

# Variante al Piano Particolareggiato di iniziativa privata Denominato "La Svolta"



## RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

---

Committente:  
**Giovanna Candeli**  
Via Abetone Superiore 194  
41053 Maranello (MO)

A cura di:  
**DOTT. GEOL. Valeriano Franchi**  
V.le Caduti in Guerra 1, 41121 Modena  
TEL. 059-226540  
e-mail: [valerianofranchi@gmail.com](mailto:valerianofranchi@gmail.com)



Dott. Geol. Valeriano Franchi  
V.le Caduti in Guerra, 1 – 41121 Modena  
Tel: 059-226540  
e-mail: valerianofranchi@gmail.com

Modena, 28/12/2022

## **VARIANTE AL PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA PRIVATA DENOMINATO "LA SVOLTA"**

### **RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA**

---

#### **INDICE CONTENUTI**

PREMESSA .....	5
1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO.....	6
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	11
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO.....	15
3.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPER-PESANTI (DPSH).....	16
3.3 ACQUISIZIONE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA CON MISURA DI MICROTREMORE E ANALISI HVSR .....	19
4. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO .....	21
5. RELAZIONE SISMICA.....	22
5.1 SISMICITÀ DELLE ZONE SORGENTI E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE ...	22
5.2 RISCHIO SISMICO ED EFFETTI ATTESI .....	24
5.3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE .....	30
5.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC 2018) .....	31
5.5 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA: ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE 33	
5.6 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA: APPROCCIO SEMPLIFICATO SECONDO NTC 2018.....	35
5.7 STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE .....	37
6. SINTESI DELL'ANALISI DEI DATI RACCOLTI E CONCLUSIONI.....	38

#### **ALLEGATI**

ALLEGATO 1 – PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA CPT  
ALLEGATO 2 – INDAGINI SISMICHE – ACQUISIZIONE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA



## **PREMESSA**

Su incarico della committenza si è proceduto alla redazione della presente relazione geologica e sismica a supporto di una Variante al Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata denominato "La Svolta" e del relativo permesso di costruire, che hanno come oggetto la realizzazione di tre nuovi edifici in un'area situata in via Abetone Superiore nel Comune di Maranello (MO).

Per l'adempimento delle specifiche normative, è stato effettuato un sopralluogo sull'area al fine di verificarne l'idoneità geologica/geomorfologica, e nel mese di dicembre 2022 è stata eseguita una campagna geognostica in sito al fine di analizzare le caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e sismiche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in progetto.

Per la definizione delle caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e sismiche dei terreni interessati dal piano sono state eseguite le seguenti indagini in sito:

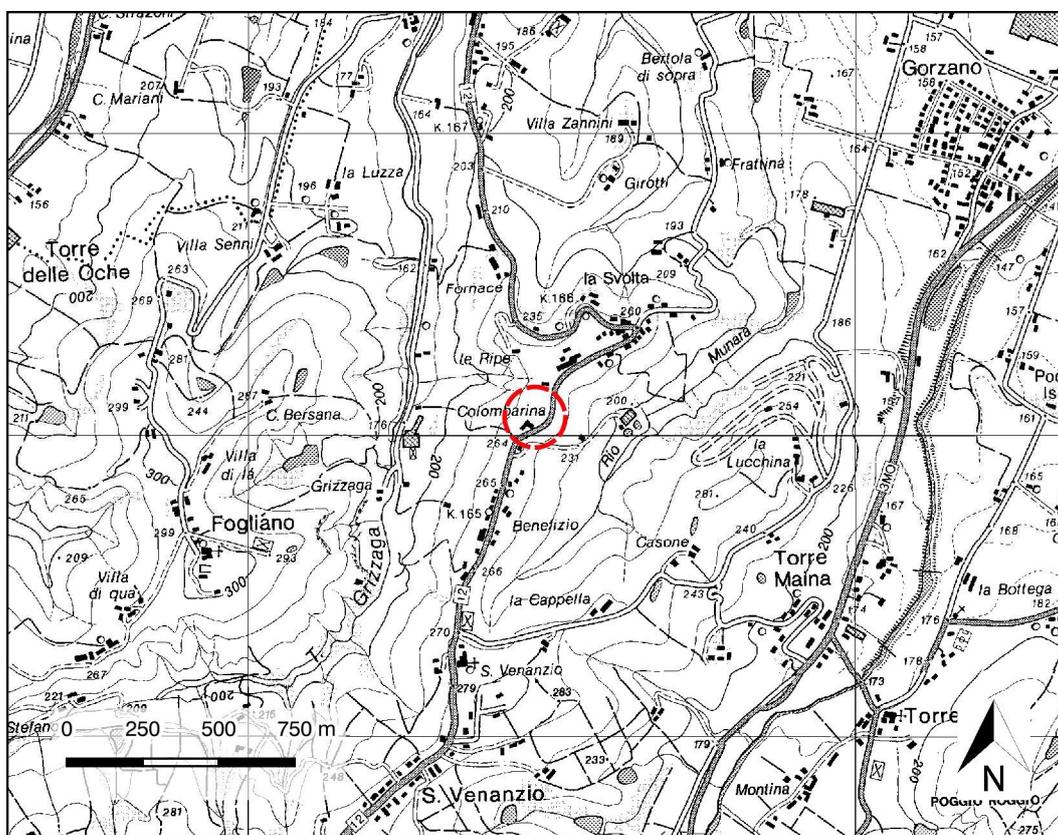
- n. 3 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT);
- n. 1 acquisizione sismica passiva a stazione singola con misura di microtremore ambientale.

## 1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO

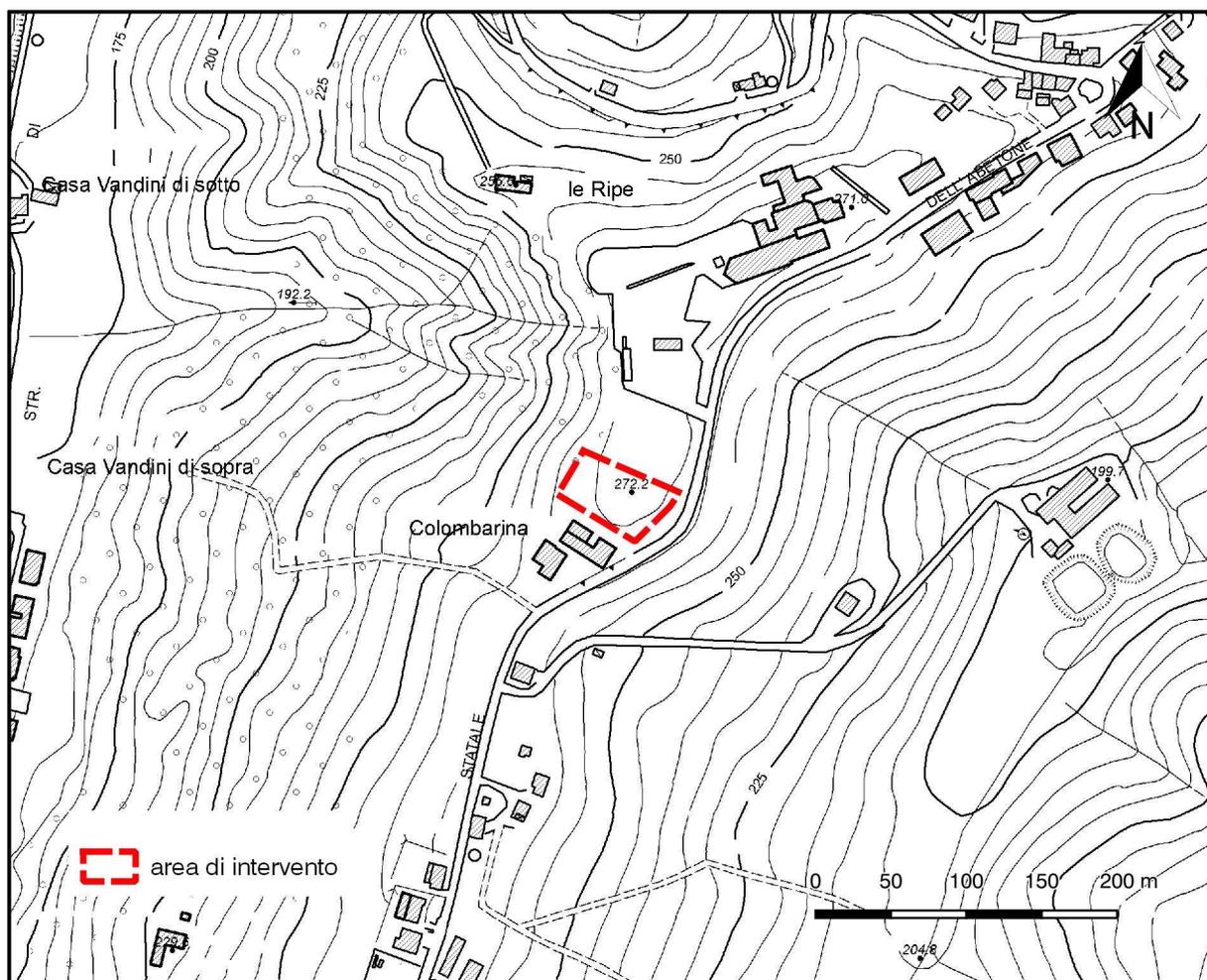
L'area di interesse è ubicata nel territorio comunale di Maranello, in direzione sud rispetto al capoluogo lungo via Abetone Superiore. Il perimetro e l'ubicazione dell'area di intervento oggetto del presente studio sono illustrati nelle figure 1, 2 e 3.

Dal punto di vista topografico ci troviamo in un contesto collinare in corrispondenza di un'area di cresta su una dorsale che si sviluppa in direzione nord-sud (figura 4 e figura 5), caratterizzata da pendii con inclinazioni discrete mediamente intorno a 20°, a una quota topografica di circa 270 m s.l.m.

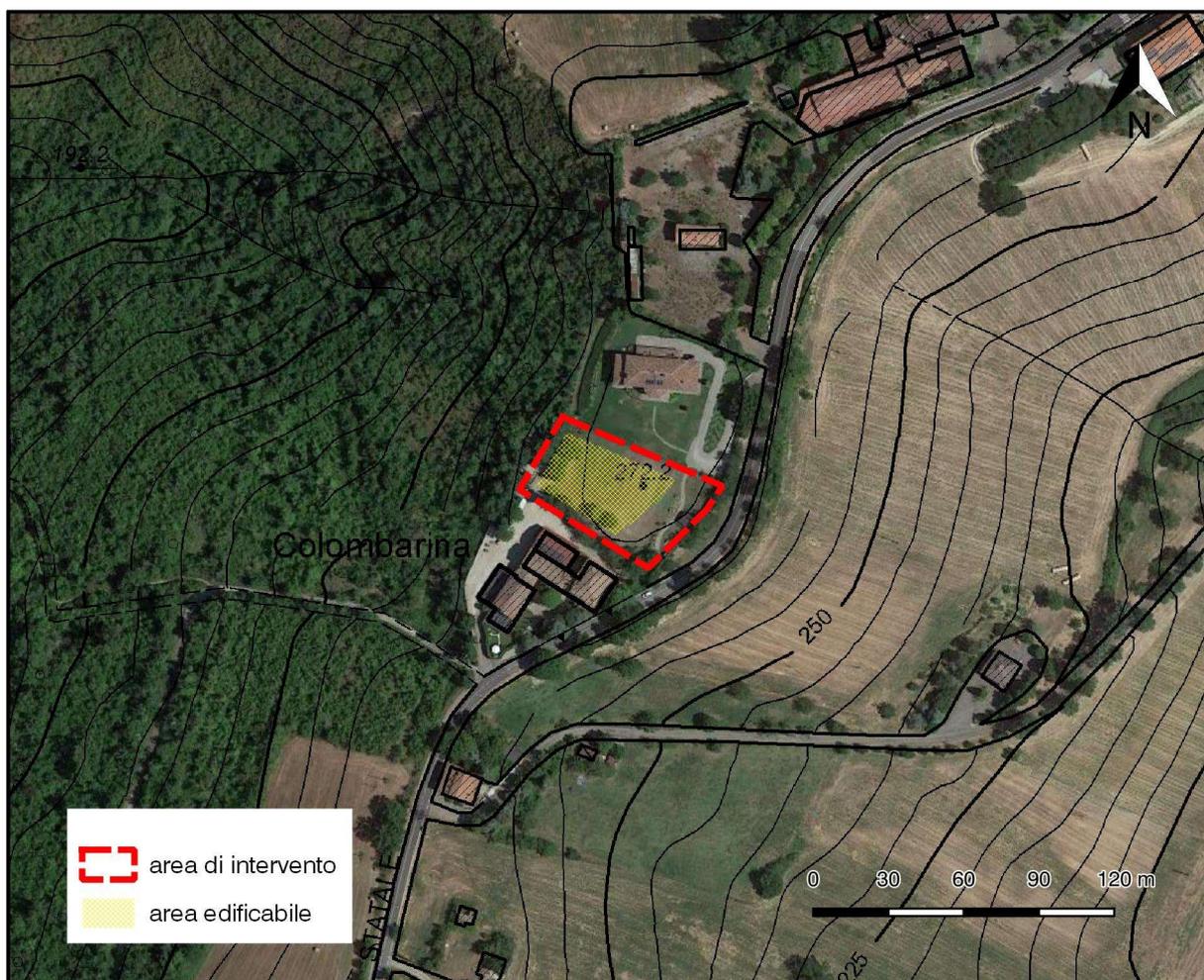
Da un punto di vista cartografico, l'area in esame è compresa nella Cartografia Tecnica Regionale nella Tavola a scala 1:25.000 n. 219NE denominata "Formigine", nella Sezione a scala 1:10.000 n. 219070 denominata "Maranello" e nell'Elemento a scala 1:5.000 n. 219073 denominato "Fogliano".



