

**COMUNE DI MONTE CAVALLO**  
**PIÈ DEL SASSO**  
**ADEGUAMENTO / MIGLIORAMNETO**  
**SISMICO**  
**DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE**  
**SEDE COMUNALE**

*relazione geologica con elementi di geotecnica*

## INDICE

|                                                            |      |    |
|------------------------------------------------------------|------|----|
| 1.0. <u>Premessa</u>                                       | Pag. | 2  |
| 2.0. <u>Geomorfologia</u>                                  | Pag. | 3  |
| 3.0. <u>Geologia</u>                                       | Pag. | 3  |
| 3.1. Depositi alluvionali attuali e recenti                | Pag. | 4  |
| 3.2. Maiolica                                              | Pag. | 4  |
| 4.0. <u>Idrologia superficiale</u>                         | Pag. | 5  |
| 5.0. <u>PAI</u>                                            | Pag. | 5  |
| 6.0. <u>Pericolosità idrologica</u>                        | Pag. | 6  |
| 7.0. <u>Indagini</u>                                       | Pag. | 7  |
| 8.0. <u>Stratigrafia</u>                                   | Pag. | 7  |
| 9.0. <u>Caratteristiche geotecniche</u>                    | Pag. | 8  |
| 9.1. Riporto                                               | Pag. | 8  |
| 9.2. Limi sabbiosi                                         | Pag. | 8  |
| 9.3. Ghiaie                                                | Pag. | 9  |
| 10.0. <u>Premessa risposta sismica locale</u>              | Pag. | 9  |
| 10.1. Procedura di calcolo                                 | Pag. | 10 |
| 11.0. <u>Risposta sismica locale</u>                       | Pag. | 12 |
| 11.1. Def. di input sismico e dei parametri sismici        | Pag. | 12 |
| 11.2. Def. input sismico e dei dati di disaggregazione     | Pag. | 17 |
| 11.3. Determinazione accelerogrammi di input               | Pag. | 19 |
| 11.4. Analisi risposta sismica parametri generali di input | Pag. | 21 |
| 12.0 <u>Stato limite vita (SLV)</u>                        | Pag. | 25 |
| 13.0 <u>Stato limite danno (SLD)</u>                       | Pag. | 28 |
| 14.0. <u>Considerazioni conclusive</u>                     | Pag. | 30 |
| 15.0. <u>Fondazioni</u>                                    | Pag. | 31 |
| 16.0. <u>Capacità portante</u>                             | Pag. | 32 |

## COMUNE DI MONTE CAVALLO

### DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE CON ADEGUAMENTO SISMICO DI UN LOCALE COMMERCIALE ED ABITAZIONE

VIA ROMA 17  
ORDINANZA 56/2018

#### *Relazione geologica con elementi di geotecnica*

##### 1.0. Premessa.

Il presente studio riguarda un la sede comunale di Montecavallo sita nella frazione Piè del Sassotale immobile è costituito da un corpo storico Che verrà ristrutturatoe da un corpo realizzato più di recente che verrà demolito e ricostruito.



Fig.1 Immagine tratta da Google Earth la freccia nera indica il corpo storico, mentre quella blu il corpo che verrà demolito e ricostruito.

## 2.0. Geomorfologia.

Il territorio di Monte Cavallo è sito nel settore sud-occidentale della Provincia di Macerata, risulta essere prevalentemente montuoso dove i corsi d'acqua hanno inciso profonde valli e vallette poi riempite di sedimenti anche di notevole potenza, generando delle aree pianeggianti come nel caso di Piè del Sasso.

## 3.0. Geologia.

Il territorio comunale è caratterizzato da un diffuso affioramento di terreni sia di ambiente marino che continentale, e rientra nel dominio morfostrutturale della dorsale umbro-marchigiana. Nel complesso, i litotipi affioranti, costituenti il substrato dell'area studiata, appartengono alla tipica successione umbro-marchigiana depositatasi in un intervallo di tempo compreso tra il Tortonico superiore ed il Miocene superiore. Oltre alle unità litologiche costituenti il substrato, vi sono i depositi alluvionali superficiali dei principali corsi d'acqua.

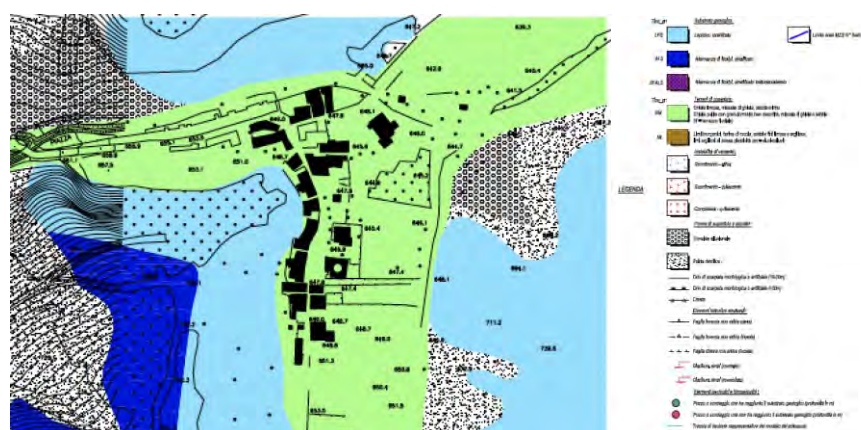


Fig.2 Estratto dalla Carta geologica Indagine Microzonazione di III Livello

### **3.1 Depositi alluvionali attuali e recenti.**

Costituiti principalmente da ghiaie in matrice sabbiosa o limosa più o meno abbondante; tali ghiaie sono costituite da elementi calcarei poco arrotondati. Questi depositi sono ben presenti nel capoluogo del Comune di Monte Cavallo, cioè Piè del Sasso.

Dall'indagine sismica in foro (DH) eseguita a Piè del Sasso e dalle inversioni congiunte è emerso che i primi metri compresi fino a 18,00/20,00 m. di alluvioni sono da poco a mediamente addensati con velocità sismica intorno ai 380 m/sec., mentre più in profondità le velocità salgono sopra gli 800 m/sec. generando quindi un substrato sismico.

### **3.2 Maiolica.**

Calcari micritici bianchi, sempre con la presenza di selce in liste o noduli, talora sono presenti intercalazioni pelitiche grigio scure.

Presenta una netta stratificazione con strati da medi a spessi, lo spessore della formazione della Maiolica risulta essere compreso tra i 300 ed i 350 m.

Tale formazione è presente in affioramento a Piè del Sasso sui versanti pressoché verticali che circondano la zona di confluenza su cui sorge l'abitato di Piè del Sasso. Dalle indagini eseguite, la ricostruzione geologica della sezione, passante per la Fraz. di Piè del Sasso, risulta essere quella di seguito riportata.

La sezione è posta trasversalmente alla valle e presenta la Maiolica ai lati di essa e riempita da uno spesso strato di depositi alluvionali su cui è stato costruito il Capoluogo.

Lo spessore stimato è attorno a 80 m.

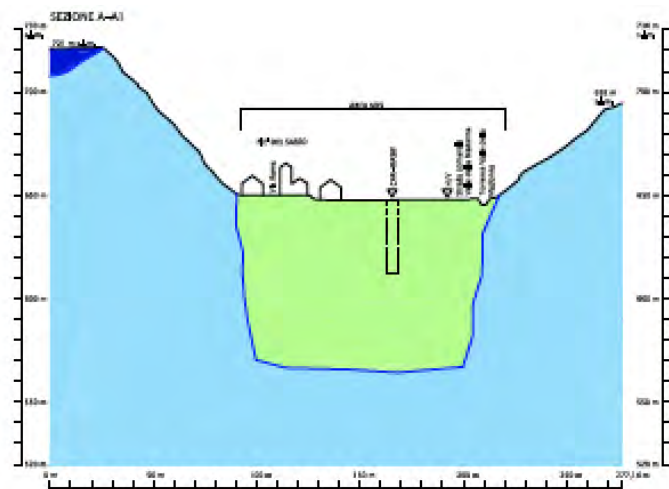


Fig.3 Estratto dalla relazione per Microzonazione di III Livello

#### 4.0. **Idrologia superficiale.**

Il territorio comunale di Monte Cavallo ricade nel bacino imbrifero del Fiume Chienti, il corso d'acqua principale è rappresentato dal Torrente Valle della Madonna e dal Torrente Piazza, che a valle della confluenza, in corrispondenza dell'abitato di Piè del Sasso, prende il nome di Torrente San Benedetto o Vallicello dove i rilievi calcarei, come detto, incisi hanno generato una profonda valle, poi riempita da depositi alluvionali di notevole spessore.

#### 5.0. **P.A.I. (Piano Assetto Idrogeologico)**

Analizzando la cartografia PAI a ridosso dell'abitato di Piè del Sasso risultano cartografate delle frane dovute a possibili distacchi della formazione lapidea, vista la verticalità di quest'ultima.

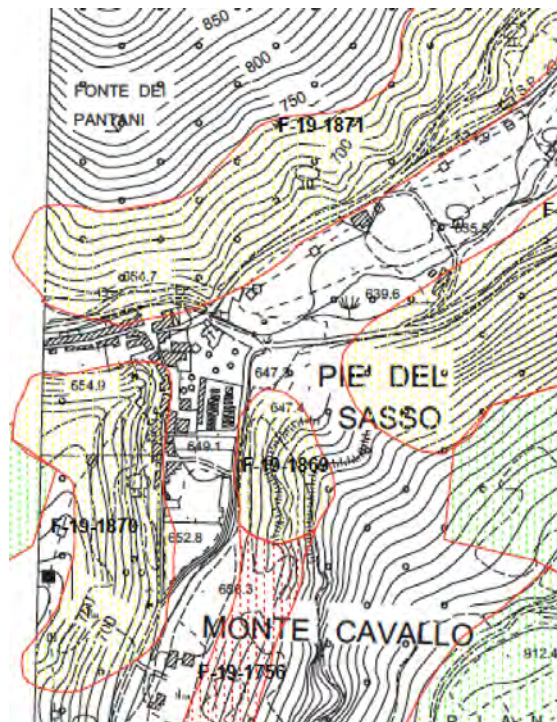


Fig.4 Estratto delle carte del PAI (Piano Assetto Idrogeologico)

Dalla fig. 4 è evidente quanto spiegato anche se ad oggi innumerevoli sono stati gli interventi atti alla mitigazione di tale rischio eseguiti prima dell'ultimo sisma che hanno infatti consentito di non avere danni per crollo in questa zona. Si precisa comunque che le aree interessate da variante sono solo lambite da tale pericolosità che, lo si ripete, risulta essere stata mitigata dall'intervento di rafforzamento corticale.

#### 6.0. Pericolosità idrologica.

L'area su cui ricade non è cartografata nel PAI come area esondabile anche se è stata introdotta una pericolosità di esondazione nel PRG redatto dal Dott. Onorati e dal Dott. Maccari.

Tale scelta fu fatta sulla base della foto interpretazione e da notizie storiche di inizio '900.

L'area in esame è stata oggetto di variante redatta dallo Studio Lenzi. Tale studio è stato approvato, ma con la prescrizione che le nuove opere vengano rialzate di 50 cm. dall'attuale piano di calpestio, superando in tal modo la criticità evidenziata nel lavoro di variante dovuta al Torrente della Madonna.

#### **7.0. Indagini.**

Il Comune di Monte Cavallo è stato oggetto di microzonazione di III livello.

Tale studio prevedeva la realizzazione di un sondaggio spinto fino al massimo di 35 m. se non si fosse trovata la formazione geologica in posto.

Il presente studio ha eseguito il sondaggio dove non è stata reperita la formazione fino a fondo foro, si è così proceduto alla strumentazione del foro per l'esecuzione del DH, che è stato eseguito da parte del personale preposto dal Centro di Microzonazione.

Il sondaggio è posto a poco meno di 30 m. dal fabbricato in esame, inoltre sono stati reperiti con l'aiuto dell'Ufficio Tecnico altri 2 sondaggi eseguiti per la sistemazione del fabbricato antistante.

Si è eseguito anche un assaggio con l'escavatore sulle fondazioni dell'edificio storico del comune, in uno dei pochi posti accessibili.

Oltre a tali indagini è eseguita un'indagine sismica passiva sia sui terreni che sul fabbricato oltre che un'indagine sismica tipo MASW.

#### **8.0. Stratigrafia.**

Dal confronto fra i vari sondaggi si è ricostruita la seguente stratigrafia:

|             |                                                                                    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,00 – 1,00 | Riporto                                                                            |
| 1,00 – 4,00 | Limi sabbiosi                                                                      |
| 4,00–35,00  | Ghiaie sia a spigoli vivi che arrotondate in matrice Limosa più o meno abbondante. |

## 9.0. Caratteristiche geotecniche.

Tali parametri sono stati dedotti dall'insieme di tutti i dati a disposizione quali: sondaggi, prove di laboratorio, prove penetrometriche in situ, indagini sismiche, attribuendo valori prudenziali.

