia di analisi si compone dei seguenti elaborati:

- Tavola 1 (a,b,c,d) - Carta litostrutturale e litotecnica;
- Tavola 2 – Sezioni geologiche;
- Tavola 3 (a,b,c,d) - Carta geomorfologica e dei processi geomorfici in atto;
- Tavola 4 - Carta idrogeologica

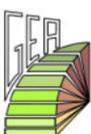
Alla cartografia si aggiunge la relazione tecnico – illustrativa relativa agli aspetti di inquadramento trattati.

2.1. Carta litostrutturale e litotecnica

La carta litostrutturale e litotecnica contiene *“le informazioni di carattere litologico e strutturale, elementi primati per la definizione del territorio, base per la comprensione dei suoi lineamenti geomorfologici, idrogeologici e per valutazioni tecniche relative all'utilizzo urbanistico”*

La cartografia individua la distribuzione superficiale delle formazioni rocciose secondo criteri litostratigrafici (correnti al tempo della redazione della cartografia, validi anche al giorno d'oggi) e la distribuzione dei terreni e delle coltri di copertura. La legenda, strutturata secondo criterio litotecnico, definisce i parametri geotecnici e geomeccanici degli ammassi rocciosi (RQD) e delle coperture (Φ , qa) presenti sul territorio comunale.

A meno di alcune discrepanze minimali nella denominazione delle formazioni rocciose, irrilevanti ai fini degli scopi tecnici della cartografia, la definizione e mappatura degli elementi litotecnici risulta ad oggi ancora valida e, pertanto, non si propongono modifiche, recependo in toto la tavola 1 all'interno della presente variante.



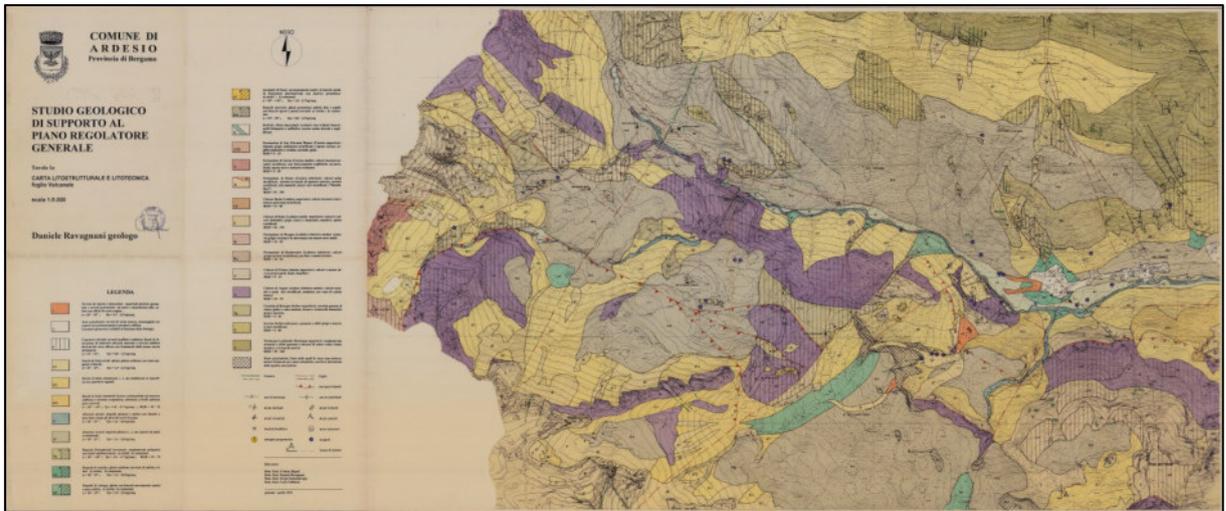


Figura 1 – Stralcio della tavola 1a – Carta litostrutturale e litotecnica, foglio Valcanale

2.2. Sezioni geologiche

Le sezioni geologiche riportate in tavola 2 rappresentano spaccati litologici utili alla migliore comprensione dell'assetto geologico locale, con particolare riferimento all'assetto geologico della Valcanale, delineata sull'importante elemento litostrutturale della linea "Valtorta – Valcanale" che separa le formazioni triassiche carbonatiche, poste a sud rispetto all'allineamento, dalle unità pre-triassiche rappresentate dalle coltri continentali (Servino, Verrucano Lombardo, Formazione del Pizzo del Diavolo – Carniola di Bovegno) ed il basamento cristallino (Scisti di Edolo).

A meno di alcune discrepanze minimali nella denominazione delle formazioni rocciose, irrilevanti ai fini degli scopi tecnici della cartografia, la definizione e mappatura degli elementi litotecnici risulta ad oggi ancora valida e, pertanto, non si propongono modifiche, recependo in toto la tavola 2 all'interno della presente variante.

2.3. Carta geomorfologica e dei processi geomorfici in atto

La cartografia “pone in evidenza i processi fisici e fisico-chimici che hanno agito e che tuttora agiscono sul territorio e che sono responsabili della sua attuale morfologia e della sua dinamica”. L'elaborato propone una legenda che contempla sia l'assetto morfologico generale degli ambiti territoriali, sia singoli elementi geomorfologici presenti in sito, specificando lo stato di attività al momento della redazione dell'elaborato. Importante, ai fini dell'aggiornamento di tale cartografia, è distinguere infatti gli elementi morfogenetici che hanno contribuito alla definizione dell'attuale morfologia del territorio a grande scala (versanti detritici, versanti rocciosi, alvei attuali, piane alluvionali, ecc.) dalle morfologie locali legate anche alla dinamica attiva degli attori morfogenetici (gravità, idrodinamica, precipitazioni, neve, ecc.).

L'aggiornamento proposto in seno alla presente variante della componente geologica del PGT ha l'obiettivo di integrare la cartografia vigente con gli eventi di dissesto che hanno interessato il territorio comunale nell'ultima decade (dal 2013 al 2024). La base geomorfologica conoscitiva, in aggiornamento a quella utilizzata nel 1993, è quella della cartografia Geoambientale della Regione Lombardia, redatta dallo Scrivente studio GEA sul territorio della Comunità Montana Valle Seriana Superiore, già utilizzata come base geomorfologica per la redazione di alcuni degli studi di dettaglio svolti tra il 2012 ed il 2013. La cartografia è stata aggiornata con gli eventi di dissesto avvenuti tra il 2013 e la data di variante.

Per fare ciò, ci si è avvalsi del database fornito dall'Amministrazione Comunale di Ardesio delle varie segnalazioni di fenomeni di dissesto accorsi nel periodo 2013 – 2024 sul territorio comunale, che vengono sintetizzate nella seguente tabella.

DATA	LOCALITÀ	TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
8/07/2013	Piazzolo	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
30/07/2013	Bani	Caduta massi	Presenza di blocchi instabili a monte dell'abitato di Bani
04/12/2013	Ronchi Alti	Caduta massi	Lo schianto di alcuni alberi ha posto in



DATA	LOCALITÀ	TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
			condizione di instabilità potenziale alcuni massi, con volume massimo 2 m ³
04/01/2014	Rovazzini	Caduta massi	Caduta di 1 masso lungo la strada vicinale Rovazzini
21/01/2014	Timogno	Valanga	Valanga interessante il versante del monte Timogno
04/02/2014	Ludrigno	Valanga	Distacco di una valanga (seguita da un nuovo distacco a pochi giorni di distanza – 9 febbraio) lungo il canalone lambendo la frazione di Ludrigno. LA valanga ha quasi raggiunto il fondovalle (SP 49) rimanendo tuttavia entro la valle e senza interessare la viabilità a valle.
08/02/2014	Sottocorna - Piazzolo	Caduta massi	Crollo di massi dalla parete intercettati in parte dalle reti paramassi esistenti ed in parte crollati fino alla sede stradale in località Piazzolo
06/06/2014	Vessolo / Ficarelli	Caduta massi	Presenza di massi posti in precario equilibrio a monte della località Vessolo e della località Ficarelli
28/07/2014	More	Caduta massi	Crollo di alcuni massi sul pendio a monte della Sp49
21/08/2014	Fortino Basso	Caduta massi	Lo schianto di alcuni alberi ha posto in condizione di instabilità potenziale alcuni massi
22/08/2014	Mazzone	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietrame a secco ammalorata
31/08/2014	Zaffarino	Caduta massi	Crollo di un masso dalla località Botto Alto con interessamento di 1



DATA	LOCALITÀ	TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
			abitazione in località Zafferino
05/09/2014	Corno Negro	Frana in roccia	Un'importante frana in roccia si è staccata da costone roccioso posto tra il Corno Negro ed il Monte Secco a quota 1500 m s.l.m.. Il materiale è franato fino alla quota di 1000 m s.l.m. circa senza interessare o porre in condizione di pericolo eventuali abitati.
14/11/2014	Caffi (Bani)	Caduta massi	Crollo di un masso di circa 500 kg
xx/xx/2014	Marinoni	Caduta massi	Crollo di un massi presso di tornanti della strada di accesso a Valcanale
28/11/2014	Val Bigarola	Erosione spondale	Erosione spondale in sponda sinistra presso l'area di parcheggio
16/05/2015	Marinoni	Caduta massi	Caduta massi lungo la strada per la Valcanale in località Marinoni
09/08/2015	Cunella	Caduta massi	Crollo di un masso sulla sede stradale di via Cunella
26/08/2015	Valcanale	Caduta massi	Caduta masso lungo la strada di Valcanale, poco a valle del parcheggio Alpe Corte
09/10/2015	Valcanale	Erosione spondale	Erosione spondale lungo il torrente Acqualina
29/10/2015	Cornalta	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
15/01/2015	Rizzoli	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
06/02/2016	Valcanale	Frana in roccia	Crollo della parete lungo la strada di accesso all'ex albergo Sempreneve di Valcanale
16/02/2016	Piazzolo	Erosione spondale	Cedimento di un grosso masso posto in sponda destra entro l'alveo attivo del torrente



DATA	LOCALITÀ	TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
14/03/2016	Piazzolo	Erosione spondale / frana superficiale	Frana superficiale dovuta ad erosione in alveo della valle Piazzolo
30/03/2016	Cunella	Caduta massi	Crollo di un masso sulla sede stradale di via Cunella
19/04/2016	Zanetti	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
17/05/2016	Via XXV Aprile	Erosione spondale	Cedimento muratura sotto viadotto di via XXV Aprile
31/10/2016	Via Molini	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
03/01/2017	Ronchi Alti	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
27/03/2017	Bani	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
29/04/2017	Via Marchetta	Caduta massi	Crollo di un agglomerato conglomeratico a monte della SP49 senza intercettare la strada
30/04/2017	Caffi (Bani)	Caduta massi	Presenza di massi instabili a monte della località Caffi di Bani
05/06/2017	Marinoni	Caduta massi	Caduta massi lungo la strada per la Valcanale in località Marinoni
18/06/2017	Valcanale	Esondazione	Evento alluvionale con esondazione del torrente Acqualina presso il parcheggio Alpe Corte
30/06/2017	Cunella	Caduta massi	Crollo di alcuni massi sulla sede stradale di via Cunella
06/03/2018	Cunella	Caduta massi	Crollo di alcuni massi sulla sede stradale di via Cunella
21/08/2018	Rizzoli	Caduta massi	Crollo di alcuni massi sulla strada consorziale dei Rizzoli, generato da una muratura in pietra ammalorata
28/10/2018	Grini	Esondazione	Evento alluvionale con esondazione



DATA	LOCALITÀ	TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
			(senza trasporto solido) della vallecola presso la località Grini in Valcanale
15/05/2018	Ustigno	Caduta massi	Segnalata la presenza di massi instabili a monte della strada per Ustigno
08/02/2019	Ustigno	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
08/03/2019	Ponte delle Seghe	Frana in roccia	Frana in roccia a monte della SP49 presso il Ponte delle Seghe
02/05/2019	Via Galileo Galilei	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
22/05/2019	Ave	Caduta massi	Lo schianto di alcuni alberi ha posto in condizione di instabilità potenziale alcuni massi
03/06/2019	Marchetta	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
25/06/2019	Via Galileo Galilei	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
19/09/2019	Ronchi Alti	Caduta massi	Caduta massi lungo la strada di accesso alla località Ronchi Alti
30/09/2019	Via Pagherola	Caduta massi	Lo schianto di alcuni alberi ha posto in condizione di instabilità potenziale alcuni massi
30/10/2019	Via della Valle	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
08/11/2019	Marchetta	Frana superficiale	Crollo di un tratto di muratura posto a valle del secondo torrente di via Marchetta, che ha generato un piccolo dissesto con interessamento del sottostante canale Enel (senza danni al canale)
15/05/2020	Sp 49	Frana in roccia	Crollo di una parete in conglomerato,



DATA	LOCALITÀ	TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
	km 35+525		la maggior parte del materiale è stato contenuto dal cordolo di muratura di monte della strada, una frazione minore è crollata fino alla strada
07/06/2020	Piazzolo	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
08/06/2020	Pizzòl	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
08/06/2020	Coren del Pos	Frana in roccia	Cedimento di un muro esistente con conseguente crollo della porzione di versante in roccia soprastante, interessamento di una strada di accesso ad alcune baite private
08/06/2020	Zanetti	Caduta massi	Crollo di alcuni massi presso via Val Bigarolo, all'altezza del parcheggio comunale
12/06/2020	Via Paradiso dei Cani	Frana in roccia	Il versante a monte della strada è costituito da conglomerati, le abbondanti piogge hanno dilavato il materiale terroso sottostante creando una voragine al piede del conglomerato stesso che si è riversato parzialmente sulla strada sterrata e nei prati sottostanti la strada stessa con blocchi anche di notevoli dimensioni
31/07/2020	Tèsa	Frana in terra	in seguito alle abbondanti piogge, l'acqua meteorica che si è incanalata lungo la strada di accesso ad Ave, ha innescato una frana, con conseguente crollo di un tratto di muro di sostegno in pietrame misto a calcestruzzo
17/11/2020	Via del Pozzo	Caduta massi	Caduta massi generata da una



DATA	LOCALITÀ	TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
			muratura in pietra ammalorata
16/02/2021	Bani	Caduta massi	Crollo di alcuni massi sopra la strada di accesso a Bani
06/03/2021	Bani	Caduta massi	Crollo di un masso sopra la strada di accesso a Bani
17/03/2021	Via S. Giuseppe	Caduta massi	Frequenti cadute massi segnalate a monte della loc. San Giuseppe
26/07/2021	Via Acqualina	Frana in terra	Frana superficiale in terreno della scarpata posta tra via Acqualina (strada di accesso a Valcanale) ed il sottostante torrente, causata da ruscellamento concentrato di acqua lungo la sede stradale.
04/08/2021	Via Piazza	Esondazione	Esondazione del torrente "Torta" su via Piazza causato dall'occlusione di materiale di un attraversamento, riversando acqua e materiale fino a via A. Locatelli
04/08/2021	Marchetta	Caduta massi	Prosecuzione degli eventi segnalati 29/04/2017
11/11/2021	Via della Cristina	Caduta massi	Crollo di alcuni massi sul versante a monte di via della Cristina, verificata la presenza di altri massi instabili a monte
04/01/2022	Ponte delle Seghe	Erosione spondale	Erosione della scogliera esistente
07/01/2022	Via Val Las e via Marinoni	Caduta massi	Caduta massi su via Val Lae e via Marinoni, rilevati altri blocchi instabili sul versante a monte
10/05/2022	Via Arera	Caduta massi	Crollo di un masso presso l'abitato Barenzini, verificata la presenza di altri massi instabili a monte



DATA	LOCALITÀ	TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
01/06/2022	Botto Alto	Caduta massi	Caduta massi
19/08/2022	Via Val Las	Caduta massi	Caduta massi a monte di via val Las, rilevati altri massi in posizione instabile
23/09/2023	Valcanale	Esondazione	Vari eventi di esondazione lungo la Valcanale, in particolare presso la località Valcanale e presso la località Contrada Grini, con interessamento della strada di accesso alla Valcanale (Via Arera)
10/11/2023	Piazzolo	Erosione spondale	Cedimento di un grosso masso posto in sponda destra entro l'alveo attivo del torrente
01/04/2024	Ave	Caduta massi	Caduta di un masso sotto la località Stai di circa 1 mc., il masso si è staccato su un versante con forte pendenza, da una parete rocciosa posta a circa 15 m. dalla sede stradale e ha finito la corsa sul ciglio della strada comunale.
11/04/2024	Cava Zaffalino	Caduta massi	Caduta massi a monte dell'area di cava
19/04/2024	Via Gasparini	Caduta massi	Caduta massi a monte di via Gasparini, rilevati massi instabili
18/05/2024	Via L. da Vinci	Erosione spondale	Cedimento di parte della scarpata a valle del parcheggio dell'Albergo – Ristorante "da Giorgio" in via Leonardo da Vinci
28/08/2024	Via Pia Spiss	Frana di detrito	Movimentazione della falda detritica a monte del torrente Acqualina in prossimità del parcheggio Alpe Corte presso la centralina esistente
10/06/2024	SP 49	Esondazione	Esondazione di una valle località Prat



DATA	LOCALITÀ	TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
	Loc. Prat di Bus		di Bus
10/06/2024	Prato della Madonna	Esondazione	Trasporto di materiale solido del reticolo idrico minore ed interruzione della viabilità veicolare sulle strade Vicinali Bassa di Fortino e Vicinale dei Spess in corrispondenza delle Valli del Reticolo Idrico Minore BG088-623 e BG088-624
09/09/2019	Via del Clì - Valcanale	Esondazione	Fuoriuscita del corso naturale della Valle Val del Rè BG104 -028
27/09/2024	SP 49 Km 37+000	Esondazione	Esondazione di una valle per ostruzione del tombotto di attraversamento della strada provinciale
10/10/2024	Via Locatelli	Esondazione	Esondazione della Val Pisna (BG088-618) con scarico di acqua e fango su via A. Locatelli
10/10/2024	Via Piazza – via Spess	Esondazione	Esondazione della valle RIM BG088-622 a monte di via Piazza, parte del materiale ha percorso il canale Enel interessando parzialmente due abitazioni
10/10/2024	Prato della Madonna	Esondazione	Esondazione della valle RIM BG088-623 con trasporto solido esondando all'interno di una proprietà privata. Ostruzione o cedimento delle opere di regimazione esistenti (briglie in gabbioni)
10/10/2024	Torrente Rino	Erosione spondale	Vari eventi di erosione delle sponde lungo il corso del torrente Rino
10/10/2024	Via Ave	Frana in terreno	Smottamento della scarpata che



DATA	LOCALITÀ	TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
			sostiene la strada comunale in località Masù
10/01/2025	Via d'Acquacc	Erosione spondale	Erosione spondale del fiume Serio in corrispondenza dell'incrocio con via Gasparini, senza interessamento della sede stradale SP49
29/01/2025	Marinoni	Caduta massi	Caduta massi generata da una muratura in pietra ammalorata
30/01/2025	Mt. Arera	Frana in roccia	Frana interessante una porzione del versante soprastante la Valcanale del Monte Arera

In generale, sono stati segnalati 89 eventi di dissesto, di questi:

- **54** riguardano fenomeni di caduta di singoli massi o di volumi rocciosi di limitata entità (di questi, **18** riguardano il cedimento o il crollo di muri a secco ammalorati, mentre **36** riguardano fenomeni naturali);
- **21** riguardano fenomeni legati ai corsi d'acqua, **11** sono relativi a fenomeni di esondazione/disalveamento, mentre **10** riguardano fenomeni di erosione spondale;
- **7** eventi sono legati a frane in roccia di volume considerevole (si segnala in particolare il crollo della parete rocciosa a monte della Sp49 presso il Ponte delle Seghe)
- **5** eventi riguardano frane in detrito, terreno e superficiali, spesso riferite sempre a fenomeni di erosione spondale o richiamo vallivo;
- **2** eventi riguardano fenomeni valanghivi, con particolare riferimento alla valanga di Ludrigno del 2014.

In generale, la maggior parte dei fenomeni individuati appartengono al contesto territoriale entro cui si inserisce il territorio di Ardesio e ricadono o vengono originati all'interno di ambiti già ampiamente segnalati, sia in termini di ambiti P.A.I. – P.G.R.A., sia in relazione alla generica propensione al dissesto dei versanti acclivi entro cui si



compone il territorio comunale.

Tra gli eventi di maggiore impatto sul territorio urbanizzato di Ardesio, e che hanno portato a necessità importanti di intervento, troviamo gli eventi di seguito descritti.



2.3.1. Valanga di Ludrigno del 2014

L'evento, occorso per la prima volta in data 4 febbraio e ripetutosi il 9 dello stesso mese, ha interessato il canalone di valanga della valle Vendulo, fino quasi al fondovalle seriano. L'evento, pur rimanendo entro la valle, ha portato l'allora Amministrazione ad emettere l'ordinanza di evacuazione dei civici 2-4-6-8-8° e 10 della contrada Ludrigno, oltre che il divieto di transito (veicolare e pedonale) lungo la viabilità sottesa alla valle e della sentieristica posta lungo il versante. Il secondo evento del 9 febbraio ha destato maggiore preoccupazione in quanto ha raggiunto quote inferiori rispetto al primo, essendo arrivato pochi metri a monte rispetto agli abitati di Pizzoli, sempre rimanendo entro la valle.

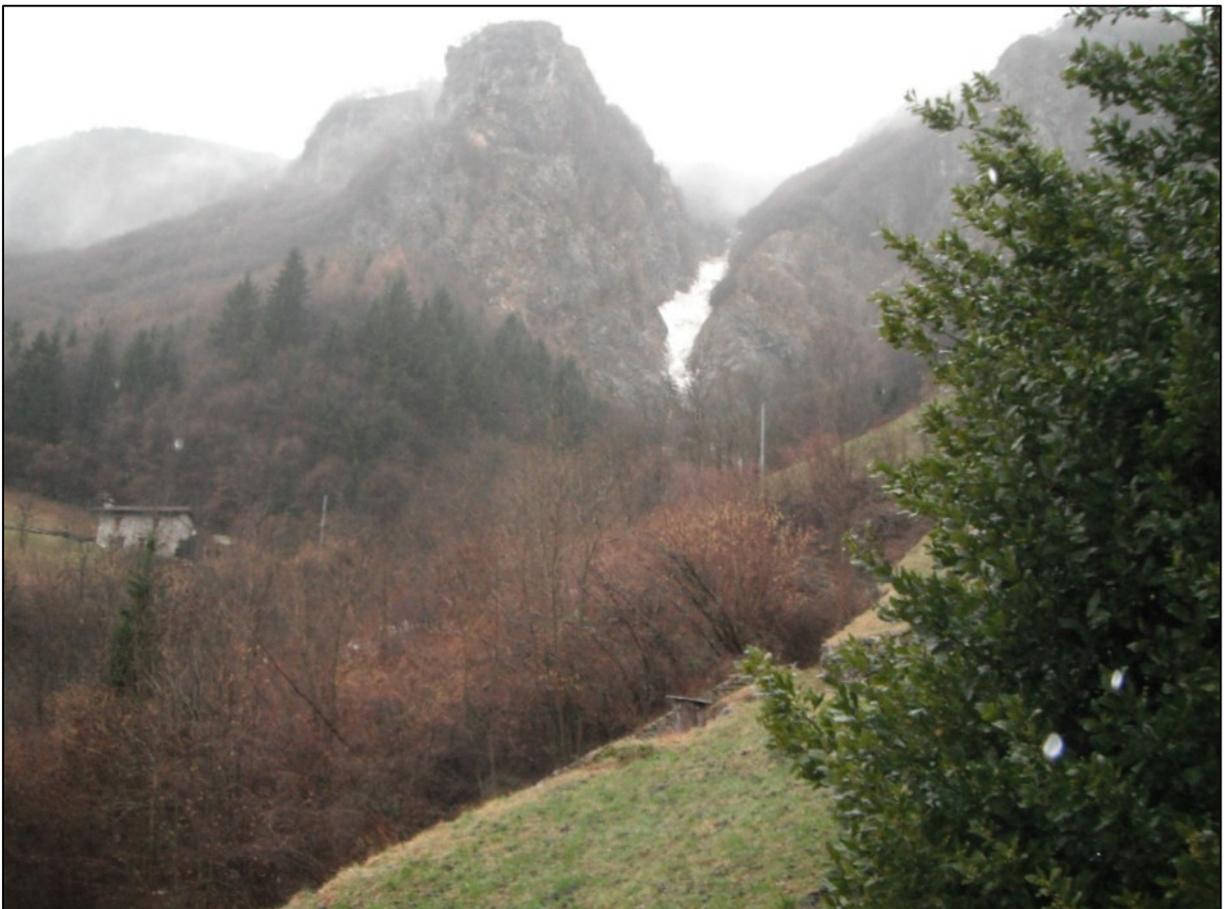


Figura 2 – Valanga di Ludrigno del 4/02/2014



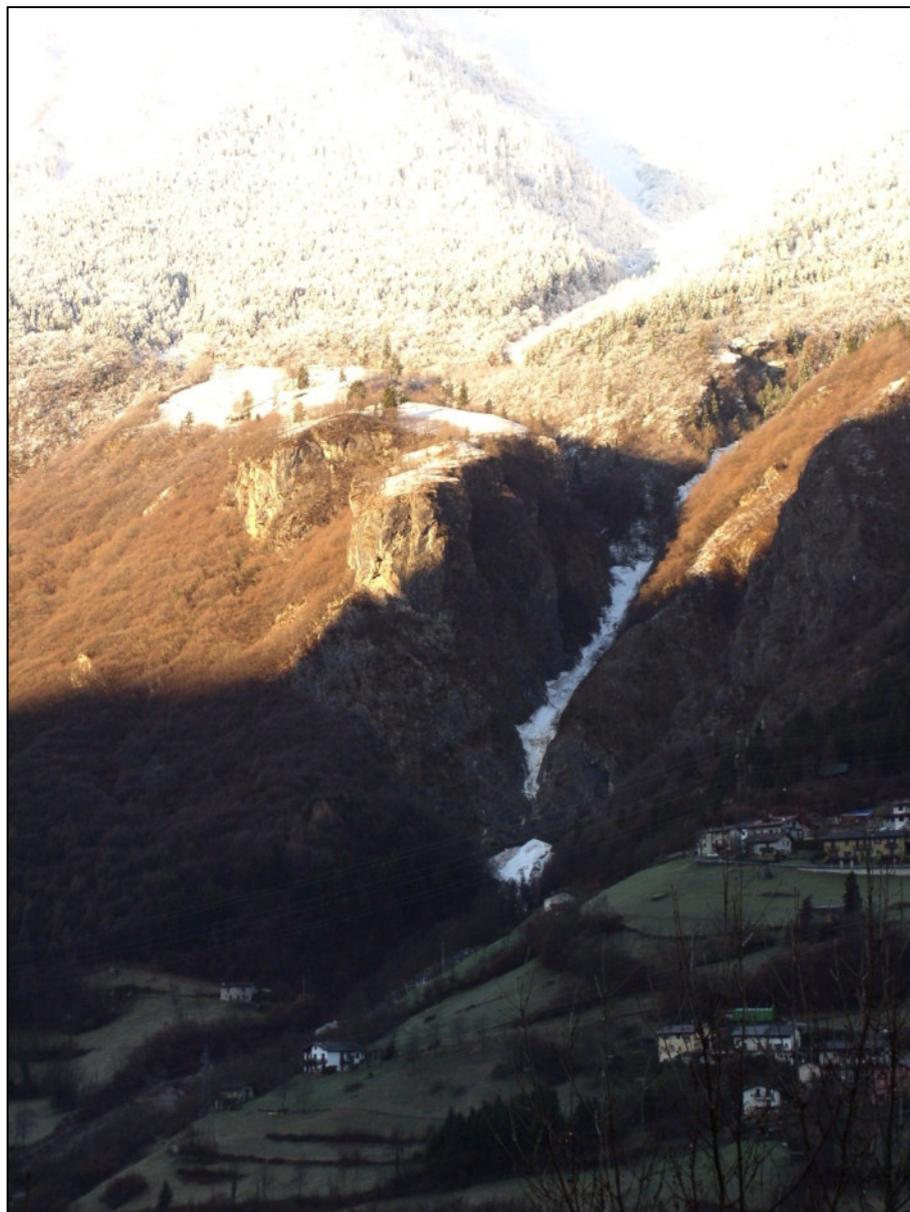


Figura 3 – Panoramica dell'area di valanga scattata in data 06/04/2014



Figura 4 – Panoramica della valanga a seguito del secondo distacco del 09/02/2014

2.3.2. Crollo della scarpata in roccia presso il Ponte delle Seghe, 2019

Nella notte dell'8 marzo 2019 circa alle 4.30 si è verificata una frana di crollo dal versante. Il fenomeno ha coinvolto volumi significativi di roccia, con massi e blocchi di dimensioni fino a qualche metro cubo. I blocchi in caduta hanno divelto e abbattuto una parte delle barriere paramassi presenti appena a valle del fronte roccioso, per poi raggiungere e superare la strada provinciale fino ad arrestarsi nell'alveo fiume Serio. Parte dei massi hanno demolito il muro di delimitazione della strada, altri hanno parzialmente intasato il tombotto presente al di sotto della strada stessa.

Il dissesto è stato oggetto di interventi di messa in sicurezza da parte della Provincia di Bergamo mediante l'installazione di barriere passive.



Figura 5 – Panoramica dell'area in frana (da relazione dott. Geol. Anna Cantoni, 2019)



Figura 6 – Foto zona di distacco della frana (da relazione dott. Geol. Anna Cantoni, 2019)



Figura 7 – Opere di protezione temporanea lungo la SP 49 per la parziale riapertura del tratto di strada (da relazione dott. Geol. Anna Cantoni, 2019)



Figura 8 – Stato attuale (al 2023) dell'area in dissesto

2.3.3. Frana tornanti via Acqualina, 2021

A seguito degli eventi meteorici del 25/07/2021 si è verificato il distacco di una porzione di terreno in copertura della scarpata posta a valle di via Acqualina, strada di accesso a Valcanale, lungo la sponda sinistra del torrente Acqualina. La frana ha interessato una porzione di circa 20 – 30 m di versante a valle della sede stradale coinvolgendo i terreni in copertura superficiale, lasciando a sbalzo parte della sede stradale, portando alla chiusura temporanea della porzione di carreggiata di valle. Il dissesto è stato causato dal ruscellamento delle acque di scolo della strada, a seguito dei rigurgiti delle opere di drenaggio poste sul lato di monte della sede stradale (canaletta con caditoie), queste in parte otturate da vegetazione spontanea. L'area è stata oggetto di interventi di ripristino mediante la formazione di una muratura di contenimento alla base del tratto stradale franato.



Figura 9 – Immagine dell'area in frana



Figura 10 – Dettaglio dissesto visto da monte



Figura 11 – Carreggiata stradale chiusa

2.3.4. Evento alluvionale in Valcanale si settembre 2023

In data 22 settembre 2023 il territorio di Ardesio, ed in particolar modo l'area della Valcanale, è stato colpito da un evento meteorico eccezionale. In occasione di tale evento, due valli laterali al torrente Acqualina, poste una presso l'inizio della frazione di Valcanale (BG 104-107) e l'altra presso la contrada Grini (BG104-109), hanno portato ad eventi esondativi e colate detritiche con interessamento sia dell'abitato circostante sia della strada di accesso alla Valcanale (via Arera).



Figura 12 – Esondazione torrente in località Valcanale nella notte tra il 22 ed il 23 settembre 2023



Figura 13 – Colata detritica all’inizio dell’abitato di Valcanale



Figura 14 – Colata detritica all’inizio dell’abitato di Valcanale



Figura 15 – Dettaglio colata detritica

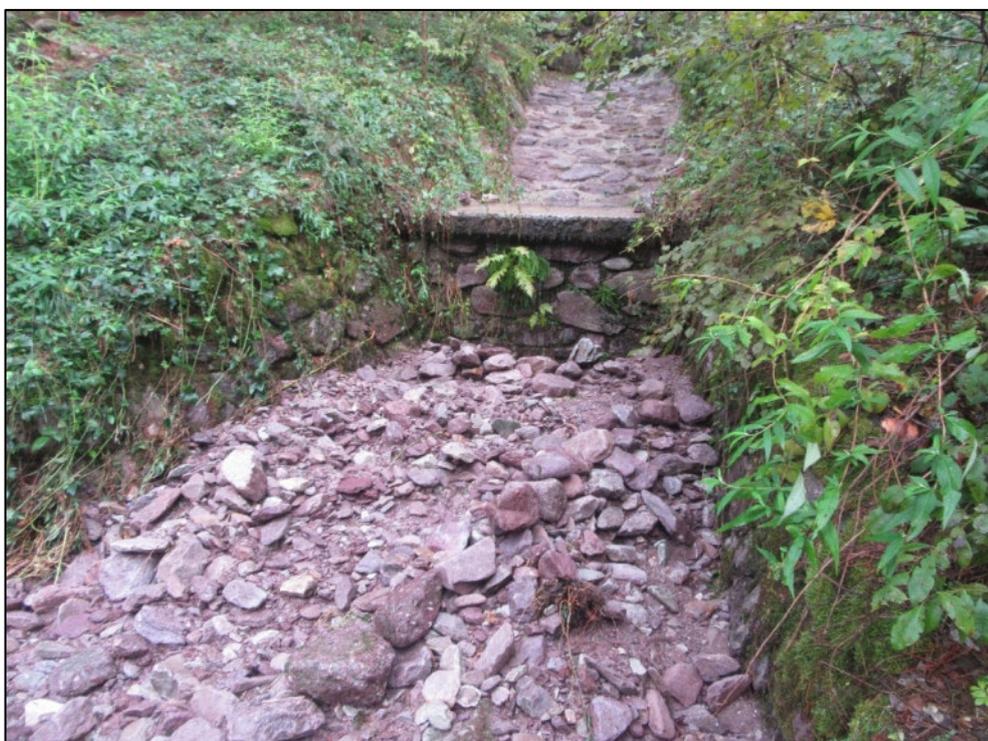


Figura 16 – Dettaglio colata in alveo



Figura 17 – Zona di esondazione torrente in località Grini



Figura 18 – Torrente esondato in località Grini



Figura 19 – Danni ad abitazione privata in località Grini

2.3.5. Esondazione valle giugno 2024

Nel giugno 2024, a seguito di eventi meteorici intensi, l'impluvio identificato con codice RIM Bg088-485 è risultato soggetto ad un evento di colata detritica, con scarico sulla SP49 in località Valzella – Prat di Bus, con un limitato trasporto solido sul sedime stradale e allagamento della provinciale.

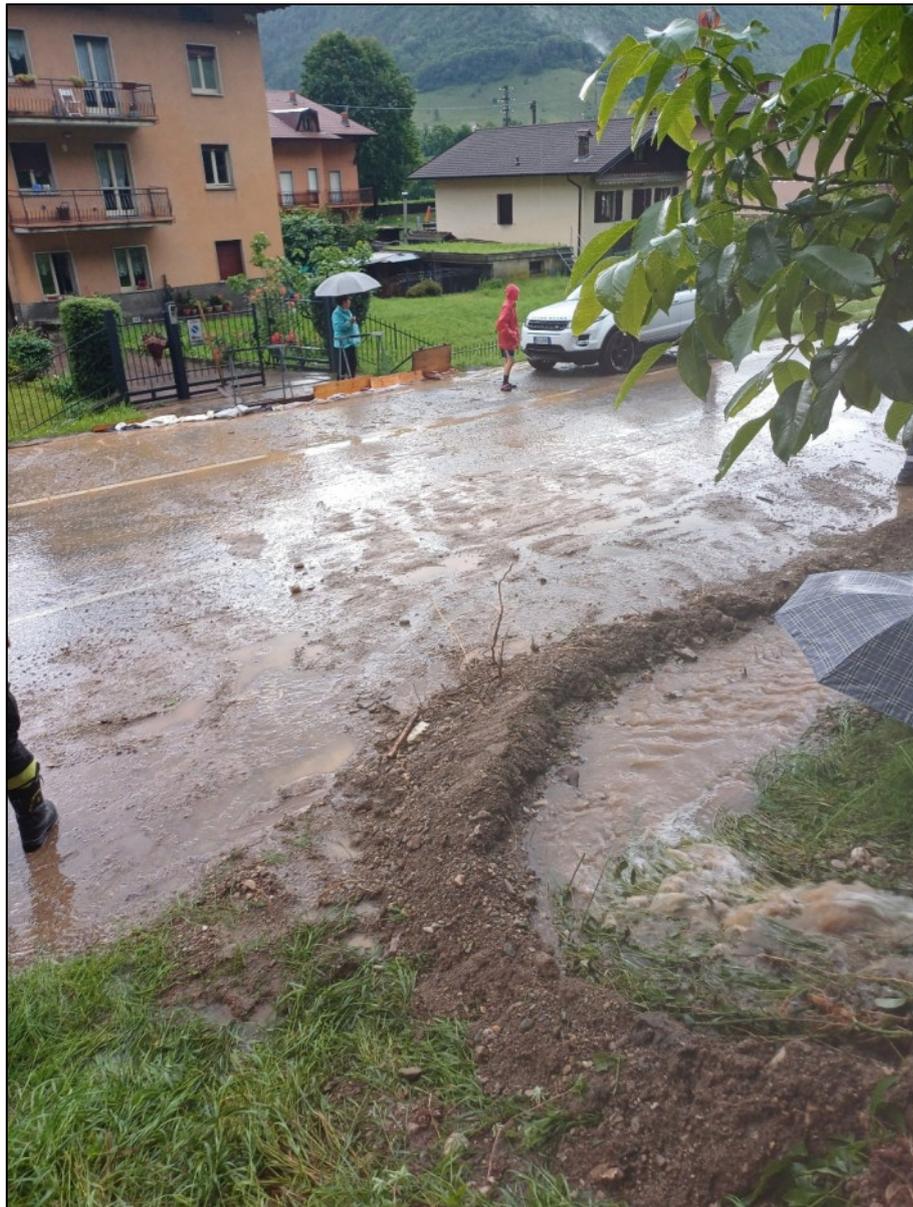


Figura 20 – Evento alluvionale di giugno 2024 in località Valzella – Prat di Bus

2.3.6. Eventi alluvionali di settembre ed ottobre 2024

I mesi di settembre ed ottobre 2024 sono stati caratterizzati da due eventi meteorici, ed in generale un contesto meteoclimatico per tutto il periodo, particolarmente intensi, che hanno colpito pesantemente tutta la bergamasca.

Il giorno 27 settembre, a causa dell'ostruzione del tombotto di attraversamento della valle censita con codice RIM BG088-505 all'altezza del km 37+000 della SP49, un'ingente quantità di acqua si è riversata sulla sede stradale e, seguendo il percorso della strada, ha allagato i vicini abitati di via I Maggio.



Figura 21 – Tombotto ostruito da materiale con fuoriuscita dell'acqua sulla sede stradale



Figura 22 – Allagamenti presso la rotonda di Via I Maggio

L'evento del 10 ottobre ha riguardato l'esondazione, con trasporto solido di detriti e fango, di tre valli poste a monte dell'abitato di Ardesio (capoluogo); nella fattispecie, si fa riferimento ai reticoli.

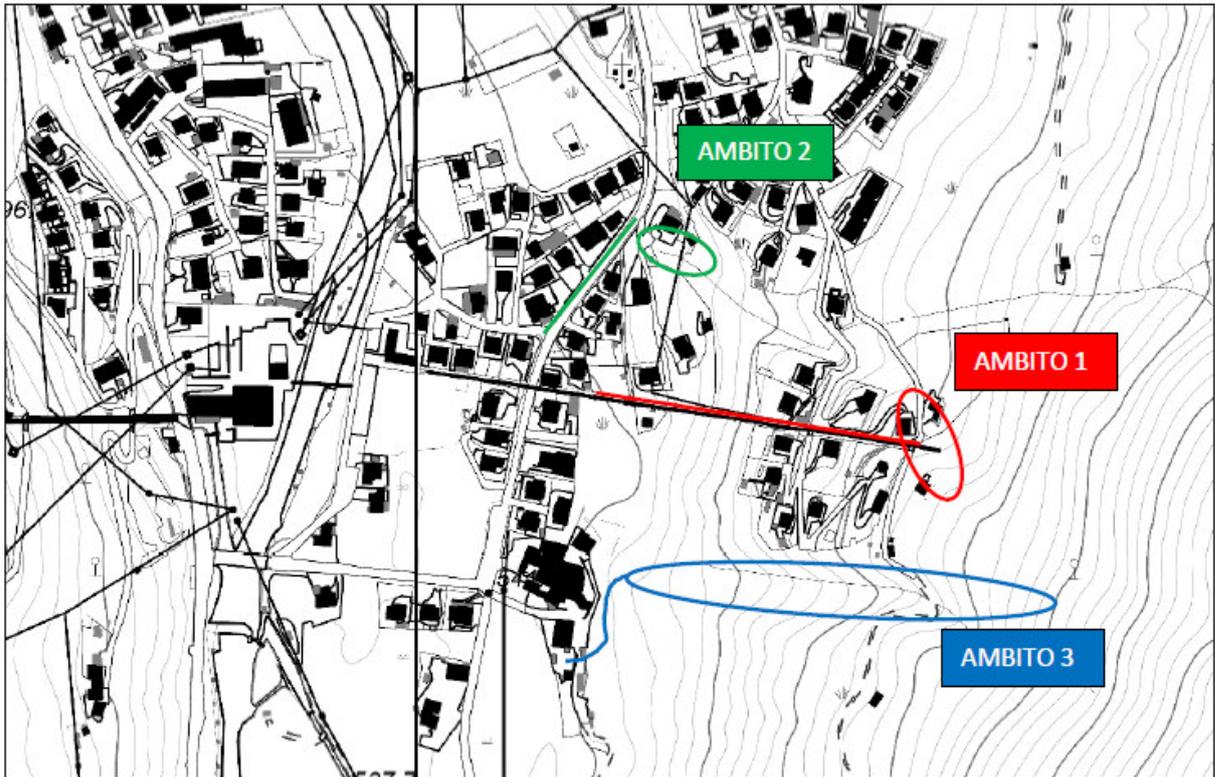


Figura 23 – Individuazione delle tre valli esondate nell'ottobre 2024

L'ambito 1 è riferito ad una colata di detriti che ha interessato il corso d'acqua BG088-622 al di sopra di via Piazza ed ha interessato alcune case. Il materiale, poi, è stato in parte convogliato verso il fondovalle dal canale ENEL presente, senza tuttavia strabordare sugli abitati prossimi al canale stesso.

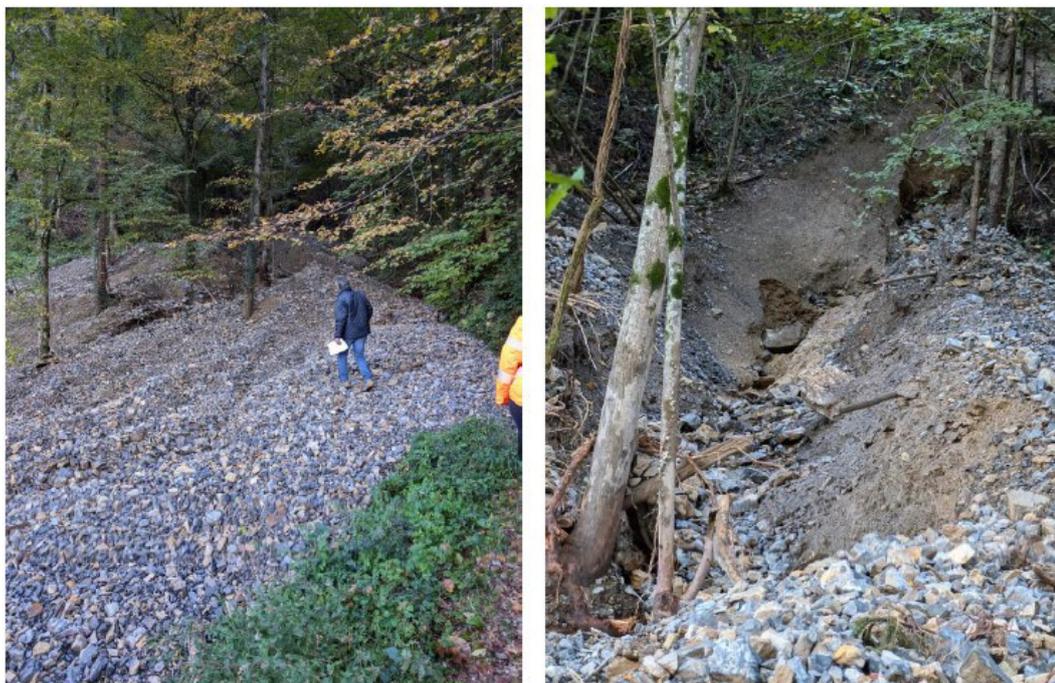


Figura 24 - Foto del materiale depositato a monte della condotta ENEL e dettaglio dell'incisione dell'alveo (foto da relazione GEA Ottobre 2024)

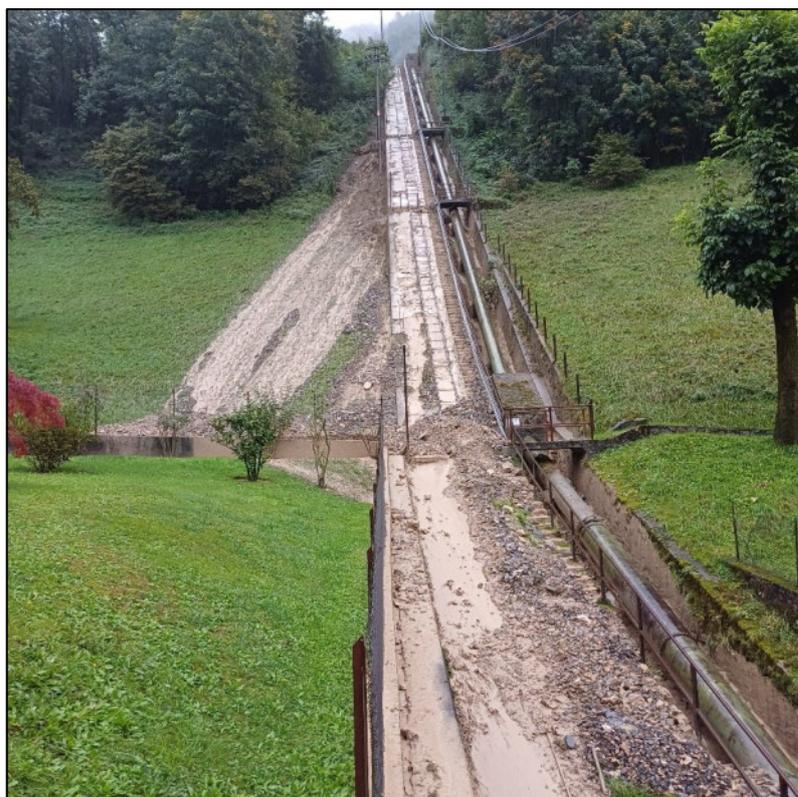




Figura 25 – Colata detritica lungo il canale Enel

L'ambito 2 è riferito ad una seconda colata mossa dal corso d'acqua BG088-619 – BG088-618. A seguito dei processi erosivi provocati dalle piogge intense, le acque del reticolo idrico si sono riversate su viale Locatelli, riversando, sullo stesso fango e ghiaia che ha intasato le caditoie stradali.



Figura 26 - Materiale depositato sulla sede stradale nel punto in cui il reticolo non ha continuità idraulica (foto da relazione GEA Ottobre 2024)

L'ambito 3 riguarda una colata detritica che si è originata dal versante soprastante al reticolo BG088-623 con conseguente colata detritica lungo lo stesso, che ha interessato il sottostante abitato ed in particolare l'area artigianale posta a valle lungo via Cornella all'incrocio con via A. Locatelli, interessando anche la sede stradale di accesso all'abitato di Ardesio.



Figura 27 – Colata detritica del 10 ottobre 2024 presso il comparto artigianale di via Locatelli



Figura 28 – Materiale franato presso il comparto artigianale di via Locatelli



Figura 29 – Colata detritica lungo il versante a monte



Figura 30 - Frana di monte e parte alta della valletta interrotta dal materiale (foto da relazione GEA Ottobre 2024)



Figura 31 - Vallecola vista verso monte e verso valle (foto da relazione GEA Ottobre 2024)

2.4. Aggiornamento del quadro dissesti in relazione agli eventi storici

Con riferimento agli eventi storici segnalati tra il 2013 ed il 2024 sul territorio di Ardesio, si segnala che tutti gli eventi intervenuti sul territorio comunale ricadono entro perimetrazioni di pericolosità già in essere, oppure, per quanto riguarda piccoli eventi localizzati, comunque entro ambiti posti in classe di fattibilità 4 per gravi problematiche di instabilità di versante (classe 4er – aree molto acclivi o in erosione accelerata).

Pertanto, non si è reso necessario proporre l'aggiornamento delle perimetrazioni P.A.I. attualmente in essere, se non quelle legate agli ambiti valanghivi come già segnalati nei successivi capitoli.



2.5. Carta idrogeologica

La carta idrogeologica riassume le principali caratteristiche idrogeologiche del territorio di Ardesio. All'interno della cartografia, viene data una valutazione di massima della permeabilità superficiale delle differenti unità litologiche, con distinzione tra terreni (permeabilità primaria) e le rocce (permeabilità prevalentemente secondaria).

A meno di alcune discrepanze minimali nella denominazione delle formazioni rocciose, irrilevanti ai fini degli scopi tecnici della cartografia, la definizione e mappatura degli elementi litotecnici risulta ad oggi ancora valida e, di conseguenza, le valutazioni di natura idrogeologica. Pertanto, non si propongono modifiche, recependo in toto la tavola 4 all'interno della presente variante.

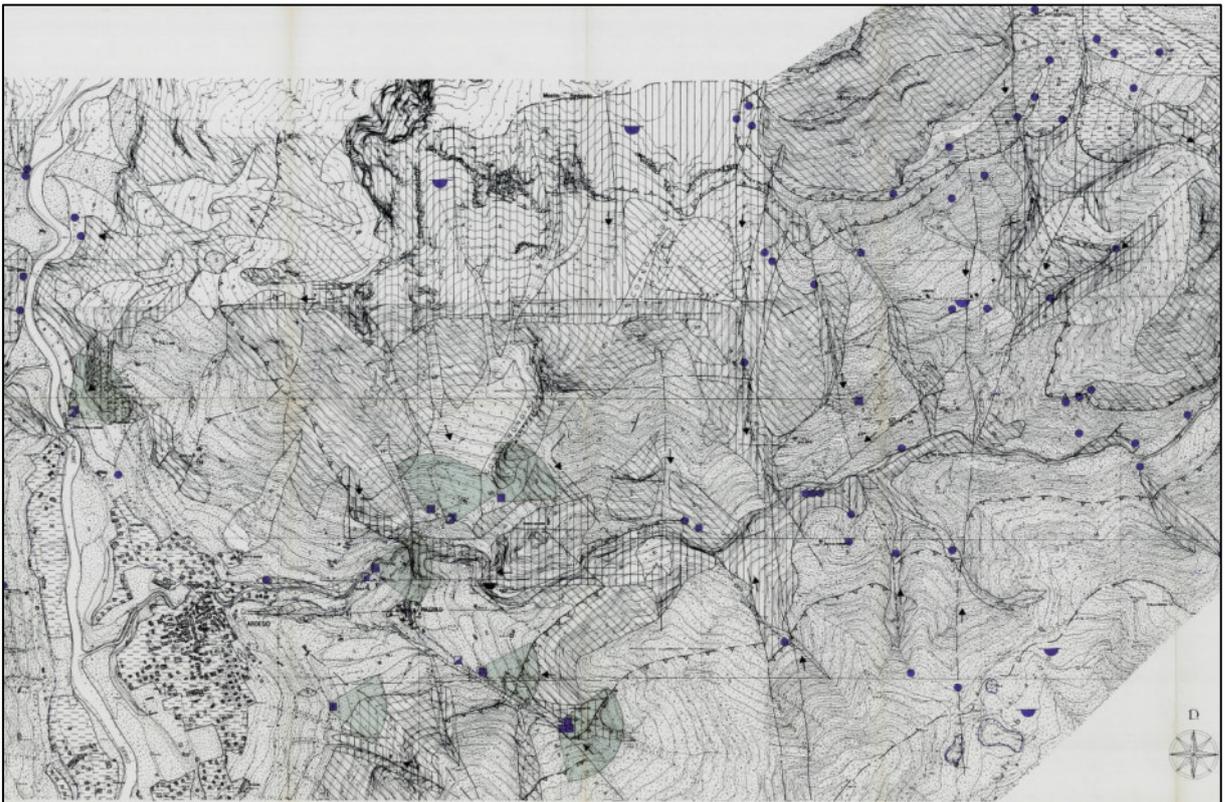


Figura 32 – Stralcio della tavola 4c – Carta idrogeologica

3. QUADRO DISSESTI

- **TAVOLA N. 2 – CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA P.A.I. – P.G.R.A.**
- **TAVOLA N. 3 – CARTA DEI VINCOLI**

3.1. Modifiche apportate alla cartografia del dissesto

La cartografia del dissesto P.A.I. – P.G.R.A. vede l'aggiornamento degli ambiti P.A.I. relativi alla pericolosità da valanga, gli altri ambiti di dissesto P.A.I. rimangono invece inalterati.

