



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

Livello 3

### Regione Emilia-Romagna Comune di Corniglio



<b>Regione</b> Emilia-Romagna	<b>Soggetto realizzatore</b>  Dott. Geol. Stefano Castagnetti  <b>Collaboratori:</b> Dott. Geol. Marco Baldi   <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY www.engeo.it	<b>Data</b> Marzo 2022
----------------------------------	---	---------------------------

## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	1
2.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO .....	3
2.1	INQUADRAMENTO .....	3
2.2	STORIA SISMICA.....	7
2.3	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	9
3.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI .....	10
3.1	ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI .....	10
4.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO .....	12
5.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI .....	13
6.	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	16
6.1	Modello geofisico del sottosuolo.....	17
6.2	Procedura di analisi RSL.....	23
6.3	Analisi dei risultati.....	29
7.	STABILITÀ DI VERSANTE .....	36
7.1	Metodo di verifica.....	36
7.2	Ipotesi verificate.....	39
8.	ELABORATI CARTOGRAFICI .....	44
8.1	Carta delle indagini .....	44
8.2	Carta geologico-tecnica per microzonazione sismica.....	45
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	46
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	47
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S.....	51
8.6	Carte di microzonazione sismica .....	53
9.	ELENCO ELABORATI .....	62

---

Allegato n° 1 – Indagini integrative

## 1. INTRODUZIONE

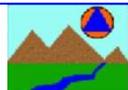
Nella presente Relazione illustrativa vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello Studio di microzonazione sismica di Livello 3 del Comune di Corniglio (Provincia di Parma), effettuato su incarico dell'Unione Montana Appennino Parma Est (Determinazione Dirigenziale n° 322 del 05/07/2021 – CUP: E32J20012080006 – CIG: ZF530EC77D) e finanziato con contributi derivanti dall'OCDPC n° 675/2020 *“Disciplina delle risorse non utilizzate o oggetto di revoca di cui alle ordinanze 3907/2010, 4007/2012, 52/2013, 171/2014, 293/2015, 344/2016 e 532/2018 di attuazione dell'articolo 11 del decreto-legge 28 aprile 2009 n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77”* e dalla DGR n° 1238/2020 e assegnati con Determinazione Dirigenziale n° 21384 del 27.11.2020.

Il Comune di Corniglio è dotato di uno studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 realizzato nel gennaio 2020 dallo scrivente professionista.

Tale studio venne finanziato con i contributi di cui alla OCDPC 532/2018 e alla D.G.R. 2047/2018 e al D.D. 106/2019. Lo studio è stato validato dalla riunione della Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica del 17/12/2020 e certificato dalla Regione Emilia-Romagna con protocollo 08/01/2021.0009044.U.

Le attività di ricerca, acquisizione ed implementazione dati oltre che la predisposizione degli elaborati prodotti nell'ambito del presente studio, sono stati condotti in ottemperanza delle direttive e agli atti tecnici sotto elencati:

- D.G.R. n° 476 del 12.04.2021 aggiornamento Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017);
- D.G.R. n° 564 del 26.04.2021 *“Integrazione della propria Deliberazione n. 476 del 12 aprile 2021 mediante approvazione dell'allegato A, "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)”;*
- *“Indicazioni per l'archiviazione informatica, rappresentazione e fornitura dei dati degli studi di microzonazione sismica e dell'analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 e decreto del 15 aprile 2013 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile” della Deliberazione di Giunta Regionale n. 1919 del 16.12.2013 “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione*

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	1 di 62

dei contributi di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 a favore degli Enti Locali" (Allegato D della DGR);

- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” - Versione 4.2, Roma, dicembre 2020 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (SRAI).
- “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (ICMS).

Il presente studio di Livello 3 è stato condotto a partire dal citato studio di Livello 2, provvedendo ad aggiornare ed integrare gli elaborati precedentemente realizzati, in modo da renderli conformi alle nuove specifiche tecniche.

L'approfondimento di Livello 3 è stato svolto per un'area interessata da un esteso corpo di frana quiescente, situata nella frazione di Beduzzo in località Crocetta, individuata di concerto con l'Ufficio Tecnico Comunale di Corniglio.

Gli elaborati redatti sono stati predisposti in versione cartacea e in versione digitale (PDF con risoluzione di 300 dpi). I dati cartografici sono stati allestiti anche in formato vettoriale (*shapefile*).

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato D della DGR 1919/2013 e dagli SRAI (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica) versione 4.2.

Per l'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri è stato utilizzato l'apposito software: “MS - SoftMS”, versione 4.2.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	2 di 62

## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 INQUADRAMENTO

Il Comune di Corniglio appartiene alla Regione Emilia-Romagna e ricade nella fascia di alta montagna della Provincia di Parma (Fig. 1).



Fig. 1 - Ubicazione del Comune di Corniglio

Per quanto riguarda l'assetto geologico e tettonica dell'areale si rimanda a quanto esposto nel citato studio di secondo livello.

In questa sede ci si limita a riproporre lo schema di inquadramento geologico del territorio comunale di Corniglio (Fig. 2), in cui si possono osservare le unità liguri alloctone sovrascorse (Flysch terziario di M. Caio e Complessi di base pre-flyscoidi) e le sottostanti unità intermedie Sub-liguri (Argille e Calcari di Canetolo, Arenarie di P. Bratica e Petrignacola, ecc.), che nella fascia di crinale lasciano spazio a depositi di avanfossa sottostanti di affinità toscano - umbra qui costituiti dal Macigno.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	3 di 62

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

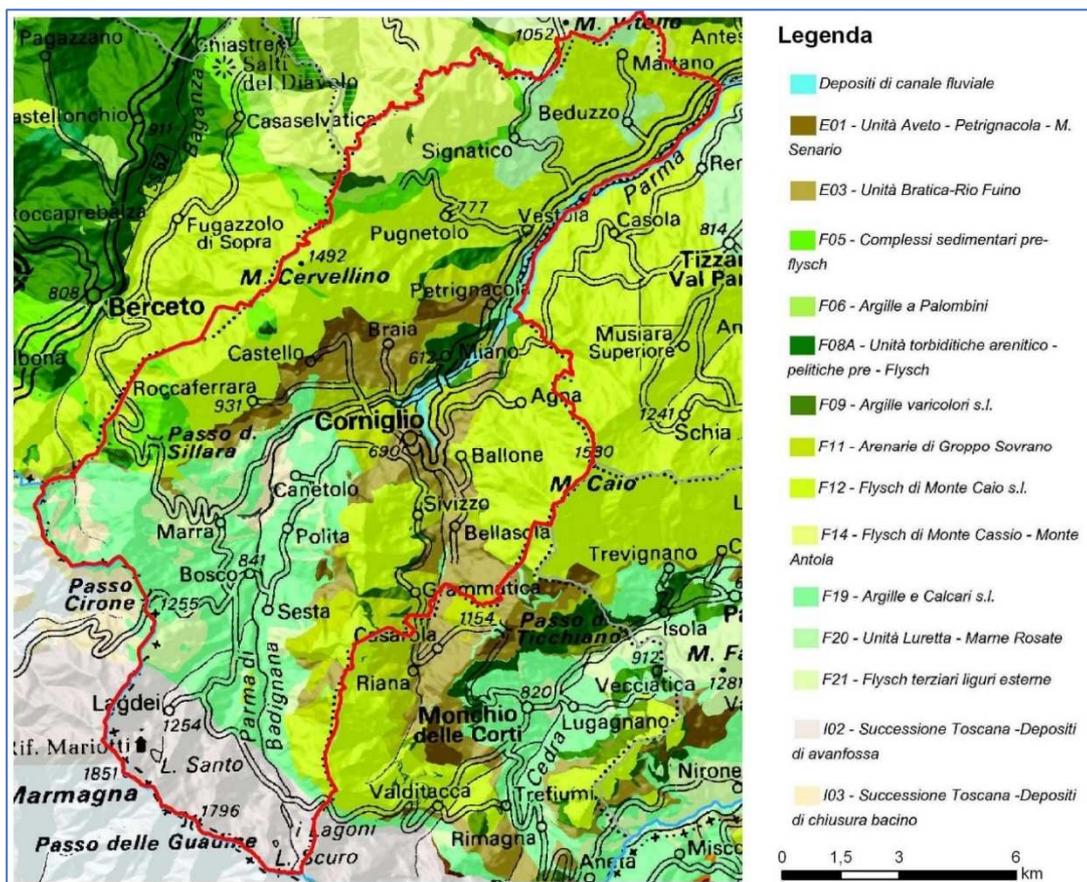


Fig. 2 - Inquadramento geologico schematico del Comune di Corniglio (Progetto CARG della Regione Emilia – Romagna, Servizio Geologico e Sismico dei Suoli)

Per quanto concerne le caratteristiche sismotettoniche, l'inquadramento generale delle principali strutture attive sismogenetiche è rappresentato nella Mappa di sintesi realizzata dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli dell'Emilia-Romagna (Fig. 3).

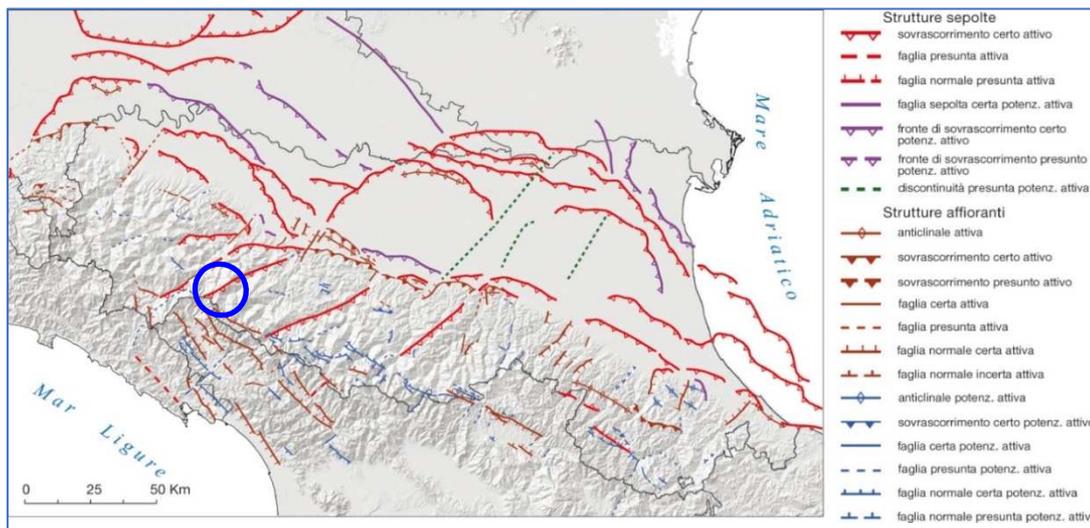


Fig. 3 - Mappa di sintesi delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riconosciute in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna, 2017)

Le sorgenti sismogenetiche e le faglie potenzialmente attive e capaci, interessanti il territorio comunale di Corniglio, sono state ricavate dal *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Version 3.3.0 <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>. che costituisce il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5,5 nell'area Italiana<sup>1</sup>. Con riferimento all'immagine di Fig. 4, le sorgenti sismogenetiche prossime all'area in studio sono:

- **ITCS026 – Lunigiana** (sorgente composita) con una magnitudo massima attesa Mw = 7,0 con la relativa sorgente individuale **ITIS-085 Pontremoli**
- **ITCS046 – Langhirano-Sassuolo** (sorgente composita) con magnitudo massima attesa Mw = 6,8 e con la relativa sorgente individuale **ITIS-085 Pontremoli**
- **ITIS135 Neviano degli Arduini**

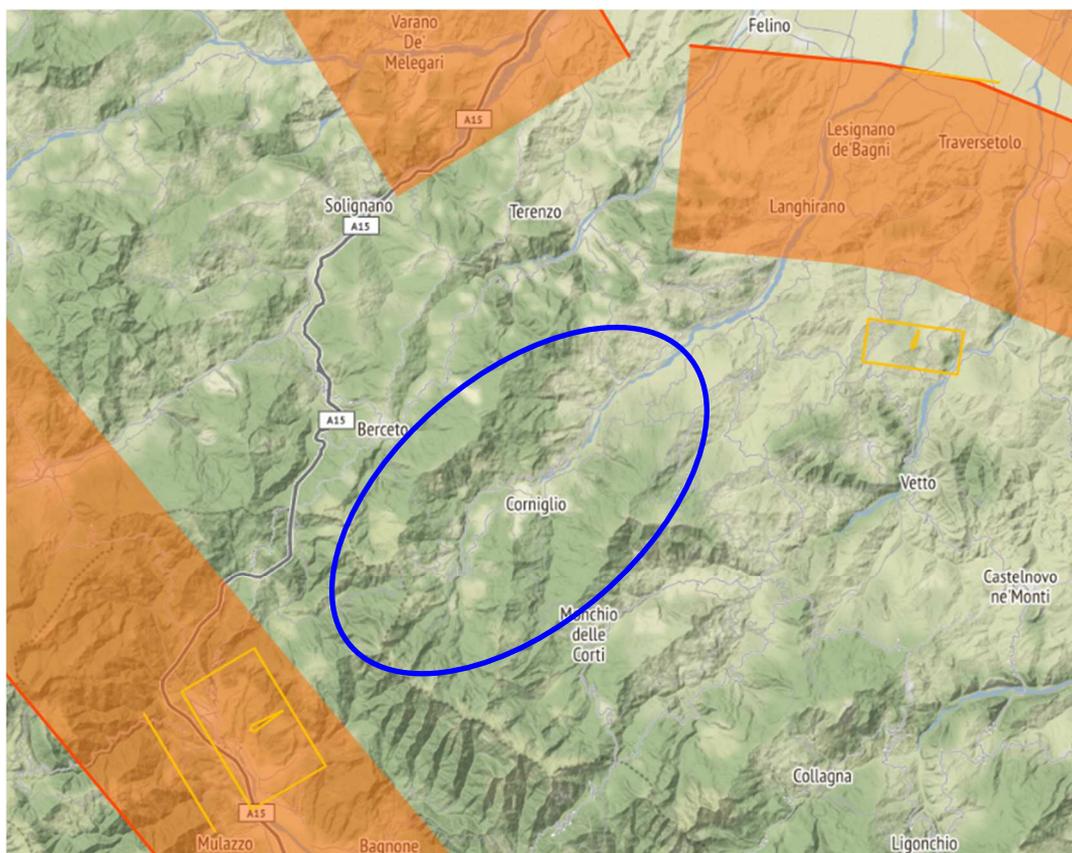


Fig. 4 - Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche da DISS 3.3.0. Il cerchio blu individua approssimativamente il territorio del Comune di Corniglio

<sup>1</sup> Gruppo di lavoro DISS (2021). Database delle singole sorgenti sismogenetiche (DISS), versione 3.3.0: una raccolta di potenziali sorgenti per terremoti superiori a M 5.5 in Italia e nelle aree circostanti. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	5 di 62

Con riferimento alla Zonazione sismogenetica ZS9 dell'INGV, il territorio comunale di Corniglio ricade nella zona all'interno della zona sismogenetica 915 (Fig. 5), che è caratterizzata da movimenti prevalentemente distensivi. Il maggior numero di terremoti che si verificano in questa zona, presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 8 e 12 km e i valori di magnitudo massima previsti sono pari a  $M_{wmax} = 6,60$ .

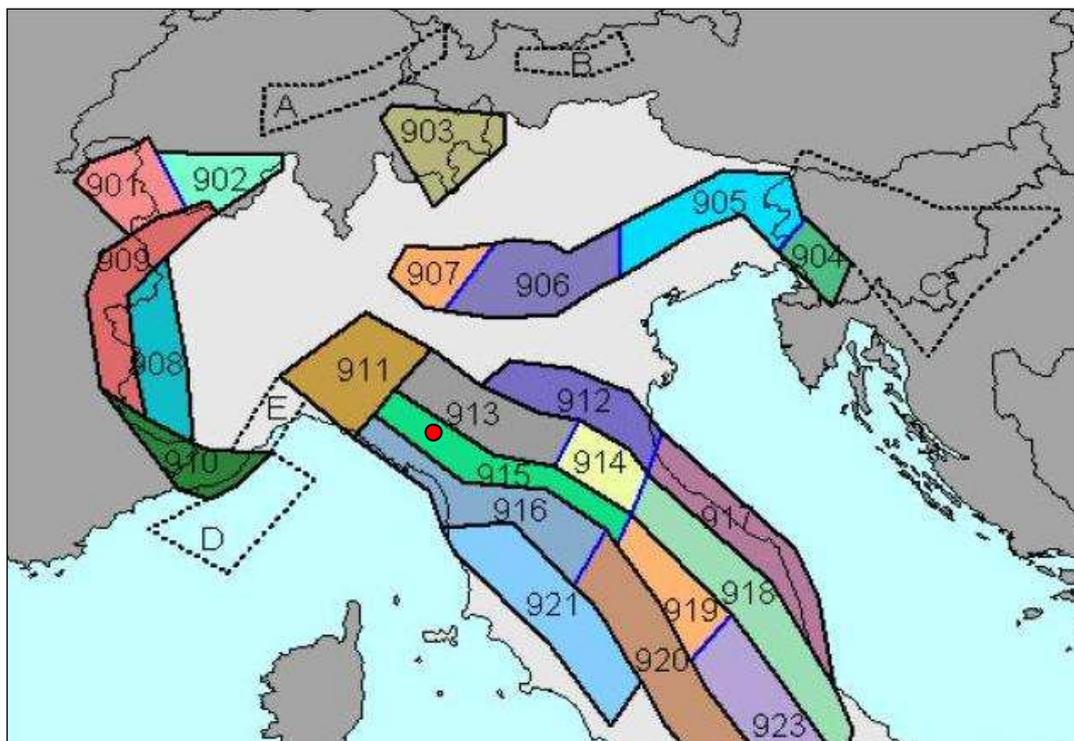


Fig. 5 – Zonazione sismogenetica ZS9 (Tratta da: “Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo – bozza aprile 2004” - INGV). Il punto rosso segna approssimativamente il Comune di Corniglio.

Nella mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, redatta a cura dell'INGV la pericolosità di ciascuna zona è espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi contraddistinti da  $V_s > 800$  m/s.

Il territorio in esame ricade in un'area caratterizzata da un'accelerazione sismica orizzontale massima  $a_g$  pari a 0,150-0,225 g (Fig. 6).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	6 di 62

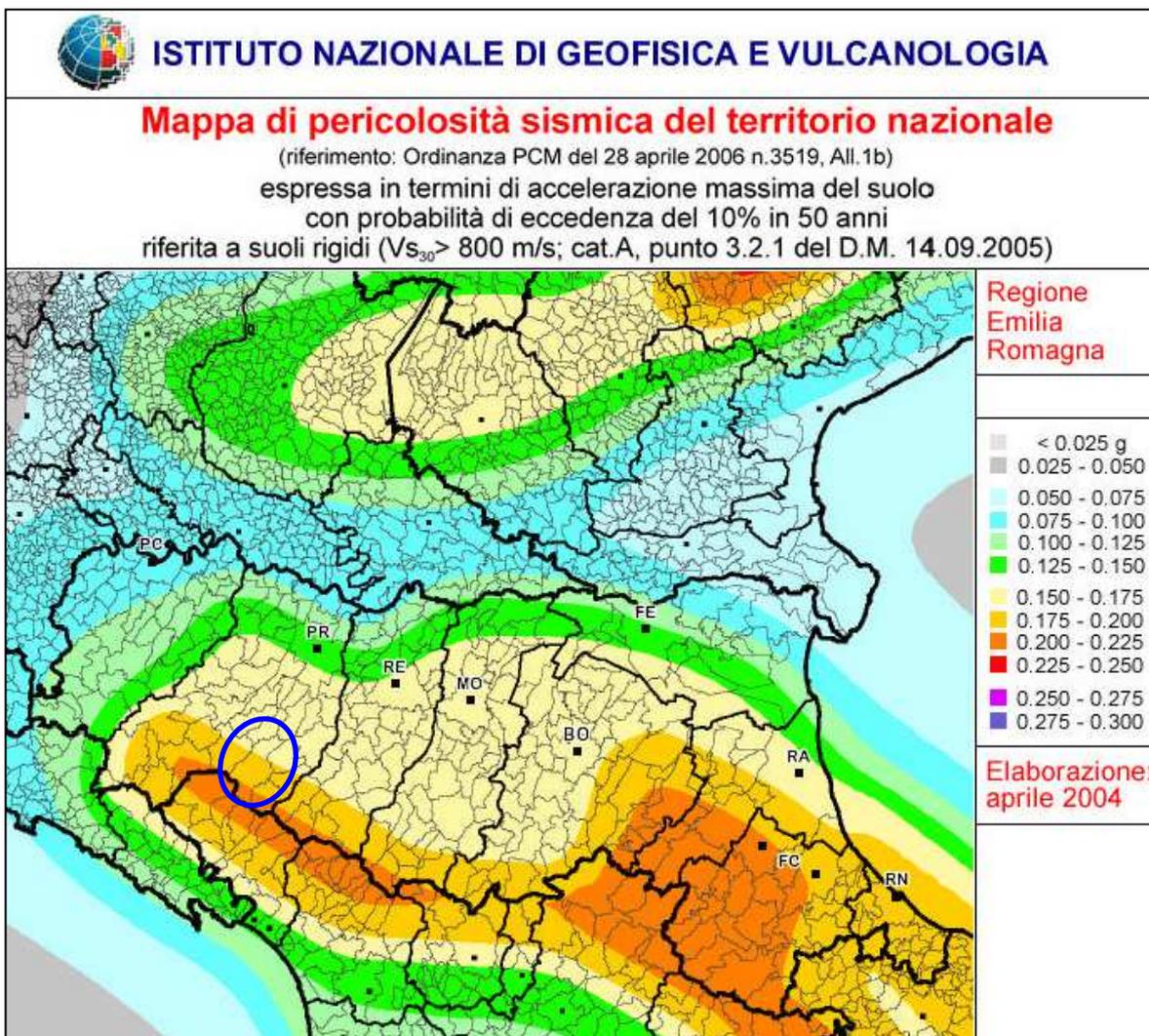


Fig. 6 - Estratto della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Il cerchio di colore blu individua il Comune di Corniglio

## 2.2 STORIA SISMICA

La storia sismica del Comune di Corniglio è stata desunta dal Database Macrosismico Italiano, versione DBMI15 v4.0, che contiene informazioni relative a 123.981 osservazioni macrosismiche dall'anno 1000 al 2020 relative a 3229 terremoti.