### 9.1. Riporto.

Tale materiale risulta avere uno spessore variabile a seconda della zona dell'abitato, inoltre presenta una certa eterogeneità essendo costituito talora da tout-venant o da frammenti di laterizi talora frammisti a ghiaie o terreno vegetale. Vista tale eterogeneità, si ritiene opportuno non attribuire caratteristiche geotecniche specifiche.

### 9.2. Limi sabbiosi.

Dagli SPT in foro, che hanno mostrato valori compresi tra 5/10 per i livelli più superficiali dove la componente limosa è più abbondante, i valori prudenziali ottenuti attraverso le note correlazioni sono:

|                          |           |   |                               |
|--------------------------|-----------|---|-------------------------------|
| Angolo d'attrito interno | $\varphi$ | = | 19-23°                        |
| Coesione drenata         | $c'$      | = | 0,01- 0,02 kg/cm <sup>2</sup> |
| Coesione non drenata     | $C_u$     | = | 0,5-0,8 kg/cm <sup>2</sup>    |
| Peso di volume           | $\gamma$  | = | 17,00-18,00 KN/m <sup>3</sup> |
| Modulo edometrico        | $E_{ed}$  | = | 50 -63 Kg/m <sup>2</sup>      |
| Modulo di elasticità     | $E_u$     | = | 30 -40 Kg/m <sup>2</sup>      |

### 9.3. Ghiaie.

Durante il sondaggio gli STP in foro, hanno mostrato valori compresi tra 25/26 colpi, si sono così attribuiti i seguenti valori:

|                           |           |   |             |                    |
|---------------------------|-----------|---|-------------|--------------------|
| Angolo d'attrito interno  | $\varphi$ | = | 25-35°      |                    |
| Coesione drenata          | $c'$      | = | 0,00        | kg/cm <sup>2</sup> |
| Peso di volume            | $\gamma$  | = | 18,00-21,00 | KN/m <sup>3</sup>  |
| Modulo edometrico         | $E_{ed}$  | = | 70-80       | MN/m <sup>2</sup>  |
| Coeff. di compressibilità | $M_v$     | = | 24-25       | t/cm <sup>2</sup>  |

### 10.0. **Premessa risposta sismica locale**

L'ordinanza 55 del Commissario per la ricostruzione post-sisma 2016, che modifica l'allegato 1 dell'ordinanza 24, introduce un metodo per la regolarizzazione degli spettri ottenuti dagli studi di MS3, fornendo anche una procedura di regolarizzazione per gli spettri ottenuti da Risposta Sismica Locale (RSL). Nel caso in oggetto, si è messo a confronto lo spettro medio di output derivante dalla modellazione della MOPS 2006 dello studio di microzonazione sismica di Livello III (area in cui ricade l'edificio) con lo spettro di normativa per categoria di suolo di tipo B.

A seguito del confronto tra spettro elastico di categoria suolo B e MOPS 2006, dove rientra l'area oggetto di indagine, si evidenzia che lo spettro normalizzato supera quello da NTC18 per la condizione 1, dove si registrano 20 punti in cui si supera del 30% lo spettro semplificato di norma.

Alla luce di tale risultato si è proceduto ad effettuare la Risposta Sismica Locale.

#### 10.1. *Procedura di calcolo*

Tale analisi costituisce uno studio di “riferimento” del sito in esame, i cui risultati sono stati conseguiti opportunamente nei confronti delle SLV (Stato limite ultimo per la salvaguardia della vita) ed SLD (Stato limite di salvaguardia del danno) per classe d’uso III. Come richiesto dalla normativa, a riguardo è stata condotta la modellazione considerando la classe di vita nominale VN pari a 50 anni.

L’informazione di maggior interesse offerta dall’analisi di risposta sismica locale e lo spettro di risposta in accelerazione del moto del terreno (strumento dinamico più utilizzato per la progettazione di manufatti), che mette in evidenza gli effetti di sito.

L’analisi di risposta sismica locale condotta si basa su un profilo geotecnico e sismostratigrafico ricostruito in sito mediante un’indagine sismica elaborata con “fitting congiunto” fra MASW e indagine sismica passiva a stazione singola HVSR. Il contesto locale è stato valutato anche attraverso il reperimento di altre indagini eseguite nelle strette vicinanze utili a definire meglio le caratteristiche geotecniche delle litologie presenti.

Con la presente analisi è stato valutato il moto sismico cosiddetto “free field” (condizioni di “campo libero” ossia in assenza di manufatto). In sintesi i paragrafi che seguono riportano l’articolazione della analisi dinamiche atte a definire le modifiche che il segnale sismico subisce, a causa delle condizioni locali, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di tipo A).

Come noto lo scopo principale dell’analisi di risposta sismica locale è quello di prevedere come e quanto il movimento del suolo superficiale sia influenzato

dal movimento del bedrock in profondità. Ricordando le ipotesi alla base, nel caso di analisi monodimensionale:

1. la stratigrafia del suolo sia orizzontale;
2. le onde sismiche si propagano dal basso verticalmente;
3. le deformazioni del suolo sono funzione delle proprietà dinamiche dei litotipi.

Per l'analisi è stato utilizzato il software STRATA, il cui funzionamento può essere sintetizzato come segue:

1. Legge il sismogramma al bedrock costituito da ognuno dei 7 accelerogrammi;
2. Con una Trasformata di Fourier (FFT) calcola lo Spettro di Fourier (FAS<sub>bedrock</sub>) sempre al bedrock.
3. Calcola la Funzione di Trasferimento (TF) nel sito (quest'ultima è semplicemente pari al rapporto tra l'ampiezza dell'onda incidente sullo strato in direzione verticale verso l'alto "*upward*" e la sua riflessa in direzione verticale verso il basso "*downward*"). La Funzione di trasferimento dà immediatamente, grazie alla sua forma, informazioni importanti sui modi di vibrazione del suolo.
4. Calcola lo Spettro di Fourier (FAS<sub>suolo</sub>) stavolta in superficie, moltiplicando lo Spettro di Fourier al bedrock per la Funzione di Trasferimento con la formula:

$$FAS_{suolo} = FAS_{bedrock} \times TF$$

5. Tramite una Trasformata inversa di Fourier (IFFT), calcola l'accelerazione al suolo; questo è il risultato la cui utilità è l'immediata applicazione nelle soluzioni progettuali ingegneristiche.

Tale calcolo computazionale è un processo iterativo, infatti, dato che il comportamento dei suoli alle sollecitazioni dinamiche è di tipo "non – lineare", il che vuol dire che le proprietà dinamiche dei suoli quale il Modulo di Taglio  $G$  e il Dumping  $D$  variano con il variare delle deformazioni applicate allo stesso, STRATA riesegue lo stesso calcolo decine di volte, variando di volta in volta progressivamente solo le proprietà dinamiche, fino a una convergenza di progetto, raggiunta la quale il calcolo si interrompe: è una soluzione "equivalente" ad un calcolo "non lineare", e per questo motivo viene chiamata "Analisi Equivalente Lineare".

Particolare importanza hanno le proprietà non lineari dei materiali, in particolare il rapporto  $G/G_{max}$  e  $D$ , rispettivamente modulo di taglio "normalizzato" e dumping.

## 11.0. Risposta Sismica Locale

### 11.1. Definizione di input sismico e dei parametri sismici

Per la definizione dell'input sismico di modellazione della RSL, è necessario il sito in esame. È necessario quindi definire i seguenti parametri:

1. Coordinate del sito;
2. Vita di riferimento  $V_r$ , pari al prodotto delle Vita nominale  $V_n$  per il coefficiente d'uso  $C_u$  di indirizzo progettuale;
3. Stati limite di progetto di riferimento, SLV ed SLD etc.

Per la determinazione dei parametri di partenza sono state utilizzate le seguenti applicazioni:

- <http://www.geostru.com/geoapp/parametrisismici.aspx> per la determinazione delle coordinate ED50;
- Spettri-NTCver.1.0.3 per la determinazione dei valori di  $A_g$ ,  $F_0$  e  $T^*c$  in funzione dei diversi tempi di ritorno.

|                                                        |                                          |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Coordinate del sito (sistema di riferimento ED50)      | Latitudine = 42.994540                   |
|                                                        | longitudine = 13.002086                  |
| Coordinate del sito (sistema di riferimento UTM WGS84) | Latitudine = 42.993579                   |
|                                                        | longitudine = 13.001155                  |
| Scelta della strategia di progettazione                | Vita Nominale (VN) = 50 anni             |
|                                                        | Coefficiente d'uso (CU) classe III = 1,5 |
|                                                        | Stati limite di riferimento = SLV – SLD  |
| Dati di disaggregazione                                | Magnitudo (M) compresa tra 4 e 7.5 (SLV) |
|                                                        | Distanza (R) compresa tra 0 e 30 Km      |

*Tabella 1 - dati sito specifici necessari per l'estrapolazione degli input sismici sismocompatibili e spettrocompatibili*

Come precedentemente accennato lo stato limite ultimo considerato è lo stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una

parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

Ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento  $P_{VR}$  (Tabella 2), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento VR, si verifichi almeno un evento sismico ( $n \geq 1$ ) di  $a_g$  prefissata ( $a_g$  = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $1 = 1/T_R$  ( $T_R$  = periodo di ritorno).

|                                                  |     |                 |
|--------------------------------------------------|-----|-----------------|
| Stato limite di esercizio: operatività           | SLO | $P_{VR} = 81\%$ |
| Stato limite di esercizio: danno                 | SLD | $P_{VR} = 63\%$ |
| Stati limite ultimo: salvaguardia della vita     | SLV | $P_{VR} = 10\%$ |
| Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso | SLC | $P_{VR} = 5\%$  |

Tabella 2 - Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR

Fissati VR e PVR associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'Allegato A delle NTC18:

Tale relazione tra PVR (probabilità) e TR (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è VR = 75 anni, il tempo di ritorno TR sarà:

|                                                  |     |              |
|--------------------------------------------------|-----|--------------|
| Stato limite di esercizio: operatività           | SLO | $T_R = 45$   |
| Stato limite di esercizio: danno                 | SLD | $T_R = 75$   |
| Stati limite ultimo: salvaguardia della vita     | SLV | $T_R = 712$  |
| Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso | SLC | $T_R = 1462$ |

Tabella 3 - Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR

| VR 50 anni e Coefficiente d'uso 3 |        |       |       |       |
|-----------------------------------|--------|-------|-------|-------|
| Stato limite                      | Tr     | ag    | F0    | Tc*   |
|                                   | [anni] | [g]   | [-]   | [s]   |
| SLO                               | 45     | 0.091 | 2.387 | 0.280 |
| SLD                               | 75     | 0.115 | 2.371 | 0.289 |
| SLV                               | 712    | 0.273 | 2.384 | 0.328 |
| SLC                               | 1462   | 0.343 | 2.399 | 0.340 |

Tabella 4 Parametri di pericolosità sismica per TR previsti nelle NTC18, per il sito in oggetto (VR 50 anni classe uso II)

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 13.00121      LATITUDINE: 42.59536

☐ Ricerca per comune

REGIONE: Marche      PROVINCIA: Macerata      COMUNE: Piè del Sasso

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variazioni dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

km 7.5

25188 25190

25411 25412

7.5 km

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo:

☒ Sito esterno al reticolo

☐ Interpolazione su 3 nodi

☐ Interpolazione omota

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO      **FASE 1**      FASE 2      FASE 3

Figura 5- Spettri NTC.vers 1.0.3 - definizione dei parametri sismici

## FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE { SLO -  $P_{VR} = 81\%$    
SLD -  $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU { SLV -  $P_{VR} = 10\%$    
SLC -  $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

--□-- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Figura 6 - Spettri NTC.vers 1.0.3 - definizione dei parametri progettuali

Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c$  in funzione del per

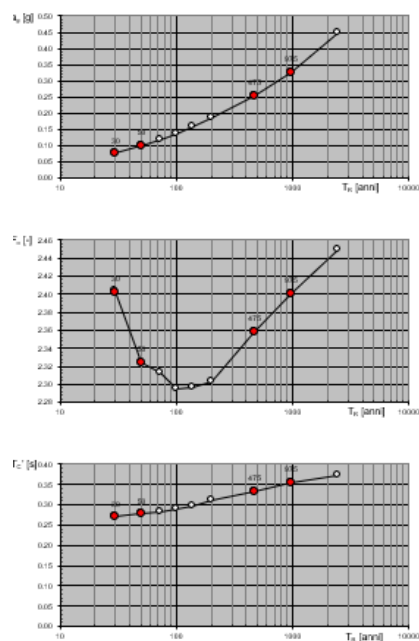


Figura 7 - Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$

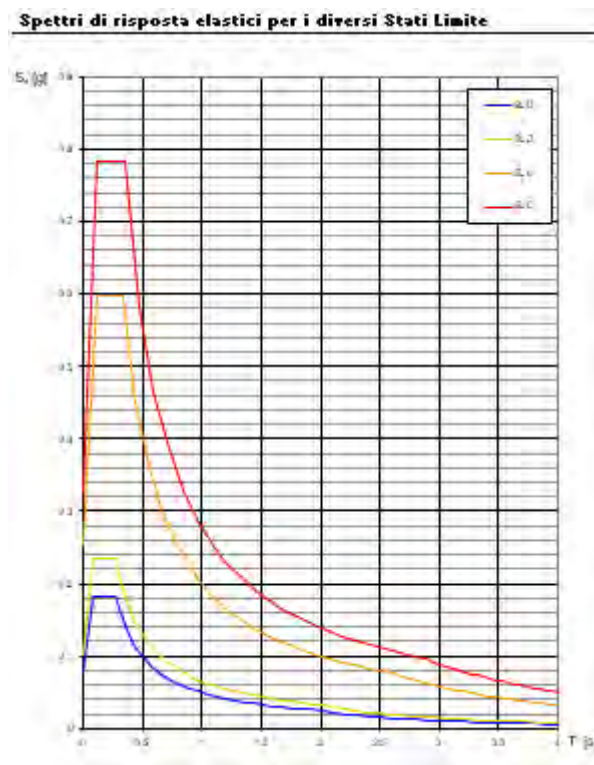


Figura 8 - Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite NTC18

### 11.2. Definizione input sismico e dei dati di disaggregazione

L'estrazione degli accelerogrammi di input sismo-compatibili prevede la determinazione di altri parametri sismologici, oltre a quelli precedentemente definiti.