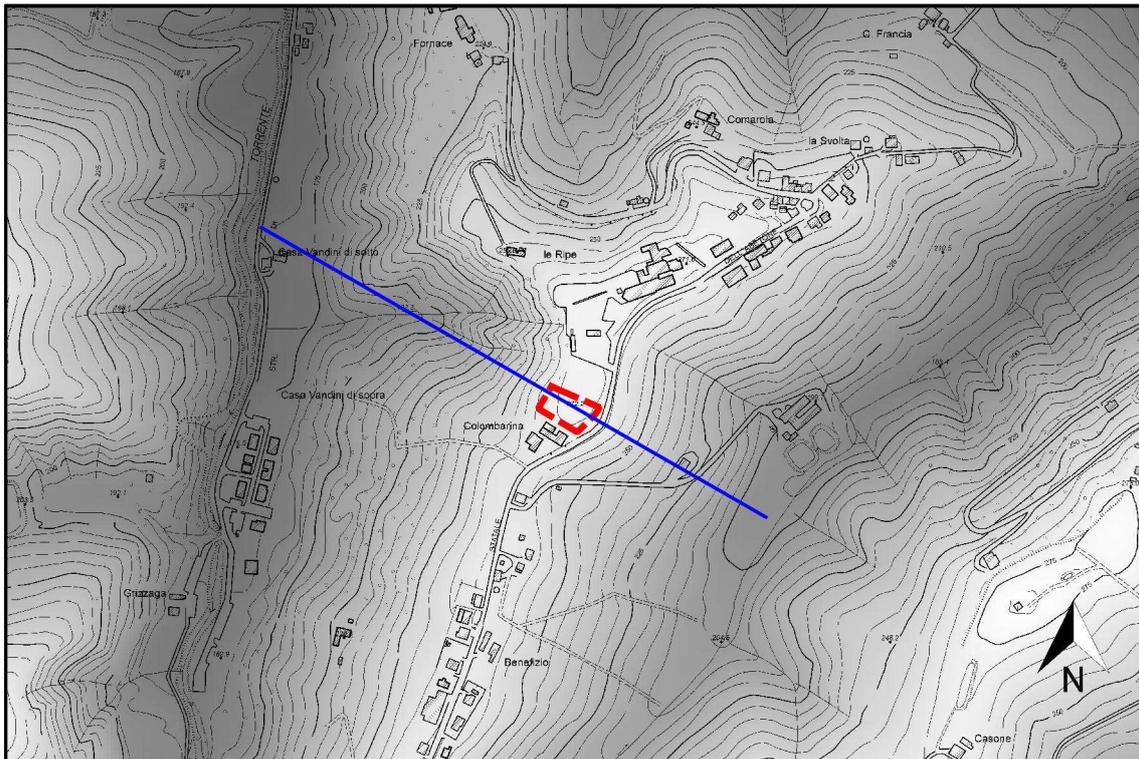
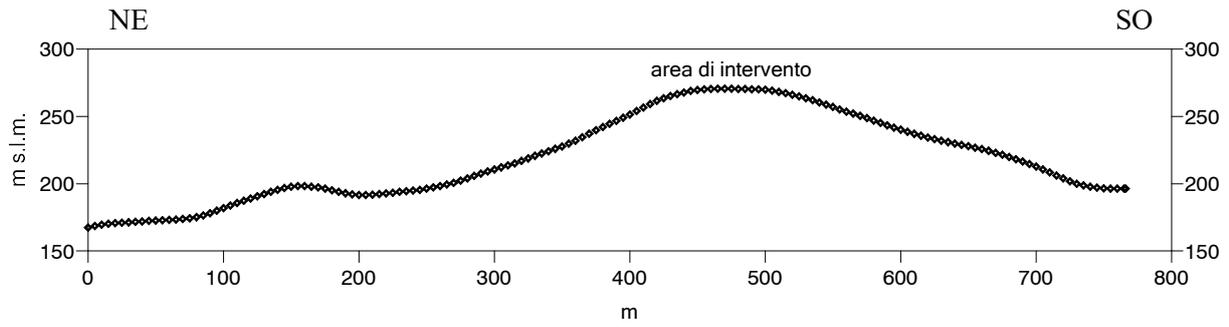
**Figura 1 - Corografia area in esame su Tavola della CTR a scala 1:25.000 n. 219NE denominata "Formigine".**



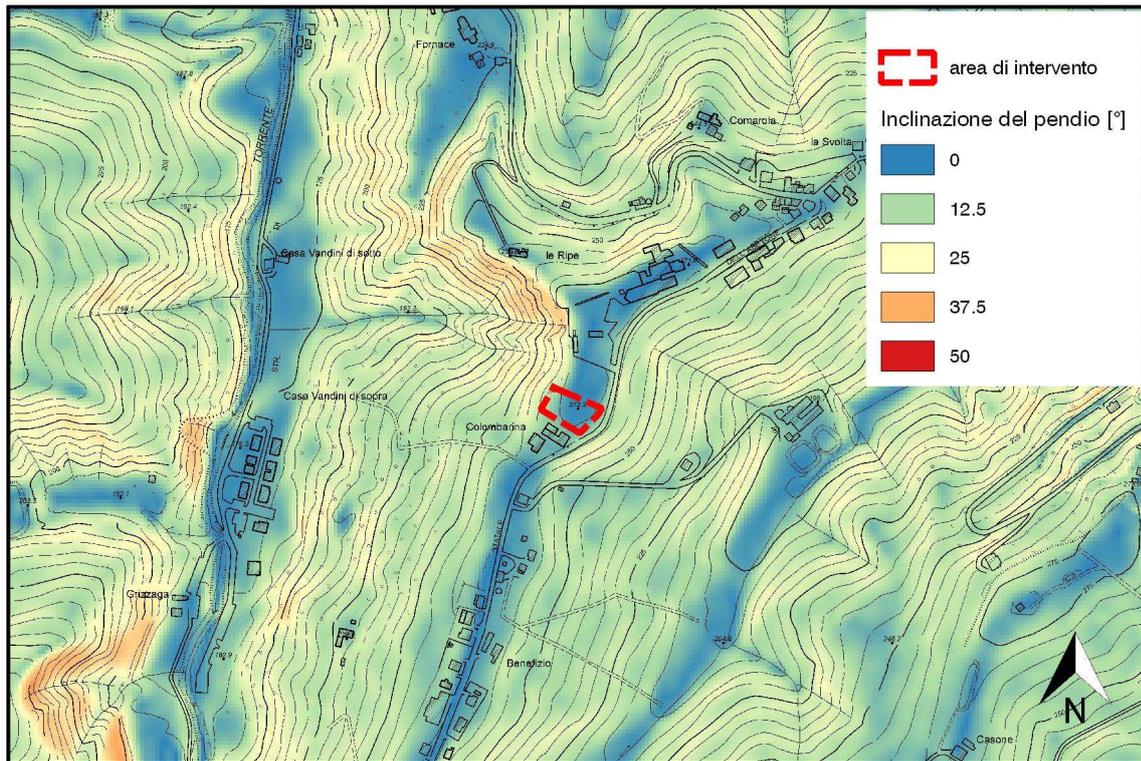
**Figura 2 - Inquadramento dell'area in esame su elemento della CTR a scala 1:5.000 n. 219073 denominato "Fogliano".**



**Figura 3 - Indicazione dell'area di intervento su ortofoto satellitare (fonte: Google Satellite, versione WMS). Scala 1:3.000.**



**Figura 4 – Sezione morfometrica del versante (in alto) e traccia della sezione su CTR scala 1:10000 (in basso).**



**Figura 5 – Carta della pendenza su base DTM 5mx5m, scala 1:10000.**

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista tettonico, l'area di studio si colloca a ridosso della fascia pedemontana tra la pianura padana e l'appennino, e quindi in corrispondenza del margine appenninico-padano, in cui l'assetto geologico del sottosuolo è definito dalle successioni sedimentarie quaternarie di tipo continentale e depositi marini e marino-marginali. In particolare nell'area in oggetto il substrato geologico è rappresentato da formazioni marine prevalentemente argillose di età plio-pleistocenica, identificate dalla cartografia CARG regionale (Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, estratto in figura 6) come Formazione delle Argille Azzurre (FAA), che in quest'area risultano perlopiù affioranti. Il sito oggetto di intervento si colloca a circa 270 m s.l.m. di quota topografica, in corrispondenza della cresta di una dorsale. In questa zona le pendenze appaiono discrete, arrivando a superare i 15° di inclinazione.

Per quanto riguarda la copertura superficiale, sempre dalla cartografia geologica e del dissesto consultate (figure 7 e 8) non risultano presenti in quest'area depositi quaternari continentali degni di nota, pertanto i terreni di copertura sono da ritenersi costituiti da uno spessore di pochi metri di depositi di alterazione superficiale della formazione in posto quali ad esempio depositi eluvio-colluviali. Inoltre, in corrispondenza dell'area di intervento e nelle immediate vicinanze non si riscontra la presenza di forme calanchive.

La circolazione idrica è prevalentemente superficiale a causa della scarsa permeabilità delle litologie affioranti. Nel versante nordest le acque superficiali vengono drenate e poi convogliate nel Torrente Grizzaga, mentre dal lato opposto della dorsale, nel versante sudest, il drenaggio avviene principalmente nel Torrente Tiepido. La circolazione idrica più profonda può comunque essere eventualmente favorita da ristagni idrici in presenza di irregolarità della superficie topografica e/o dall'eventuale alternanza di livelli a diverse granulometria e permeabilità.

Si riporta di seguito la descrizione dettagliata delle formazioni geologiche presenti nell'area di studio (tratta da *Cartografia Geologica, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna*):

### **FAA - ARGILLE AZZURRE**

Argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, in strati medi e subordinatamente sottili, a giunti poco o non visibili per bioturbazione, con subordinati strati arenacei sottili risedimentati. Localmente sono presenti sottili livelli discontinui di biocalcareni fini e siltiti giallo, o ocra se alterate, sottilmente laminate. Nella parte alta possono essere presenti *slumps*. Limite inferiore paraconcordante o marcato da una lieve discordanza angolare su FCO, discordante su unità più antiche. Potenza di alcune centinaia di metri.

*Pliocene inferiore - Pleistocene superiore*



**Legenda**

Province



Comuni



Griglia 10.000



Ambienti depos. e litologie (10K)

Ghiaia Sabbiosa - Piana alluvionale

Limo - Piana alluvionale

Coperture quaternarie (10K)

AEI - Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore

AES - Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore

AES6 - Subsystema di Bazzano

AES7a - Unità di Niviano

AES7b - Unità di Vignola

AES8 - Subsystema di Ravenna

AES8a - Unità di Modena

a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento

a1d - Deposito di frana attiva per

colamento di fango

a1g - Deposito di frana attiva complessa

a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango

a2g - Deposito di frana quiescente complessa

a3 - Deposito di versante s.l.

b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

r1 - Conoidi torrenziali in evoluzione

Limiti di unità geologiche (10K)

—contatto stratigrafico o litologico certo

- - -faglia incerta

—limite di natura incerta

Affioramenti (aree) (10K)

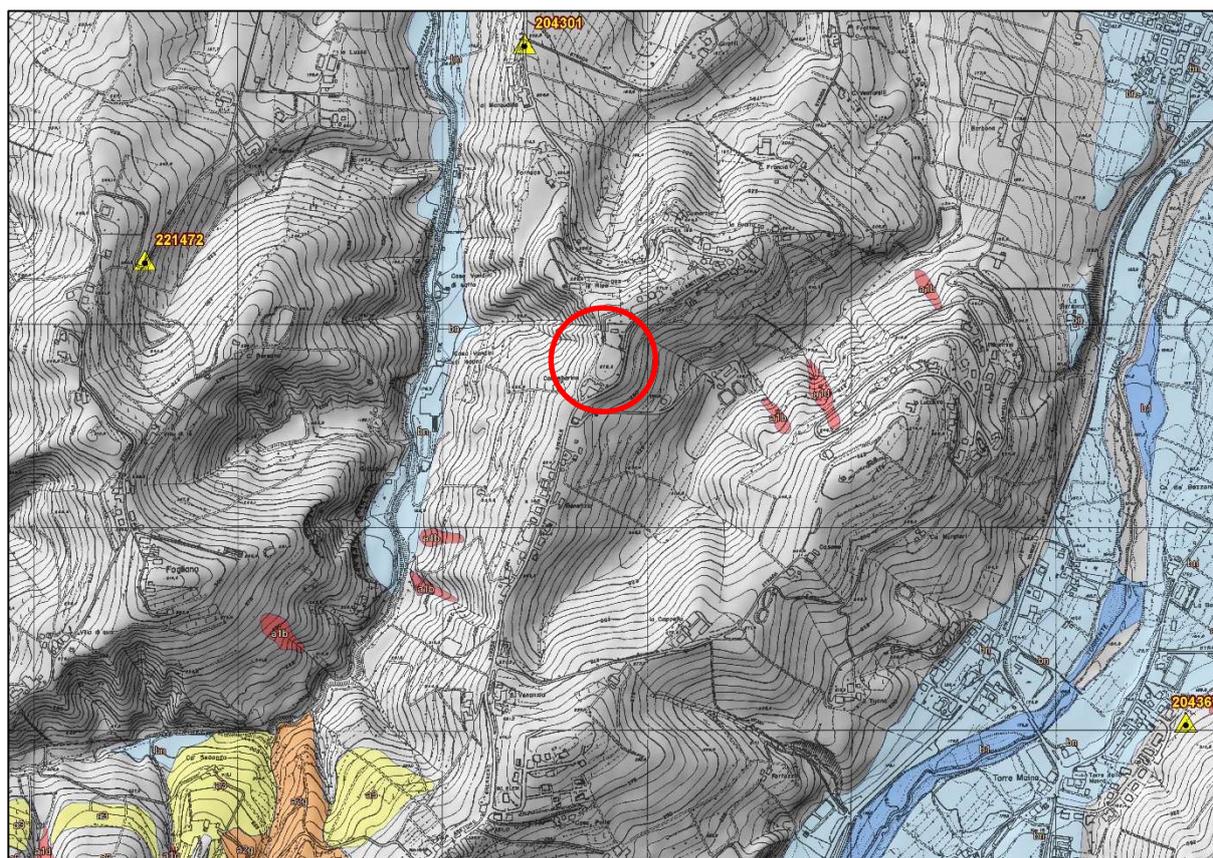
Unità geologiche (10K)

FAA - Argille Azzurre

FAAac - Argille Azzurre - litofacies arenaceo-conglomeratica

TER1 - Formazione del Termina - membro di Montardone

**Figura 6 – Estratto Carta delle Unità geologiche e delle Coperture Quaternarie a cura del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna. Scala 1:10000. (Progetto CARG, tratto da [https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss)).**