Secondo quanto riportato in DBMI15 v4.0, la storia sismica di Corniglio è riassunta graficamente nel diagramma riportato in Fig. 7, mentre in Tab. 1 sono elencati gli eventi di maggiore intensità, indicando per ciascuno di essi, oltre agli effetti provocati al sito, espressi come I(MCS), la data e l'ora in cui si è verificato, il numero di località in cui è stato registrato l'evento ( $N_p$ ), l'intensità massima epicentrale in scala MCS ( $I_0$ ) e la magnitudo momento ( $M_w$ ).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	7 di 62

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

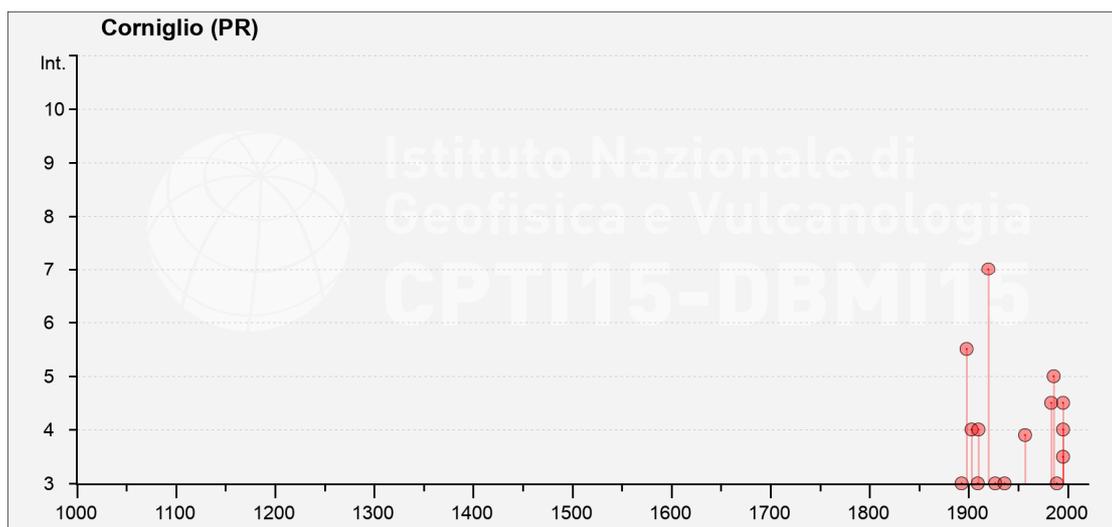


Fig. 7 – Eventi sismici di maggior intensità registrati nel Comune di Corniglio. Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4>

Effetti	In occasione del terremoto del							NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
7	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
5-6	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
5	1986	10	01	19	53	3	Lunigiana	68	5	4.46
4-5	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
4-5	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
4	1903	07	27	03	46		Lunigiana	79	7-8	5.19
4	1910	01	23	01	50		Piacentino	118	5	4.39
4	1995	03	03	16	16	4	Lunigiana	43	5	4.20
F	1957	10	25	23	02	0	Appennino reggiano	79	5-6	4.27
3-4	1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
3	1893	10	20	20	15		Appennino parmense	25	4-5	4.04
3	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3	1927	10	28	21	49		Alta Val di Taro	39	6	4.66
3	1936	10	18	03	10		Alpago Cansiglio	269	9	6.06
3	1989	10	03	09	41	3	Appennino parmense	91	4	4.04

<b>I [MCS]</b>	Intensità macrosismica espressa in scala MCS. Alcuni effetti non sono esprimibili con la scala MCS per cui vengono utilizzati dei codici alternativi (si veda la relativa tabella)
<b>Data</b>	Data del terremoto
<b>Ax</b>	Area epicentrale, area geografica in cui sono stati riscontrati gli effetti maggiori del terremoto
<b>NMDP</b>	Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto
<b>Io</b>	Intensità macrosismica epicentrale, da CPTI15, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg [dettagli]
<b>Mw</b>	Magnitudo momento, da CPTI15

Tab. 1 - Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Corniglio il 1000 e il 2020. Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4> - parzialmente modificato

Dall'analisi di Fig. 7 e Tab. 1 si evidenzia che il massimo evento sismico censito e osservato a Corniglio si è verificato il 07 Settembre 1920 con un'intensità al sito del VII-VIII grado della scala MCS.

Le cronache dell'epoca raccontano che l'evento sismico causò spaccature nel terreno, frane con cadute di massi a Castiglione di Garfagnana e nelle frazioni di Rigoso e Trefiumi poste nel comune di Monchio delle Corti nei pressi del confine con il Comune di Palanzano. Il sisma provocò effetti e modificazioni sul regime delle acque della zona (intorbidimento, e variazione dei regimi sorgentizi).

### 2.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA

A seguito dell'emanazione dell'OPCM n° 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i., il Comune di Corniglio è stato classificato sismico in ZONA 2. In precedenza, sotto il profilo della normativa sismica, il Comune di Corniglio risultava non classificato.

Con la DGR n° 1164/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna", il Comune di Corniglio è stato confermato sismico in ZONA 2 (Fig. 8).

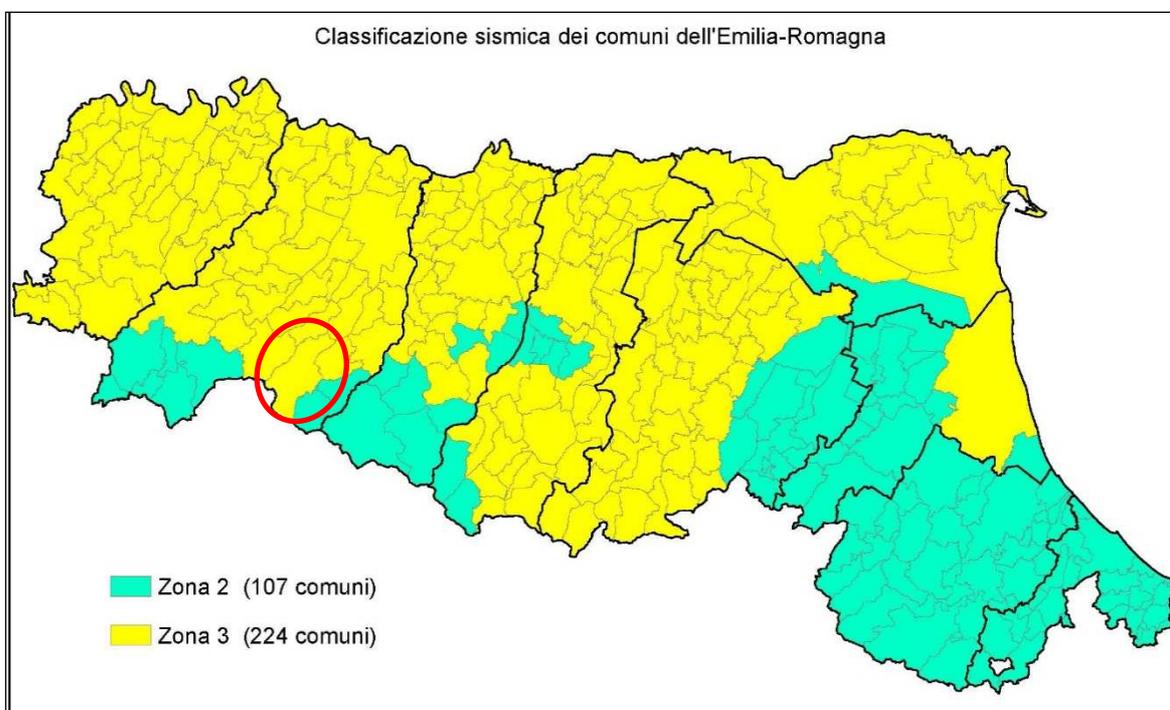


Fig. 8 - Classificazione sismica dell'Emilia-Romagna di cui alla DGR 1164 del 23.07.2018. Regione Emilia-Romagna. Il cerchio rosso individua il Comune di Corniglio



Elaborato	Data	Agg.	Pag.
RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	9 di 62

### 3. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

#### 3.1 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

La ricerca effettuata presso gli archivi dell'Ufficio Tecnico Comunale, dell'Unione Montana Appennino Parma Est e del Servizio Sicurezza Territoriale e Protezione Civile di Parma ha consentito di esaminare ulteriori relazioni geologiche, prodotte a corredo di varianti agli strumenti urbanistici, di progetti edilizi, di PUA e di opere pubbliche nel lasso di tempo intercorso tra lo studio di MS2 e quello attuale e di acquisire copia delle indagini geognostiche eseguite.

I dati acquisiti sono andati ad integrare il database geognostico inizialmente messo a disposizione dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Una volta completato il quadro dei dati disponibili, è stata pianificata e condotta una specifica campagna di indagini integrative realizzate nell'areale di Beduzzo sottoposto ad approfondimento sismico di Livello 3. Tal campagna è consistita nell'esecuzione di n° 1 misura di microtermori a stazione singola e di n° 1 sondaggio a carotaggio continuo, spinto a -30,00 m dal piano campagna e attrezzato con tubo per la successiva esecuzione di una prova Down-Hole.

Tutte le indagini sono state trasformate in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS. A tal proposito sia i dati di base, che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*).

In Tab. 3 è rappresentato il quadro d'insieme delle prove acquisite ricadenti nel territorio comunale o appositamente realizzate nelle aree interessate dal secondo e dal terzo livello d'approfondimento.

Prove in sito	Archivi locali e prove MS2	nuove prove	Totale
Sondaggi a carotaggio continuo	61	1	62
Sondaggi a distruzione di nucleo	2		2
Saggi esplorativi con escavatore	18		18
Prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DS)	48		48
Prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP)	27		27
Prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)	5		5
MASW	12		12
Stazione microtremore a stazione singola (HVSR)	44	1	44
Profilo sismico a rifrazione	11		11
Profilo sismico a riflessione	3		3
Down Hole (DH)	4	1	5

Tab. 2 – Prove in sito disponibili per il Comune di Corniglio

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	10 di 62

L'ubicazione degli elementi stratigrafici e geofisici acquisiti è riportata nella Carta delle indagini in scala 1:5.000.

 <i>Studio di geologia</i> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	11 di 62

## 4. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo, cercando di individuare come varia la successione stratigrafica all'interno delle aree in esame, con particolare riferimento all'individuazione della profondità del substrato geologico.

Per quanto concerne il modello generale del sottosuolo del Comune di Corniglio, in questa sede viene fatto riferimento a quanto già definito e descritto nello studio di Microzonazione sismica di secondo livello, al quale si rimanda per particolari ed approfondimenti.

 <i>Studio di geologia</i> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	12 di 62

## 5. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di lavoro, come descritto in precedenza, sono stati acquisiti tutti i dati bibliografici e di archivio disponibili, sono stati condotti puntuali rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica fruibile. In seguito, tenendo conto dell'insieme degli elementi acquisiti, è stata predisposta ed eseguita una campagna di rilievi integrativi e di controllo. A conclusione di questa fase sono stati predisposti i seguenti elaborati:

- **Carta delle indagini (scala 1:5.000)** - In questa carta è riportata l'ubicazione, delle indagini in sito acquisite o realizzate in questa sede, distinte in base alla specifica tipologia (sondaggi, penetrometrie, prove geofisiche, ecc.) e ricadenti nelle quattro "finestre" relative ai centri abitati di Beduzzo, Bosco, Corniglio Capoluogo e Ghiare.
- **Carta delle indagini (scala 1:8.000)** - In questa carta è riportata l'ubicazione, di tutte le indagini in sito acquisite o realizzate in questa sede, distinte in base alla specifica tipologia (sondaggi, penetrometrie, prove geofisiche, ecc.). A causa dell'estensione del territorio, la carta è stata suddivisa in due tavole, denominate rispettivamente Settore A e Settore B.
- **Carta geologico-tecnica (scala 1:10.000)** - Questa carta, estesa all'intero territorio comunale, prende in esame i terreni di copertura, il substrato geologico, le instabilità dei versanti, gli elementi geologici, morfologici e idrogeologici e gli ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura. A causa dell'estensione del territorio, la carta è stata suddivisa in tre tavole, denominate rispettivamente Settore A (area settentrionale), Settore B (area centrale) e Settore C (area meridionale).
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni (scala 1:5.000)** - In questa carta sono riportate le ubicazioni dei punti ove sono state eseguite le indagini sismiche HVSR, con simbolicamente rappresentato il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (*frequenza principale*). A fianco di ciascun simbolo è riportata la frequenza relativa al primo picco significativo e, qualora presente, è indicata anche la frequenza di un secondo picco (*frequenza secondaria*). Le misure inoltre sono state suddivise in classi sulla base delle frequenze e dell'ampiezza del picco. Anche per questa tavola sono state realizzate quattro "finestre" relative ai centri abitati di Beduzzo, Bosco, Corniglio Capoluogo e Ghiare.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	13 di 62

- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (scala 1:10.000)** - In questa carta, estesa all'intero territorio comunale, sono state individuate le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, distinte in nove zone, le zone di attenzione per instabilità di versante e i punti di misura di rumore ambientale. A causa dell'estensione del territorio, anche questa la carta è stata suddivisa in tre tavole, denominate rispettivamente Settore A (area settentrionale), Settore B (area centrale) e Settore C (area meridionale).

Successivamente è stato predisposto il seguente elaborato:

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S (scala 1:10.000)** - In questa carta è stata riportata l'ubicazione delle prove MASW e a fianco di ciascuna prova è stato riportato il rispettivo valore di  $V_{S30}$  e/o  $V_{SH}$  in m/s. Anche per questa tavola sono state realizzate quattro "finestre" relative ai centri abitati di Beduzzo, Bosco, Corniglio Capoluogo e Ghiare.

Infine si è proceduto con la terza ed ultima fase di lavoro, in cui è stata riproposta un'analisi semplificata nelle aree sottoposte a microzonazione sismica di Livello 2 ed un'analisi approfondita per l'areale sottoposto a microzonazione sismica di Livello 3. L'analisi approfondita è stata svolta per un'area di Beduzzo potenzialmente soggetta ad instabilità di versante ed ha portato alla determinazione dello spettro di risposta in superficie e dei fattori di amplificazione, che hanno permesso di realizzare le verifiche di stabilità.

Gli elaborati prodotti in questa fase sono i seguenti elaborati:

- **Carte di microzonazione sismica (scala 1: 5.000)** - In queste carte, basate su quanto predisposto nell'indagine di secondo livello, sono stati riportati gli approfondimenti realizzati nell'ambito del presente studio. Più in particolare sono stati predisposti i seguenti elaborati cartografici:
- Carta di microzonazione sismica - FPGA
  - Carta di microzonazione sismica - FA 0,1 - 0,5 s
  - Carta di microzonazione sismica - FA 0,4 - 0,8 s
  - Carta di microzonazione sismica - FA 0,7 - 1,1 s
  - Carta di microzonazione sismica - FA 0,5 - 1,5 s
  - Carta di microzonazione sismica - FH 0,1 - 0,5 s
  - Carta di microzonazione sismica - FH 0,5 - 1,0 s
  - Carta di microzonazione sismica - FH 0,5 - 1,5 s
  - Carta di microzonazione sismica - HSM
  - Carta di microzonazione sismica - H 0,4 - 0,8 s

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	14 di 62

**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3**

---

- Carta di microzonazione sismica - H 0,7 - 1,1 s
- Carta di microzonazione sismica - H 0,5 - 1,5 s

 <i>Studio di geologia</i> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	15 di 62

## 6. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

La risposta sismica locale è il risultato di interazioni tra le onde sismiche e le condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche di depositi di terreno ed ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

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

Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

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

1. Definizione del modello geofisico del sottosuolo;
2. Stima dell'accelerazione di base;
3. Esecuzione dell'analisi e restituzione grafica in termini di:
  - a. Serie temporali
  - b. Spettri di risposta elastica in superficie

Nel presente studio la procedura di analisi di RSL è stata con metodo bidimensionale sulla sezione della frana di Crocetta di Beduzzo, estraendo i risultati per n° 2 verticali:

- Verticale "Valle" in corrispondenza del sondaggio denominato Sdh, lungo la quale è stata eseguita anche una prova sismica Down-hole;
- Verticale "Monte" posta lungo la sezione, 250 m a monte della prima.

Il sito di Crocetta di Beduzzo è interessato da un movimento franoso classificato quiescente e per il quale si dispongono informazioni sufficientemente affidabili in termini di stratigrafia e Vs (Fig. 9).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	16 di 62

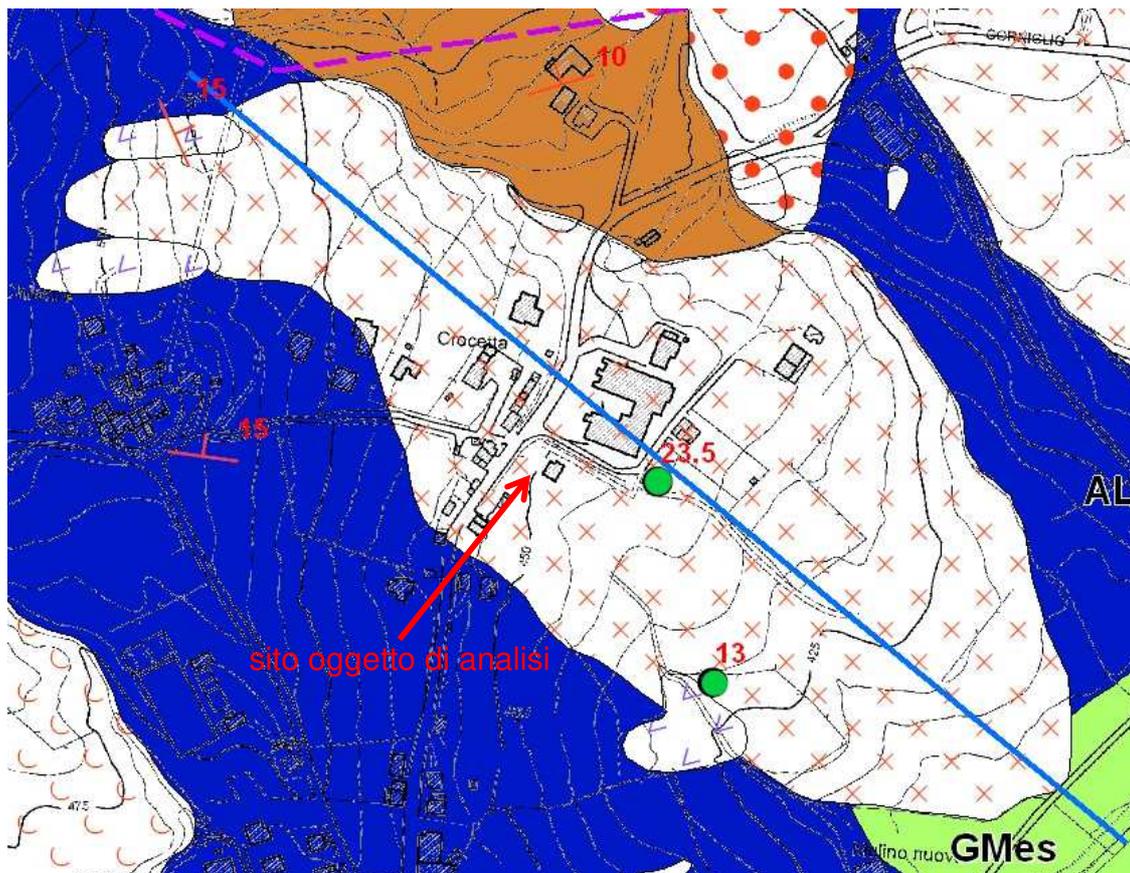


Fig. 9 – Ubicazione sito oggetto di analisi di risposta sismica locale (stralcio carta Geologi-Tecnica). La linea blu indica la traccia della sezione lungo la quale è stata sviluppata l'analisi.

Di seguito verrà illustrato il modello adottato, successivamente verrà descritta la procedura di analisi di RSL e infine i risultati dell'analisi.

## 6.1 Modello geofisico del sottosuolo

La valutazione della risposta sismica locale richiede un'accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo, principalmente basata sui seguenti parametri:

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ );
- densità dei litotipi indagati;
- curve di variazione dello smorzamento ( $D$ ) e della rigidezza ( $G/G_0$ ) in funzione della deformazione e densità in situ,

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	17 di 62

Tale modellazione va spinta in profondità fino a raggiungere il *bedrock* sismico, che teoricamente dovrebbe essere uno strato con velocità  $V_s > 800$  m/s, oppure un passaggio tra due materiali caratterizzato da elevato contrasto di impedenza sismica.

### 6.1.1 Litologia

Per la determinazione delle caratteristiche litologiche sono stati utilizzati i dati rilevati dal sondaggio a carotaggio continuo Sdh, spinto fino alla profondità di -30.00 m da p.c. Mediante tale sondaggio ed altre informazioni disponibili è stata redatta la sezione interpretativa della frana di Beduzzo, utilizzata sia per la analisi di risposta sismica locale bidimensionale che per le verifiche di stabilità necessarie per analizzare gli spostamenti in condizioni sismiche.

### 6.1.2 Determinazione della $V_s$ e del *bedrock* sismico

Per quanto riguarda la velocità delle onde S fino alla massima profondità indagata e l'individuazione del *bedrock* sismico, si è fatto riferimento alle misure effettuate con la prova Down-hole, lungo la verticale del sondaggio Sdh.

La definizione del *bedrock* sismico, cioè del sismostrato che presenta velocità delle onde di taglio  $V_s \geq 800$  m/s, costituisce un elemento di notevole importanza nell'ambito delle valutazioni di risposta sismica locale.

In realtà oggi si tende ad individuare il *bedrock* sismico, soprattutto in pianura, in corrispondenza di un elevato contrasto di impedenza sismica, cioè laddove il rapporto tra le velocità dello strato superficiale e quello più profondo supera il valore di 2-2.5, anche se il valore di  $V_s$  non supera gli 800 m/s.

Sulla base dei risultati ottenuti, è stato assunto come *bedrock* lo strato posto a -27.00 m da p.c., cui è stata assegnata una  $V_s$  di 710 m/s.