In particolare devono essere definiti i dati di disaggregazione sismica (variabilità in termini di magnitudo e distanza) ottenuti consultando il database dell'INGV al link <http://esse1-gis.mi.ingv.it>.

Si sono dunque determinati i parametri M (magnitudo) e R (distanza) di disaggregazione

- M (magnitudo) compresa tra  $M_{\min} = 4$  e  $M_{\max} = 7.5$
- R (raggio distanza) compresa fra  $R_{\min} = 0$  Km e  $R_{\max} = 30$  Km

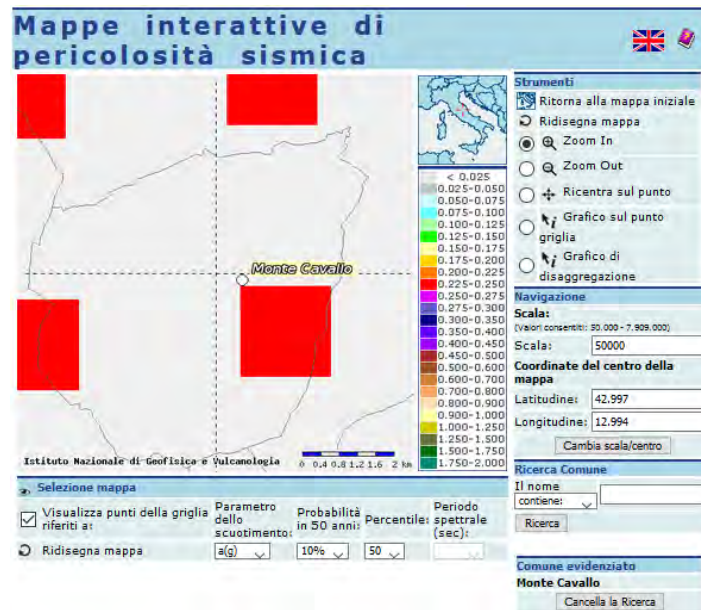


Figura 9 -Grafico di disaggregazione M-R per il territorio comunale di Monte Cavallo

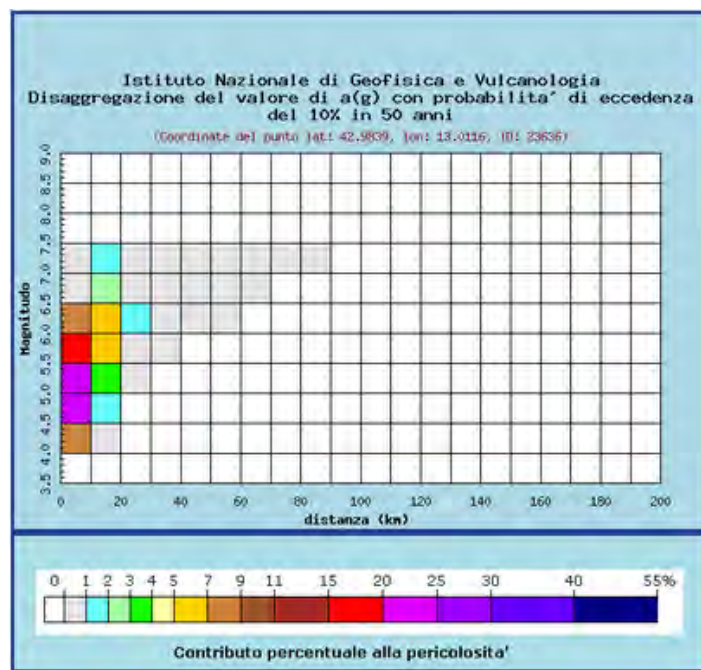


Figura 10 - Disaggregazione del valore di  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni per il sito in oggetto

| Distanza<br>in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit  di eccedenza del 10% in 50 anni<br>(Coordinate del punto lat: 42.9839, lon: 13.0116, ID: 23636) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                   | Magnitudo                                                                                                                                          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|                   | 3.5-4.0                                                                                                                                            | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 |
| 0-10              | 0.000                                                                                                                                              | 8.600   | 22.400  | 20.100  | 15.000  | 8.270   | 0.959   | 0.415   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 10-20             | 0.000                                                                                                                                              | 0.100   | 1.400   | 3.690   | 5.480   | 5.290   | 2.260   | 1.240   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 20-30             | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.093   | 0.748   | 1.340   | 0.809   | 0.603   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 30-40             | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.033   | 0.289   | 0.295   | 0.285   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 40-50             | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.025   | 0.091   | 0.121   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 50-60             | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.017   | 0.045   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 60-70             | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.001   | 0.015   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 70-80             | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.003   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 80-90             | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 90-100            | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 100-110           | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 110-120           | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 120-130           | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 130-140           | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 140-150           | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 150-160           | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 160-170           | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 170-180           | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 180-190           | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 190-200           | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |

| Valori medi |          |         |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo   | Distanza | Epsilon |
| 5.430       | 7.590    | 1.100   |

Tabella 5 - Tabella valori di disaggregazione con sintesi dei valori medi

### 11.3 Determinazione accelerogrammi di input

Al fine di estrapolare gli accelerogrammi di input per la modellazione di sito   stato utilizzato il database online ESM8 Engineering Strong-Motion database) e REXELite (The Database have to be acknowledged as : Luzi L. Puglia R., Russo E. & Orfeus wg5 (2016). EngineeringStrong Motion Database, version 1.0 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories & Research Facilities for European Seismology. Doi. 10.13127/ESM, <http://esm.mi.ingv.it>) una versione online semplificata del programma per computer REXEL (Iervolino et al., 2009), sviluppato da Iunio Iervolino e Carmine Galasso, dell'Universit  Federico II di Napoli, e che consente di cercare una combinazione di forme d'onda compatibili con un target spectrum, generato secondo EUROCODE 8.

|                                      |                                                                                              |           |                    |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|
| Request number                       | 23800                                                                                        |           |                    |
| Session title                        | Piè del Sasso                                                                                |           |                    |
| Latitude [degrees]                   | 42.993693                                                                                    | Longitude | 13.001389          |
| Site classification (EC8)            | A                                                                                            |           |                    |
| Topography                           | T1 - flat surfaces, isolated cliffs and slopes with average slope angle not greater than 15° |           |                    |
| Nominal life [years]                 | 50 years - ordinary structures                                                               |           |                    |
| Building functional type             | 2 - ordinary structures (Cu=1.0)                                                             |           |                    |
| Limit state probability              | Life safety (P=10%)                                                                          |           |                    |
| Ground motion components             | One horizontal component                                                                     |           |                    |
| Station site classification criteria | A,A*                                                                                         |           |                    |
| Focal mechanism                      | Not selected                                                                                 |           |                    |
| Magnitude (Ml or Mw)                 | min                                                                                          | 4.0       | max 7.5            |
| Epicentral distance [km]             | min                                                                                          | 0.0       | max 30.0           |
| Period range [s]                     | lower                                                                                        | 0.11      | upper 2.0          |
| Tolerance [%]                        | lower                                                                                        | 10.0      | upper 30.0         |
| Scaled records                       | No                                                                                           |           |                    |
| Include...                           | late trigger events                                                                          | No        | analog records Yes |

Figura 1 - Parametri di input inseriti nella finestra REXELite per SLV classe II VN 50 anni

Nel caso specifico, l'input sismico è stato vincolato al substrato geologico rigido con  $V_s > 800$  m/sec, di conseguenza gli accelerogrammi estrapolati per la modellazione si riferiscono a registrazioni reali su suolo di tipo "A".

Come parametri di ricerca dei dati è stato impostato l'intervallo di magnitudo fra 4 e 7.5 e un raggio pari a 30 Km (sulla base dell'analisi di disaggregazione della PGA); la scelta dei sismogrammi prende in considerazione registrazioni reali con cinematismo confrontabile.

| Network                                                                            | Station code | Event time          | Scale factor | Usable Bandwidth [Hz] | Orientation | Response spectrum |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|--------------|-----------------------|-------------|-------------------|
| 3A - Centro di microzonazione sismica Network, 2016 Central Italy seismic sequence | MZ19         | 2016-10-30 06:40:18 | 1.0          | 69.96                 | HNE         |                   |
| IT - Italian Strong Motion Network (RAN) [DPC]                                     | BSC          | 1980-11-23 18:34:53 | 1.0          | 24.8                  | HNN         |                   |
| IT - Italian Strong Motion Network (RAN) [DPC]                                     | CLO          | 2016-10-26 19:18:06 | 1.0          | 39.93                 | HGE         |                   |
| IT - Italian Strong Motion Network (RAN) [DPC]                                     | CLO          | 2016-10-26 19:18:06 | 1.0          | 39.93                 | HGN         |                   |
| IT - Italian Strong Motion Network (RAN) [DPC]                                     | SVN          | 2016-12-26 02:19:17 | 1.0          | 39.9                  | HGE         |                   |
| IT - Italian Strong Motion Network (RAN) [DPC]                                     | SVN          | 2016-12-26 02:19:17 | 1.0          | 39.9                  | HGN         |                   |
| IV - Italian National Seismic Network [INGV]                                       | T1212        | 2016-10-30 06:40:18 | 1.0          | 49.96                 | HNN         |                   |

Tabella 6 - sintesi dei sismogrammi selezionati

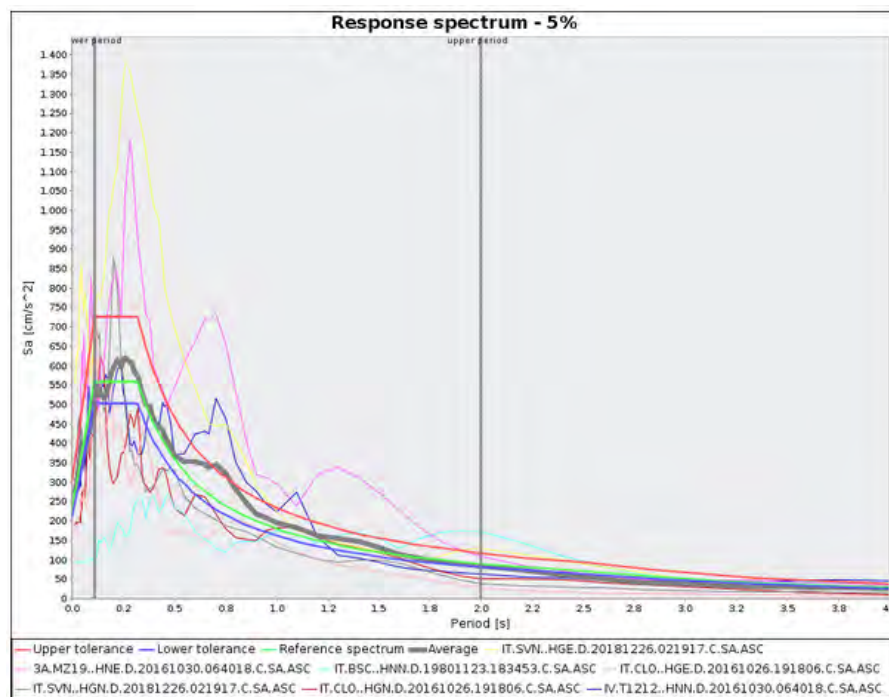


Figura 11 - Esempio di spettri accelerometrici sismo-compatibili e loro fattore di scala per SLV  
classe II VN50 anni TR 475 anni.