La modifica alle aree valanghive è effettuata sulla scorta di:

1. Adeguamento delle aree di valanga a pericolosità elevata (Ve) o moderata (Vm) alle perimetrazioni della Carta di Probabile Localizzazione delle Valanghe (CLPV) così come da shapefile disponibili sul Geoportale di Regione Lombardia
2. Per le due valanghe interferenti con l'abitato di Valcanale (Canale Valgua e Valle Barenisini), redazione di uno studio nivologico di dettaglio.

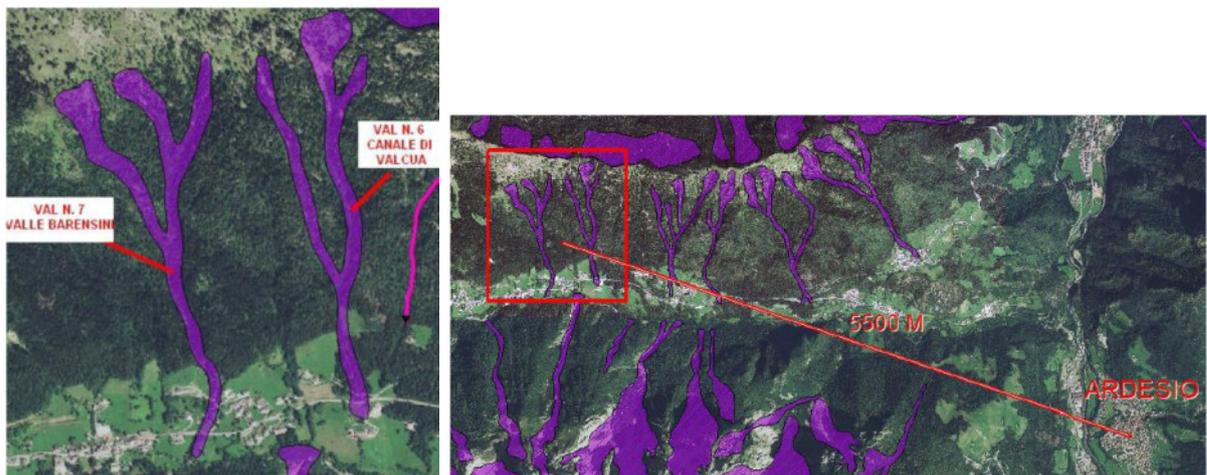


Figura 33 – Individuazione delle dia valanghe oggetto dello studio di dettaglio così come perimetrate dalla CLPV

3.1.1. Adeguamento ambiti valanghivi al SIRVAL

In occasione della prima redazione della Carta del dissesto PAI (giugno 2012) gli Scriventi, autori della Componente Geologica, avevano basato la perimetrazione delle aree valanghive sulla scorta dei dati digitalizzati del Sistema Informativo Regionale Valanghe - SIRVAL allora disponibili e sulla scorta della cartografia geoambientale di Regione Lombardia (Carta di Probabile Localizzazione delle Valanghe – CLPV al 25.000).

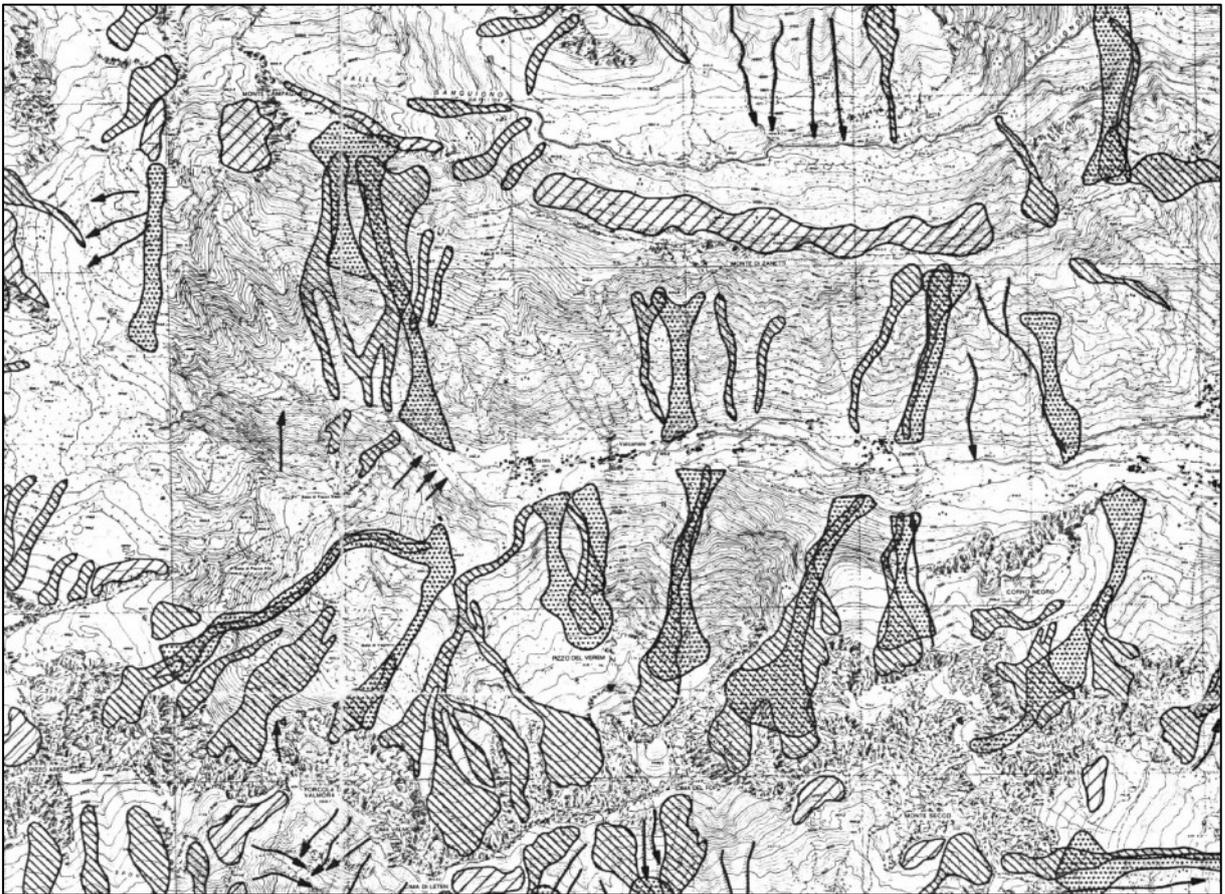
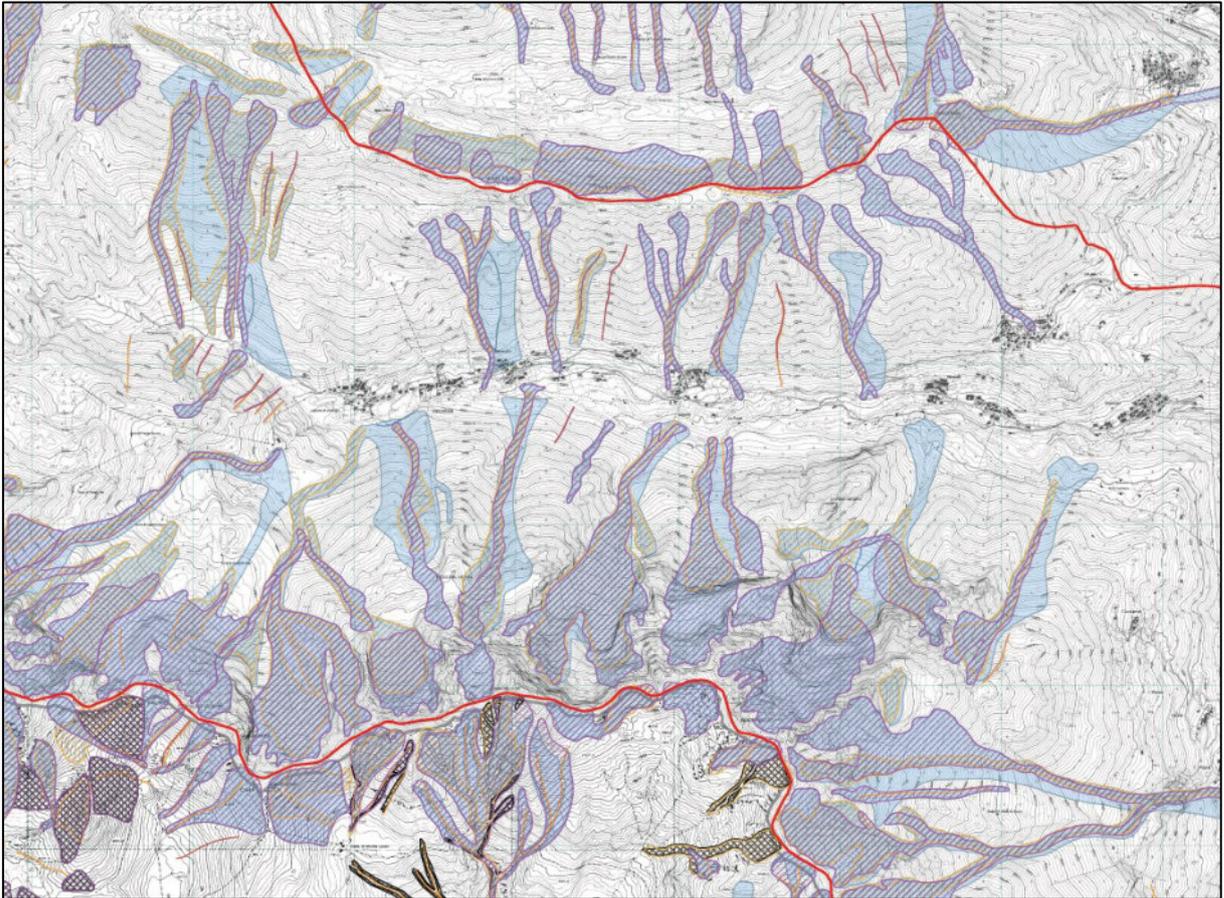


Figura 34 – Stralcio carta CLPV – Cartografia Geoambientale RL nella zona di Valcanale

Le due perimetrazioni (SIRVAL e CLPV) risultavano discordanti in vari punti, con aree talora perfettamente sovrapponibili e talora discordanti. In assenza di indicazioni specifiche, le aree valanghive furono dunque tracciate all'interno della tavola di dissesto del PAI come involuppo delle perimetrazioni fornite dalle due fonti dati. Alle

volte sono state incluse in maniera artificiosa porzioni di territorio esterne ad ambedue le cartografie di rilievo, al fine di rendere più coerente a livello topografico e morfologico l'involuppo stesso.



Comuni_2019_poligonali

ARDESIO

SIRVAL

Siti_valanghivi_da_rilevamento

Possibili continuazioni e collegamenti di valanghe

Valanghe

Zone pericolose

Zone presunte pericolose

Siti_valanghivi_da_fotointerpretazione

Possibili continuazioni e collegamenti di valanghe

Valanghe

Zone pericolose

Zone presunte pericolose

PAI

Dissesti_lineari_Art9_PAI

Dissesti_poligonali_Art9_TitoloIV_PAI

Area a pericolosità media o moderata (Vm)/Modifiche e integrazioni

Area a pericolosità molto elevata o elevata (Va)/Modifiche e integrazioni

Figura 35 – Sovrapposizione aree valanghive da SIRVAL (in magenta e giallo) e perimetrazione PAI adottata nella prima versione della cartografia PAI del PGT di Ardesio, in azzurro (GEA, 2012), stralcio nella zona di Valcanale

In seguito all'approvazione e conseguente pubblicazione, nel 2013, del Piano, tale scelta ha da subito aperto delle problematiche, con alcune segnalazioni di ambiti territoriali posti entro le aree valanghive ma prive di evidenze morfologiche e nivologiche circa reale pericolosità di fenomeni valanghivi.

Interrogato il Servizio Nivometeorologico di ARPA Bormio sul problema, è stato riferito che l'esatta ubicazione delle aree valanghive è quella resa disponibile all'interno del dataset SIRVAL, in quanto l'allora cartografia CLPV presentava perimetrazioni incorrette.

Nell'attuale aggiornamento della componente geologica, di conseguenza, sono state recepite le indicazioni del Centro Nivometeorologico ARPA Bormio, adeguano la perimetrazione degli ambiti valanghivi (Ve) al database SIRVAL ed eliminando dunque di fatto quelle aree che ne risultano esterne.



3.1.2. Studio di dettaglio canaloni Valcanale

Per quanto riguarda le due valanghe di Valgua e della valle Barenisini, si è proceduto ad effettuare uno studio di dettaglio in quanto le due valanghe andavano ad interessare direttamente l'abitato di Valcanale in località Barenisini e soprattutto la strada di accesso a Valcanale.

Lo Studio è stato condotto in accordo con la d.g.r. IX/2616 del 30 novembre 2011 ed in particolare con le linee guida di cui all'allegato 3 - Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità da valanga.

Demandando i dettagli di analisi alla lettura dello Studio, che compone il presente aggiornamento della Componente Geologica, si evidenziano i risultati dello stesso. lo studio in esame e la pianificazione delle zone esposte al pericolo valanghe è stata eseguita, come da disciplinare di incarico utilizzando le linee guida previste dalla normativa elvetica [*UFAFP-Direzione federale delle foreste, FNP-Istituto federale per lo studio della neve e delle valanghe. Direttive per la costruzione di opere di premunizione valangaria nella zona di distacco. Ed. 1990*].

Le due valanghe sono dunque state perimetrate in:

Zona rossa: zone ad elevata pericolosità

1. quando le valanghe esercitano una pressione di 30 KN/m² o più con una periodicità che può andare fino a 300 anni (valanghe estreme), oppure
2. quando le valanghe esercitano pressioni più deboli, ma la cui periodicità è inferiore o uguale a 30 anni.
3. zone di distacco (campo addizionale non compreso nelle linee guida svizzere)

Zona blu: zona a moderata pericolosità

1. quando ci sono valanghe esercitanti una pressione minore di 30 KN/m² con una periodicità variabile tra 30 e 300 anni;
2. quando la zona è esposta agli effetti delle valanghe di neve polverosa esercitanti pressioni inferiori a 3 KN/m² e la cui periodicità è minore di 30 anni;



Zona gialla: zona a bassa pericolosità

1. quando il territorio è situato nella zona di influenza delle valanghe polverose esercitanti una pressione uguale o inferiore a 3 KN/m² e la cui periodicità è superiore ai 30 anni;
2. quando il territorio può essere raggiunto da valanghe di neve scorrevole – fenomeno che in teoria non si può escludere – che sono estremamente rare (periodicità media superiore a 300 anni) e non possono essere valutate statisticamente;

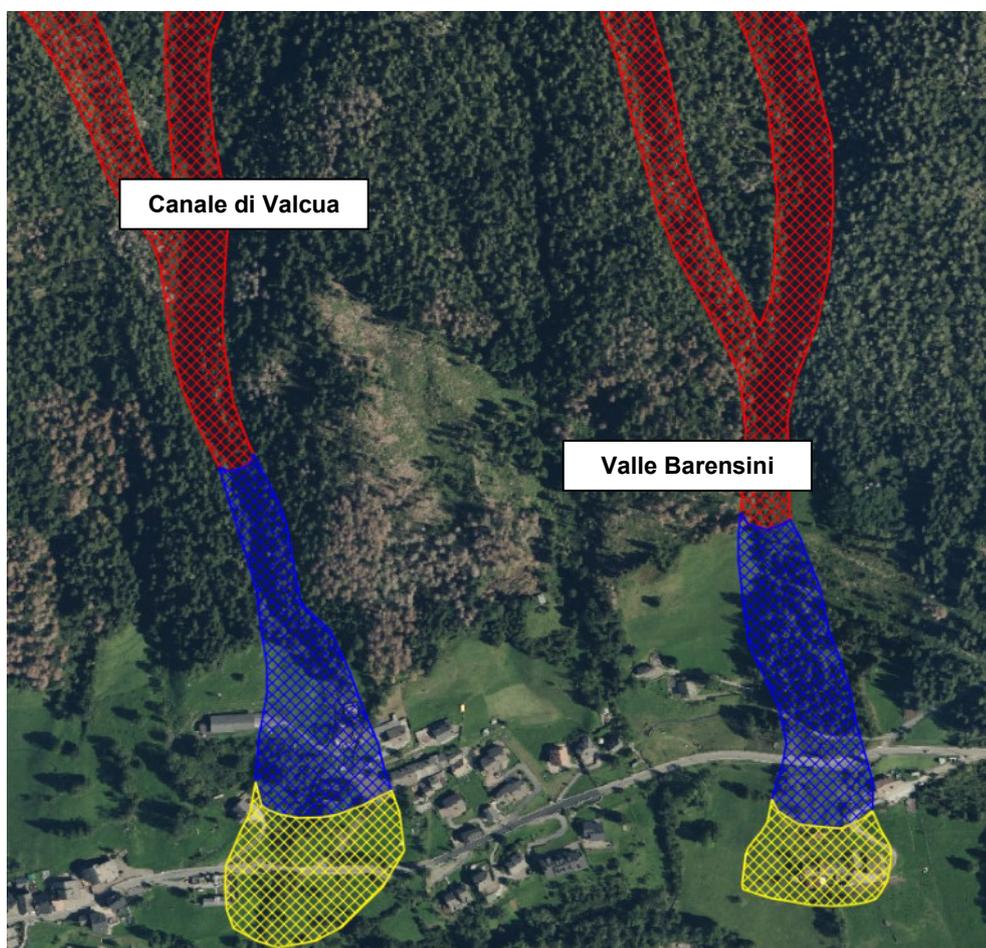


Figura 36 – Perimetrazione tra zona rossa, blu e gialla per le due valanghe studiate

Per quanto riguarda l'attribuzione delle zone così perimetrare agli ambiti di dissesto P.A.I ed alla conseguente attribuzione della classe di fattibilità geologica, si fa riferimento alla tabella 2 della d.g.r X/2616.

Zona rossa	Classe 4 – gravi limitazioni	Ve, Vm – pericolosità molto elevata o media per valanga
Zona blu	Classe 3 – consistenti limitazioni	Nessuna corrispondenza con legenda PAI ma norme di cui all'Allegato 3
Zona gialla, Zona bianca	Classe 2 – modeste limitazioni	Nessuna corrispondenza con legenda PAI ma norme di cui all'Allegato 3

Figura 37 – Stralcio della tabella 2 della d.g.r. X/2616-2011

In particolare, avendo definito per la perimetrazione della pericolosità le classi secondo la direttiva Elvetica con una pressione > 30 KPa per la zona rossa, si attribuisce a questa l'ambito P.A.I. di **elevata Pericolosità (Ve)**. Le restanti zone di pericolosità moderata (blu) e bassa (gialla) vengono stralciate dal P.A.I., ma le perimetrazioni vengono comunque incluse, come si vedrà in seguito, nelle norme specifiche di fattibilità geologica.



3.2. Recepimento ambiti P.G.R.A.

In adeguamento alla d.g.r. X/6738 del 2017, inoltre, sono state introdotte le perimetrazioni della pericolosità del Reticolo Secondario Collinare e Montano (RSCM) coerentemente agli ambiti Ee, Eb, Em, Ca, Cp e Cn individuati dal P.A.I., come segue:

- Ambiti Ee → Scenario molto frequente, pericolosità P3/H
- Ambiti Eb → Scenario poco frequente, pericolosità P2/M
- Ambiti Em → Scenario raro, pericolosità P1/L
- Ambiti Ca → Scenario molto frequente, pericolosità P3/H
- Ambiti Cp → Scenario poco frequente, pericolosità P2/M
- Ambiti Cn → Scenario raro, pericolosità P1/L

3.2.1. Ambiti di rischio R4

Essendo confermate le aree di pericolosità P3/H e P2/M del PGRA, si confermano di pari passo le aree incluse in classe di rischio R4 contenute all'interno della pianificazione a scala di bacino. Non risulta dunque necessario provvedere a studi di dettaglio, confermando le previsioni del PGRA. Le aree poste in zona a rischio R4 sono individuate nella tavola 8 con apposito segno grafico.



4. VINCOLI

➤ TAVOLA N. 3 – CARTA DEI VINCOLI

4.1. Criteri di realizzazione della cartografia dei vincoli

I nuovi criteri di realizzazione degli studi geologici di supporto ai Piani di Governo del Territorio prevedono, in fase di sintesi, la realizzazione di un'adeguata cartografia che indichi chiaramente i vincoli di carattere geologico, idraulico e idrogeologico cui è sottoposto il territorio comunale (Carta dei Vincoli realizzata in scala 1:5000 e 1:2000 per tutto il territorio comunale).

Tali vincoli sono riassumibili in:

- Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/89;
- *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico*: delimitazione dei dissesti P.A.I. aggiornato come da paragrafo precedente.
- *Vincoli di polizia idraulica ai sensi della d.g.r. 25 gennaio 2002 n. 7/7868*: individuano le fasce di rispetto dei corsi d'acqua del Reticolo Idrico Principale e Minore, presenti nel territorio comunale, definite in 10 m (e talora 5 m) dalle sponde esterne.
- Si ricorda inoltre che, nella valutazione di questo vincolo, la distanza di 5 m o 10 m deve di fatto essere definita puntualmente sul terreno e misurata sempre a partire dai cigli esterni delle sponde dei corsi d'acqua.
Inoltre, a causa di possibili errori cartografici, inaccessibilità delle aree, proprietà private, ecc. sarà sempre necessario determinare topograficamente di volta in volta la posizione delle fasce di rispetto in relazione alla reale posizione del reticolo, dal momento in cui lo stesso può talvolta differire da quello riportato in cartografia.
- *Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile*: zona di tutela assoluta e zona di rispetto delle captazioni pubbliche ad uso idropotabile (sorgenti e pozzi), individuate ai sensi del D.Lgs. 152/2006 art. 94. Nel



comune di Ardesio e nelle immediate vicinanze sono state riscontrate una serie di captazioni pubbliche idropotabili, le cui aree di salvaguardia sono state perimetrate con criterio geometrico. Una eventuale ridefinizione con criteri più precisi delle aree di salvaguardia delle captazioni idropotabili è demandata ad uno studio di dettaglio appositamente predisposto.

- *Geositi*: nel territorio di Ardesio sono stati proposti i seguenti siti di interesse geologico – naturalistico:
 - *Conca del Neel*;
 - *Lago Branchino*;
 - *Pizzo Arera – Monte Secco*;
 - *Geotopo – Cavità carsica di Ficarelli*.



5. SINTESI DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI

➤ TAVOLA N. 4 – CARTA DI SINTESI

5.1. Criteri di realizzazione della cartografia di sintesi

La fase di sintesi della cartografia relativa agli studi geologici di supporto ai Piani di Governo del Territorio prevede la realizzazione di una cartografia adeguata, che sintetizzi in scala opportuna (1:5.000 o superiore) le principali problematiche di ordine geologico, geomorfologico, idrogeologico e idrologico separatamente indicate nella cartografia tematica.

Gli ambiti di criticità sono suddivisi in base alla tipologia di problema riscontrato, sulla scorta delle linee guida emanate dalla Regione Lombardia:

- *Aree vulnerabili per l'instabilità dei versanti*: problematiche connesse alla presenza di fenomeni erosivi lungo pendii (incluse le valanghe).
- *Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico*: problematiche legate alla presenza di corsi d'acqua e relativi fenomeni di dissesto (esondazioni), carenze delle opere di difesa spondale e simili.
- *Altre tipologie*: aree di raccordo tra i versanti principali ed il fondovalle.

In Ardesio le aree critiche più significative sono senz'altro quelle di tipo idraulico e di instabilità dei versanti.

È possibile, naturalmente, la coesistenza di problematiche diverse su di una medesima zona. In questo caso, se tale concomitanza è significativa, la Carta di Sintesi la rappresenta mediante la sovrapposizione grafica delle simbologie relative a ciascun fenomeno.

Si noti come vi sia corrispondenza fra gli ambiti individuati nella Carta di Sintesi e le classi di fattibilità indicate nella Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano. La presenza di



elementi di vulnerabilità comporta l'attribuzione delle classi 2 e 3 (divise in ambiti), oppure, per i fenomeni più gravi, della classe 4 (ancora divisa in ambiti), a seconda del livello di criticità. La coesistenza di ambiti critici corrispondenti a classe 3 e 4 sulla medesima area comporta automaticamente l'attribuzione della classe 4, cioè la più vincolante, anche se nella realizzazione di interventi e nella predisposizione di indagini occorre tener conto delle prescrizioni e degli approfondimenti previsti per tutti i fenomeni di criticità presenti.



5.2. Individuazione delle aree di criticità

La distribuzione dei differenti ambiti di criticità geologica rispecchia fedelmente le problematiche del territorio.

In particolar modo:

- **Aree vulnerabili per l'instabilità dei versanti**
 - Aree di frana attiva (Fa): ambiti caratterizzati da fenomeni franosi attivi. I fenomeni compresi in questa categoria sono frane di scivolamento, crollo e colata. Gli ambiti sono individuabili anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. 1:10.000 e sulla Carta dei Vincoli. Le aree sono concentrate nel comparto di versante, su ambedue le sponde del Serio, nella Valle dell'Acqualina e nella Valle del Rino.
 - Aree di frana quiescente (Fq): ambiti caratterizzati da fenomeni franosi quiescenti. I fenomeni compresi in questa categoria sono principalmente frane di scivolamento e colate. Gli ambiti sono individuabili anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. 1:10.000 e sulla Carta dei Vincoli. Le aree sono concentrate nel comparto di versante, e particolarmente sulla sponda idrografica destra del Serio.
 - Aree di frana relitta o stabilizzata (Fs): ambiti caratterizzati da fenomeni franosi relitti (paleofrane) o stabilizzati. I fenomeni compresi in questa categoria sono frane di qualsiasi tipo. Gli ambiti sono individuabili anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. 1:10.000 e sulla Carta dei Vincoli. Le aree Fs sono diffuse soprattutto nella Valle dell'Acqualina, ma sono molto meno frequenti rispetto alle frane attive e quiescenti.
 - Aree molto acclivi e/o in erosione accelerata (er): zone site in versante da acclive a molto acclive, con concomitanza di più problematiche geomorfologiche e geotecniche. In particolare si riscontrano coperture detritiche diffuse (depositi di versante), balze rocciose, tracce di erosione



superficiale diffusa. La maggior parte dei comparti di versante esternamente ai centri abitati ricade in questo ambito. Più in particolare, ricadono in questi ambiti tutte quelle zone molto scoscese e possibilmente instabili che non presentano, però, chiari segnali di dissesto o perimetrazioni di dissesti sovraordinate.

- Aree acclivi o prossime a scarpate acclivi (as): aree ad acclività medio-elevata o poste in immediata prossimità di scarpate acclivi, talora caratterizzate da presenza di fenomeni erosivi diffusi, ruscellamento concentrato, colluviamento, soliflusso e soil creep. Distribuite in tutto il comune lungo i versanti meno acclivi, soprattutto nelle fasce di raccordo tra i pendii montani più ripidi e le zone di fondovalle (ad esempio in corrispondenza delle principali frazioni della Valle dell'Acqualina e a monte del centro abitato principale di Ardesio).
- Aree a pericolosità molto elevata o elevata di valanga (Ve): aree valanghive concentrate nel comparto di versante del comune, con notevole diffusione ovunque. Alcune valanghe raggiungono il fondovalle seriano e quello della Valle dell'Acqualina. Gli ambiti sono individuabili anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. 1:10.000 e sulla Carta dei Vincoli.
- Zona blu a moderata pericolosità per valanghe
- Zona gialla a bassa pericolosità per valanghe
- Aree a rischio idrogeologico molto elevato (zona 1) (z1): aree a rischio idrogeologico molto elevato individuate in vari punti del territorio comunale: Valzella, Babes e Sottocorna. Le problematiche sono di franosità. La zona 1 delinea l'ambito a maggior rischio. L'ambito è individuabile anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. 1:10.000 e sulla Carta dei Vincoli.
- Aree a rischio idrogeologico molto elevato (zona 2) (z2): aree a rischio idrogeologico molto elevato individuate a Valzella, Babes e Sottocorna. Le problematiche sono di franosità. La zona 2 delinea l'ambito a rischio inferiore. L'ambito è individuabile anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. 1:10.000 e sulla Carta dei Vincoli.



- **Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico**
 - Aree a pericolosità molto elevata di esondazione torrentizia (Ee): aree di pertinenza degli alvei attivi di alcuni corsi d'acqua, interessati o potenzialmente interessabili da fenomeni di esondazione ed erosione torrentizia molto frequenti. Queste aree coincidono con gli ambiti di dissesto Ee ubicati lungo gli alvei dei principali corsi d'acqua, soprattutto il Serio. Gli ambiti sono individuabili anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. 1:10.000 e sulla Carta dei Vincoli.
 - Aree a pericolosità elevata di esondazione torrentizia (Eb): aree di pertinenza degli alvei attivi di alcuni corsi d'acqua, interessati o potenzialmente interessabili da fenomeni di esondazione ed erosione torrentizia frequenti. Queste aree coincidono con gli ambiti di dissesto Eb ubicati in alcune aree lungo le sponde del Serio. Gli ambiti sono individuabili anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. 1:10.000 e sulla Carta dei Vincoli.
 - Aree a pericolosità media o moderata di esondazione torrentizia (Em): aree interessate o potenzialmente interessabili da fenomeni di esondazione frequenti e di erosione torrentizia, anche se con minor grado di pericolosità rispetto alle aree Ee ed Eb. Queste aree sono concentrate in prevalenza lungo le sponde del Serio. Gli ambiti sono individuabili anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. 1:10.000 e sulla Carta dei Vincoli.
 - Aree di conoide attivo non protette (Ca): aree occupate da conoidi attivi non protetti. L'ambito è individuabile anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. 1:10.000 e sulla Carta dei Vincoli. Si tratta di aree diffuse su praticamente tutti i conoidi riconosciuti sul territorio comunale.
 - Aree di conoide attivo parzialmente protette (Cp): aree occupate da conoidi attivi parzialmente protetti. L'ambito è individuabile anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. 1:10.000 e sulla Carta



dei Vincoli. Si tratta di aree diffuse su praticamente tutti i conoidi riconosciuti sul territorio comunale.

- Aree di conoide completamente protette o non recentemente attivatosi (Cn): aree occupate da conoidi non attivatisi in tempi recenti e/o completamente protette. L'ambito è individuabile anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. 1:10.000 e sulla Carta dei Vincoli. Si tratta di aree diffuse su praticamente tutti i conoidi riconosciuti sul territorio comunale.
 - Aree di drenaggio preferenziale delle acque (drp): questo ambito di criticità è stato individuato a sud di Bani, in zona Ficarelli. Si tratta di ambiti dove è riscontrata la presenza di vie di scorrimento preferenziale delle acque superficiali e/o sotterranee; in queste aree, qualsiasi intervento dovrà tenere in considerazione le problematiche di probabile presenza d'acqua nel sottosuolo.
- *Altre tipologie*
 - Aree di raccordo tra i versanti principali ed il fondovalle (fv): si tratta di aree generalmente strette ed allungate, tendenzialmente pianeggianti o subpianeggianti, poste nel fondovalle seriano, in adiacenza ad aree di esondazione vere e proprie. Talvolta queste zone possono anche essere poste tra pendii instabili a monte ed aree di esondazione a valle.



6. FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO

➤ TAVOLA N. 5 – CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO

6.1. Criteri di realizzazione della cartografia di fattibilità

La fase finale dello studio geologico di supporto al Piano di Governo del Territorio consiste nell'attribuzione delle opportune classi di fattibilità geologica agli ambiti di criticità emersi durante lo studio del territorio e sintetizzate nella Carta di Sintesi, tenendo conto anche dei vincoli geologici indicati nella relativa tavola.

La cartografia di fattibilità consiste di tre tavole in scala 1:2000, più una tavola in scala 1:5000 su base aerofotogrammetrica comprensiva dell'intero territorio comunale. Oltre a queste tavole è stata predisposta una tavola finalizzata all'aggiornamento del mosaico informatizzato regionale di fattibilità geologica in scala 1:10000 su base C.T.R.

La cartografia di proposta ha influenza diretta e fattiva sulle scelte amministrative e sulle politiche del territorio, suddividendo il comune in aree ove la fattibilità delle azioni di piano è subordinata a precise prescrizioni di ordine geologico, che possono anche comportare l'inedificabilità (tranne per casi particolari) nel caso della classe 4.

Non sono stati evidenziati, durante l'analisi del territorio, elementi sufficienti a giustificare l'introduzione della classe di fattibilità 1 (fattibilità senza particolari limitazioni). Pertanto, la classe di fattibilità meno limitante introdotta rimane la 2.

Sulla Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano viene riportata anche la zonizzazione sismica di secondo livello (ambiti PSL) così come riportata nella Carta della Pericolosità Sismica Locale in aggiornamento del mosaico Regionale della Fattibilità.



6.2. Individuazione delle classi di fattibilità sul territorio

La distribuzione delle classi di fattibilità geologica sul territorio comunale di Ardesio rispecchia la localizzazione delle aree di criticità evidenziate nella cartografia di sintesi, scaturite dall'analisi territoriale rappresentata nella cartografia tematica.

La classe di fattibilità 2 (gialla), la meno limitante, occupa una porzione abbastanza modesta (anche se significativa dal punto di vista urbanistico) del territorio comunale, in corrispondenza di parte del centro storico di Ardesio e di parte dell'abitato di Ludrigno. Si tratta di aree prive di problematiche oppure con problematiche di conoide non gravi (Cn).

In queste porzioni di territorio non sono state riscontrate importanti problematiche di ordine geologico; sarà ad ogni modo necessario attenersi alle norme di piano, con particolare riferimento all'esecuzione delle adeguate indagini geotecniche per le opere edilizie.

La classe di fattibilità 3 (arancio) occupa, con le sue varie suddivisioni, porzioni importanti del territorio comunale. Inoltre, essa funge generalmente da fascia di sicurezza fra le classi 2 e 4. Le zone più significative sono concentrate nel fondovalle seriano, nel centro storico, in corrispondenza delle principali frazioni, in corrispondenza di alcuni gruppi di cascate nei comparti di versante, nella Conca del Neel e in varie aree montane prive di dissesti gravi.

Le problematiche riscontrate sono di varia tipologia, riconducibili principalmente a motivazioni geomorfologiche, idrauliche e di altro tipo già ampiamente descritte nel capitolo relativo alla cartografia di sintesi.

La classe di fattibilità 4 ha una distribuzione notevole sul territorio; d'altronde la grande quantità di dissesti e l'elevata acclività della maggior parte del comune non possono che implicare la presenza di vaste aree ricadenti in questa classe. In particolare, la classe 4 con le sue varie suddivisioni occupa:



- L'alveo attivo del Fiume Serio e di tutti i corsi d'acqua o impluvi più significativi.
- I versanti più ripidi.
- Tutte le aree in dissesto attivo e in pericolosità elevata di valanga.

Per la cartografia delle classi di fattibilità è stato seguito il criterio di utilizzare una suddivisione in ambiti di criticità, ad ognuno dei quali corrisponde una propria normativa di fattibilità.



6.3. Differenze introdotte dalla variante geologica

Come anticipato, le variazioni nella carta della fattibilità geologica ricalcano le modifiche alle perimetrazioni delle aree valanghive definite dal P.A.I. e dallo studio di dettaglio recepito. Rispetto alla vigente fattibilità vengono introdotte le sottoclassi 3vb (zona blu a moderata pericolosità per valanga) e 3vg (zona gialla a bassa pericolosità per valanga).



7. NORME GEOLOGICHE DI PIANO

In allegato alla presente relazione sono riportate le prescrizioni normative tecniche per gli interventi urbanistici, con indicazione degli studi e delle indagini di approfondimento richieste, delle opere di mitigazione del rischio, degli interventi di controllo dei fenomeni in atto o potenziali, della predisposizione di sistemi di monitoraggio e degli idonei piani di protezione civile; tali prescrizioni devono essere recepite nelle Norme Tecniche di Attuazione del Piano di Governo del Territorio.

Per ciascun ambito di intervento, indipendentemente dalla classe di fattibilità assegnata ad ogni poligono e dagli studi di approfondimento indicati nelle specifiche classi di fattibilità, devono essere comunque applicate le disposizioni previste dal D.M. 14 gennaio 2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008 – Supplemento Ordinario n. 30).

Viene inoltre indicato quanto alla D.G.R. 6738 del 19-06-2017 in merito alla classificazione in ambiti di Fattibilità per le aree di cui al P.G.R.A.

Si specifica che la Carta dei Vincoli, la Carta di Sintesi e la Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano, nonché le presenti Norme Geologiche di Attuazione, costituiscono parte integrante anche del Piano delle Regole, ai sensi dell’art. 10, comma 1, lettera d della L.R. 12/2005.



8. VALUTAZIONE DELL'EFFETTO SISMICO

➤ TAVOLA N. 1 – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

8.1. Generalità e metodologie di analisi

Con l'entrata in vigore, il 23 ottobre 2005, dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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" (pubblicata sulla G.U. n. 105 del 08-05-2003 Supplemento ordinario n. 72), viene effettuata una suddivisione del territorio nazionale su base sismica e vengono fornite le prime normative tecniche per le costruzioni nelle zone sismiche. La Regione Lombardia ha preso atto della classificazione di tale Ordinanza mediante la d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003.

L'Ordinanza è peraltro entrata in vigore contestualmente al D.M. 14-09-2005 "Norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n. 222 del 23-09-2005 Supplemento ordinario n. 159.

Grazie alla nuova Ordinanza, si è passati dalla vecchia classificazione sismica del territorio nazionale (D.M. 5 marzo 1984) alla suddivisione nuova che, per la Lombardia, classifica 41 comuni in zona 2, 238 comuni in zona 3 e 1267 comuni in zona 4.

In tempi più recenti, la classificazione sismica del territorio lombardo è stata oggetto di una nuova revisione, in base alla quale tutti i comuni bergamaschi, ivi incluso Ardesio, sono stati riclassificati nella zona sismica 3.



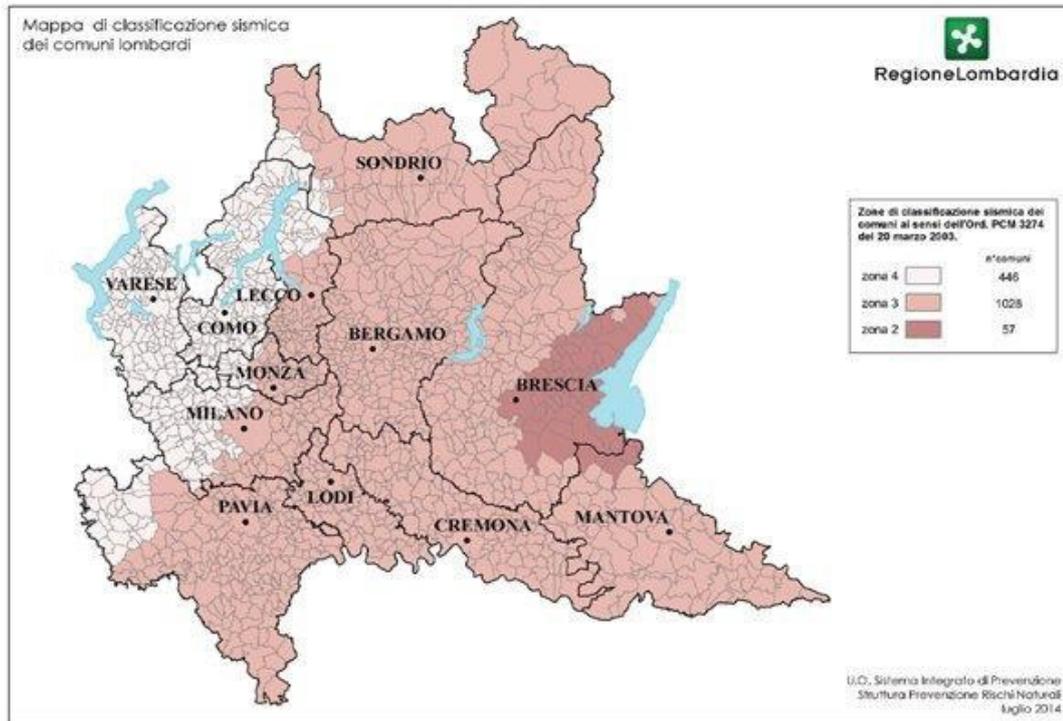


Figura 38 - classificazione sismica secondo D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129 (tutta la bergamasca si trova in zona sismica 3, ivi Ardesio)

Al fine di sviluppare una metodologia di valutazione dell'amplificazione sismica locale in adempimento alle nuove normative nazionali, la Regione Lombardia ha predisposto uno studio pilota, elaborato dal Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Strutturale, basato sull'analisi di indagini dirette e prove sperimentali effettuate in aree campione del territorio regionale. Tale metodologia, esaustivamente descritta nell'Allegato 5 dei Criteri attuativi della L.R. 12/2005, prevede studi basati su **tre livelli di approfondimento crescente**.

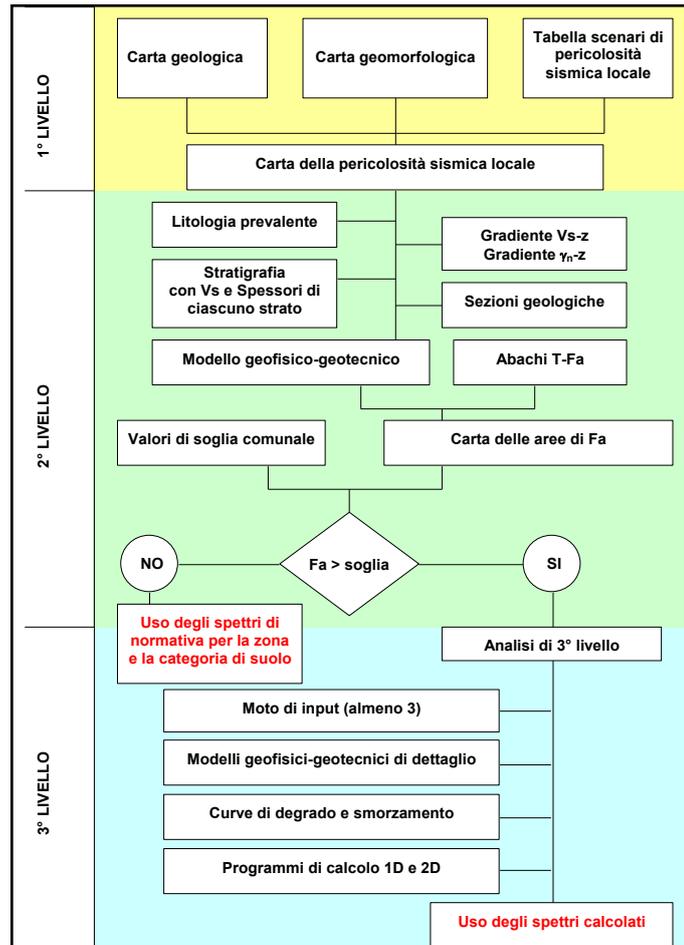


Figura 39 - Diagramma dei percorsi di definizione dei tre livelli di approfondimento sismico (Criteri attuativi L.R. 12/05 – Regione Lombardia)

Il **1° livello**, obbligatorio per tutti i comuni (quindi anche quelli classificati in zona 4), consiste in una zonazione del territorio comunale in aree a diverso grado di pericolosità sismica locale, sulla base degli elementi geologici e geomorfologici presenti, nonché la redazione di una Carta della Pericolosità Sismica Locale contenente tali perimetrazioni.

Il **2° livello** prevede una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione sismica nelle aree perimetrate dalla Carta della Pericolosità Sismica Locale. Tale caratterizzazione, che deve essere effettuata secondo le metodologie specifiche descritte nel suddetto Allegato 5 dei Criteri attuativi della L.R. 12/2005, fornisce una stima della risposta sismica dei terreni, costituita da un *fattore di amplificazione Fa*. Mediante il 2° livello di approfondimento si individuano quelle aree



dove la normativa nazionale non è sufficiente a salvaguardare dagli effetti dell'amplificazione sismica locale, ovvero quelle zone dove il fattore di amplificazione F_a calcolato è superiore al valore F_a di soglia fornito per il comune dal Politecnico di Milano. In queste aree bisogna procedere con gli approfondimenti di 3° livello, oppure usare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore. Il 2° livello di approfondimento è obbligatorio per i comuni classificati in zona 2 e 3 che posseggono zone di amplificazione sismica Z3 e Z4 (cfr. tabella nelle pagine seguenti) interferenti con i centri abitati o gli ambiti di possibile espansione urbanistica. Inoltre il 2° livello è obbligatorio anche per i comuni classificati in zona 4 che posseggono zone di amplificazione sismica Z3 e Z4 interferenti con costruzioni strategiche rilevanti (individuate dalla d.g.r. n. 14964/2003); gli stessi comuni possono decidere di estendere questo livello di approfondimento anche ad altre tipologie di edifici. I valori F_a di soglia determinati per il comune di Ardesio sono riportati nella tabella seguente.

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0,5 E 1,5 s				
	Valori soglia			
COMUNE	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
AMBIVERE	1.4	1.8	2.2	2.0
ANTEGNATE	1.5	1.9	2.3	2.0
ARCENE	1.5	1.9	2.3	2.0
ARDESIO	1.4	1.9	2.2	2.0
ARZAGO D'ADDA	1.4	1.9	2.2	2.0
AVERARA	1.4	1.9	2.2	2.0
AVIATICO	1.4	1.9	2.2	2.0

Valori soglia per il periodo 0,5-1,5 s nei diversi tipi di suoli del comune di Ardesio



VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0,1 E 0,5 s				
	Valori soglia			
COMUNE	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
AMBIVERE	1.7	2.4	4.2	3.1
ANTEGNATE	1.7	2.4	4.3	3.1
ARCENE	1.7	2.4	4.3	3.1
ARDESIO	1.7	2.4	4.2	3.1
ARZAGO D'ADDA	1.7	2.4	4.2	3.1
AVERARA	1.7	2.4	4.2	3.1
AVIATICO	1.7	2.4	4.2	3.1

Valori soglia per il periodo 0,1-0,5 s nei diversi tipi di suoli del comune di Ardesio

Il 3° livello di approfondimento, da eseguirsi secondo le linee guida emanate dalla Regione Lombardia, implica la definizione degli effetti di amplificazione sismica mediante indagini ed analisi approfondite. In fase progettuale, questo livello si applica quando un comune è caratterizzato dalla presenza di zone di amplificazione sismica Z1, Z2 e Z5, oppure quando possiede zone Z3 e Z4 per le quali il 2° livello mostra l'insufficienza della normativa nazionale. Il 3° livello è inoltre obbligatorio per la progettazione di edifici il cui uso prevede affollamento, per industrie pericolose da un punto di vista ambientale, per reti viarie e ferroviarie essenziali o strategiche.

Occorre precisare che gli approfondimenti di 2° e 3° livello non devono essere eseguiti nelle aree che, per caratteristiche geologiche o per vincoli normativi, sono escluse dall'edificazione.

Il comune di Ardesio ricade in zona sismica 3, perciò è stato applicato il 2° livello di approfondimento, con la zonizzazione del territorio, la realizzazione della Carta della Pericolosità Sismica Locale e una serie di indagini geofisiche (tromografie digitali) in vari punti del territorio.



8.2. Analisi sismica di 1° livello

In seguito all'analisi sismica di primo livello, nel territorio di Ardesio sono stati individuati diversi ambiti di amplificazione sismica locale:

- **Z1a: zona caratterizzata da movimenti franosi attivi:** riferita ai perimetri P.A.I. di Frana Attiva (Fa)
- **Z1b: zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti:** riferita ai perimetri P.A.I. di Frana Quiescente (Fq)
- **Z1a: zona potenzialmente franosa o esposta al rischio di frana:** riferita ai perimetri P.A.I. di Frana Stabilizzata (Fs)
- **Z2a: Zona con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)** (effetto sismico di cedimento/liquefazione). Non sono state riportate aree riconducibili a tale classificazione nel comune di Ardesio.
- **Z3a: Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, nicchia di distacco, ecc.),** sono state attribuite a tale classe le scarpate dei terrazzi del Serio avente altezza pari o superiore ai 10 m.
- **Z3b: Zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo,** sono stati associate le creste dei rilievi entro il territorio comunale.
- **Z4a: Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi** (effetto sismico di amplificazione litologica). Ricadono in questo ambito tutte le aree costituite da depositi alluvionali e fluvioglaciali prive di una significativa copertura pedologica o loessica.
- **Z4b: Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre:** comprende le falde detritiche alla base dei versanti, le zone di conoide alluvionale, in particolare quelli allo sbocco del torrente Rino e della Valcanale.
- **Z4c: Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche):** comprende i depositi morenici alle spalle dei versanti della Val Seriana e delle immissarie



- **Z5: Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse:** viene indicato il contatto tettonico della Valtorta – Valcanale tra i litotipi bacinali oceanici a sud e i litotipi metamorfici e continentali a nord.

Come già accennato, gli ambiti di amplificazione sismica sono cartografati nella Tavola 1 – Carta della Pericolosità Sismica Locale (in scala 1:5.000). Essi sono anche stati sovrapposti, mediante retinature trasparenti, alla Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano.

Per la realizzazione di qualsiasi opera, ed a maggior ragione di opere pubbliche o strategicamente rilevanti, l'aspetto sismico dovrà sempre essere attentamente valutato.

8.2.1. Differenze introdotte dalla variante geologica

Non sono state introdotte modifiche agli ambiti Z1 (tutte le classi) e Z4 (tutte le classi), se non piccole modifiche alle perimetrazioni dovute alla necessità di adattarsi alla base cartografica di riferimento.

Gli ambiti di scarpata posti in classe Z3a, soggetti ad amplificazione topografica, sono stati eliminati siccome:

- Sono state escluse le scarpate inferiori ai 10 m di altezza, in particolare quelle riferite al primo terrazzo del Serio.
- Sono state escluse, dopo valutazione sismica, le scarpate dovute a terrazzi fluviali, in quanto caratterizzate da materiale avente $V_s < 800$ m/s

Per quanto riguarda gli ambiti posti in classe Z3b, si segnalano alcune modifiche ed aggiunte distribuite lungo il territorio in prossimità delle principali creste



8.1. Analisi sismica di 2° livello: Amplificazione Morfologica

8.1.1. Zona di scarpata (Scenario Z3a)

Lo scenario di zona di scarpata rocciosa (Z3a) è caratterizzato da irregolarità con fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 m ed inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore ai 10° (Scheda di valutazione).

Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere una Vs maggiore o uguale ad 800 m/s. In funzione della tipologia del fronte superiore si distinguono:

1. scarpate ideali con fronte superiore orizzontale;
2. scarpate in pendenza con fronte superiore inclinato nello stesso senso del fronte principale;
3. scarpate in contropendenza con fronte superiore inclinato nel senso opposto a quello del fronte principale.

La misura dell'altezza H è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore è da definire come distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica. Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

1. un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore ai 15-20 m;
2. l'inclinazione (β) del fronte superiore inferiore o uguale ad un quinto dell'inclinazione (α) del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per $\beta > 1/5\alpha$ la situazione è da considerarsi pendio);
3. il dislivello altimetrico minimo (h) minore ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H), nel caso di scarpate in contropendenza (per $h \geq 1/3H$ la situazione è da considerarsi una cresta appuntita).

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione dell'inclinazione α il valore di Fa nell'intervallo 0.1-0.5 s. Il valore di Fa determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato al ciglio del fronte principale, mentre all'interno della relativa area di influenza (fronte superiore) il valore è scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario; lungo il fronte principale tale valore è scalato in



modo lineare fino al valore unitario alla base del fronte stesso. I valori di F_a così ottenuti dovranno essere utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

8.1.2. Zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo (Scenario Z3b)

La procedura semplificata è valida per lo scenario di zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo (Z3b), caratterizzata da pendii con inclinazione maggiore o uguale ai 10° ; il rilievo è identificato sulla base di cartografie a scala almeno 1:10.000 e la larghezza alla base è scelta in corrispondenza di evidenti rotture morfologiche: sono da considerare creste solo quelle situazioni che presentano il dislivello altimetrico minimo (h) maggiore o uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H) (Scheda di valutazione).

Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere una V_s maggiore o uguale ad 800 m/s. Nell'ambito delle creste si distinguono due situazioni:

1. rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta (I) molto inferiore alla larghezza alla base (L) (cresta appuntita);
2. rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta paragonabile alla larghezza alla base, ovvero pari ad almeno $1/3$ della larghezza alla base; la zona di cresta è pianeggiante o subpianeggiante con inclinazioni inferiori a 10° (cresta arrotondata).

Per l'utilizzo della scheda di valutazione si richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

1. larghezza alla base del rilievo L ;
2. larghezza in cresta del rilievo I ;
3. dislivello altimetrico massimo H e dislivello altimetrico minimo h dei versanti;
4. coefficiente di forma H/L .

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della tipologia di cresta (appuntita o arrotondata) e della larghezza alla base del rilievo, solo per le creste appuntite, la curva più appropriata per la valutazione del valore di F_a nell'intervallo 0.1-0.5 s, in base al valore del coefficiente di forma H/L .