Nella seguente Fig. 10 è rappresentato il modello geofisico del sottosuolo in funzione della profondità.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	18 di 62

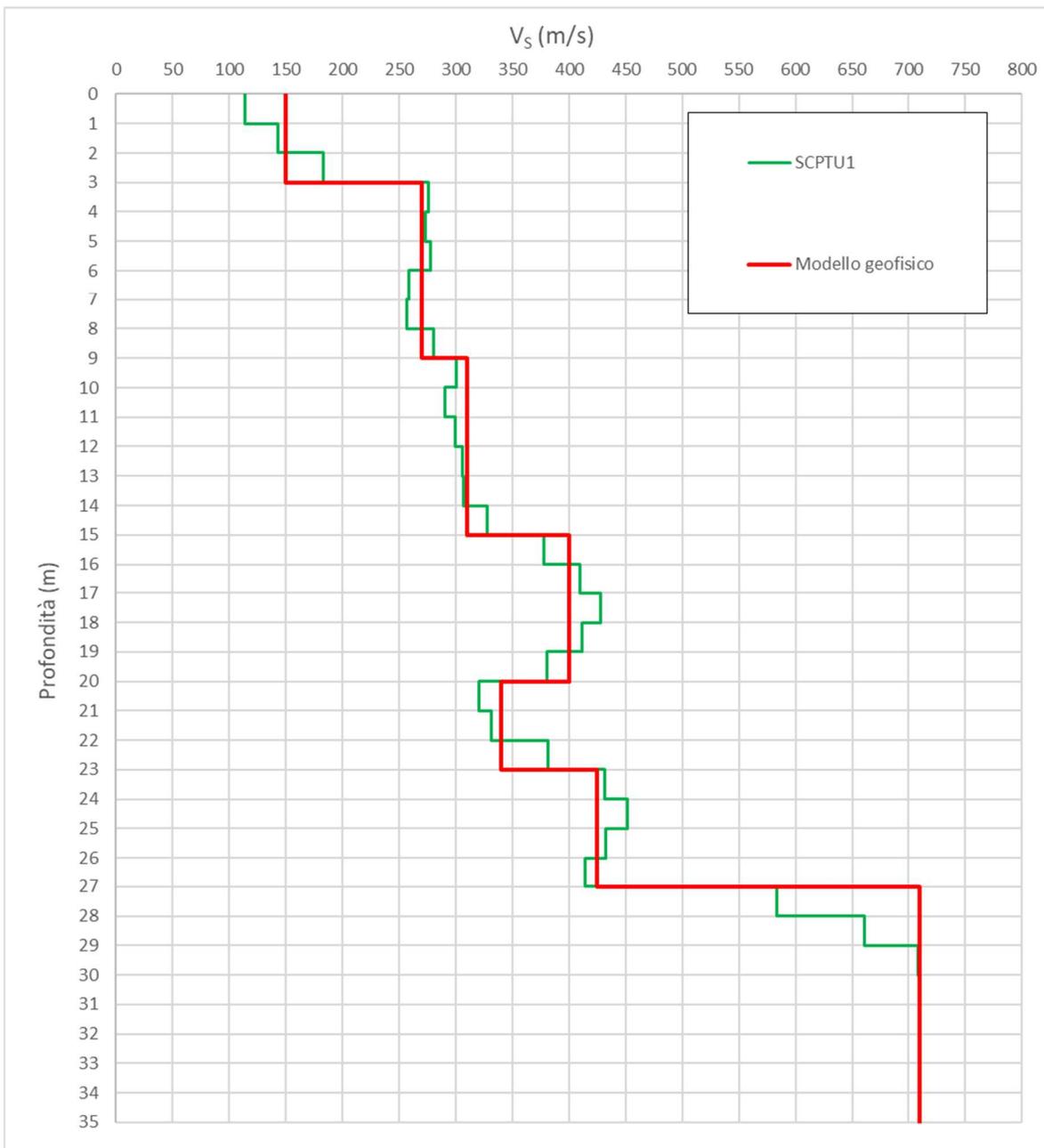


Fig. 10 – Modello geofisico del sottosuolo basato sui risultati della prova Down-hole

6.1.3 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G<sub>0</sub>) in funzione della deformazione

Per la valutazione delle curve di variazione del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza, G/G<sub>0</sub>) in funzione della deformazione di taglio g, sono state utilizzate curve presenti in letteratura, scelte sulla base

della litologia costituente il corpo di frana ma anche sulle velocità misurate nel corso della prova Down-hole.

In particolare, sono state utilizzate curve determinate Vucetic & Dobry (1993)<sup>2</sup>, Sand Seed & Idriss (1970)<sup>3</sup> e Rollins (1998)<sup>4</sup>. Nella seguente Tab. 3 sono descritti i parametri delle curve.

Tipo di curva	Litologia	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
Vucetic & Dobry, PI = 30	Limoso-argillosa	5.12	0.81	30.24	3.06
Vucetic & Dobry, PI = 15	Limoso-argillosa	9.52	0.82	25.96	2.32
Sand Seed & Idriss	Sabbiosa	14.12	0.93	27.50	3.14
Rollins	Ghiaiosa	17.02	0.85	19.75	2.28

Tab. 3 – Riepilogo parametri fondamentali dalla curva di letteratura

Nella seguente Fig. 11 sono rappresentate graficamente le curve di decadimento  $G/G_0$  (colori brillanti) e  $D$  (colori tenui) utilizzate.

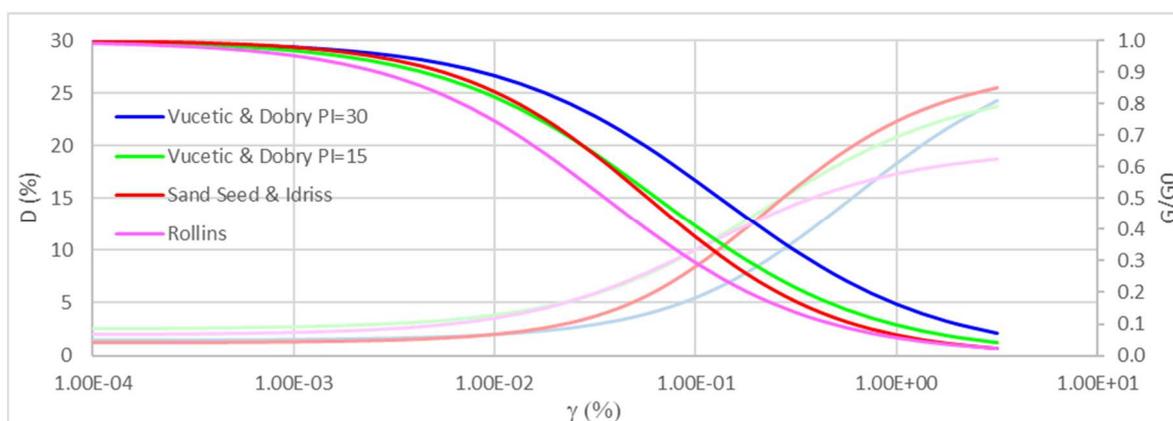


Fig. 11 – Grafico delle curve di interpolazione  $G/G_0$  e  $D$  per tutti i terreni

<sup>2</sup> M. Vucetic; R. Dobry – 1991 – Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response - Journal of Geotechnical Engineering, [Vol. 117, Issue 1](#).

<sup>3</sup> H. B. Seed; I. M. Idriss – 1970 – Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses – University of California Berkeley Structural Engineers and Mechanics.

<sup>4</sup> Rollins K.M., Evans M., Diehl N. and Daily W. – 1998 – Shear modulus and damping relationships for gravels. J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engrg., 124 (5), 396-405.

6.1.4 Descrizione del modello

Sulla base della sezione litostratimetrica, è stato costruito il modello bidimensionale da inserire nel programma LSR2D.

I parametri delle due verticali di analisi, il cui posizionamento è visibile nelle figure seguenti, sono riportati nelle in Tab. 4 (verticale “Monte”) e Tab. 5 (verticale “Valle”).

I colori riportati nella sezione di Fig. 12 trovano riscontro nelle tabelle seguenti.

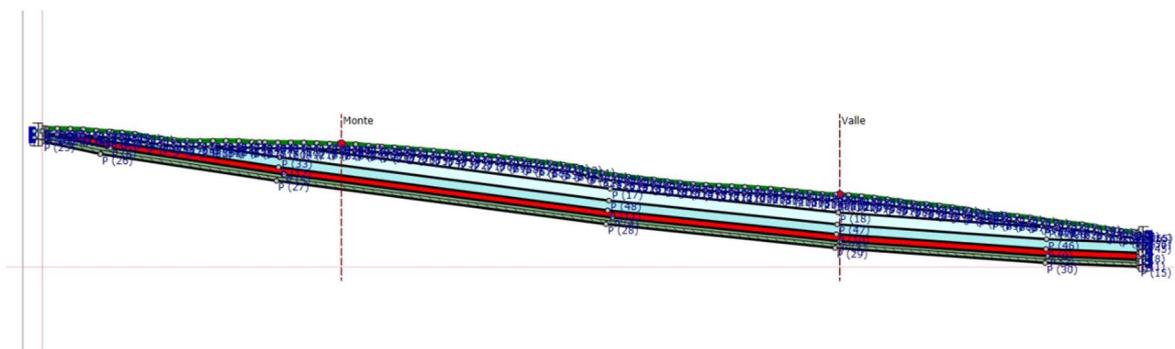


Fig. 12 – Stratigrafia del modello

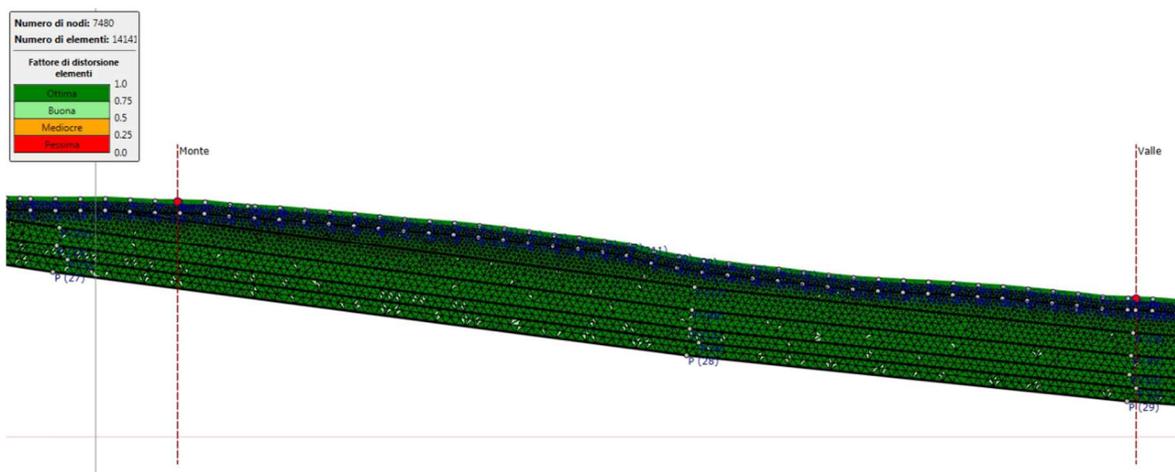


Fig. 13 – Discretizzazione di un tratto del modello mediante maglia triangolare

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	V <sub>s</sub> (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Tetto frana	0.00	-3.00	3.00	18.00	150.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Frana 1	-3.00	-4.82	1.82	19.00	270.00	Sand Seed & Idriss
Frana 2	-4.82	-10.92	6.10	19.50	310.00	Sand Seed & Idriss
Frana 3	-10.92	-15.96	5.04	20.00	400.00	Rollins
Potenziale superficie di scivolamento	-15.96	-19.29	3.33	19.00	340.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Substrato alterato	-19.29	-23.02	3.73	20.50	425.00	Rollins
Bedrock	-23.02	-	-	22.00	710.00	-

Tab. 4 – Modello sismostratigrafico e caratteristiche meccaniche degli strati della verticale “Monte”

Litologia	Profondità (m da p.c.)		Spessore (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	V <sub>s</sub> (m/s)	Curva di decadimento
	da	a				
Tetto frana	0.00	-3.00	3.00	18.00	150.00	Vucetic & Dobry, PI = 30
Frana 1	-3.00	-9.02	6.02	19.00	270.00	Sand Seed & Idriss
Frana 2	-9.02	-15.04	6.02	19.50	310.00	Sand Seed & Idriss
Frana 3	-15.04	-20.05	5.01	20.00	400.00	Rollins
Potenziale superficie di scivolamento	-20.05	-23.50	3.45	19.00	340.00	Vucetic & Dobry, PI = 15
Substrato alterato	-23.50	-27.00	3.50	20.50	425.00	Rollins
Bedrock	-27.00	-	-	22.00	710.00	-

Tab. 5 – Modello sismostratigrafico e caratteristiche meccaniche degli strati della verticale “Valle”

Il modello FEM viene ottenuto mediante una discretizzazione con elementi finiti piani a tre nodi del dominio (maglia triangolare – cfr. Fig. 13). Il passo della mesh adottato è stato 3.0 m.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	22 di 62

### 6.1.5 Azioni sismiche in ingresso

Quali segnali di input sismico sono stati utilizzati quelli forniti dalla piattaforma WebGIS sviluppata da EUCENTRE per la Regione Emilia-Romagna nell'ambito dell'accordo "Acquisizione del servizio di rilevamento a scala regionale del rischio sismico degli edifici residenziali ordinari e aggiornamento dei segnali di riferimento per la stima della risposta sismica locale negli studi di microzonazione sismica di terzo livello di approfondimento"<sup>5</sup>.

Tutti i segnali sono stati selezionati attraverso una procedura che valuta la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nelle banche dati.

Il servizio fornisce 7 accelerogrammi per ciascun nodo del reticolo di riferimento della pericolosità sismica locale dell'Allegato A delle NTC 2008. Per il sito indagato sono stati utilizzati i sismi riferiti al nodo più vicino: il 16492.

Gli accelerogrammi sono stati estratti per tempi di ritorno di 475 anni.

Tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto per la localizzazione del sito.

M <sub>w</sub>	Distanza epicentrale	Fattore di scala	File
6.20	29.90	2.11 %	ESM EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
5.74	12.57	1.38 %	NGA RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
5.99	54.21	2.61 %	NGA RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
6.93	83.53	1.54 %	NGA RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
6.69	38.07	1.16 %	NGA RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
6.60	31.00	0.65 %	KiKnet SMNH100010061330.EW2
5.90	14.40	2.75 %	ESM IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

Tab. 6 – Sismi con tempo di ritorno di 475 anni

## 6.2 Procedura di analisi RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 5.0 di STACEC.

<sup>5</sup> [R.E.R. \(eucentre.it\)](http://R.E.R.(eucentre.it))

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	23 di 62

Il codice di calcolo LSR2D consente di effettuare una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e tenendo conto della deformabilità del substrato.

Qualora la stratigrafia in esame non presenti problematiche di carattere bidimensionale, come nel caso in esame, è comunque possibile studiare il problema monodimensionale grazie ad una discretizzazione di una striscia unitaria di terreno e all'applicazione di un sistema di vincoli sul modello FEM tale da consentire solo deformazioni di taglio.

### 6.2.1 Metodo lineare equivalente

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

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

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

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in Fig. 14. La tensione  $\tau$  dipende dalla deformazione  $\gamma$  e dalla sua derivata  $\dot{\gamma}$ , secondo la relazione:

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

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	24 di 62

dove:

- $G$  = Modulo di taglio
- $\eta$  = viscosità del mezzo

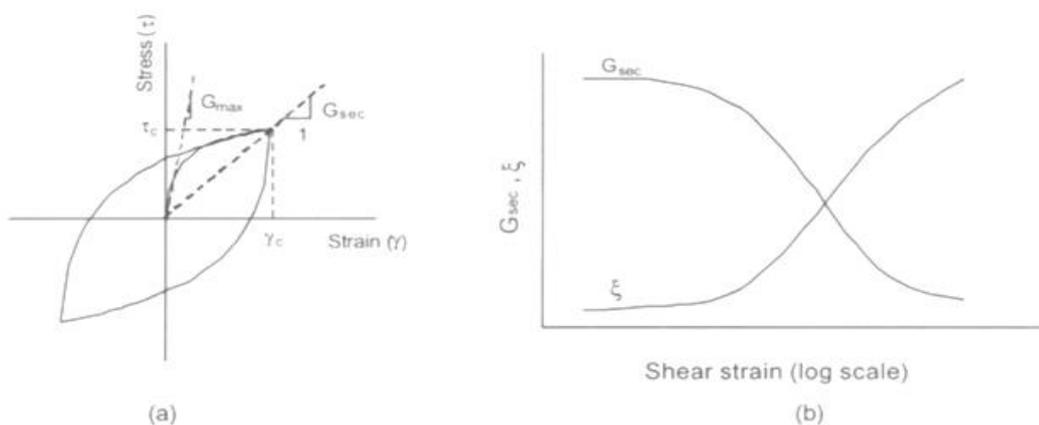


Fig. 14 – Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in Fig. 14. Il modulo di taglio equivalente,  $G$ , è preso considerando il modulo di taglio secante  $G_s$ .

È possibile notare come alla fine di un ciclo controllato e simmetrico di tensioni si ha:

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

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

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

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

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

dove:

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	25 di 62

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

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento (Fig. 14b).

### 6.2.2 Soluzione alla singola iterazione mediante FEM

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell'i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi (Fig. 15) e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

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

dove:

$M$  = matrice di massa del sistema;

$C$  = matrice di smorzamento del sistema;

$K$  = matrice di rigidezza del sistema;

$\ddot{u}, \dot{u}, u$  = rispettivamente vettori di accelerazione, velocità e spostamento del sistema;

$a_g$  = vettore di accelerazione alla base;

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

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$

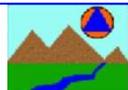
$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]$$

dove:

$\Delta t$  = incremento temporale tra l'istante di tempo  $t_n$  e  $t_n - 1$

$\beta$  = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25

$\gamma$  = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	26 di 62

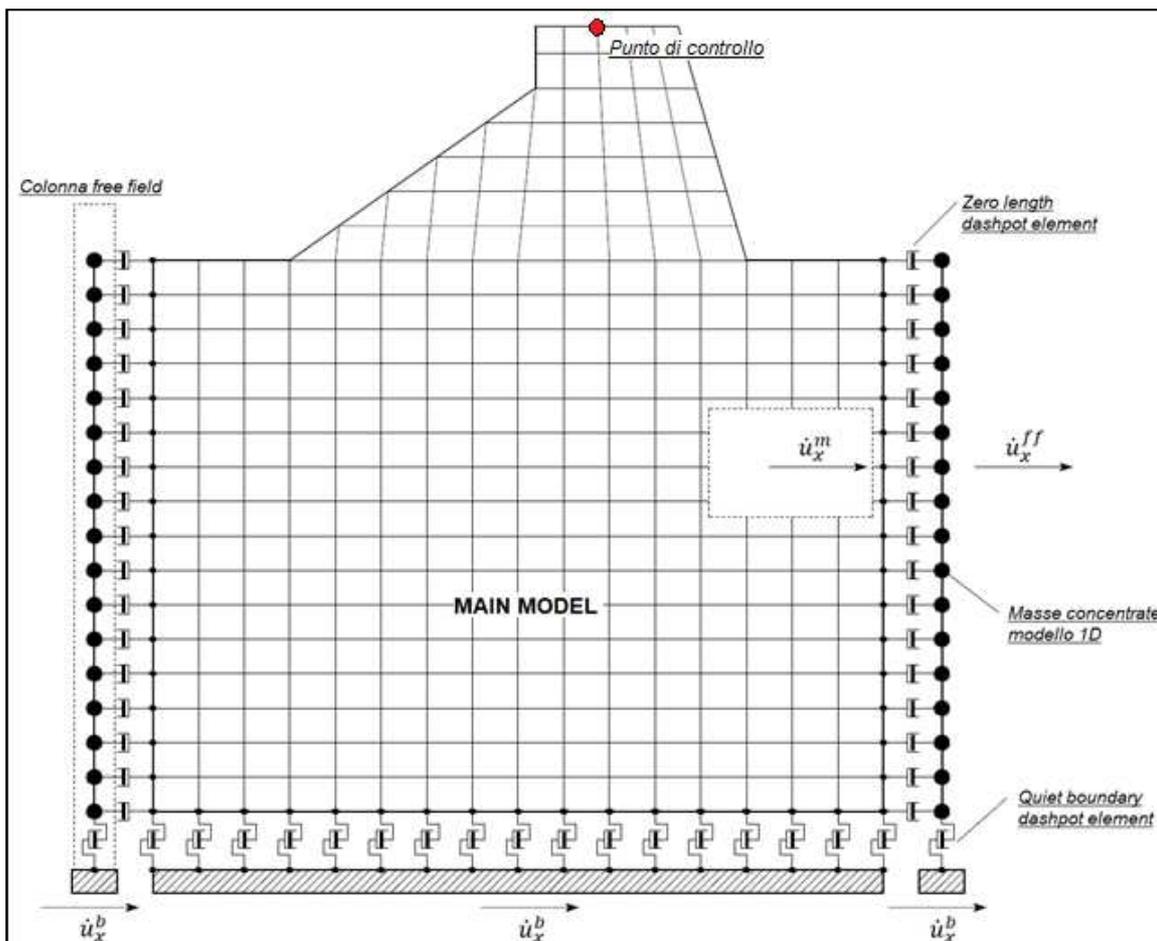


Fig. 15 – Discretizzazione FEM del terreno

6.2.2.1 Smorzamento

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

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

dove:

- $\alpha_q$  e  $\beta_q$  = coefficienti di smorzamento alla Reyleigh

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

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

da cui si ottiene (Hudson, 1994):

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	27 di 62

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

dove:

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

### 6.2.3 Procedimento iterativo

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidità e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Lo schema della procedura iterativa su cui è basato il modello lineare equivalente, da applicare ad ogni strato in cui è stato discretizzato il profilo stratigrafico, è il seguente:

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

### 6.2.4 Interpretazione dei risultati

Il risultato della procedura iterativa sopradescritta non è altro che la storia temporale di accelerazione, velocità e spostamento di ogni grado di libertà del modello FEM.

Tuttavia, dal punto di vista ingegneristico, è interessante monitorare la risposta in termini di accelerazione in superficie in corrispondenza di uno o più punti di controllo in modo da comprendere quelli che sono gli effetti indotti dal sito sull'amplificazione della sorgente sismica.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	28 di 62

### 6.3 Analisi dei risultati

I risultati della analisi condotte con il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 5.0 di STACEC, elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire per il sito in esame:

- Gli accelerogrammi di output;
- La curva di variazione dell'accelerazione con la profondità;
- Lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output;
- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione ( $FA_{PGA}$ ), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- I fattori di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in accelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.5-1.5 e 0.7-1.1 s;
- I fattori di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in velocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s.

Tali fattori di amplificazione in accelerazione e velocità sono ottenuti direttamente dal programma di calcolo confrontando lo spettro medio degli accelerogrammi in input con quello ottenuto dagli accelerogrammi in output.

In Fig. 16 è riportato, a titolo di esempio, il grafico con gli spettri in output (in tonalità di grigio, e gli spettri medi in input, in verde, e in output, in rosso, per la verticale "Valle".

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	29 di 62

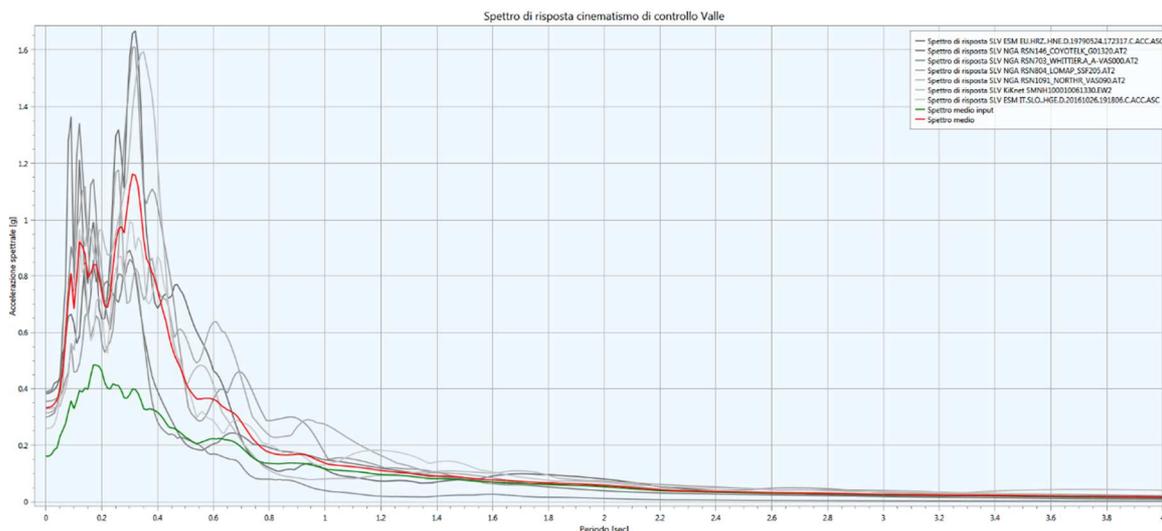


Fig. 16 – Confronto tra gli spettri in accelerazione spettro medio in accelerazione in input e lo spettro medio in accelerazione in output per la verticale “Valle”

Nelle tabelle dei fattori di amplificazione, oltre a quelli ottenuti con la procedura di RSL, sono riportati, per confronto, anche i fattori di amplificazione ottenuti applicando gli abachi proposti dalla Regione Emilia Romagna (abaco Appennino VsH >800 m/s) e le differenze percentuali tra i valori.