### Legenda

Frane storicamente documentate puntuali



Frane attive

 a 1b - Deposito di frana attiva per scivolamento

 a 1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango

 a 1g - Deposito di frana attiva complessa

Frane quiescenti

 a 2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango

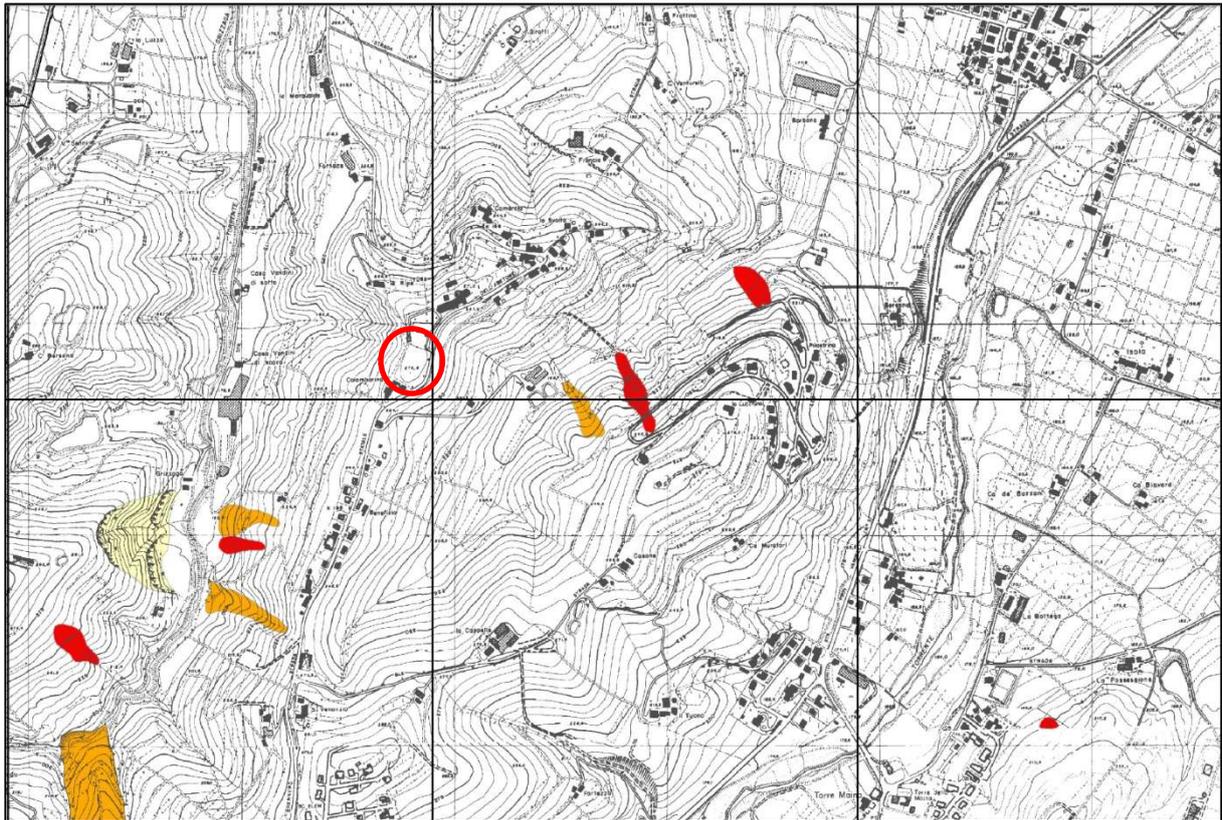
 a 2g - Deposito di frana quiescente complessa

Depositi alluvionali

 b1 - Deposito alluvionale attualmente non in evoluzione

 b 1 - Deposito alluvionale in evoluzione

**Figura 7 – Estratto Carta del Dissesto a cura del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna. Scala 1:10000. (Progetto CARG, tratto da [https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss)).**



Zone ed elementi caratterizzati da fenomeni di dissesto e instabilità				
			Aree interessate da frane attive	Art.15
			Aree interessate da frane quiescenti	
Zone ed elementi caratterizzati da potenziale instabilità				
			Aree potenzialmente instabili	Art.16
Aree a rischio idrogeologico elevato e molto elevato				
	Codice scheda 2.1.1 NR		Abitati da consolidare o da trasferire (perimetrazione approvata ai sensi dell'art.29 comma 2 del PTPR)	Art.17
			Aree a rischio idrogeologico molto elevato	Art.18A
			Aree a rischio da frana perimetrate e zonizzate a rischio molto elevato (R4) ed elevato (R3)	Art.18B

**Figura 8 – Estratto “Carta del Dissesto: Rischio da Frana” Tav. 2.1 del PTCP di Modena (MO).**

### 3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Nel mese di dicembre 2022 è stata eseguita una campagna geognostica nell'area in oggetto al fine di analizzare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni che saranno interessati dal piano; la campagna è stata condotta mediante l'esecuzione delle seguenti indagini:

- n. 3 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT);
- n. 1 acquisizione sismica passiva a stazione singola con misura di microtremore ambientale.

L'ubicazione delle indagini eseguite è illustrata in figura 9.



**Figura 9 - Ubicazione delle indagini geognostiche eseguite in sito.**

### 3.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA (CPT)

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche è stato utilizzato un penetrometro tipo Pagani Tg-63 da 100 kN; la perforazione è stata effettuata mediante una punta "Begemann" avente un'area di 10 cm<sup>2</sup> ed un angolo alla punta di 60°.

L'interpretazione dei risultati viene eseguita distinguendo fra terreni granulari con prevalenza di sabbia, per i quali possono essere ricavati tramite questa prova, con correlazioni empiriche di vari autori, l'angolo d'attrito, la compressibilità drenata e la densità relativa, ed i terreni coesivi con prevalenza di argilla, per i quali è possibile valutare la resistenza al taglio non drenata, la compressibilità, la sensitività ed il grado di sovraconsolidazione.

Nei tabulati di calcolo sono stati riportati, oltre ai valori misurati in sito ogni 20 cm d'avanzamento della punta, i valori, calcolati mediante elaborazione automatica, della *resistenza penetrometrica alla punta*  $Q_c$ , espressi in kg/cm<sup>2</sup> e i valori della *resistenza laterale locale*  $F_s$ , sempre espressi in kg/cm<sup>2</sup>, nonché i valori del *rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale*  $Q_c / f_s$ .

Nel diagramma penetrometrico, invece, per semplicità di lettura, sono state riportate solamente due curve e precisamente:

- a sinistra, la curva della *resistenza penetrometrica alla punta* ( $Q_c$ : pressione di rottura del terreno), espressa in kg/cm<sup>2</sup>;
- a destra, la curva della *Resistenza laterale* ( $f_s$ : attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione), espressa in kg/cm<sup>2</sup>.

Nella tabella seguente sono riportati l'interpretazione litologica e la stima dei parametri geotecnici del terreno per strati discreti basati sui dati ottenuti dalle prove penetrometriche CPT eseguite in sito.

*Stima parametri geotecnici da prova CPT-1*

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
1	0,60	C	0,3	0,0	33,4	87,9	2,8	1,8	1,9	--	--	--
2	1,40	C	1,1	0,0	44,1	185,3	2,7	2,0	2,1	--	--	--
3	5,20	CI	2,2	0,0	89,1	284,8	1,6	2,1	2,2	48,7	35,3	89,1
4	6,20	CI	3,1	0,0	124,7	349,8	1,2	2,2	2,2	50,2	34,9	124,7
5	7,00	C	2,8	0,0	110,1	324,2	0,9	2,1	2,2	--	--	--
6	7,80	C	1,0	0,0	42,1	174,5	<0.5	2,0	2,0	--	--	--
7	10,80	CI	3,0	0,0	121,1	343,5	0,7	2,2	2,2	42,2	32,8	121,1
8	11,00	I	--	--	95,3	353,8	0,6	0,0	0,0	41,2	32,5	127,0

*Stima parametri geotecnici da prova CPT-2*

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
1	0,60	C	0,4	0,0	35,2	91,9	3,0	1,8	1,9	--	--	--
2	2,20	CI	0,7	0,0	48,3	140,1	1,2	1,9	2,0	28,2	32,7	27,9
3	2,80	C	1,7	0,0	66,6	238,3	1,5	2,1	2,1	--	--	--
4	3,80	C	2,1	0,0	83,3	273,4	1,4	2,1	2,2	--	--	--
5	5,60	CI	2,9	0,0	117,3	336,9	1,4	2,2	2,2	51,0	35,3	117,3
6	7,80	CI	3,4	0,0	134,2	365,8	1,1	2,2	2,3	49,6	34,5	134,2
7	8,20	CI	4,2	0,0	166,0	416,6	1,1	2,2	2,3	53,0	34,9	166,0
8	12,20	C	3,0	0,0	118,2	338,6	0,6	2,1	2,2	--	--	--
9	14,40	C	3,5	0,0	141,1	377,2	0,6	2,2	2,3	--	--	--
10	14,60	I	--	--	114,0	394,8	0,6	0,0	0,0	41,9	32,2	152,0

*Stima parametri geotecnici da prova CPT-3*

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
1	0,80	C	0,5	0,0	43,8	115,3	3,1	1,9	1,9	--	--	--
2	2,40	CI	2,9	0,0	116,8	336,1	4,1	2,2	2,2	66,5	39,4	116,8
3	3,20	CI	3,2	0,0	129,1	357,2	2,5	2,2	2,2	60,9	37,6	129,1
4	5,60	C	1,9	0,0	76,3	259,1	1,0	2,1	2,2	--	--	--
5	7,80	CI	2,9	0,0	116,0	334,7	1,0	2,1	2,2	45,4	33,8	116,0
6	8,80	CI	4,1	0,0	163,4	412,6	1,1	2,2	2,3	52,0	34,7	163,4
7	10,60	CI	3,4	0,0	134,3	366,1	0,8	2,2	2,3	44,1	33,1	134,3
8	11,20	CI	4,0	0,0	159,1	406,0	0,8	2,2	2,3	47,3	33,5	159,1
9	11,60	CI	3,4	0,0	136,7	370,0	0,7	2,2	2,3	42,3	32,6	136,7
10	11,80	I	--	--	106,0	377,6	0,7	0,0	0,0	42,9	32,6	141,3

*Legenda*

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm <sup>2</sup> )
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )

*RIPRESE FOTOGRAFICHE DELLE PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE*



### 3.2 ACQUISIZIONE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA CON MISURA DI MICROTREMORE E ANALISI HVSR

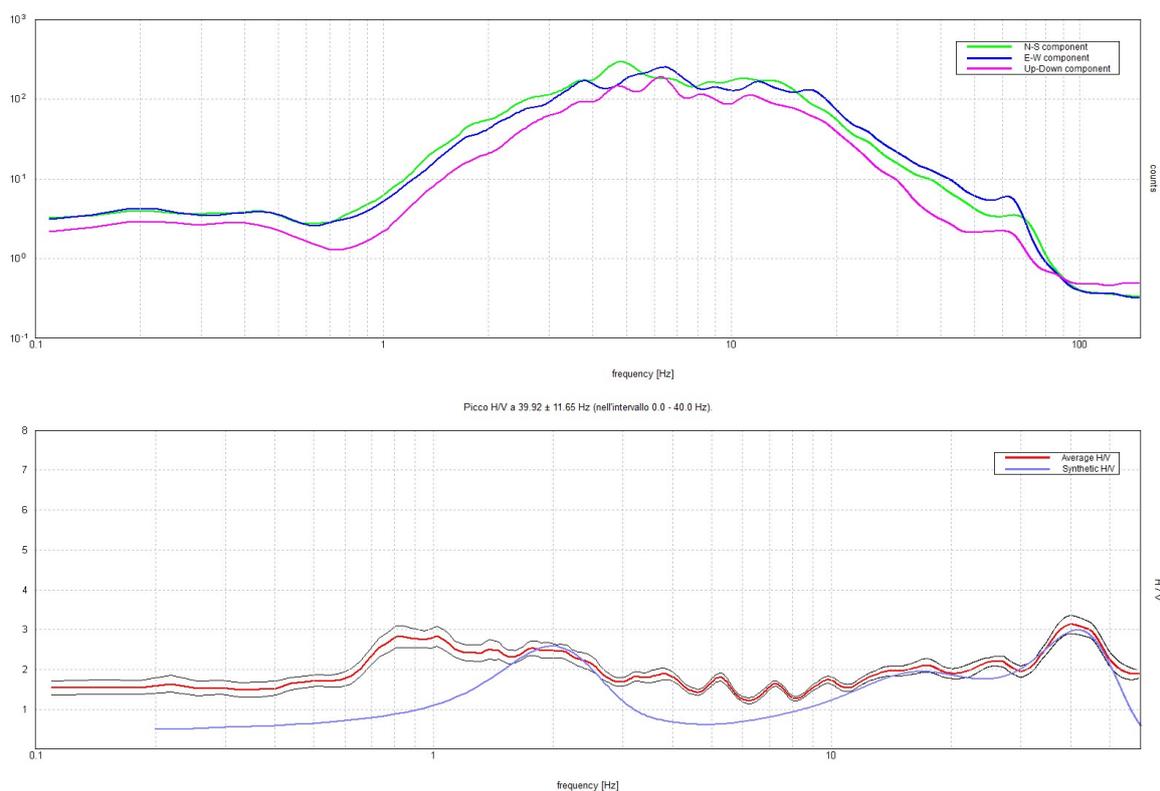
La prospezione sismica passiva a stazione singola, che prevede la registrazione di microtremore ambientale, è stata eseguita allo scopo di definire la frequenza naturale del terreno  $f_0$ , che è legata alla velocità delle onde di taglio  $V_S$  e allo spessore  $h$  dello strato di terreno, secondo la formula:

$$f = \frac{V_S}{4h}$$

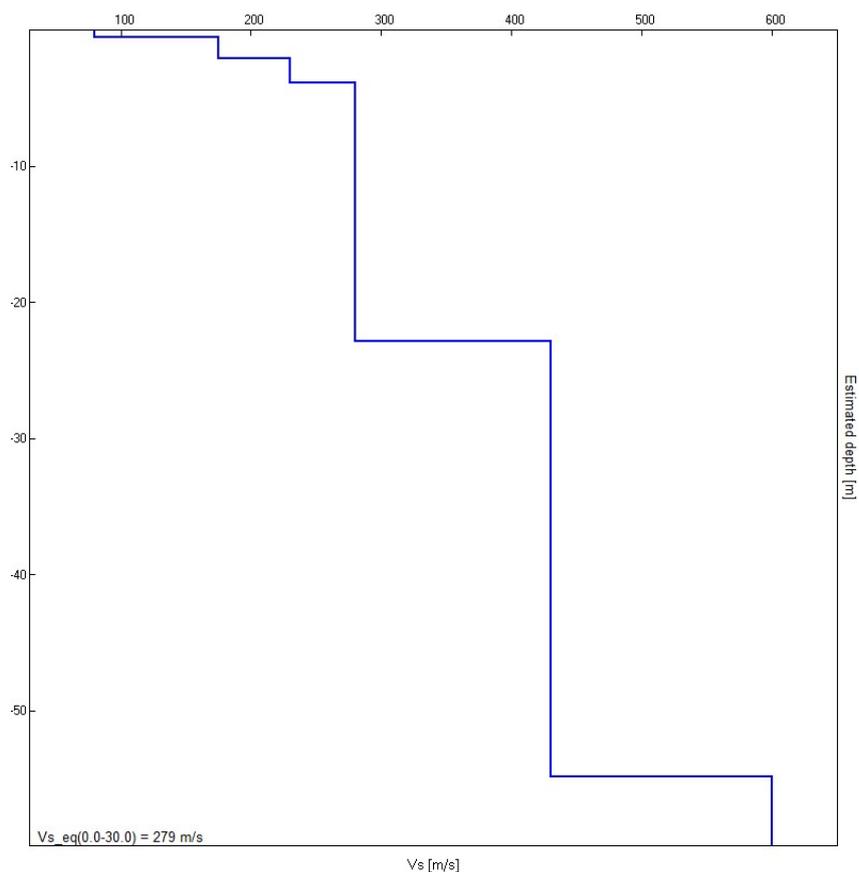
Inoltre, grazie a questa relazione, dalla modellazione della curva H/V è possibile ricostruire il profilo delle  $V_S$  nel sottosuolo, purché il modello sia vincolato con altri tipi di prove. Nel caso in questione, per vincolare il modello si sono utilizzate le prove penetrometriche eseguite in sito, oltre che i dati desunti da bibliografia.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un acquirente *Geobox della Sarah Instruments*. I dettagli tecnici per quanto riguarda le modalità operative, la strumentazione, i parametri utilizzati per l'acquisizione e i risultati ottenuti, sono riportati nel relativo report presente in allegato 2.