Il valore di F_a determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale ed



assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta l , mentre lungo i versanti tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante. I valori di F_a così ottenuti dovranno essere utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione, per ambedue gli scenari (zona di scarpata e zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo), viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di F_a ottenuti dalle Schede di valutazione con il valore di St delle Norme Tecniche per le Costruzioni. Tale valore St rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	St
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

Figura 40 - Categorie topografiche

La procedura prevede, pertanto, di valutare il valore di F_a con la scheda di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di $+ 0.1$ che tiene in conto la variabilità del valore di F_a ottenuto dalla procedura semplificata. Si possono presentare, quindi, due situazioni:

1. il valore di F_a è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
2. il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia.

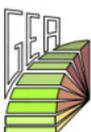
Nel caso di rilievi morfologici asimmetrici che possono essere rappresentati sia dallo



scenario Z3a sia dallo scenario Z3b, a seconda dell'orientazione della sezione, si analizzeranno entrambi i casi e si sceglierà quello più sfavorevole.

Nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani, in presenza di scenari Z3a e Z3b, è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia

Per la definizione delle sezioni, si è adottata come base topografica il DTM da 5x5 m disponibile sul portale cartografico della Regione Lombardia.



8.1.3. Profili analizzati

8.1.3.1. Scenario Z3a

Per quanto riguarda lo scenario Z3a (scarpata) sono state indicate nella cartografia di 1 livello circa 140 scarpate, distribuite su tutto il territorio comunale.

A causa dell'elevato numero, non è stata effettuata l'analisi su tutte e 140 le scarpate, al fine di evitare la produzione di un sovrannumero di dati.

Sono stati analizzati n. 12 profili, ritenuti significativi in quanto estesi oppure in quanto direttamente interferenti con gli ambiti urbanizzati nel comune di Ardesio (prevalentemente quindi presso il fondovalle e all'imbocco della Valle del Rino).

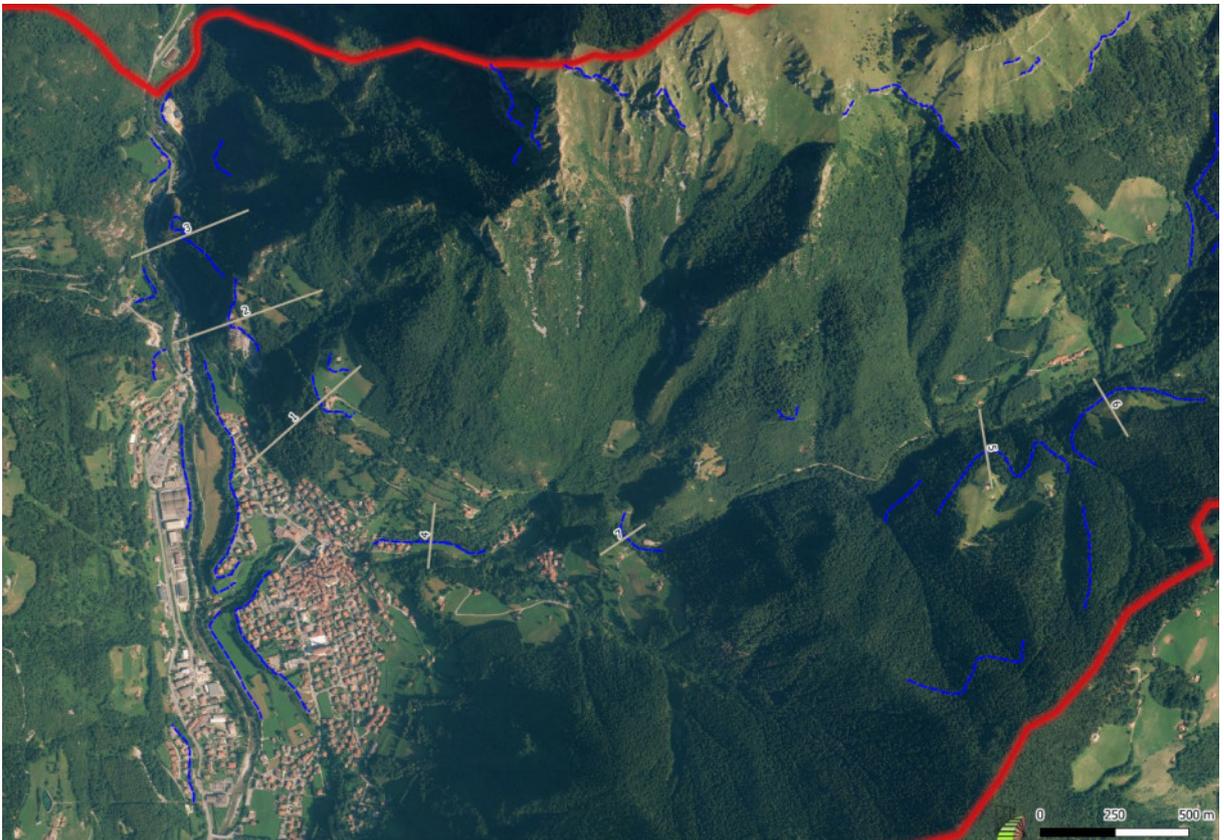


Figura 41 – Traccia delle sezioni di verifica ambiti Z3a

8.1.3.1. Scenario Z3b

Per quanto riguarda lo scenario Z3b (cresta) sono state indicate nella cartografia di 1 livello circa 260 creste, distribuite su tutto il territorio comunale.

A causa dell'elevato numero, non è stata effettuata l'analisi su tutte e 140 le scarpate, al fine di evitare la produzione di un sovrannumero di dati.

Sono stati analizzati n. 12 profili, ritenuti significativi in quanto estesi oppure in quanto direttamente interferenti con gli ambiti urbanizzati nel comune di Ardesio (prevalentemente lungo le valli del Rino e Valcanale).

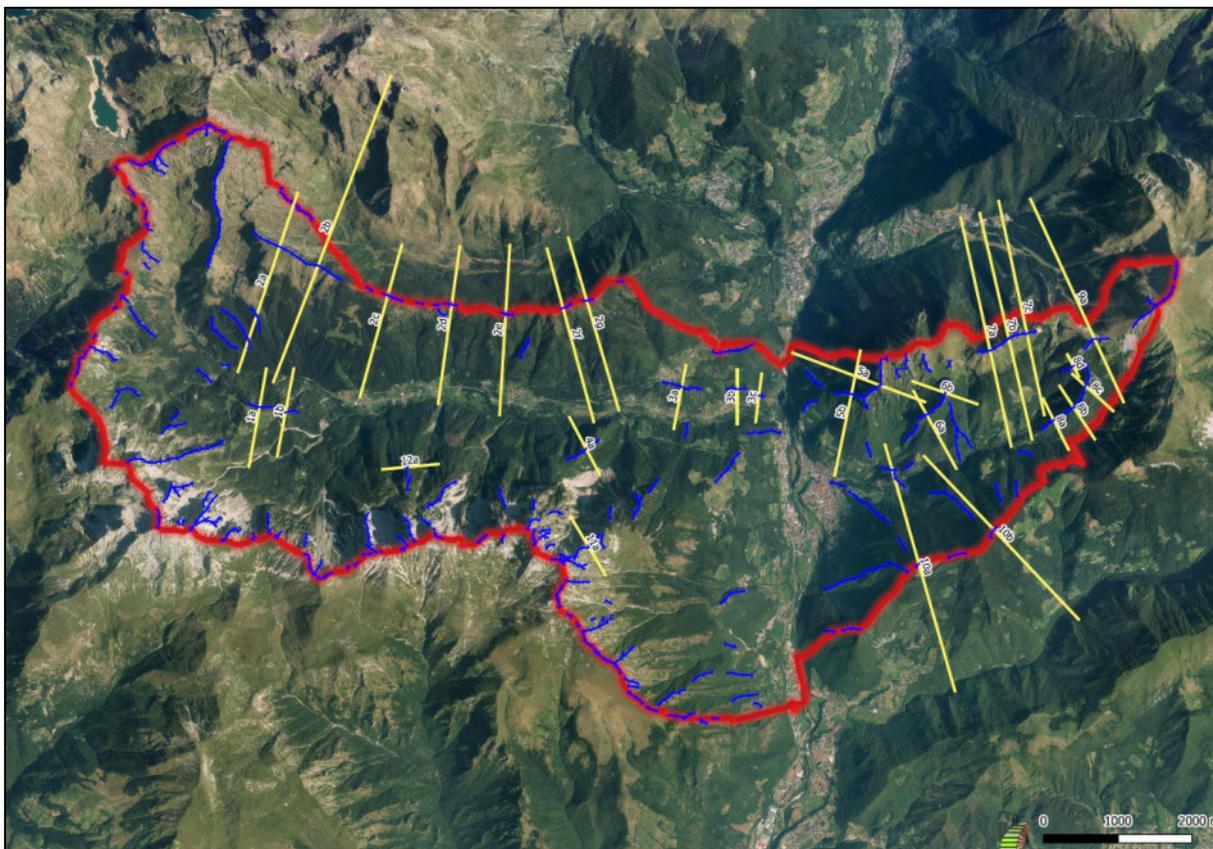


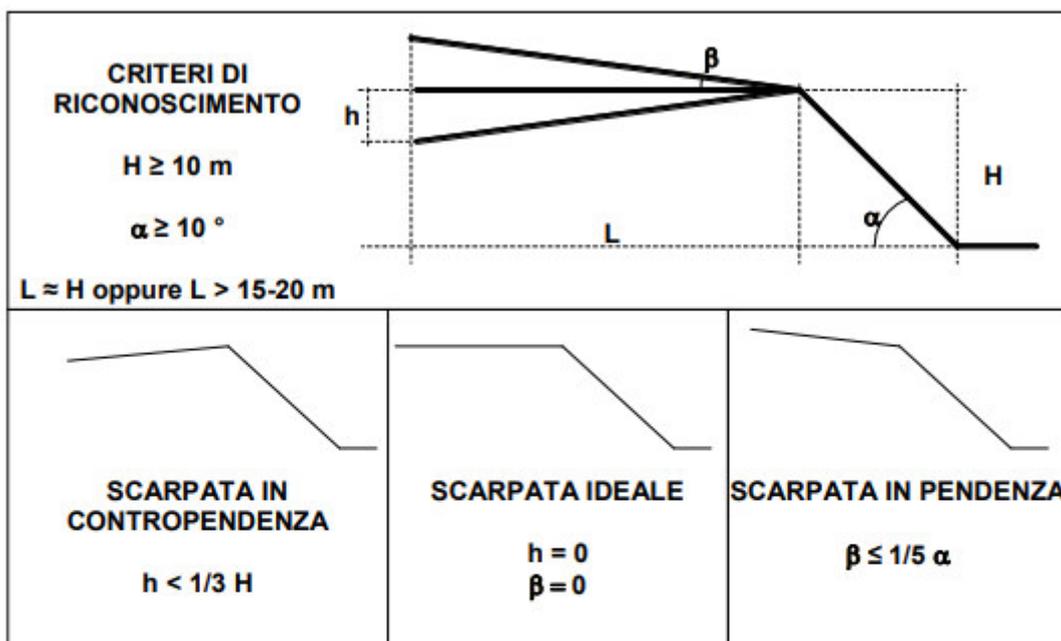
Figura 42 - Traccia delle sezioni di verifica ambiti Z3b

8.1.4. Elaborazione

8.1.4.1. Scenario Z3a

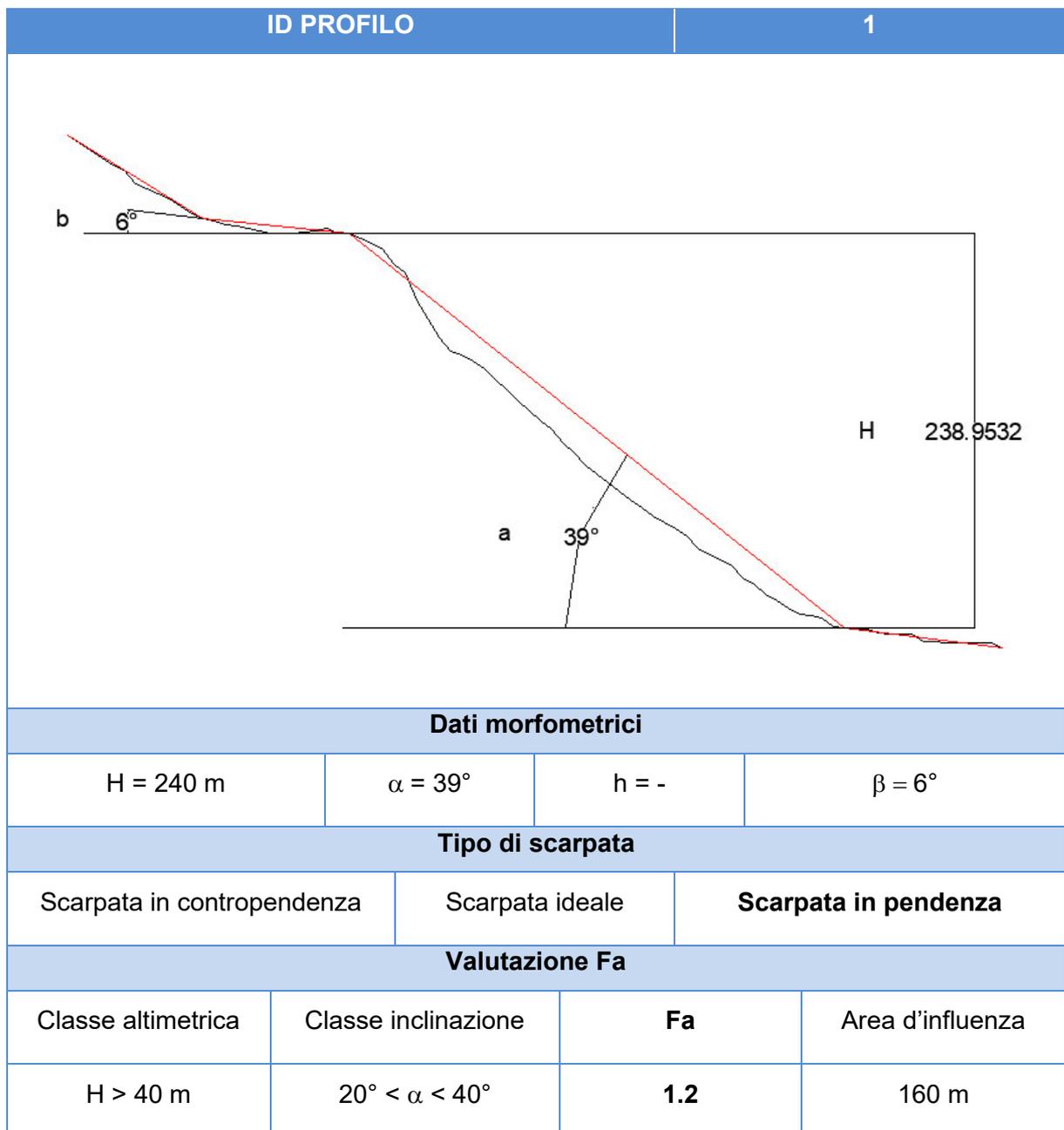
Per quanto riguarda lo scenario Z3a, viene applicato quanto definito nella scheda di riferimento.

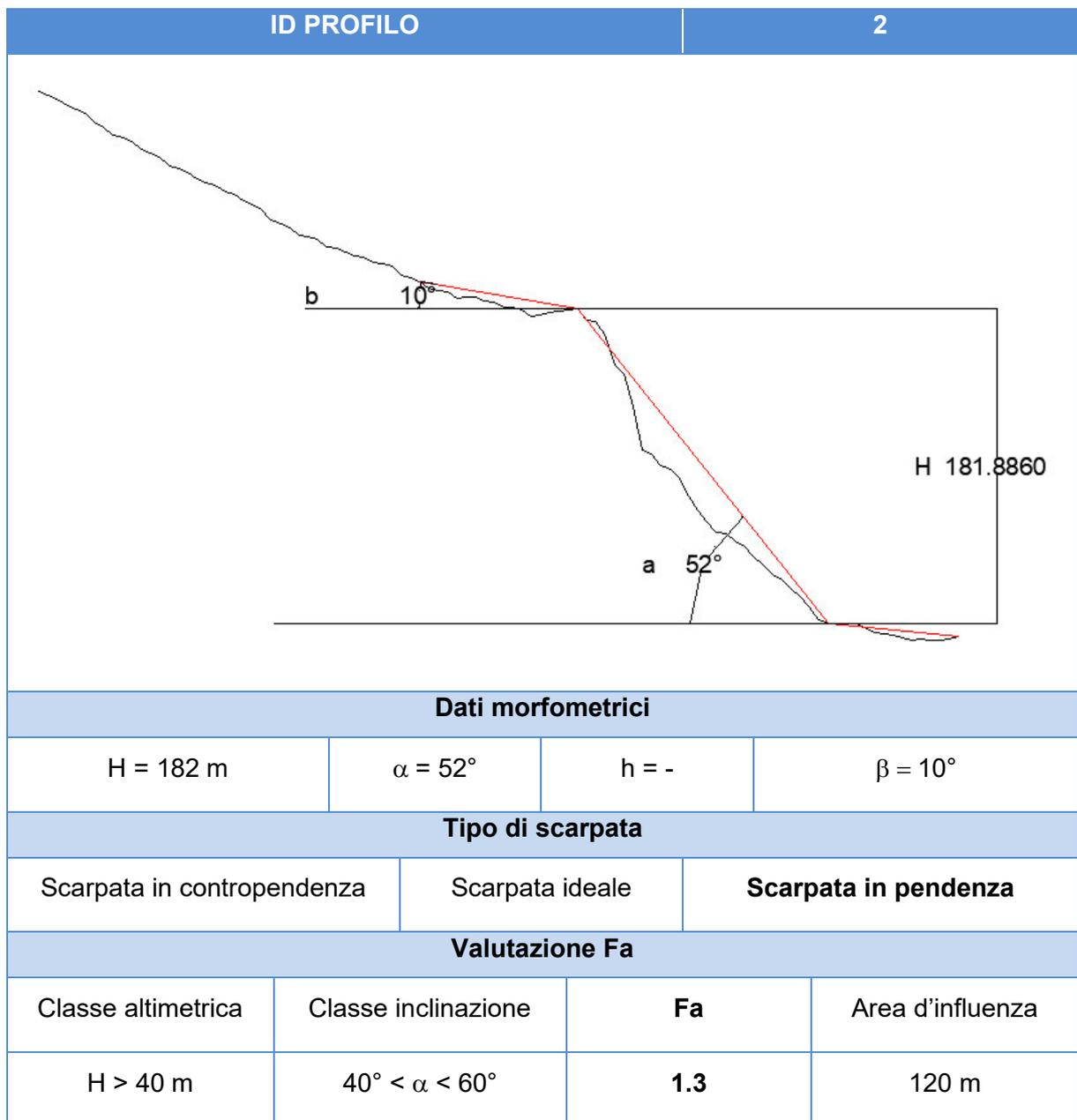
EFFETTI MORFOLOGICI – SCARPATA - SCENARIO Z3a



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	

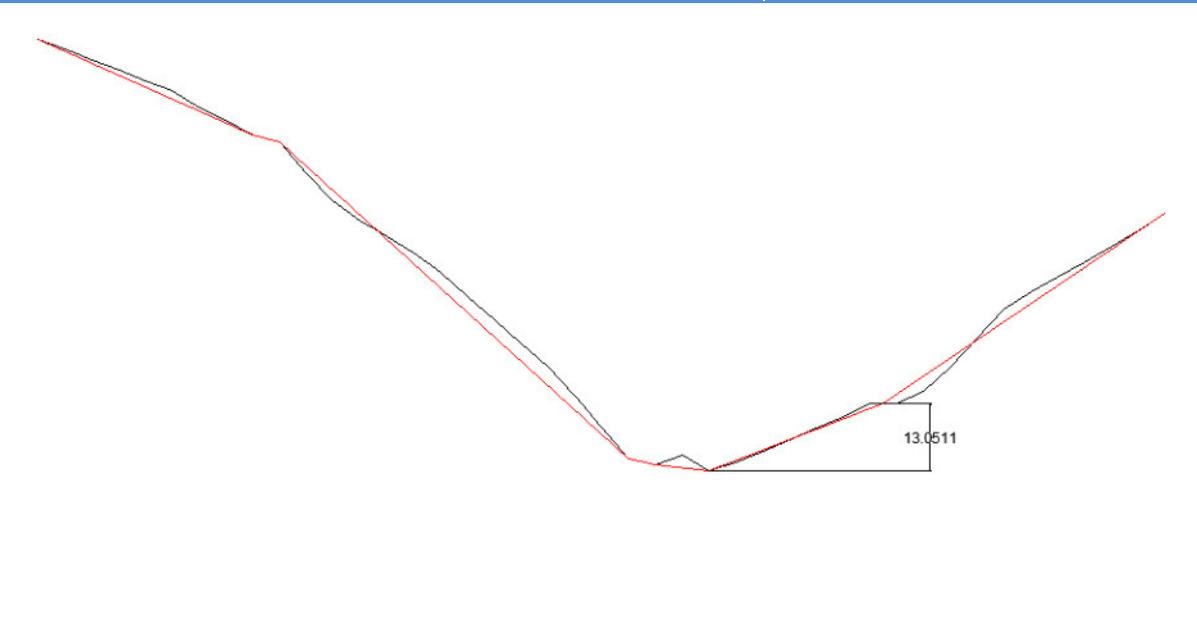




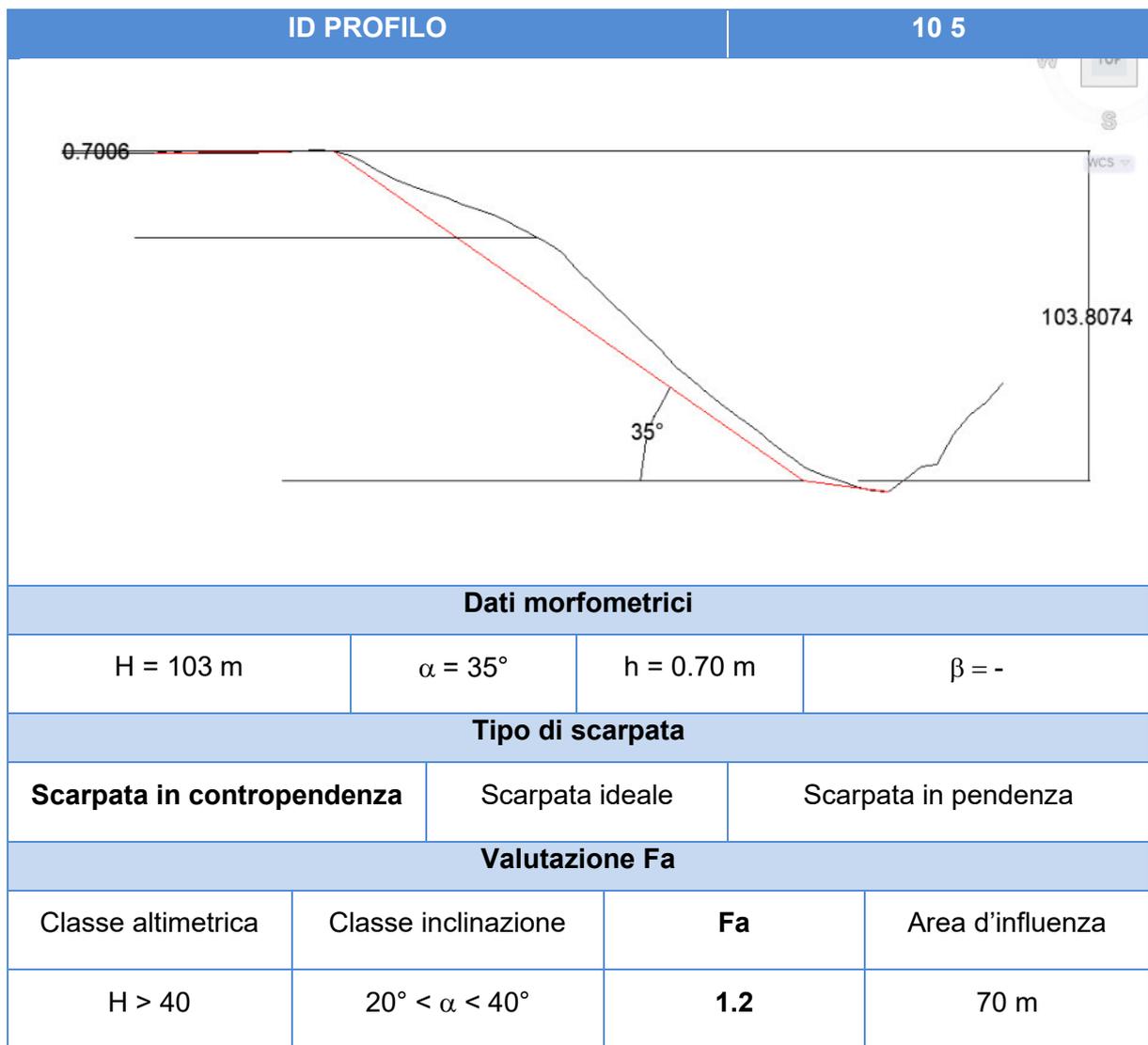


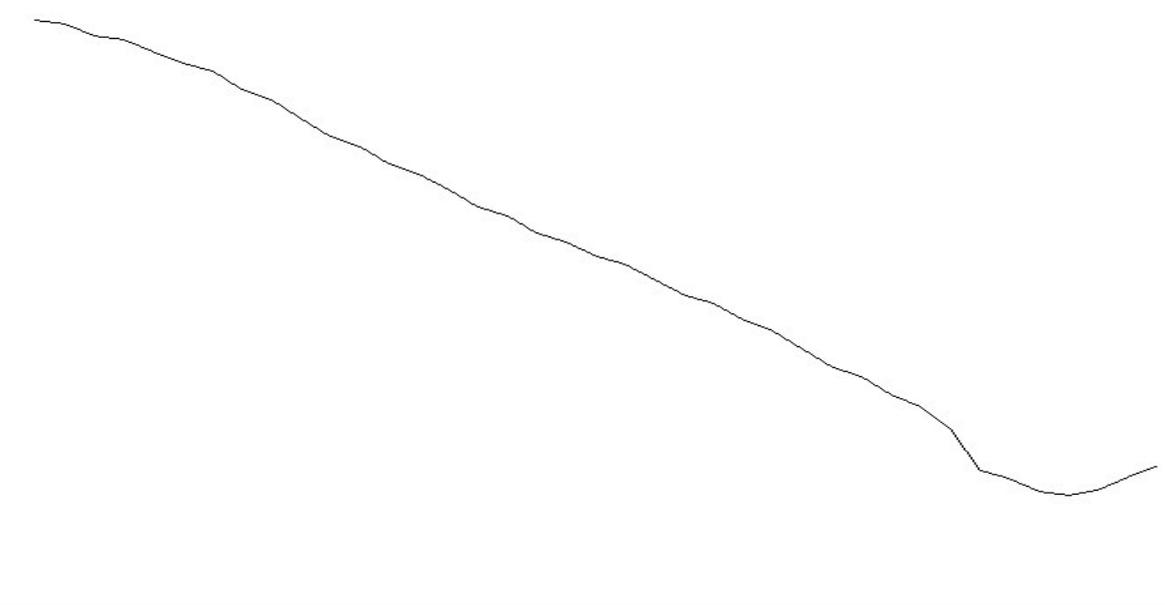
ID PROFILO		3	
Dati morfometrici			
H = 102 m	$\alpha = 44^\circ$	h = -	$\beta = 10^\circ$
Tipo di scarpata			
Scarpata in contropendenza	Scarpata ideale	Scarpata in pendenza	
Valutazione Fa			
Classe altimetrica	Classe inclinazione	Fa	Area d'influenza
H > 40 m	$40^\circ < \alpha < 60^\circ$	1.3	66 m



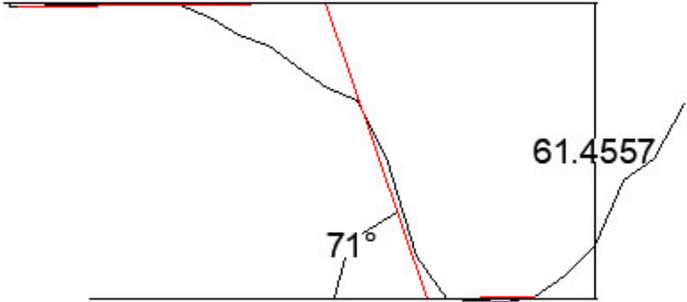
ID PROFILO		4	
			
ESCLUSA PER L<15 m			
Dati morfometrici			
H = 13 m	$\alpha = -$	h = -	$\beta = -$
Tipo di scarpata			
Scarpata in contropendenza	Scarpata ideale	Scarpata in pendenza	
Valutazione Fa			
Classe altimetrica	Classe inclinazione	Fa	Area d'influenza
-	-	-	-





ID PROFILO		11 6	
			
Sezione 11 esclusa per motivi morfologici (assente effettiva scarpata)			
Dati morfometrici			
H = - m	$\alpha = -$	h = - m	$\beta = -$
Tipo di scarpata			
Scarpata in contropendenza	Scarpata ideale	Scarpata in pendenza	
Valutazione Fa			
Classe altimetrica	Classe inclinazione	Fa	Area d'influenza
-	-	-	-

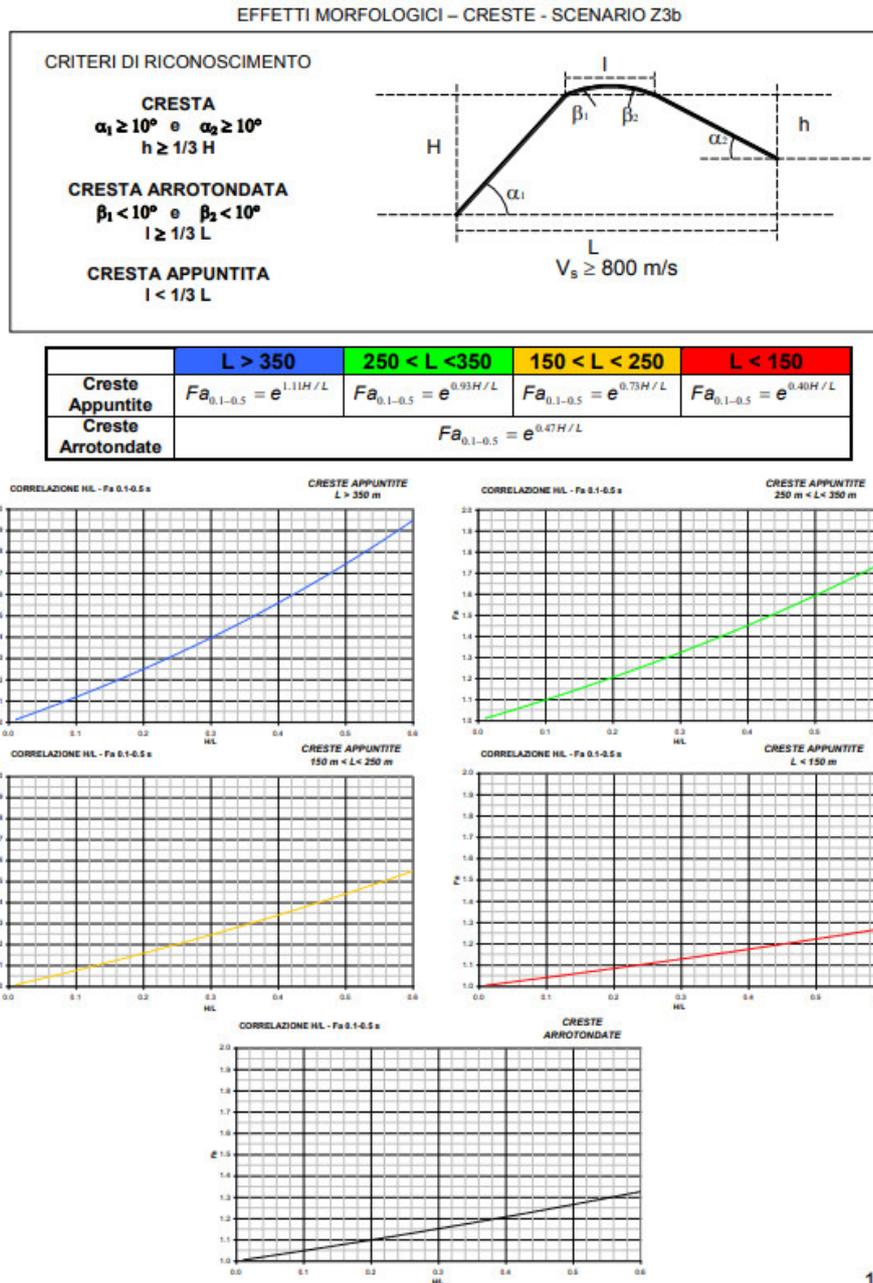


ID PROFILO		12 7	
			
Sezione 11 esclusa per motivi morfologici (assente effettiva scarpata)			
Dati morfometrici			
H = 61 m	$\alpha = 71$	h = -	$\beta = -$
Tipo di scarpata			
Scarpata in contropendenza	Scarpata ideale	Scarpata in pendenza	
Valutazione Fa			
Classe altimetrica	Classe inclinazione	Fa	Area d'influenza
H > 40 m	$60 < \alpha < 70$	1.2	40 m



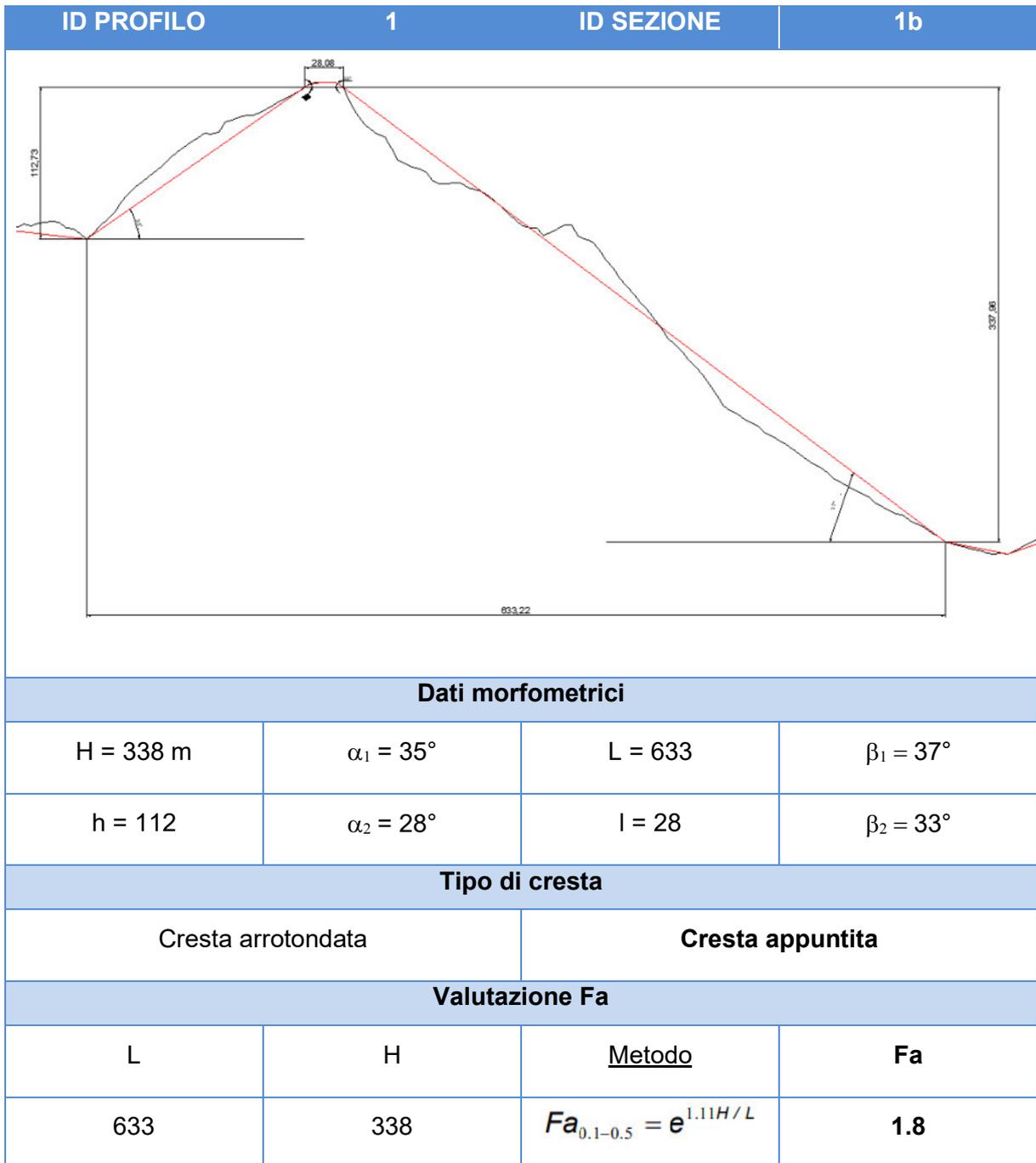
8.1.4.1. Scenario Z3b

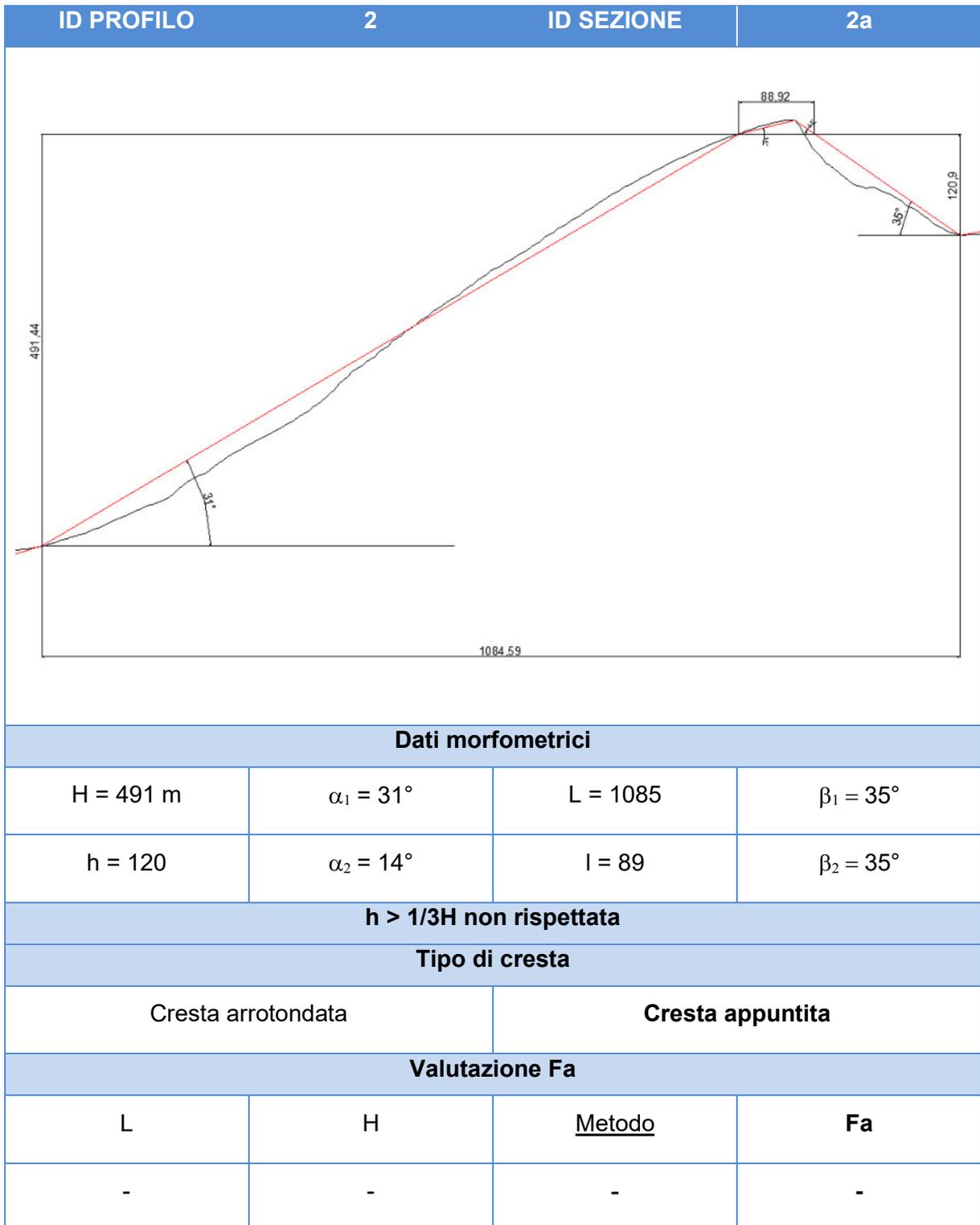
Per quanto riguarda lo scenario Z3b, viene applicato quanto definito nella scheda di riferimento.

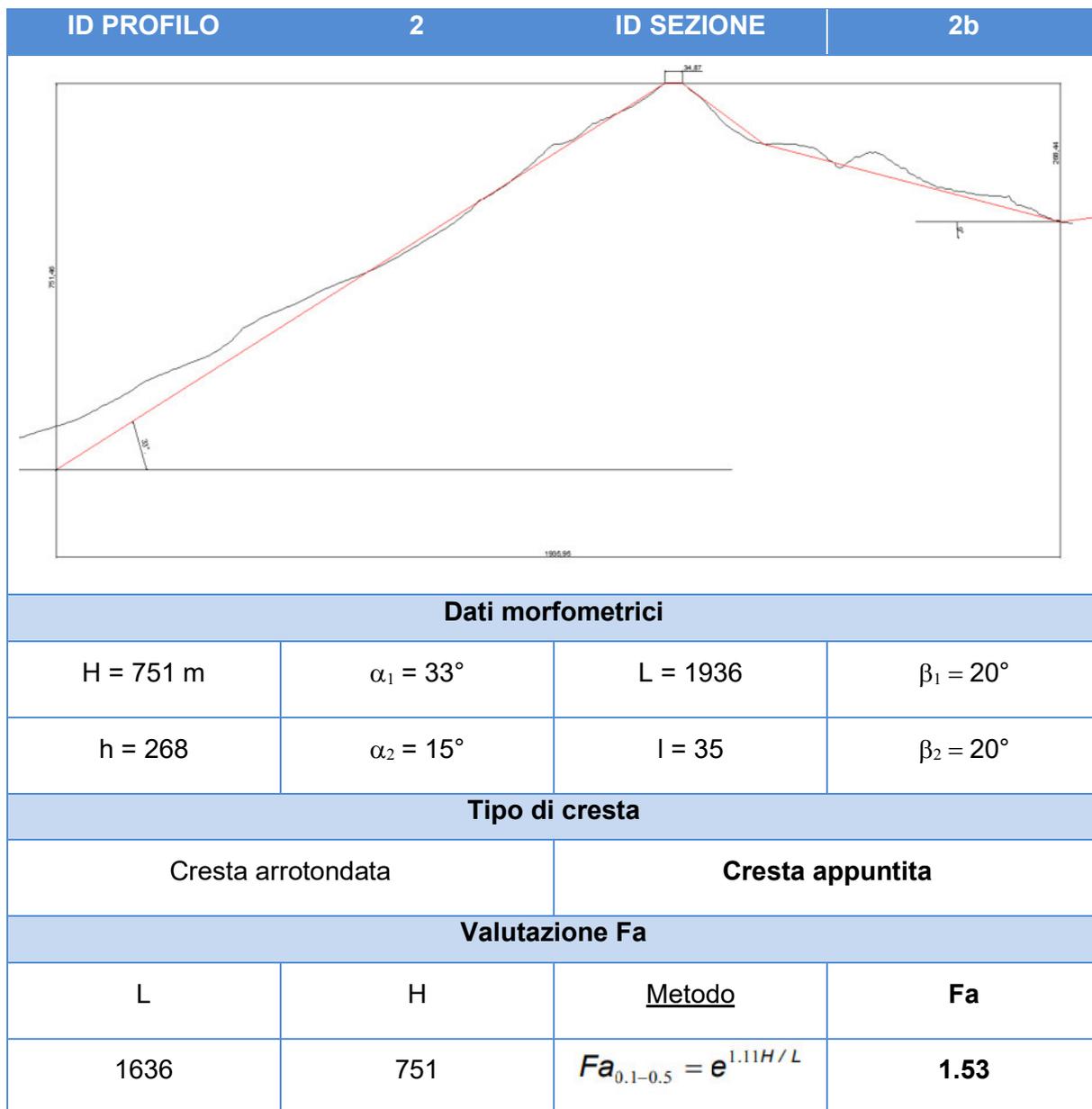


ID PROFILO		ID SEZIONE	
1		1a	
Dati morfometrici			
H = 337 m	$\alpha_1 = -$	L = 557	$\beta_1 = 6^\circ$
h = 31	$\alpha_2 = -$	l = 41	$\beta_2 = 6^\circ$
h > 1/3H non rispettata			
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
-	-	=	-



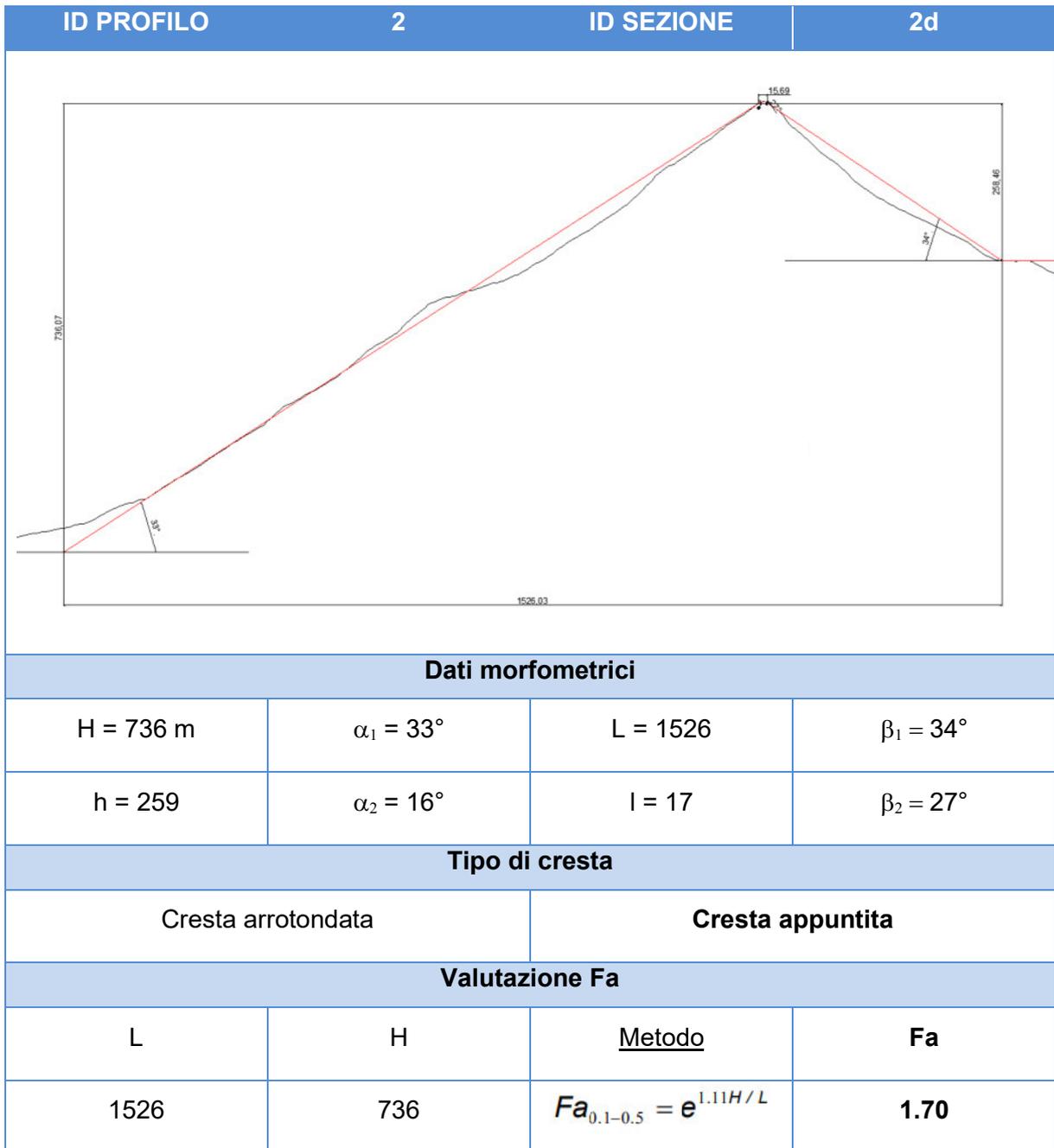


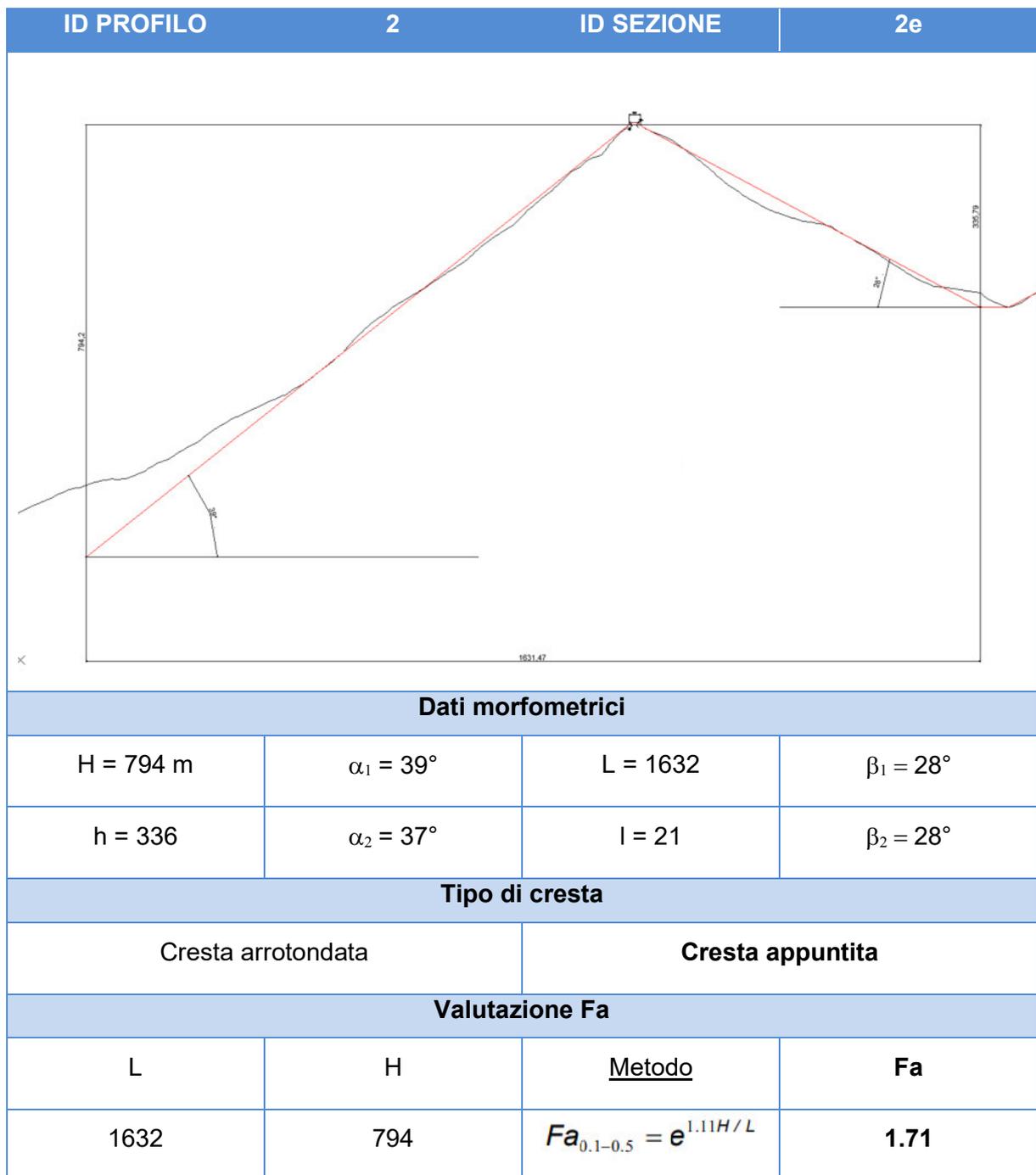


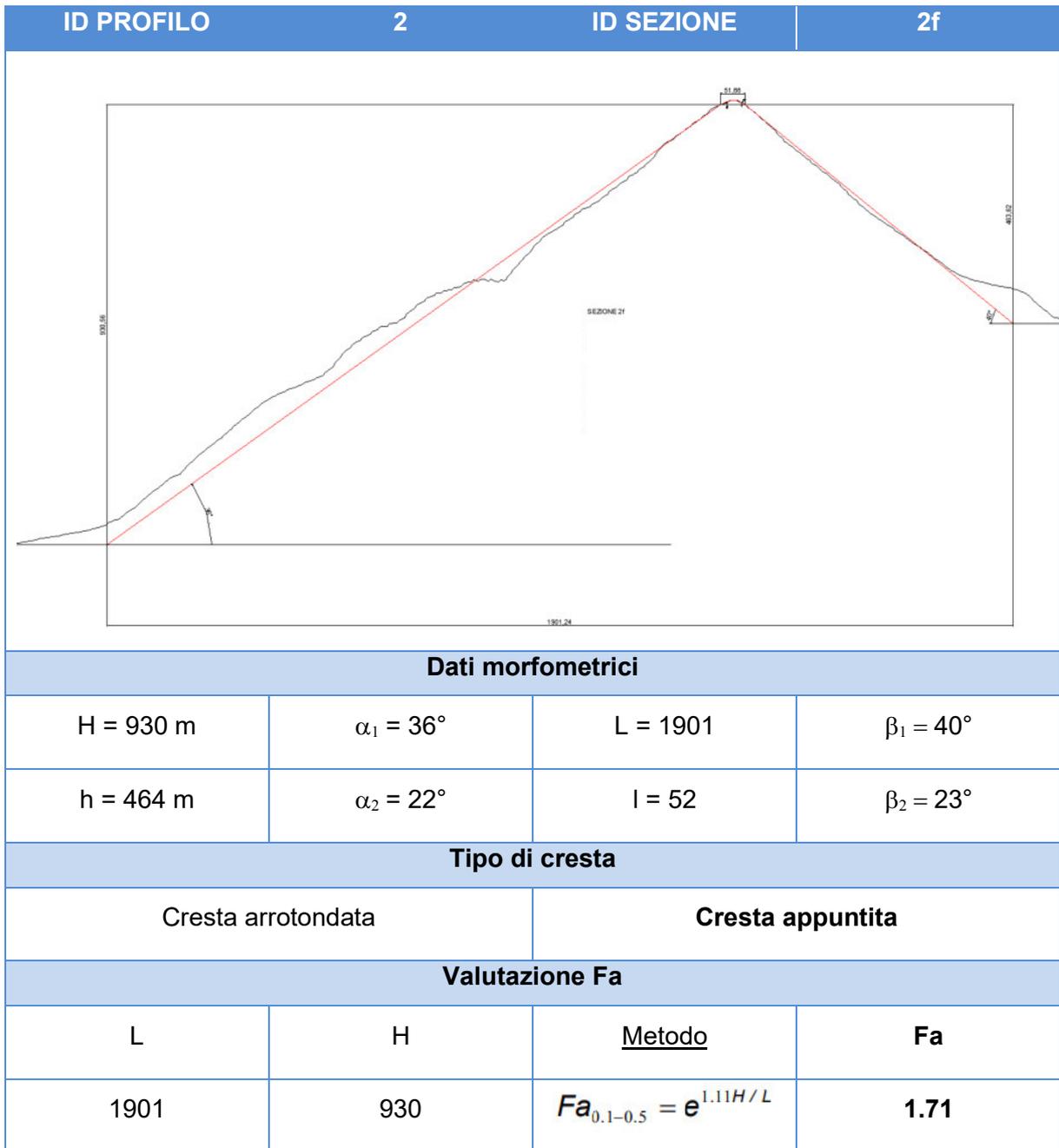


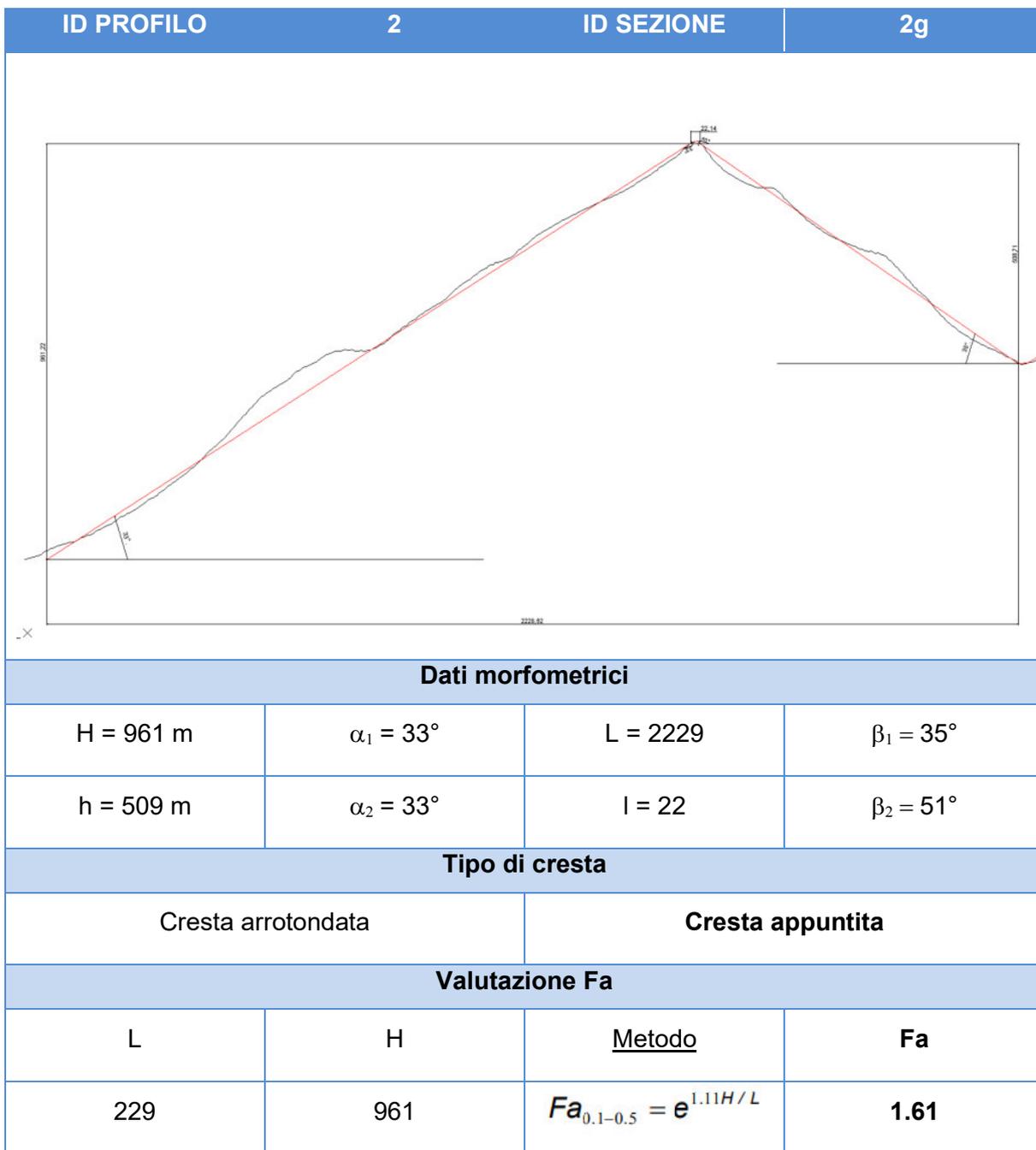
ID PROFILO	2	ID SEZIONE	2c
Dati morfometrici			
H = 705 m	$\alpha_1 = 26^\circ$	L = 1791	$\beta_1 = 37^\circ$
h = 264	$\alpha_2 = 7^\circ$	l = 18	$\beta_2 = 37^\circ$
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
1791	705	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	1.54