In Fig. 17 è riportato il grafico rappresentante i valori dei fattori di amplificazione calcolati da RSL2D per entrambe le verticali.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	30 di 62

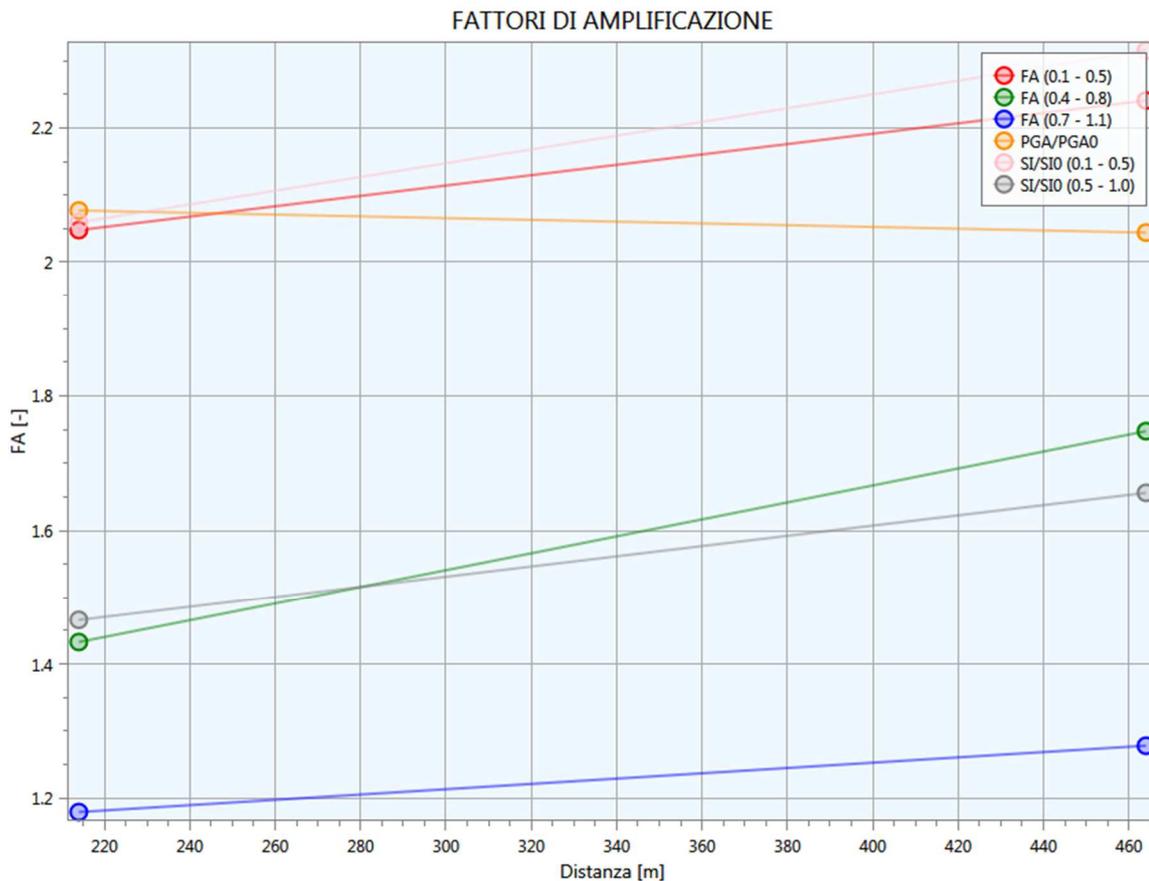


Fig. 17 – Esempio output fattori di amplificazione in termini di accelerazione e velocità entrambe le verticali

Di seguito vengono sinteticamente riportati i risultati delle analisi di risposta sismica locale per tutti i siti indagati:

- Gli accelerogrammi di output scalati sulla base del sito di indagine;
- Il grafico della variazione dell'accelerazione con la profondità;
- Il grafico dello spettro elastico in accelerazione da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo corrispondente;
- La tabella con i fattori di amplificazione calcolati, confrontati con quelli da normativa.

6.3.1 Verticale "Monte"

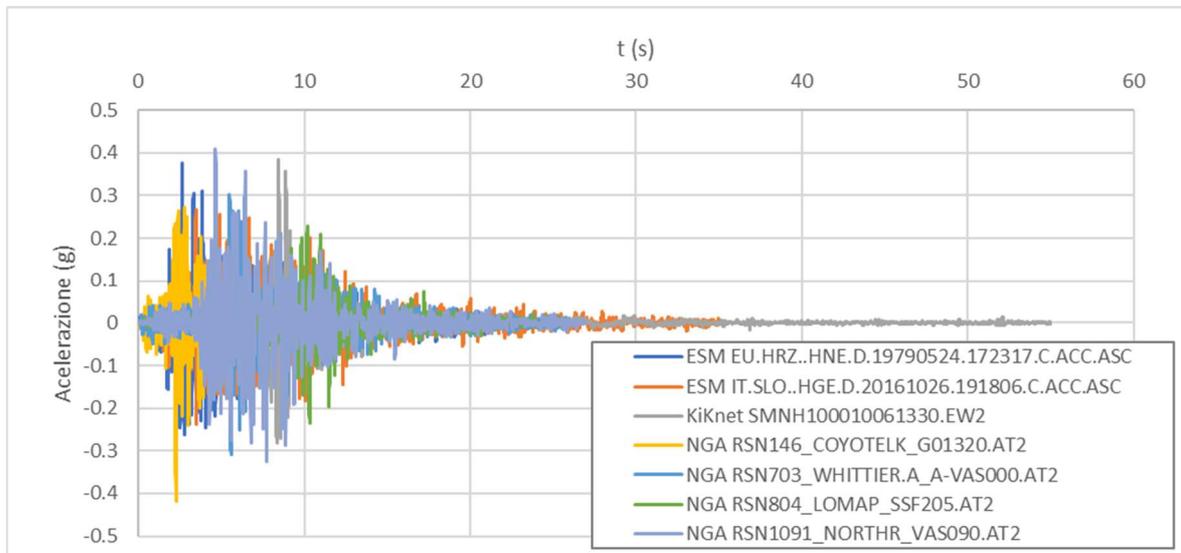


Fig. 18 – Accelerogrammi di output per la verticale "Monte"

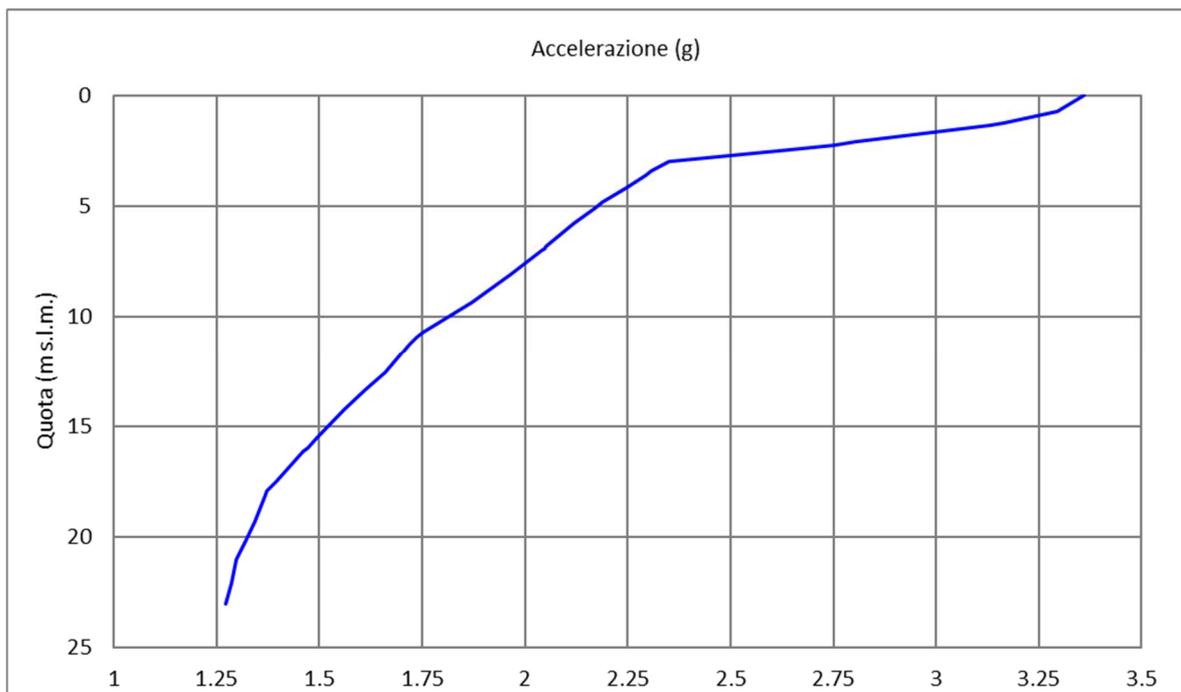


Fig. 19 – Curva di variazione dell'accelerazione con la profondità per la verticale "Monte"

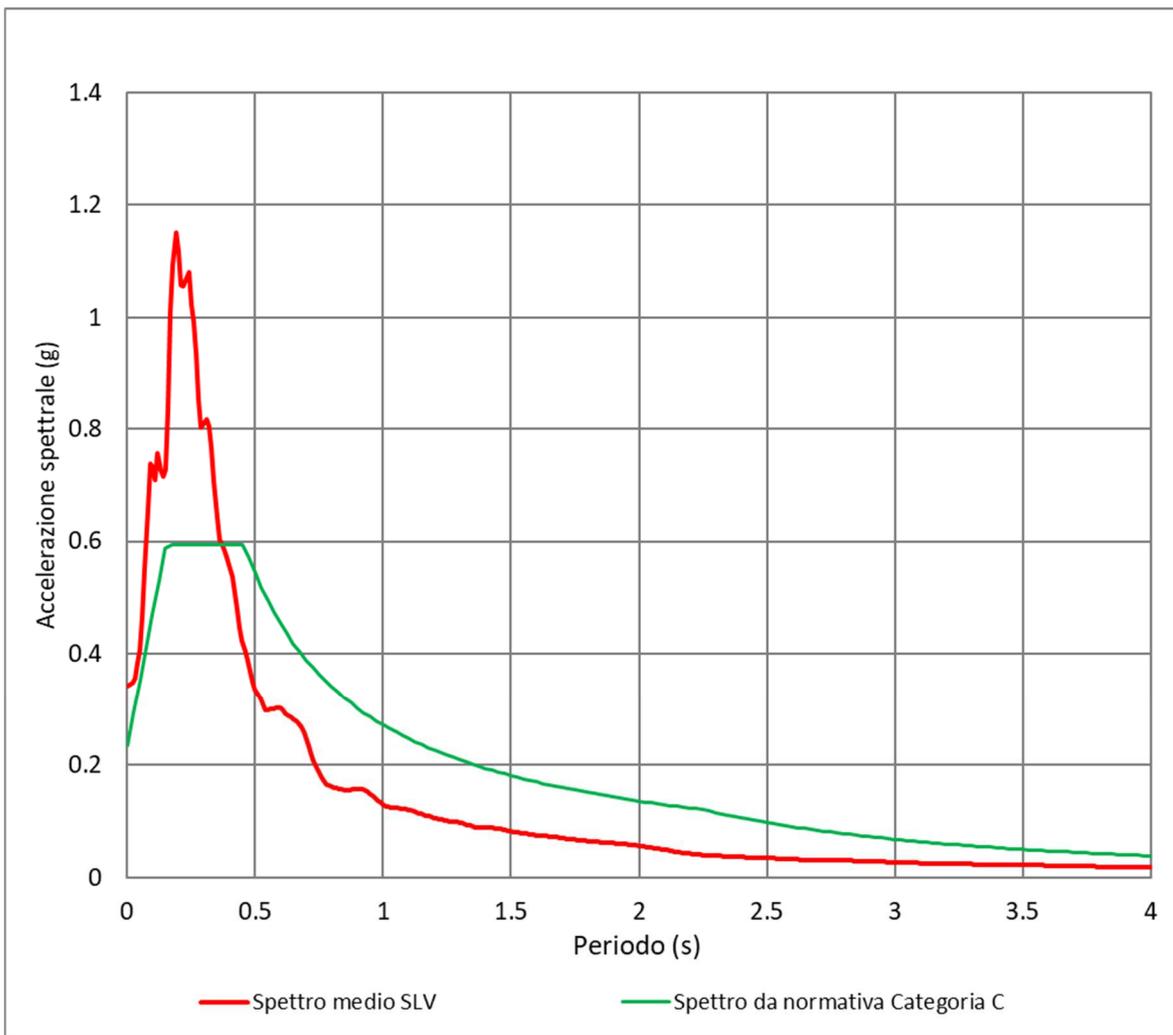


Fig. 20 – Confronto tra lo spettro medio in output in accelerazione per la verticale “Monte” e lo spettro di riferimento da normativa per la categoria di sottosuolo C

Fattore di amplificazione	Valore calcolato da RSL	Valore da abachi RER	Differenza (%)
FPGA	2.08	1.90	9.32%
FA <sub>0.1-0.5</sub>	2.05	2.10	-2.48%
FA <sub>0.4-0.8</sub>	1.43	2.00	-28.36%
FA <sub>0.7-1.1</sub>	1.18	1.40	-15.78%
FA <sub>0.5-1.5</sub>	1.22	-	-
FH <sub>0.1-0.5</sub>	2.06	2.30	-10.46%
FH <sub>0.5-1.0</sub>	1.47	1.60	-8.37%
FH <sub>0.5-1.5</sub>	1.40	-	-

Tab. 7 – Fattori di amplificazione calcolati per la verticale “Monte”

6.3.2 Verticale “Valle”

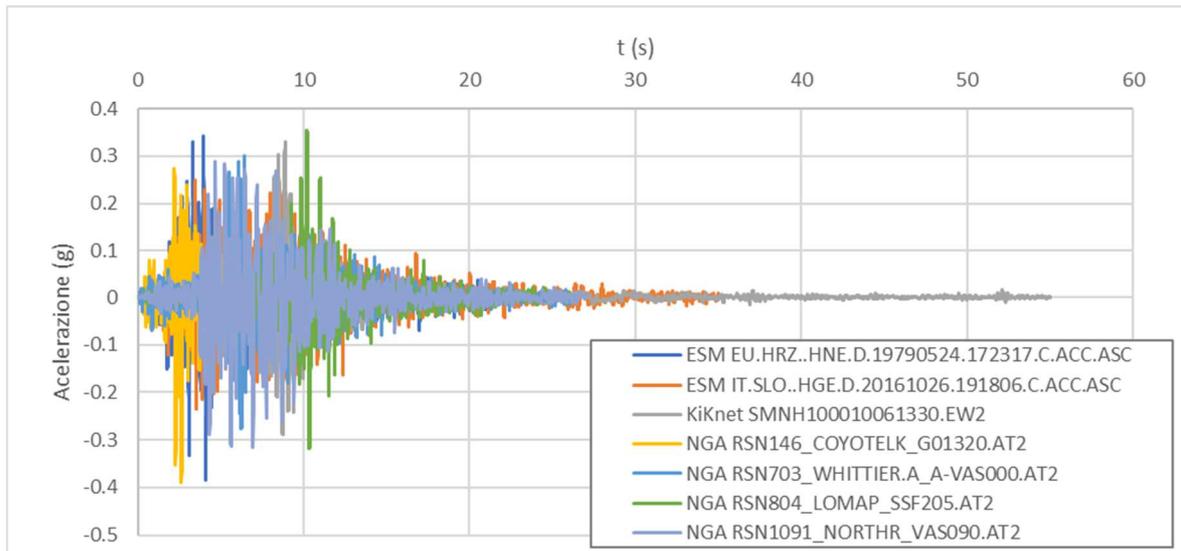


Fig. 21 – Accelerogrammi di output per la verticale “Valle”

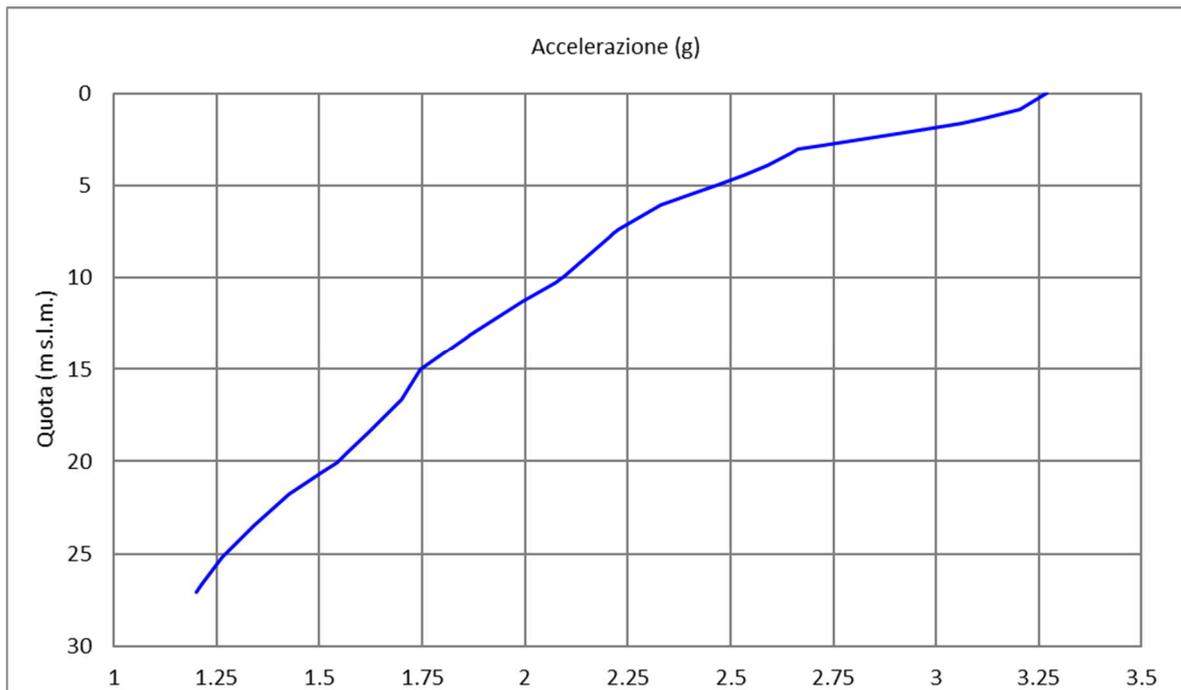


Fig. 22 – Curva di variazione dell'accelerazione con la profondità per la verticale “Valle”

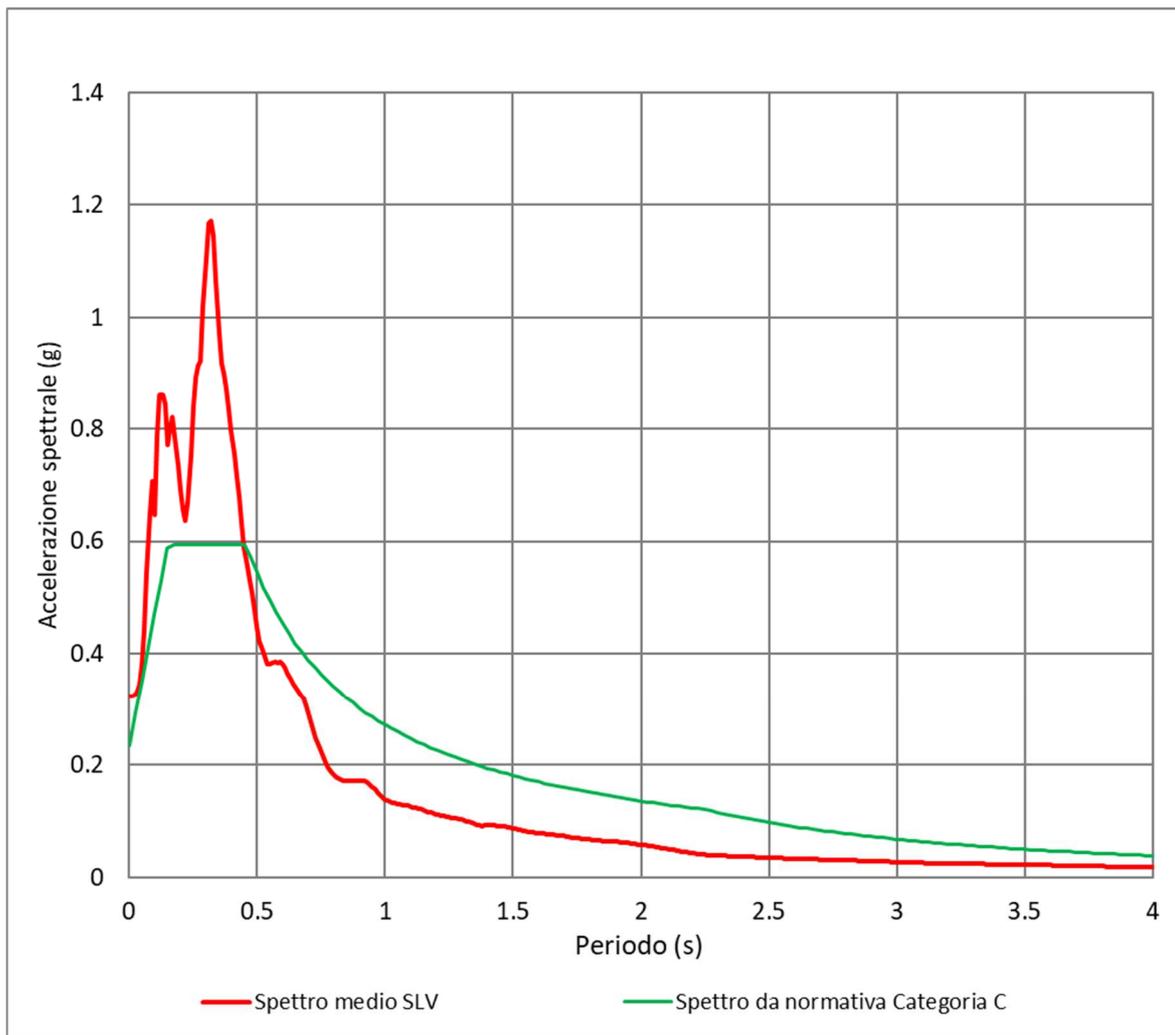


Fig. 23 – Confronto tra lo spettro medio in output in accelerazione per la verticale “Valle” e lo spettro di riferimento da normativa per la categoria di sottosuolo C

Fattore di amplificazione	Valore calcolato da RSL	Valore da abachi RER	Differenza (%)
FPGA	2.04	1.90	7.59%
FA <sub>0.1-0.5</sub>	2.24	2.10	6.71%
FA <sub>0.4-0.8</sub>	1.75	2.00	-12.62%
FA <sub>0.7-1.1</sub>	1.28	1.40	-8.71%
FA <sub>0.5-1.5</sub>	1,37	-	-
FH <sub>0.1-0.5</sub>	2.32	2.30	0.67%
FH <sub>0.5-1.0</sub>	1.66	1.60	3.51%
FH <sub>0.5-1.5</sub>	1.56	-	-

Tab. 8 – Fattori di amplificazione calcolati per la verticale “Valle”

## 7. STABILITÀ DI VERSANTE

Come detto in precedenza il nucleo abitato di Beduzzo Crocetta è interessato da una frana quiescente. Pertanto su quest'area, oltre all'analisi di riposta sismica locale illustrata nel capitolo precedente, è stata eseguita analisi di stabilità di versante come di seguito descritto.