Nelle immagini e tabelle seguenti sono riassunti i risultati dell'analisi HVSR e della modellazione della curva H/V.



**Figura 10 – In alto: spettri delle singole componenti (Nord-Sud, Est-Ovest, Verticale) e, in basso, curva H/V ottenuta dall'analisi HVSR (in rosso) e curva H/V modellata (azzurro).**



**Figura 11 – Profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo ottenuto dalla modellazione della curva H/V.**

MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.50	0.50	80	0.45
2.10	1.60	175	0.42
3.90	1.80	230	0.42
22.90	19.00	280	0.42
54.90	32.00	430	0.42
inf.	inf.	600	0.40
<b>Vs_eq(0.0-30.0) = 279 m/s</b>			

Inoltre, dall'analisi HVSR eseguita a partire dall'acquisizione sismica a stazione singola non sono state individuate frequenze naturali del terreno significative, da cui si deduce l'assenza nel sottosuolo di contrasti di impedenza importanti.

#### 4. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Le tre prove penetrometriche CPT eseguite nell'area di studio hanno raggiunto il rifiuto strumentale alle seguenti profondità: -11.0 m da p.c. (CPT-1), -14.6 m da p.c. (CPT-2) e -11.8 m da p.c. (CPT-3), in corrispondenza di un orizzonte costituito da argille e/o argille limose molto consistenti. Dalle prove eseguite è emerso che, al di sotto dello spessore superficiale di terreno vegetale (60÷80 cm circa), sono presenti terreni argillosi e/o argilloso limosi caratterizzati da parametri di resistenza buoni, con valori di coesione non drenata generalmente  $\geq 1.0 \text{ kg/cm}^2$ .

Durante la perforazione delle prove penetrometriche eseguite in sito non è stata individuata la presenza di acqua di falda all'interno dei fori di sondaggio.

Nella tabella seguente si riporta il modello geotecnico schematico rappresentativo del sottosuolo indagato e basato sulle indagini geognostiche eseguite in sito.

##### MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Da m	a m	Litologia	Cu [kg/cm <sup>2</sup> ]	C' [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\varphi$ [°]	$\gamma_d$ [t/m <sup>3</sup> ]	Mo [kg/cm <sup>2</sup> ]
0.0	0.6÷0.8	Terreno vegetale	--	--	--	--	--
0.6÷0.8	2.2	Terreni argillosi e/o argilloso-limosi mediamente consistenti	0.7	0.07	--	1.9	48
2.2	11.0÷14.6	Terreni argillosi e/o argilloso-limosi consistenti	1.0÷3.0	0.1÷0.3	--	2.1	70÷120
11.0÷14.6	--	Terreni argillosi e/o argilloso-limosi molto consistenti	>3.0	>0.3	--	2.1	130

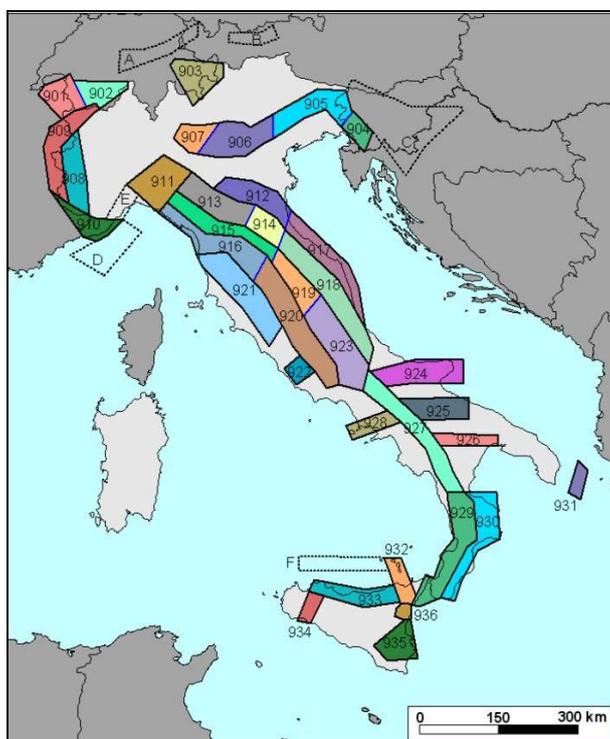
*Falda assente.*

*Il valore di C' è stato calcolato considerando  $C'=Cu/10$ .*

## 5. RELAZIONE SISMICA

### 5.1 SISMICITÀ DELLE ZONE SORGENTI E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

In riferimento alla zonazione sismogenetica ZS9 realizzata da INGV (marzo 2004) che riassume il quadro sismotettonico del territorio italiano, l'area in oggetto risulta ricadente all'interno della **zona sismogenetica 913**, (Appennino Emiliano-Romagnolo), costituita da una fascia appenninica settentrionale la cui attività sismica è legata a meccanismi diversi, ma principalmente compressivi, e la cui magnitudo di riferimento Mw (max) corrisponde a un valore di **6.14** (*Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della Mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp + 5 appendici; Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo*).



**Figura 12 – Zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro (2004), Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, appendice 2)**

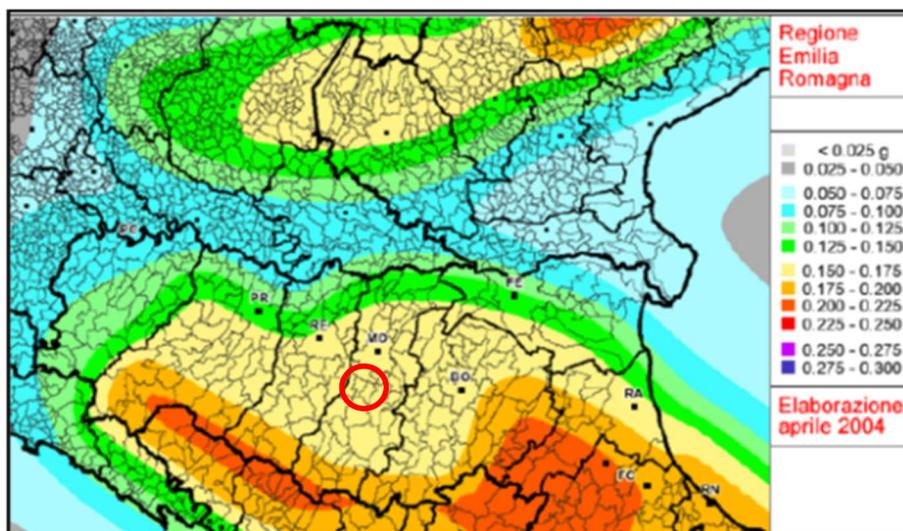
Dalla consultazione della banca dati delle sorgenti sismogenetiche del territorio italiano DISS a cura di INGV (*Database of Individual Seismogenic Sources*, versione 3.3.0) di cui si riporta un estratto in figura 13; si evidenzia che l'area sorge in corrispondenza della sorgente sismogenetica ITCS046 denominata Langhirano-Sassuolo a cui è attribuita una magnitudo massima pari a Mw= 6.8.



**Figura 13 – Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche al contorno dell’area in oggetto secondo il DISS 3.3.0. L’area di interesse è indicata dal segnalino rosso. (tratto da: <https://diss.ingv.it/diss330>)**

Con pericolosità sismica si intende lo scuotimento del suolo atteso in un sito a causa di un terremoto. Essendo prevalentemente un’analisi di tipo probabilistico, si può definire un certo scuotimento solo associato alla probabilità di accadimento nel prossimo futuro. Non si tratta pertanto di una previsione deterministica dei terremoti, obiettivo lungi dal poter essere raggiunto ancora in tutto il mondo, né del massimo terremoto possibile in un’area, in quanto il terremoto massimo ha comunque probabilità di verificarsi molto basse.

Nel 2004 è stata rilasciata la mappa della pericolosità sismica (<http://zonesismiche.mi.ingv.it>) che fornisce un quadro delle aree più pericolose in Italia. La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (*GdL MPS, 2004; rif. Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, n. 3519, All. 1b*) è espressa in termini di accelerazione orizzontale del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005). L’Ordinanza PCM n. 3519/2006 ha reso tale mappa uno strumento ufficiale di riferimento per il territorio nazionale.



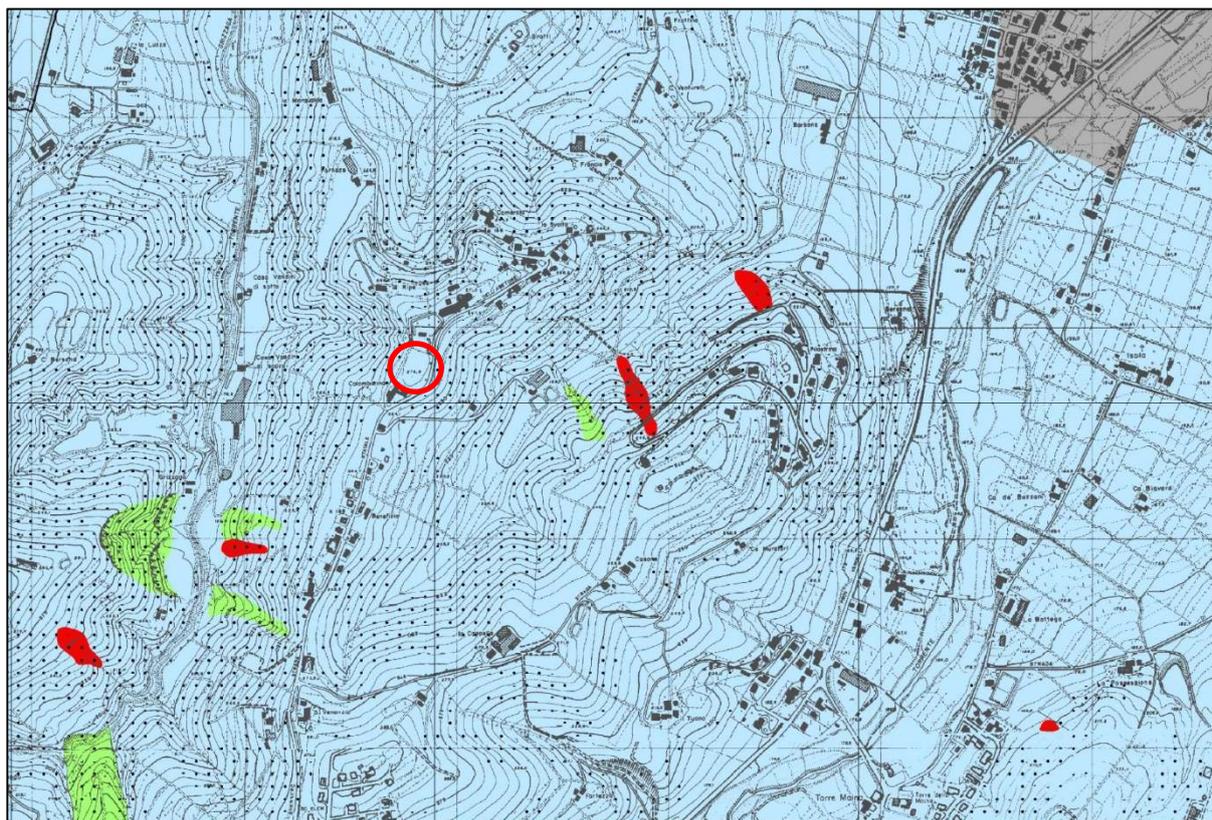
**Figura 14 – Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800\text{ m/s}$ ; cat. A) allegata all’Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006. (Fonte: Sito web della Regione Emilia-Romagna).**

In riferimento alla mappa di pericolosità sismica, di cui si riporta un estratto in figura 14, si evince che il territorio del Comune di Maranello è compreso nell'area caratterizzata da valori dell'accelerazione massima al suolo, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800\text{ m/s}$ ; cat. A, All. 2, 3.1), compresi tra **0.150 e 0.175 g**.

## 5.2 RISCHIO SISMICO ED EFFETTI ATTESI

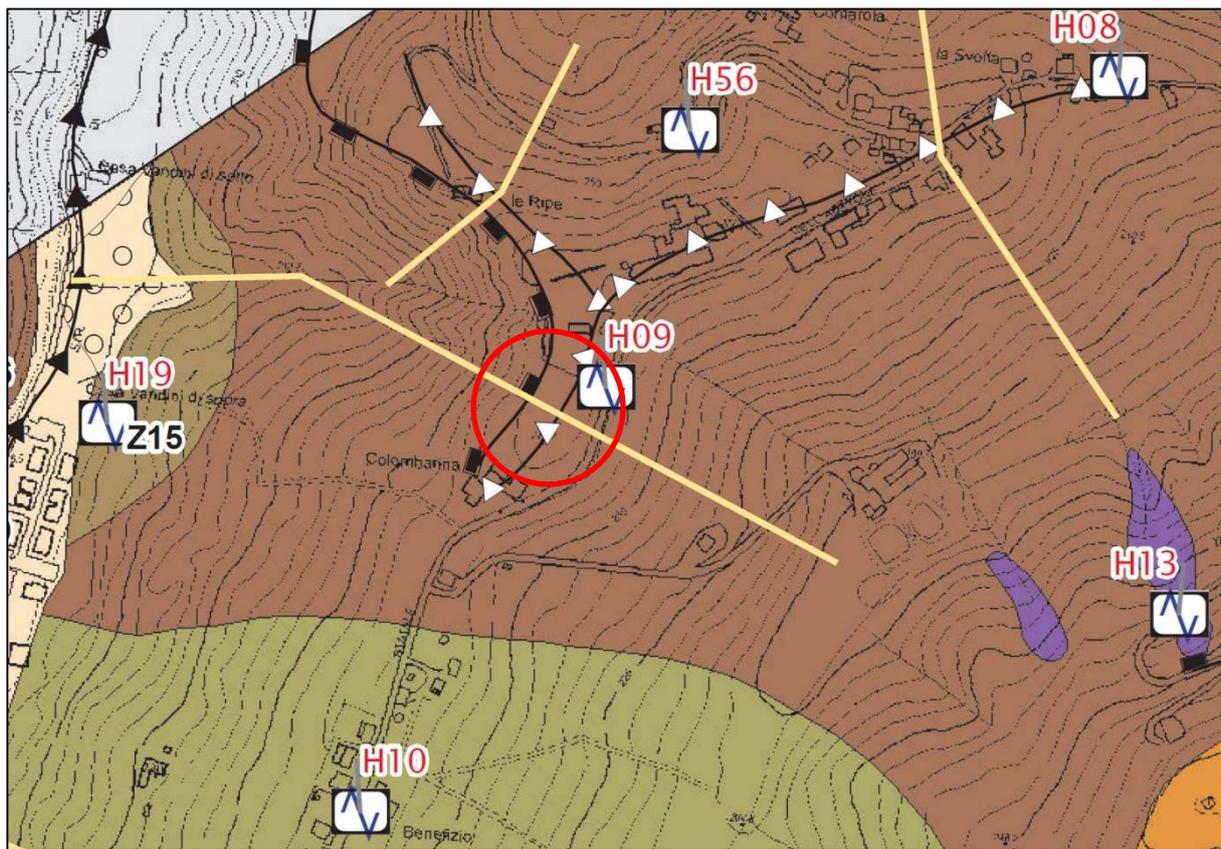
Per quanto riguarda il rischio sismico, la cartografia del PTCP di Modena (Tav. 2.2 - Rischio sismico: Carta delle aree suscettibili di effetti locali) identifica l’area di studio come *Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche* che richiede approfondimenti di II livello.