#### 11.4 Analisi risposta sismica parametri generali di input

Per l'analisi condotta con il software STRATA sono stati inseriti i seguenti parametri generali. In prima fase sono stati identificati i vari strati litologici attribuendogli i valori di densità in  $\text{KN/m}^3$  stimati dalle indagini reperite effettuate in sito (prove sismiche e sondaggi), nonché il valore di decadimento del modulo di rigidezza  $G$  (effettive strain ratio) utilizzando le formule di letteratura e sperimentali effettuate sui recenti lavori di Microzonazione sismica di livello 3.

| Soil Types |                 |                                  |                          |                          |       |
|------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|
|            | Name            | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | G/G_max Model            | Damping Model            | Notes |
| 1          | Riporto         | 17.00                            | ROLLINS ET AL. (1998)    | ROLLINS ET AL. (1998)    |       |
| 2          | limi argillosi  | 19.00                            | Vucetic & Dobry, PI = 15 | Vucetic & Dobry, PI = 15 |       |
| 3          | ghiaie e sabbie | 20.20                            | ROLLINGS ET AL (1998)    | ROLLINGS ET AL (1998)    |       |
| 4          | ghiaie e sabbie | 20.80                            | ROLLINGS ET AL (1998)    | ROLLINGS ET AL (1998)    |       |
| 5          | Marne argillose | 21.50                            | ALS-COS                  | ALS-COS                  |       |

Figura 12 - Densità degli strati individuati e relative curve di decadimento utilizzate

Per quanto riguarda il bedrock sismico (riferibile in sito al substrato geologico con  $V_s > 800$  m/sec) è stato considerato un valore di peso di volume pari a  $23.0 \text{ KN/m}^3$ .

Il profilo sismostratigrafico di sito è stato ricavato dalle indagini sismiche eseguite e reperite in sito.

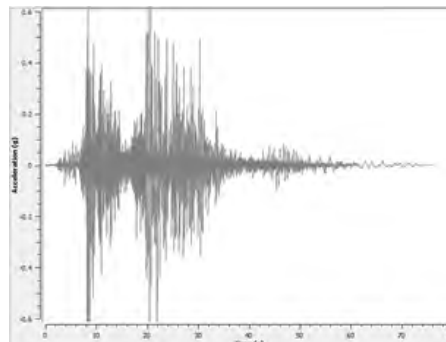
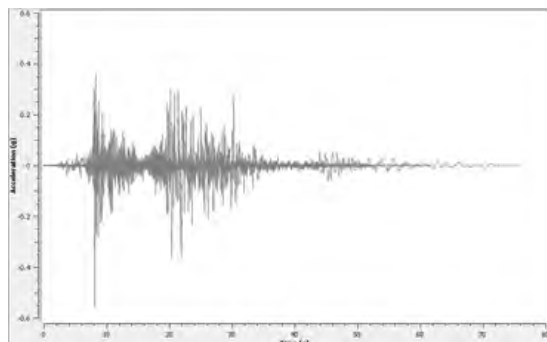
| Site Profile |           |               |                 |             |
|--------------|-----------|---------------|-----------------|-------------|
|              | Depth (m) | Thickness (m) | Soil Type       | $V_s$ (m/s) |
| 1            | 0.00      | 0.69          | Riporto         | 100.00      |
| 2            | 0.69      | 2.96          | limi argillosi  | 240.00      |
| 3            | 3.65      | 9.04          | ghiaie e sabbie | 430.00      |
| 4            | 12.69     | 16.61         | ghiaie e sabbie | 655.00      |
| 5            | 29.30     | Half-Space    | Bedrock         | 1360.00     |

Figura 13- Identificazione dei sismostrati con attribuzione delle velocità delle onde di taglio

SLV classe II VN 50 anni TR 475 anni

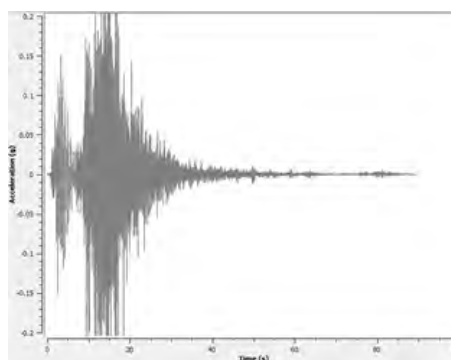
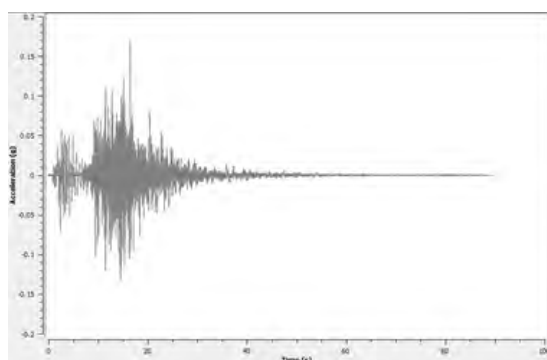
Grafico accelerometrico su bedrock NR

Grafico accelerometrico sulla superficie



a

SLD classe II VN 50 anni TR 50 anni



b

Figura 14a/14b - Grafici accelerometrici su suolo rigido e modellazione al suolo per SLV VN100 anni TR 1898 anni, SLD VN100anni TR 201 anni e SLO VN100 anni TR 120.

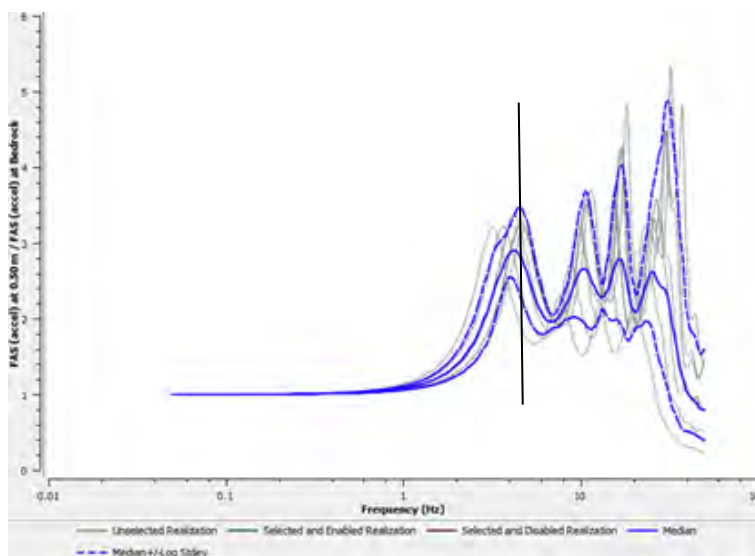
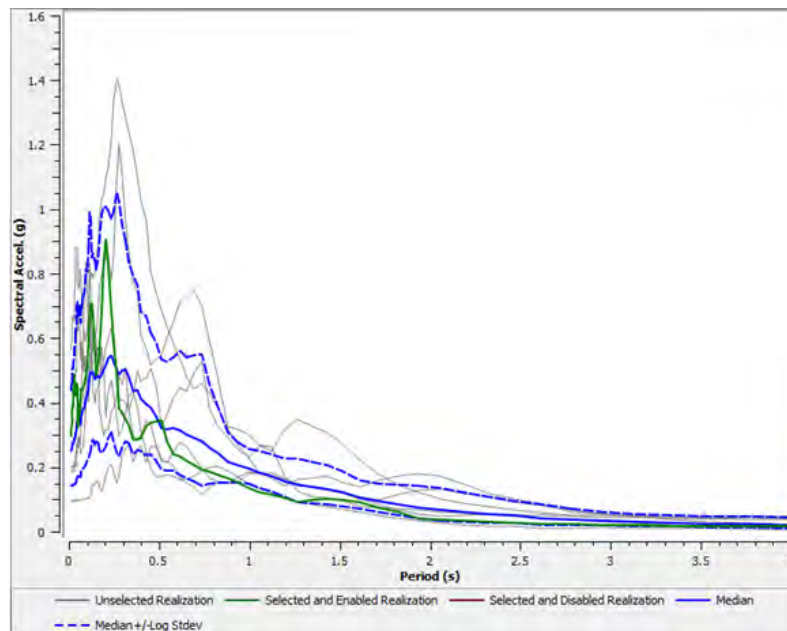


Figura 15 - funzione di trasferimento da suolo rigido a superficie

modello spettro elastico di sito da RSL SLV classe II VN 50 anni TR 475 anni



modello spettro elastico di sito da RSL SLD classe II VN 50 anni TR 50 anni

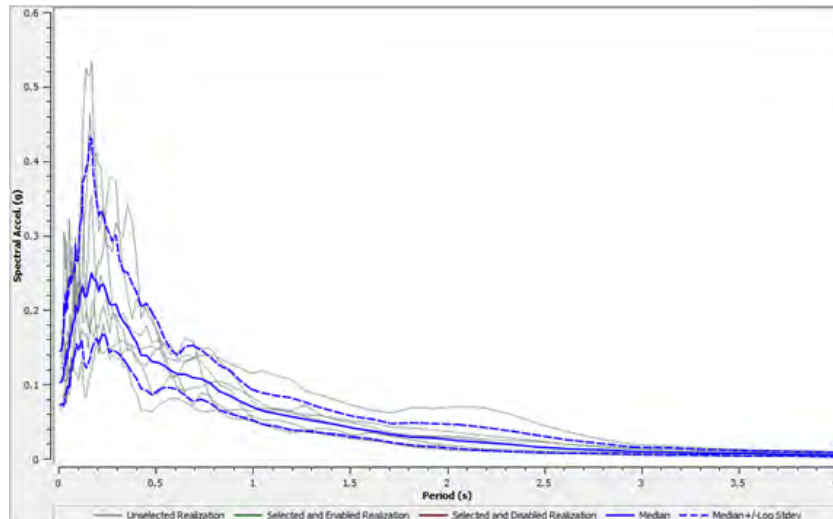


Figura 16a/16b- Spettro elastico di sito ottenuto dalla modellazione con software STRATA dove si evidenziano gli spettri elastici ottenuti in termini di valori mediani e di intervallo di confidenza superiore e inferiore per SLV VN50 anni TR 721 anni, SLD VN50anni TR 75 anni e

La procedura di regolarizzazione (Newmark e Hall, 1982, Romeo, 2007, Liberatore e Pagliaroli, 2014), permette di trasformare lo spettro, risultato delle simula-

zioni numeriche nell'ambito degli studi di MS3 o di RSL, in uno spettro con forma standard (secondo le vigenti norme tecniche per le costruzioni), cioè costituito da un ramo con accelerazione crescente lineare, un ramo ad accelerazione costante, un ramo in cui l'accelerazione decresce con  $1/T$  e, quindi, a velocità costante.

Alla fine della procedura saranno disponibili anche tutti i parametri per l'inserimento dello spettro elastico in codici di calcolo per la progettazione e la verifica delle costruzioni ( $a_g$ ,  $a_{max}$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$ ,  $T_C^*$ ,  $F_0$ ,  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $S_S$ ,  $S_T$ ).

## 12.0. Stato Limite Vita (SLV).

|                                                 |                |                            |       |       |           |           |           |                |
|-------------------------------------------------|----------------|----------------------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| LOCALITA'                                       |                | Montecavallo Sede Comunale |       |       | lon.WGS84 | 42.993579 | lat.WGS84 | 13.001155      |
|                                                 |                |                            |       |       | lon.ED50  | 42.994540 | lat.ED50  | 13.002086      |
| CATEGORIA DI SUOLO COME SPETTRO DI RIFERIMENTO: |                |                            |       |       |           |           | SUOLO     | B              |
|                                                 | S <sub>S</sub> | S <sub>T</sub>             | S     | CC    | TB        | TC        | TD        | a <sub>g</sub> |
| B                                               | 1.140          | 1.000                      | 1.140 | 1.375 | 0.150     | 0.451     | 2.692     | 0.311          |

Tabella 7- Localizzazione sito SLV.

| PARAMETRI NTC |        |
|---------------|--------|
| $\xi =$       | 5%     |
| $\eta =$      | 1.0000 |
| $a_g =$       | 0.2730 |
| $F_0 =$       | 2.3840 |
| $T_c^* =$     | 0.3280 |
| $S_T =$       | 1.0000 |
| $a_{g,pl} =$  | 0.7417 |

Tabella 8- Valori spettro RSL non normalizzato.