### 7.1 Metodo di verifica

La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità è stata condotta mediante il programma di calcolo SLOPE 2022 della GEOSTRU. In particolare, in questa sede si è fatto riferimento al metodo di Janbu, che prevede l'utilizzo di superfici di scivolamento di forma qualsiasi.

Il metodo di Janbu è un semplice, ma accurato, metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale  $N_i$  agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Il fattore di sicurezza risulta calcolato dalla seguente formula

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i} / F}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

in cui i diversi parametri assumono i significati descritti in Fig. 24

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	36 di 62

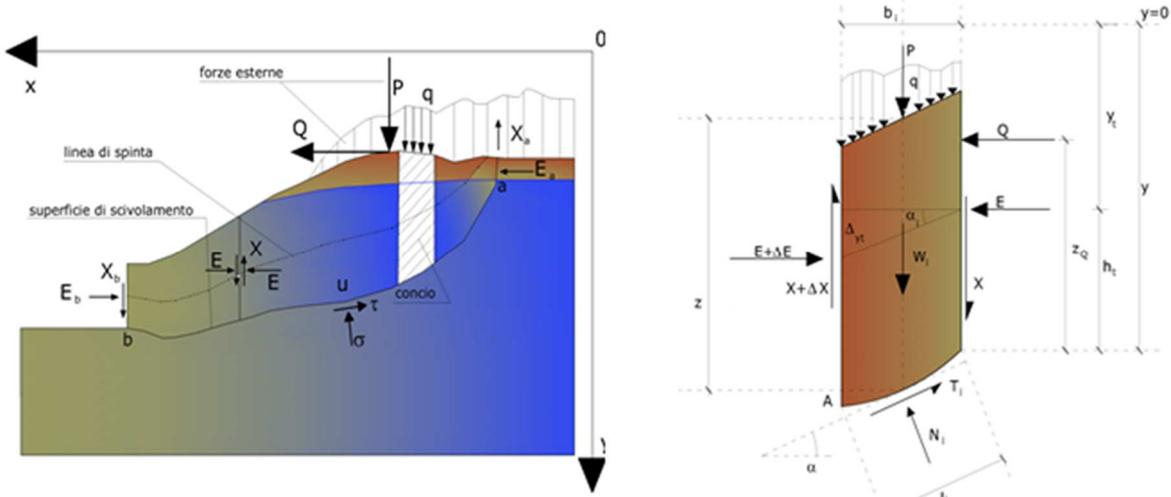


Fig. 24 – Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Janbu, inoltre, propone un metodo per la correzione del fattore di sicurezza che tiene conto della forma della frana e dei parametri geotecnici:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici (Fig. 25). Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

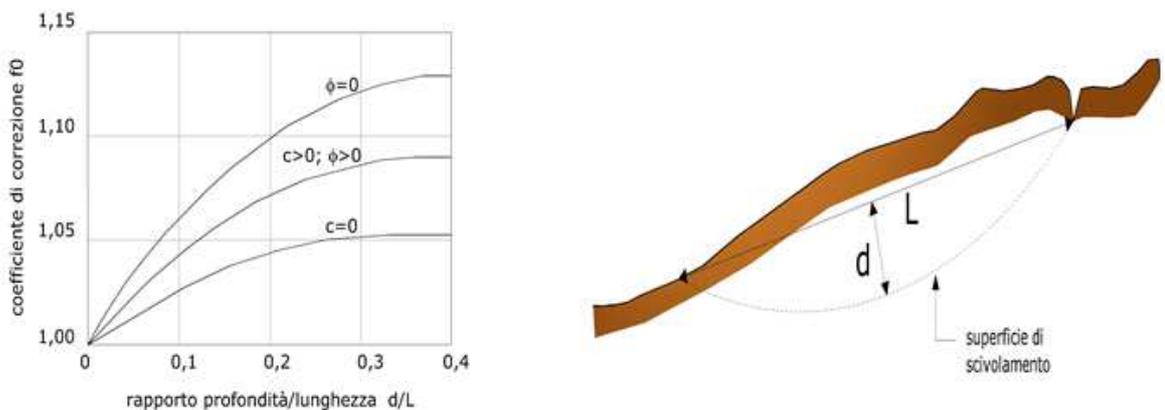


Fig. 25 – Correzione del fattore di sicurezza in funzione della forma della frana e dei parametri geotecnici

La stabilità nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico considerando un incremento della spinta a tergo del blocco dovuta all'accelerazione (verticale ed orizzontale) provocata dal sisma stesso. Tali valori dell'accelerazione provocata dal sisma sono valutati come una frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  e i coefficienti moltiplicatori di  $g$  ( $K_x$  e  $K_v$ ) variano con le caratteristiche sismiche della zona. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali

elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono quindi considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo  $F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro di ogni concio,  $W$  il peso del concio e  $K_x$  e  $K_y$  i coefficienti sismici orizzontale e verticale già introdotti in precedenza.

Gli effetti dello spostamento indotto dal sisma sono stati calcolati con il metodo di *Newmark*.

L'analisi alla *Newmark* è un metodo di analisi numerica utile alla definizione dello spostamento di una frana potenziale, considerata come un blocco rigido disposto su un pendio, imponendo le forze dinamiche (sisma) agenti sul blocco stesso. In sostanza il metodo valuta lo spostamento di un blocco di massa pari a quella del corpo in frana, sottoposto alla accelerazione indotta dal sisma (cfr. Fig. 26).

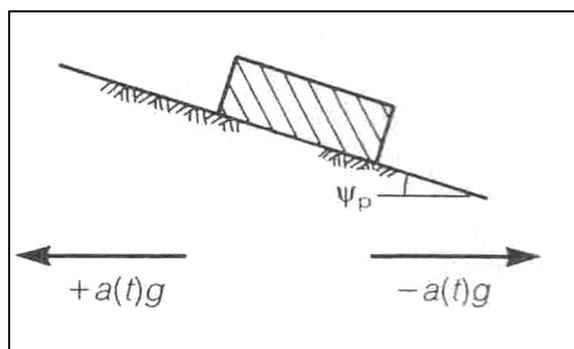


Fig. 26 – Schematizzazione del metodo di *Newmark*

Una volta definita la superficie di scorrimento il programma utilizzato (QSIM della GEOSTRU) definisce l'accelerazione critica che determina il movimento del blocco equivalente al volume della frana e successivamente confronta tale valore con l'accelerogramma del sito per valutare per quanto tempo il blocco rimane in condizioni di accelerazione superiori a quella critica (cfr. Fig. 27).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	38 di 62

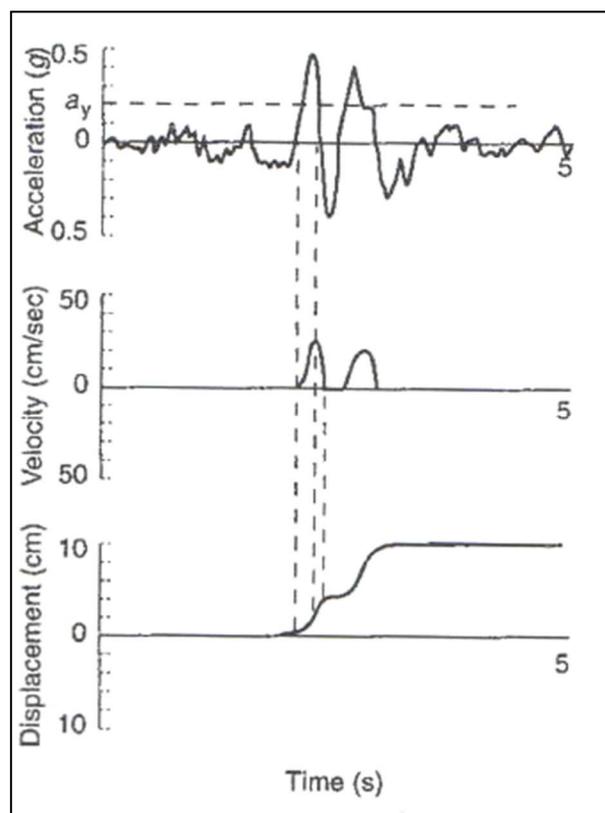


Fig. 27 – Esempificazione della metodologia di *Newmark*, con doppia integrazione dell'accelerogramma

Il calcolo degli spostamenti permanenti avviene attraverso la doppia integrazione (accelerazione>>velocità>>spostamento) delle porzioni dell'accelerogramma che supera il valore di accelerazione critica (al di sopra del quale si ha instabilità).

In pratica il programma calcola lo spostamento massimo per ciascun accelerogramma considerato di riferimento, per la porzione di pendio di cui il metodo pseudostatico ha definito il fattore di sicurezza minimo.

## 7.2 Ipotesi verificate

Le verifiche sono state effettuate per la zona di attenzione per instabilità di versante identificata a Beduzzo Crocetta nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Si tratta un corpo di frana quiescente che si sviluppa lungo il versante in sinistra idrografica al T. Parma per una lunghezza di circa 850 metri, il cui fronte giunge sino alla zona di fondovalle. Il substrato della coltre franosa è rappresentato dal Flysch di Monte

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	39 di 62

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

Caio, costituito da una formazione torbiditica calcareo-marnosa, con strati da medi a molto spessi con una base arenitica media o fine passante a marna; al tetto sono presenti intervalli sottili e medi di argilla nerastra fissile.

La coltre franosa, indagata attraverso il sondaggio a carotaggio continuo appositamente eseguito (Fig. 28), presenta uno spessore di 23,50 metri ed è costituita da elementi lapidei calcarei dispersi in una matrice argilloso-limosa. All'interno dell'ammasso sono stati rinvenuti resti vegetali arborei torbificati.

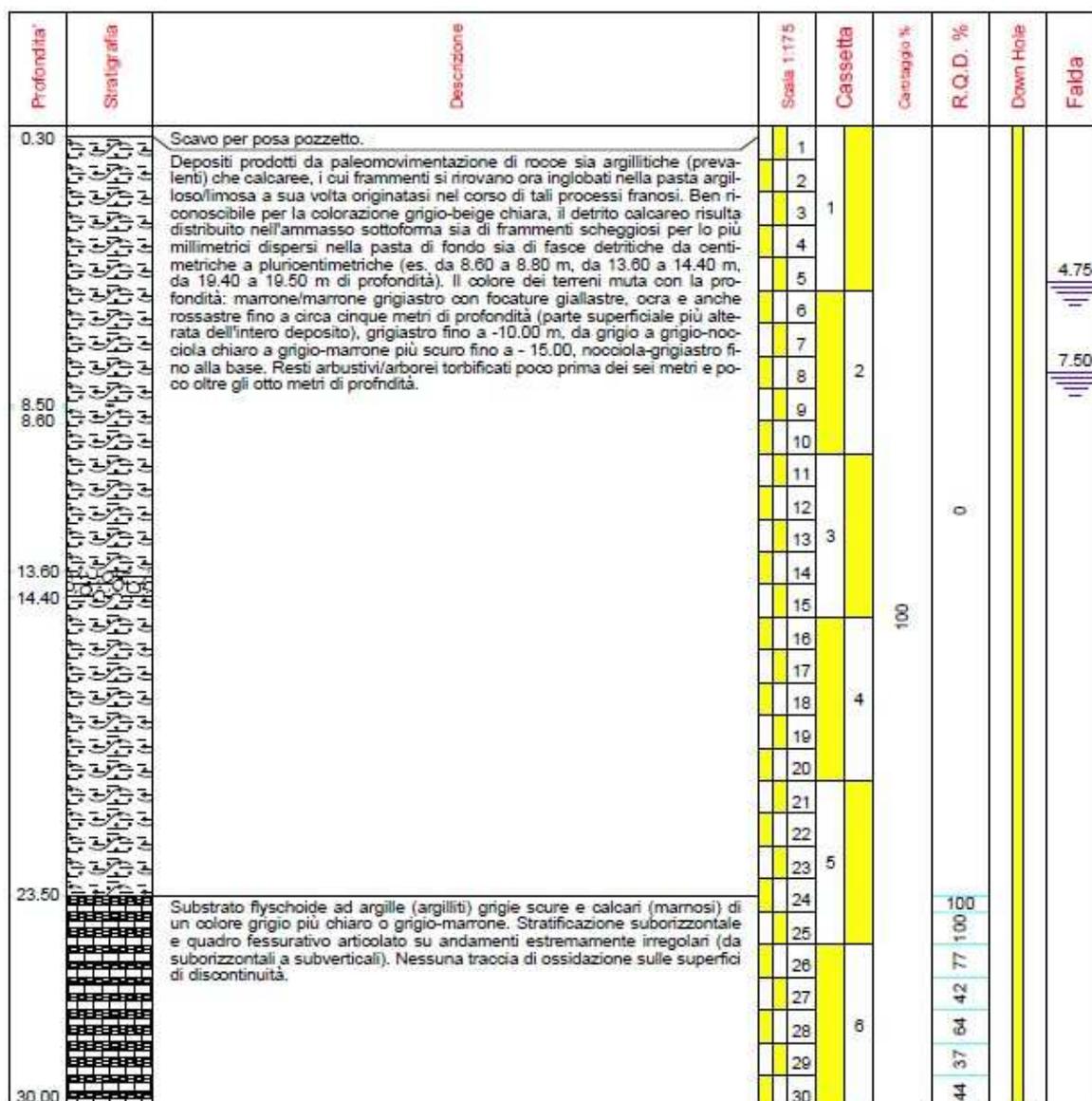


Fig. 28 – Stratigrafia del sondaggio a carotaggio continuo eseguito sul corpo di frana

Le dimensioni dell'ammasso franoso non hanno consentito, anche in relazione ai fondi disponibili, di effettuare le indagini che l'Allegato A3 punto C) della DGR 476/2021 indica

come opportune per la verifica di stabilità in condizioni sismiche. In particolare, non sono disponibili dati affidabili relativi ai parametri geotecnici dei materiali in frana.

Per questo motivo si è preferito procedere con una metodologia di verifica mediante *back analysis*: definita la superficie di scorrimento della frana si è effettuata una verifica in condizioni non sismiche che ha fornito le coppie dei parametri geotecnici  $\phi'$  e  $c'$  che determinano un coefficiente di sicurezza  $F_s=1$  (cfr. Fig. 29).

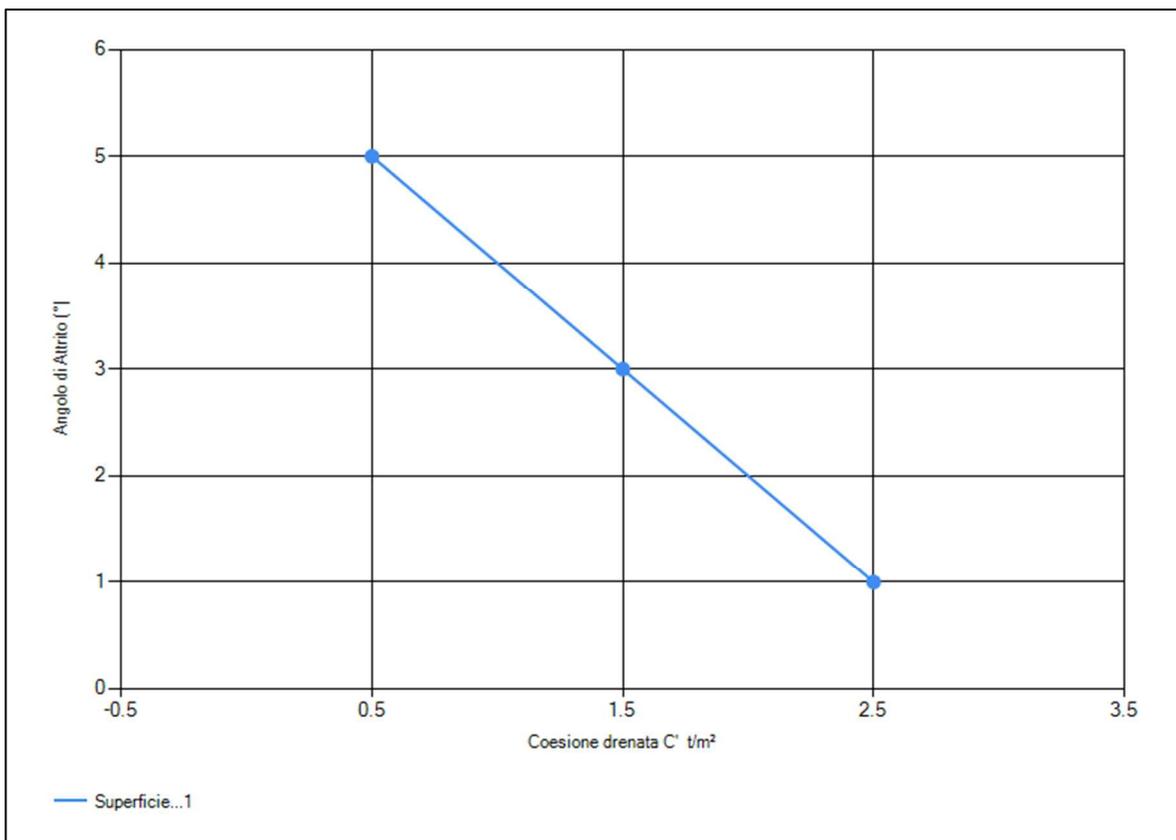


Fig. 29 – Esempio *Back analysis* per la frana di Beduzzo Crocetta

Successivamente è stata calcolata l'accelerazione critica ed è quindi stata effettuata l'analisi dinamica.

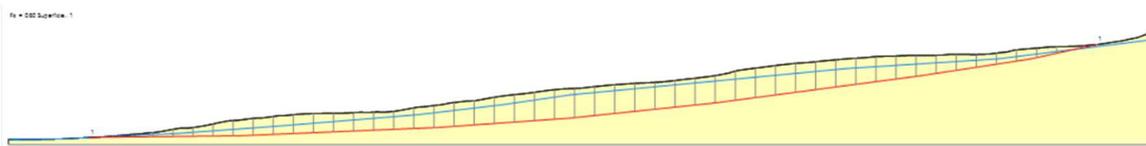


Fig. 30 – Sezione analizzata con suddivisione in conci del corpo di frana

La verifica dinamica è stata effettuata per tre dei sette accelerogrammi di output ottenuto dall'analisi RSL, quindi opportunamente scalati secondo le caratteristiche del sito (cfr. § 6.1.5).

Nella seguente Tab. 11 sono riportati gli spostamenti massimi in cm, calcolati per ciascuno dei tre accelerogrammi.

Accelerogramma	Spostamento massimo
NGA RSN1091_NORTHHR_VAS090.AT2	54.831 cm
NGA RSN804_LOMAP_SSF205.AT2	38.121 cm
NGA RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2	29.591 cm

Tab. 9 – Spostamento massimo calcolato per i tre accelerogrammi

Di seguito si riportano i grafici dei sismi analizzati con indicati in rosso i punti con accelerazione superiore all'accelerazione critica che determinano spostamento.

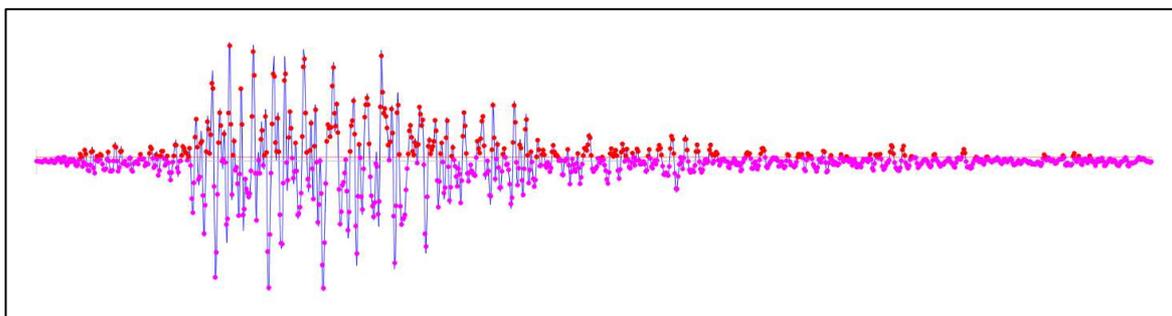


Fig. 31 – Analisi dinamica: accelerogramma NGA RSN1091\_NORTHHR\_VAS090.AT2

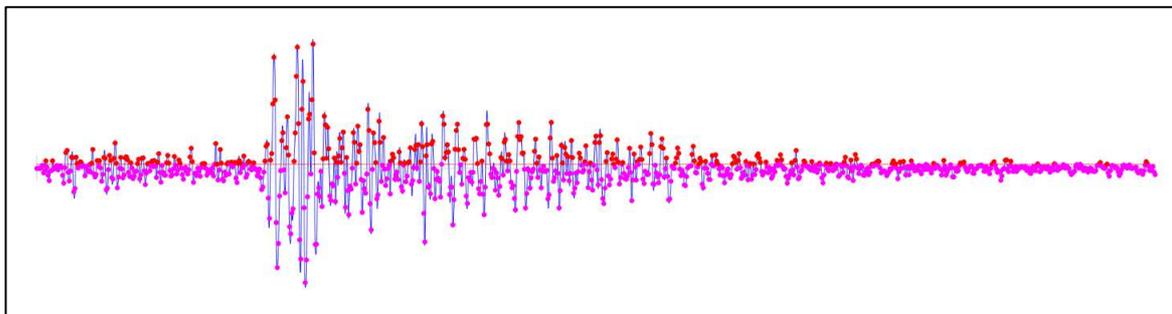


Fig. 32 – Analisi dinamica: accelerogramma NGA RSN804\_LOMAP\_SSF205.AT2

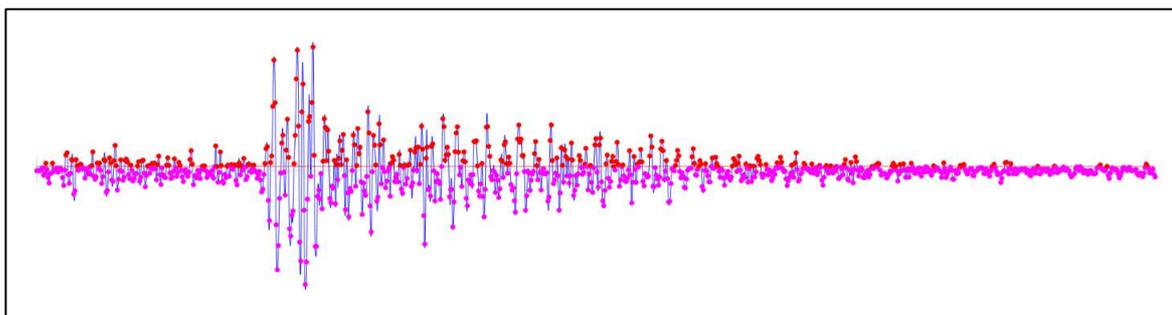


Fig. 33 – Analisi dinamica: accelerogramma NGA RSN703\_WHITTIER.A\_A-VAS000.AT2

Nella seguente Fig. 34 si riporta il risultato del caso più critico, relativo all'accelerogramma NGA RSN1091\_NORTHR\_VAS090.AT2

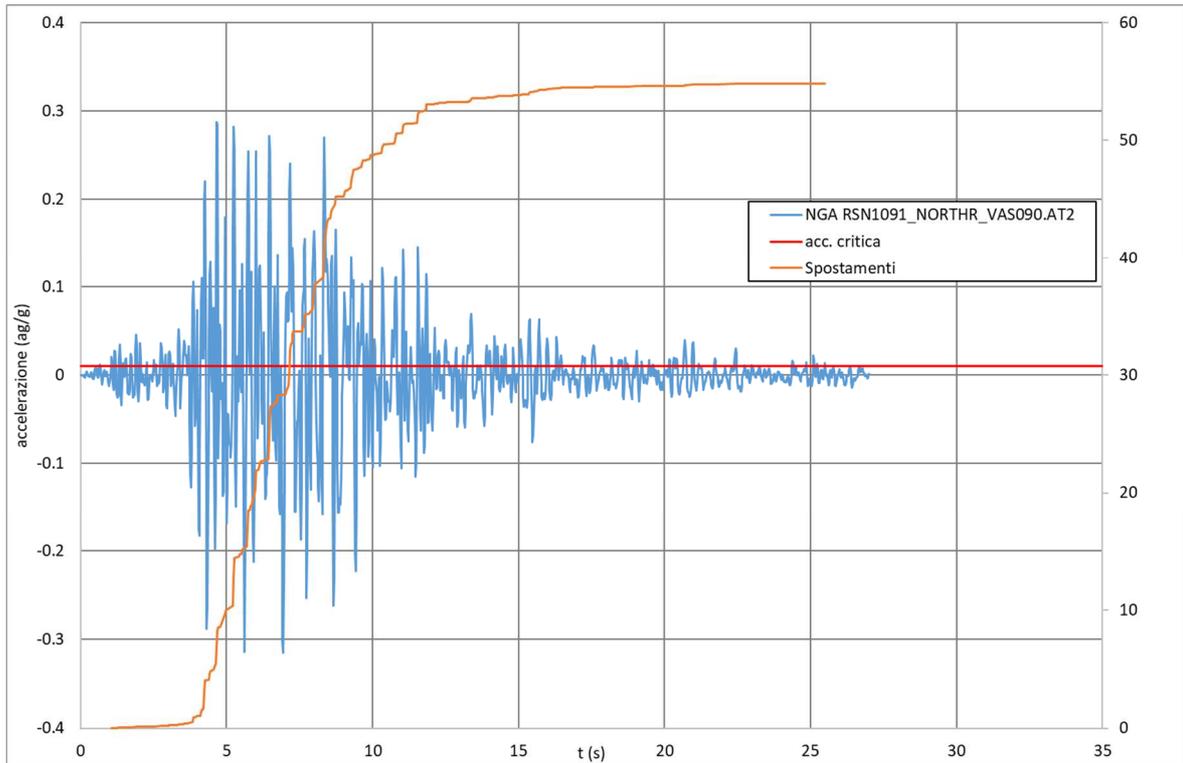


Fig. 34 – Risultati della verifica dello spostamento della frana di Beduzzo Crocetta per  $F_s=1$  per il sisma NGA RSN1091\_NORTHR\_VAS090.AT2

## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

### 8.1 Carta delle indagini

Nell'aggiornamento della Carta delle indagini sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione, unitamente ai dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o geofisiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale.