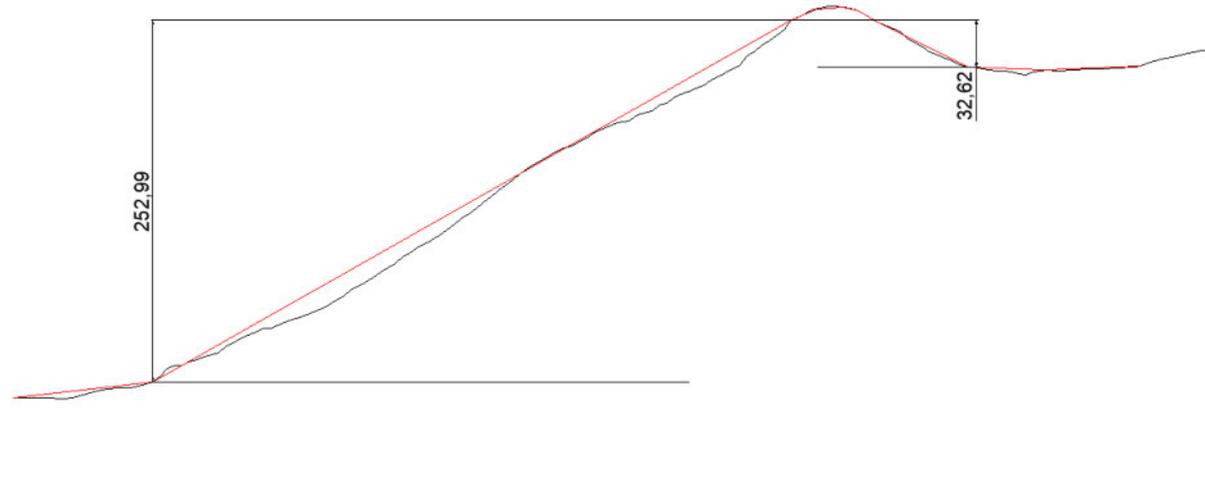




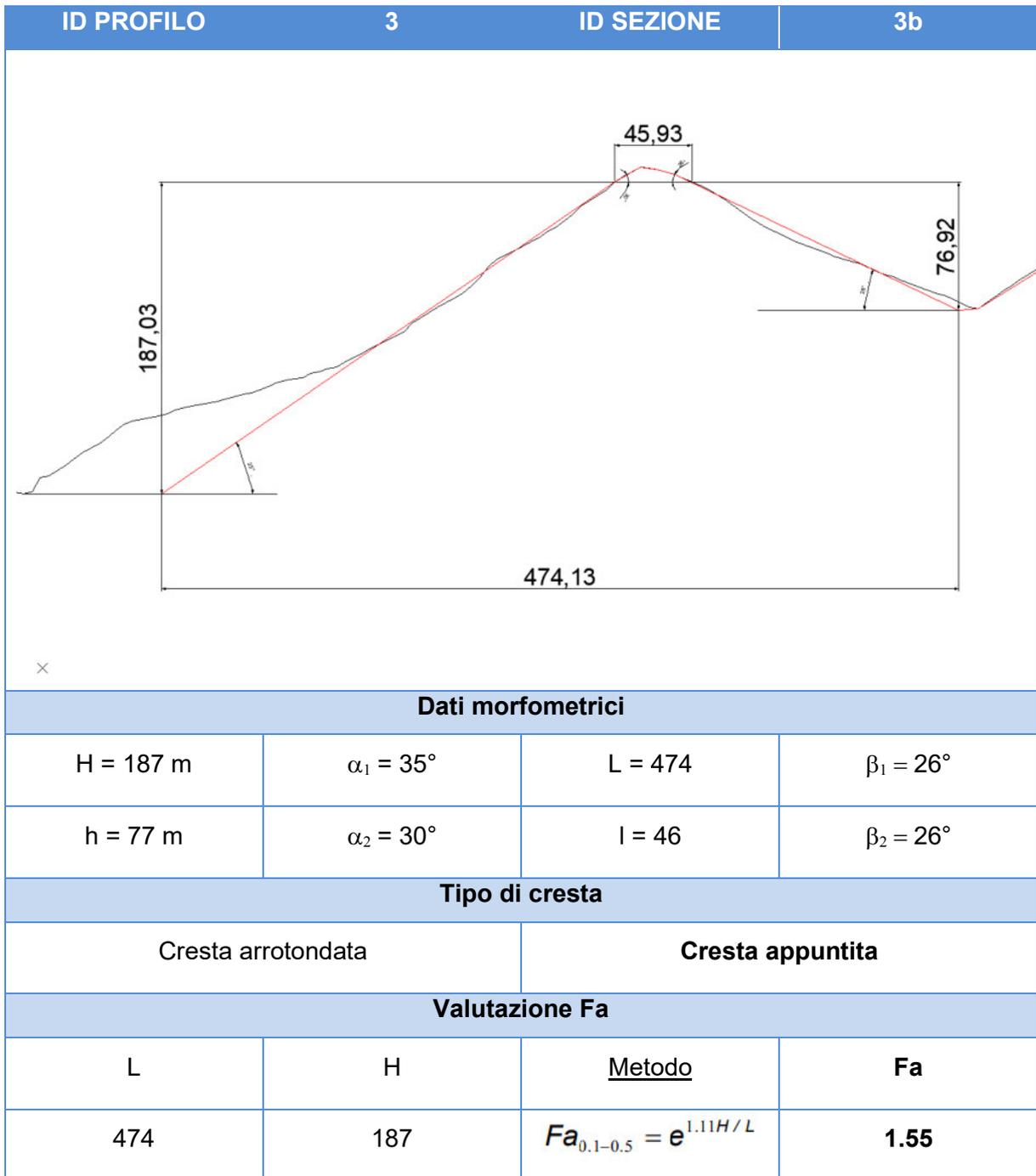






ID PROFILO	3	ID SEZIONE	3a
			
Dati morfometrici			
H = 253 m	$\alpha_1 = -$	L = -	$\beta_1 = -$
h = 33 m	$\alpha_2 = -$	l = -	$\beta_2 = -$
h > 1/3H non rispettata			
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
-	-	-	-



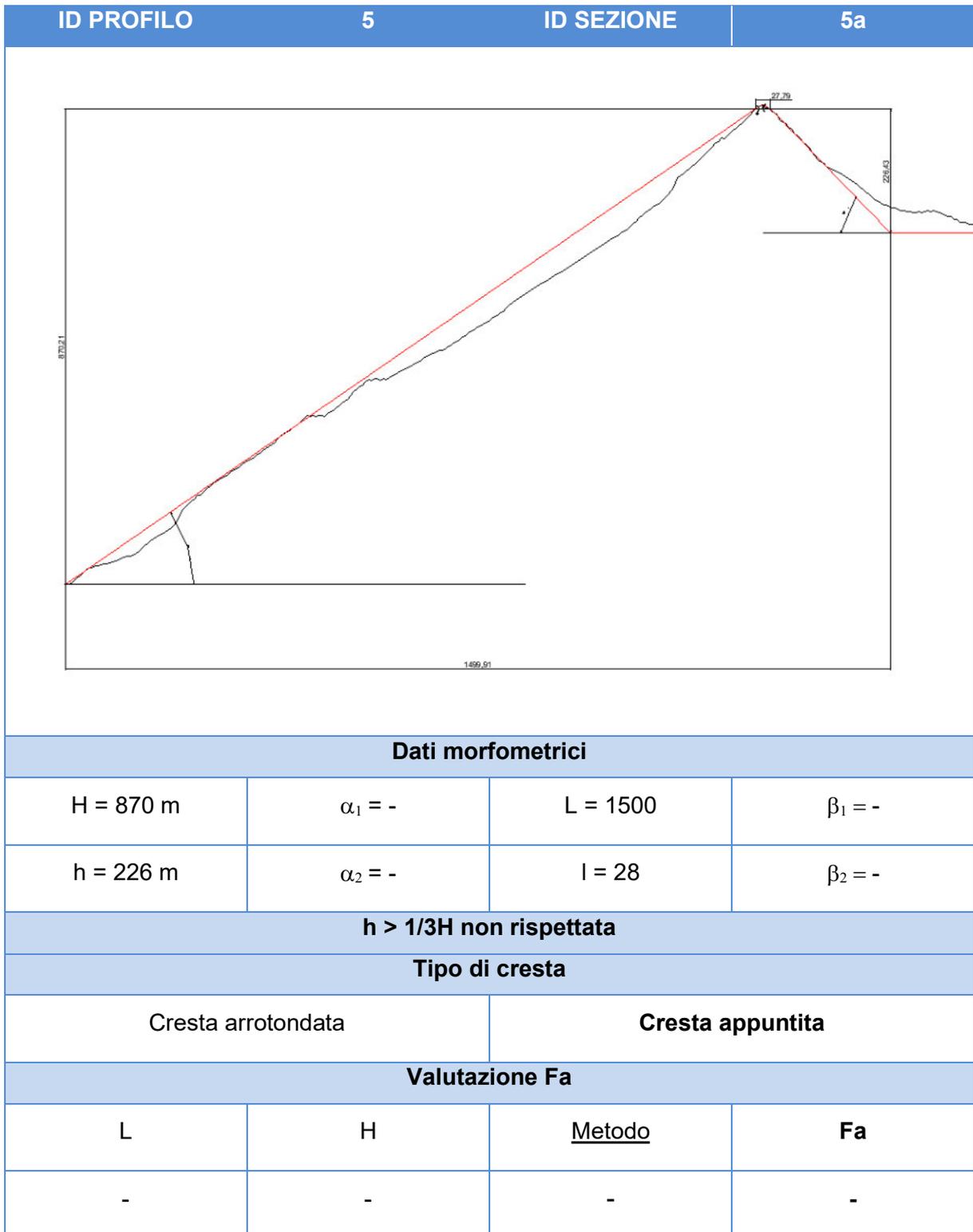


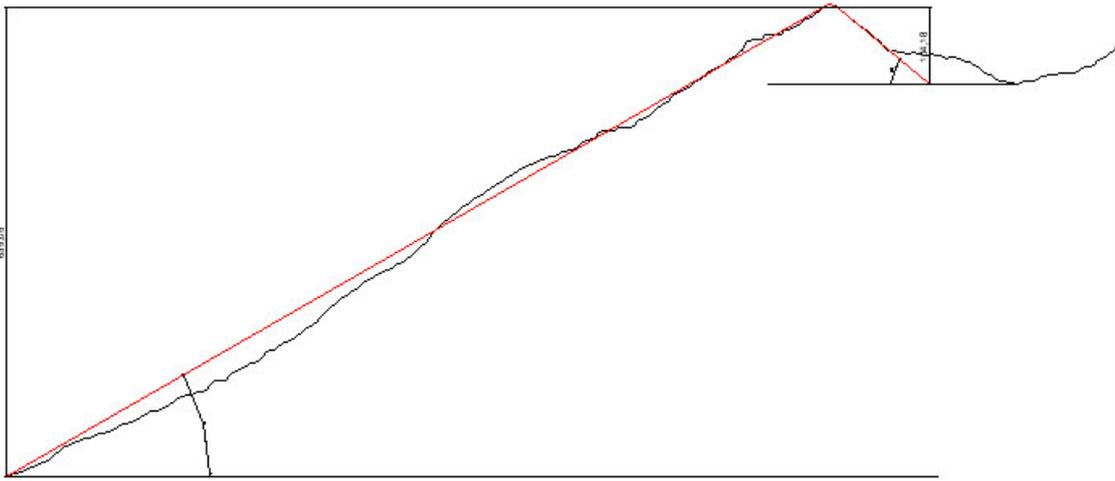
ID PROFILO	3	ID SEZIONE	3c
Dati morfometrici			
H = 169 m	$\alpha_1 = 32^\circ$	L = 474	$\beta_1 = 33^\circ$
h = 129 m	$\alpha_2 = -$	l = 6	$\beta_2 = -$
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
474	169	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	1.35



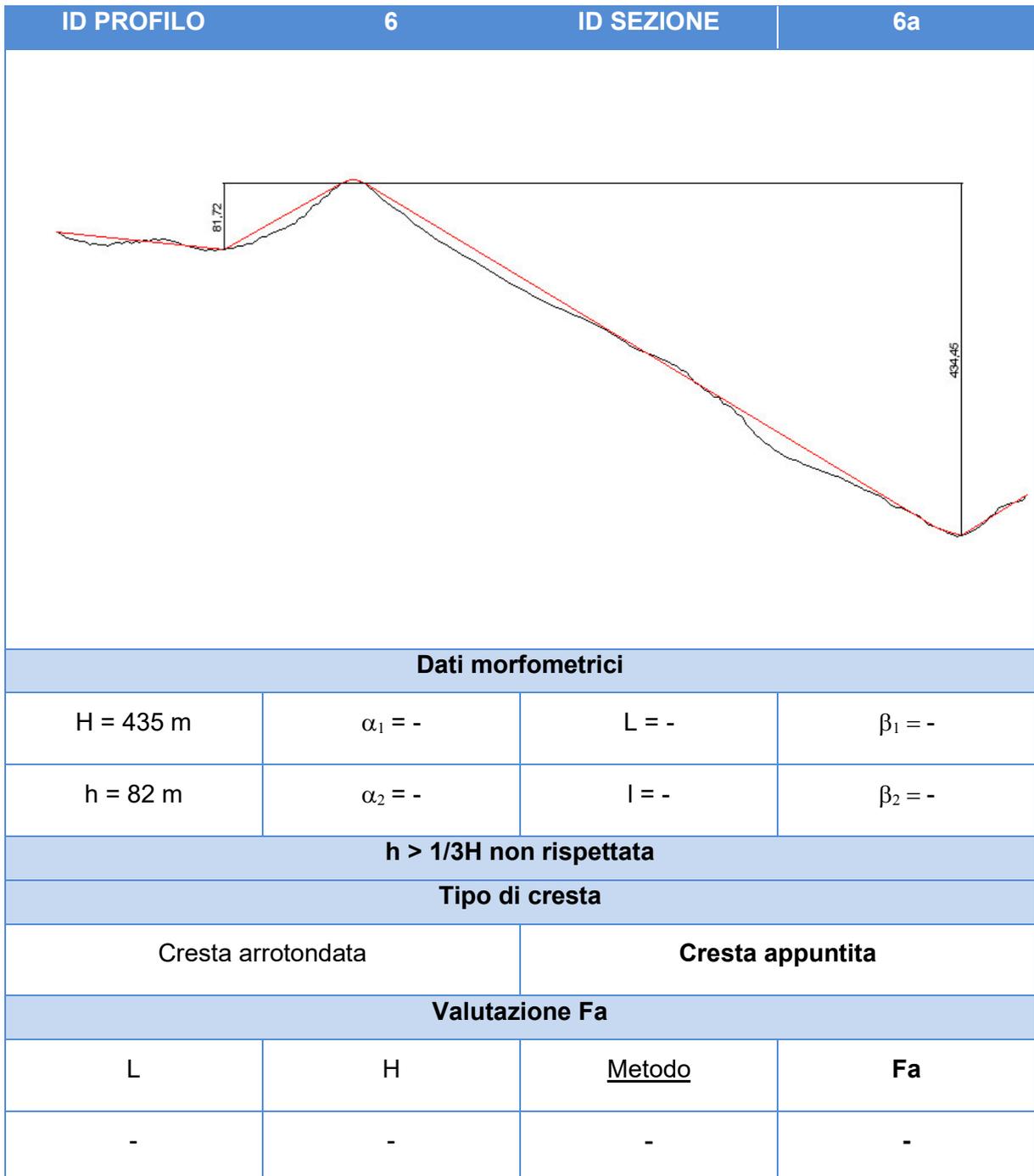
ID PROFILO		ID SEZIONE	
4		4a	
Dati morfometrici			
H = 400 m	$\alpha_1 = 40^\circ$	L = 650	$\beta_1 = 46^\circ$
h = 221 m	$\alpha_2 = 46^\circ$	l = 7	$\beta_2 = 11^\circ$
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
650	400	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	1.97





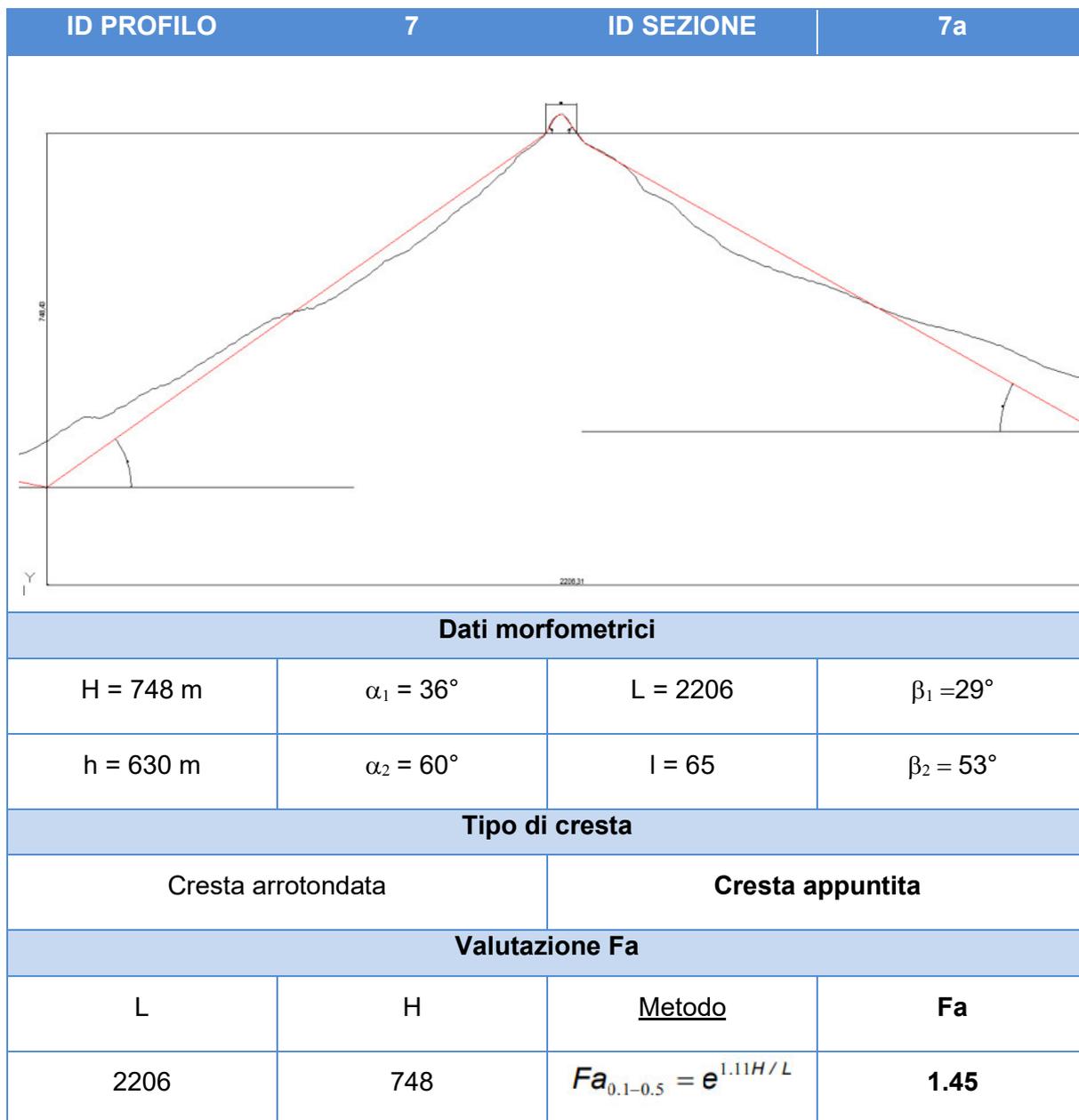
ID PROFILO	5	ID SEZIONE	5b
			
Dati morfometrici			
H = 639 m	$\alpha_1 = -$	L = -	$\beta_1 = -$
h = 104 m	$\alpha_2 = -$	l = -	$\beta_2 = -$
h > 1/3H non rispettata			
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
-	-	-	-





ID PROFILO	6	ID SEZIONE	6b
Dati morfometrici			
H = 274 m	$\alpha_1 = 34^\circ$	L = 500	$\beta_1 = 42^\circ$
h = 121 m	$\alpha_2 = 32^\circ$	l = 21	$\beta_2 = 49^\circ$
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
650	400	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	1.97



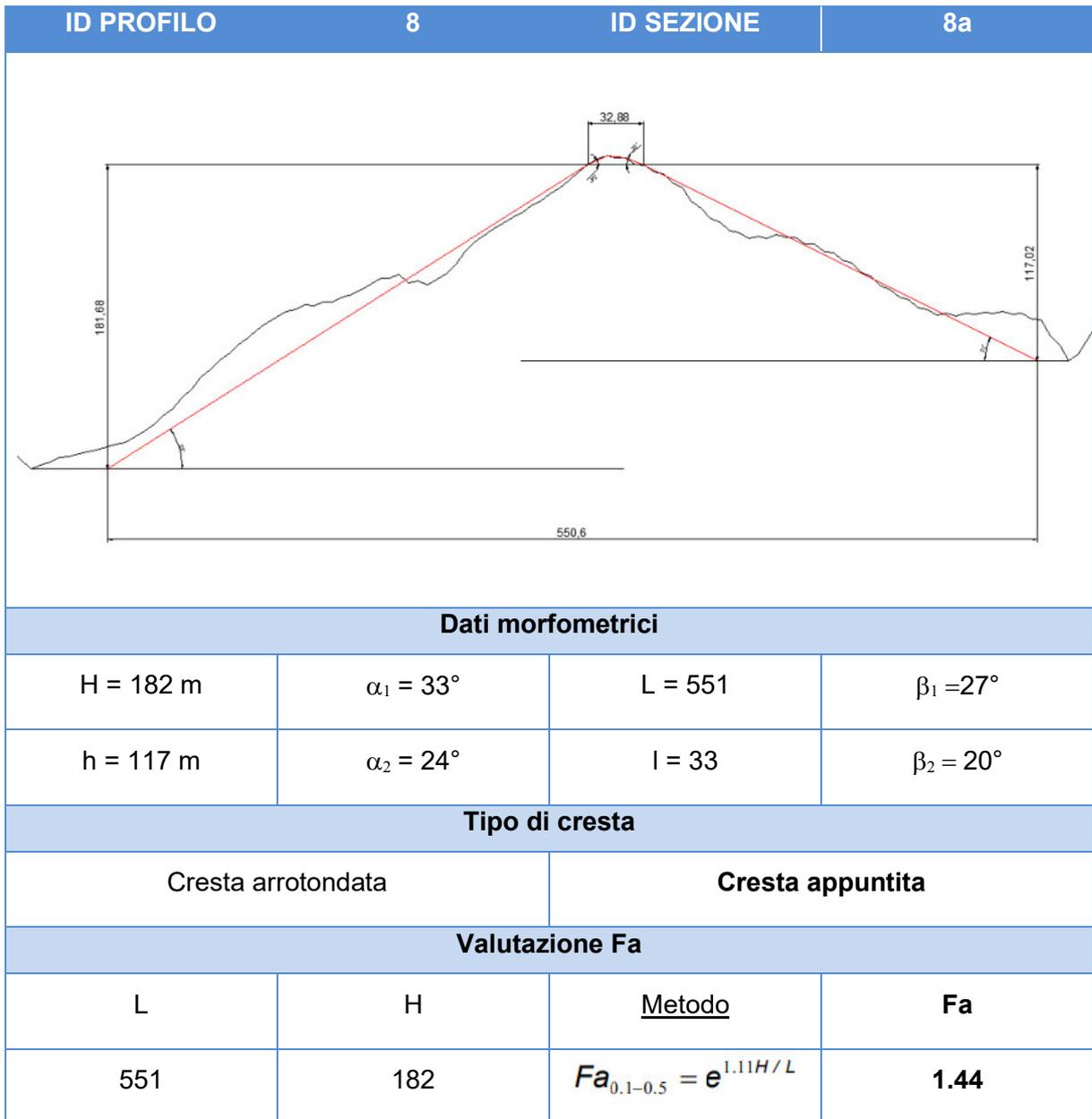


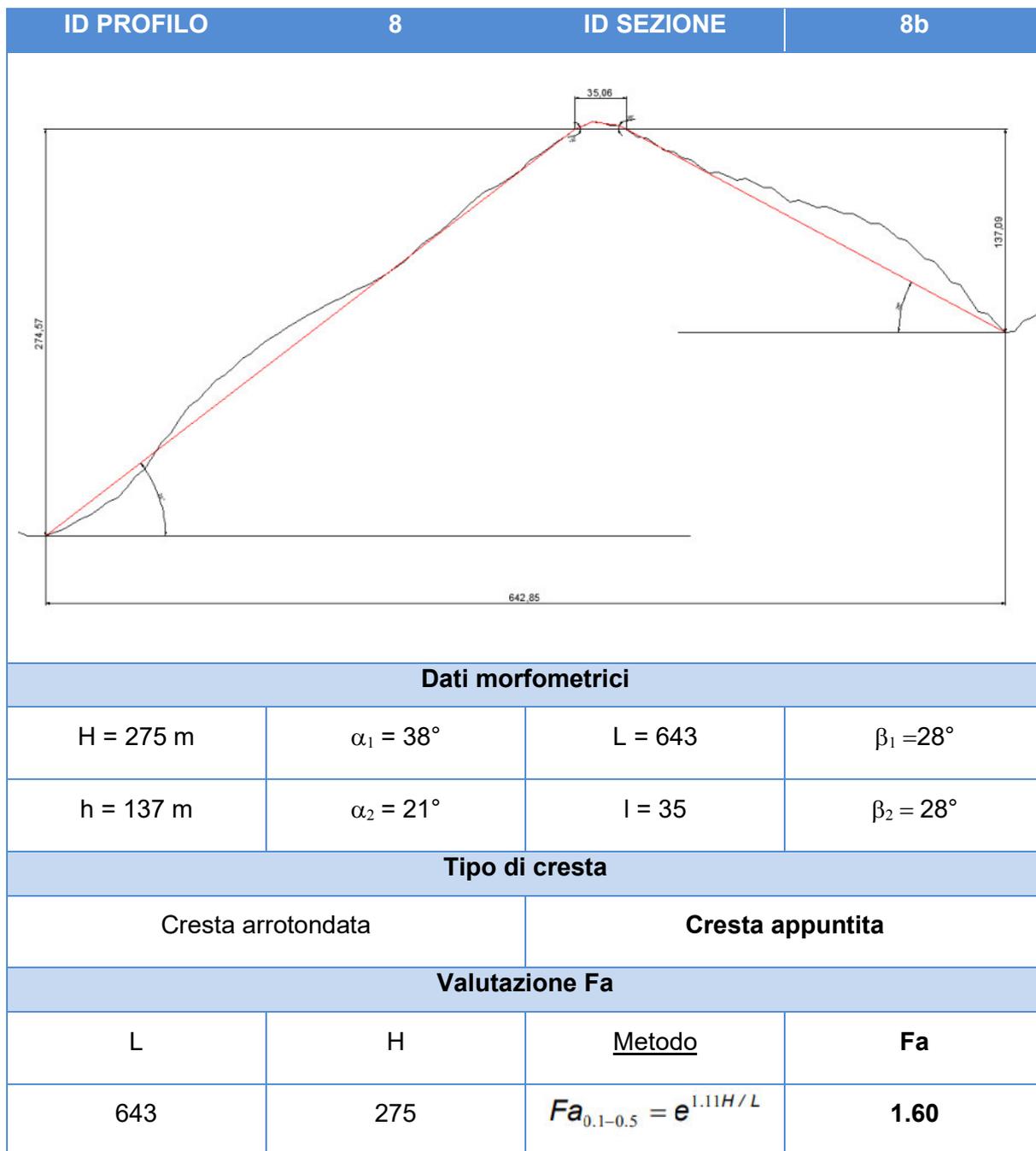
ID PROFILO		ID SEZIONE	
7		7b	
Dati morfometrici			
H = 732 m	$\alpha_1 = 33^\circ$	L = 2208	$\beta_1 = 31^\circ$
h = 625 m	$\alpha_2 = 74^\circ$	l = 59	$\beta_2 = 38^\circ$
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
2208	732	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	1.43



ID PROFILO		ID SEZIONE	
7		7c	
Dati morfometrici			
H = 538 m	$\alpha_1 = 33^\circ$	L = 2127	$\beta_1 = 23^\circ$
h = 520 m	$\alpha_2 = 48^\circ$	l = 78	$\beta_2 = 39^\circ$
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
2127	538	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	1.32





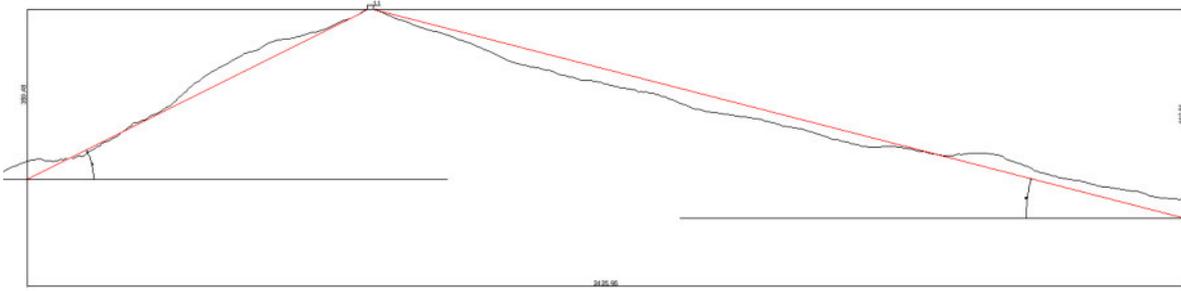


ID PROFILO	8	ID SEZIONE	8c
Dati morfometrici			
H = 316 m	$\alpha_1 = 42^\circ$	L = 572	$\beta_1 = 29^\circ$
h = 94 m	$\alpha_2 = 31^\circ$	l = 48	$\beta_2 = 29^\circ$
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
643	275	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	1.84

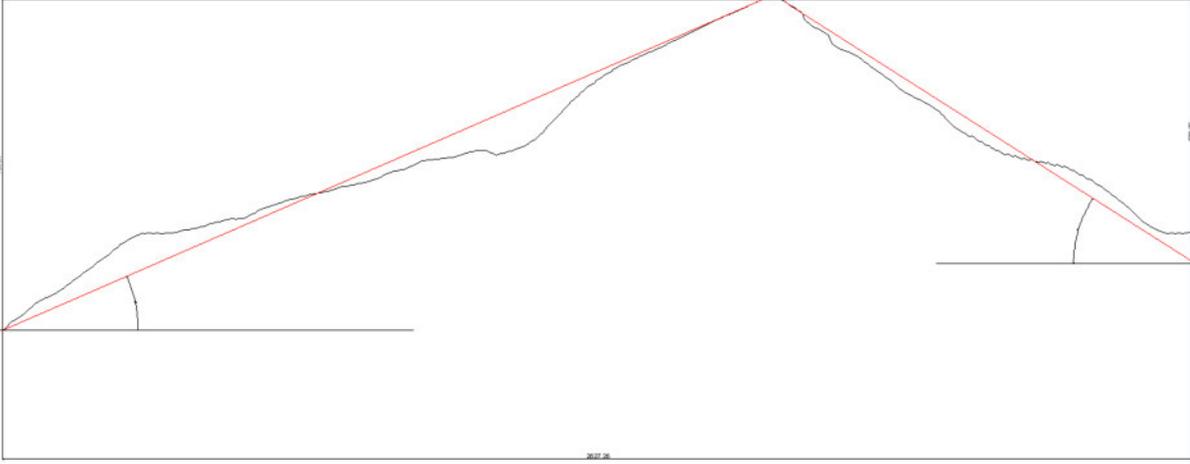


ID PROFILO	8	ID SEZIONE	8d
Dati morfometrici			
H = 75 m	$\alpha_1 = 37^\circ$	L = 172	$\beta_1 = 49^\circ$
h = 66 m	$\alpha_2 = 24^\circ$	l = 13	$\beta_2 = 18^\circ$
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
172	75	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.73H/L}$	1.37



ID PROFILO	9	ID SEZIONE	9a
			
Dati morfometrici			
H = 441 m	$\alpha_1 = 27^\circ$	L = 2426	$\beta_1 = 15^\circ$
h = 360 m	$\alpha_2 = -$	l = 11	$\beta_2 = -$
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	Metodo	Fa
2426	441	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	1.22



ID PROFILO	10	ID SEZIONE	10a
			
Dati morfometrici			
H = 736 m	$\alpha_1 = 24^\circ$	L = 2627	$\beta_1 = 33^\circ$
h = 588 m	$\alpha_2 = -$	l = 41	$\beta_2 = -$
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	Metodo	Fa
2627	736	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	1.36

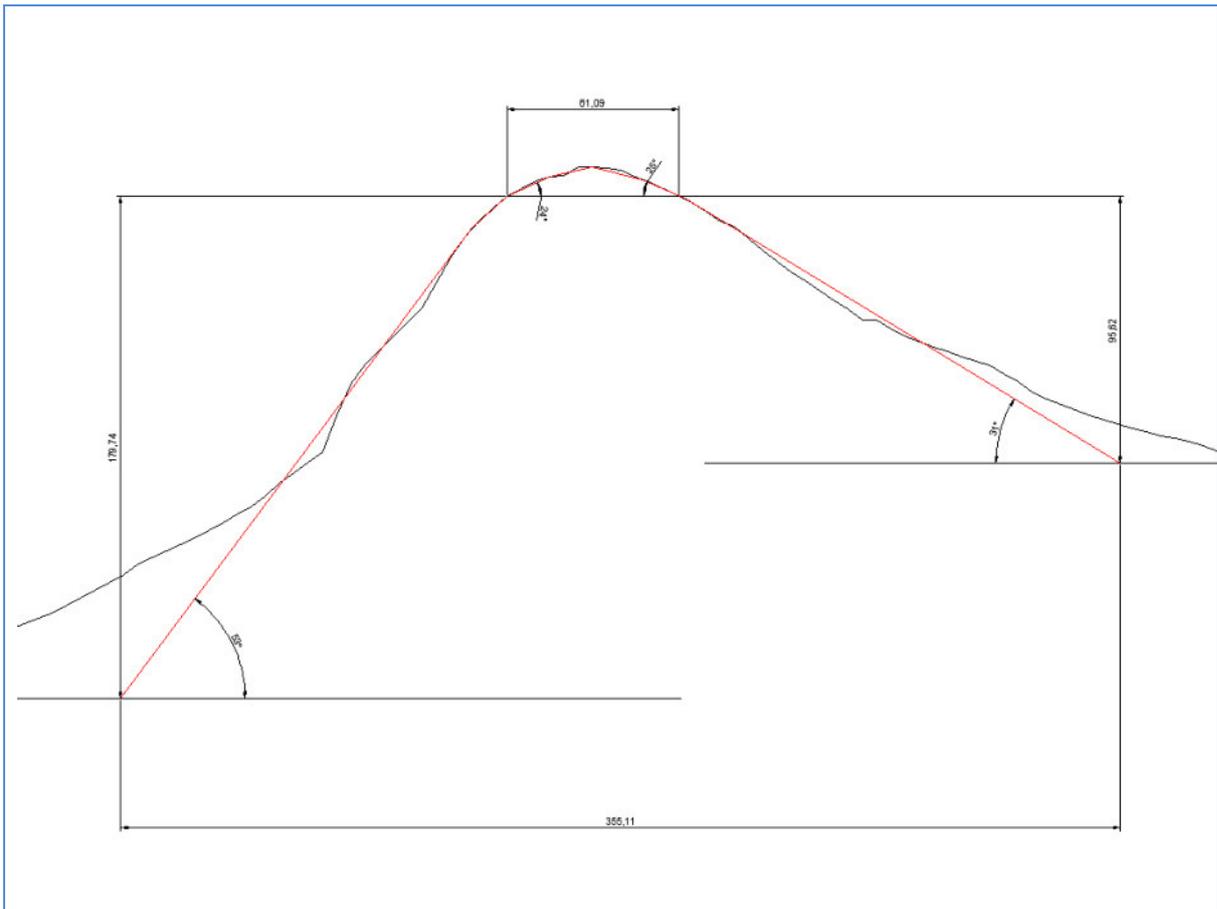


ID PROFILO		ID SEZIONE	
10		10b	
Dati morfometrici			
H = 712 m	$\alpha_1 = 26^\circ$	L = 2677	$\beta_1 = 26^\circ$
h = 589 m	$\alpha_2 = -$	l = 41	$\beta_2 = -$
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
2677	712	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	1.34



ID PROFILO	11	ID SEZIONE	11a
Dati morfometrici			
H = 547 m	$\alpha_1 = 34^\circ$	L = 741	$\beta_1 = 56^\circ$
h = 235 m	$\alpha_2 = -$	l = 23	$\beta_2 = -$
Tipo di cresta			
Cresta arrotondata		Cresta appuntita	
Valutazione Fa			
L	H	<u>Metodo</u>	Fa
741	547	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	2.00
ID PROFILO	12	ID SEZIONE	12a





Dati morfometrici

H = 180 m	$\alpha_1 = 53^\circ$	L = 355	$\beta_1 = 31^\circ$
h = 96 m	$\alpha_2 = 24^\circ$	l = 61	$\beta_2 = 25^\circ$

Tipo di cresta

Cresta arrotondata	Cresta appuntita
--------------------	------------------

Valutazione Fa

L	H	Metodo	Fa
741	547	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	1.75



8.1.5. Valutazione energetica

Si riportano i valori di St definiti dalla normativa:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	St
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

Figura 43 - Categorie topografiche

Per le scarpate, il valore di St tenuto come riferimento si mantiene pari a 1.2; per le creste, sarà necessario valutare la pendenza media al fine di valutare l'appartenenza alla classe T3 o T4.



Sulla base delle analisi morfometriche effettuate, risulta quanto segue

CLASSE	SEZIONE	PROFILO	Inclinazione pendio	St	Fa	Valutazione
Z3a	1	\	39	1.2	1.2	Positiva
	2	\	52	1.2	1.3	Negativa
	3	\	44	1.2	1.3	Negativa
	4	\	nc			
	5	\	35	1.2	1.1	Positiva
	6	\	26	1.2	1.1	Positiva
	7	\	23	1.2	1.1	Positiva
	8	\	60	1.2	1.2	Positiva
	9	\	42	1.2	1.2	Positiva
	10	\	35	1.2	1.2	Positiva
	11	\	nc			
	12	\	71	1.2	1.2	Positiva

Z3b	1	1a	nc			
		1b	33	1.4	1.8	Negativa
	2	2a	nc			
		2b	26.5	1.2	1.5	Negativa
		2c	31.5	1.4	1.5	Negativa
		2d	33.5	1.4	1.7	Negativa
		2e	33.5	1.4	1.7	Negativa
		2f	38	1.4	1.7	Negativa
		2g	34	1.4	1.6	Negativa
	3	3a	nc			
		3b	30.5	1.4	1.6	Negativa
		3c	32.5	1.4	1.4	Positiva
	4	4a	43	1.4	2.0	Negativa
	5	5a	nc			
		5b	nc			
	6	6a	nc			
		6b	38	1.4	1.8	Negativa
	7	7a	32.5	1.4	1.5	Negativa
		7b	32	1.4	1.4	Positiva
		7c	28	1.2	1.3	Positiva
	8	8a	30	1.4	1.4	Positiva
		8b	33	1.4	1.6	Negativa
		8c	35.5	1.4	1.8	Negativa
		8d	43	1.4	1.4	Positiva



	9	9a	21	1.2	1.2	Positiva
	10	10a	28.5	1.2	1.4	Negativa
		10b	26	1.2	1.3	Negativa
	11	11a	26	1.2	2.0	Negativa
	12	12a	45	1.4	1.5	Negativa

Si presentano, quindi, per i due scenari Z3a e Z3b, le seguenti situazioni:

- **Il valore di Fa è inferiore al valore di soglia corrispondente:** la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa
- **Il valore Fa è superiore al valore di soglia corrispondente:** la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (III livello) in fase di progettazione edilizia

Per quanto riguarda lo scenario Z3a, la maggior parte delle scarpate analizzate presenta valori di Fa **inferiori** alla soglia e, pertanto, viene soddisfatta la normativa di riferimento.

Di contro, la maggior parte degli scenari indicati in Z3b presenta valori **nettamente superiori** ai limiti di soglia, per cui sarà necessario procedere con l'analisi di III livello in fase di progettazione avanzata.



8.2. *Analisi sismica di 2° livello: Amplificazione Litologica*

8.2.1. Premessa

La normativa nazionale (NTC18) introduce una classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto. Tale classificazione distingue tra 5 categorie principali (dalla A alla E) per le quali è richiesta l'effettuazione di studi di dettaglio per la valutazione, in fase di progettazione esecutiva, dell'azione sismica da considerare.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

I parametri vengono così definiti:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella della 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.

La determinazione del valore delle onde di taglio negli strati superficiali, assieme ad una dettagliata ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, è ritenuta fondamentale per valutare sia gli effetti legati allo scuotimento indotto dal sisma sul terreno (fenomeni di



liquefazione, fenomeni di dilatanza o di addensamento, instabilità di versanti, collasso di cavità sotterranee) che la conseguente risposta del sottosuolo (fenomeni di amplificazione sismica legati sia ad effetti morfologici che litologici, presenza di faglie attive).

In seguito ai fenomeni di rifrazione/diffrazione che si verificano in corrispondenza di ogni contrasto d'impedenza lungo la direzione di propagazione dei fronti d'onda (a partire dalla sorgente sismica), le onde di taglio che raggiungono la superficie topografica, risultano pressoché verticali determinando così in tale punto spostamenti orizzontali rilevanti ai fini della stabilità delle costruzioni

Nel panorama legislativo si ricorda inoltre la normativa regionale lombarda, la D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005. In tale normativa, una tra le prime del genere nel panorama nazionale, viene stabilita la metodologia per la definizione della componente sismica a livello comunale da attuare in fase di pianificazione territoriale.

Le tecniche per la determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio sono diverse, si distinguono principalmente tra tecniche di tipo diretto/indiretto e tra tecniche di tipo attivo/passivo.

Nessuna tecnica è in grado di garantire la completa affidabilità nella determinazione dei parametri dei terreni presenti nel sottosuolo, occorre pertanto appoggiarsi ad informazioni di tipo stratigrafico per poter interpretare correttamente le informazioni deducibili dall'interpretazione dei dati delle campagne d'indagine.



8.2.2. Indagine geognostica

Lo scopo della campagna geognostica è la caratterizzazione dinamica del sottosuolo nelle prime decine di metri, con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche - elastiche, al fine di valutare le possibili amplificazioni sismiche.

In prima battuta è stata effettuato il recupero delle indagini svolte nel territorio comunale ai fini di edilizia privata e/o pubblica negli ultimi 2 anni (periodo 2018-2019).

In seguito sono stati scelti n. 7 siti campione posti nel territorio comunale nei quali è stata eseguita una campagna di indagine sismica caratterizzata dalla combinazione delle seguenti tecniche:

- prospezione sismica multicanale a onde si superficie (MASW, REMI),
- sismica passiva a stazione singola con tecnica H/V.

L'insieme di tutte le indagini elencate (eseguite e consultate) ha permesso di ricavare, per i siti in esame, le seguenti informazioni: il modello geofisico di sottosuolo, la frequenza di risonanza del terreno e la categoria di sottosuolo derivante dalla $V_{S,eq}$ (NTC18).