| T [s]   | ag [g]  | T [s]   | ag [g]  | T [s]   | ag [g]  | T [s]   | ag [g]  |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0.01000 | 0.51878 | 0.04540 | 0.69439 | 0.20614 | 1.30708 | 0.93596 | 0.23447 |
| 0.01062 | 0.51934 | 0.04824 | 0.72512 | 0.21901 | 1.33867 | 0.99435 | 0.21963 |
| 0.01129 | 0.51998 | 0.05125 | 0.72735 | 0.23267 | 1.42350 | 1.05639 | 0.20872 |
| 0.01199 | 0.52064 | 0.05444 | 0.75288 | 0.24718 | 1.36138 | 1.12230 | 0.19183 |
| 0.01274 | 0.52153 | 0.05784 | 0.80489 | 0.26261 | 1.25425 | 1.19232 | 0.17055 |
| 0.01353 | 0.52259 | 0.06145 | 0.76918 | 0.27899 | 1.12846 | 1.26670 | 0.15760 |
| 0.01438 | 0.52392 | 0.06528 | 0.78532 | 0.29640 | 1.11745 | 1.34573 | 0.15210 |
| 0.01528 | 0.52554 | 0.06935 | 0.81549 | 0.31489 | 1.05719 | 1.42969 | 0.14491 |
| 0.01623 | 0.52733 | 0.07368 | 0.82756 | 0.33453 | 0.95403 | 1.51889 | 0.13000 |
| 0.01724 | 0.52929 | 0.07828 | 0.84475 | 0.35540 | 0.83333 | 1.61365 | 0.11293 |
| 0.01832 | 0.53147 | 0.08316 | 0.82250 | 0.37758 | 0.78756 | 1.71432 | 0.10179 |
| 0.01946 | 0.53447 | 0.08835 | 0.87225 | 0.40113 | 0.70113 | 1.82127 | 0.08916 |
| 0.02067 | 0.53853 | 0.09386 | 0.95944 | 0.42616 | 0.63999 | 1.93490 | 0.07853 |
| 0.02196 | 0.54177 | 0.09972 | 0.99117 | 0.45275 | 0.59740 | 2.05562 | 0.07091 |
| 0.02333 | 0.54316 | 0.10594 | 1.01603 | 0.48099 | 0.52699 | 2.18386 | 0.06409 |
| 0.02479 | 0.54450 | 0.11255 | 1.07064 | 0.51100 | 0.45569 | 2.32011 | 0.05721 |
| 0.02634 | 0.55281 | 0.11957 | 1.06688 | 0.54288 | 0.44232 | 2.46486 | 0.05077 |
| 0.02798 | 0.56443 | 0.12703 | 1.02073 | 0.57675 | 0.43364 | 2.61864 | 0.04378 |
| 0.02972 | 0.57968 | 0.13495 | 1.07478 | 0.61274 | 0.40260 | 2.78201 | 0.03839 |
| 0.03158 | 0.58634 | 0.14337 | 1.02111 | 0.65096 | 0.37536 | 2.95558 | 0.03526 |
| 0.03355 | 0.60181 | 0.15232 | 1.01992 | 0.69158 | 0.35954 | 3.13998 | 0.03208 |
| 0.03564 | 0.61665 | 0.16182 | 1.02073 | 0.73472 | 0.34148 | 3.33587 | 0.02813 |
| 0.03786 | 0.63681 | 0.17192 | 1.05888 | 0.78056 | 0.30971 | 3.54400 | 0.02553 |
| 0.04023 | 0.67562 | 0.18264 | 1.20927 | 0.82926 | 0.28505 | 3.76510 | 0.02398 |
| 0.04274 | 0.69078 | 0.19404 | 1.25074 | 0.88100 | 0.25175 | 4.00000 | 0.02123 |

| T [s]   | ag [g]  | T [s]   | ag [g]  | T [s]   | ag [g]  | T [s]   | ag [g]  |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0.00000 | 0.44065 | 0.04540 | 0.79538 | 0.21901 | 1.15075 | 1.05639 | 0.29702 |
| 0.01000 | 0.51878 | 0.04824 | 0.81752 | 0.23267 | 1.15075 | 1.12230 | 0.27957 |
| 0.01062 | 0.52366 | 0.05125 | 0.84103 | 0.24718 | 1.15075 | 1.19232 | 0.26316 |
| 0.01129 | 0.52884 | 0.05444 | 0.86601 | 0.26261 | 1.15075 | 1.26670 | 0.24770 |
| 0.01199 | 0.53434 | 0.05784 | 0.89254 | 0.27899 | 1.15075 | 1.34573 | 0.23316 |
| 0.01274 | 0.54018 | 0.06145 | 0.92074 | 0.29640 | 1.05860 | 1.42969 | 0.21946 |
| 0.01353 | 0.54639 | 0.06528 | 0.95069 | 0.31489 | 0.99644 | 1.51889 | 0.20658 |
| 0.01438 | 0.55299 | 0.06935 | 0.98251 | 0.33453 | 0.93792 | 1.61365 | 0.19445 |
| 0.01528 | 0.56000 | 0.07368 | 1.01631 | 0.35540 | 0.88284 | 1.71432 | 0.18303 |
| 0.01623 | 0.56744 | 0.07828 | 1.05223 | 0.37758 | 0.83100 | 1.82127 | 0.17228 |
| 0.01724 | 0.57535 | 0.08316 | 1.09038 | 0.40113 | 0.78220 | 1.93490 | 0.16216 |
| 0.01832 | 0.58376 | 0.08835 | 1.13092 | 0.42616 | 0.73626 | 2.05562 | 0.15264 |
| 0.01946 | 0.59268 | 0.09386 | 1.15075 | 0.45091 | 0.69303 | 2.18386 | 0.14367 |
| 0.02067 | 0.60217 | 0.09972 | 1.15075 | 0.48099 | 0.65233 | 2.32011 | 0.13524 |
| 0.02196 | 0.61225 | 0.10594 | 1.15075 | 0.51100 | 0.61402 | 2.46486 | 0.12730 |
| 0.02333 | 0.62295 | 0.11255 | 1.15075 | 0.54288 | 0.57796 | 2.61864 | 0.11982 |
| 0.02479 | 0.63432 | 0.11957 | 1.15075 | 0.57675 | 0.54402 | 2.69200 | 0.11655 |
| 0.02634 | 0.64641 | 0.12703 | 1.15075 | 0.61274 | 0.51207 | 2.95558 | 0.09669 |
| 0.02798 | 0.65924 | 0.13495 | 1.15075 | 0.65096 | 0.48200 | 3.13998 | 0.08567 |
| 0.02972 | 0.67288 | 0.14337 | 1.15075 | 0.69158 | 0.45370 | 3.33587 | 0.07590 |
| 0.03158 | 0.68737 | 0.15030 | 1.15075 | 0.73472 | 0.42705 | 3.54400 | 0.06725 |
| 0.03355 | 0.70276 | 0.16182 | 1.15075 | 0.78056 | 0.40197 | 3.76510 | 0.05958 |
| 0.03564 | 0.71911 | 0.17192 | 1.15075 | 0.82926 | 0.37837 | 4.00000 | 0.05279 |
| 0.03786 | 0.73649 | 0.18264 | 1.15075 | 0.88100 | 0.35615 |         |         |
| 0.04023 | 0.75494 | 0.19404 | 1.15075 | 0.93596 | 0.33523 |         |         |
| 0.04274 | 0.77455 | 0.20614 | 1.15075 | 0.99435 | 0.31555 |         |         |

Tabella 9- Valori spettro RSL normalizzato.

| PARAMETRI NORMALIZZATI |        |                         |        |
|------------------------|--------|-------------------------|--------|
| $\xi =$                | 5%     | $S_T =$                 | 1.0000 |
| $\eta_N =$             | 1.0000 | $TB_N =$                | 0.0909 |
| $a_{gN} =$             | 0.4407 | $TC_N =$                | 0.2727 |
| $a_{g,pl,N} =$         | 1.1507 | $TD_N =$                | 2.6920 |
| $F_{0N} =$             | 2.6115 | $= a_{gN}/a_g =$        | 1.6141 |
|                        |        | $a_{g,pl,N}/a_{g,pl} =$ | 1.5514 |

Tabella 10 - Parametri da spettro normalizzato della risposta sismica locale confronto normativa VN 50 anni classe II -SLV.

Effettuata la normalizzazione dello spettro elastico di sito ricavato dalla modellazione si è proceduto al confronto grafico e numerico con gli spettri di normativa previsti.

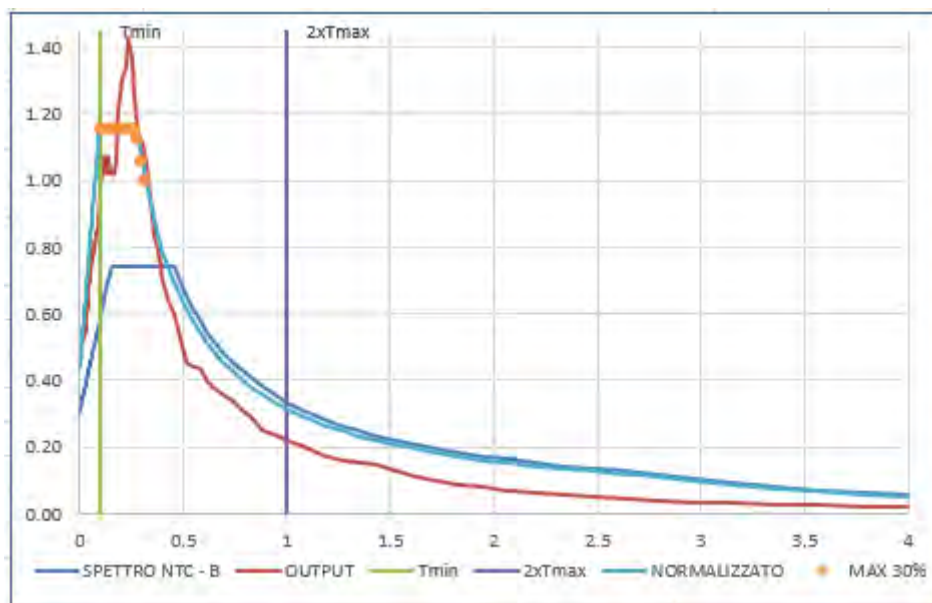


Figura 17 - Confronto fra spettri elastici di sito da RSL e di normativa NTC18 per suolo di tipo B classe II SLV (TR 475) categoria topografica T1.

### 13.0 Stato Limite Danno (SLD)

|                                                 |                            |                |           |           |           |       |       |                |
|-------------------------------------------------|----------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|----------------|
| LOCALITA'                                       | Montecavallo Sede Comunale | lon.WGS84      | 42.993579 | lat.WGS84 | 13.001155 |       |       |                |
|                                                 |                            | lon.ED50       | 42.994540 | lat.ED50  | 13.002086 |       |       |                |
| CATEGORIA DI SUOLO COME SPETTRO DI RIFERIMENTO: |                            |                |           |           | SUOLO     | B     |       |                |
|                                                 | S <sub>S</sub>             | S <sub>T</sub> | S         | CC        | TB        | TC    | TD    | a <sub>g</sub> |
| B                                               | 1.200                      | 1.000          | 1.200     | 1.410     | 0.136     | 0.407 | 2.060 | 0.138          |

Tabella 11- Localizzazione sito SLD.

| PARAMETRI NTC |        |
|---------------|--------|
| $\xi =$       | 5%     |
| $\eta =$      | 1.0000 |
| $a_g =$       | 0.1150 |
| $F_0 =$       | 2.3710 |
| $T^*_0 =$     | 0.2890 |
| $S_T =$       | 1.0000 |
| $a_{g,pi} =$  | 0.3272 |

| T [s]   | $a_g$ [g] | T [s]   | $a_g$ [g] | T [s]   | $a_g$ [g] | T [s]   | $a_g$ [g] |
|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| 0.01000 | 0.22910   | 0.04540 | 0.34122   | 0.20614 | 0.56881   | 0.93596 | 0.08545   |
| 0.01062 | 0.22937   | 0.04824 | 0.37846   | 0.21901 | 0.59532   | 0.99435 | 0.07616   |
| 0.01129 | 0.22968   | 0.05125 | 0.42016   | 0.23267 | 0.58847   | 1.05639 | 0.06808   |
| 0.01199 | 0.23001   | 0.05444 | 0.46509   | 0.24718 | 0.53660   | 1.12230 | 0.06514   |
| 0.01274 | 0.23042   | 0.05784 | 0.45173   | 0.26261 | 0.43864   | 1.19232 | 0.06064   |
| 0.01353 | 0.23088   | 0.06145 | 0.45483   | 0.27899 | 0.39214   | 1.26670 | 0.05677   |
| 0.01438 | 0.23135   | 0.06528 | 0.43475   | 0.29640 | 0.37731   | 1.34573 | 0.05249   |
| 0.01528 | 0.23197   | 0.06935 | 0.42980   | 0.31489 | 0.34299   | 1.42969 | 0.04769   |
| 0.01623 | 0.23306   | 0.07368 | 0.43896   | 0.33453 | 0.30626   | 1.51889 | 0.04232   |
| 0.01724 | 0.23386   | 0.07828 | 0.48341   | 0.35540 | 0.29651   | 1.61365 | 0.03917   |
| 0.01832 | 0.23528   | 0.08316 | 0.52594   | 0.37758 | 0.26110   | 1.71432 | 0.03374   |
| 0.01946 | 0.23695   | 0.08835 | 0.57097   | 0.40113 | 0.23408   | 1.82127 | 0.03026   |
| 0.02067 | 0.24090   | 0.09386 | 0.53852   | 0.42616 | 0.20949   | 1.93490 | 0.02835   |
| 0.02196 | 0.24443   | 0.09972 | 0.52628   | 0.45275 | 0.19291   | 2.05562 | 0.02567   |
| 0.02333 | 0.25469   | 0.10594 | 0.49719   | 0.48099 | 0.17674   | 2.18386 | 0.02309   |
| 0.02479 | 0.25848   | 0.11255 | 0.47494   | 0.51100 | 0.16112   | 2.32011 | 0.01992   |
| 0.02634 | 0.27718   | 0.11957 | 0.48743   | 0.54288 | 0.15385   | 2.46486 | 0.01710   |
| 0.02798 | 0.29772   | 0.12703 | 0.49298   | 0.57675 | 0.14030   | 2.61864 | 0.01461   |
| 0.02972 | 0.32058   | 0.13495 | 0.46363   | 0.61274 | 0.13441   | 2.78201 | 0.01223   |
| 0.03158 | 0.33600   | 0.14337 | 0.47603   | 0.65096 | 0.13307   | 2.95558 | 0.01020   |
| 0.03355 | 0.33095   | 0.15232 | 0.50775   | 0.69158 | 0.12728   | 3.13998 | 0.00899   |
| 0.03564 | 0.32450   | 0.16182 | 0.61178   | 0.73472 | 0.12232   | 3.33587 | 0.00793   |
| 0.03786 | 0.34808   | 0.17192 | 0.65078   | 0.78056 | 0.11276   | 3.54400 | 0.00704   |
| 0.04023 | 0.34937   | 0.18264 | 0.63298   | 0.82926 | 0.10169   | 3.76510 | 0.00632   |
| 0.04274 | 0.33767   | 0.19404 | 0.61676   | 0.88100 | 0.09383   | 4.00000 | 0.00545   |