Esse sono state distinte in base alla tipologia (Fig. 35).

	Sondaggio a carotaggio continuo
	Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
	Sondaggio a distruzione di nucleo
	Sondaggio a carotaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato
	Downhole
	Trincea o pozzetto esplorativo
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
	Prova penetrometrica dinamica super pesante (DS)
	Prova penetrometrica dinamica pesante (DP)
	Stazione microtremore a stazione singola (HVSr)
	Stratigrafia zona MS (teorica)
	MASW
	Profilo sismico a rifrazione
	Profilo sismico a riflessione

Fig. 35 – Legenda della Carta delle indagini

Nelle carte sono indicate anche alcune indagini esterne ai perimetri dell'area oggetto di microzonazione sismica di Livello 2 e 3, ove sono state indirizzate le analisi, ma ugualmente utili a definire le caratteristiche litostratigrafiche e/o geofisiche dei terreni.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	44 di 62

## 8.2 Carta geologico-tecnica per microzonazione sismica

Nella Carta geologico-tecnica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse.

Dovendo rappresentare l'intero territorio comunale alla scala 1:10.000 sono state allestite tre tavole.

Pertanto la legenda della carta geologico-tecnica è diventata la seguente (Fig. 36):



Fig. 36 – Legenda della Carta geologico tecnica

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	45 di 62

### 8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili integrati con quelli di nuova acquisizione, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni.

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello.

In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura, con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ ).

Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- $F_0 \leq 0,6$  Hz
- $0,6 \text{ Hz} < F_0 \leq 1$  Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$  Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$  Hz
- $F_0 > 8$  Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un contrasto d'impedenza più o meno alto.

In Fig. 37 si riporta uno stralcio della legenda di tale elaborato cartografico.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	46 di 62

frequenza picco significativo (Hz)	ampiezza picco			spessore atteso (m)
	$1,5 < \text{HVSr} < 2$	$2 < \text{HVSr} < 3$	$\text{HVSr} \geq 3$	
$F_0 \leq 0,6$				> 200
$0,6 < F_0 \leq 1$				200 – 100
$1 < F_0 \leq 2$				100 – 30
$2 < F_0 \leq 8$				30 – 10
$F_0 > 8$				< 10
Assenza di picchi significativi				

A lato del simbolo sono riportate la frequenze relative al primo picco significativo (in rosso) e al secondo picco (in blu) se presente

Fig. 37– Legenda della Carta delle frequenze

#### 8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

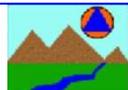
La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

In tale elaborato l'intero territorio comunale viene distinto a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti categorie:

- 1) **zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido;
- 2) **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello;
- 3) **zone suscettibili di instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni (queste ultime non presenti sul territorio monchiese) e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Le zone stabili sono state individuate dove affiora il substrato lapideo e risultano particolarmente estese in corrispondenza del settore meridionale del territorio comunale.

La categoria dominante è quella delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, all'interno della quale sono state operate ulteriori distinzioni. Infatti, sulla base delle

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	47 di 62

caratteristiche litostratimetriche, sono stati identificate 9 microzone omogenee ognuna con un proprio profilo stratigrafico tipo (cfr. Fig. 38):

- Zona 1 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ( $V_s < 800$  m/s) di tipo ALS, ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m;
- Zona 2 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ( $V_s < 800$  m/s) di tipo AL o GR o COS, ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m;
- Zona 3 - Successione stratigrafica costituita da substrato geologico non rigido ( $V_s < 800$  m/s), ricoperto da depositi di versante, a granulometria prevalentemente argillosa e spessore medio pari a circa 5,00 m;
- Zona 4 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ( $V_s < 800$  m/s), ricoperto da una coltre di depositi alluvionali grossolani di spessore generalmente non superiore a 5,00 m;
- Zona 5 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ( $V_s < 800$  m/s), ricoperto da una coltre di depositi morenici di spessore medio pari a circa 5,00 m;
- Zona 6 - Successione stratigrafica costituita da un substrato non rigido ( $V_s < 800$  m/s), ricoperto da una coltre di depositi a granulometria prevalentemente fine, di spessore non definibile per carenza di dati litostratimetrici;
- Zona 7 - Successione stratigrafica costituita da un substrato non rigido ( $V_s < 800$  m/s), ricoperto da una coltre di depositi a granulometria prevalentemente grossolana, di spessore non definibile per carenza di dati litostratimetrici;
- Zona 8 - Successione stratigrafica costituita da un substrato rigido ( $V_s > 800$  m/s), ricoperto da una coltre di depositi a granulometria prevalentemente fine, di spessore non definibile per carenza di dati litostratimetrici;
- Zona 9 - Successione stratigrafica costituita da un substrato rigido ( $V_s > 800$  m/s), ricoperto da una coltre di depositi a granulometria prevalentemente grossolana, di spessore non definibile per carenza di dati litostratimetrici.

La Fig. 38 mostra le colonne stratigrafiche sintetiche che caratterizzano le MOPS (delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	48 di 62

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

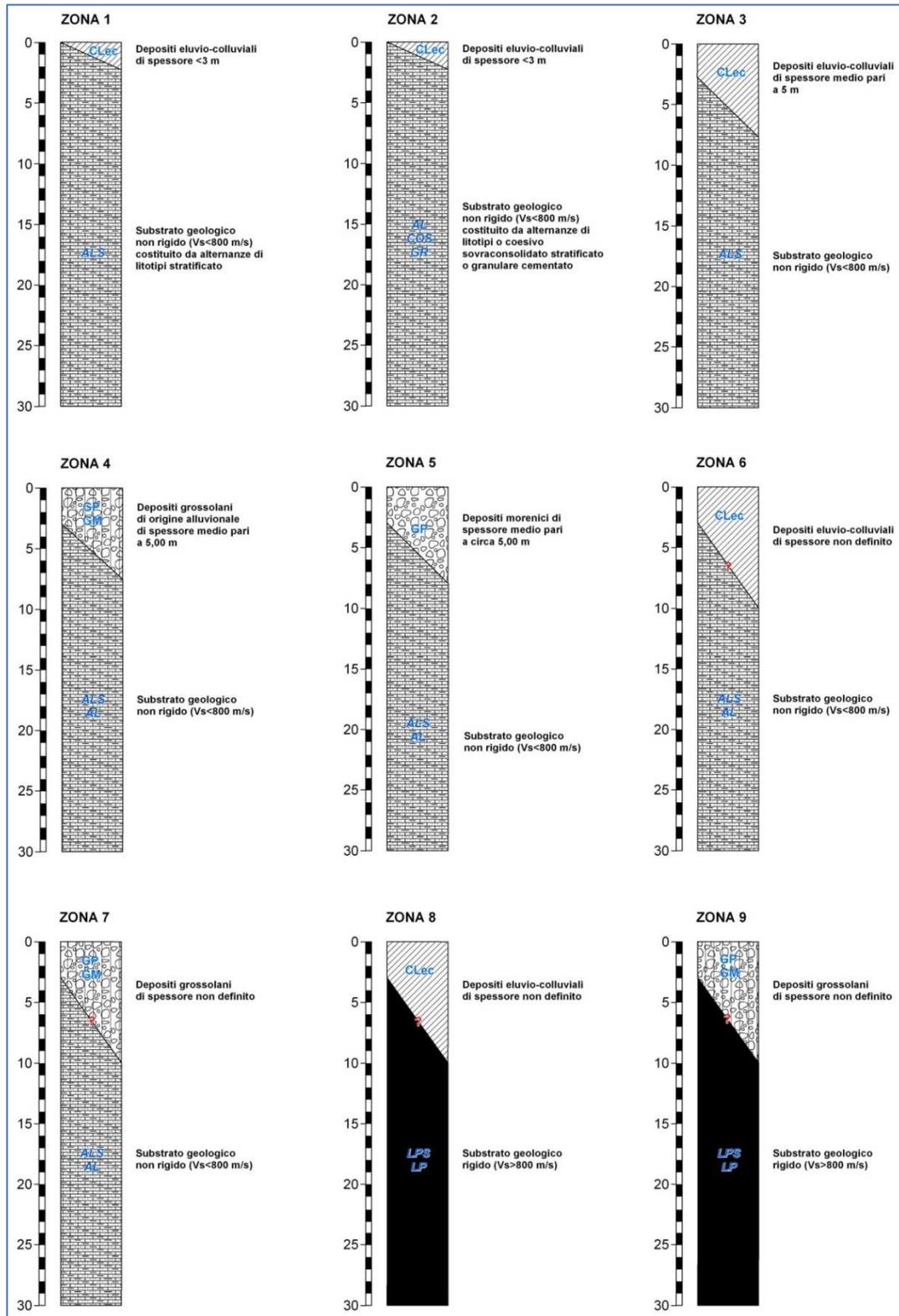


Fig. 38 - Colonne stratigrafiche sintetiche relative alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

In estesi settori del territorio comunale sono state cartografate zone di attenzione per instabilità, riconducibili a fenomeni di instabilità di versante attivi e quiescenti come di seguito descritte (cfr. Fig. 39):

- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 10. Coltre di spessore <7,5 m, costituita da materiali prevalentemente argilloso-limosi con frammenti lapidei eterometrici, sovrastante ad un substrato di alternanze di litotipi stratificati di tipo non rigido ( $V_s < 800$  m/s);
- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 11. Coltre di spessore compreso tra 7,5 e 15 m, costituita da materiali prevalentemente argilloso-limosi con frammenti lapidei eterometrici, sovrastante un substrato di alternanze di litotipi stratificati di tipo non rigido ( $V_s < 800$  m/s);
- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 12. Coltre di spessore maggiore di 10 m, costituita da materiali prevalentemente argilloso-limosi con frammenti lapidei eterometrici, sovrastante un substrato di alternanze di litotipi di tipo rigido ( $V_s > 800$  m/s);
- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 13. Corpo di frana di spessore non definibile per carenza di dati litostratimetrici, impostato su un substrato di tipo non rigido ( $v_s < 800$  m/s);
- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 14. Corpo di frana di spessore non definibile per carenza di dati litostratimetrici, impostato su un substrato di tipo rigido ( $v_s > 800$  m/s).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	50 di 62

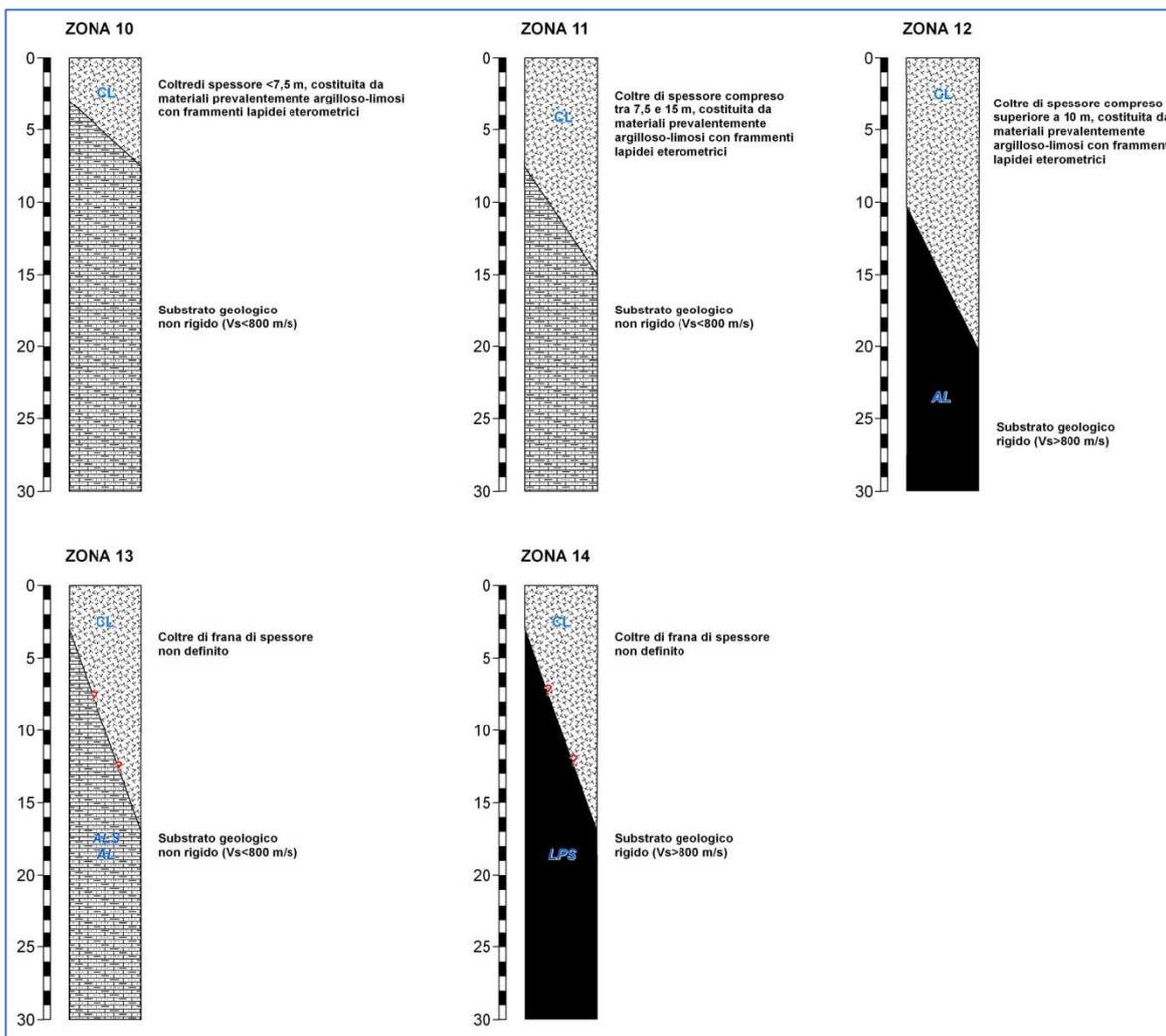


Fig. 39 - Colonne stratigrafiche sintetiche relative alle zone di attenzione per instabilità di versante

Infine nella carta delle MOPS sono state riportate le forme di superficie e sepolte (conoide alluvionale, falda detritica, cresta e picco isolato) e le tracce per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche.

### 8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, per tutte le aree oggetto di studio è stata redatta la Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).

Tale cartografia costituisce un aggiornamento, anche alla luce delle nuove indagini, di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello. In tali elaborati sono ubicati

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	51 di 62

tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (HVSr, MASW) e indicando il corrispondente valore di VsH (in m/s), dove:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

H = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*  
 h<sub>i</sub> = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino al *bedrock*)  
 V<sub>s<sub>i</sub></sub> = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al *bedrock*);

o di Vs30 (sempre in m/s), dove:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

h<sub>i</sub> = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m);  
 V<sub>s<sub>i</sub></sub> = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m).

In Fig. 40 si riporta uno stralcio della legenda di tale elaborato cartografico:

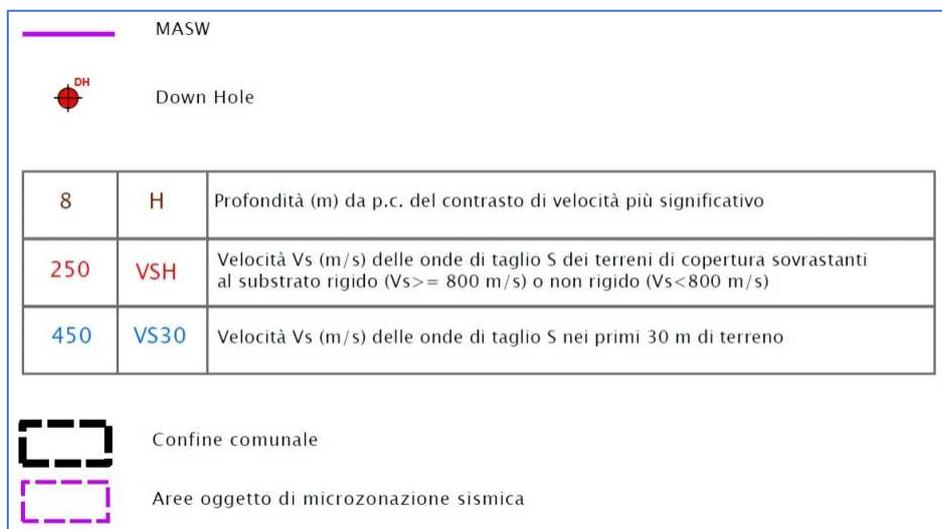


Fig. 40 – Legenda della Carta delle velocità delle onde di taglio S

## 8.6 Carte di microzonazione sismica

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 3 in scala 1:5.000 fanno parte degli elaborati grafici conclusivi del presente studio.

L'amplificazione è stata quantificata in termini di:

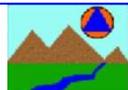
- $F_{PGA} = PGA/PGA_0$ , dove  $PGA_0$  è l'accelerazione massima orizzontale a periodo  $T=0$  al suolo di riferimento e  $PGA$  è l'accelerazione massima orizzontale a periodo  $T=0$  alla superficie del sito;
- $FA = SA/SA_0$ , dove  $SA_0$  è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e  $SA$  è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi  $T$ : SA1 per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , SA2 per  $0,4s \leq T \leq 0,8s$ , SA3 per  $0,7s \leq T \leq 1,1s$ , SA4 per  $0,5s \leq T \leq 1,5s$ ;
- $FH = SI/SI_0$ , dove  $SI_0$  è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e  $SI$  è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi  $T$ : SI1 per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , SI2 per  $0,5s \leq T \leq 1,0s$ , SI3 per  $0,5s \leq T \leq 1,5s$ .

Per le aree sottoposte ad analisi di secondo livello i valori dei fattori di amplificazione (FA) sono stati ricavati dalle tabelle allegate alla DGR 12 aprile 2021, n. 476 del della Regione Emilia-Romagna.

La scelta dell'abaco per la stima dei fattori di amplificazione è stata effettuata sulla base delle caratteristiche sismostratigrafiche del sottosuolo.

Per la zona di suscettibilità per instabilità di Beduzzo Crocetta, sottoposta ad analisi di Livello 3, i fattori di amplificazione sono stati viceversa determinati attraverso l'analisi di risposta sismica locale descritta nel Cap. 6. Inoltre per queste zone è indicato anche lo spostamento massimo atteso (FRT) stimato attraverso l'analisi di stabilità del versante (Cap. 7).