Per quanto riguarda, invece, la cartografia prodotta nell’ambito degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e Livello 3 del territorio comunale di Maranello, in riferimento alle Carte delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (estratti nelle figure 16 e 17 l’area oggetto del presente studio è classificata come *zona stabile suscettibile di amplificazioni locali*, caratterizzata da Substrato argilloso – argilloso limoso debolmente marnoso, non stratificato, degradato e fratturato sino a -10/-20 m da p.c., con coperture eluviali limoso argillose con spessore di 4/5 m, substrato a comportamento non rigido:  $VS \leq 500/550\text{ m/s}$ ”. Per questa area sono attesi fenomeni di amplificazione del moto sismico per caratteristiche litologiche, per la quale è richiesto un approfondimento di II livello.



Effetti attesi	
1	<b>Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b> <i>studi</i> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche (nei casi in cui siano ammessi interventi); <i>microzonazione sismica</i> : approfondimenti di III livello.
2	<b>Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche</b> <i>studi</i> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche (nei casi in cui siano ammessi interventi); <i>microzonazione sismica</i> : approfondimenti di III livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.
3	<b>Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b> <i>studi</i> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche; <i>microzonazione sismica</i> : approfondimenti di III livello.
4	<b>Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche</b> <i>studi</i> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche; <i>microzonazione sismica</i> : approfondimenti di III livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.
5	<b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b> <i>studi</i> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico; <i>microzonazione sismica</i> : approfondimenti di II livello.
6	<b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche</b> <i>studi</i> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico; <i>microzonazione sismica</i> : approfondimenti di II livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.
7	<b>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione</b> <i>studi</i> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi; <i>microzonazione sismica</i> : approfondimenti di III livello.
8	<b>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti</b> <i>studi</i> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi; <i>microzonazione sismica</i> : sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.
9	<b>Area potenzialmente non soggetta ad effetti locali</b> <i>studi</i> : indagini per caratterizzare $V_{S30}$ ; in caso $V_{S30}$ maggiore/uguale di 800 m/s non è richiesta nessuna ulteriore indagine, in caso $V_{S30}$ minore di 800 m/s è richiesta la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico; <i>microzonazione sismica</i> : non richiesta nel primo caso, nel secondo caso approfondimenti di II livello.
10	<b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche topografiche</b> <i>studi</i> : indagini per caratterizzare $V_{S30}$ e valutazione del coefficiente di amplificazione topografico; in caso $V_{S30}$ maggiore/uguale di 800 m/s è sufficiente la sola valutazione del coefficiente di amplificazione topografico, in caso $V_{S30}$ minore di 800 m/s occorre valutare anche il coefficiente di amplificazione litologico; <i>microzonazione sismica</i> : valutazione degli effetti della topografia, con particolare attenzione nelle aree prossime ai bordi di scarpata, negli ambiti immediatamente superiori ai settori soggetti ad amplificazione topografica, nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, in caso $V_{S30}$ minore di 800 m/s valutazione anche del coefficiente di amplificazione litologico.

**Figura 15 – Estratto della Tavola 2.2 “Rischio sismico: carte delle aree suscettibili di effetti locali” del PTCP di Modena.**

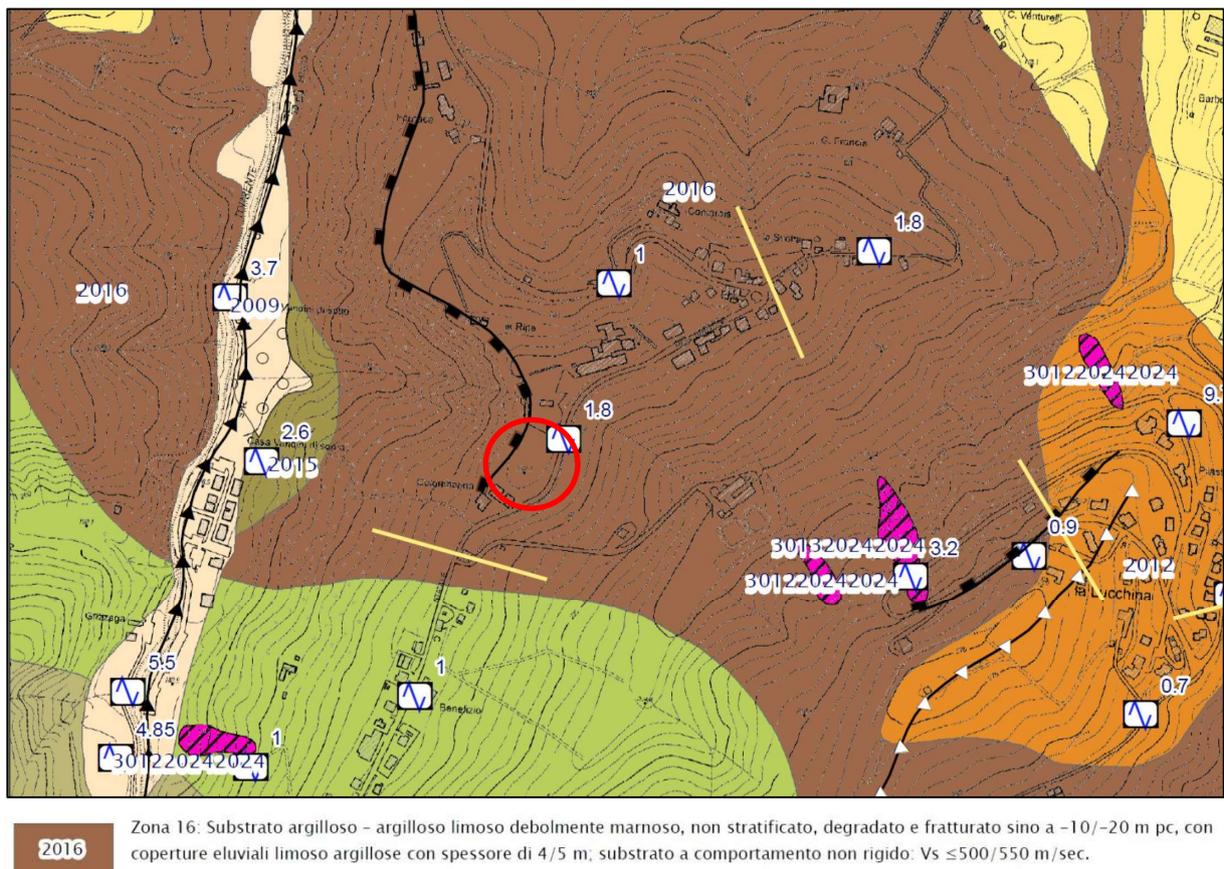


**Z16** Zona 16 Substrato argilloso - argilloso limoso debolmente marnoso, non stratificato, degradato e fratturato sino a -10/-20 m pc, con coperture eluviali limoso argillose con spessore di 4/5 m; substrato a comportamento non rigido:  $V_s \leq 500/550$  m/sec.

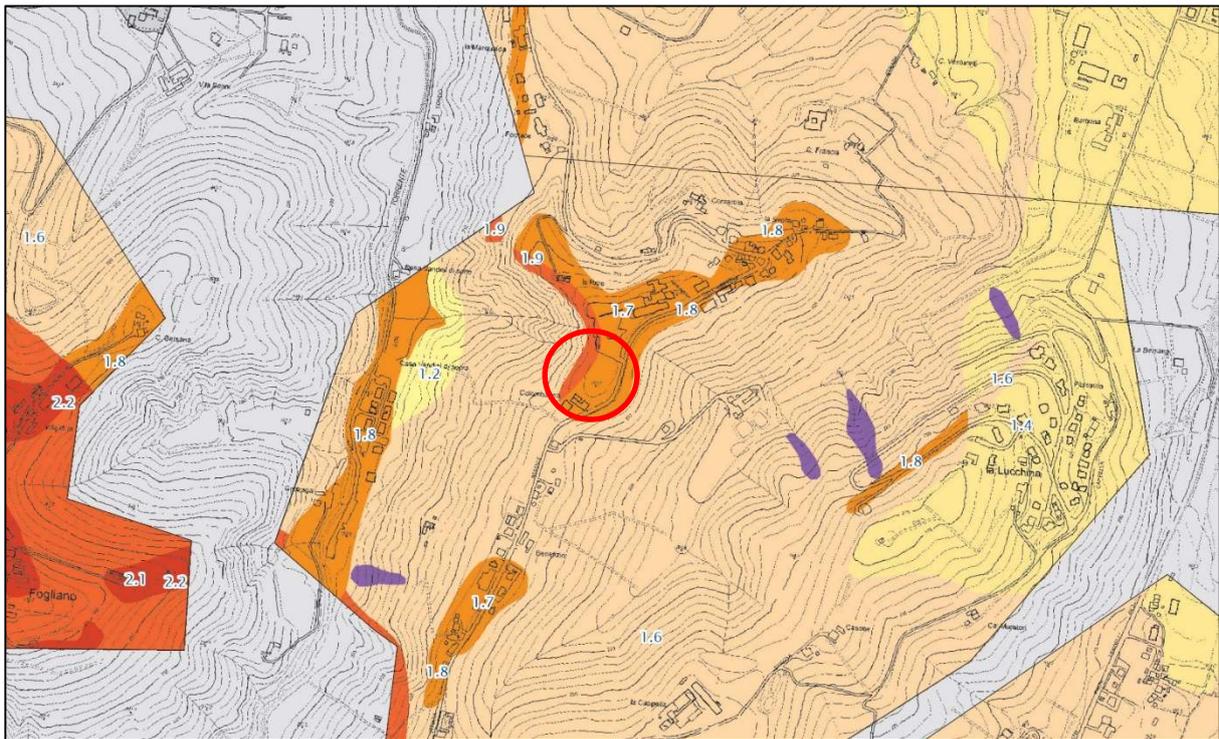
— Orlo di scarpata morfologica (>20 m)

▲ Cresta

**Figura 16 – Estratto della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica relativo all'area di studio (tratta da Studio di Microzonazione Sismica di 2 Livello del Comune di Maranello, 2016).**

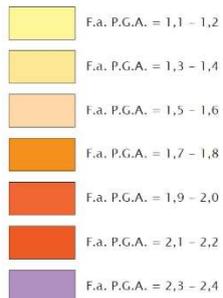


**Figura 17 – Estratto della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica relativo all'area di studio (tratta da Studio di Microzonazione Sismica di 3 Livello del Comune di Maranello, 2019).**

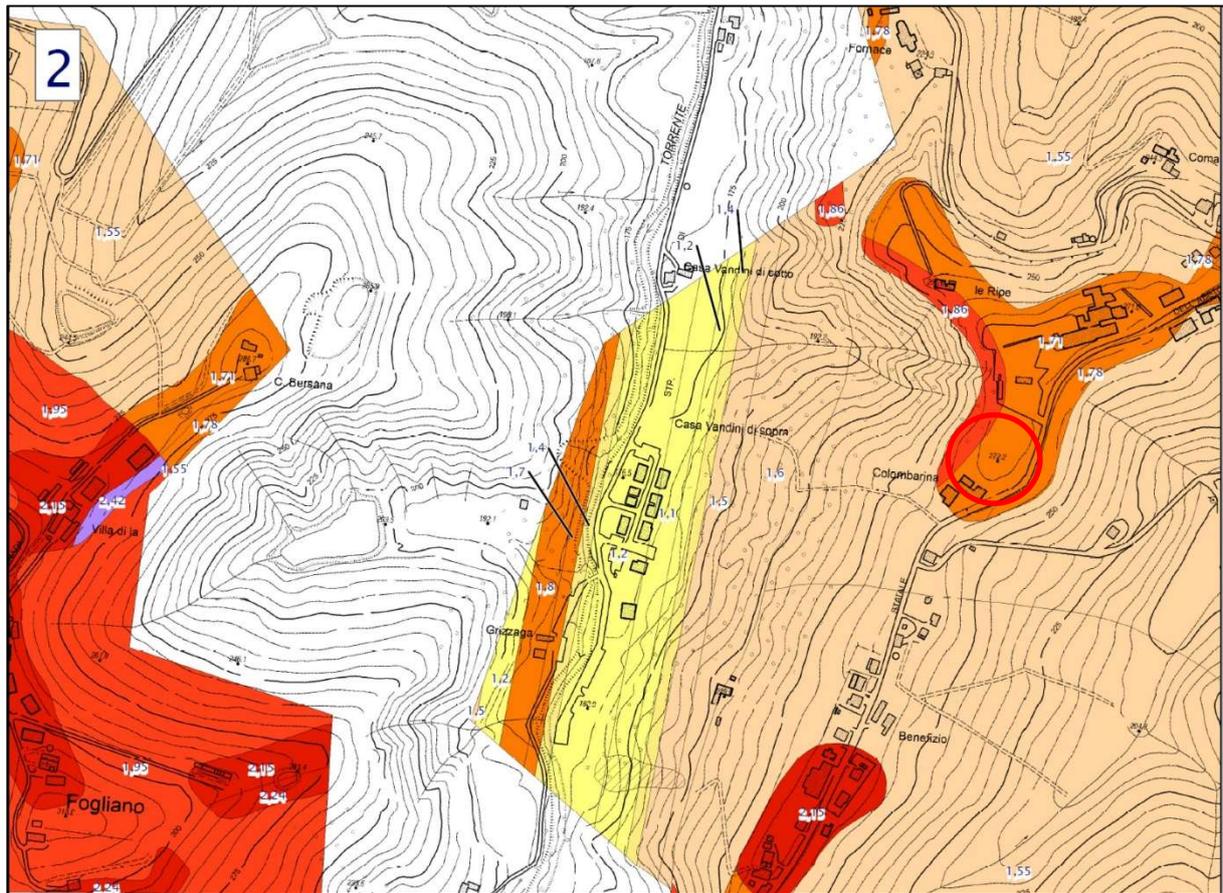


Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

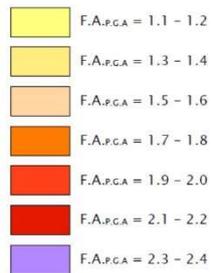
Fattori di amplificazione della P.G.A.