Tabella 12- Valori spettro RSL non normalizzato.

| T [s]   | ag [g]  | T [s]   | ag [g]  | T [s]   | ag [g]  | T [s]   | ag [g]  |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0.00000 | 0.17895 | 0.04540 | 0.40667 | 0.21901 | 0.55306 | 1.05639 | 0.11715 |
| 0.01000 | 0.22910 | 0.04824 | 0.42088 | 0.23267 | 0.55306 | 1.12230 | 0.11027 |
| 0.01062 | 0.23223 | 0.05125 | 0.43597 | 0.24718 | 0.50067 | 1.19232 | 0.10380 |
| 0.01129 | 0.23556 | 0.05444 | 0.45201 | 0.26261 | 0.47127 | 1.26670 | 0.09770 |
| 0.01199 | 0.23909 | 0.05784 | 0.46904 | 0.27899 | 0.44359 | 1.34573 | 0.09196 |
| 0.01274 | 0.24284 | 0.06145 | 0.48714 | 0.29640 | 0.41754 | 1.42969 | 0.08656 |
| 0.01353 | 0.24683 | 0.06528 | 0.50637 | 0.31489 | 0.39302 | 1.51889 | 0.08148 |
| 0.01438 | 0.25106 | 0.06935 | 0.52680 | 0.33453 | 0.36994 | 1.61365 | 0.07669 |
| 0.01528 | 0.25556 | 0.07368 | 0.54850 | 0.35540 | 0.34822 | 1.71432 | 0.07219 |
| 0.01623 | 0.26034 | 0.07828 | 0.55306 | 0.37758 | 0.32777 | 1.82127 | 0.06795 |
| 0.01724 | 0.26542 | 0.08316 | 0.55306 | 0.40113 | 0.30852 | 1.93490 | 0.06396 |
| 0.01832 | 0.27081 | 0.08835 | 0.55306 | 0.40748 | 0.29040 | 2.05562 | 0.06020 |
| 0.01946 | 0.27655 | 0.09386 | 0.55306 | 0.45275 | 0.27335 | 2.06000 | 0.06008 |
| 0.02067 | 0.28264 | 0.09972 | 0.55306 | 0.48099 | 0.25730 | 2.32011 | 0.04736 |
| 0.02196 | 0.28910 | 0.10594 | 0.55306 | 0.51100 | 0.24219 | 2.46486 | 0.04196 |
| 0.02333 | 0.29598 | 0.11255 | 0.55306 | 0.54288 | 0.22796 | 2.61864 | 0.03718 |
| 0.02479 | 0.30328 | 0.11957 | 0.55306 | 0.57675 | 0.21458 | 2.78201 | 0.03294 |
| 0.02634 | 0.31103 | 0.12703 | 0.55306 | 0.61274 | 0.20198 | 2.95558 | 0.02918 |
| 0.02798 | 0.31927 | 0.13495 | 0.55306 | 0.65096 | 0.19011 | 3.13998 | 0.02586 |
| 0.02972 | 0.32803 | 0.13583 | 0.55306 | 0.69158 | 0.17895 | 3.33587 | 0.02291 |
| 0.03158 | 0.33733 | 0.15232 | 0.55306 | 0.73472 | 0.16844 | 3.54400 | 0.02030 |
| 0.03355 | 0.34721 | 0.16182 | 0.55306 | 0.78056 | 0.15855 | 3.76510 | 0.01798 |
| 0.03564 | 0.35771 | 0.17192 | 0.55306 | 0.82926 | 0.14924 | 4.00000 | 0.01593 |
| 0.03786 | 0.36886 | 0.18264 | 0.55306 | 0.88100 | 0.14047 |         |         |
| 0.04023 | 0.38071 | 0.19404 | 0.55306 | 0.93596 | 0.13223 |         |         |
| 0.04274 | 0.39330 | 0.20614 | 0.55306 | 0.99435 | 0.12446 |         |         |

Tabella 13- Valori spettro RSL normalizzato.

| PARAMETRI<br>NORMALIZZATI |        |                           |        |
|---------------------------|--------|---------------------------|--------|
| $\xi =$                   | 5%     | $S_T =$                   | 1.0000 |
| $\eta_N =$                | 1.0000 | $TB_N =$                  | 0.0746 |
| $a_{qN} =$                | 0.1789 | $TC_N =$                  | 0.2238 |
| $a_{q,pl,N} =$            | 0.5531 | $TD_N =$                  | 2.0600 |
| $F_{qN} =$                | 3.0906 | $= a_{qN} / a_g =$        | 1.5561 |
|                           |        | $a_{q,pl,N} / a_{q,pl} =$ | 1.6903 |

Tabella 14 -Parametri da spettro normalizzato della risposta sismica locale confronto normativa VN 50 anni classe II -SLD.

Effettuata la normalizzazione dello spettro elastico di sito ricavato dalla modellazione si è proceduto al confronto grafico e numerico con gli spettri di normativa previsti.

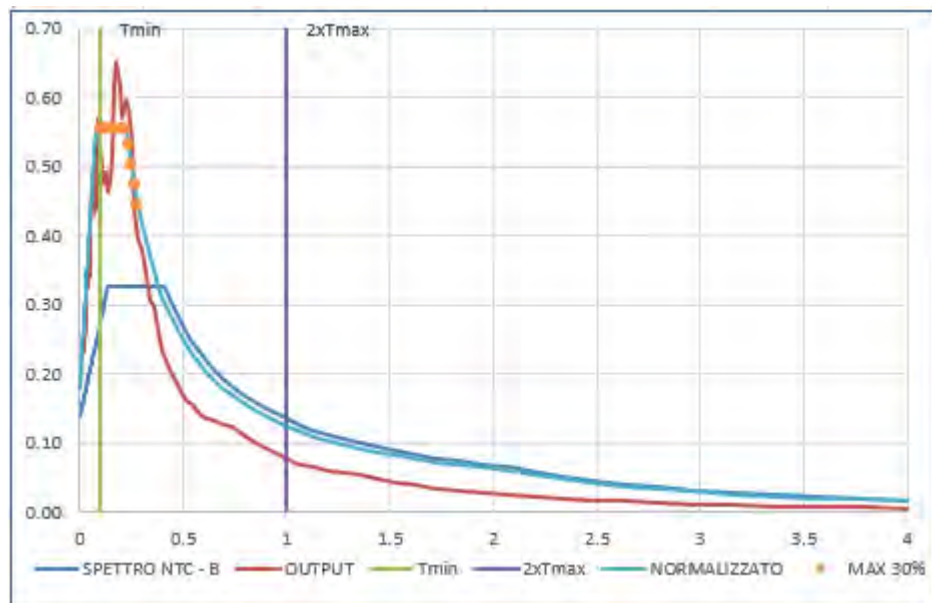


Figura 18 - Confronto fra spettri elastici di sito da RSL e di normativa NTC18 per suolo di tipo C classe II SLD (TR 50 y) categoria topografica T1.

#### 14.0 Considerazioni conclusive

L'analisi di Risposta Sismica Locale monodimensionale è stata condotta con il software STRATA, dove ciascuno dei 7 accelerogrammi è stato applicato al substrato roccioso e propagato attraverso il profilo di terreno caratterizzante il punto individuato.

Nel presente lavoro di risposta sismica locale si intende fornire gli accelerogrammi di output e i relativi spettri elastici di risposta in accelerazione nonché i parametri sito dipendenti (lo spettro di risposta in accelerazione costituisce lo strumento base per la verifica in campo dinamico dell'opera).

Il primo importante risultato è costituito dalla ricostruzione degli accelerogrammi ricavati in cui è possibile notare l'effetto del filtraggio ad opera dei terreni

- Il confronto per la SLV classe III (VN75 anni) TR 712 anni, lo spettro elastico di sito ricavato dall'analisi di RSL risulta, per l'intervallo temporale compreso fra

0,10 e 0,42 sec, al di sopra dello spettro di normativa con il plateau da RSL normalizzata ( $T_b-T_c$ ) pari a 1,1507 g, mentre il plateau previsto da NTC18 per classe di suolo tipo B e categoria topografica T1, è pari a 0.6146 g. Il tratto discendente dello spettro sopra  $T=0,27$  sec risulta, per un tratto, superiore al 20% e dopo  $T=0.40$  praticamente sovrapposto.

- Il confronto per la SLD classe III (VN75 anni) TR 75 anni, lo spettro elastico di sito ricavato dall'analisi di RSL risulta al di sopra dello spettro di normativa per l'intervallo temporale compreso fra 0,0 e 0,3 sec con il plateau da RSL normalizzata ( $T_b-T_c$ ) pari a 0.5531 g, mentre il plateau previsto da NTC18 per classe di suolo tipo B e categoria topografica T1, è pari a 0.2856 g. Il tratto discendente dello spettro sopra  $T=0,29$  sec risulta praticamente sovrapposto.

In fig.12 è riportato il grafico della Funzione di Trasferimento, ottenuta come rapporto tra il picco massimo di accelerazione al bedrock e quello in superficie; tale funzione indica quali sono le componenti del moto sismico che, nell'attraversare il deposito, vengono maggiormente modificate, in particolare amplificate per valori dell'ampiezza maggiori di uno ed attenuate per valori inferiori all'unità. Il valore di 4.3 Hz individuato dalla modellazione risulta inferiore al dato strumentale derivante dall'indagine sismica passiva a stazione singola HVSR che individua una frequenza fondamentale dei terreni centrata su 5.8 ( $\pm 1.3$ ) Hz.

#### 15.0. **Fondazioni.**

L'area su cui insiste la sede comunale, come detto, ricade in una zona completamente pianeggiante con depositi limosi fino a m. 4,00.

Dall'assaggio eseguito è evidente che la fondazione è stata appoggiata sui limi e si approfondisce fino a m. 1,80 dal p.c. attuale. La parte antica, pur essendo stata gravemente danneggiata dal terremoto, non presenta cedimenti fondali, visto il discreto approfondimento delle fondazioni, se non vi saranno aumenti di carico da parte dei progettisti si può evitare un intervento in fondazione.

Per quanto riguarda la parte invece che verrà demolita e ricostruita, a seconda dei carichi si potrà eseguire una fondazione diretta a travi rovesce o a platea, sempre dopo aver superato il materiale di riporto reperito e le vecchie fondazioni. Se si dovesse optare per fondazioni superficiali si ricorda di mettere in opera un giunto strutturale tra i due edifici e che la fondazione del nuovo dovrà essere impostata alla stessa quota di quello esistente evitando in tal modo possibili martellamenti fra le due fondazioni in caso di sisma.

In alternativa, se il progettista lo riterrà opportuno in base ai carichi, si potranno eseguire fondazioni profonde, che in tal caso non andranno a disturbare in alcun modo l'attuale fondazione, ma sarà sempre necessario un giunto strutturale tra i due edifici.