8.2.3. Ubicazione delle indagini geofisiche

Nella figura seguente viene evidenziata l'ubicazione dei tre siti prescelti per l'esecuzione delle indagini geofisiche di approfondimento, di seguito elencati:

SITO	CODICE	LOCALITÀ	TIPO	ESECUTORE	ANNO
1	2018_15	Valcanale - Via della Cristina	HVSR	St. GeoTer	2018 – <i>reperita</i>
2	2019_03	Ardesio - Via Alpini	HVSR	Geo. Invernici	2019 – <i>reperita</i>
3	2019_04	Valcanale - Cimitero	HVSR	Geo. Ferracin	2019 – <i>reperita</i>
4	2019_14	Bani - Via Varisco	MASW	Geo. Poloni	2019 – <i>reperita</i>
5	SIS1	Ardesio – Cimitero	MASW+HVSR	Studio GEA	2019 – <i>ex novo</i>
6	SIS2	Ardesio – Campo sportivo	MASW+HVSR	Studio GEA	2019 – <i>ex novo</i>
7	SIS3	Ardesio – Via dei Fantoni	MASW+HVSR	Studio GEA	2019 – <i>ex novo</i>
8	SIS4	Ardesio – Centralina Enel	ReMi+HVSR	Studio GEA	2019 – <i>ex novo</i>
9	SIS5	Valcanale – Via Alpe Corte	MASW+HVSR	Studio GEA	2019 – <i>ex novo</i>
10	SIS6	Bani – Campo Sportivo	MASW+HVSR	Studio GEA	2019 – <i>ex novo</i>
11	SIS7	Ludrigno – parco giochi	MASW+HVSR	Studio GEA	2019 – <i>ex novo</i>

Figura 44 – Sintesi delle indagini considerate nella valutazione di II livello



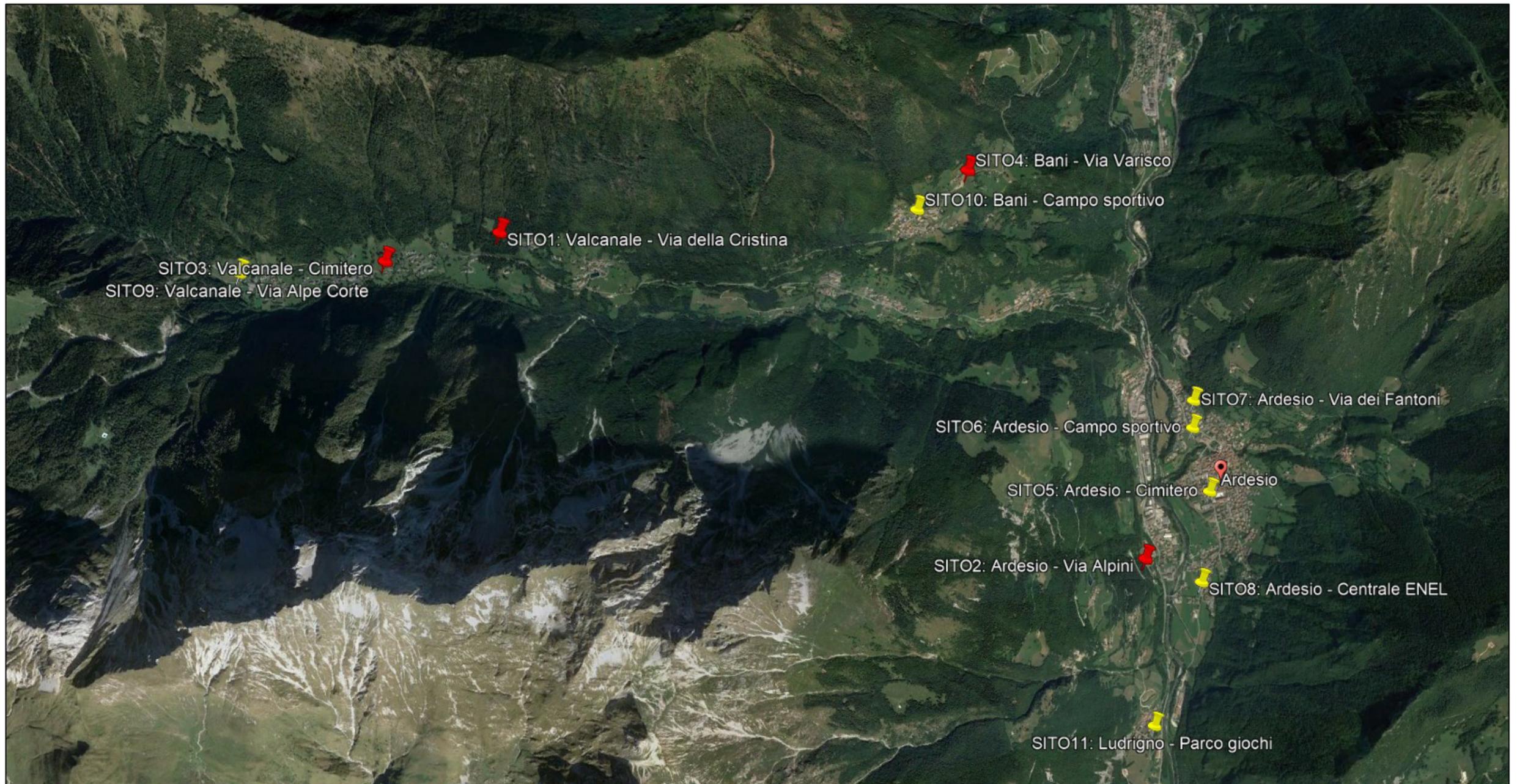


Figura 45 – Ubicazione delle indagini su base satellitare (Fonte Google Earth)

La indagini vengono inoltre riportate nelle tavole “5a” ed “5b”



8.2.4. Tecniche multicanale a onde di superficie (MASW e ReMi)

8.2.4.1. Cenni metodologici

La propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda che interessano il terreno a diverse profondità e che risultano condizionate dalle caratteristiche elastiche e di rigidità del sottosuolo. Lunghezza d'onda " λ ", frequenza " f " e velocità di propagazione " V " sono legate dalla relazione:

$$V = \lambda * f$$

In generale, lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario lunghezze d'onda minori, poiché associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. Questa proprietà, chiamata dispersione, è valida solo per le onde di superficie, Rayleigh e Love in mezzi stratificati.

Le tecniche per ricavare le curve di dispersione da sorgenti attive o passive con due o più ricevitori hanno una varietà di nomi che dipendono da dettagli quali la geometria dei ricevitori, sorgente attiva o passiva etc. I più diffusi tra i metodi attivi sono: SASW (spectral analysis of surface waves; Heisey et al., 1982) e MASW (multichannel analysis of surface waves; Park et al., 1999); mentre tra i metodi passivi sono ESAC (extended spatial auto correlation; Otori et al., 2002) e ReMi (refraction microtremor; Louie, 2001).

La base di tutte queste tecniche è lo slant - stack o correlazione del segnale registrato da una serie di ricevitori (geofoni), che permette la determinazione della velocità di propagazione di onde a frequenze diverse che attraversano lo stendimento.



8.2.4.2. Acquisizione dati

Per l'esecuzione delle indagini sismiche in oggetto si è utilizzata la seguente strumentazione:

- sismografo digitale multicanale Soilspy Rosina (Moho s.r.l.) a 16 canali;
- n. 16 geofoni verticali da 4,5 Hz;
- mazza battente da 8 kg;
- piattello metallico di battuta;
- pc portatile.

Sullo stesso stendimento è possibile realizzare due tipologie di indagini: MASW e ReMi.

Nel caso di una indagine con tecnica MASW, per il posizionamento del piattello di battuta (shot point) è stata preparata una piazzola asportando i primi centimetri di suolo vegetale e infiggendo la piastra metallica di alcuni centimetri nel terreno; in questo modo si è ottenuta una migliore energizzazione sismica in termini di ampiezza e di spettro dell'impulso immesso, con un incremento del rapporto segnale/rumore. In seguito sono state acquisite n. 5 energizzazioni, generate battendo la mazza da 8 kg sulla piastra metallica.

Nel caso di una indagine con tecnica ReMi, invece, si esegue una registrazione simultanea in più geofoni del rumore sismico ambientale. La registrazione ha una durata di alcuni minuti.



8.2.4.3. Elaborazione ed interpretazione dei risultati

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure è stato impiegato il software Grilla prodotto da Moho s.r.l., col quale il segnale sismico registrato viene processato attraverso procedure di slant - stack (traslazione e somma) e FFT ottenendo gli spettri di velocità di fase. Questi indicano, per ogni frequenza, la più probabile velocità delle onde di superficie investigate.

Da tali spettri è possibile ricostruire un profilo di V_s , sapendo che:

- per ogni frequenza è possibile calcolare la lunghezza d'onda corrispondente secondo la relazione $\lambda = V/f$;
- la profondità corrispondente z è compresa tra $\lambda/3$ e $\lambda/2$.

La V_s , inoltre, è collegata alle velocità delle onde di Love e di Rayleigh attraverso il coefficiente di Poisson e normalmente risulta maggiore di queste ultime del 10 - 15 %.

Le onde di superficie possiedono diversi modi di propagazione; questo implica che negli spettri di velocità, alla stessa frequenza, sono possibili diversi massimi relativi di energia.

Nel caso di sorgente impulsiva ideale (con spettro bianco), geometria dei ricevitori ideale (perfettamente sintonizzata su tutte le frequenze) e suolo ideale (isotropo, lateralmente omogeneo, con graduale aumento della velocità in profondità) il modo fondamentale è quello dominante in termini di energia.

Individuare la curva di dispersione del modo fondamentale o classificare correttamente i modi superiori implica un certo grado di soggettività. Utilizzando gli spettri di velocità di fase si ha il vantaggio di avere un dato più oggettivo e più completo, che conserva le informazioni sulla natura multi modale delle curve di dispersione.



8.2.5. Tecnica H/V

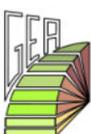
8.2.5.1. *Cenni metodologici*

La tecnica H/V, appartenente alla sismica passiva, nasce da studi condotti in Giappone attorno al 1950 ed è basata sullo studio dei rapporti di ampiezza che, nelle diverse frequenze di vibrazione (rapporti spettrali), esistono fra il rumore sismico misurato sul piano orizzontale (H) e quello misurato lungo la componente verticale (V). L'idea che sta alla base della procedura è quella secondo cui il rapporto H/V consente di eliminare il ruolo della sorgente isolando gli effetti delle modalità di propagazione delle onde sismiche. In particolare, si osserva che l'andamento dei rapporti spettrali in funzione della frequenza di vibrazione (funzione H/V) mostra dei massimi in corrispondenza delle frequenze di risonanza per le onde S generate da forti variazioni di velocità.

Il significato teorico del rapporto spettrale H/V è abbastanza immediato nel caso in cui si consideri un mezzo semplice formato da due soli strati: il bedrock ed uno strato superficiale più soffice. Si precisa che per bedrock si intende qualunque strato con velocità nettamente maggiore di quello sovrastante, in grado di determinare un picco di risonanza; tale strato non deve necessariamente essere una roccia ma, soprattutto in ambiti di pianura, può essere una sabbia o una ghiaia. Le frequenze di risonanza, in questo sistema, sono pertanto date da:

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

dove V_s indica la velocità delle onde di taglio nel mezzo e H lo spessore dello strato che risuona alla frequenza f_r . Tali frequenze, associabili ai picchi del rapporto H/V, possono essere quindi eccitate dal rumore di fondo e diventare visibili nello spettro del rumore sismico misurato in superficie.



8.2.5.2. Frequenze di vibrazione e doppia risonanza

Un sisma è composto da onde di frequenza differente, che subiscono amplificazioni differenti. La frequenza a cui corrisponde la massima amplificazione viene detta frequenza naturale di vibrazione del terreno. I danni maggiori si hanno in quelle strutture la cui frequenza naturale di vibrazione è prossima alla frequenza naturale di vibrazione del terreno. In questi casi si verifica il fenomeno della **doppia risonanza**. Le ampiezze di oscillazione del terreno e dell'edificio si combinano, amplificando in maniera disastrosa le sollecitazioni sulla struttura.

Il fenomeno della doppia risonanza consente di spiegare il danneggiamento selettivo che si osserva quasi sempre nelle aree colpite da un sisma. Variando le condizioni geologiche locali, varia la frequenza naturale del terreno. Edifici con simile frequenza naturale possono subire livelli di danno molto differenti fra loro, perché posti in siti dove cambia la situazione geologica.

Grazie all'impiego della tecnica H/V è possibile determinare la frequenza naturale del terreno, fornendo una informazione fondamentale per la progettazione di nuovi edifici o per la verifica di quelli esistenti.

La frequenza naturale degli edifici si determina attraverso formule empiriche, come quelle proposte nelle NTC08, oppure eseguendo misure dirette con strumentazione sensibile posta all'interno dell'edificio.



8.2.5.3. *Acquisizione dati*

Per l'esecuzione dell'indagine sismica secondo la tecnica H/V in oggetto si è utilizzato il tromometro digitale Tromino 3G prodotto dalla Moho s.r.l., dotato di tre canali velocimetrici ad alta risoluzione per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale, due livelli di amplificazione (saturazione ± 1.2 mm/s in banda) e frequenze di campionamento 128, 256, 512, 1024 Hz su tutti i canali.

Le misure vengono eseguite posizionando lo strumento al suolo, avendo cura della sua messa in bolla, e successivamente registrando per alcuni minuti.

8.2.5.4. *Elaborazione ed interpretazione dei risultati*

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure è stato impiegato il software Grilla prodotto da Moho s.r.l., eseguendo su ciascuna tromografia le seguenti operazioni.

- **Analisi della traccia.** La pulizia della traccia è preliminare a qualsiasi tipo di modellazione. La rimozione dei disturbi è di fondamentale importanza anche per l'analisi delle curve H/V. Tali curve devono essere statisticamente significative, ossia essere caratterizzate da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato.
- **Modellazione.** L'osservazione simultanea delle curve H/V e degli spettri delle singole componenti permette di distinguere i picchi di origine stratigrafica da quelli di natura antropica. Un picco di origine naturale individuato sulla curva H/V coincide, sugli spettri delle singole componenti, ad un minimo locale della componente spettrale verticale.

8.2.6. Sito 1: Valcanale – Via della Cristina (2018 15)

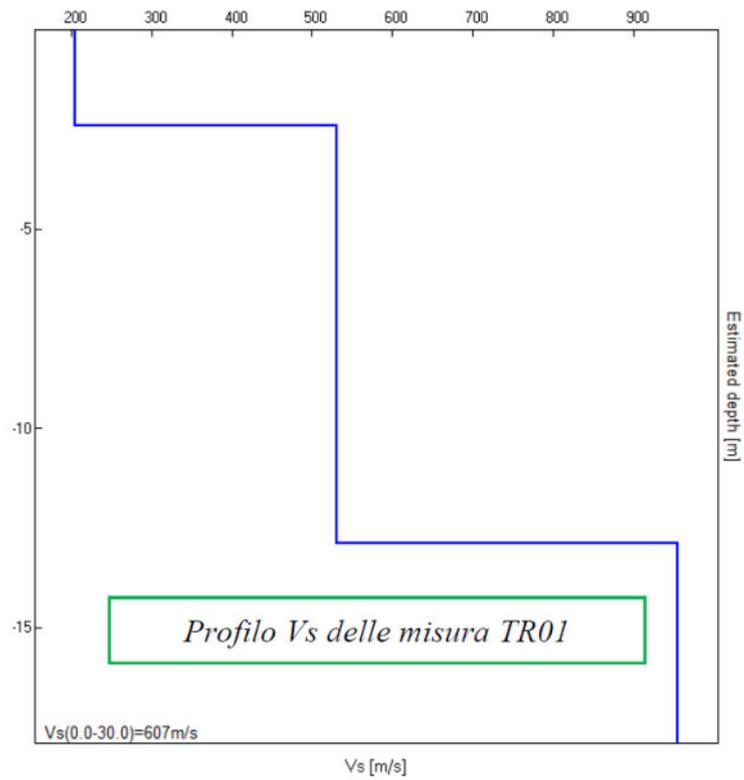


Trattasi di un'indagine reperita dalle pratiche edilizie depositate presso il comune di Ardesio, gentilmente fornite agli scriventi.

“La misura di microtremore ambientale TR01, della durata di quindici-venti minuti ciascuna, è stata effettuata con un tromografo digitale (“TROMINO” di Micromed), progettato specificamente per l’acquisizione del rumore sismico. Lo strumento è dotato di tre sensori elettro-dinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e secondo l’asse zenitale, di GPS interno e non ha necessità di cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz. L’interpretazione dei dati avviene attraverso uno specifico software (“Grilla” di Micromed), che permette di visualizzare gli spettri di frequenza e di creare le curve di inversione, mediante la simulazione del campo di onde superficiali (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli (AKI K., 1964; BEN MEN-HAEM A. & SINGH S.J., 1981).

*L’analisi delle misure effettuate mostra la presenza di un orizzonte superficiale di circa m 0,65 di spessore (picco a 23.5 Hz) con velocità VS dell’ordine di 205 m/s, corrispondente allo spessore di terreno agrario smosso, ghiaioso ciottoloso con sabbia limosa. In profondità aumenta sensibilmente la velocità (VS = 530 m/s) fino a m 12.9 (picco a 11,5 Hz), individuando i detriti di falda ghiaioso ciottolosi con blocchi in matrice sabbioso limosa ben addensata. A profondità maggiore si trova il substrato roccioso formato probabilmente dal Servino a causa del limitato valore di velocità (VS = 805 m/s) corrispondente anche al bedrock sismico. Il parametro VS30 dalla superficie topografica è VS30 = 607 m/s; considerandolo in riferimento al limite del bedrock sismico (m 12,9) si ha VSbr = 509 m/s. In ogni caso la successione stratigrafica appartiene alla **categoria di sottosuolo B.**”*



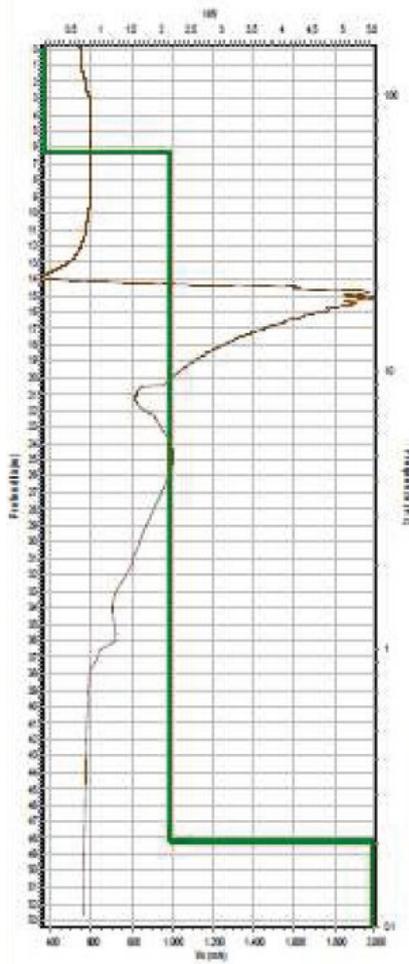


Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.65	0.65	205
12.9	12.25	530
inf	inf	805

$V_{s,30}$ pari a 607 m/s classe B

$V_{s,eq}$ pari a 509 m/s classe B



8.2.7. Sito 2: Ardesio – Via Alpini (2019_03)

Trattasi di un'indagine reperita dalle pratiche edilizie depositate presso il comune di Ardesio, gentilmente fornite agli scriventi.

L'indagine è stata effettuata con tecnica HVSR (H/V); ha individuato un primo livello di spessore 6.30 m con Vs pari a 370 m/s, un sottostante livello con Vs pari a 989 m/s ed un livello profondo sottostante con Vs pari a 1991 m/s. Rappresenta discretamente un profilo stratigrafico caratterizzato da una falda detritica sovrapposta a substrato roccioso dapprima fratturato e successivamente compatto.

$V_{s,30}$ pari a 731 m/s classe B

$V_{s,eq}$ pari a 370 m/s classe B al limite con classe E

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
6.30	6.30	370
48.20	41.90	989
inf	inf	1991

8.2.8. Sito 3: Valcanale – Cimitero (2019 04)

Trattasi di un'indagine reperita dalle pratiche edilizie depositate presso il comune di Ardesio, gentilmente fornite agli scriventi.

“La strumentazione utilizzata è costituita da GEOBOX che ottimizza la misura del micro-tremore nell'intervallo di frequenze comprese tra 0,1 e 300 Hz, permettendo di raggiungere una risoluzione migliore di quella raggiunta dalle più recenti catene di sismometri fissi (in volta) e digitalizzatori.

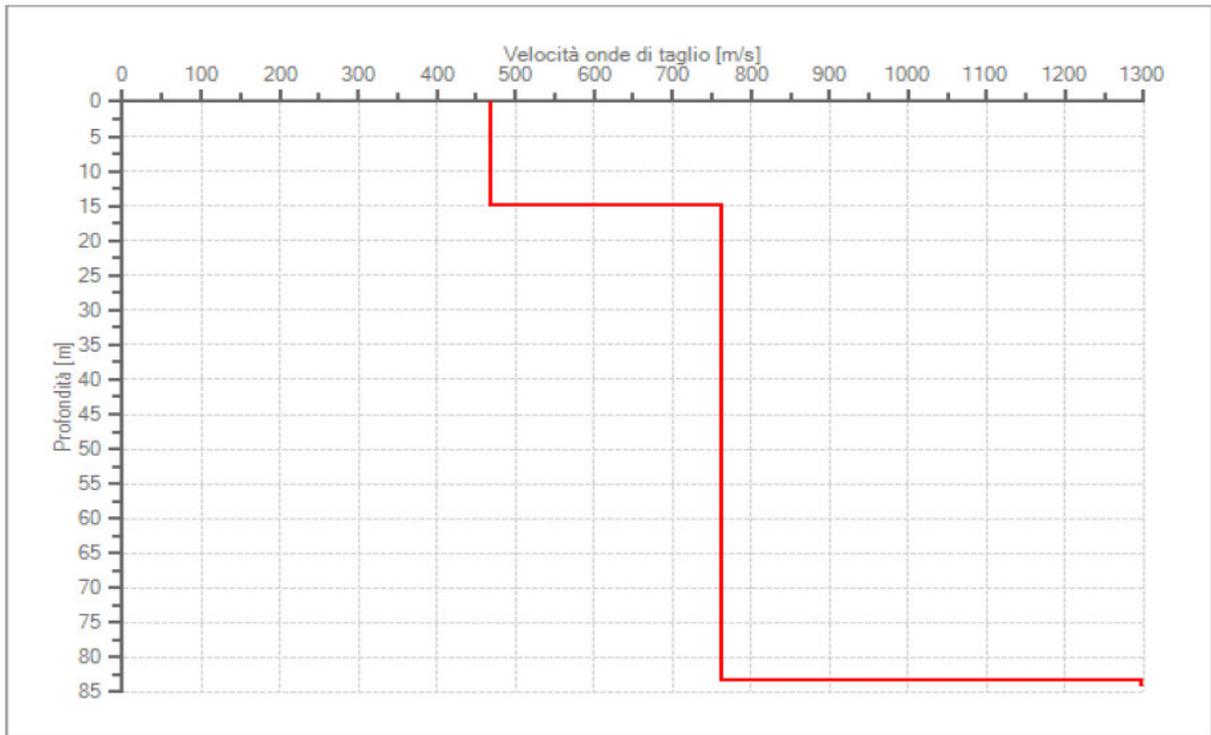
I sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati criticamente che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 23 bit. Le caratteristiche progettuali di tale strumentazione consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0,1 Hz.

Il moto del terreno è amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e trasferito ad un PC dove, mediante il codice di calcolo Easy HVSR della Geostru, viene analizzato e revisionato il segnale.”

L'indagine ha permesso di definire un primo livello sino a 15 m dal p.c. con V_s pari a 470 m/s, seguito da un livello caratterizzato da V_s pari a 760 m/s sino alla profondità di 82 m. Da tale quota, le V_s definiscono il bedrock sismico caratterizzato da V_s pari a 1300 m/s.

$V_{s,eq}$ pari a 580 m/s, classe B





<i>Profondità alla base dello strato [m]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Vs [m/s]</i>
15.00	15.00	470
82.50	67.50	760
inf	inf	1300



8.2.9. Sito 4: Bani – Via Varisco (2019 14)

Trattasi di un'indagine reperita dalle pratiche edilizie depositate presso il comune di Ardesio, gentilmente fornite agli scriventi.

La prova è stata eseguita per mezzo della strumentazione di seguito elencata:

- *Acquisitore digitale multi – canale, del tipo GEA24 della ditta P.A.S.I. S.r.l.*
- *Ricevitori (n. 12 geofoni da 4.5 Hz) capaci di misurare il campo di moto nella direzione verticale.*
- *Sorgente sismica impulsiva costituita da mazza di 8 kg.*

L'impostazione della linea sismica n. A÷B, è stata la seguente:

- *Numero geofoni = 12*
- *Spaziatura inter-geofonica = 3 metri*
- *Stendimento geofonico = 33 metri*
- *Distanza energizzazione / 1° geofono = 6 m*
- *Periodo di campionamento = 0.125 ms*
- *Durata acquisizione = 500 ms*

*L'elaborazione dei dati è stata garantita dall'utilizzo del software **EasyMASW** prodotto dalla **GeoStru S.a.s.** L'elaborazione dei dati di campagna si compone delle seguenti fasi:*

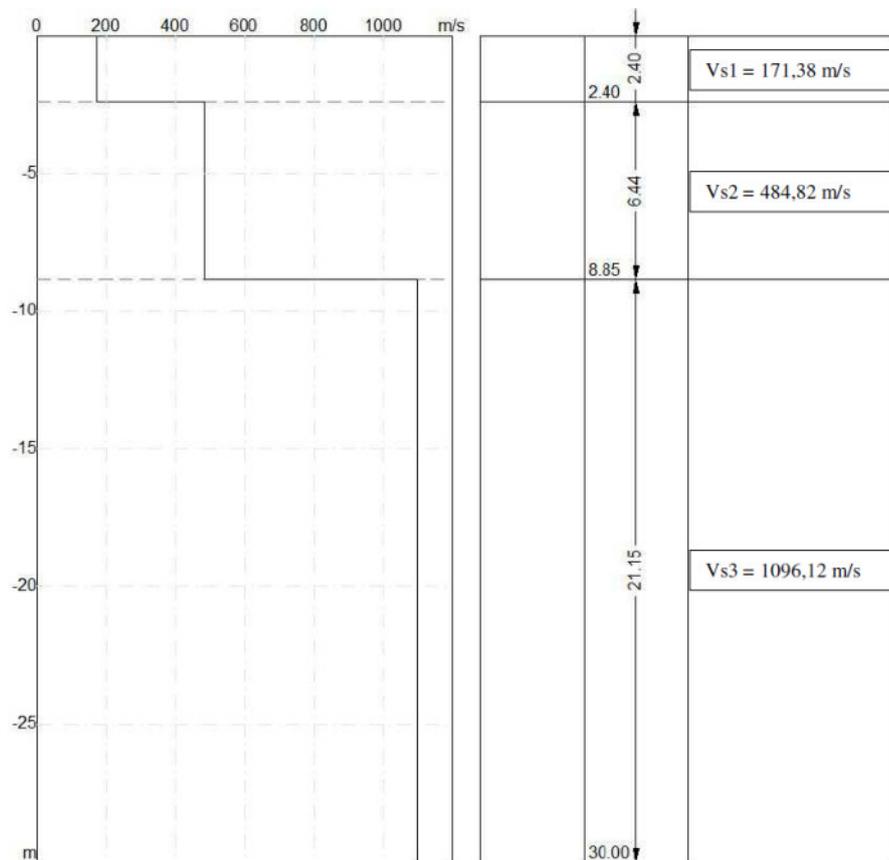
- *Pulizia da fenomeni di disturbo sul segnale utile, dovuto a sorgenti ambientali non controllabili.*
- *Assemblaggio di array virtuali, per ovviare alla limitazione del numero di geofoni disponibili in campagna.*
- *Analisi spettrale, mediante FFT, del sismogramma ottenuto, condotta mediante l'utilizzo di vari parametri matematici, che consentono di adattarsi alle esigenze dell'utente.*
- *Estrazione (manuale od automatica), della curva di dispersione sperimentale e sua visualizzazione nel dominio della frequenza o della lunghezza d'onda.*
- *Generazione di una curva di dispersione, basata su modello sintetico del terreno, mediante la caratterizzazione, per ciascuno strato, dello spessore dello strato stesso, della velocità delle onde S, della velocità delle onde P, della densità del*



terreno.

- *Inversione del modello sintetico in modalità interattiva o automatica (inversione basata sulle velocità delle onde S o sugli spessori degli strati).*
- *A seguito dell'interpretazione eseguita, viene fornito anche il valore della Vs30 del sito, consentendone la classificazione secondo le normative tecniche attualmente in corso, in materia di progettazione antisismica.*

*Nel caso specifico, come in precedenza si sono registrati tre principali sismostrati; il primo, rinvenuto mediamente sino a m 2,4 di profondità dalle attuali quote di p.c., si caratterizza per un valore medio di velocità di propagazione delle onde sismiche Vs di 171,38 m/s, ad indicare un orizzonte superficiale areato e/o poco addensato (cfr. **Litotipi 1 e 2**), mentre il secondo, rinvenuto sino a m 8,85 di profondità da p.c., si caratterizza per un valore medio di velocità di propagazione delle onde sismiche Vs di 484,82 m/s, ad indicare un deposito con grado di addensamento elevato (cfr. **Sismostrato n. 2**). Oltre m 8,85 di profondità da p.c. si è invece rinvenuto il **bedrock sismico**, caratterizzato da un valore medio di velocità di propagazione delle onde sismiche Vs di 1096,12 m/s (cfr. Sismostrato n. 3).*



<i>Profondità alla base dello strato [m]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Vs [m/s]</i>
2.40	2.40	172
8.85	6.45	485
inf	inf	1096

$V_{s,30}$ pari a 644 m/s, classe B

$V_{s,eq}$ pari a 324 m/s, classe C passante a E per limitato spessore



8.2.10. Sito 5: Ardesio – Cimitero (SIS1)

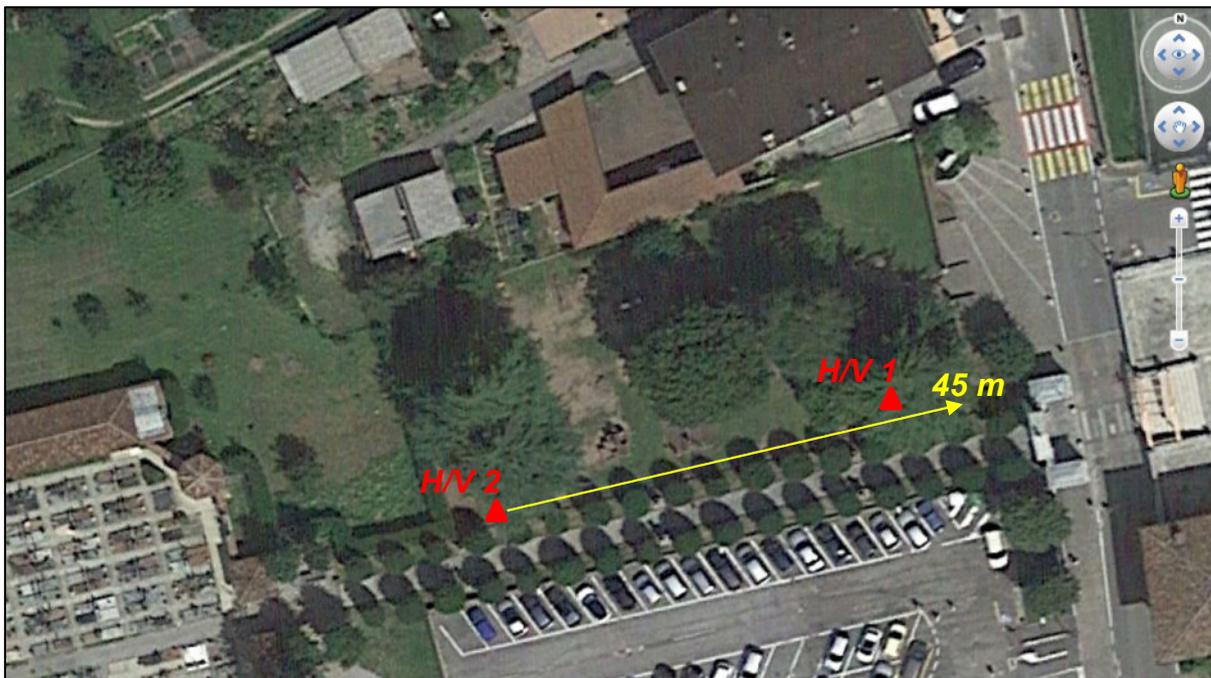


Figura 46 - Ubicazione del sito di intervento su base Google Earth. La freccia indica la numerazione crescente dei geofoni.

8.2.10.1. Indagine MASW

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
13	3	36	1	9	1	512

**Figura 47 - Esecuzione dell'indagine.**

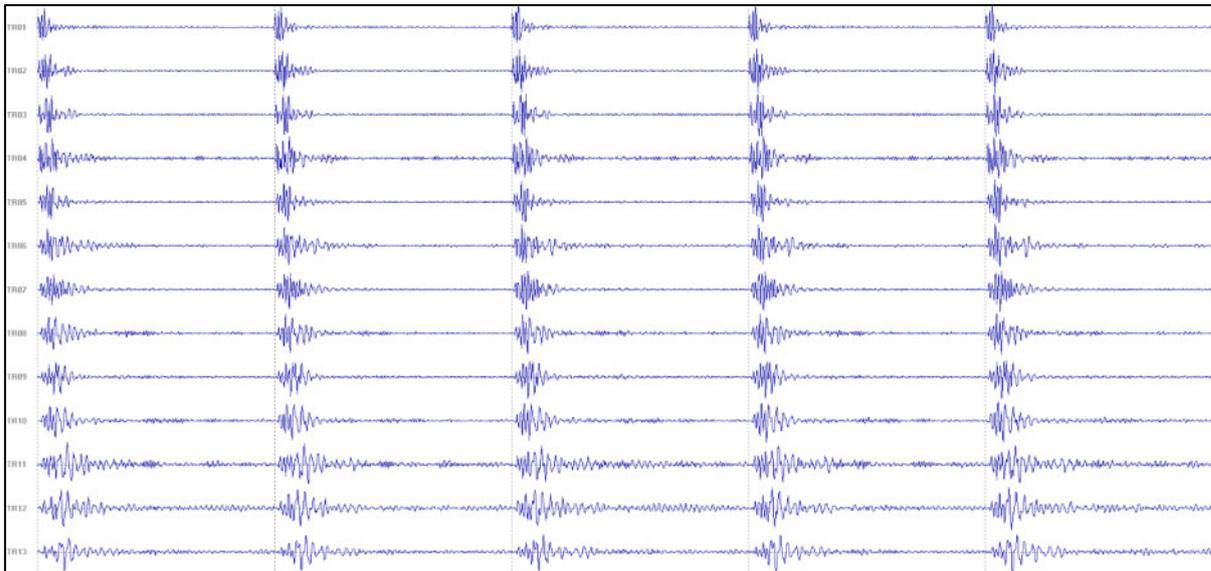


Figura 48 - Sismogramma acquisito.

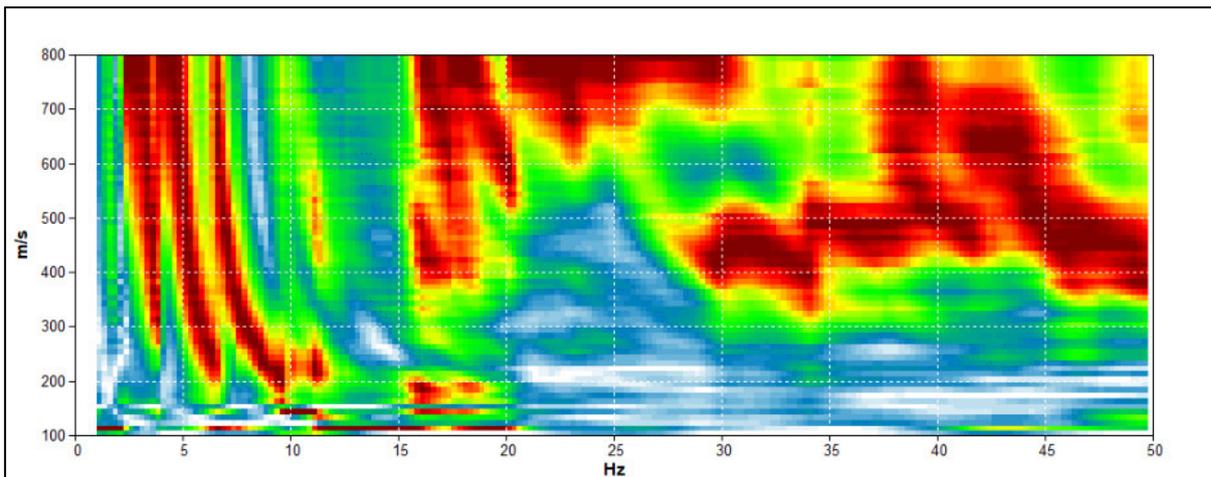
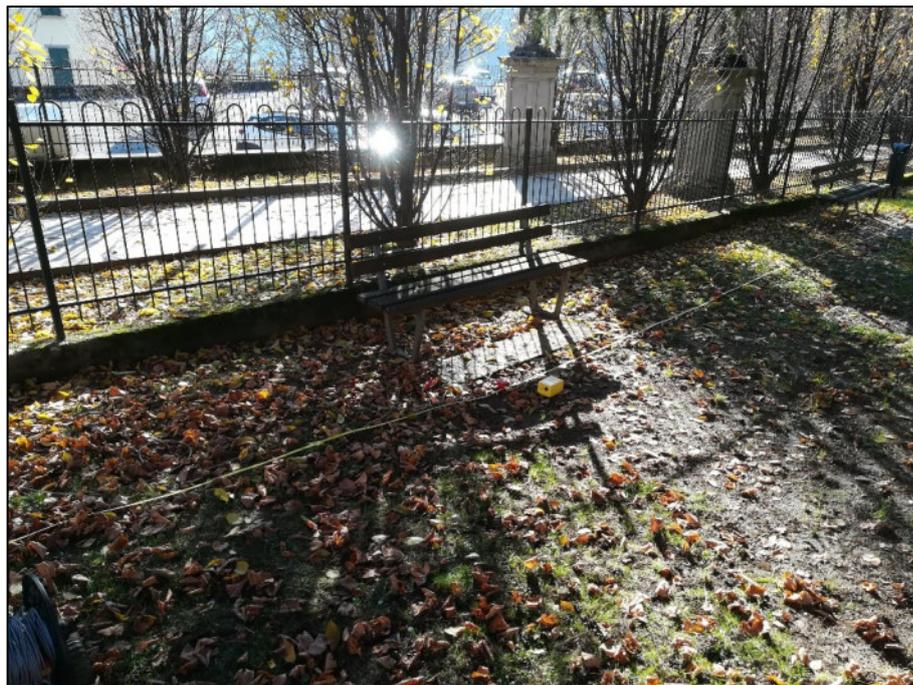


Figura 49 - Spettro delle velocità di fase.



8.2.10.2. Indagini H/V**8.2.10.3. Misura 1**

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	05/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamiento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamiento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 50 - Esecuzione dell'indagine.**

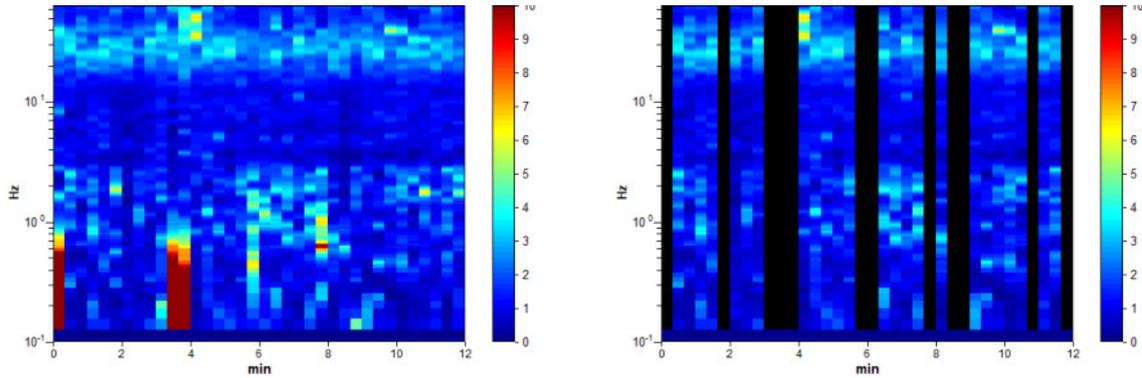


Figura 51 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

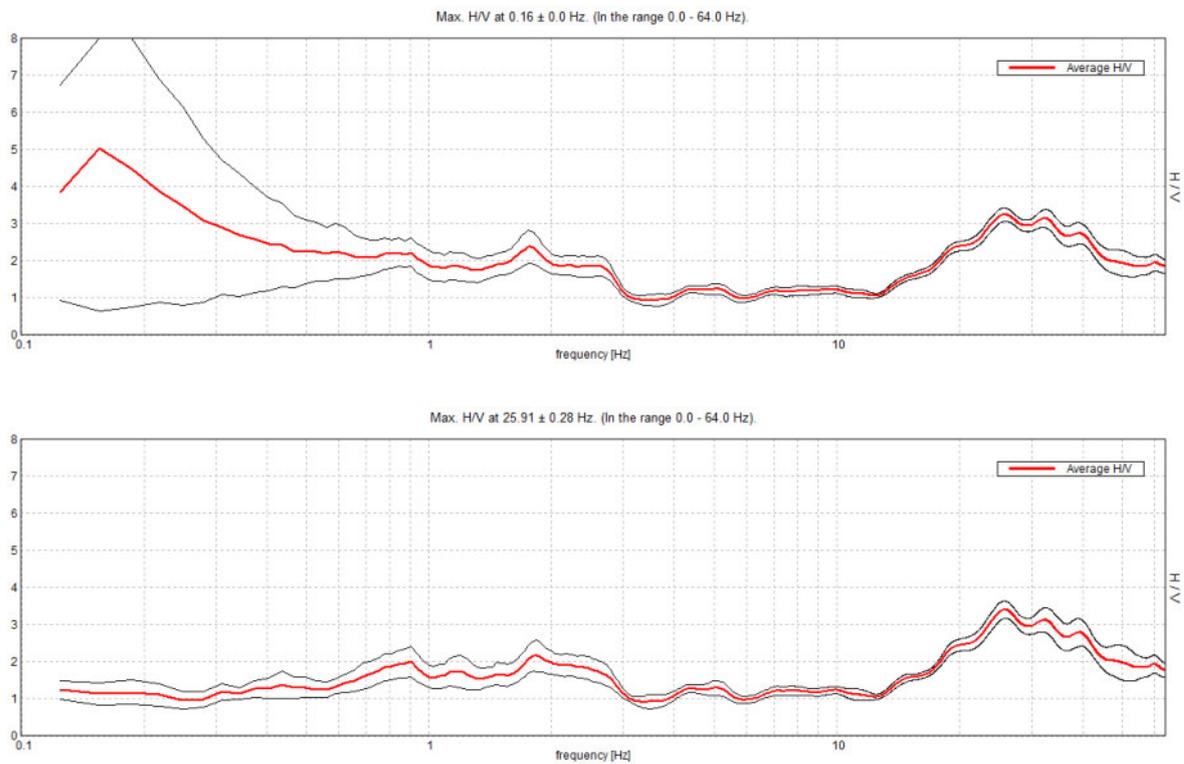


Figura 52 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

8.2.10.4. Misura n. 2

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	05/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamiento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamiento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 53 - Esecuzione dell'indagine.**

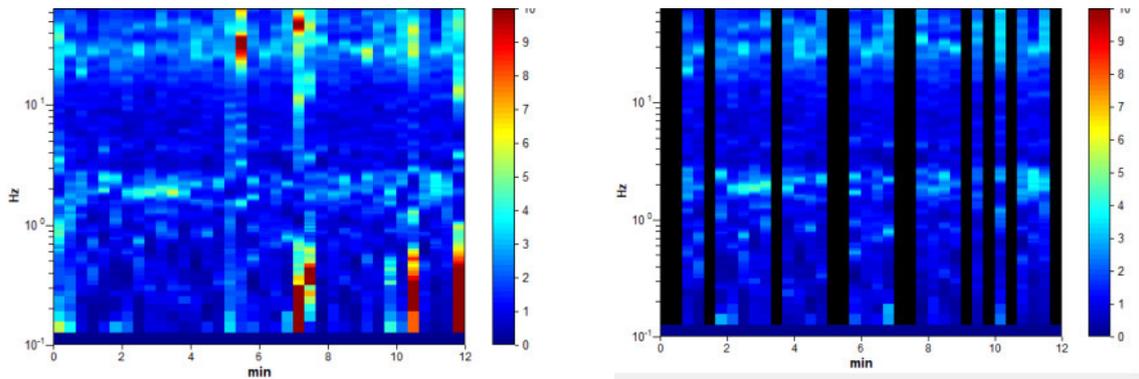


Figura 54 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

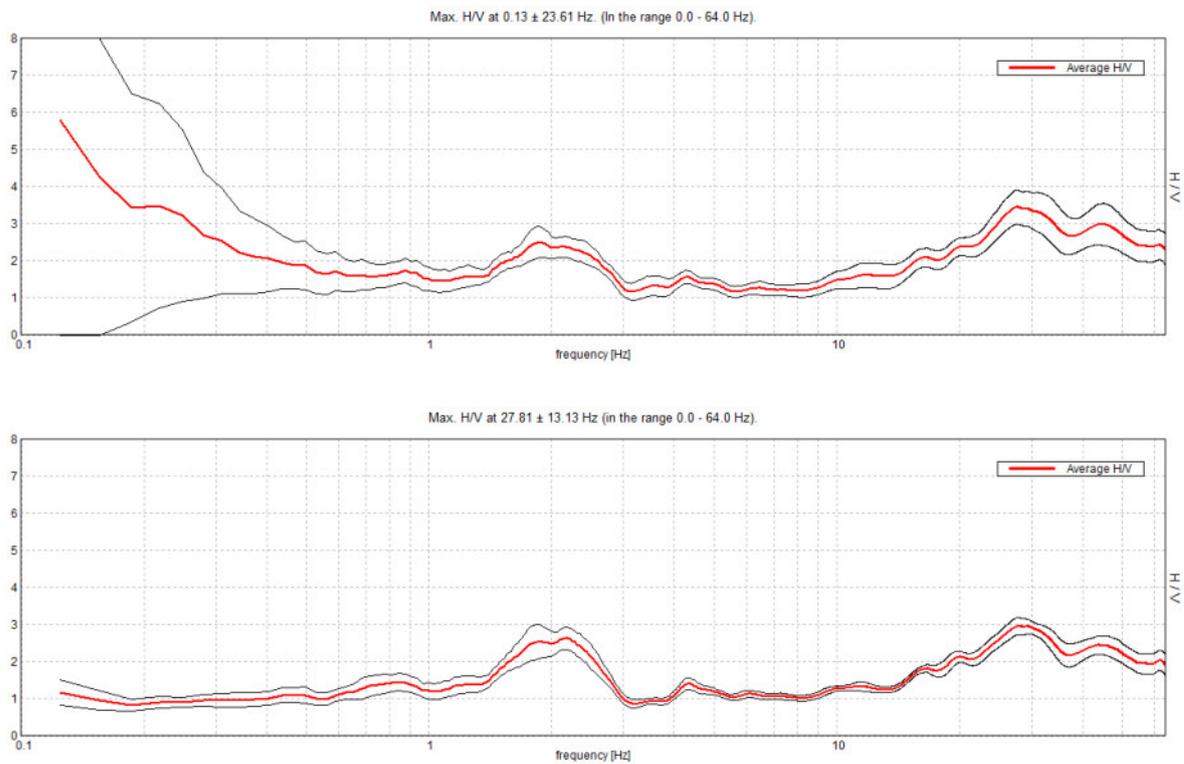


Figura 55 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

Le due misure H/V risultano discretamente correlabili lateralmente e non evidenziano significative inversioni di velocità. Per la modellazione del profilo sismostratigrafico sono state utilizzate l'indagine MASW e la misura H/V n. 1 poiché migliori in termini di pulizia del segnale e qualità delle curve. Nel caso in esame gli spettri H/V hanno consentito di individuare frequenze di risonanza, pari a: 25,69 Hz, 19,92 Hz, 14,86 Hz, 7,24 Hz, 5,00 Hz, 4,33 Hz, 1,82 Hz, 1,13 Hz e 0,90 Hz. Per un maggior dettaglio si rimanda alla figura seguente.

Sulla base dei valori di V_s ottenuti è stata determinata una V_{seq} pari a 495 m/s.

Il profilo sismo stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle indagini eseguite si caratterizza per la presenza di un primo livello piuttosto soffice ($V_s \approx 221$ m/s) avente uno spessore di circa 2 m. Già dal secondo livello si registrano valori superiori a 400 m/s, compatibili sia con depositi addensati/cementati sia con rocce tenere. Il bedrock sismico ($V_s \approx 1050$ m/s) è collocato a circa 82 m da p.c..



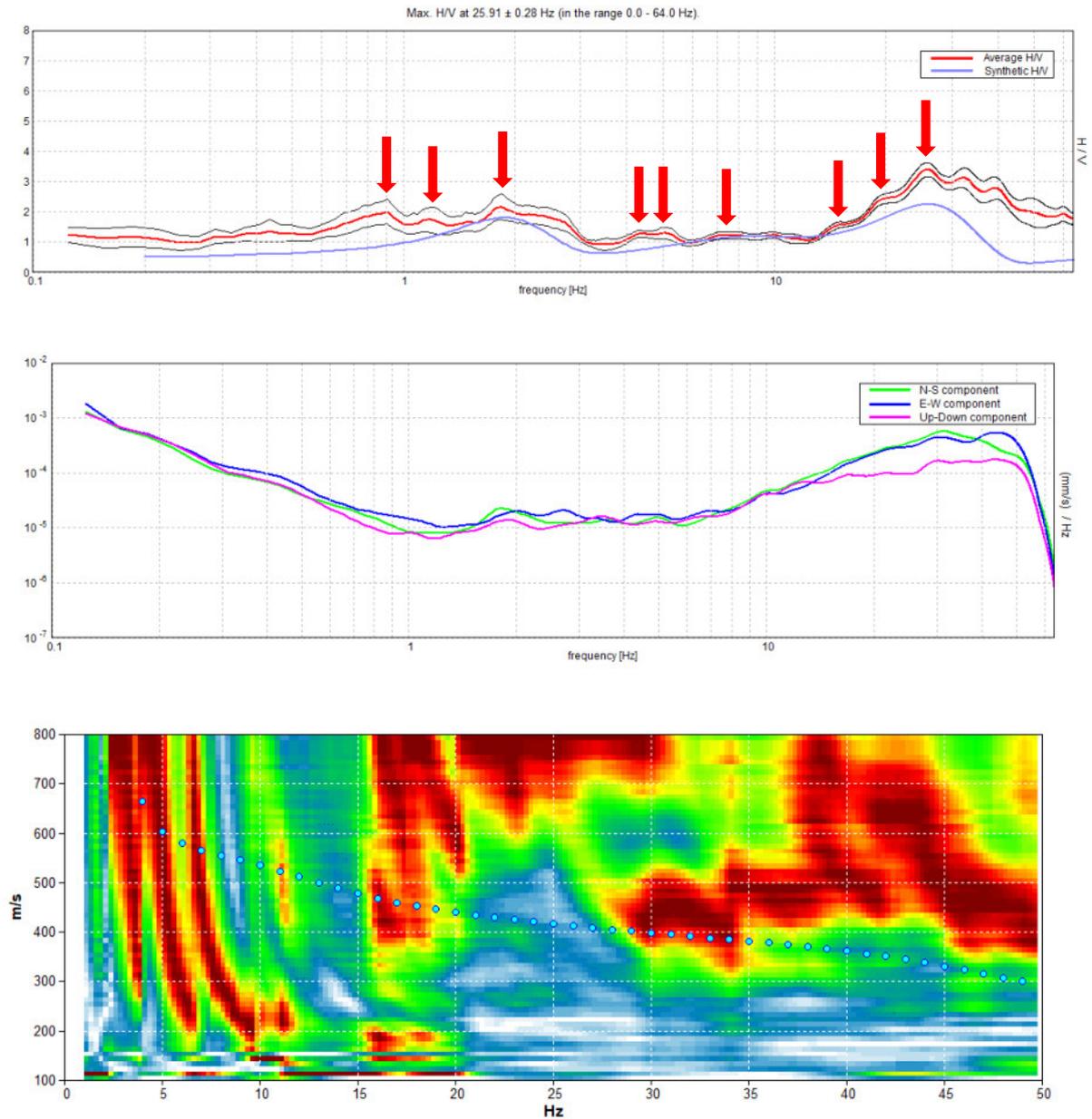
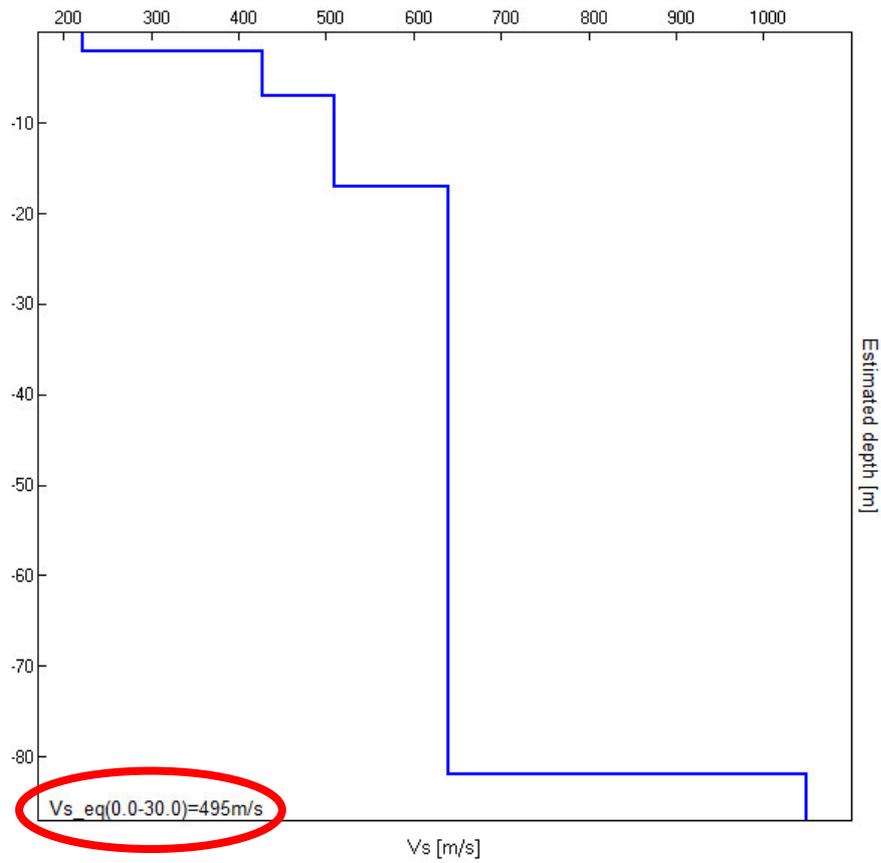


Figura 56 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V. Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine, spettro di velocità di fase con modellazione (puntini azzurri) nella terza. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica.