**Figura 18 – Estratto della Carta del fattore di amplificazione FA-PGA, che attribuisce un valore compreso tra 1.7÷1.8 per il sito in oggetto (tratta da Studio di Microzonazione Sismica di 2 Livello del Comune di Maranello, 2016).**



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



**Figura 19 – Estratto della Carta del fattore di amplificazione FA-PGA, che attribuisce un valore compreso tra 1.7÷1.8 per il sito in oggetto (tratta da Studio di Microzonazione Sismica di 3 Livello del Comune di Maranello, 2019).**

### 5.3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

In accordo con quanto esposto nelle NTC 2018 (§ 3.2), sono stati definiti i parametri della pericolosità sismica di base di tutto il territorio nazionale, a partire dai quali si determina l'azione sismica di un determinato sito. I parametri così definiti sono riportati nelle tabelle degli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, e successivi aggiornamenti.

Il sito in esame, per il quale si considera una classe d'uso 2, è situato nel territorio comunale di Maranello ed è identificato dalle seguenti coordinate geografiche (ED50):

#### Sito in esame

Latitudine [°]	44.50792
Longitudine [°]	10.86105
Classe d'uso	2

I parametri della pericolosità sismica di base del sito vengono calcolati facendo riferimento alla media pesata dei valori che si riferiscono a quattro punti del reticolo che comprendono l'area in oggetto e che si trovano alle seguenti coordinate geografiche:

#### Siti di riferimento

Sito 1	ID	16723	Lat	44.505	Lon	10.8272	Distanza	2701.19
Sito 2	ID	16724	Lat	44.5066	Lon	10.8973	Distanza	2876.447
Sito 3	ID	16502	Lat	44.5565	Lon	10.8952	Distanza	6043.793
Sito 4	ID	16501	Lat	44.555	Lon	10.825	Distanza	5963.097

I parametri della pericolosità sismica di base così definiti per il sito in oggetto sono i seguenti:

#### Parametri sismici della pericolosità sismica di base

Stato Limite	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
<b>SLO</b>	81	30	0.053	2.487	0.253
<b>SLD</b>	63	50	0.065	2.494	0.266
<b>SLV</b>	10	475	0.163	2.398	0.290
<b>SLC</b>	5	975	0.205	2.406	0.302

## 5.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC 2018)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II NTC 2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$ .

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

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

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

con:

$h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

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

$N$  numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella tabella seguente.

A -	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B -	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C -	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D -	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E -	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

I risultati dell'indagine sismica eseguita in sito e sopra citata sono illustrati in dettaglio nei precedenti paragrafi e nel report presente in allegato 2.

Dai dati ottenuti dalle indagini sismiche eseguite in sito è risultato il seguente valore di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio:

$$\mathbf{V_{s,eq} = 279 \text{ m/s}}$$

Sulla base di questo risultato, secondo le NTC 2018 (§ 3.2.2) il sottosuolo dell'area indagata risulta appartenente alla **categoria di sottosuolo C**:

*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

## 5.5 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA: ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

### Procedure e modalità operative

Per la definizione della risposta sismica del sito in oggetto, espressa in termini di amplificazione stratigrafica e amplificazione topografica, in accordo con gli strumenti di pianificazione vigenti si è proceduto con un approfondimento di secondo livello, secondo quanto indicato nella normativa tecnica regionale in materia di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (D.G.R. n 476 del 01/04/2021 e D.G.R. n. 564 del 21/04/2021).

In particolare si è fatto riferimento all'allegato A2 della DGR 476/2021, il quale riporta le modalità e le tabelle di calcolo dei fattori di amplificazione sismica per il secondo livello di approfondimento.

Per l'area oggetto di studio si considerano le tabelle relative alle zone di MARGINE (fig. 17), ovvero il settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, o la costa, caratterizzato da terreni alluvionali prevalentemente fini (argille, limi, sabbie) sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine o transizionali pleistoceniche (Sabbie Gialle) o dalla successione pelitica plio-pleistocenica (Argille Azzurre); il tetto del substrato geologico è a profondità indicativamente comprese tra 50 e 100 m; questo settore è suddiviso in:

- MARGINE di tipo A: caratterizzato da terreni fini o grossolani poco consolidati, di spessore non superiore a 30 m, sovrastanti orizzonti prevalentemente grossolani a comportamento più rigido (indicativamente con valore di  $V_s$  media almeno doppio rispetto a quello dei sedimenti sovrastanti);  $H$  è riferito allo spessore di sedimenti fini o grossolani poco consolidati sovrastanti i sedimenti continentali più rigidi;
- MARGINE di tipo B: caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini.

In base ai risultati ottenuti dalle indagini geognostiche eseguite in sito, integrati con i dati bibliografici e cartografici raccolti, è possibile affermare che l'area in studio è compresa nel MARGINE di tipo B. Il valore di  $V_{S,eq}$  calcolato, come riportato ai precedenti paragrafi, è pari a 279 m/s.

Le tabelle di riferimento per le zone del Margine di tipo B riportate nella DGR 476/2021 sono illustrate in figura 20.

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T_0 < 0,5s$ ), **SA2** ( $0,4s \leq T_0 < 0,8s$ ), **SA3** ( $0,7s \leq T_0 < 1,1s$ ) e **SA4** ( $0,5s \leq T_0 < 1,5s$ )

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0
SI3	3,3	3,1	2,7	2,4	2,2	2,0

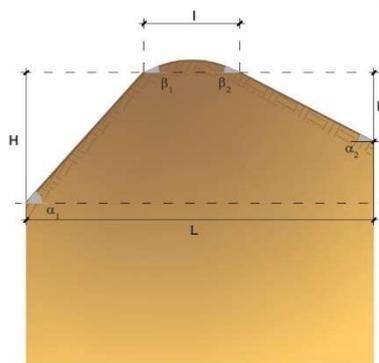
Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T_0 < 0,5s$ ), **SI2** ( $0,5s \leq T_0 < 1,0s$ ), **SI3** ( $0,5s \leq T_0 < 1,5s$ )

**Figura 20 – Tabelle per il calcolo dei fattori di amplificazione sismica con approfondimento di secondo livello, relativi al Margine di tipo B, tratti dall'allegato A2 della DGR 476/2021.**

Sulla base delle tabelle riportate in figura 20, per il sito in oggetto si definiscono i seguenti fattori di amplificazione del moto sismico:

F.A. PGA = 1.6
F.A. SAI1 $0.1s < T_0 < 0.5s$ = 1.7
F.A. SAI2 $0.4s < T_0 < 0.8s$ = 2.1
F.A. SAI3 $0.7s < T_0 < 1.1s$ = 2.4
F.A. SAI4 $0.5s < T_0 < 1.5s$ = 2.3
F.A. SI1 $0.1s < T_0 < 0.5s$ = 1.8
F.A. SI2 $0.5s < T_0 < 1.0s$ = 2.3
F.A. SI3 $0.5s < T_0 < 1.5s$ = 2.4

Infine, considerato che l'area di studio sorge su una zona di cresta, con inclinazione media dei pendii  $15^\circ < i < 30^\circ$ , si sono valutati gli effetti di amplificazione topografica come previsto dalla DGR 476/2021 per quanto riguarda le "configurazioni geometriche bidimensionali e tridimensionali (cocuzzolo, cresta, dorsale allungata) di altezza (H) superiore a 30 m", secondo lo schema e le formule illustrate di seguito (figura 21).



TIPO CRESTE	L > 350 m	250 m < L < 350 m	150 m < L < 250 m	L < 150 m
CRESTA APPUNTITA	$S_{T(0,1-0,5s)} = e^{1,11H/L}$	$S_{T(0,1-0,5s)} = e^{0,93H/L}$	$S_{T(0,1-0,5s)} = e^{0,73H/L}$	$S_{T(0,1-0,5s)} = e^{0,40H/L}$
CRESTA ARROTONDATA	$S_{T(0,1-0,5s)} = e^{0,47H/L}$			

**Figura 21 – Schema della configurazione di una cresta, con  $h \geq 1/3 H$  e con  $\alpha_1$  e  $\alpha_2 \geq 15^\circ$  (in alto) e relative formule per il calcolo dei fattori di amplificazione topografica (tratto da <https://www.geostru.eu>)**

È stato quindi calcolato il fattore di amplificazione topografica considerando la configurazione di cresta appuntita da cui si è ottenuto il valore:  **$S_T = 1.15$** .

### 5.6 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA: APPROCCIO SEMPLIFICATO SECONDO NTC 2018

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, secondo quanto indicato dalle NTC 2018, per la valutazione della risposta sismica del sito (§ 7.11.3 NTC 2018) espressa in termini di amplificazione stratigrafica e amplificazione topografica, si può ricorrere all'utilizzo dell'*approccio semplificato* basato sulle categorie topografiche e di sottosuolo, tramite cui è possibile ricavare i coefficienti di amplificazione stratigrafica  $S_s$  e topografica  $S_t$ .

In riferimento all'intervento in progetto, identificato dalle coordinate geografiche indicate di seguito, si considerano i seguenti parametri:

#### Sito in esame

Latitudine [°]	44.50792 (ED50)
Longitudine [°]	10.861047 (ED50)
Classe d'uso	2
Cat. topografica	T1
Cat. Sottosuolo	C
cu	1

Dati i parametri della pericolosità sismica di base (paragrafo 5.3 della presente relazione), e in considerazione della categoria di sottosuolo di appartenenza del sito in oggetto (categoria C, paragrafo 5.4 della presente relazione) e della categoria topografica T1, si sono quindi ricavati i coefficienti che definiscono la

risposta simica del sito.

I coefficienti così ottenuti e gli spettri di risposta elastici in accelerazione alla superficie (stato limite SLV) sono riportati nelle tabelle seguenti.

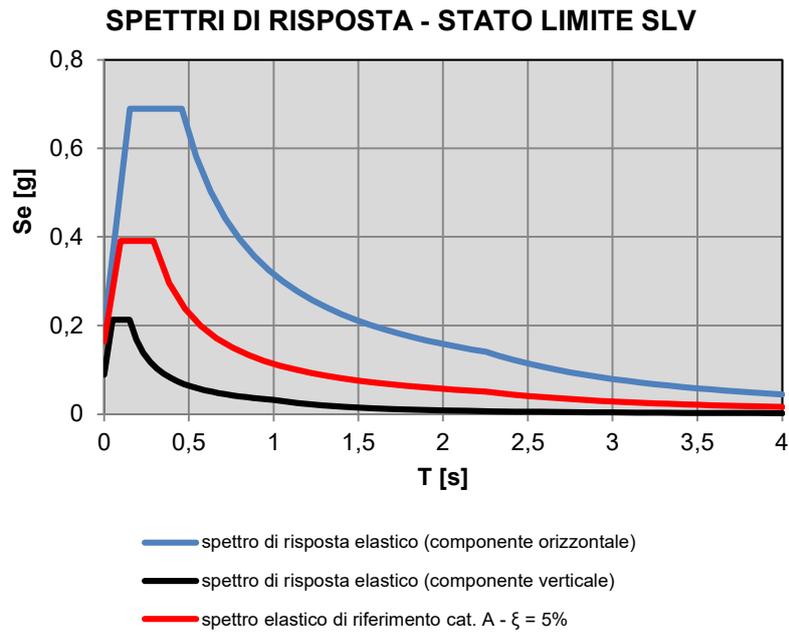
**Coefficienti che definiscono l'amplificazione del moto sismico per gli stati limite SLO, SLD, SLV**

	Ss	Cc	St	Kh	Kv	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta
<b>SLO</b>	1.500	1.650	1.2	0.02	0.01	0.928	0.2
<b>SLD</b>	1.500	1.630	1.2	0.02	0.01	1.153	0.2
<b>SLV</b>	1.470	1.580	1.2	0.07	0.03	2.814	0.24
<b>SLC</b>	1.400	1.560	1.2	0.1	0.05	3.372	0.28

**Parametri degli spettri orizzontale e verticale normalizzati riferiti allo stato limite SLV**

	SLV orizzontale	SLV verticale
<b>cu</b>	1	1
<b>ag [g]</b>	0.163	0.163
<b>Fo</b>	2.398	2.398
<b>Tc*[s]</b>	0.290	0.150
<b>Ss</b>	1.47	1
<b>Cc</b>	1.580	1.580
<b>St</b>	1.2	1.000
<b>S</b>	1.764	1.000
<b>q</b>	1	1
<b>TB[s]</b>	0.153	0.050
<b>TC[s]</b>	0.458	0.150
<b>TD[s]</b>	2.252	1.000

**Spettri di risposta elastici in accelerazione normalizzati, cat. C e cat. A (SLV, T<sub>R</sub>=475 anni)**



## 5.7 STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Dai risultati del presente studio emerge che il sottosuolo nell'area indagata non è interessato dalla presenza di depositi sabbiosi poco addensati nei primi 20 metri di profondità. In considerazione di ciò, la verifica della stabilità del sito nei confronti del fenomeno della liquefazione è stata omessa in quanto non sono presenti le condizioni predisponenti tale fenomeno (§ 7.11.3.4 NTC 2018).

## 6. SINTESI DELL'ANALISI DEI DATI RACCOLTI E CONCLUSIONI

Il presente studio è relativo alla caratterizzazione geologica e sismica a supporto della Variante al Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata denominato "La Svolta" e del relativo permesso di costruire, che hanno come oggetto la realizzazione di tre nuovi edifici in un'area situata in via Abetone Superiore nel Comune di Maranello (MO).

Per l'adempimento delle specifiche normative, è stato effettuato un sopralluogo sull'area al fine di verificarne l'idoneità geologica/geomorfologica e nel mese di dicembre 2022 è stata eseguita una campagna geognostica nell'area in oggetto al fine di definire le caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e sismiche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in progetto.

Le indagini geognostiche eseguite in sito sono le seguenti:

- n. 3 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT;
- n. 1 acquisizione sismica passiva a stazione singola con misura di microtremore ambientale e analisi HVSR.