#### 16.0 Capacità portante.

Per il calcolo della capacità portante di fondazioni dirette si utilizza la relazione (TERZAGHI):

$$q_{lim} = m \left( 1 + 0,3 \frac{B}{L} \right) N_c \cdot c + n \cdot \gamma \cdot d \cdot N_q + \frac{1}{2} n \left( 1 - 0,2 \frac{B}{L} \right) B \cdot \gamma \cdot N_\gamma$$

dove:    B            =    larghezza fondazione  
          L            =    lunghezza fondazione  
          d            =    profondità d'imposta

|            |   |                                                     |   |                                 |
|------------|---|-----------------------------------------------------|---|---------------------------------|
| m          | = | coefficiente di pendio                              | = | $1 - \beta^\circ / 147$         |
| n          | = | coefficiente di pendio                              | = | $(1 - 0,5 \cdot \tan \beta) ^5$ |
| $\beta$    | = | angolo di pendio                                    |   |                                 |
| $N_c$      | = | coefficiente di coesione (funzione di $\varphi$ )   |   |                                 |
| $N_q$      | = | coefficiente di profondità (funzione di $\varphi$ ) |   |                                 |
| $N_\gamma$ | = | coefficiente di superficie (funzione di $\varphi$ ) |   |                                 |
| $\varphi$  | = | angolo d'attrito interno                            |   |                                 |
| c          | = | coesione                                            |   |                                 |
| $\gamma$   | = | peso di volume                                      |   |                                 |

Per una fondazione nastiriforme di larghezza  $B = 0,60$  e lunghezza  $L = 8,00$ , intestata alla profondità  $d = 0,30$

| TAB.1<br>DIMENSIONAMENTO<br>GEOTECNICO |  | B              | = | 0,60 n.     |
|----------------------------------------|--|----------------|---|-------------|
|                                        |  | eccentr.       | = | 0,00 n.     |
|                                        |  | L              | = | 8,00 n.     |
|                                        |  | eccentr.       | = | 0,00 n.     |
| Profondità d'imposta                   |  | d              | = | 0,30 n.     |
| Pendio                                 |  | $\beta$        | = | 0,00        |
| Angolo d'attrito terreno Base:         |  | $\varphi$ (M1) | = | 19,00       |
|                                        |  | " rid. (M2)    | = | 15,40       |
| Coesione terreno Base:                 |  | c'/cu (M1)     | = | 20,00 :N/mq |
|                                        |  | c rid. (M2)    | = | 16,00 :N/mq |
| Peso volume terreno Base:              |  | $\gamma$       | = | 9,80 :N/mc  |
| Peso vol. terreno Laterale:            |  | $\gamma$       | = | 12,00 :N/mc |

| TAB.2<br>PARAMETRI SISMICI |  | $a_g / g$    | = | 0,444 |
|----------------------------|--|--------------|---|-------|
|                            |  | $F_0$        | = | 2,200 |
|                            |  | $T_c =$      | = | 0,277 |
|                            |  | Cat. suolo   | = | B     |
|                            |  | $S_s$        | = | 1,009 |
|                            |  | Cat. topogr. | = | T1    |
|                            |  | $S_t$        | = | 1,000 |
|                            |  | $a_{max}$    | = | 0,448 |
|                            |  | $K_h$ - muri | = | 0,139 |

|                |   |       |
|----------------|---|-------|
| $K_h$ - pendio | = | 0,125 |
|----------------|---|-------|

| TAB.3                                |                             |   |         |
|--------------------------------------|-----------------------------|---|---------|
| FATTORI DI CAPACITA' PORTANTE        |                             |   |         |
|                                      | B'                          | = | 0,60 m. |
|                                      | L'                          | = | 8,00 m. |
| - (Paolucci-Pecker)                  | Nq (M1)                     |   | 5,80    |
|                                      | Nq (M2)                     | = | 4,09    |
|                                      | $zq \times Nq (M2)$         | = | 3,31    |
|                                      | Nc (M1)                     |   | 13,94   |
| - (Paolucci-Pecker)                  | Nc (M2)                     | = | 11,22   |
|                                      | $zc \times Nc (M2)$         | = | 10,77   |
|                                      | $N\gamma (M1)$              |   | 4,68    |
|                                      | $N\gamma (M2)$              | = | 2,80    |
| - (Paolucci-Pecker + eff.cinematico) | $(z\gamma (1-K_h)) N\gamma$ | = | 1,98    |
|                                      | m                           | = | 1,00    |
|                                      | n                           | = | 1,00    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                       |   |               |              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---|---------------|--------------|
| <b>TAB.4a. - Pressione limite:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                       |   |               |              |
| con i valori caratteristici dei coefficienti                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>q-lim.(M1)</b>     | = | <b>305,00</b> | <b>kN/mq</b> |
| con riduzione dei coefficienti geotecnici                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>q-lim.(M2)</b>     | = | <b>196,00</b> | <b>kN/mq</b> |
| <b>TAB.4b - Resistenza di progetto sec. Norme Tecniche per le Costruzioni 2008:</b><br>la resistenza di progetto si ottiene applicando un coefficiente di riduzione $\gamma_r = 1,8$ (approccio progettuale 1: combinazione A2+M2+R2) alla pressione limite con riduzione dei parametri geotecnici [= q-lim.(M2)], e pertanto:                                               |                       |   |               |              |
| <b>Rd =</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>q-lim.(M2)/1,8</b> | = | <b>108,9</b>  | <b>kN/mq</b> |
| <b>TAB.4c - Resistenza di progetto in zona sismica (NTC 2008):</b><br>la resistenza di progetto si ottiene applicando un coefficiente di riduzione $\gamma_r = 1,8$ (approccio progettuale 1: combinazione A2+M2+R2) alla pressione limite con riduzione dei parametri [= q-lim.(M2)] e con <b>riduzione dei coefficienti di portanza</b> secondo Paolucci-Pecker. Pertanto: |                       |   |               |              |
| <b>Rd (sisma) =</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>q-lim.(M2)/1,8</b> | = | <b>102,8</b>  | <b>kN/mq</b> |

Quanto sopra vuole avere semplicemente carattere orientativo, rientrando nella sfera di competenza del Progettista la scelta dei metodi e dei parametri di calcolo.



--o0o--

Falconara M.ma, 04/07/2021

- Corografia

- Planimetria con ubicazione indagini
- n. 1 Stratigrafia Studio Lenzi/Pinti
- n.1 Assaggio sulla fondazione
- n. 5 Stratigrafie sondaggi forniti Amministrazione Comunale
- Sezione geologica
- Indagine geofisica MASW e HVRs
- Documentazione fotografica

**STUDIO GEOGNOSTICO LENZI**

Dott.ssa LENZI ALESSANDRA

via Matteotti 41/a-Falconara M.ma (AN)

TEL. - FAX 071.91.08.61

e-mail: lenzicav@libero.it

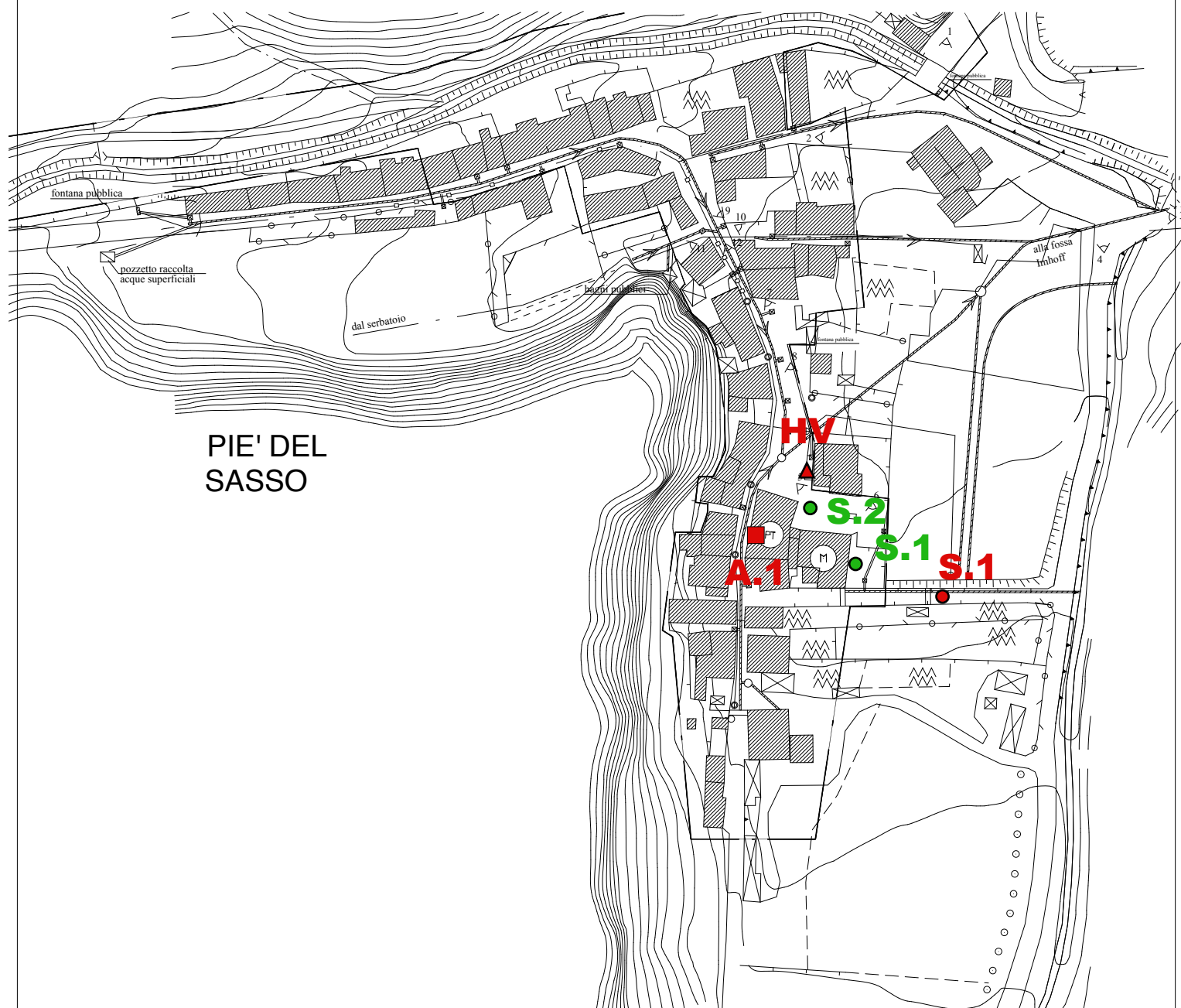
**COMUNE DI MONTE CAVALLO**

Adeguamento / miglioramento sismico,

demolizione e ricostruzione

Sede Comunale

*Planimetria con ubicazione indagini*



● **S.1** Sondaggi d'archivio Amministrazione

● **S.1** Sondaggi d'archivio Studio Lenzi

**Dott. LENZI UMBERTO**  
**Dott. LENZI ALESSANDRA**

v. Matteotti 41/a FALCONARA M. (AN)  
 telefono e fax. 071910861

**Dott. PINTI SIMONE**

Contr. Molino 16f/14 CASTELBELLINO (An)  
 telefono 073189674

☒ Rotazione  
☒ Carot. continuo  
☐ Doppio carotiere

**SONDAGGIO S.1**

data:  
 9/10/11/12/17-08-2017

| SONDAGGIO TRATTO DALLA MICROZONAZIONE DI III LIVELLO<br>DEL COMUNE DI MONTECAVALLO |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          |                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|----------|------------------------------------|----|
| Stratigrafia                                                                       | Profondità m. |       | CLASSIFICAZIONE                                                                                                                   |                          | Pock<br>penet<br>r.<br>kPa | Van<br>es<br>t<br>kPa | SP<br>T<br>m.<br>N | campioni | Livell<br>o<br>piez<br>metric<br>o |    |
|                                                                                    | dal p.c.      | parz. | LITOLOGICA                                                                                                                        | GEOLOGICA                |                            |                       |                    |          |                                    |    |
| 1                                                                                  |               |       | Manto bituminoso e massicciata                                                                                                    | RIPORTO                  |                            |                       |                    |          |                                    | 1  |
| 2                                                                                  |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          |                                    | 2  |
| 3                                                                                  |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       | 3,00               |          |                                    | 3  |
| 4                                                                                  | 3,00          | 3,00  | Ciottoli da minuti a grossolani sia a spigoli vivi che arrotondati in matrice limo-sabbiosa di colore dal rossastro al biancastro | ALLUVIONI<br>TORRENTIZIE |                            |                       | 5-4-6              |          |                                    | 4  |
| 5                                                                                  |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          |                                    | 5  |
| 6                                                                                  |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       | 6,00               |          |                                    | 6  |
| 7                                                                                  |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       | 1-2-3              |          |                                    | 7  |
| 8                                                                                  |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          |                                    | 8  |
| 9                                                                                  |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       | 9,00               |          |                                    | 9  |
| 10                                                                                 |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       | 1-2-5              |          |                                    | 10 |
| 11                                                                                 |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          |                                    | 11 |
| 12                                                                                 |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       | 12,00              |          |                                    | 12 |
| 13                                                                                 |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       | 8-11-14            |          |                                    | 13 |
| 14                                                                                 |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          |                                    | 14 |
| 15                                                                                 |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       | 14,50              |          |                                    | 15 |
| 16                                                                                 |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       | 6-12-14            |          |                                    | 16 |
| 17                                                                                 |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          |                                    | 17 |
| 18                                                                                 |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          |                                    | 18 |
| 19                                                                                 |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          |                                    | 19 |
| 20                                                                                 |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          |                                    | 20 |
| 21                                                                                 |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          |                                    | 21 |