In Fig. 41 sono state rappresentate le Zone oggetto di studio, distinte sulla base delle tabelle utilizzate per l'attribuzione dei fattori di amplificazione.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	53 di 62

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

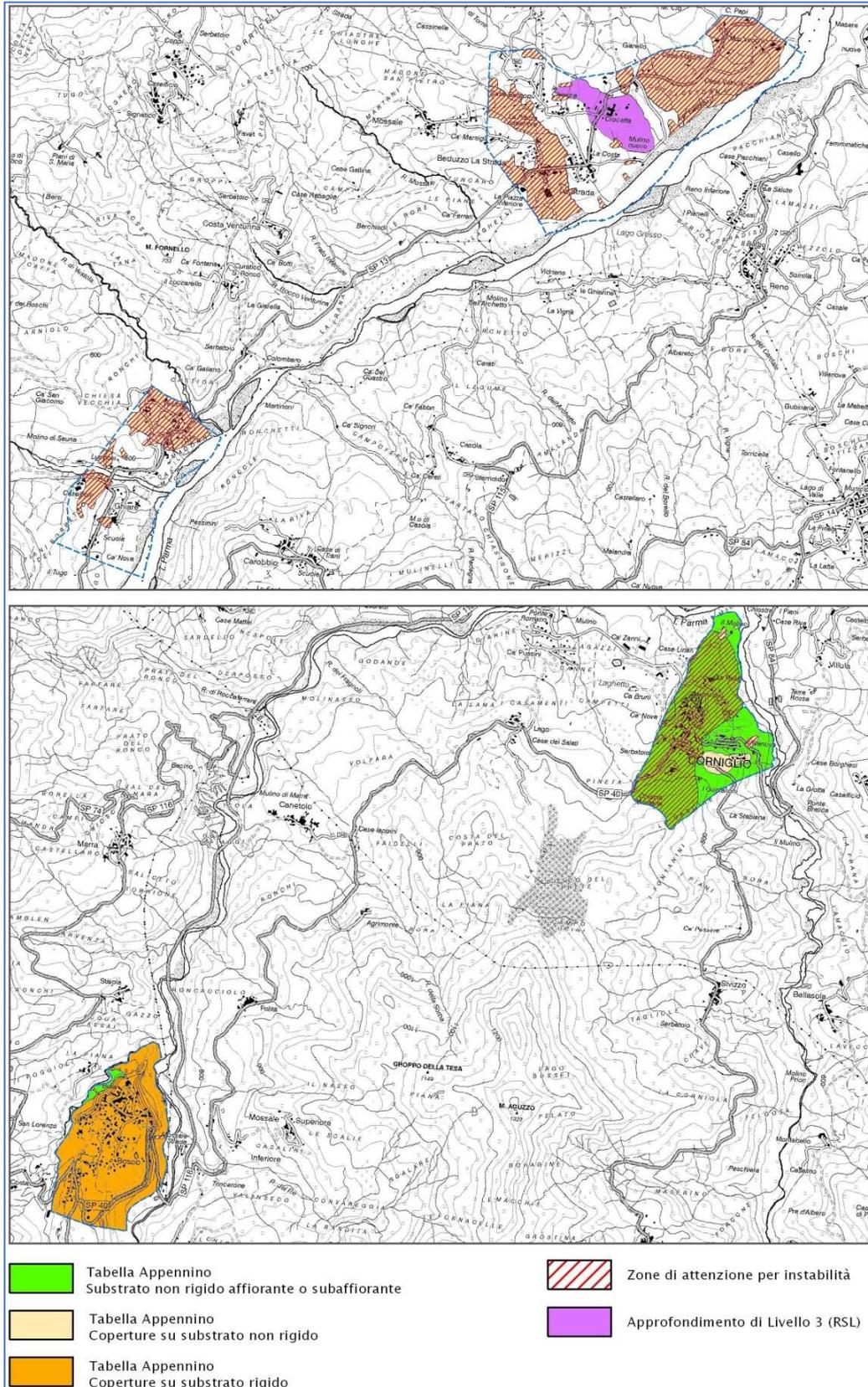


Fig. 41 - Suddivisione delle zone in base alle tabelle allegate alla DGR n. 476/2021 utilizzate per la determinazione dei fattori di amplificazione

 <p><b>Studio di geologia</b> dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	54 di 62

## STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
PGA					1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SA1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1
SA2					1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3
SA3					1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2

Fattori di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SI1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2
SI2					1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3

Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )

Tab. 10 – Tabella da utilizzare per la stima di F.A., in termini di PGA, SA e SI, nel caso di substrato marino non rigido con  $V_s \ll 800$  m/s affiorante o subaffiorante (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,8	1,7	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
15	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0
20	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,0
25	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,6	1,5	1,3	1,0
30		1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2
35		1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2
40		1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,4	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione PGA

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,2	1,8	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,8	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,9	2,8	2,4	1,7	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
30		3,0	2,7	2,0	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
35		3,1	2,9	2,4	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1
40		3,1	3,0	2,6	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
50		2,9	2,9	2,7	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,7	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,1	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,2	2,2	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
20	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1
25	2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1
30		2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2
35		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,2

Fattore di Amplificazione SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,0	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,7	1,9	1,5	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
30		2,5	1,8	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
35		3,1	2,3	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0
40		3,4	2,9	1,9	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
50		3,5	3,3	2,8	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,1	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,4	2,3	2,1	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0
20	2,4	2,4	2,3	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0
25	2,4	2,4	2,4	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,1
35		2,3	2,3	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione SI1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,6	1,9	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,9	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
30		2,9	2,3	1,6	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
35		3,2	2,8	1,9	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0
40		3,4	3,1	2,4	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0
50		3,2	3,2	2,9	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1

Fattore di Amplificazione SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)

Tab. 11 – Tabella da utilizzare per la stima di F.A., in termini di PGA, SA e SI, nel caso di substrato marino rigido con Vs >800 m/s con sovrastanti depositi di copertura maggiori di 2,5 metri (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)



STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,3	2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	
10	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	
20	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2		
25	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3		
30		2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3		
35		2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	
40		2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	
50		1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	

Fattore di Amplificazione PGA

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,2	1,8	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	
10	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,5	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	
20	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,3	
25	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,3	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione SAI (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,1	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,7	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	
20	2,6	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	
25	2,6	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,4	2,4	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione SII (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,3	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
20	2,9	2,6	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
25	3,6	3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	
30		3,3	2,7	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	
35		3,5	3,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1
40		3,5	3,2	2,6	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		3,3	3,3	3,0	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione SII2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
10	2,3	1,8	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
15	2,8	2,3	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3
20	3,2	2,9	2,3	1,8	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3
25	3,4	3,2	2,7	2,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3	
30		3,3	2,9	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	
35		3,3	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		3,2	3,1	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2
50		3,0	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
15	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
20	2,4	2,1	1,6	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
25	3,4	2,5	1,9	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
30		3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	
35		3,3	2,7	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1
40		3,6	3,1	2,2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
50		3,6	3,4	2,9	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)

Tab. 12 – Tabella da utilizzare per la stima di F.A., in termini di PGA, SA e SI, nel caso di substrato marino non rigido con Vs <<800 m/s con sovrastanti depositi di copertura maggiori di 2,5 metri (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)



Elaborato	Data	Agg.	Pag.
RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	57 di 62

La Tab. 13 riporta i Fattori di Amplificazione determinati secondo la DGR 12 aprile 2021, n. 476 e la Risposta Sismica Locale:

MOPS	ZONA	TABELLA F.A.	VS (m/s)	NOTE	FATTORI DI AMPLIFICAZIONE							
					PGA	FA 0,1-0,5 S	FA 0,4-0,8 S	FA 0,7-1,1 S	FA 0,5-1,5 S	FH 0,1-0,5 S	FH 0,5-1,0 S	FH 0,5-1,5 S
STAB	2001	Appennino - Substrato affiorante con Vs <<800 m/s	Vs30 = 450		1,6	1,6	1,5	1,3	-	1,6	1,4	-
	2002	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs30 = 400		1,8	1,7	1,6	1,4	-	1,7	1,5	-
	2003	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs5 = 250		1,6	1,5	1,4	1,3	-	1,5	1,4	-
	2004	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs5 = 350		1,4	1,3	1,4	1,3	-	1,4	1,3	-
	2005	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs5 = 450		1,3	1,3	1,4	1,3	-	1,3	1,3	-
INSTAB	2010	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs5 = 200		2,0	1,8	1,4	1,3	-	1,7	1,4	-
	2011	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs10 = 300		1,8	1,7	1,4	1,3	-	1,6	1,4	-
	2012	Appennino - Substrato con Vs >800 m/s	Vs15 = 300		1,6	1,4	1,0	1,0	-	1,3	1,0	-
	2011	RSL		Beduzzo Crocetta – zona monte	2,08	2,05	0,43	1,18	1,22	2,06	1,47	1,40
	2011	RSL		Beduzzo Crocetta – zona valle	2,04	2,24	1,75	1,28	1,36	2,32	1,66	1,56

Tab. 13 – Fattori di Amplificazione

Dal momento che gli abitati di Bosco e Corniglio ricadono in contesti morfologici caratterizzati da pendii di altezza > 30 m e con inclinazione media > 15°, sono state eseguite le verifiche al fine di valutare l'amplificazione dell'impulso sismico generata dalle condizioni topografiche (Figg. 42 e 43).

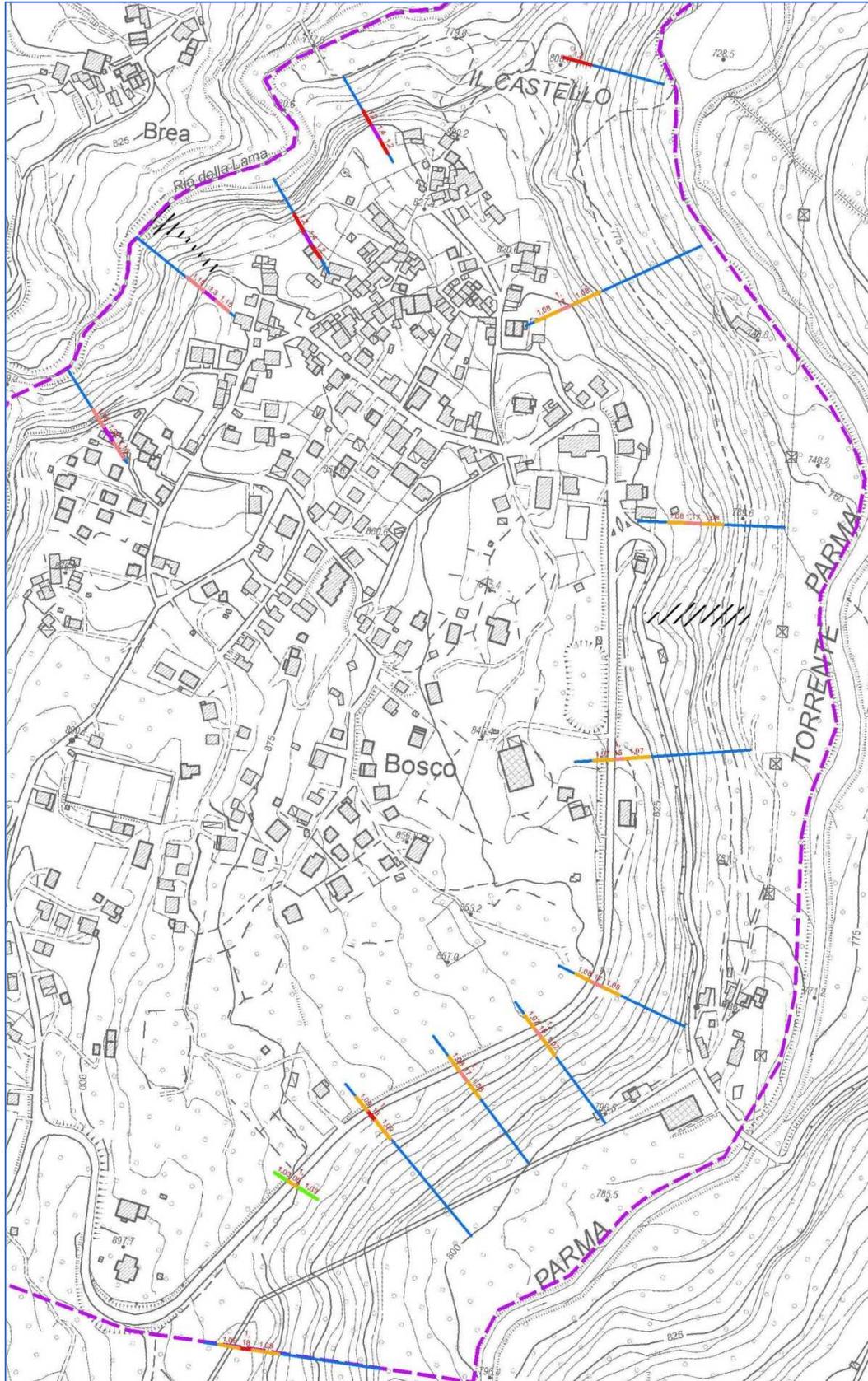


Fig. 42 – Ubicazione tracce sezioni topografiche Bosco

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	59 di 62

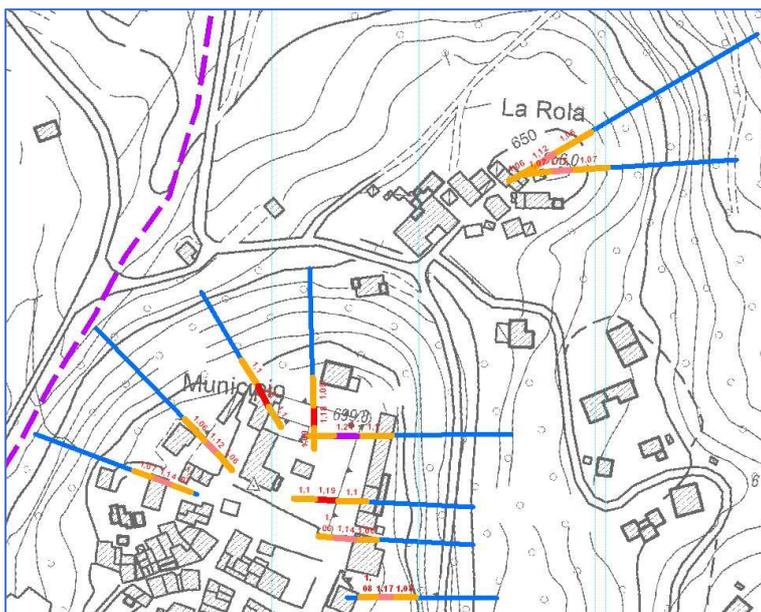


Fig. 43 – Ubicazione tracce sezioni topografiche Corniglio

Per il calcolo del Fattore di Amplificazione topografica  $S_T$ , sono state seguite le disposizioni e i suggerimenti contenuti nell'Allegato A2.2 degli indirizzi regionali (Fig. 44)

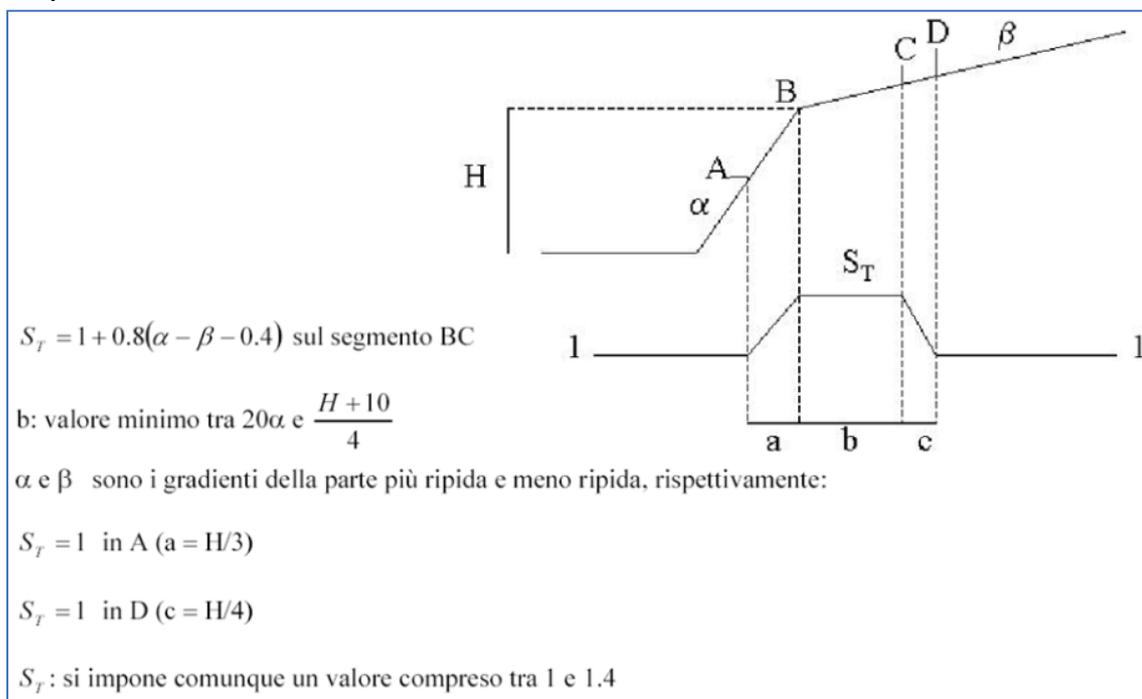


Fig. 44 – Calcolo del fattore di amplificazione topografica secondo gli indirizzi regionali

Infine sono state prodotte le carte dello scuotimento in accelerazione, che rappresenta lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in  $\text{cm/s}^2$ ).

Tale scuotimento è espresso attraverso il parametro  $H$ , dato dal prodotto dell'Acceleration Spectrum Intensity (ASI), integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per determinati intervallo di periodi, diviso per  $\Delta T$  e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H = \frac{ASI}{\Delta T} \times FA$$

I valori di ASI sono stati determinati attraverso gli spettri di risposta a pericolosità uniforme in pseudo-accelerazione con  $T_r$  pari a 475 anni, riferiti al baricentro di ogni MOPS.

I periodi considerati per la determinazione dello scuotimento atteso sono i seguenti:

- $0,1\text{s} \leq T \leq 0,5\text{s} \rightarrow H_{sm}$
- $0,4\text{s} \leq T \leq 0,8\text{s} \rightarrow H_{0,4-0,8\text{s}}$
- $0,7\text{s} \leq T \leq 1,1\text{s} \rightarrow H_{0,7-1,1\text{s}}$
- $0,5\text{s} \leq T \leq 1,5\text{s} \rightarrow H_{0,5-1,5\text{s}}$

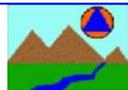
 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	61 di 62

## 9. ELENCO ELABORATI

- Relazione illustrativa
- Carta delle indagini in scala 1:5.000 e in scala 1:8.000
- Carta geologico-tecnica in scala 1:10.000
- Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica in scala 1:10.000
- Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica - FPGA in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica - FA<sub>0,1 - 0,5 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica - FA<sub>0,4 - 0,8 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica - FA<sub>0,7 - 1,1 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica - FA<sub>0,5 - 1,5 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica - FH<sub>0,1 - 0,5 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica - FH<sub>0,5 - 1,0 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica - FH<sub>0,5 - 1,5 s</sub> in scala 1: 5.000
- Carta di microzonazione sismica - H<sub>SM</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica - H<sub>0,4 - 0,8 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica - H<sub>0,7 - 1,1 s</sub> in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica - H<sub>0,5 - 1,5 s</sub> in scala 1:5.000

---

Allegato n° 1 – Indagini integrative

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	62 di 62

# ALLEGATO 1

## INDAGINI INTEGRATIVE

 <i>Studio di geologia</i> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2022	0	

<b>PARMAGEO</b> indagini geognostiche S.r.l. V. Argini sud, 31 • 43030 BASILICANOVA (PR) ☎ 0521.681030 • 📠 0521.1550449 info@parmageo.com • www.parmageo.com C.F., p. IVA e Reg. Impr. di PR: 01716130347 REA: 173188 • Cap. Soc.: 30.000,00 Euro int. vers.	Committente: <b>COMUNE DI CORNIGLIO</b>		Sondaggio N°: <b>Sdh</b>	Pag: <b>1/1</b>	
	Località: <b>Beduzzo (Corniglio, PR)</b>		Certificato di prova N°: <b>21-148.G Sc.DH</b>		
	Cantiere: <b>zona salumificio ITALFINE</b>		Data inizio: <b>29/12/2021</b>	Data fine: <b>03/01/2022</b>	
	Il geologo di cantiere: <b>Dr. S. Verduri</b>		Fluido perf.: <b>acqua</b>	Metodo: <b>carotaggio continuo</b>	
Il direttore del laboratorio: <b>Dr. E. Faccini</b>		Perforatrice: <b>MDT "80 V"</b>		Quota inizio: <b>p.c.</b>	

Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Scala 1:175	Cassetta	Carotaggio %	R.Q.D. %	Down Hole	Falda	
0.30		Scavo per posa pozzetto.  Depositi prodotti da paleomovimentazione di rocce sia argillitiche (prevalenti) che calcaree, i cui frammenti si rirovano ora inglobati nella pasta argilloso/limosa a sua volta originatasi nel corso di tali processi franosi. Ben riconoscibile per la colorazione grigio-beige chiara, il detrito calcareo risulta distribuito nell'ammasso sottoforma sia di frammenti scheggiosi per lo più millimetrici dispersi nella pasta di fondo sia di fasce detritiche da centimetriche a pluricentriche (es. da 8.60 a 8.80 m, da 13.60 a 14.40 m, da 19.40 a 19.50 m di profondità). Il colore dei terreni muta con la profondità: marrone/marrone grigiastro con focature giallastre, ocra e anche rossastre fino a circa cinque metri di profondità (parte superficiale più alterata dell'intero deposito), grigiastro fino a -10.00 m, da grigio a grigio-nocciola chiaro a grigio-marrone più scuro fino a - 15.00, nocciola-grigiastro fino alla base. Resti arbustivi/arborei torbificati poco prima dei sei metri e poco oltre gli otto metri di profondità.	1	1	100	0			
			2						
			3						
			4						
			5						
			6						
			7						
			8	2					
			9						
			10						
			11						
			12						
			13	3					
			14						
			15						
			16						
			17	4					
			18						
			19						
			20						
			21						
			22						
			23	5					
			24						
			25						
			26						
			27						
			28	6					
			29						
			30						
8.50								4.75	
8.60								7.50	
13.60									
14.40									
23.50		Substrato flyschoid ad argille (argilliti) grigie scure e calcari (marnosi) di un colore grigio più chiaro o grigio-marrone. Stratificazione suborizzontale e quadro fessurativo articolato su andamenti estremamente irregolari (da suborizzontali a subverticali). Nessuna traccia di ossidazione sulle superfici di discontinuità.	24	6	100	100		100	
			25						
			26						
			27						
			28						
			29						
			30						
30.00								77	
								42	
								64	
								37	
								44	

30.00

**NOTE:**

1) I livelli piezometrici indicati alla colonnina "FALDA" sono stati rilevati nelle seguenti condizioni:

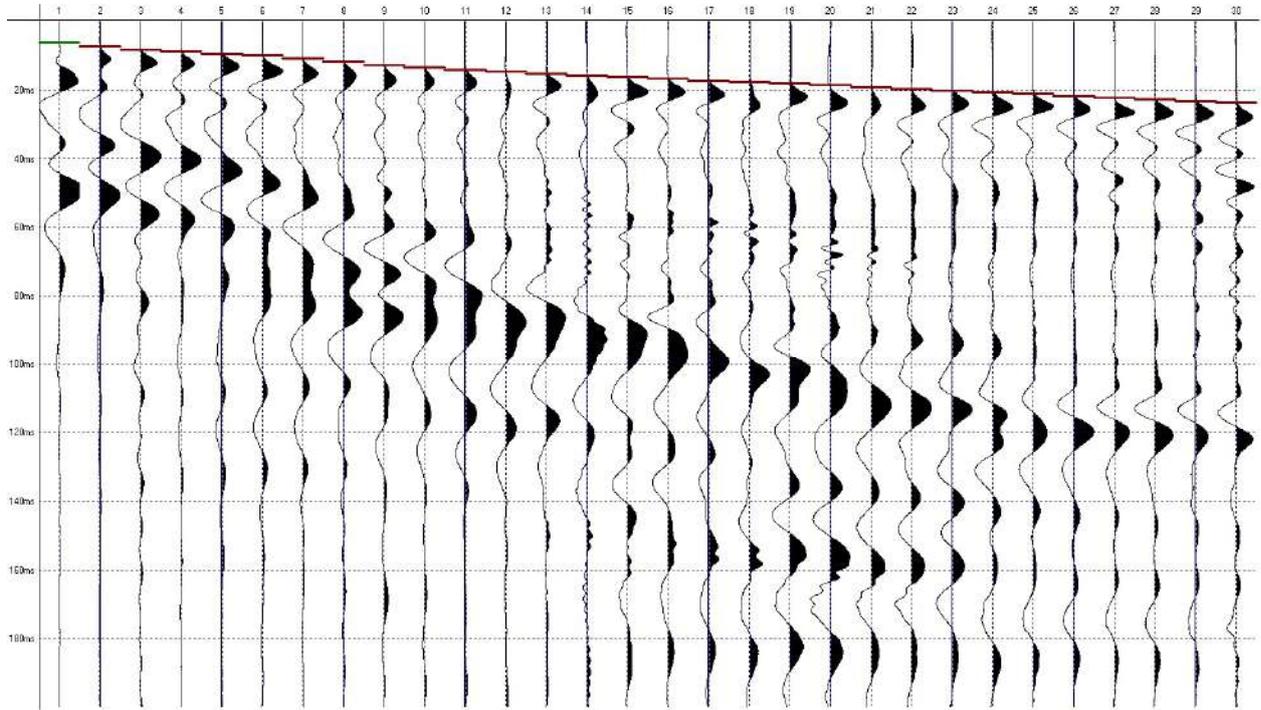
- falda a - 4.75 m: rilievo del 30/12/21 con f.f. e riv. a - 13.50 m;

- falda a - 7.50 m: rilievo del 31/12/21 con f.f. a - 28.50 m e riv. a - 25.50 m.