<i>Profondità alla base dello strato [m]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Vs [m/s]</i>
2,0	2,0	221
7,0	5,0	428
17,0	10,0	510
82,0	65,0	640
∞	∞	1050



8.2.11. Sito 6: Ardesio – Campo sportivo comunale (SIS2)

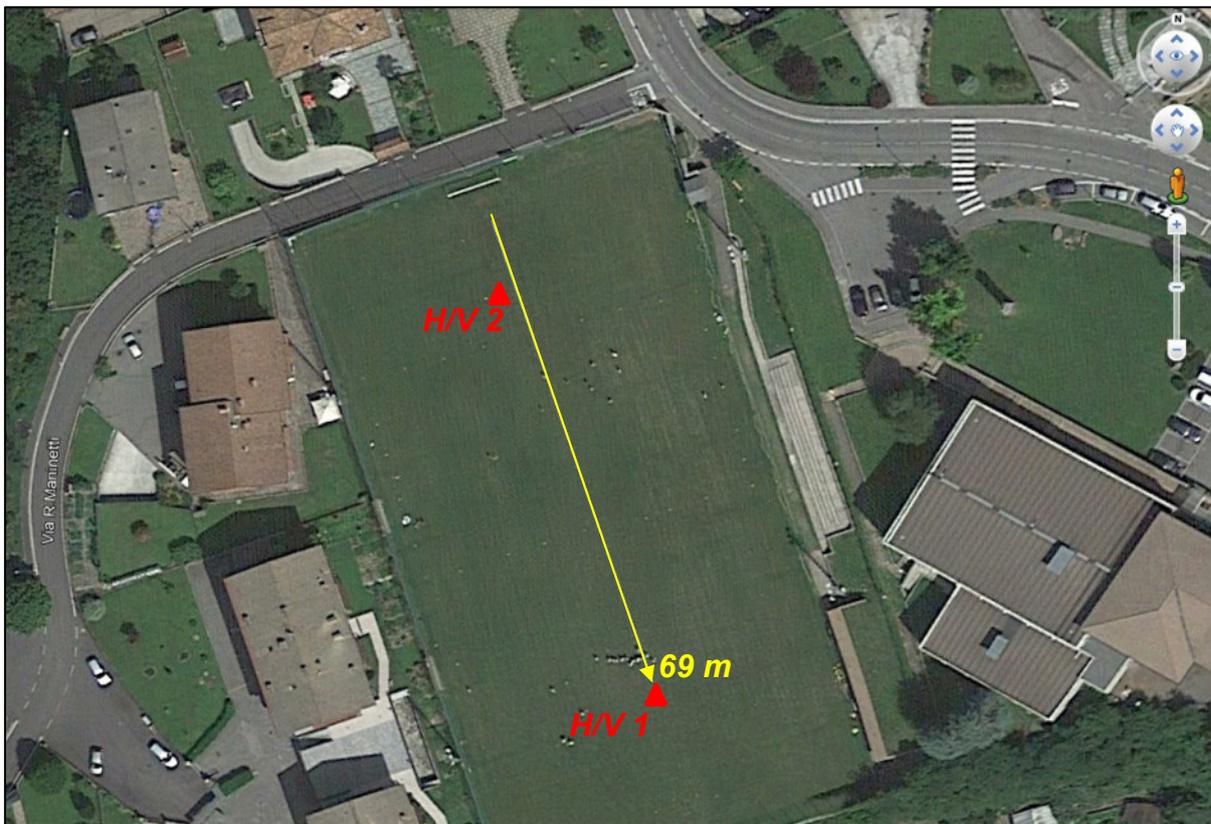


Figura 57 - Ubicazione del sito di intervento su base Google Earth. La freccia indica la numerazione crescente dei geofoni.

8.2.11.1. Indagine MASW

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
21	3	60	1	9	1	512

**Figura 58 - Esecuzione dell'indagine.**

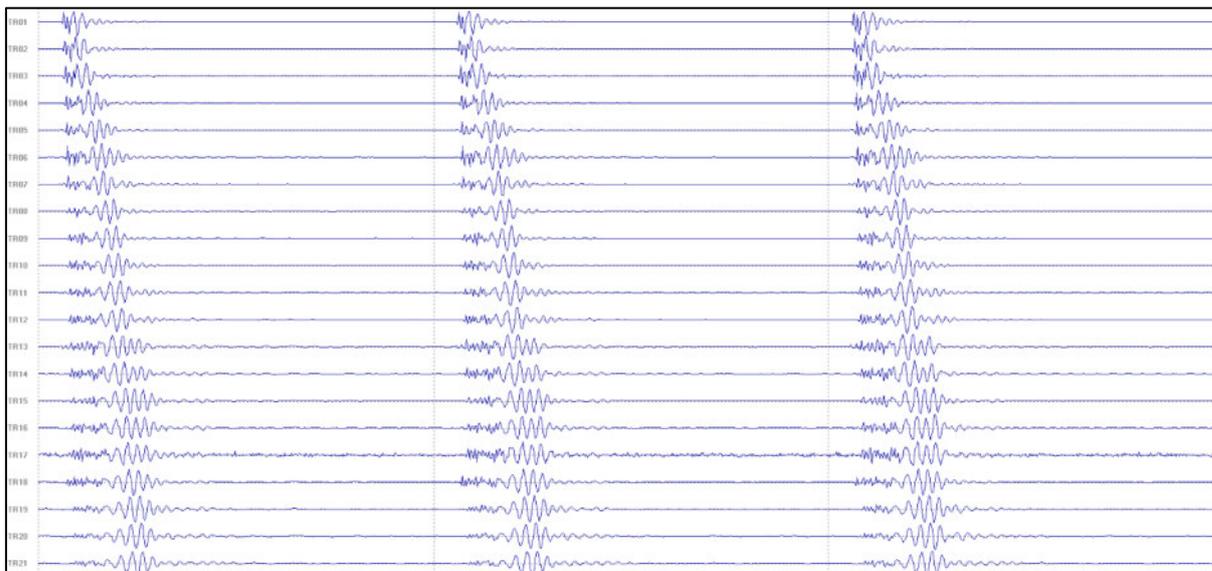


Figura 59 - Sismogramma acquisito.

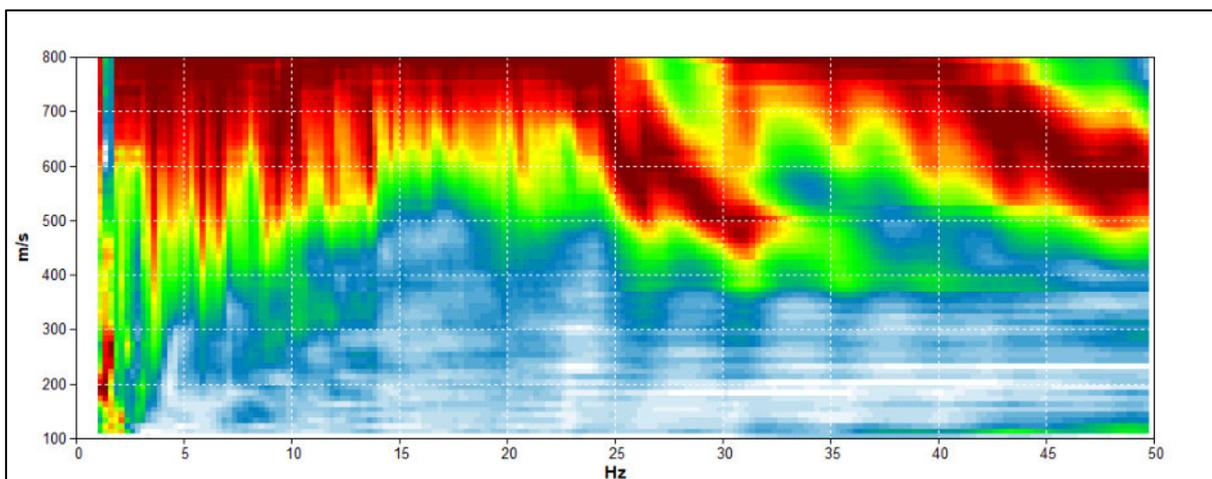


Figura 60 - Spettro delle velocità di fase.



8.2.11.2. Indagini H/V**8.2.11.3. Misura 1**

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	05/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamiento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamiento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 61 - Esecuzione dell'indagine.**

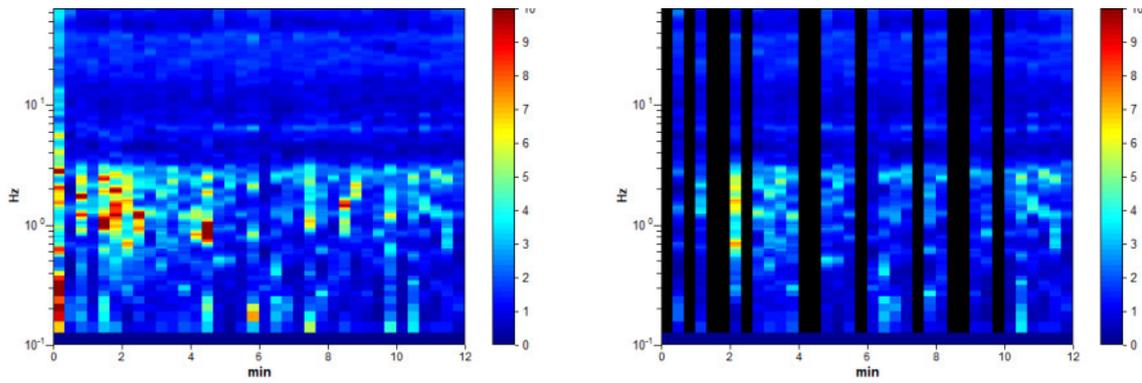


Figura 62 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

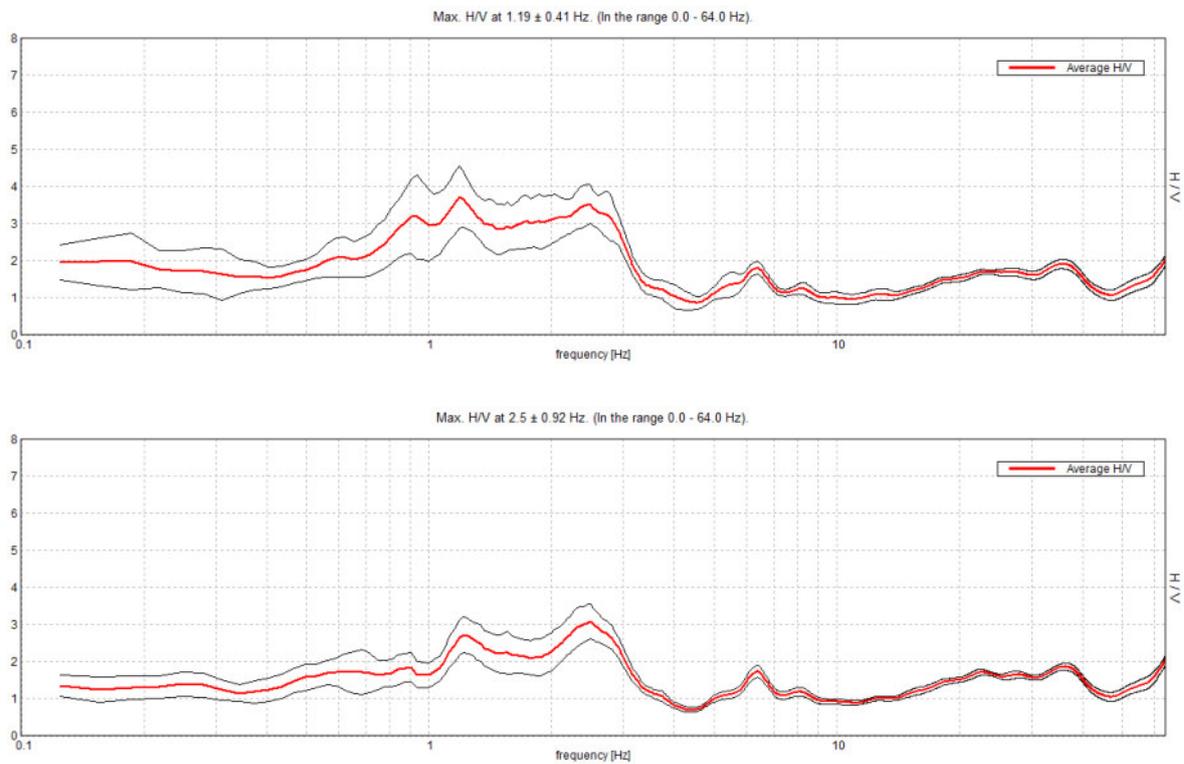
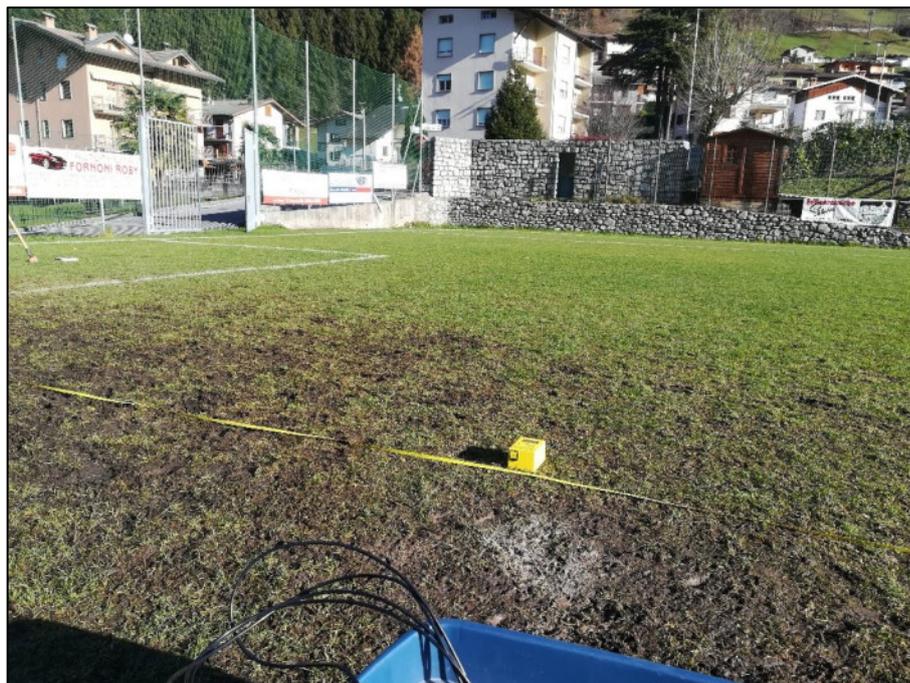


Figura 63 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

8.2.11.4. Misura n. 2

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	05/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamiento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamiento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 64 - Esecuzione dell'indagine.**

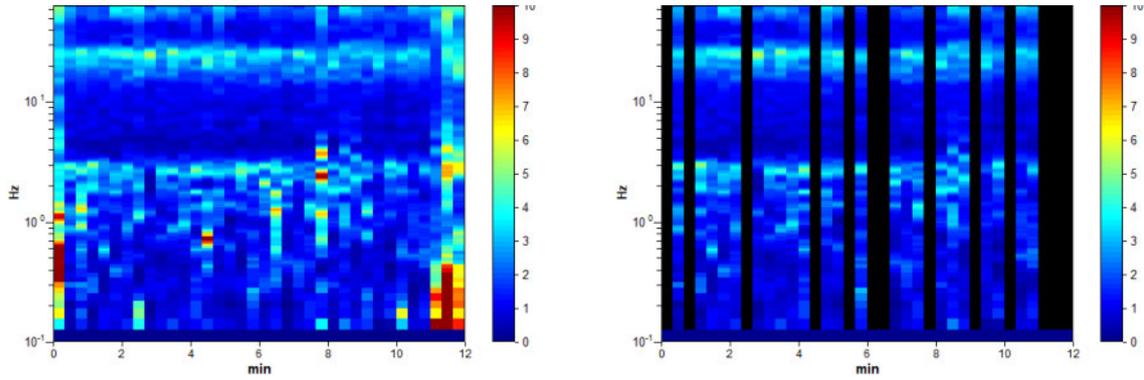


Figura 65 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

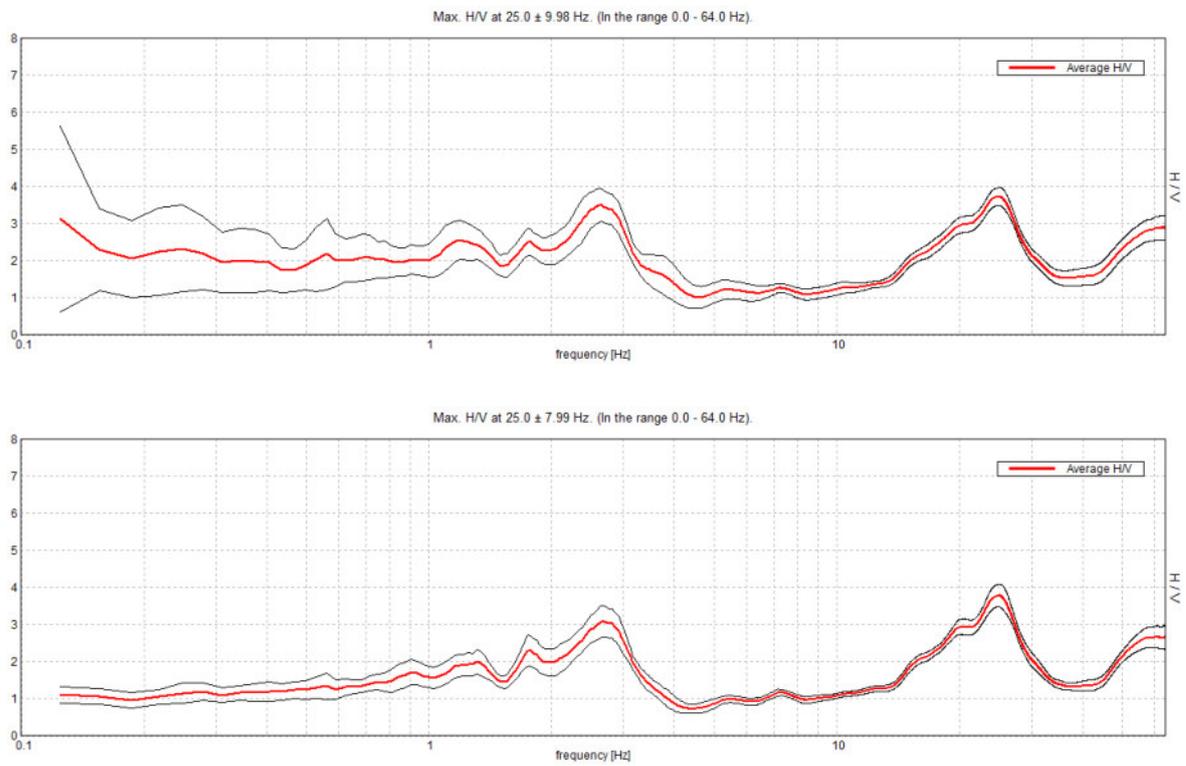


Figura 66 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.



Le due misure H/V risultano discretamente correlabili lateralmente e non evidenziano significative inversioni di velocità. Per la modellazione del profilo sismostratigrafico sono state utilizzate l'indagine MASW e la misura H/V n. 2 poiché migliori in termini di pulizia del segnale e qualità delle curve.

Nel caso in esame gli spettri H/V hanno consentito di individuare frequenze di risonanza, pari a: 24,85 Hz, 20,00 Hz, 7,23 Hz, 5,43 Hz, 2,69 Hz, 1,77 Hz e 1,30 Hz. Per un maggior dettaglio si rimanda alla figura seguente.

Sulla base dei valori di V_s ottenuti è stata determinata una V_{seq} pari a 561 m/s.

Il profilo sismo stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle indagini eseguite si caratterizza per la presenza di un primo livello poco rigido ($V_s \approx 329$ m/s) avente uno spessore di circa 4 m. Seguono orizzonti progressivamente più rigidi, fino a raggiungere il bedrock sismico ($V_s \approx 1200$ m/s) a circa 68 m da p.c..



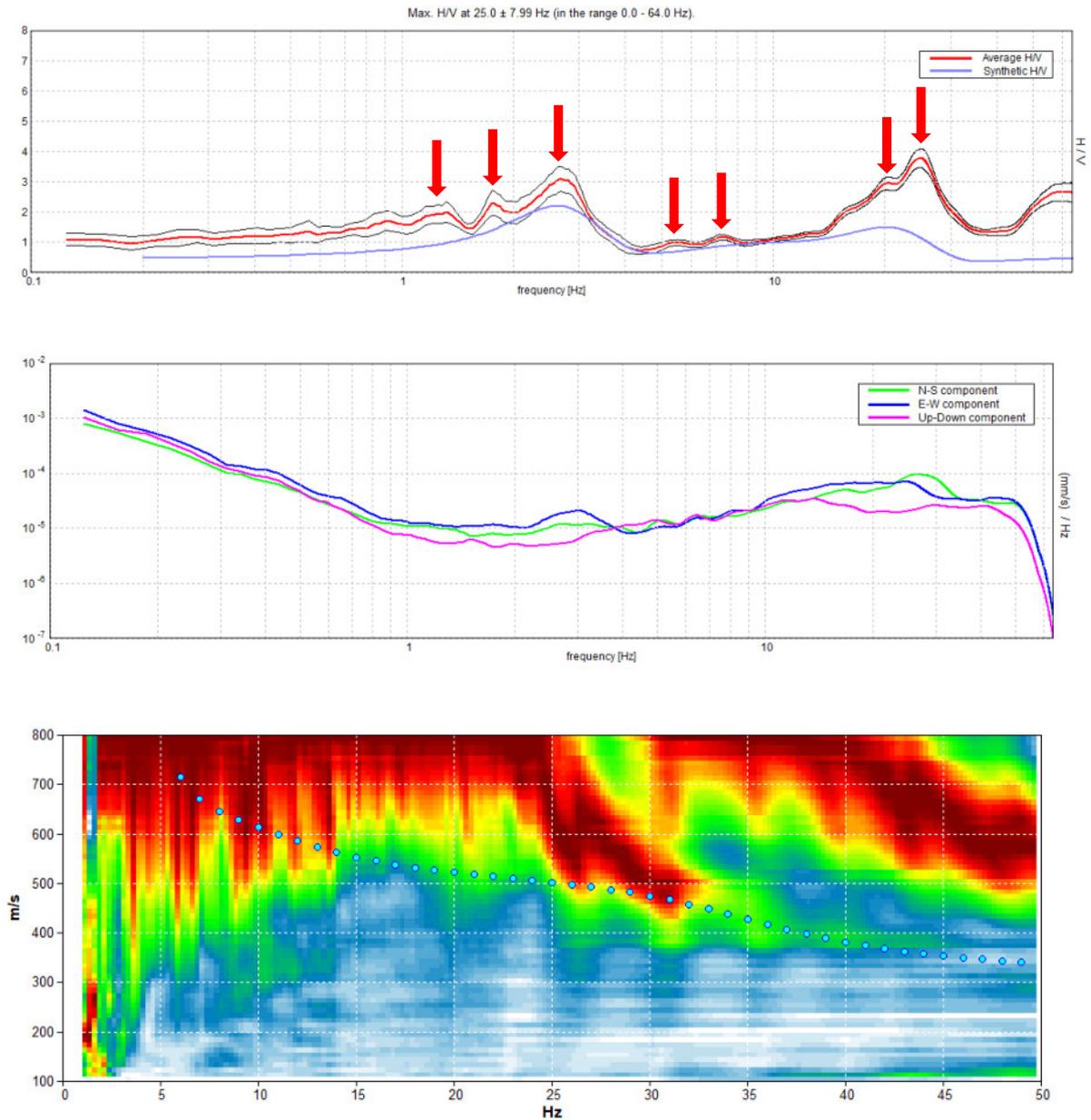
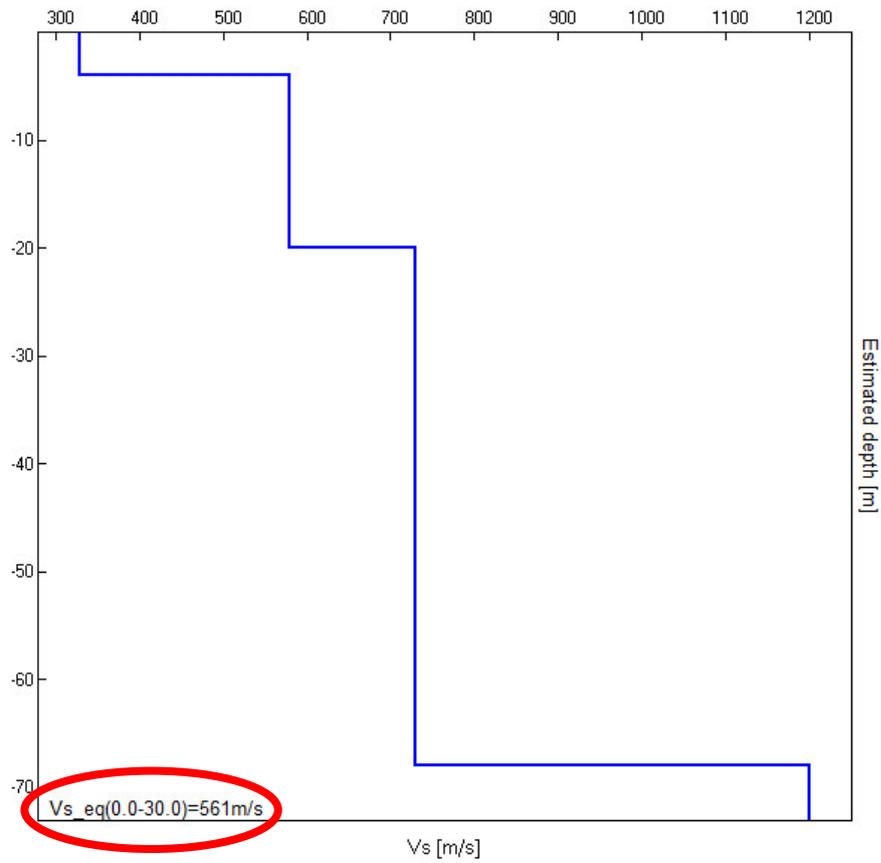


Figura 67 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V. Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine, spettro di velocità di fase con modellazione (puntini azzurri) nella terza. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica.



<i>Profondità alla base dello strato [m]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Vs [m/s]</i>
4,0	4,0	329
20,0	16,0	580
68,0	48,0	730
∞	∞	1200



8.2.12. Sito 7: Ardesio – Via dei Fantoni (SIS3)

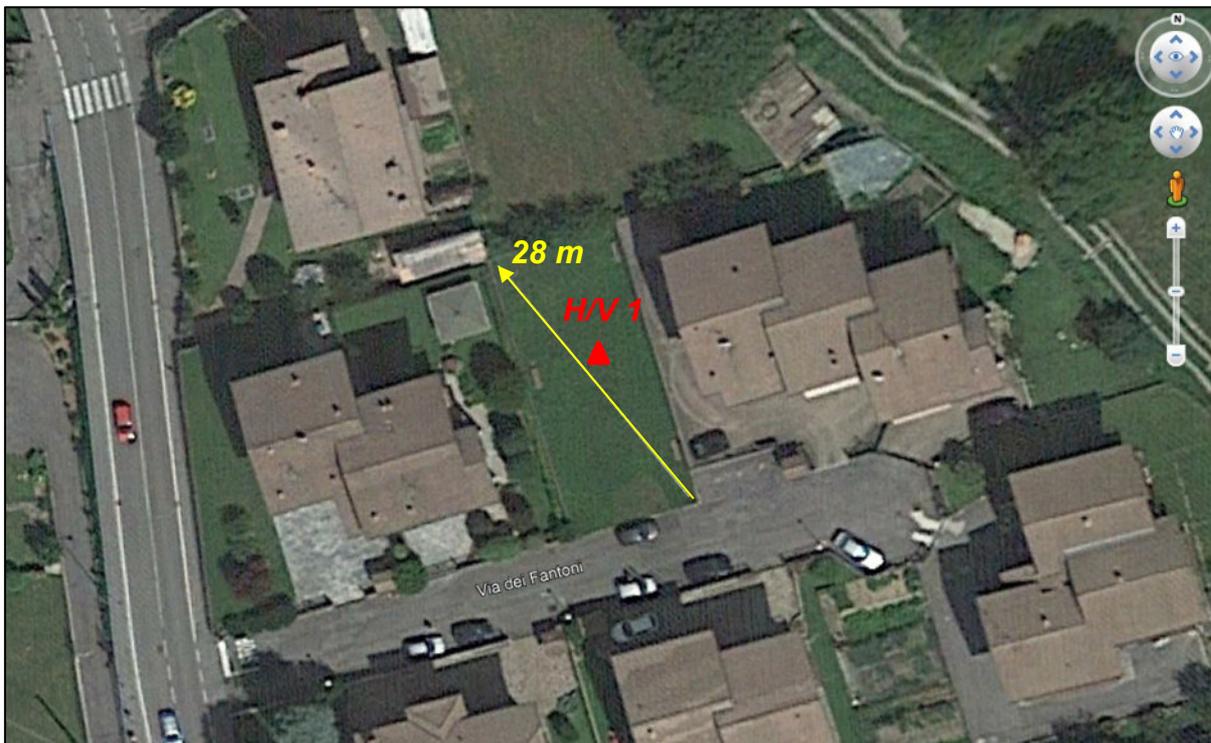


Figura 68 - Ubicazione del sito di intervento su base Google Earth. La freccia indica la numerazione crescente dei geofoni.

8.2.12.1. Indagine MASW

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
8	3	21	1	7	1	512

**Figura 69 - Esecuzione dell'indagine.**

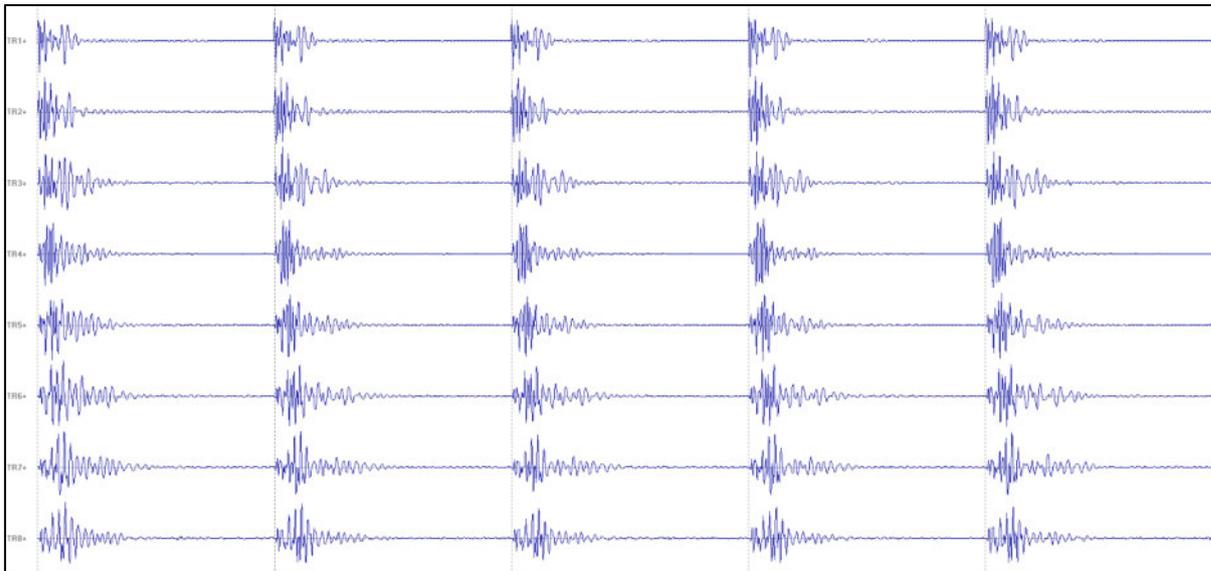


Figura 70 - Sismogramma acquisito.

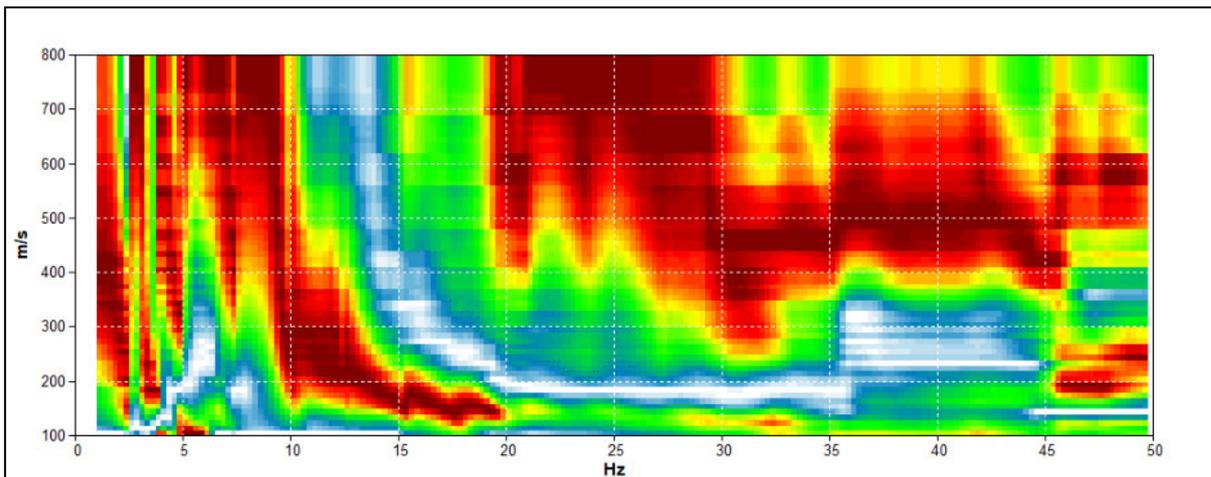


Figura 71 - Spettro delle velocità di fase.

8.2.12.2. Indagini H/V**8.2.12.3. Misura n. 1**

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	05/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 72 - Esecuzione dell'indagine.**

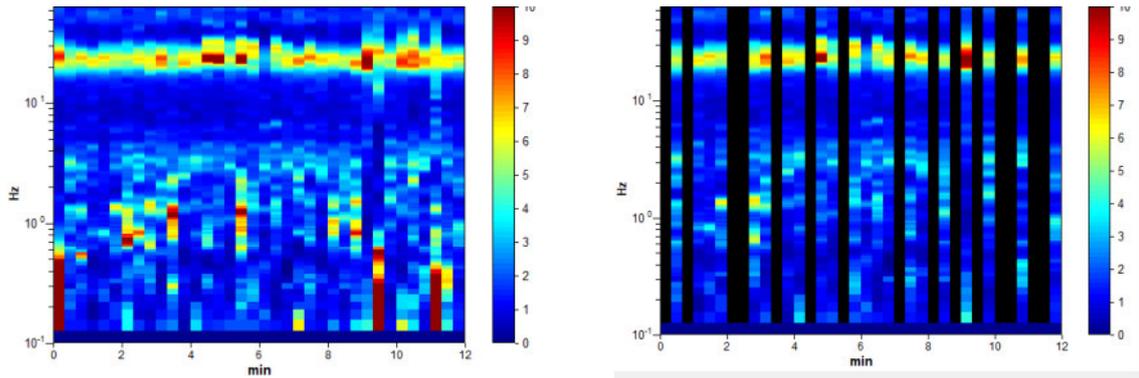


Figura 73 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

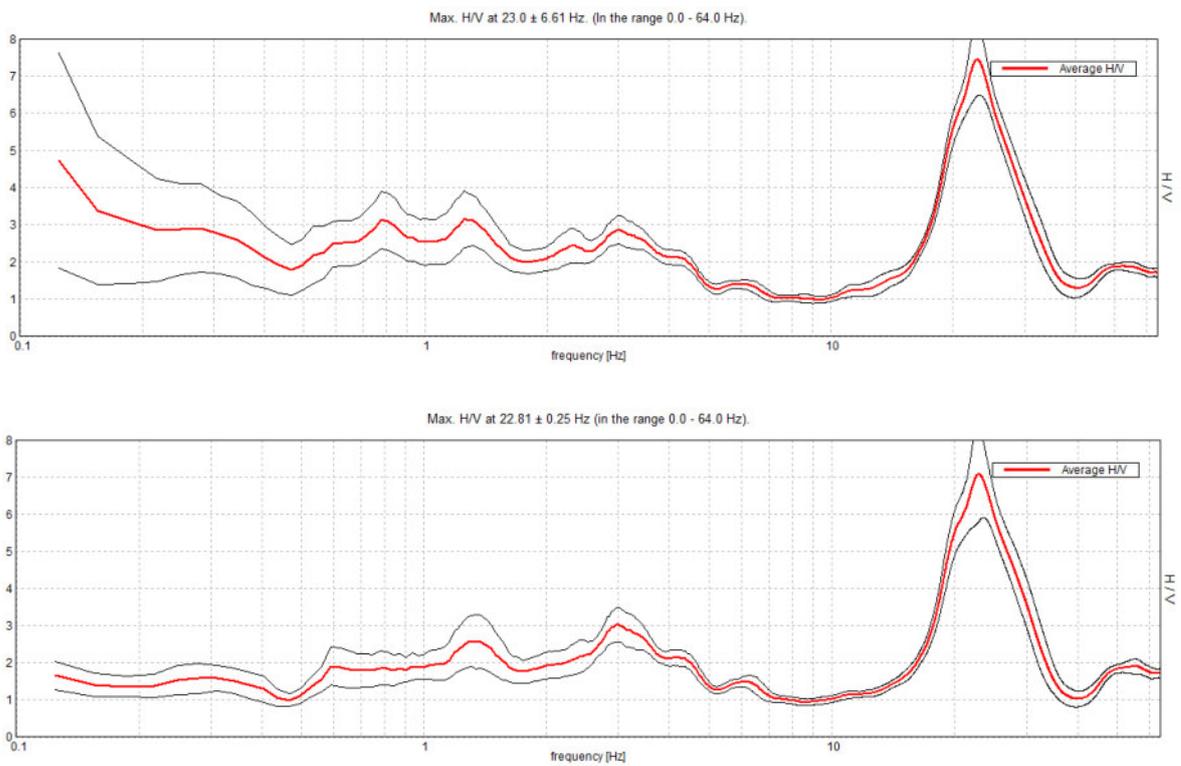


Figura 74 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

Nel caso in esame gli spettri H/V hanno consentito di individuare frequenze di risonanza, pari a: 22,75 Hz, 20,00 Hz, 10,84 Hz, 6,00 Hz, 4,28 Hz, 3,00 Hz e 1,34 Hz. Per un maggior dettaglio si rimanda alla figura seguente.

Sulla base dei valori di V_s ottenuti è stata determinata una V_{seq} pari a 502 m/s.

Il profilo sismo stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle indagini eseguite si caratterizza per la presenza di materiali soffici nei primi 4 m ÷ 5 m, con V_s comprese tra 224 m/s e 320 m/s. Si passa poi a valori di velocità compatibili sia con depositi addensati/cementati sia con rocce tenere, raggiungendo infine il bedrock sismico ($V_s \approx 1150$ m/s) a circa 59 m da p.c..



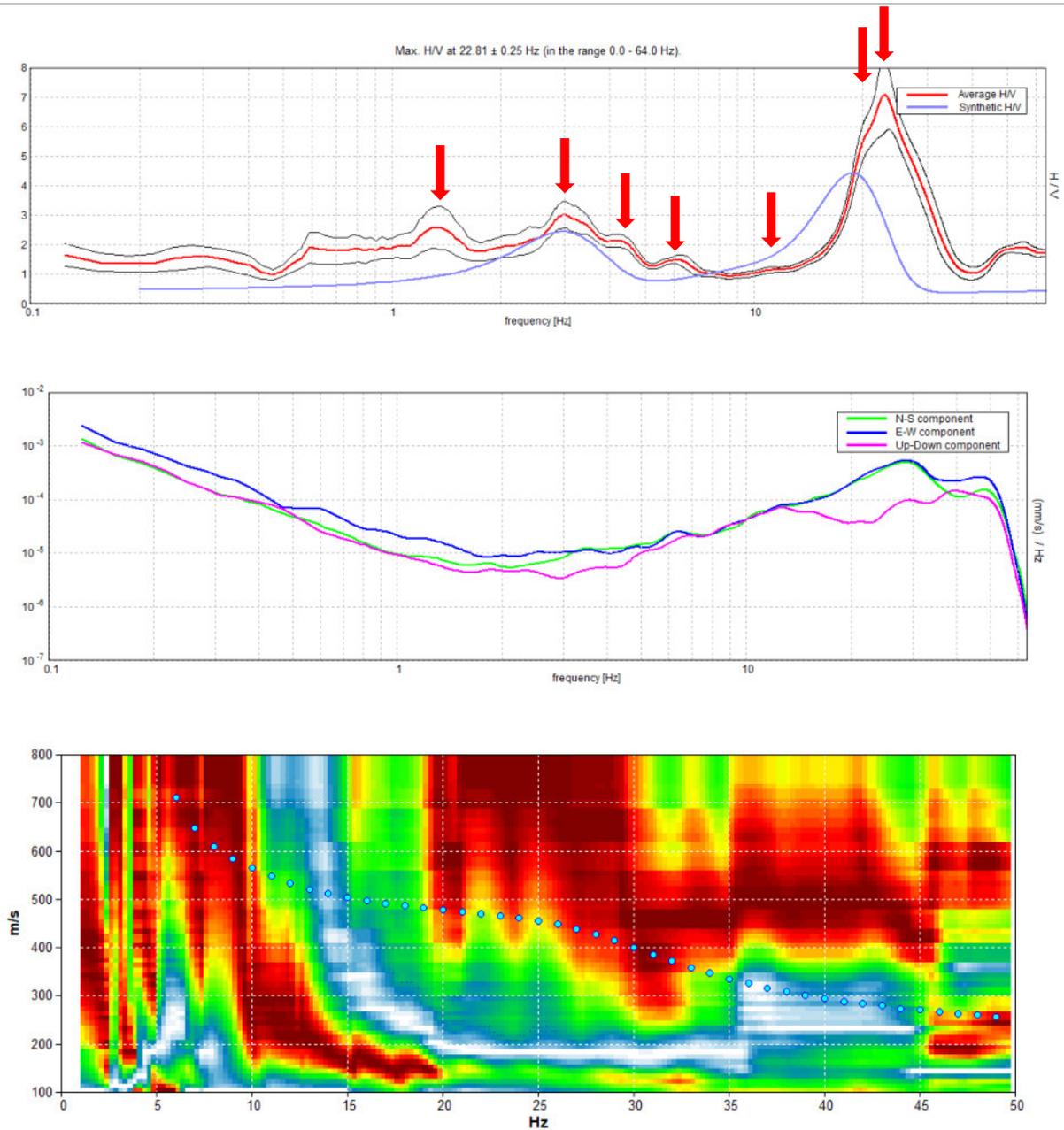
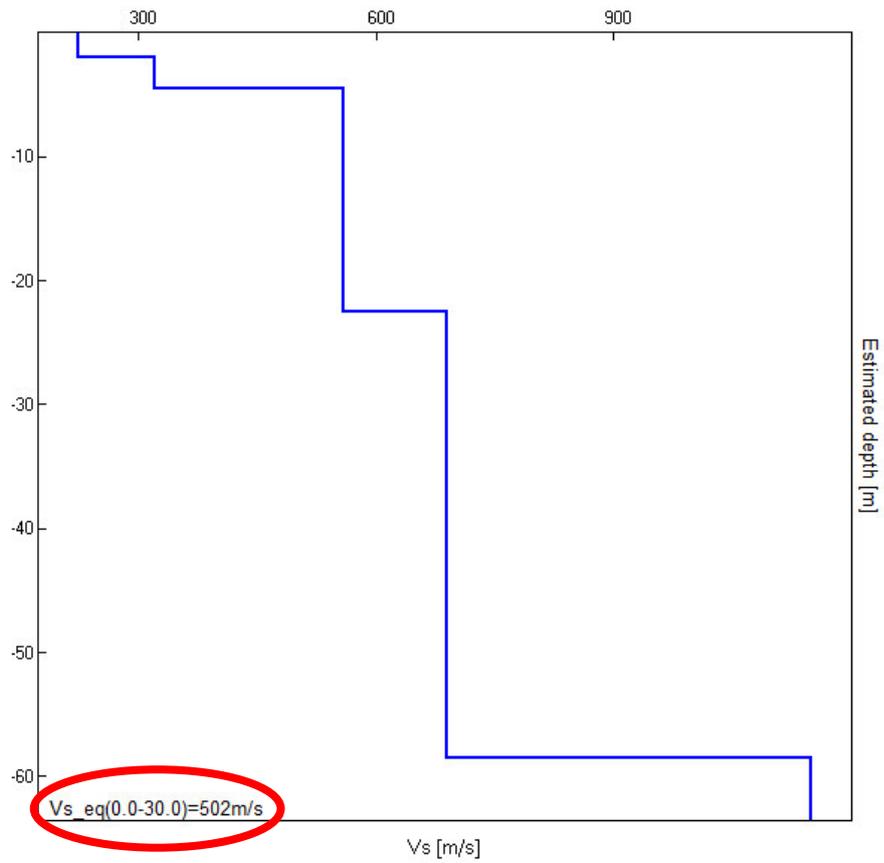


Figura 75 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V. Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine, spettro di velocità di fase con modellazione (puntini azzurri) nella terza. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica.



<i>Profondità alla base dello strato [m]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Vs [m/s]</i>
2,0	2,0	224
4,5	2,5	320
22,5	18,0	560
58,5	36,0	690
∞	∞	1150



8.2.13. Sito 8: Ardesio – Centrale Enel (SIS4)

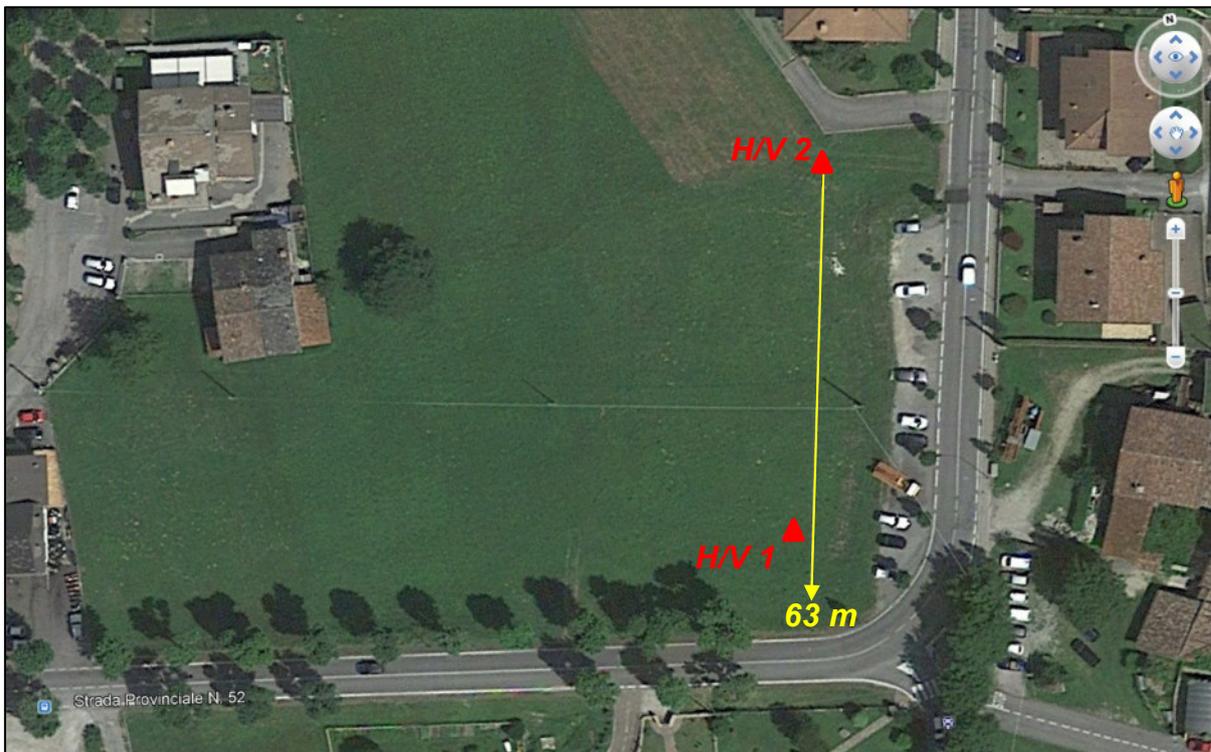


Figura 76 - Ubicazione del sito di intervento su base Google Earth. La freccia indica la numerazione crescente dei geofoni.

8.2.13.1. Indagine ReMi

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
19	3	54	300	512

**Figura 77 - Esecuzione dell'indagine.**

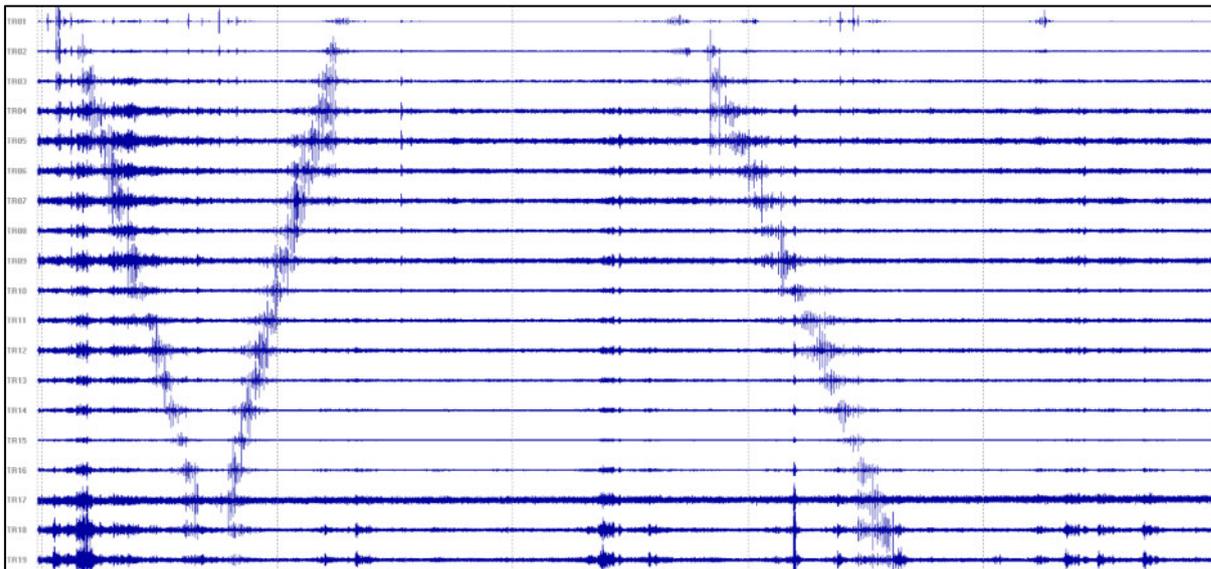


Figura 78 - Sismogramma acquisito.

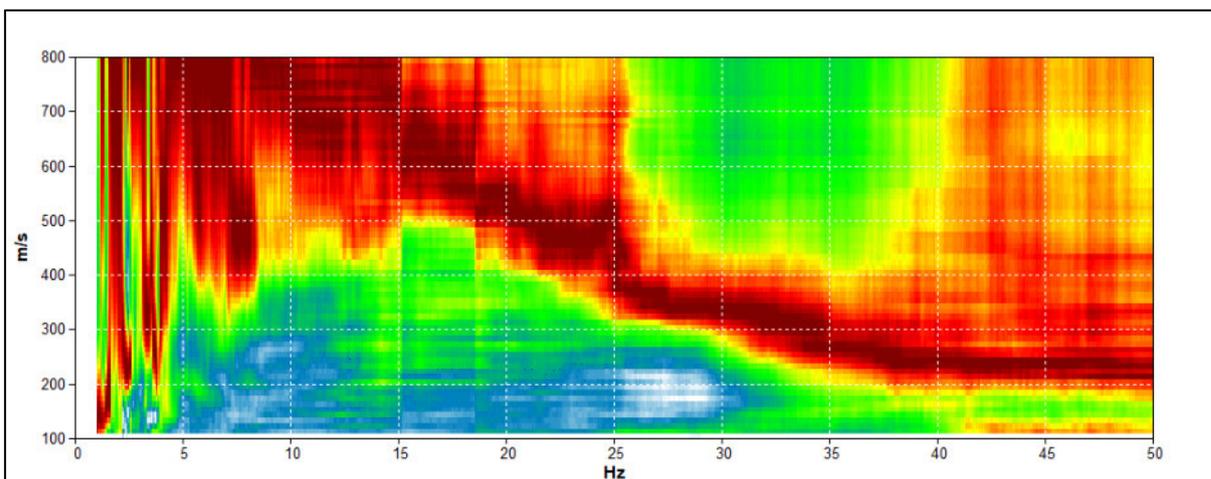


Figura 79 - Spettro delle velocità di fase.