Nell'area in oggetto l'assetto geologico è costituito da formazioni marine prevalentemente argillose di età plio-pleistocenica affioranti o subaffioranti (Formazione delle Argille Azzurre). Non essendo presenti corpi di frana né accumuli detritici degni di nota, i terreni di copertura sono rappresentati da uno spessore di pochi metri costituiti da depositi di alterazione superficiale della formazione in posto, a litologia argillosa e/o argilloso/limosa. Le prove penetrometriche CPT eseguite in sito hanno messo in evidenza che al di sotto dello spessore superficiale di terreno vegetale (almeno 60÷80 cm circa), sono presenti terreni argillosi e/o argilloso limosi caratterizzati da parametri di resistenza buoni, con valori di coesione non drenata generalmente  $\geq 1.0 \text{ kg/cm}^2$ . Le prove hanno raggiunto il rifiuto strumentale a profondità comprese tra -11.0 m ÷ -14.6 m da p.c., in corrispondenza di un orizzonte costituito da argille e/o argille limose molto consistenti. Inoltre durante la perforazione delle prove penetrometriche non è stata individuata la presenza di acqua di falda all'interno dei fori di sondaggio. In questi contesti, infatti, la circolazione idrica è prevalentemente superficiale a causa della scarsa permeabilità delle litologie affioranti, o perlopiù limitata ai primi due metri di spessore, principalmente a causa della formazione in superficie del sistema di crepe e fessure per essiccamento. La circolazione idrica più profonda può comunque essere eventualmente favorita da ristagni idrici in presenza di irregolarità della superficie topografica e/o dall'eventuale alternanza di livelli a diverse granulometria e permeabilità.

L'indagine sismica eseguita in sito ha permesso di stimare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di propagazione delle onde di taglio, al fine di definire il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo. L'indagine ha inoltre permesso di calcolare il parametro  $V_{S,eq}$  per la definizione della categoria di sottosuolo, come previsto dalle NTC 2018. Sulla base dei risultati ottenuti dalle indagini eseguite il sottosuolo dell'area indagata si classifica in **categoria C**.

Per la definizione della risposta sismica del sito in oggetto, espressa in termini di amplificazione stratigrafica e amplificazione topografica, si è proceduto con un approfondimento di secondo livello secondo quanto indicato nella normativa

tecnica regionale in materia di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (D.G.R. n 476 del 01/04/2021 e D.G.R. n. 564 del 21/04/2021).

I parametri che definiscono l'amplificazione stratigrafica e topografica del moto sismico così calcolati per il sito in oggetto sono i seguenti:

F.A. PGA = 1.6  
 F.A. SAI1  $0.1s < T_0 < 0.5s$  = 1.7  
 F.A. SAI2  $0.4s < T_0 < 0.8s$  = 2.1  
 F.A. SAI3  $0.7s < T_0 < 1.1s$  = 2.4  
 F.A. SAI4  $0.5s < T_0 < 1.5s$  = 2.3  
 F.A. SI1  $0.1s < T_0 < 0.5s$  = 1.8  
 F.A. SI2  $0.5s < T_0 < 1.0s$  = 2.3  
 F.A. SI3  $0.5s < T_0 < 1.5s$  = 2.4

$S_T$  (cresta appuntita) = 1.15

Ai fini della progettazione esecutiva dell'intervento si sono inoltre calcolati i parametri che definiscono l'azione sismica di progetto mediante l'impiego dell'approccio semplificato previsto dalle NTC 2018, in considerazione di una classe d'uso 2, di una categoria di sottosuolo C e di una categoria topografica T3. I risultati così ottenuti sono illustrati al paragrafo 5.6 della presente relazione.

Infine, poiché il sottosuolo nell'area indagata non risulta interessato dalla presenza di depositi sabbiosi poco addensati nei primi 20 metri di profondità, la verifica della stabilità del sito nei confronti del fenomeno della liquefazione è stata omessa in quanto non si ritiene che siano presenti le condizioni predisponenti tale fenomeno (§ 7.11.3.4 NTC 2018).

In considerazione di tutto ciò è possibile dedurre che non sussistono particolari criticità di tipo geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico che compromettano la fattibilità dell'intervento in progetto.

Modena, 28/12/2022

Dott. Geol. Valeriano Franchi

## **Allegato 1**

# **Prove Penetrometriche Statiche con punta meccanica CPT**



Strada Cavedole 12/C - 41126 Portile (MO)  
Tel: 347 4935672 mail: geovsrl@gmail.com

## **PROVA PENETROMETRICA STATICA**

Pagani TG63 100KN

Committente : Dott. Geol. Franchi Valeriano  
Località : Maranello  
Prova numero : 1  
Data : 14/12/2022  
Operatore : Dr. Capocchi Stefano  
Quota : P.C.  
Falda : No Acqua

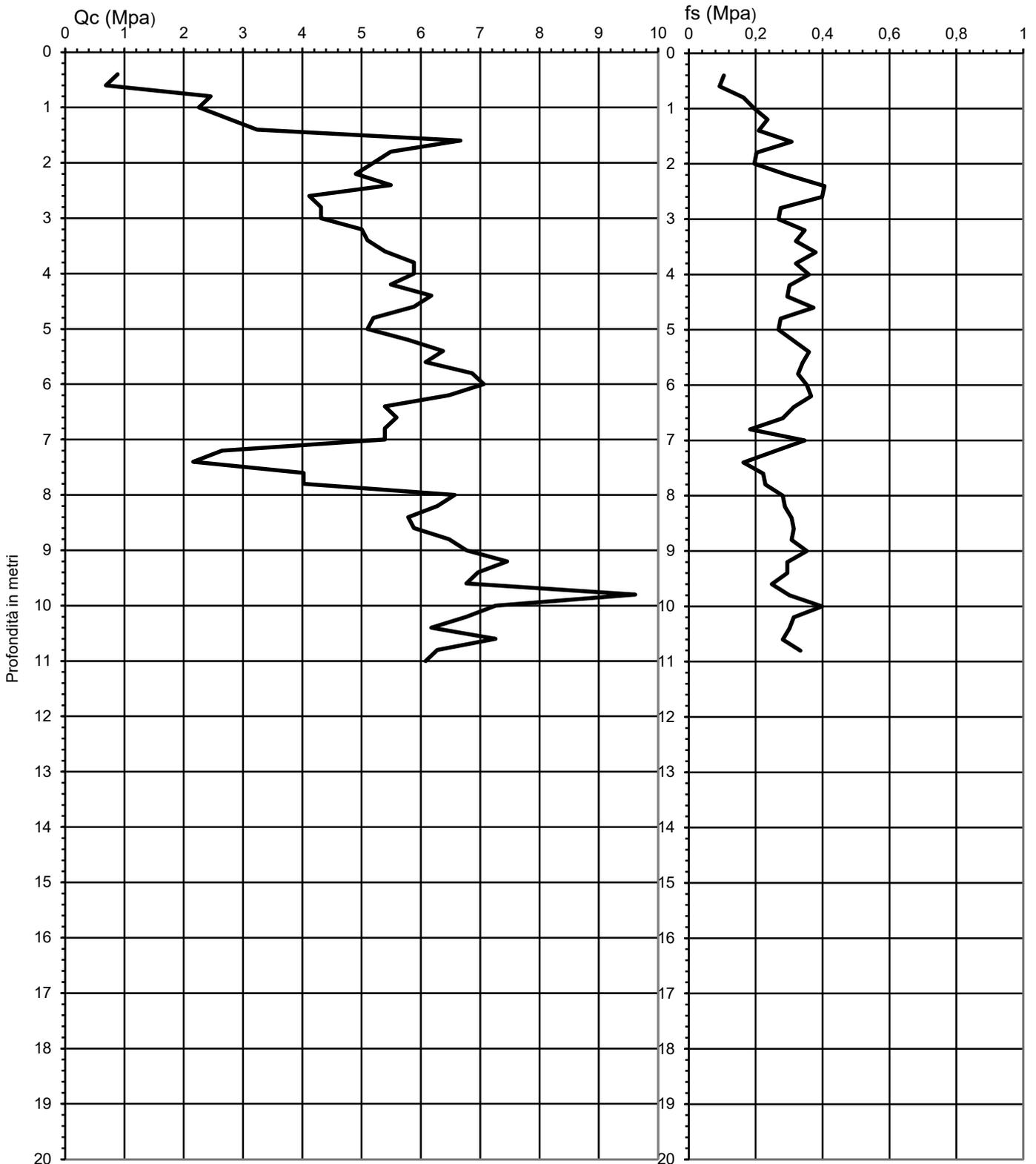


Strada Cavedole 12/C - 41126 Portile (MO)  
Tel: 347 4935672 Mail: geovsrl@gmail.com

## PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

Prova n. **1**  
Data di esecuzione 14/12/2022  
Operatore: Dr. Capocchi Stefano

Committente	Dott. Geol. Franchi Valeriano	Quota	P.C.
Località	Maranello	Preforo	
Cantiere	Via Abetone 194	Falda	No Acqua







Strada Cavedole 12/C - 41126 Portile (MO)  
Tel: 347 4935672 mail: geovsrl@gmail.com

## **PROVA PENETROMETRICA STATICA**

Pagani TG63 100KN

Committente : Dott. Geol. Franchi Valeriano  
Località : Maranello  
Prova numero : 2  
Data : 14/12/2022  
Operatore : Dr. Capocchi Stefano  
Quota : P.C.  
Falda : No Acqua

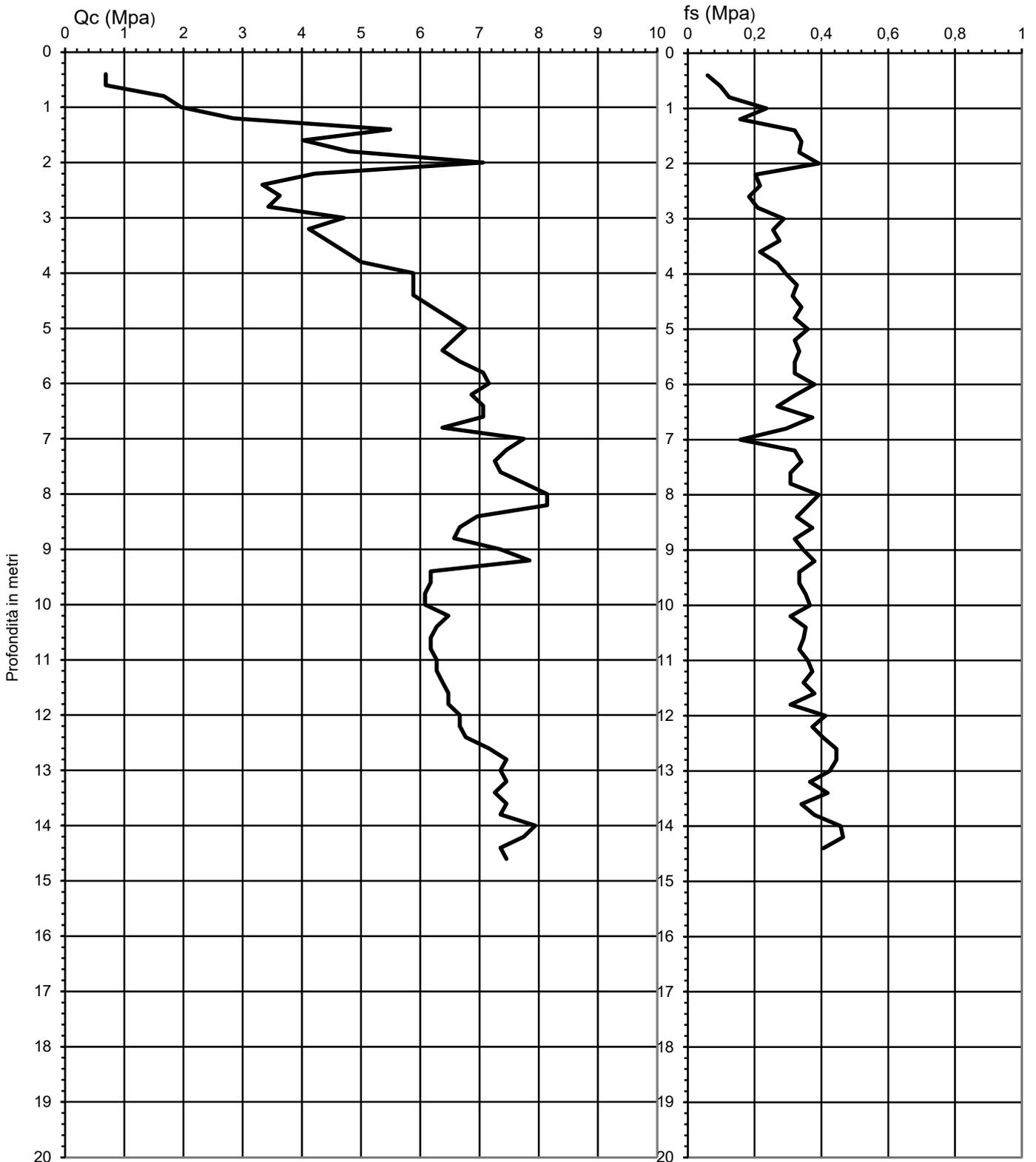


Strada Cavedole 12/C - 41126 Portile (MO)  
Tel: 347 4935672 Mail: geovsrl@gmail.com

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA  
DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

Prova n. **2**  
Data di esecuzione 14/12/2022  
Operatore: Dr. Capocchi Stefano

Committente	Dott. Geol. Franchi Valeriano	Quota	P.C.
Località	Maranello	Preforo	
Cantiere	Via Abetone 194	Falda	No Acqua







Strada Cavedole 12/C - 41126 Portile (MO)  
Tel: 347 4935672 mail: geovsrl@gmail.com

## **PROVA PENETROMETRICA STATICA**

Pagani TG63 100KN

Committente : Dott. Geol. Franchi Valeriano  
Località : Maranello  
Prova numero : 3  
Data : 14/12/2022  
Operatore : Dr. Capocchi Stefano  
Quota : P.C.  
Falda : No Acqua