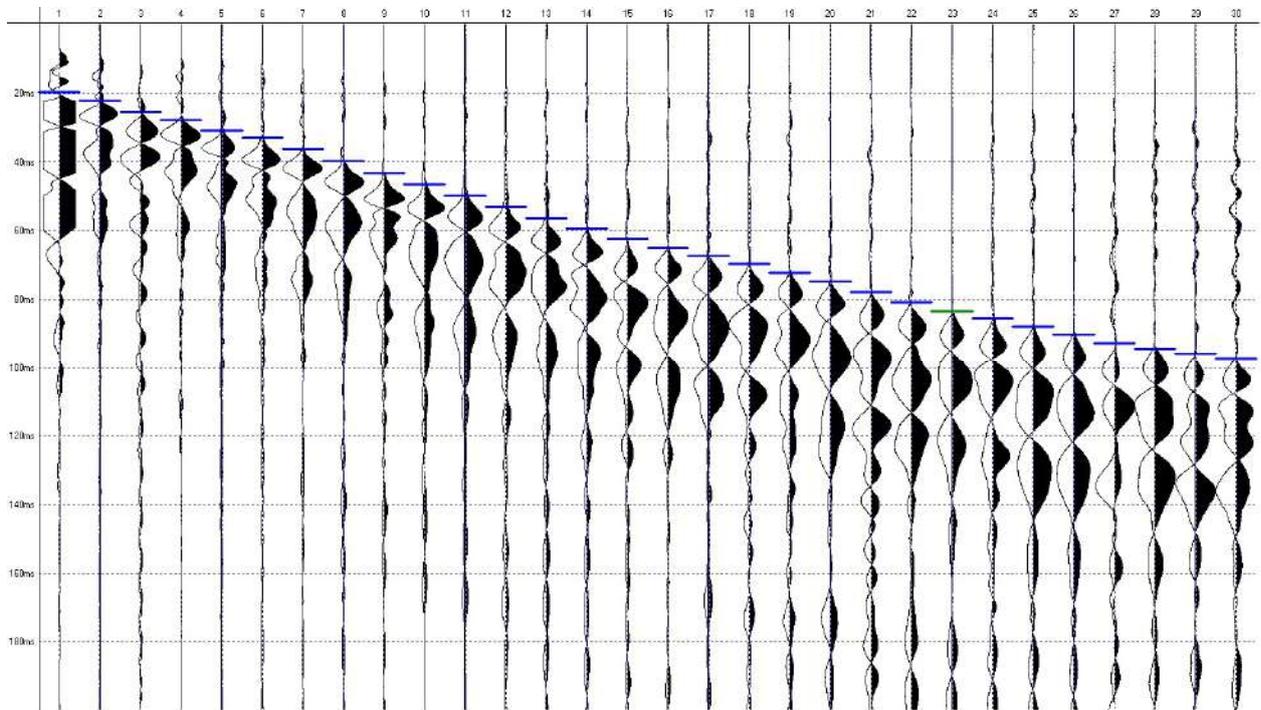
2) Installata tubazione PVC diam. 3" per prova D.H. con terminazione superiore alloggiata in tombino cls cm 30x30x30 e coperchio in ghisa carrabile posato a raso.

<b>Comune:</b> Corniglio (PR)		<b>Località:</b> via Caduti del Montagnano Loc. Beduzzo	
<b>Codice lavoro:</b> 22_003_CSTG	<b>Cantiere:</b> MS3 Corniglio	<b>Committente:</b> Dott. Geol. Stefano Castagnetti	
<b>Codice Prova:</b> Sdh-DH1	<b>File:</b> 2022-01-14_12-21-45.cdh	<b>Data:</b> 14/01/2021	<b>Ora inizio prova:</b> 11.30
<b>Operatore:</b> Dott. Geol. Alessandro Ferrari			
<b>Ubicazione:</b>			
<b>STRUMENTAZIONE</b>			
<b>Marca:</b> Sara Electronic Instruments		<b>Modello:</b> Sismografo digitale DoReMi	
<b>Geofono:</b> Sara SS-BH a 5 canali (1 verticale + 4 orizzontali)			<b>Frequenza (Hz):</b> 10
<b>SPECIFICHE INDAGINE</b>			
<b>Tipo:</b> Down-Hole	<b>Onde:</b> <input checked="" type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> SH	<b>N°canali:</b> 5	
<b>Profondità indagine (m):</b> 30	<b>Spaziatura (m):</b> 1	<b>Offset foro-sorgente (m):</b> 2	
<b>Durata registrazioni (sec):</b> 0.20		<b>Frequenza di campionamento (Hz):</b> 5000	
<b>Tipologia energizzazione:</b> mazza su trave (SH) e su piattello (P)			<b>Peso (Kg):</b> 9
			
<b>OSSERVAZIONI:</b>			

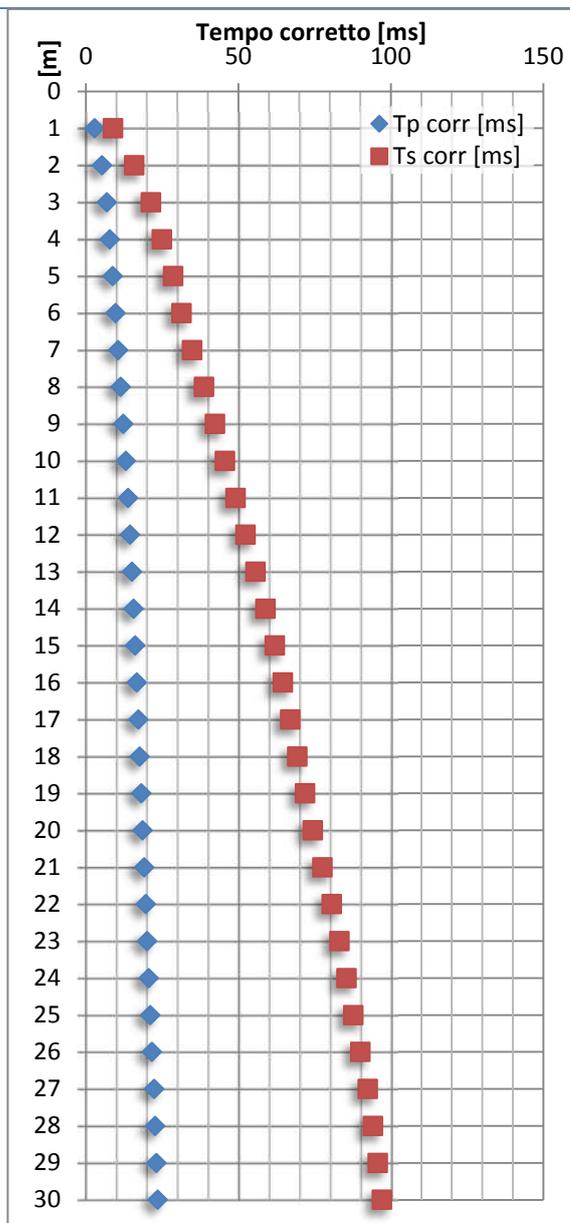
### Sismogramma onde P



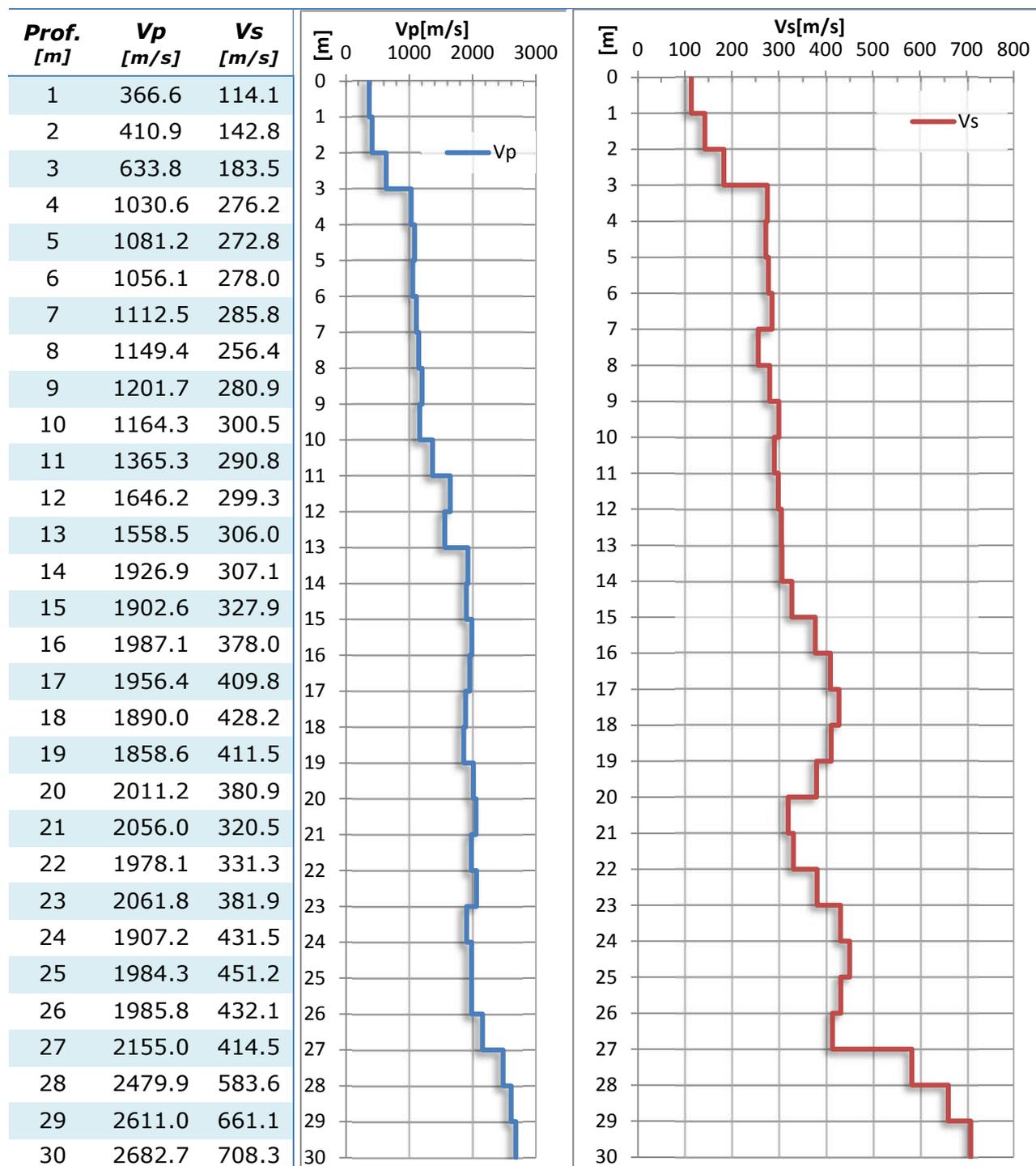
### Sismogramma onde SH



Shot n	Prof. [m]	Tp [ms]	Ts [ms]	Tp <sub>corr.</sub> [ms]	Ts <sub>corr.</sub> [ms]
30	1	6.10	19.60	2.73	8.77
29	2	7.30	22.30	5.16	15.77
28	3	8.10	25.50	6.74	21.22
27	4	8.62	27.77	7.71	24.84
26	5	9.30	30.70	8.63	28.50
25	6	10.10	32.90	9.58	31.21
24	7	10.90	36.10	10.48	34.71
23	8	11.70	39.80	11.35	38.61
22	9	12.48	43.20	12.18	42.17
21	10	13.30	46.40	13.04	45.50
20	11	14.00	49.74	13.77	48.94
19	12	14.58	53.00	14.38	52.28
18	13	15.20	56.20	15.02	55.55
17	14	15.70	59.40	15.54	58.80
16	15	16.21	62.40	16.07	61.85
15	16	16.70	65.00	16.57	64.50
14	17	17.20	67.40	17.08	66.94
13	18	17.60	69.70	17.49	69.27
12	19	18.13	72.10	18.03	71.70
11	20	18.62	74.70	18.53	74.33
10	21	19.10	77.80	19.01	77.45
9	22	19.60	80.80	19.52	80.47
8	23	20.08	83.40	20.00	83.09
7	24	20.60	85.70	20.53	85.40
6	25	21.10	87.90	21.03	87.62
5	26	21.60	90.20	21.54	89.93
4	27	22.30	92.60	22.24	92.35
3	28	22.70	94.30	22.64	94.06
2	29	23.08	95.80	23.03	95.57
1	30	23.45	97.20	23.40	96.98

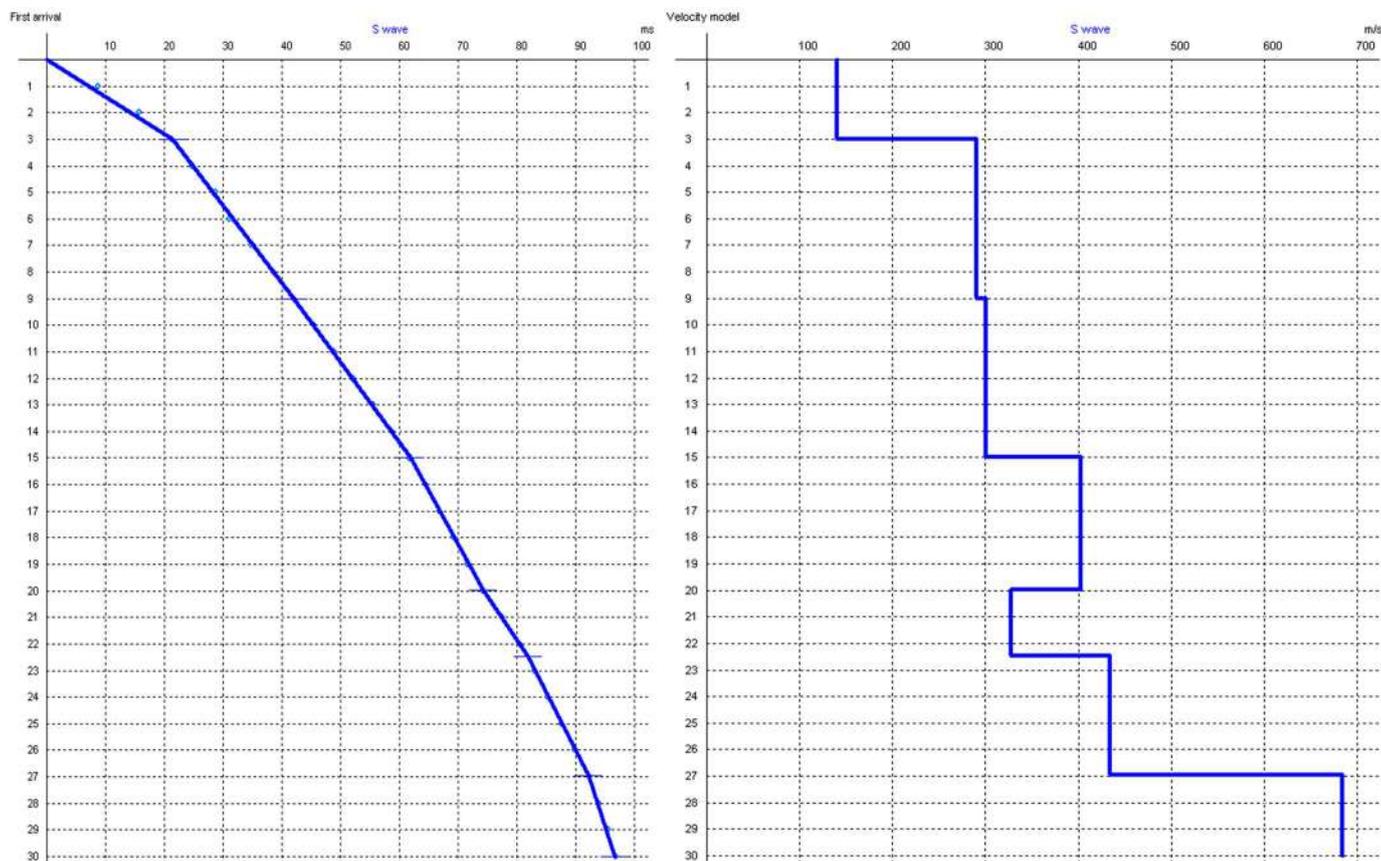


**Interpretazione con METODO DELL'INTERVALLO**



**Valore  $V_{s30}$ : 306.5 m/s**

**Interpretazione con METODO DIRETTO**



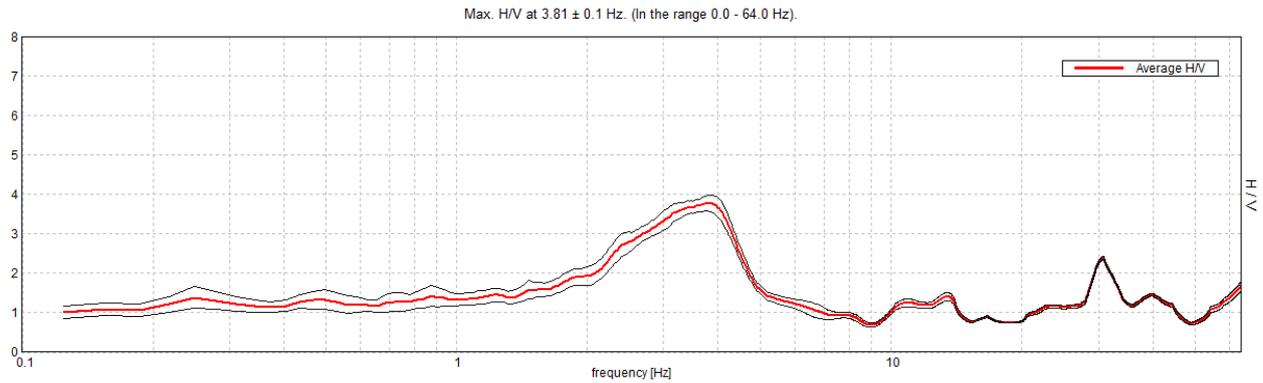
SISMOSTRATO	DA [m]	A [m]	Spessore [m]	Vs media [m/s]
1	0.0	3.0	3.0	140
2	3.0	9.0	6.0	291
3	9.0	15.0	6.0	301
4	15.0	20.0	5.0	403
5	20.0	22.5	2.5	327
6	22.5	27.0	4.5	435
7	27.0	30.0	3.0	684

**Valore  $V_{s30}$ : 310.0 m/s**

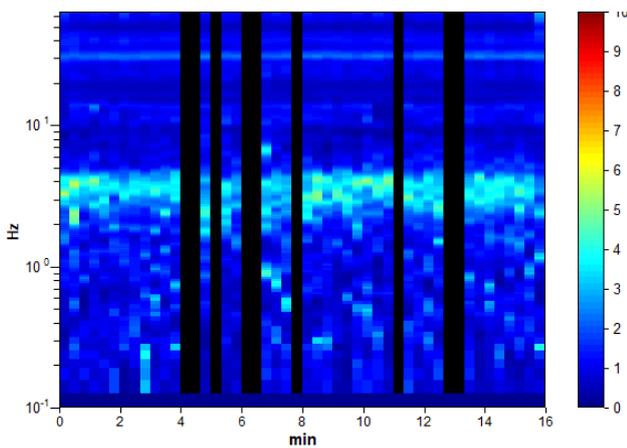
## BEDUZZO MS3,

Instrument: TRZ-0189/01-12  
 Data format: 16 byte Full scale [mV]: 51  
 Start recording: 14/01/22 14:31:47 End recording: 14/01/22 14:47:47  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Trace length: 0h16'00". Analyzed 81% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window Smoothing: 10%

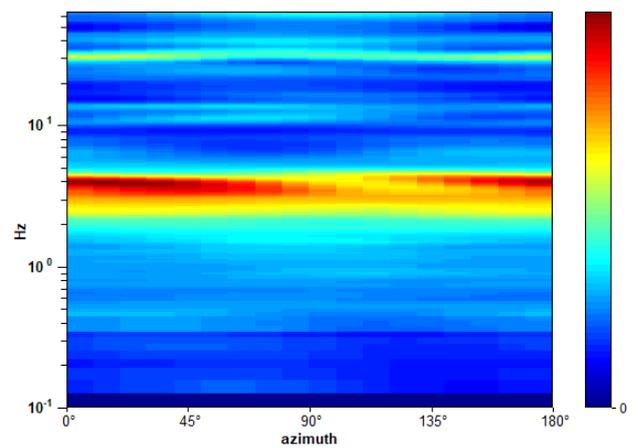
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



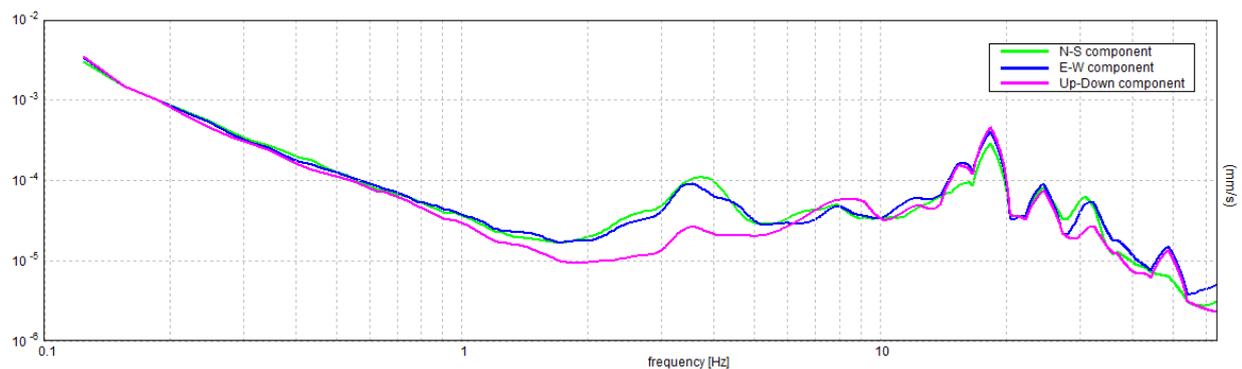
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $3.81 \pm 0.1$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.81 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2973.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 184 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.844 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.77 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02528  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.09638 < 0.19063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2062 < 1.58$	OK	

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

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

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