8.2.13.2. Indagini h/v**8.2.13.3. Misura n. 1**

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	05/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 80 - Esecuzione dell'indagine.**

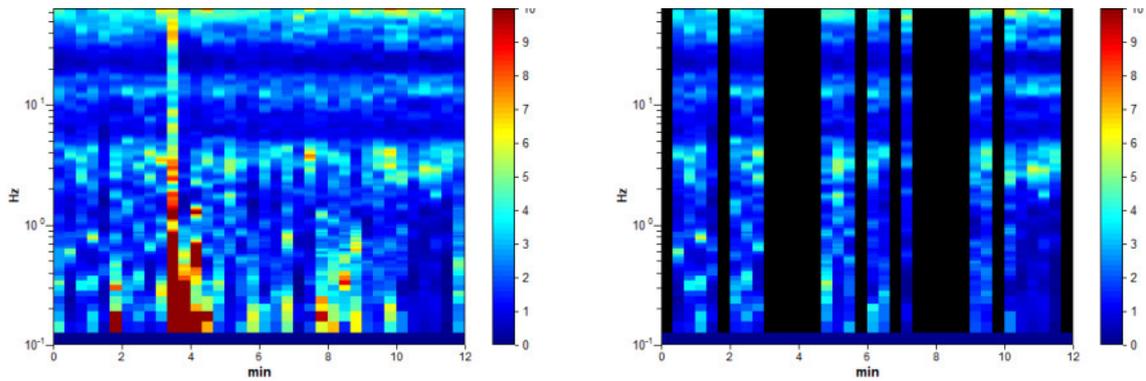


Figura 81 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

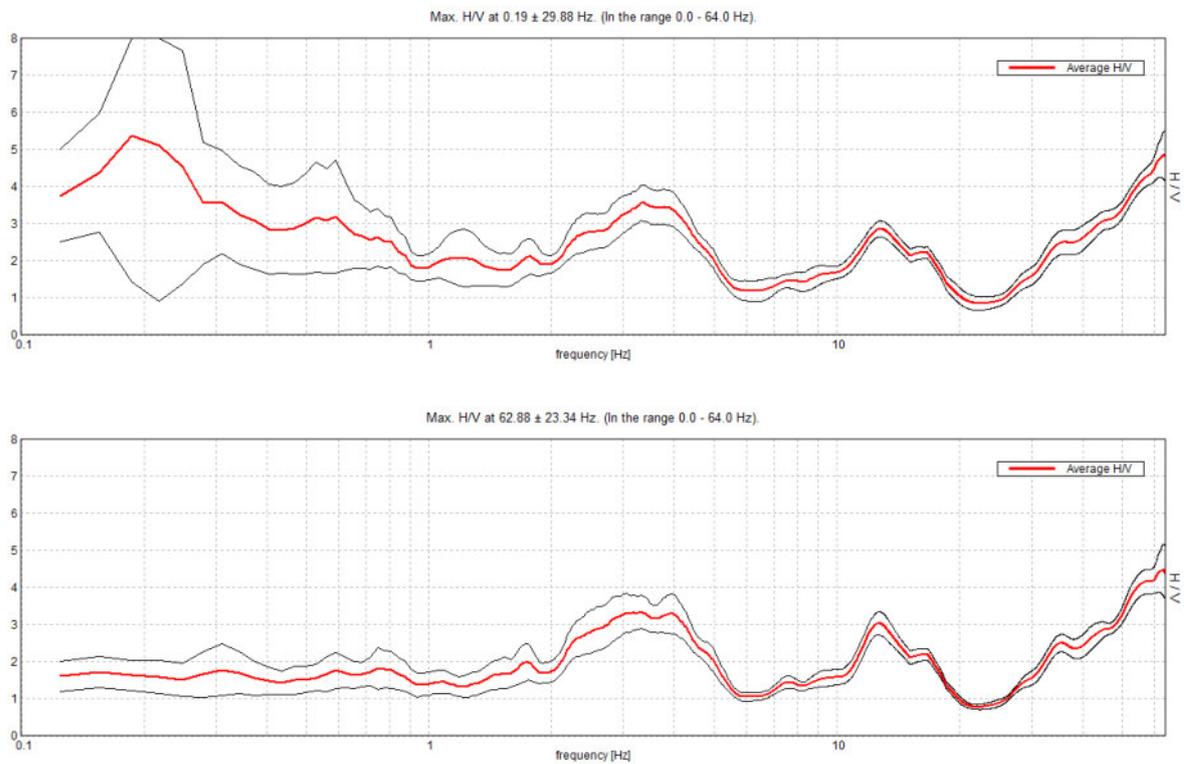


Figura 82 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

8.2.13.4. Misura n. 2

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	05/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 83 - Esecuzione dell'indagine.**

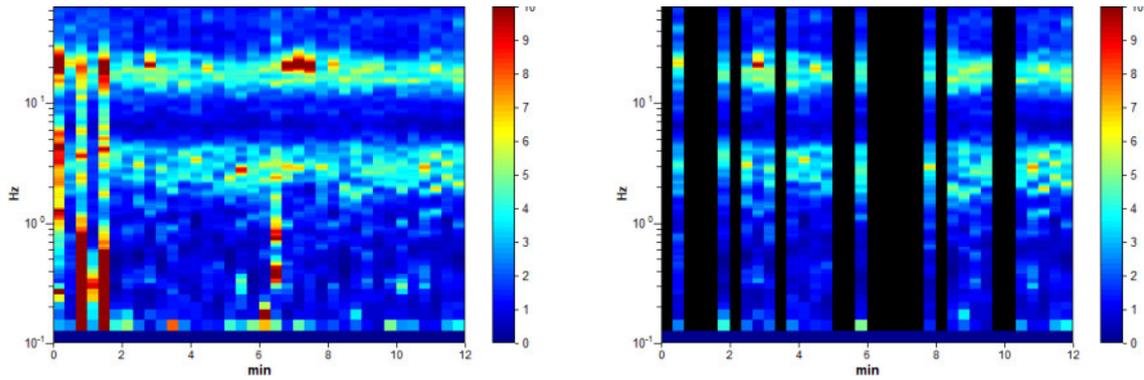


Figura 84 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

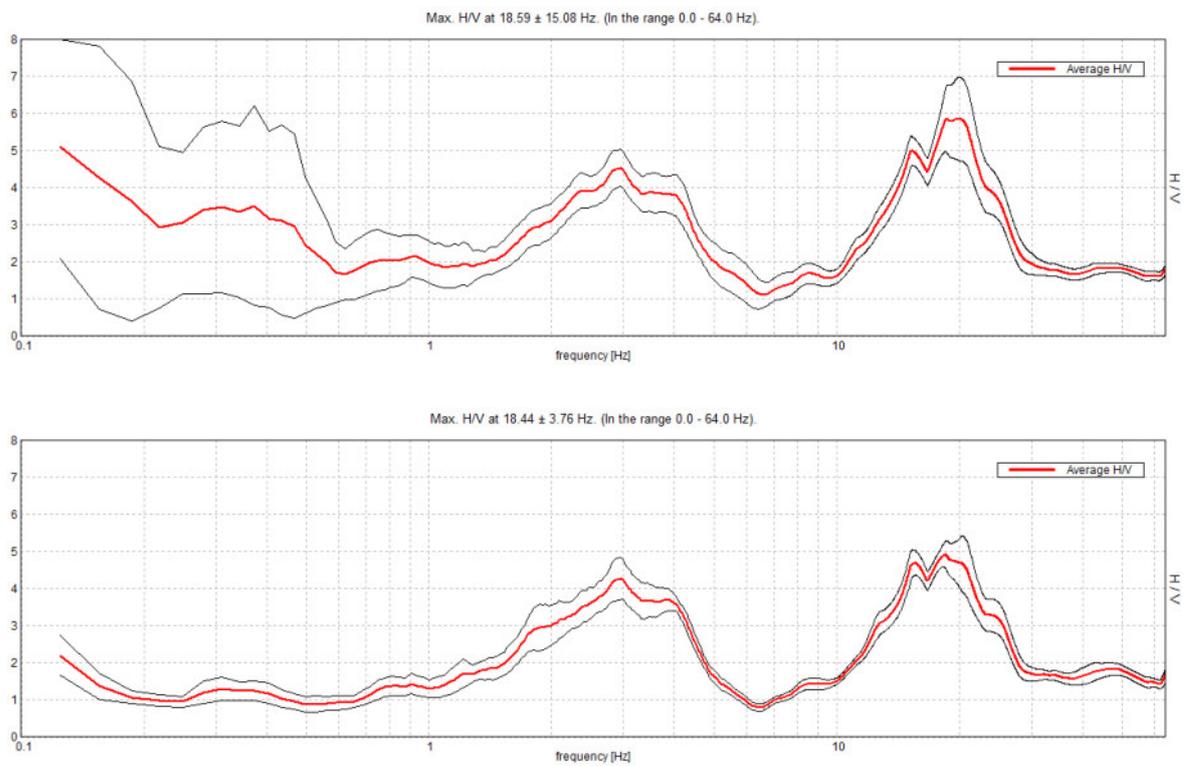


Figura 85 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

Le due misure H/V risultano discretamente correlabili lateralmente e non evidenziano significative inversioni di velocità.

Per la modellazione del profilo sismostratigrafico sono state utilizzate l'indagine ReMi e la misura H/V n. 1 poiché migliori in termini di pulizia del segnale e qualità delle curve. Nel caso in esame gli spettri H/V hanno consentito di individuare frequenze di risonanza, pari a: 12,58 Hz, 4,00 Hz, 3,00 Hz e 0,80 Hz. Per un maggior dettaglio si rimanda alla figura seguente.

Sulla base dei valori di V_s ottenuti è stata determinata una V_{seq} pari a 440 m/s.

Il profilo sismo stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle indagini eseguite si caratterizza per la presenza di un primo livello piuttosto soffice ($V_s \approx 212$ m/s) avente uno spessore di circa 2 m. Successivamente la V_s aumenta, dapprima in modo graduale (366 m/s) e poi in modo cospicuo (510 m/s) fino a raggiungere il bedrock sismico ($V_s \approx 940$ m/s) a circa 42 m da p.c..



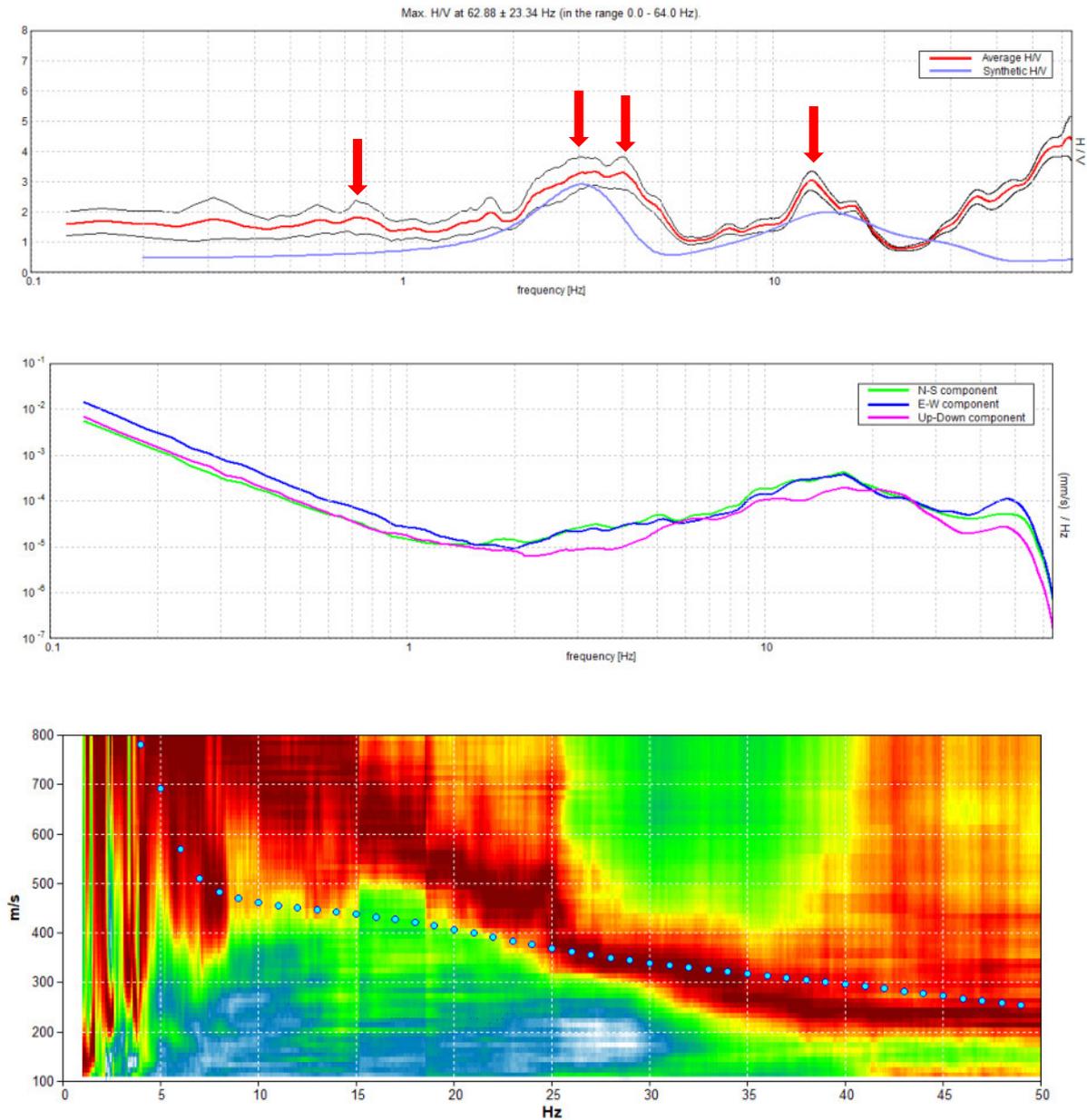
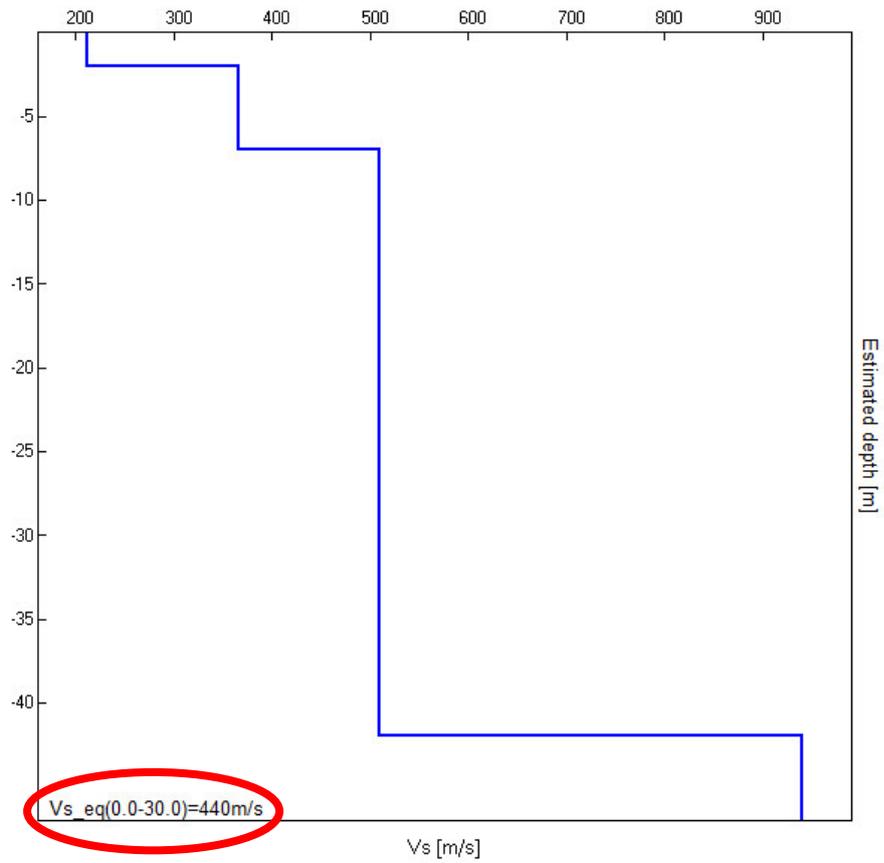


Figura 86 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V. Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine, spettro di velocità di fase con modellazione (puntini azzurri) nella terza. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica.



<i>Profondità alla base dello strato [m]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Vs [m/s]</i>
2,0	2,0	212
7,0	5,0	366
42,0	35,0	510
∞	∞	940



8.2.14. Sito 9: Valcanale – Via Alpe Corte (MASW5)

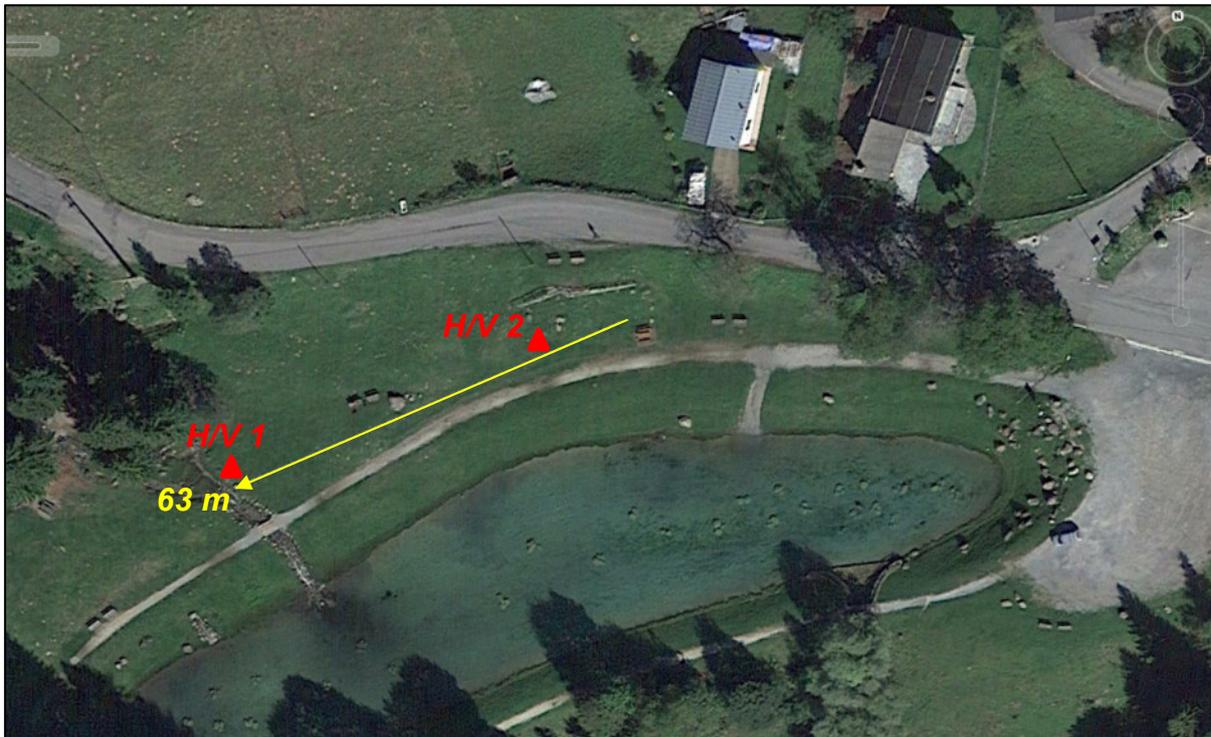


Figura 87 - Ubicazione del sito di intervento su base Google Earth. La freccia indica la numerazione crescente dei geofoni.

8.2.14.1. Indagine MASW

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
19	3	54	1	9	1	512

**Figura 88 - Esecuzione dell'indagine.**

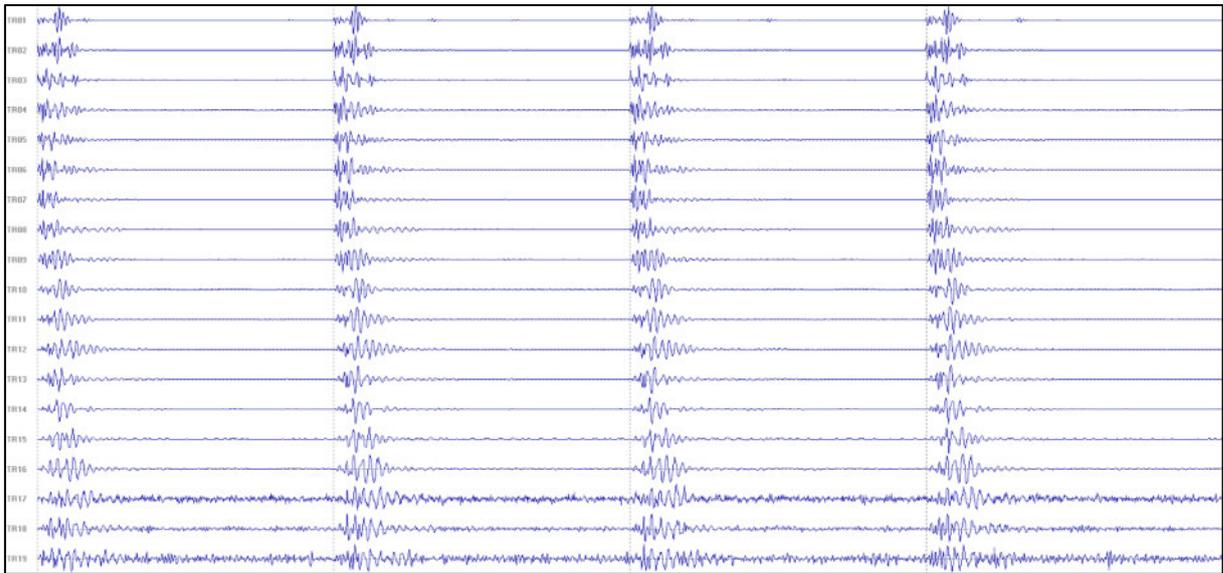


Figura 89 - Sismogramma acquisito.

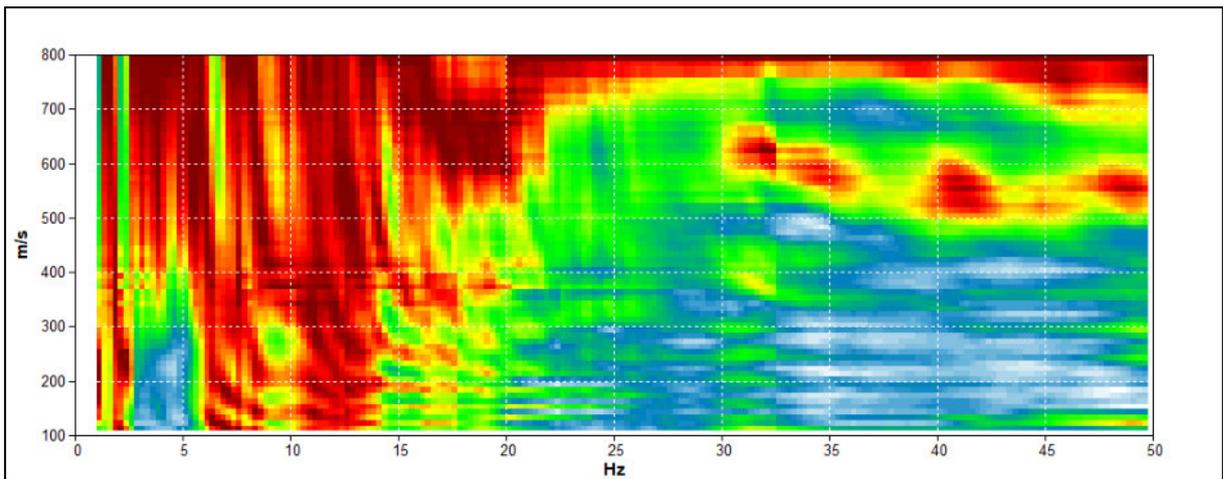


Figura 90 - Spettro delle velocità di fase.

8.2.14.2. Indagini h/v

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	09/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamiento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamiento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 91 - Esecuzione dell'indagine.**

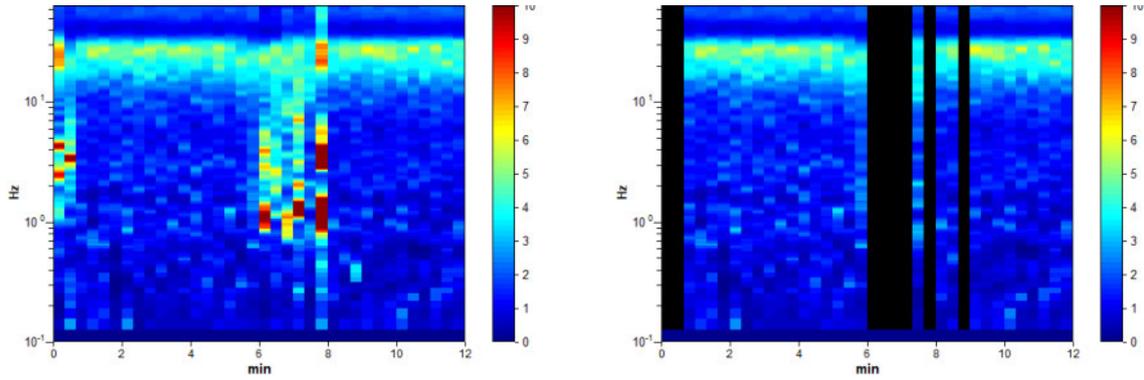


Figura 92 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

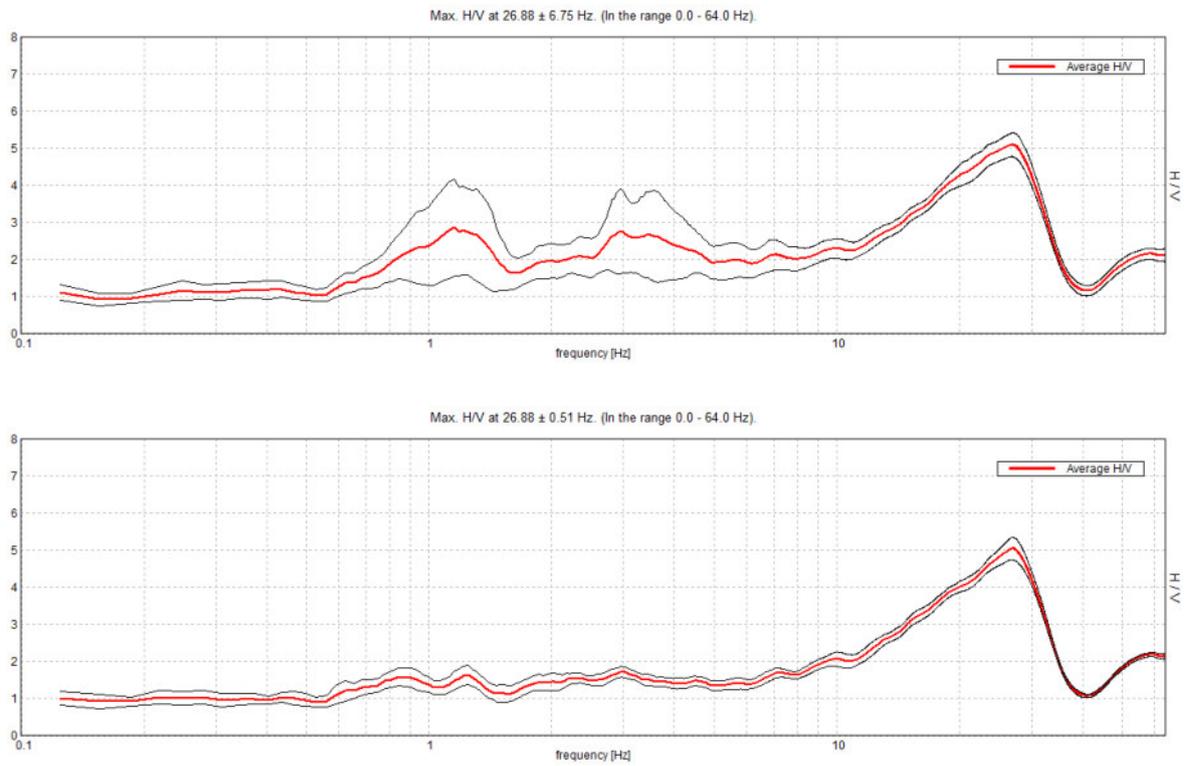


Figura 93 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.



8.2.14.3. Misura n. 2

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	09/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamiento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamiento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 94 - Esecuzione dell'indagine.**

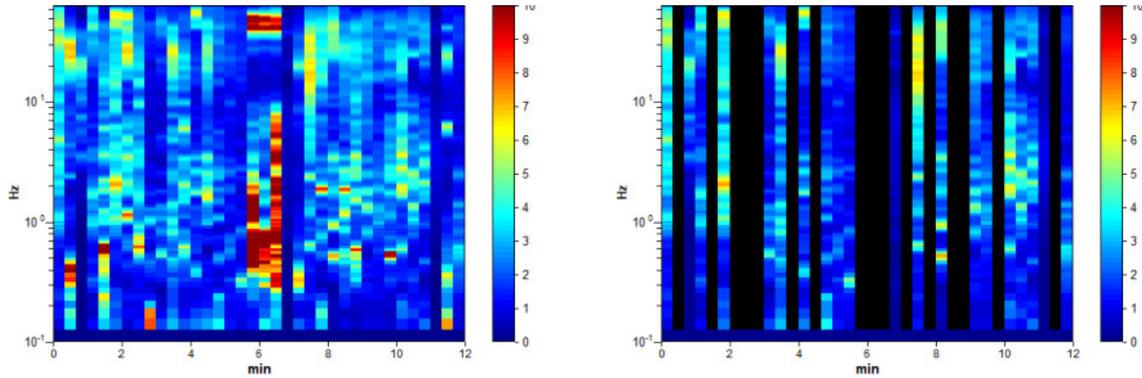


Figura 95 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

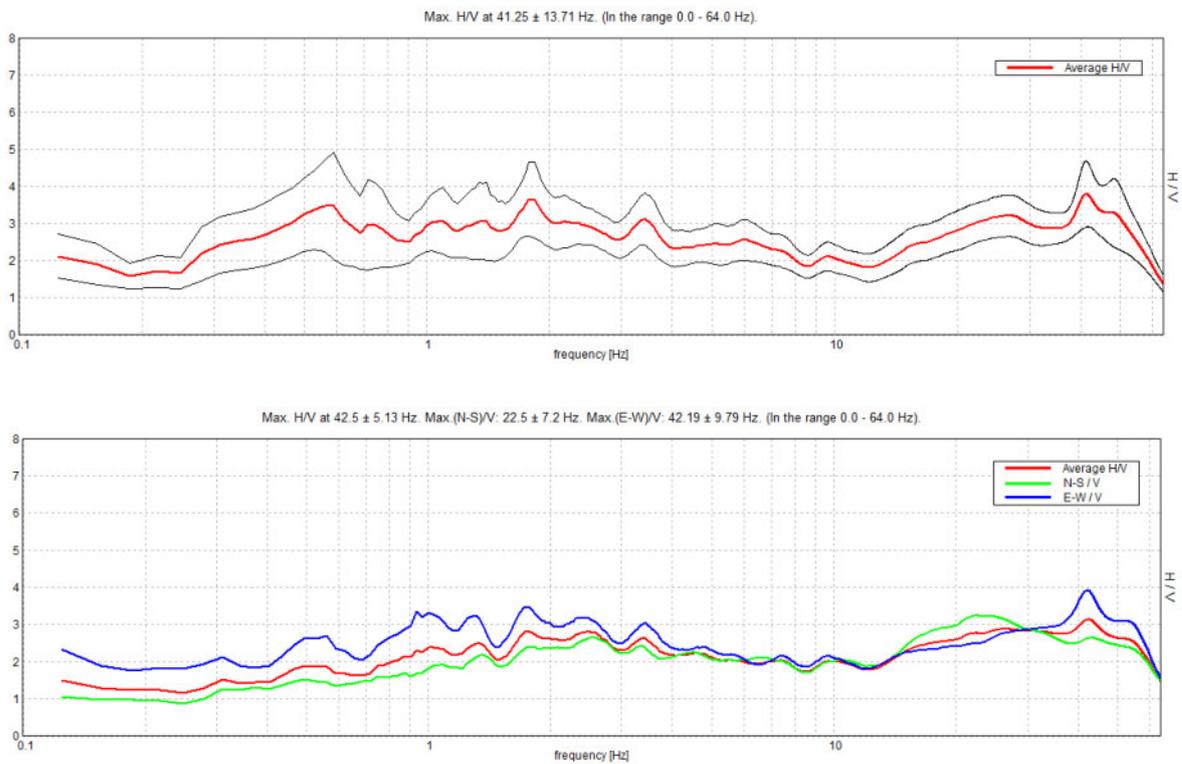


Figura 96 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

Le due misure H/V risultano discretamente correlabili lateralmente e non evidenziano significative inversioni di velocità.

Per la modellazione del profilo sismostratigrafico sono state utilizzate l'indagine MASW e la misura H/V n. 2 poiché migliori in termini di pulizia del segnale e qualità delle curve.

Nel caso in esame gli spettri H/V hanno consentito di individuare frequenze di risonanza, pari a: 10,54 Hz, 7,36 Hz, 4,55 Hz, 2,55 Hz, 1,76 Hz e 1,32 Hz. Per un maggior dettaglio si rimanda alla figura seguente.

Sulla base dei valori di V_s ottenuti è stata determinata una V_{seq} pari a 530 m/s.

Il profilo sismo stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle indagini eseguite si caratterizza per la presenza di livelli abbastanza rigidi sin dai primi metri di sottosuolo soffice ($V_s \approx 375$ m/s). Il bedrock sismico ($V_s \approx 970$ m/s) si trova a bassa profondità, circa 35 m da p.c..



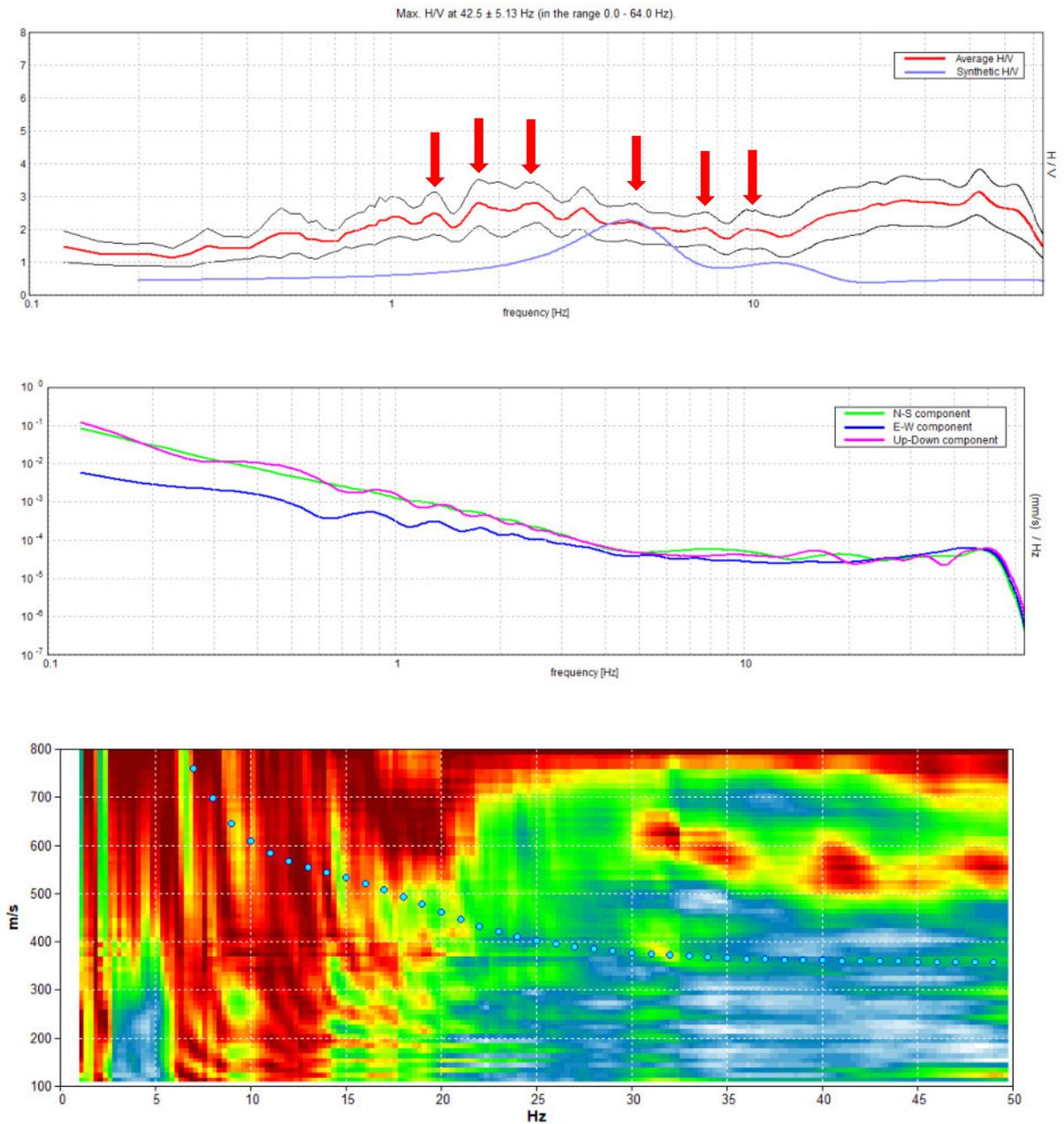
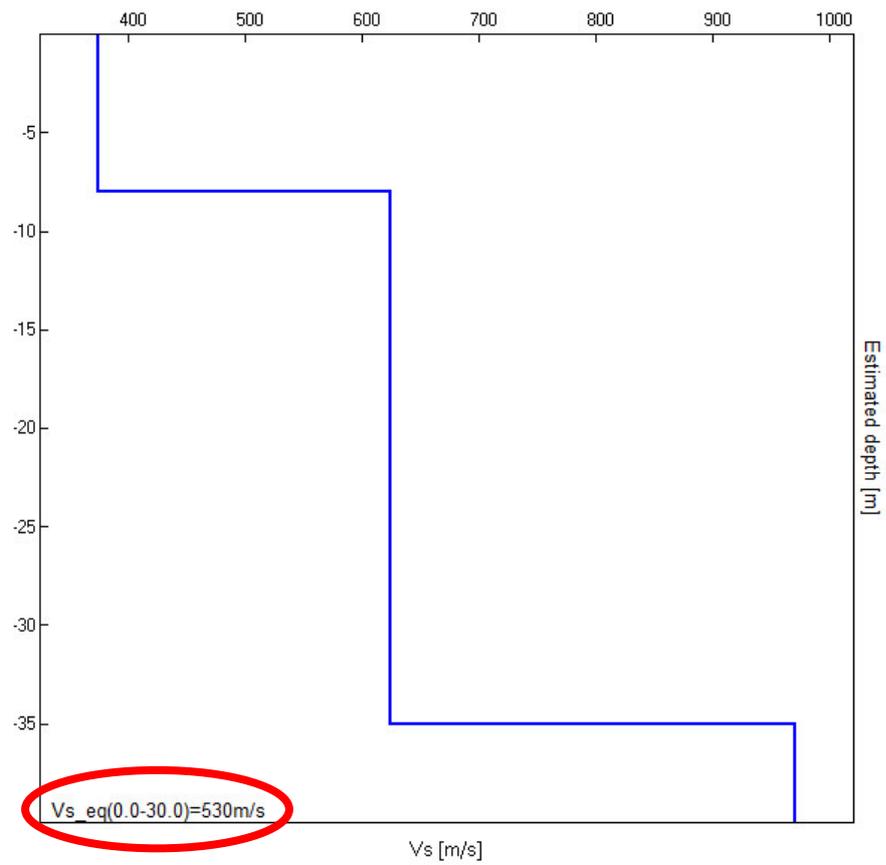


Figura 97 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V. Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine, spettro di velocità di fase con modellazione (puntini azzurri) nella terza. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica.



<i>Profondità alla base dello strato [m]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Vs [m/s]</i>
8,0	8,0	375
35,0	27,0	624
∞	∞	970



8.2.15. Sito 10: Bani – Campo Sportivo (SIS6)



Figura 98 - Ubicazione del sito di intervento su base Google Earth. La freccia indica la numerazione crescente dei geofoni.

8.2.15.1. Indagine MASW

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
14	3	39	1	9	1	512

**Figura 99 - Esecuzione dell'indagine.**

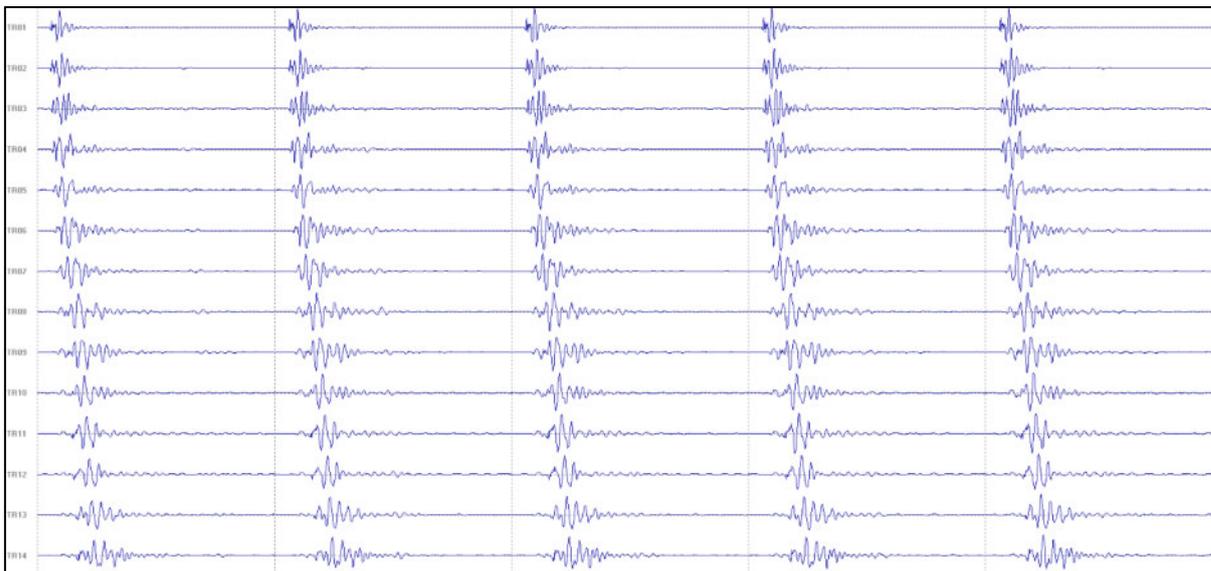


Figura 100 - Sismogramma acquisito.

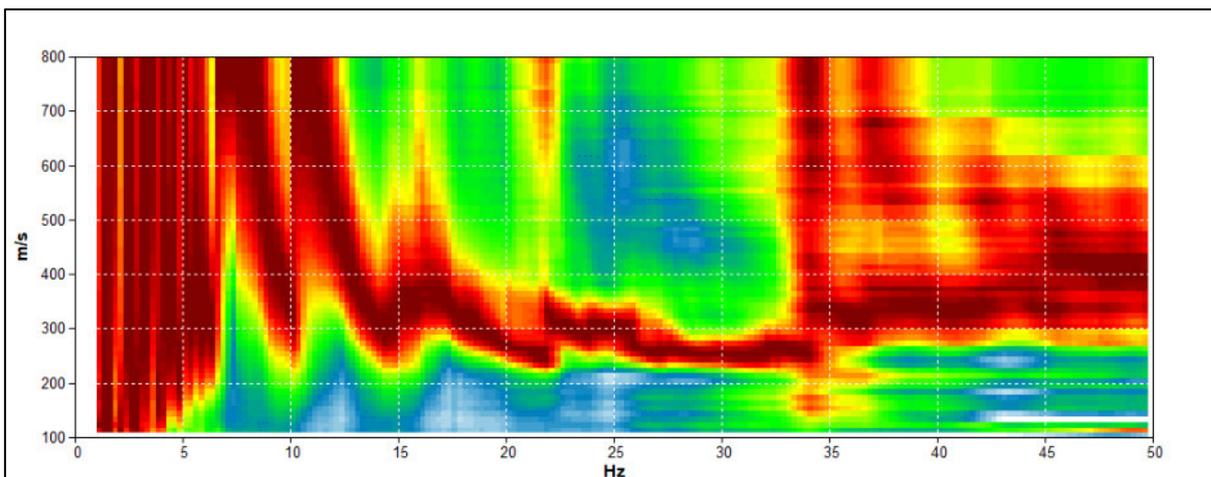


Figura 101 - Spettro delle velocità di fase.

8.2.15.2. Indagini H/V**8.2.15.3. Misura n. 1**

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	09/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 102 - Esecuzione dell'indagine.**

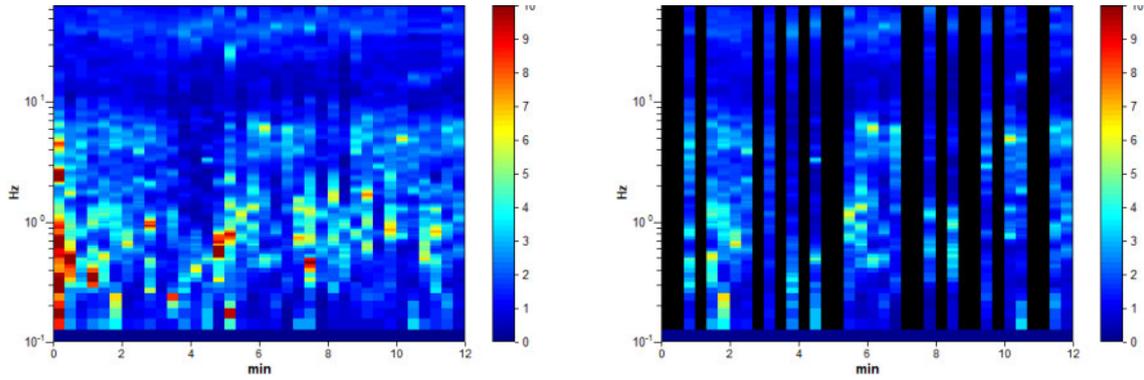


Figura 103 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

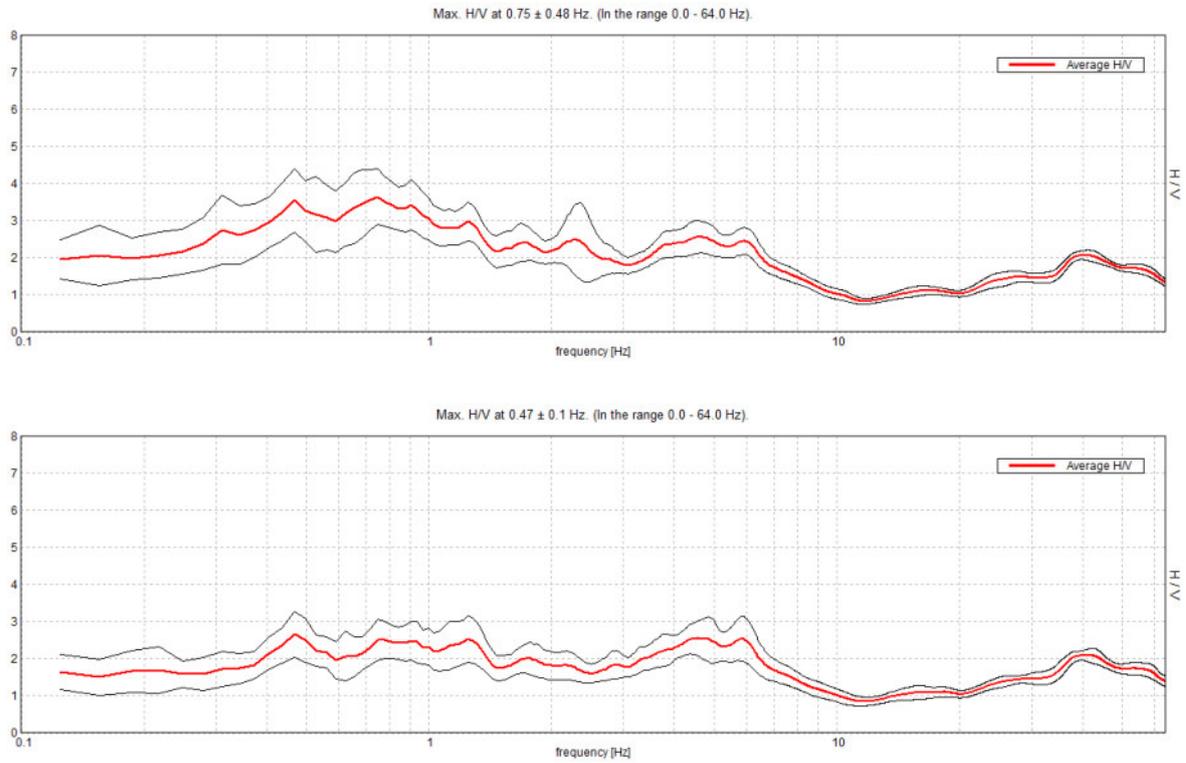


Figura 104 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

8.2.15.4. Misura n. 2

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	09/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamiento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamiento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 105 - Esecuzione dell'indagine.**

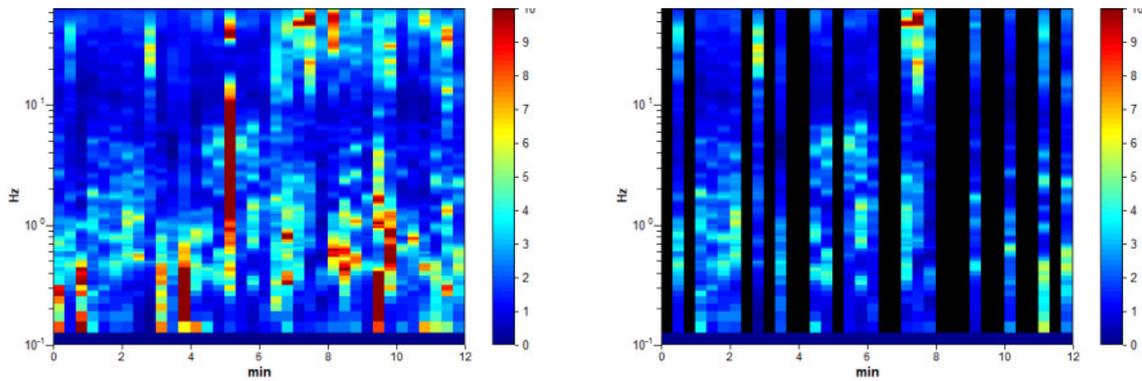


Figura 106 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

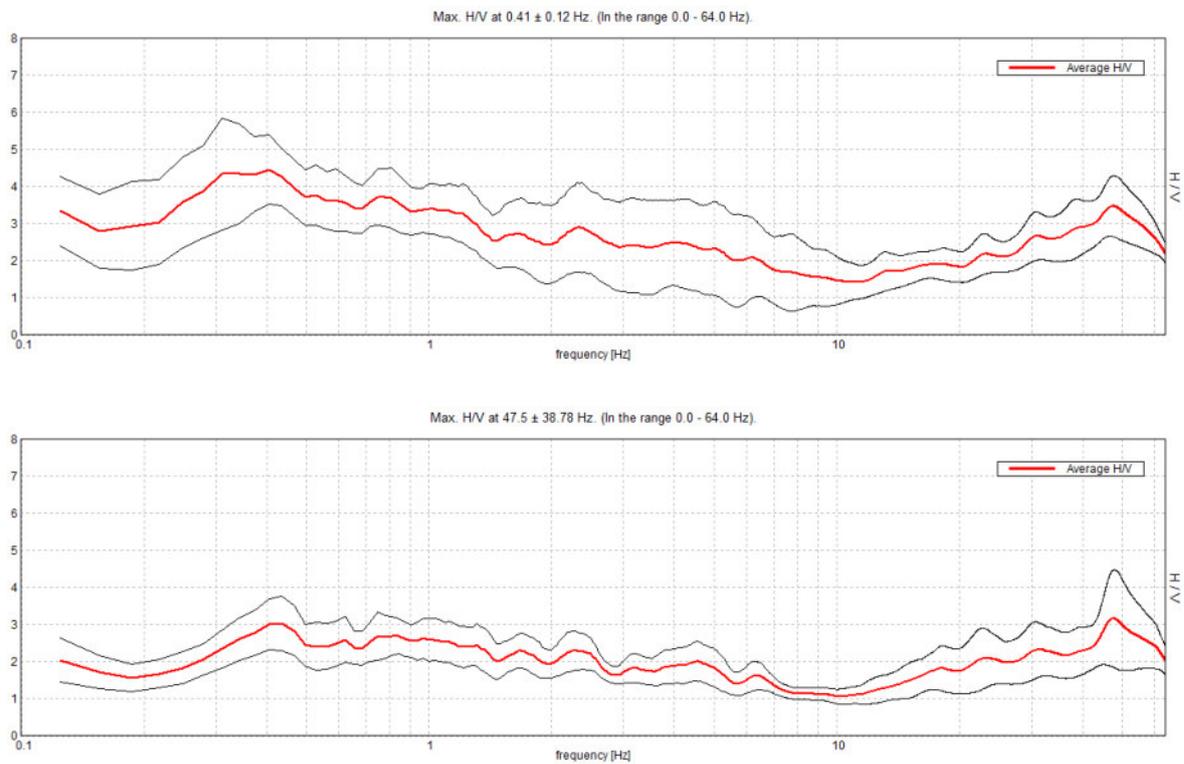


Figura 107 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

Le due misure H/V risultano discretamente correlabili lateralmente e non evidenziano significative inversioni di velocità.