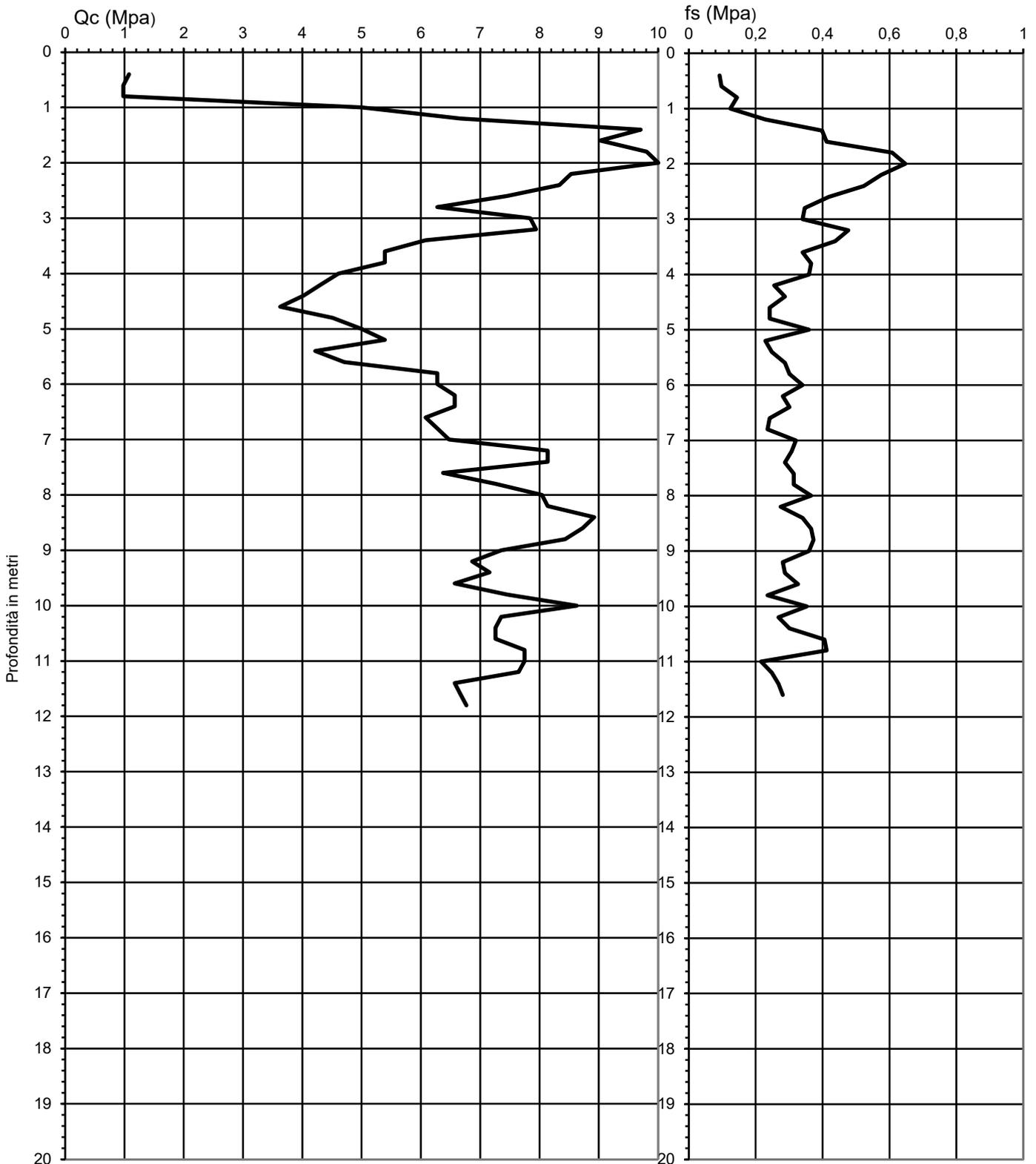


Strada Cavedole 12/C - 41126 Portile (MO)  
Tel: 347 4935672 Mail: geovsrl@gmail.com

### PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

Prova n. **3**  
Data di esecuzione 14/12/2022  
Operatore: Dr. Capocchi Stefano

Committente	Dott. Geol. Franchi Valeriano	Quota	P.C.
Località	Maranello	Preforo	
Cantiere	Via Abetone 194	Falda	No Acqua





## **Allegato 2**

### **Indagini sismiche**

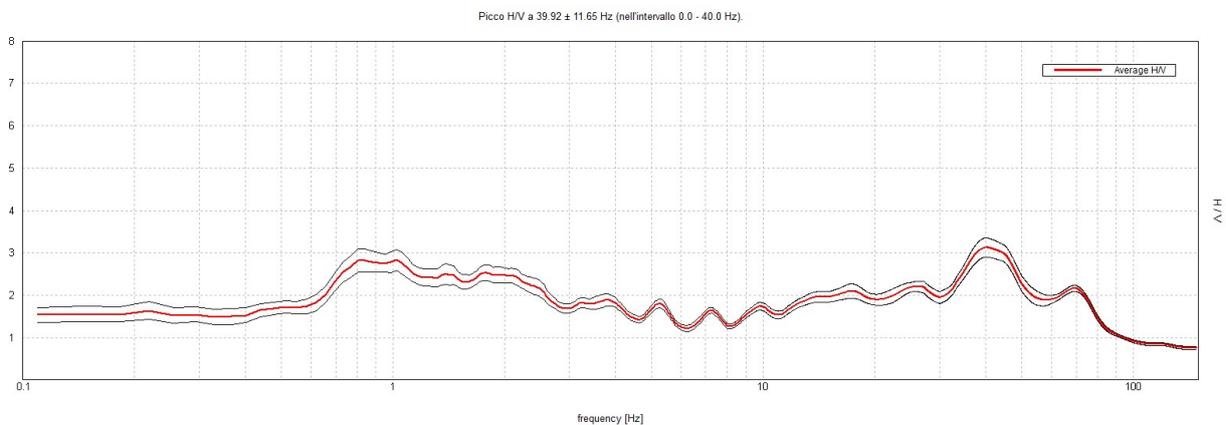
**Acquisizione sismica passiva a stazione singola**

## VIA ABETONE SUPERIORE, MARANELLO (MO)

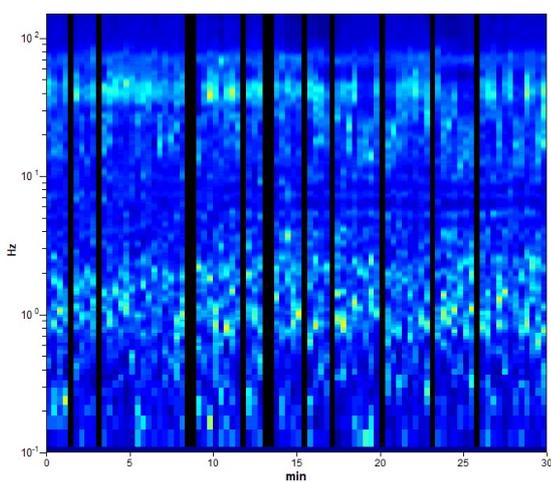
Strumento: EXT- SARA SR04HS  
Inizio registrazione: 14/12/2022 11:54:29 Fine registrazione: 14/12/2022 12:24:29  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST EST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 87% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 300 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

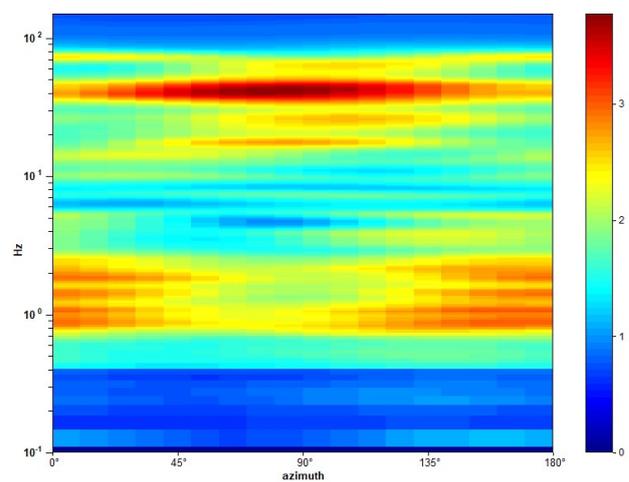
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



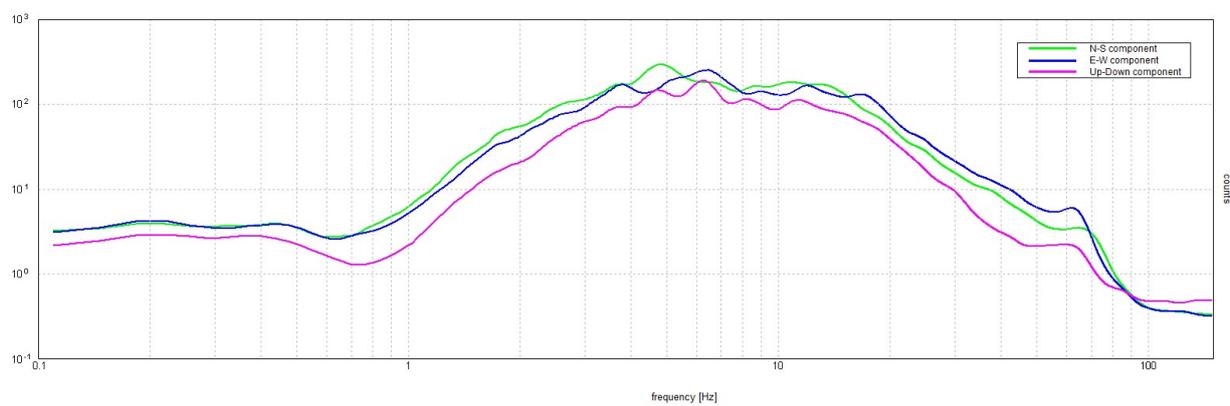
### SERIE TEMPORALE H/V



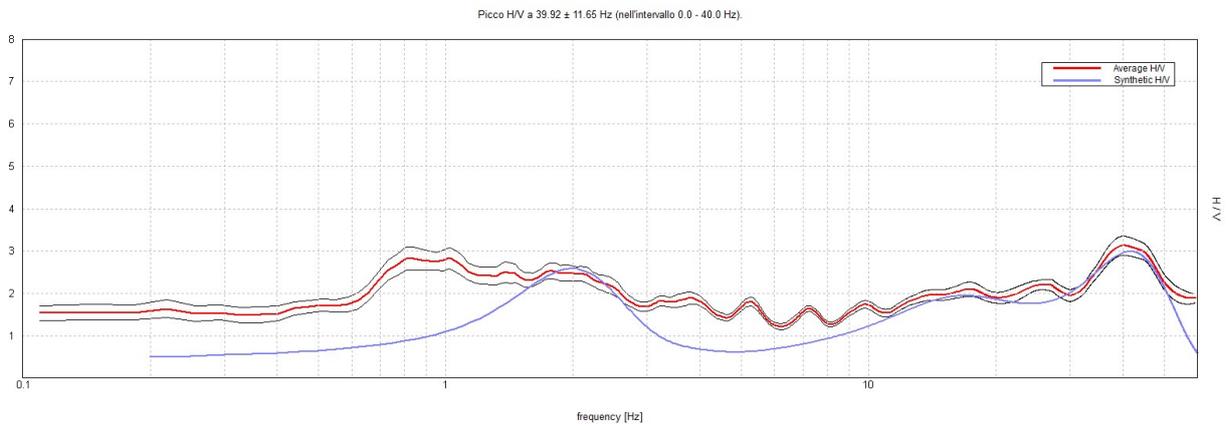
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

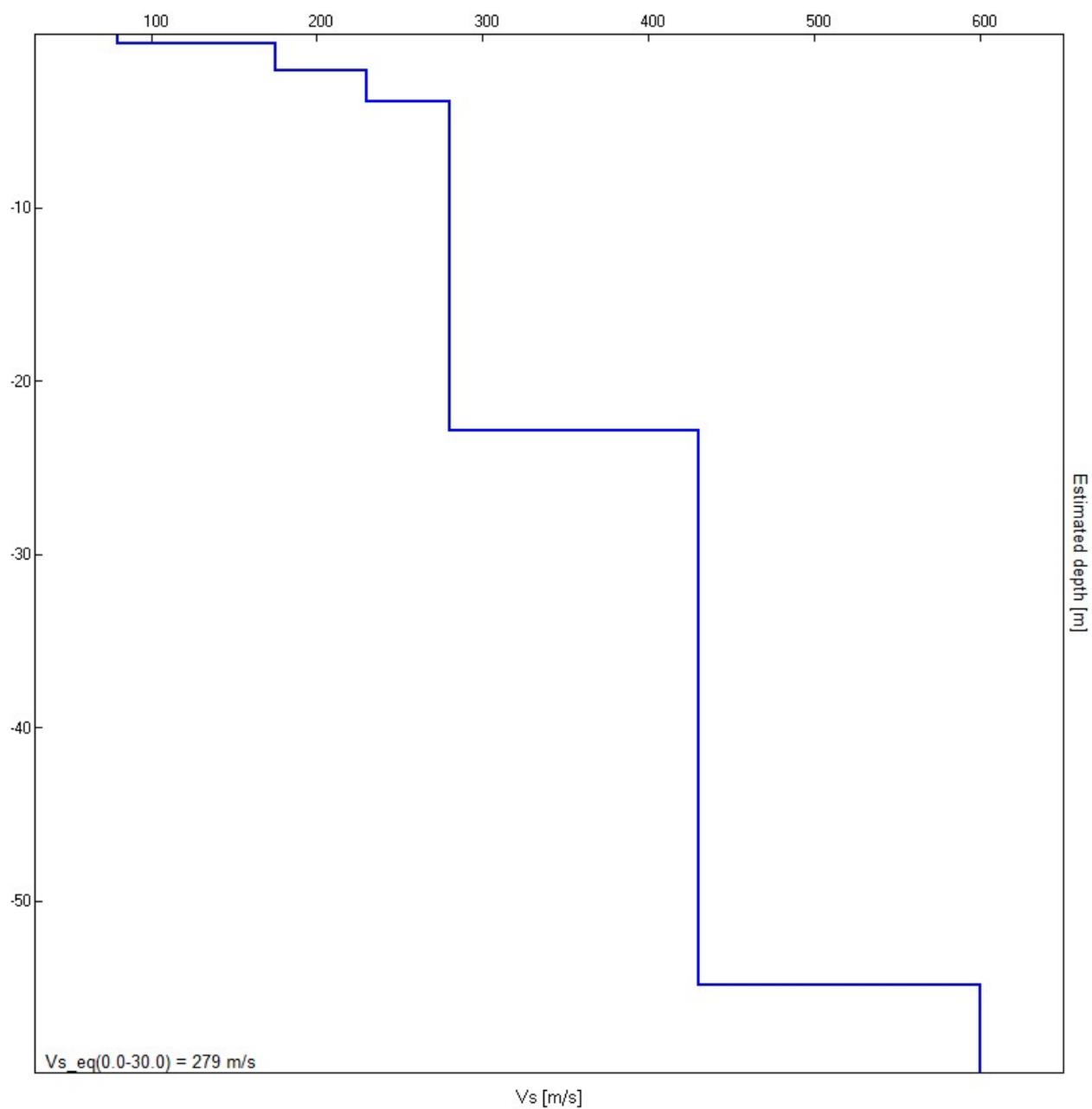


### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.50	0.50	80	0.45
2.10	1.60	175	0.42
3.90	1.80	230	0.42
22.90	19.00	280	0.42
54.90	32.00	430	0.42
inf.	inf.	600	0.40

$$V_{s\_eq}(0.0-30.0) = 279 \text{ m/s}$$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $39.92 \pm 11.65$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 40.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$39.92 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$62270.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1636	OK	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	11.316 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	78.845 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.13 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.29184  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$11.64945 < 1.99585$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2262 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

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