Per la modellazione del profilo sismostratigrafico sono state utilizzate l'indagine MASW e la misura H/V n. 1 poiché migliori in termini di pulizia del segnale e qualità delle curve. Nel caso in esame gli spettri H/V hanno consentito di individuare frequenze di risonanza, pari a: 15,53 Hz, 5,83 Hz, 4,45 Hz, 1,24 Hz e 0,75 Hz. Per un maggior dettaglio si rimanda alla figura seguente.

Sulla base dei valori di V_s ottenuti è stata determinata una V_{seq} pari a 384 m/s.

Il profilo sismo stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle indagini eseguite si caratterizza per la presenza di un primo livello piuttosto soffice ($V_s \approx 210$ m/s) avente uno spessore di circa 3 m. Dopo un livello intermedio, la velocità si attesta intorno ai 550 m/s alla profondità di 15 m e raggiunge il bedrock sismico ($V_s \approx 800$ m/s) a circa 72 m da p.c..



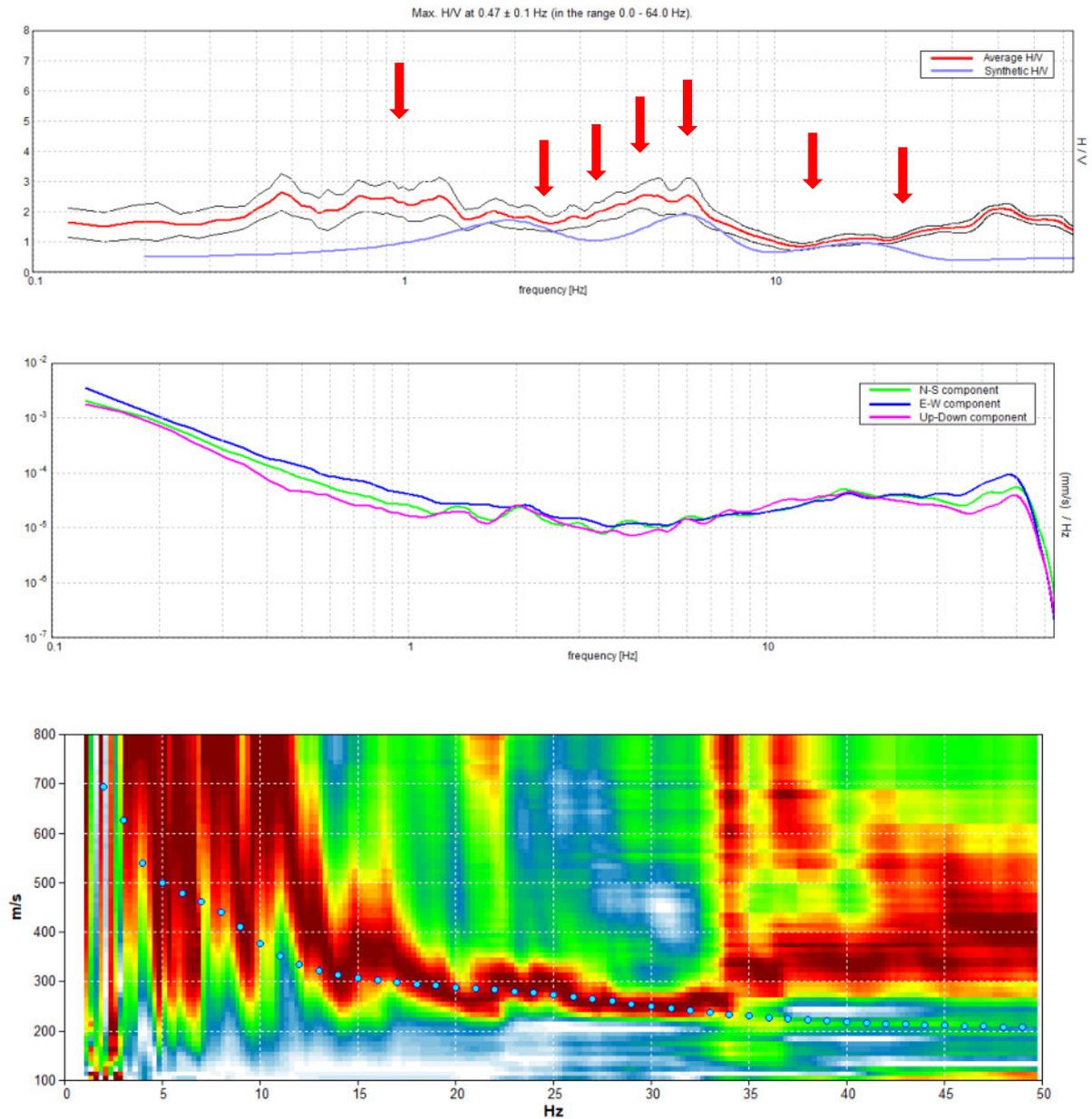
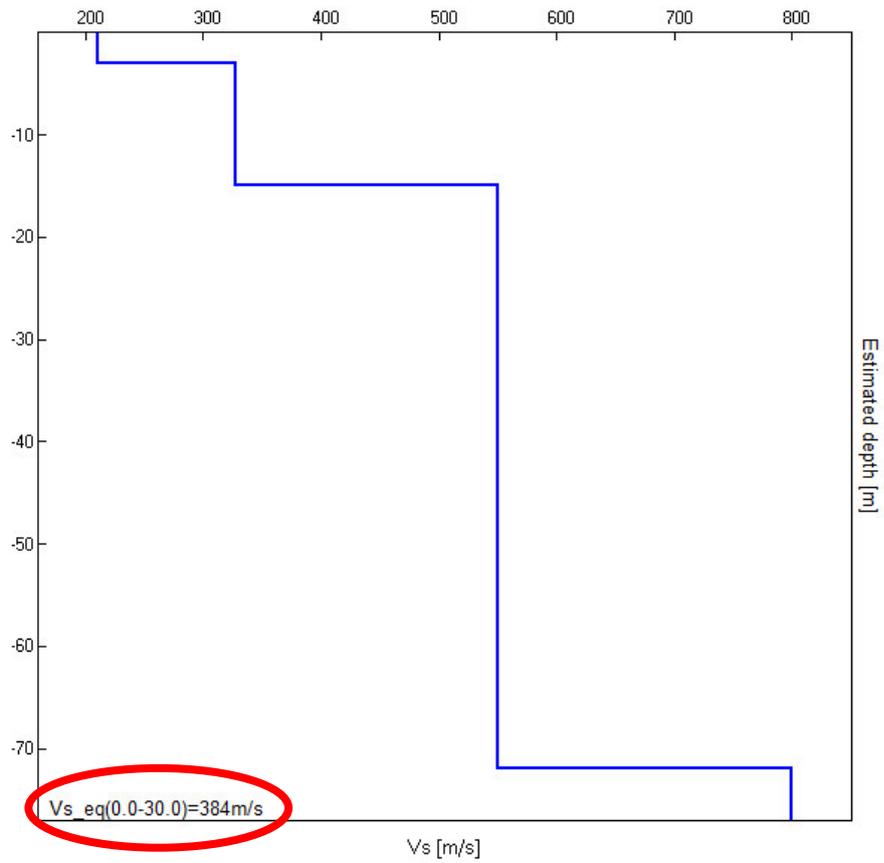


Figura 108 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V. Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine, spettro di velocità di fase con modellazione (puntini azzurri) nella terza. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica.



<i>Profondità alla base dello strato</i> [m]	<i>Spessore [m]</i>	<i>Vs [m/s]</i>
3,0	3,0	210
15,0	12,0	328
72,0	57,0	550
∞	∞	800



8.2.16. Sito 11: Ludrigno – Parco Giochi (SIS7)



Figura 109 - Ubicazione del sito di intervento su base Google Earth. La freccia indica la numerazione crescente dei geofoni.

8.2.16.1. Indagine MASW

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
9	3	24	1	9	1	512

**Figura 110 - Esecuzione dell'indagine.**

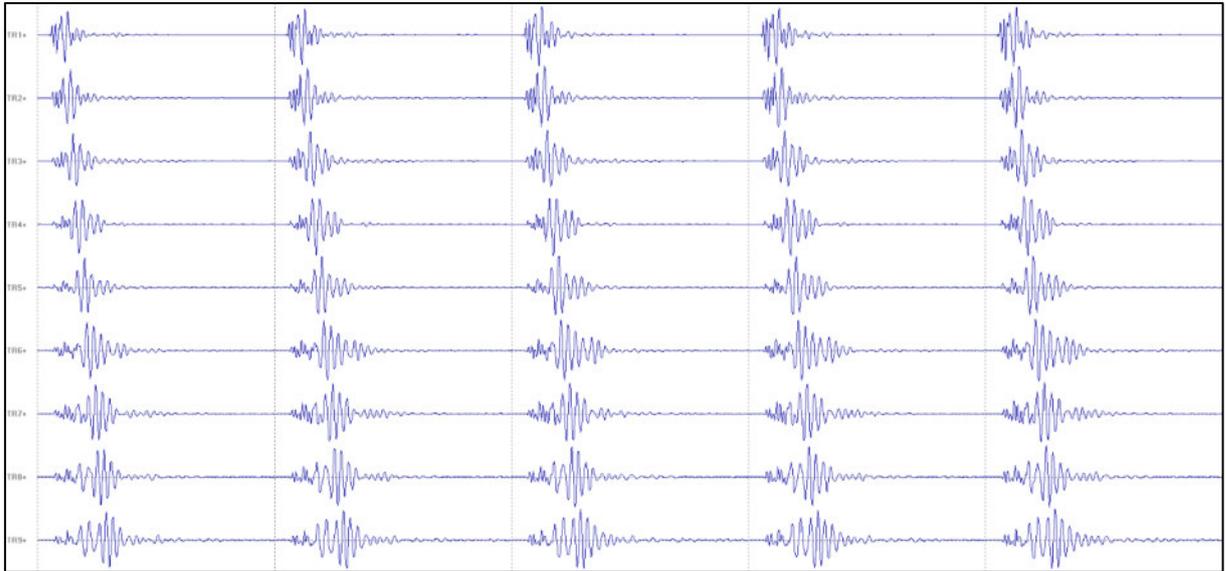


Figura 111 - Sismogramma acquisito.

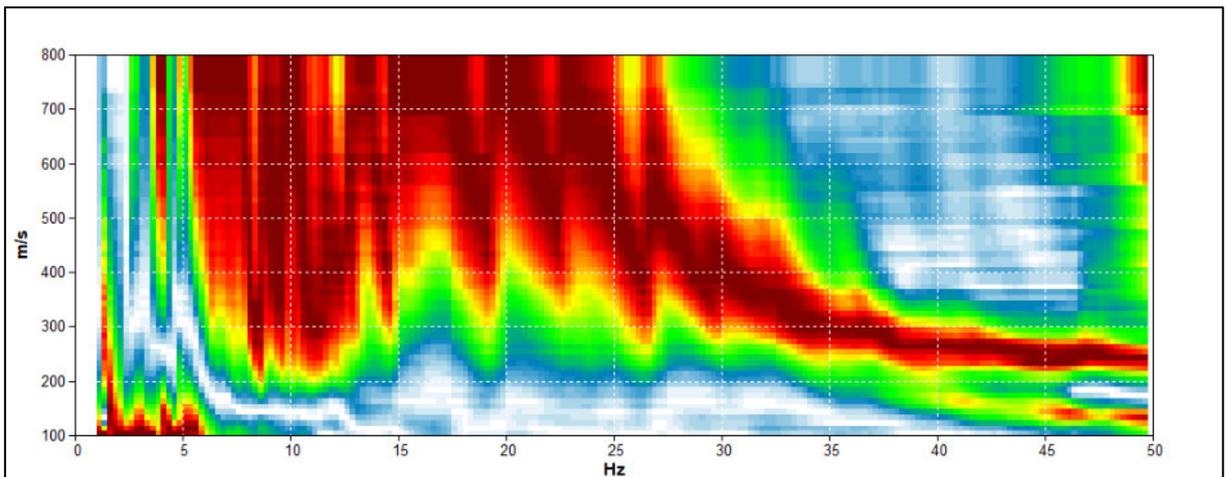


Figura 112 - Spettro delle velocità di fase.

8.2.16.2. Indagini H/V**8.2.16.3. Misura n. 1**

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	05/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamiento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamiento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 113 - Esecuzione dell'indagine.**

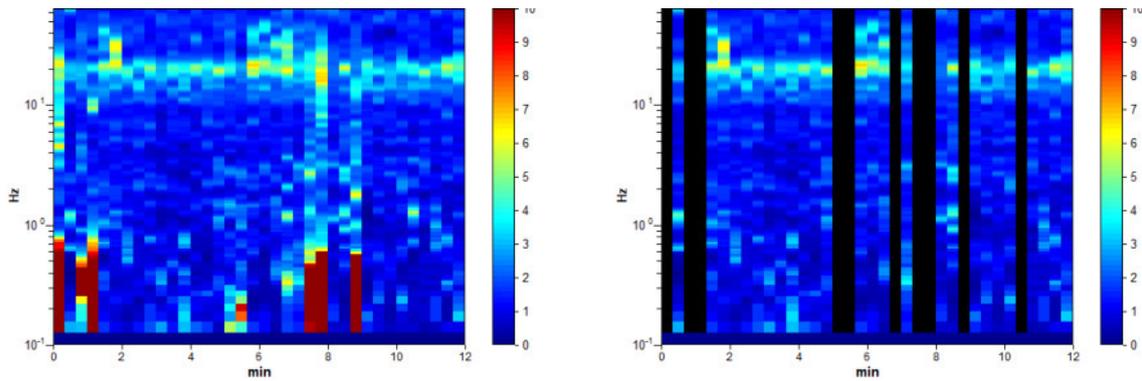


Figura 114 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

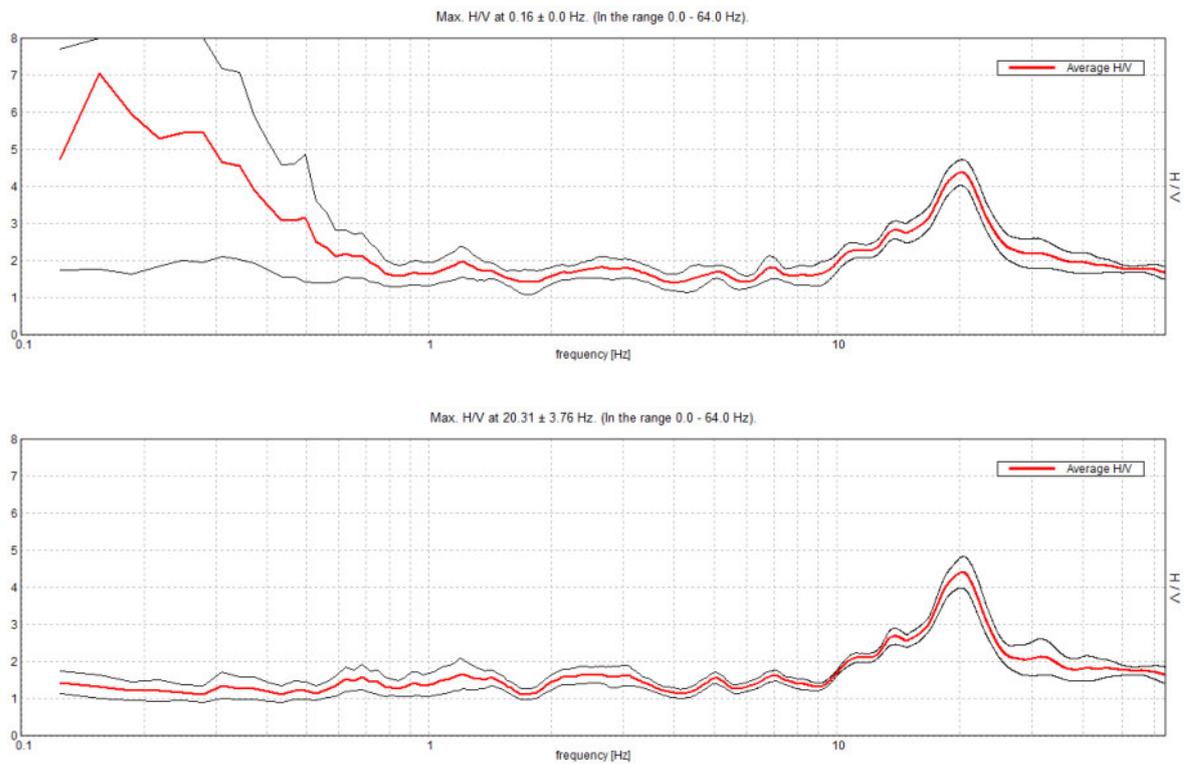


Figura 115 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

8.2.16.4. Misura n. 2

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Sereno
Data registrazione	05/12/2019	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamiento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamiento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sismica multicanale		

**Figura 116 - Esecuzione dell'indagine.**

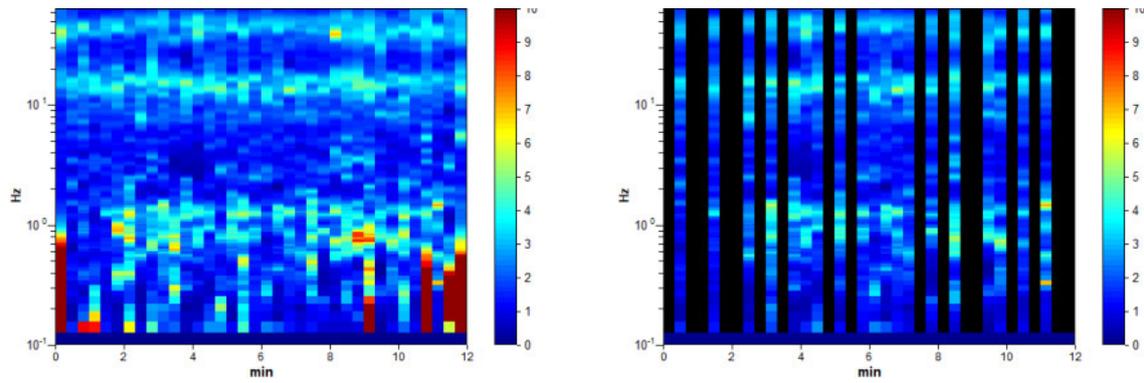


Figura 117 - Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi.

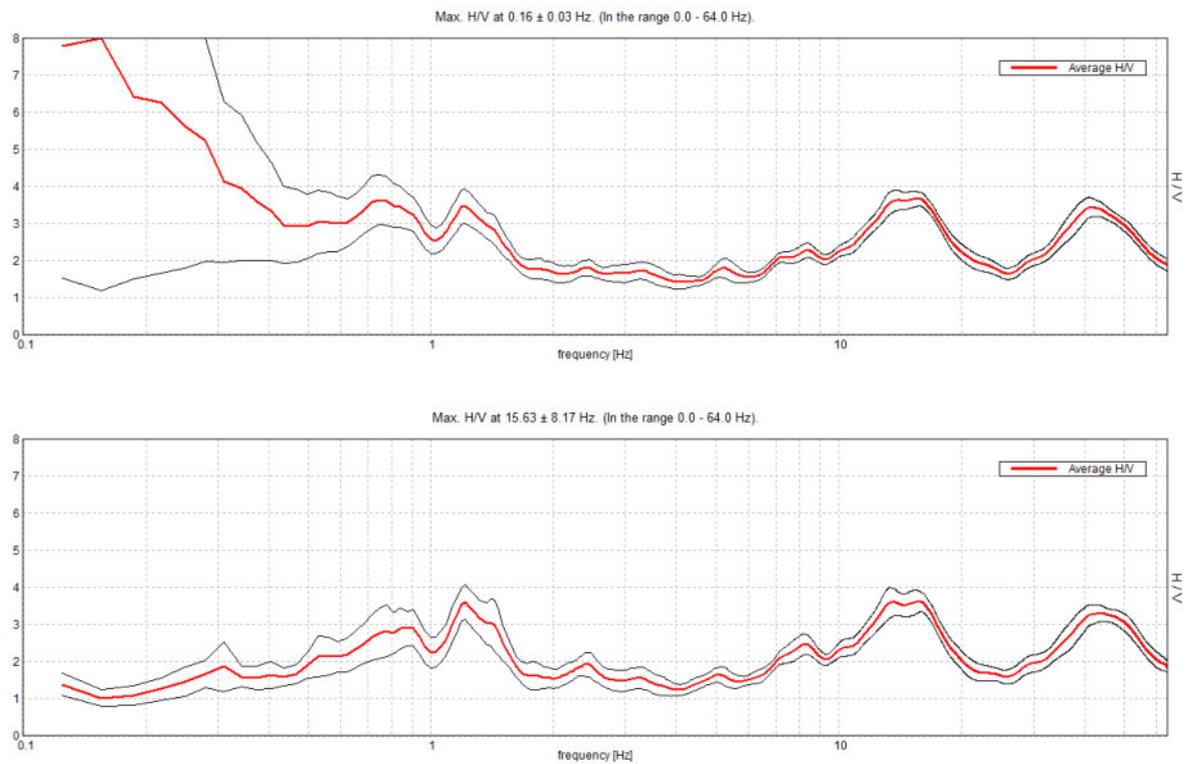


Figura 118 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi.

Le due misure H/V risultano discretamente correlabili lateralmente e non evidenziano significative inversioni di velocità. Per la modellazione del profilo sismostratigrafico sono state utilizzate l'indagine MASW e la misura H/V n. 1 poiché migliori in termini di pulizia del segnale e qualità delle curve. Nel caso in esame gli spettri H/V hanno consentito di individuare frequenze di risonanza, pari a: 20,25 Hz, 11,20 Hz, 7,00 Hz, 5,00 Hz, 2,18 Hz e 1,21 Hz. Per un maggior dettaglio si rimanda alla figura seguente.

Sulla base dei valori di V_s ottenuti è stata determinata una $V_{s_{eq}}$ pari a 470 m/s.

Il profilo sismo stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle indagini eseguite si caratterizza per la presenza di un primo livello piuttosto soffice ($V_s \approx 229$ m/s) avente uno spessore di circa 3 m. Segue un marcato aumento della velocità, che si attesta su valori compatibili sia con depositi addensati/cementati sia con rocce tenere. Dopo altri graduali aumenti della V_s si raggiunge il bedrock sismico ($V_s \approx 900$ m/s) a circa 63 m da p.c..



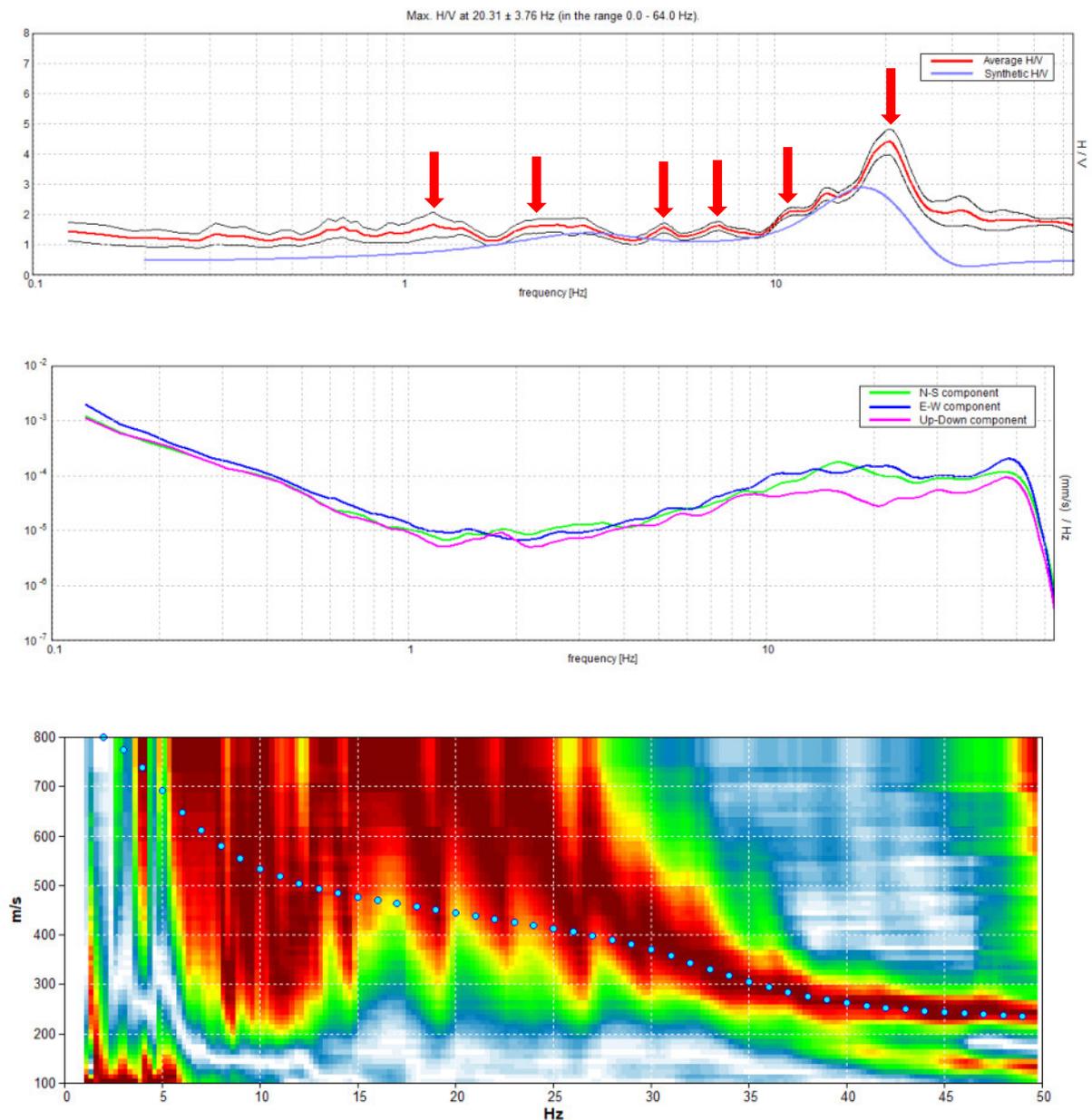
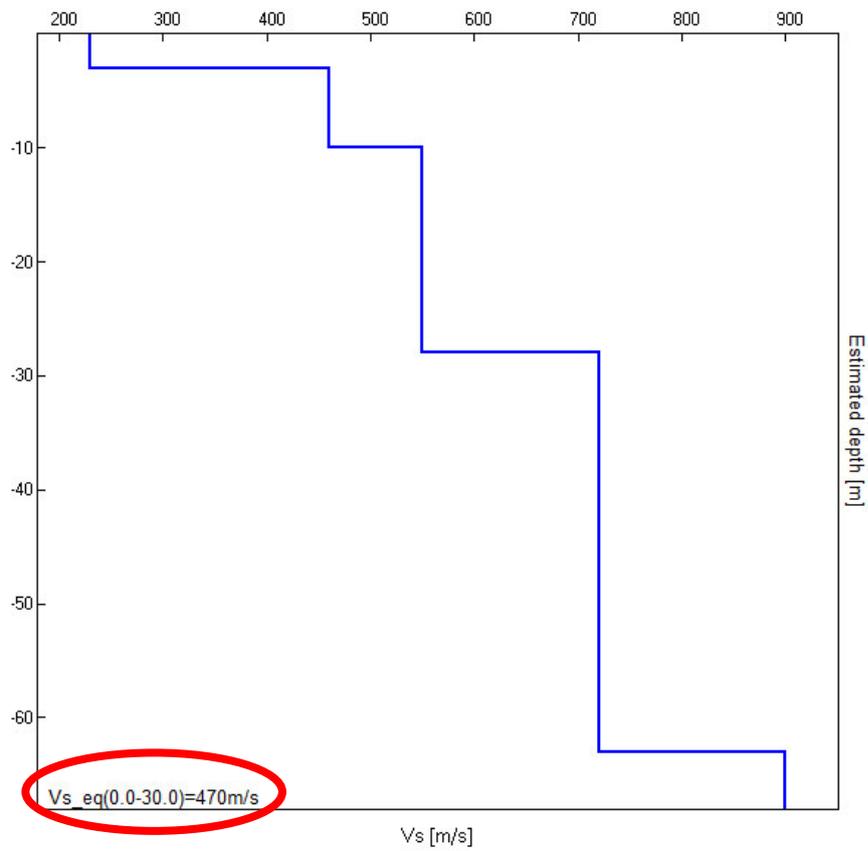


Figura 119 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V. Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine, spettro di velocità di fase con modellazione (puntini azzurri) nella terza. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica.



<i>Profondità alla base dello strato [m]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>V_s [m/s]</i>
3,0	3,0	229
10,0	7,0	460
28,0	18,0	550
63,0	35,0	720
∞	∞	900



8.2.17. Classi di sottosuolo

Per quanto concerne la caratterizzazione sismica dei siti in esame, si utilizza il valore del parametro V_{Seq} ottenuto dalla relazione:

$$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_{(i=1,N)} h_i/V_i}$$

con:

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

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.



Sito 1: Valcanale – Via della Cristina		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
0.00	0.65	205
0.65	12.90	530
12.90	inf	805
V_{seq} = 509 m/s		
SUOLO “B”		

Figura 120 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità V_{Seq}

Sito 2: Ardesio – Via Alpini		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
0.00	6.30	370
6.30	48.20	989
48.20	inf	1991
V_{s30} = 370 m/s		
SUOLO “E”		

Figura 121 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità V_{Seq}

Sito 3: Valcanale - Cimitero		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
0.00	15.00	470
15.00	82.50	760
82.50	inf	1300
V_{seq} = 580 m/s		
SUOLO “B”		

Figura 122 – Tabella riassuntiva con i valori di velocità V_{Seq}



Sito 4: Bani – Via Varisco		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
0.00	2.40	172
2.40	8.85	334
8.85	inf	369
V_{seq} = 324 m/s		
SUOLO “E”		

Figura 123 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità V_{Seq}

Sito 5: Ardesio - cimitero		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
0,00	2,00	221
2,00	7,00	428
7,00	17,00	510
17,00	82,00	640
82,00	∞	1050
V_{s30} = 495 m/s		
SUOLO “B”		

Figura 124 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità V_{seq}

Sito 6: Ardesio – Campo sportivo comunale		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
0,00	4,00	329
4,00	20,00	580
20,00	68,00	730
68,00	∞	1200
V_{s30} = 561 m/s		
SUOLO “B”		

Figura 125 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità V_{seq}



Sito 7: Ardesio – Via dei Fantoni		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
0,00	2,00	224
2,00	4,50	320
4,50	22,50	560
22,50	58,50	690
58,50	∞	1150
V_{s30} = 502 m/s		
SUOLO “B”		

Figura 126 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità Vseq

Sito 8: Ardesio – centrale Enel		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
0,00	2,00	212
2,00	7,00	366
7,00	42,00	510
42,00	∞	940
V_{s30} = 440 m/s		
SUOLO “B”		

Figura 127 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità Vseq

Sito 9: Valcanale – Via Alpe Corte		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
0,00	8,00	375
8,00	35,00	624
35,00	∞	970
V_{s30} = 530 m/s		
SUOLO “B”		

Figura 128 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità Vseq

Sito 10: Bani – Campo sportivo		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]



0,00	3,00	210
3,00	15,00	328
15,00	72,00	550
72,00	∞	800
V_{s30} = 384 m/s		
SUOLO "B"		

Figura 129 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità V_{seq}

Sito 11: Ludrigno – parco giochi		
Intervallo di profondità [m]		Velocità V_s [m/s]
0,00	3,00	229
3,00	10,00	460
10,00	28,00	550
28,00	63,00	720
63,00	∞	900
V_{s30} = 470 m/s		
SUOLO "B"		

Figura 130 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità V_{seq}



8.2.18. Verifica del fattore di amplificazione Fa

È stato poi verificato il valore di amplificazione in sito, utilizzando la procedura descritta nei *Criteri attuativi della L.R. 12/2005*.

Mediante il 2° livello di approfondimento quindi si individuano quelle aree dove la normativa nazionale non è sufficiente a salvaguardare dagli effetti dell'amplificazione sismica locale, ovvero quelle zone dove il fattore di amplificazione Fa calcolato è superiore al valore Fa di soglia fornito per il comune dal Politecnico di Milano.

In queste aree bisogna procedere con gli approfondimenti di 3° livello, oppure usare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore

In base ai dati ricavati dalle indagini indirette (H/V) sono stati calcolati il valore delle V_{s30} e il periodo proprio (T) per ogni colonna stratigrafica analizzata.

Il valore delle V_{s30} è stato calcolato utilizzando la seguente equazione:

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

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s,i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

ove h_i e $V_{s,i}$ sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello.



Sempre in base ai dati ricavati dalle indagini indirette, si è associata ad ogni ambito di interesse la relativa scheda litologica di valutazione di riferimento, verificandone la validità in base all'andamento dei valori di Vs con la profondità.

Le schede litologiche associate sono risultate le seguenti:

SITO	LOCALITÀ	TIPOLOGIA SCHEDA
Sito 1	Valcanale – Via della Cristina	Limoso-argillosa tipo 2
Sito 2	Ardesio – Via Alpini	Limoso-sabbiosa tipo 2
Sito 3	Valcanale – Cimitero	Limoso-sabbiosa tipo 2
Sito 4	Bani – Via Varisico	Limoso-sabbiosa tipo 2
Sito 5	Ardesio – Cimitero	Limoso argillosa tipo 2
Sito 6	Ardesio – Campo Sportivo	Limoso argillosa tipo 2
Sito 7	Ardesio – Via dei Fantoni	Limoso-sabbiosa tipo 2
Sito 8	Ardesio – Centrale ENEL	Sabbiosa
Sito 9	Valcanale – Via Alpe Corte	Ghiaiosa
Sito 10	Bani – Campo Sportivo	
Sito 11	Ludrigno – Parco giochi	



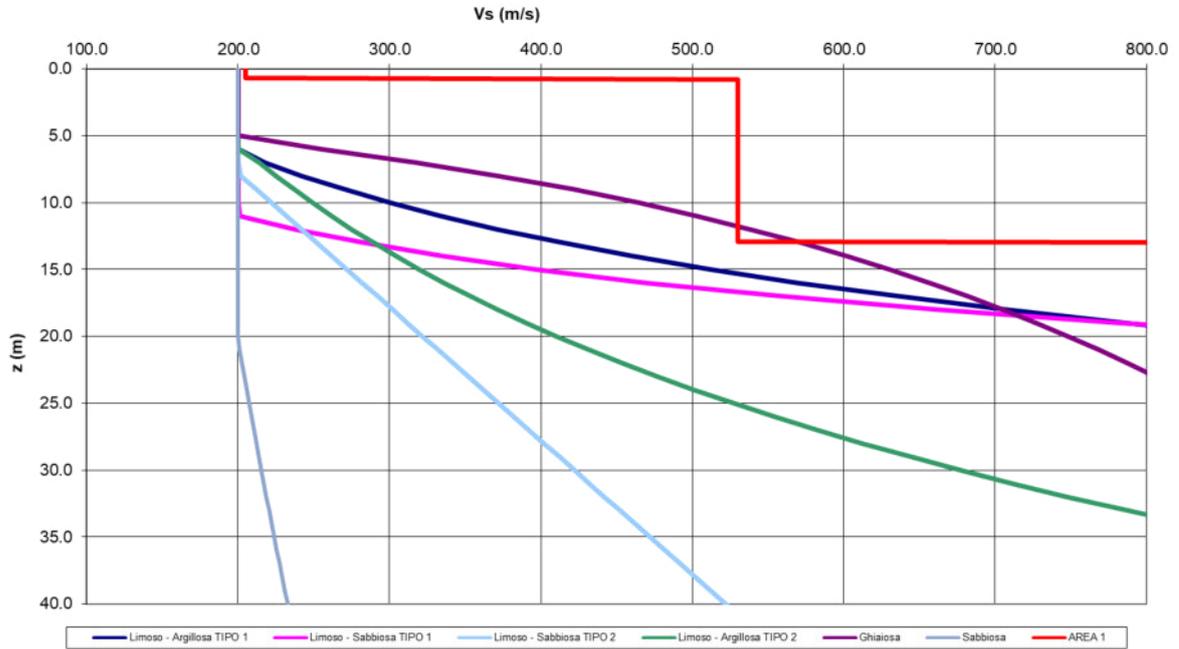


Figura 131 – Grafico SITO 1

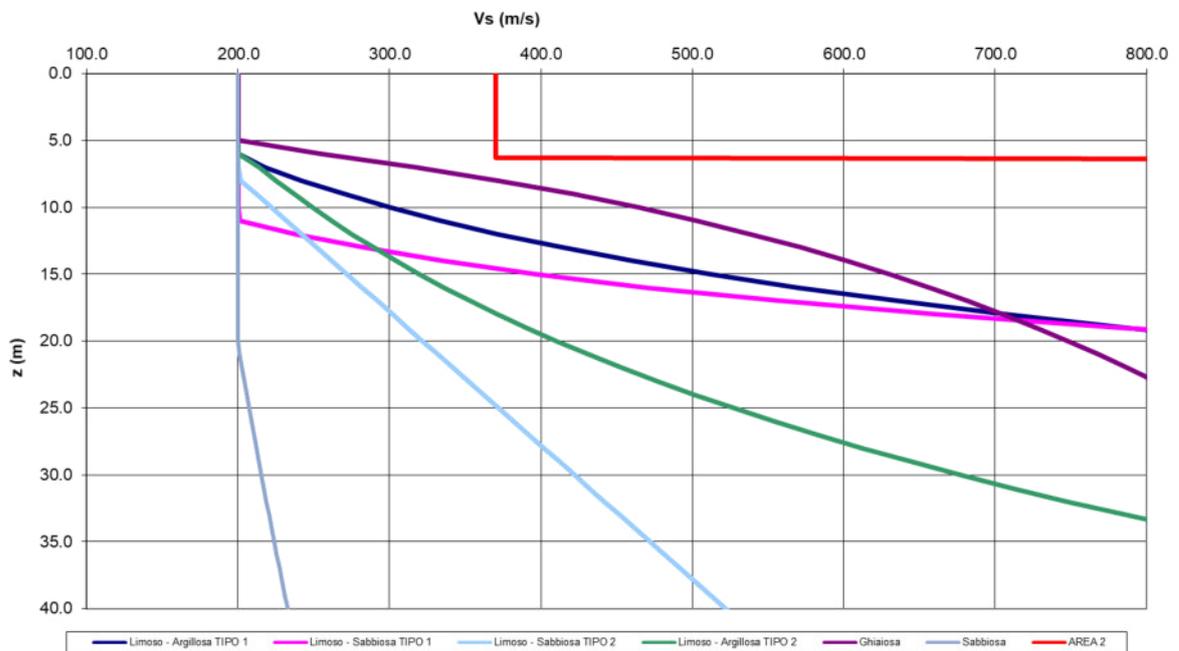


Figura 132 - Grafico SITO 2



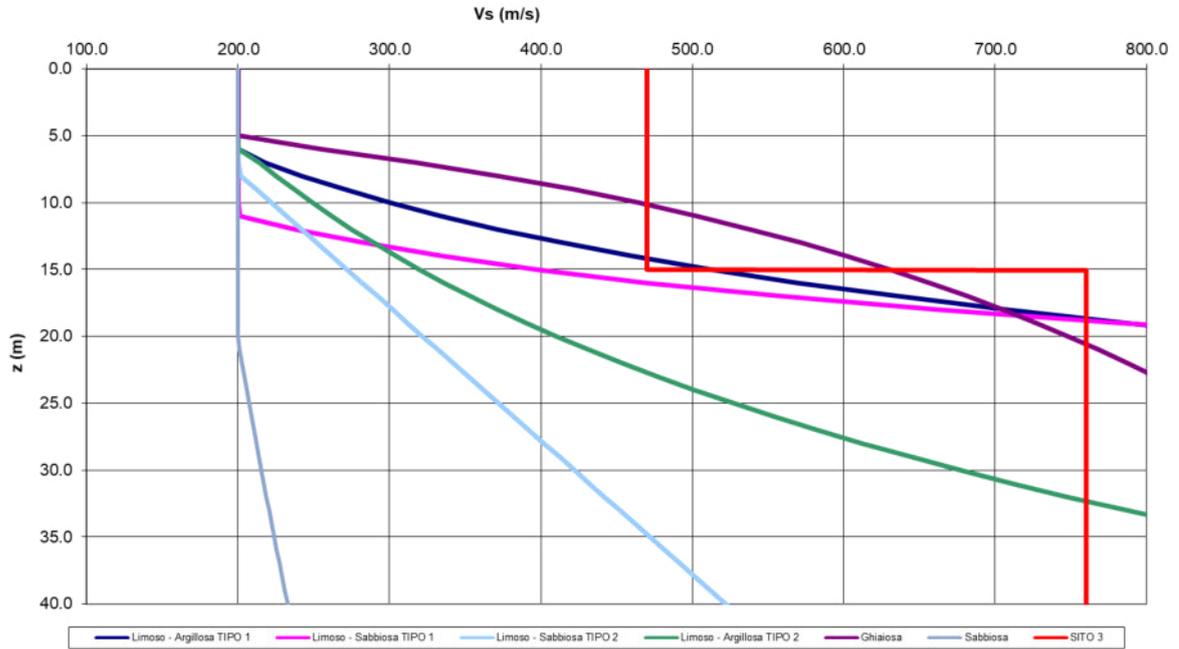


Figura 133 – Grafico SITO 3

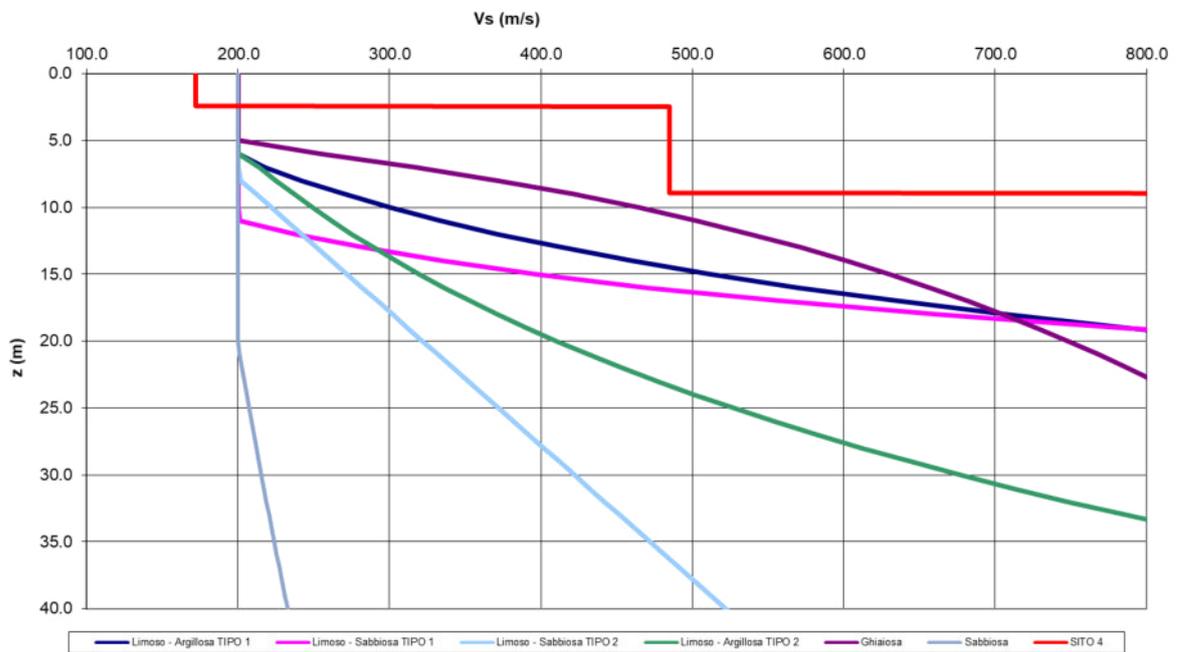


Figura 134 – Grafico SITO 4



È stato così possibile calcolare il valore di F_a per gli intervalli di periodi 0.1 – 0.5 s e 0.5 – 1.5 s, individuando così i valori soglia del fattore di amplificazione in funzione della categoria di suolo e per i due intervalli di periodi.

Tali valori sono stati confrontati con il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia, che rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

Comune	intervallo [s]	B	C	D	E
Ardesio	0.1-0.5	1.4	1.9	2.2	2.0
	0.5-1.5	1.7	2.4	4.2	3.1

Figura 135 – Tabella di sintesi delle soglie definite per il Comune di Ardesio (Fonte RL)

Di seguito si allegano i calcoli relativi, che consentono di individuare le aree a diversa pericolosità sismica (H1 o H2) ed in modo particolare quelle in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a caratterizzare da un punto di vista sismico il territorio.



Riassunto calcoli riferiti alla scheda litologica

SITO	Vseq	Tipo suolo	T _{sito} [s]	T _{0,1-0,5}		T _{0,5-1,5}	
	[m/s]			Fa Calcolato	Fa soglia	Fa Calcolato	Fa soglia
1	509	"B"	0.10	1.2 (+0.1)	1.4	1.0 (+0.1)	1.7
2	370	"E"	0.07	1.1 (+0.1)	2.0	1.0 (+0.1)	3.1
3	580	"B"	0.55	1.4 (+0.1)	1.4	0.8 (+0.1)	1.7
4	324	"E"	0.09	1.2 (+0.1)	2.0	1.0 (+0.1)	3.1
5	495	"B"	0.55	1.7 (+0.1)	1.4	1.4 (+0.1)	1.7
6	561	"B"	0.41	1.8 (+0.1)	1.4	1.3 (+0.1)	1.7
7	502	"B"	0.38	1.8 (+0.1)	1.4	1.3 (+0.1)	1.7
8	440	"B"	0.35	1.7 (+0.1)	1.4	1.5 (+0.1)	1.7
9	530	"B"	0.25	1.4 (+0.1)	1.4	1.1 (+0.1)	1.7
10	384	"B"	0.58	1.3 (+0.1)	1.4	1.9 (+0.1)	1.7
11	470	"B"	0.41	1.8 (+0.1)	1.4	1.4 (+0.1)	1.7

Dove:

V_{seq} = velocità onde di taglio

T_{sito} = periodo proprio del sito T

T_{0,1-0,5} = periodo riferito a strutture basse e rigide

T_{0,5-1,5} = periodo riferito a strutture alte e flessibili

Fa = fattore di amplificazione

Dai risultati dell'analisi condotta, si ricava che:

- per il periodo T compreso tra 0,5 e 1,5, a meno del sito 10, le aree studiate presentano un valore di Fa **inferiore** al valore di soglia comunale, pertanto la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, e si applica lo spettro di valori previsto dalla normativa stessa;
- per il periodo T compreso tra 0,1 e 0,5, le aree 1, 2 e 4 ed il sito 10 presentano



un valore di Fa **inferiore** al valore di soglia comunale, pertanto la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, e si applica lo spettro di valori previsto dalla normativa stessa;

- per il periodo T compreso tra 0,5 e 1,5, l'area 10 presenta un valore di Fa **superiore** al valore di soglia comunale, pertanto la normativa non è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, e di conseguenza i Professionisti dovranno eseguire l'analisi sismica di 3° livello sui singoli progetti, oppure utilizzare lo spettro di valori della categoria di suolo peggiore;
- per il periodo T compreso tra 0,1 e 0,5, i siti 3, da 5 a 9 ed il sito 11 presentano un valore di Fa **superiore** al valore di soglia comunale, pertanto la normativa non è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, e di conseguenza i Professionisti dovranno eseguire l'analisi sismica di 3° livello sui singoli progetti, oppure utilizzare lo spettro di valori della categoria di suolo peggiore.

Sulla Carta della Pericolosità Sismica Locale, Tavola 2b, sono riportati gli scenari derivanti dall'analisi di II livello.

In tale elaborato vengono riportati:

- risultati dell'analisi di secondo livello per l'amplificazione topografica: vengono riportati con specifica legenda gli ambiti per cui è stata effettuata l'analisi di secondo livello, suddividendo gli ambiti per cui il valore di Fac calcolato è inferiore alla soglia, gli ambiti per cui è superiore e gli ambiti per cui non è stata effettuata l'analisi
- ambiti di analisi per l'amplificazione litologica: data l'estensione del territorio comunale e la forte disomogeneità nella distribuzione delle coperture, le indagini effettuate (11) non permettono di coprire l'intero territorio, ma valgono in prossimità dei principali centri urbanizzati del comune, nonché nell'intorno di luoghi di interesse anche nell'ambito della Protezione Civile (edifici e strutture



rilevanti). Pertanto, sono stati perimetrati tre ambiti, corrispondenti al fondovalle, alla frazione di Bani ed alla frazione di Valcanale, per cui valgono le analisi effettuate ed i relativi risultati. Gli ambiti sono stati perimetrati sulla base dei limiti litologici definiti nell'analisi di primo livello, sulla base di evidenze morfologiche o per metodo geometrico.

- Risultati dell'analisi di secondo livello per l'amplificazione litologica: i risultati dell'analisi di II livello valgono solo all'interno delle aree perimetrare di cui sopra, le suddivisioni interne a tali aree sono state stabilite seguendo quanto indicato nella cartografia di primo livello. Per ogni scenario di amplificazione litologica individuati (Z3a, Z4b e Z4c) viene indicato in maniera generica se il valore di Fac supera il limite di soglia, mentre la legenda legata alle indagini definisce per quale periodo di riferimento si ha il superamento della soglia.



9. CONCLUSIONI

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Ardesio è stato redatto il presente Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della Legge Regionale n. 12 del 11-03-2005 con recepimento dello Studio per la Pianificazione delle zone esposte a valanga sui versanti a monte della strada comunale di collegamento Ardesio – Valcanale. Nella progettazione ed esecuzione di qualsiasi intervento pubblico o privato, occorrerà attenersi scrupolosamente a tutte le norme geologiche stabilite dal presente studio, sia per quanto concerne le indagini geologico - geotecniche richieste caso per caso, sia per quanto attiene alle prescrizioni tecniche, ai divieti ed agli accorgimenti costruttivi, anche in termini di normativa sismica. Si ricorda poi che la Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano deve sempre essere consultata di concerto con le altre cartografie di proposta, in particolare la Carta di Sintesi e la Carta dei Vincoli, poiché determinati vincoli normativi (quali ad esempio le fasce di rispetto dei corsi d'acqua, le aree di salvaguardia delle captazioni idropotabili, i geositi, ecc.) sono riportati solamente su queste carte. Si rammenta anche che le norme di piano contenenti articoli stralciati da strumenti legislativi esterni (quali ad esempio le norme di attuazione del P.A.I. per i dissesti e le valanghe) devono sempre essere controllate utilizzando le versioni vigenti di tali strumenti, poiché non si può escludere che essi possano essere, in futuro, sottoposti a modifiche, integrazioni o variazioni rispetto ai testi attuali. Gli articoli di legge esterni riportati nel presente documento rappresentano dunque un riferimento legislativo utile per una rapida ed efficace consultazione, ma devono sempre essere verificati con gli strumenti legislativi originali.

Ranica, Maggio 2025

Dott. Geol. Sergio Ghilardi



10. BIBLIOGRAFIA

Per la redazione dello studio geologico sono stati consultati i seguenti riferimenti principali:

1. Componente Geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio in attuazione dell'Art. 57 della L.R. 11/3/2005 n.12 (Dott. Geol. Sergio Ghilardi, 2007)
2. Mosaico informatizzato degli studi geologici comunali della Regione Lombardia, consultabile su www.cartografia.regione.lombardia.it
3. Inventario dei Fenomeni Franosi (GeoIFFI) della Regione Lombardia, consultabile su www.cartografia.regione.lombardia.it
4. Applicativo Studi Geologici Comunali e Quadro Dissesti P.A.I. Aggiornato, consultabile su www.cartografia.regione.lombardia.it
5. Criteri attuativi L.R. 12/2005 per il Governo del Territorio – Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio (Bollettino Ufficiale Regione Lombardia n. 13 – edizione speciale del 28 marzo 2006 e s.m.i.)
6. Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Provincia di Bergamo, 2001)
7. Atlante dei Dissesti P.A.I. e delle Fasce Fluviali, consultabile su www.adbpo.it
8. Castellaro S., 2016. The complementarity of H/V and dispersion curves. 16 pp. Geophysics, Vol. 81, No. 6 (November-December 2016)
9. Castellaro S., 2012. Introduzione alla modellazione delle curve H/V a fini stratigrafici in Grilla. 21 pp. Micromed s.p.a..
10. Castellaro S., 2012. Tecnica sismica passiva a stazione singola. 137 pp. Micromed s.p.a..
11. Corrao M., Coco G., 2009. Geofisica applicata. 258 pp. Dario Flaccovio Editore.
12. Gaudio C., 2014. Manuale di geofisica di campagna. 140 pp. Stampaecontatto.
13. Moho s.r.l., 2016. Introduzione al modulo di analisi delle onde di superficie in Grilla. 28 pp. Moho s.r.l..



14. Mucciarelli M., 2010. Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici - Studi teorici ed applicazioni professionali. 445 pp. Ministero dell'università e della ricerca programmi di ricerca scientifica di rilevante interesse nazionale - Progetto di ricerca 2007ptrc4c.
15. Repertorio cartografico del Geoportale della Regione Lombardia, liberamente consultabile su www.cartografia.regione.lombardia.it.
16. Repertorio cartografico di Google Maps, liberamente consultabile su www.maps.google.it.



11. ELENCO ALLEGATI

RELAZIONE TECNICO – ILLUSTRATIVA
STUDIO GEOTER, 1993