**NOTE** : Il foro è stato condizionato per Down Hole fino a 34,00 in quanto si è depositato del materiale fine, la procedura si è conclusa il 18 agosto

**Dott. LENZI UMBERTO**  
**Dott. LENZI ALESSANDRA**

v. Matteotti 41/a FALCONARA M. (AN)  
 telefono e fax. 071910861

**Dott. PINTI SIMONE**

Contr. Molino 16f/14 CASTELBELLINO (An)  
 telefono 073189674

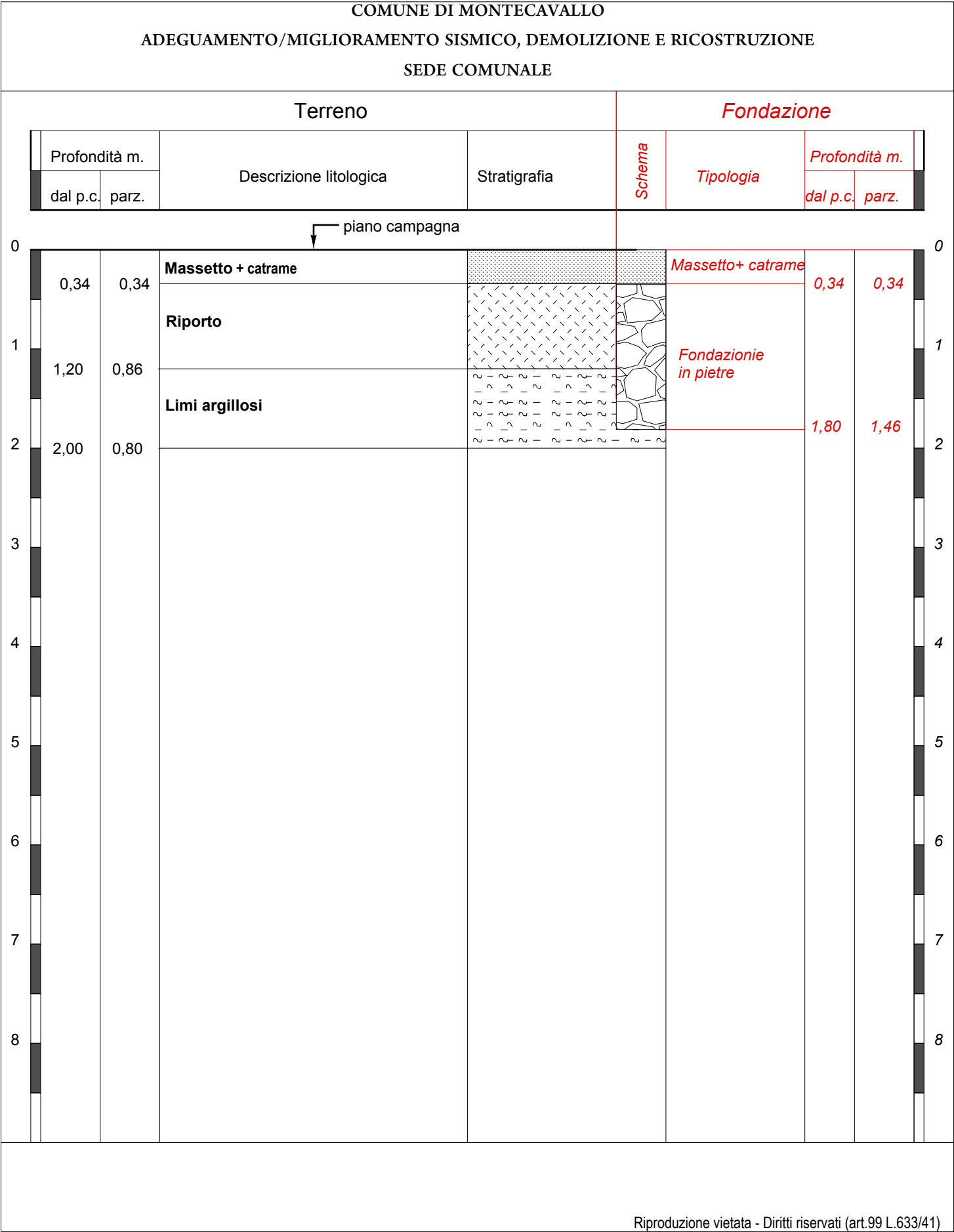
- ☒ Rotazione
- ☒ Carot. continuo
- ☐ Doppio carotiere

## SONDAGGIO S.1

data:  
 9/10/11/12/17-08-2017

### SONDAGGIO TRATTO DALLA MICROZONAZIONE DI III LIVELLO DEL COMUNE DI MONTECAVALLO

| Stratigrafia | Profondità m. |       | CLASSIFICAZIONE                                                                                                                   |                          | Pock<br>penet<br>r.<br>kPa | Van<br>es<br>t<br>kPa | SP<br>T<br>m.<br>N | campioni | Livell<br>o<br>piez<br>metric<br>o |
|--------------|---------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|----------|------------------------------------|
|              | dal p.c.      | parz. | LITOLOGICA                                                                                                                        | GEOLOGICA                |                            |                       |                    |          |                                    |
| 21           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 21                                 |
| 22           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 22                                 |
| 23           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 23                                 |
| 24           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 24                                 |
| 25           |               |       | Ciottoli da minuti a grossolani sia a spigoli vivi che arrotondati in matrice limo-sabbiosa di colore dal rossastro al biancastro | ALLUVIONI<br>TORRENTIZIE |                            |                       |                    |          | 25                                 |
| 26           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 26                                 |
| 27           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 27                                 |
| 28           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 28                                 |
| 29           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 29                                 |
| 30           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 30                                 |
| 31           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 31                                 |
| 32           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 32                                 |
| 33           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 33                                 |
| 34           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 34                                 |
| 35           | 35,00         | 32,00 |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 35                                 |
| 36           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 36                                 |
| 37           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 37                                 |
| 38           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 38                                 |
| 39           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 39                                 |
| 40           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 40                                 |
| 41           |               |       |                                                                                                                                   |                          |                            |                       |                    |          | 41                                 |



dott. LORENA TARINI - geologo -  
via G. Natali, 17/a - Sforzacosta  
62010 MACERATA  
tel/fax 0733.201095

**Spett. AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI MONTECAVALLO**

Località: **PIE' DEL SASSO - ristrutturazione sede comunale**

SCALA **1:100**

Data **23/04/99**

Sondaggio n. **1**

Attrezzatura e metodo di perforazione:

**sonda a rotazione - carotaggio continuo**

LIVELLI

PROFONDITA' m  
Rivest. Foro

ACQUA  
SERA  
Data H

MATTINO  
Data H

☐ Campione rimaneggiato

☐ Campione a percussione

☐ LEFRANC

☐ Campione S.P.T.

☐ Campione ind. a pressione

Prova di permeabilità\*

☐ Campione da Vana Test

☐ Campione ind. rotativo

☐ LUGEON

| Quota di riferimento, m | Spessore m | Profondità m | Sezione terreno | Campioni | DESCRIZIONE LITOLOGICA                                                                                                    | Carotiere<br>Ø mm | Rivestim.<br>Ø mm | Pocket Pen.<br>Kg/cm <sup>2</sup> | R. Q. D. % | VANE TEST<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Profondità m | S.P.T. | acqua | carotaggio |
|-------------------------|------------|--------------|-----------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|------------|---------------------------------|--------------|--------|-------|------------|
|                         | 0,60       | 0,60         |                 |          | RIPORTO.                                                                                                                  |                   |                   |                                   |            |                                 |              |        |       |            |
|                         | 0,90       | 1,50         |                 |          | LIMO argilloso bruno, mediamente plastico.                                                                                |                   |                   | 2,10                              |            |                                 | 1,00         |        |       |            |
|                         | 0,60       | 2,10         |                 |          | GHIAIA: clasti di natura calcarea, calcarea marnosa e selciosa a spigoli vivi, eterometrici in matrice limo argillosa.    |                   |                   | 1,80                              |            |                                 | 2,50         |        | 1,70  |            |
|                         | 1,90       | 4,00         |                 |          | Limo argilloso di colore nocciola con clasti calcarei a spigoli vivi, sparsi. La consistenza del materiale è medio bassa. |                   |                   | 1,50                              |            |                                 | 3,50         |        |       |            |
|                         | 2,70       |              |                 |          | GHIAIA in matrice umida.                                                                                                  |                   |                   |                                   |            |                                 |              |        | 5,50  |            |
|                         | 6,70       |              |                 |          |                                                                                                                           |                   |                   |                                   |            |                                 |              |        |       |            |
|                         | 0,40       | 7,10         |                 |          | Limo argilloso nocciola, plastico, con clasti di ghiaia sparsi.                                                           |                   |                   | 1,60                              |            |                                 | 7,00         |        |       |            |
|                         |            |              |                 |          |                                                                                                                           |                   |                   |                                   |            |                                 |              |        |       |            |
|                         | 7,90       |              |                 |          | GHIAIA: clasti eterometrici a spigoli vivi in matrice limo argillosa, a luoghi più abbondante e piuttosto umida.          |                   |                   |                                   |            |                                 |              |        |       |            |
|                         |            |              |                 |          |                                                                                                                           |                   |                   |                                   |            |                                 |              |        |       |            |
|                         | 5,00       |              |                 |          |                                                                                                                           |                   |                   |                                   |            |                                 |              |        |       |            |

dott. LORENA TARINI - geologo -  
via G. Natali, 17/a - Sforzacosta  
62010 MACERATA  
tel/fax 0733.201095

**Spett. AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI MONTECAVALLO**

Località: **PIE' DEL SASSO - ristrutturazione sede comunale**

SCALA **1:100**

Data **23/04/99**

Sondaggio n.

**2**

Attrezzatura e metodo di perforazione:

**sonda a rotazione - carotaggio continuo**

☐ Campione rimaneggiato

☐ Campione a percussione

☐ LEFRANC

☐ Campione S.P.T.

☐ Campione ind. a pressione

Prova di permeabilità

☐ Campione da Vane Test

☐ Campione ind. rotativo

☐ LUGEON

LIVELLI ACQUA

PROFONDITA' m SERA MATTINO

Rivest. Foro Data H Data H

| Quota di riferim.<br>m | Spessore<br>m | Profondità<br>m | Sezione<br>terreno | Campioni | DESCRIZIONE LITOLOGICA                                                                                                                                                                                           | Carotiere<br>Ø mm | Rivestim.<br>Ø mm | Pocket Pen.<br>Kg/cm² | R. Q. D. % | VANE TEST<br>Kg/cm² | Profondità<br>m | S.P.T. | acqua | carotaggio |
|------------------------|---------------|-----------------|--------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------|---------------------|-----------------|--------|-------|------------|
|                        | 1,00          | 1,00            |                    |          | RIPORTO: materiale eterogeneo, rimaneggiato frammito a limo argilloso bruno.                                                                                                                                     |                   |                   |                       |            |                     |                 |        | 0,40  |            |
|                        | 1,50          | 2,50            |                    |          | LIMO argilloso bruno, mediamente plastico, con clasti calcarei sparsi.                                                                                                                                           |                   | 2,50              |                       |            |                     | 1,20            |        |       |            |
|                        | 0,30          | 2,80            |                    |          | GHIAIA: clasti di natura calcarea, calcarea marnosa e selciosa a spigoli vivi, eterometrici in matrice limo argillosa.                                                                                           |                   | 1,70              |                       |            |                     | 2,00            |        |       |            |
|                        | 1,30          | 4,10            |                    |          | Limo argilloso di colore nocciola con clasti calcarei a spigoli vivi, sparsi. La consistenza del materiale è media bassa, il contenuto in acqua è elevato, tale da conferire al materiale un'elevata plasticità. |                   | 1,90              |                       |            |                     | 3,00            |        |       |            |
|                        | 4,00          |                 |                    |          | GHIAIA in matrice umida.                                                                                                                                                                                         |                   | 1,40              |                       |            |                     | 4,00            |        | 4,10  |            |
|                        | 8,10          |                 |                    |          |                                                                                                                                                                                                                  |                   |                   |                       |            |                     |                 |        |       |            |
|                        | 0,70          | 8,80            |                    |          | Limo argilloso nocciola, plastico, con clasti di ghiaia sparsi.                                                                                                                                                  |                   | 1,20              |                       |            |                     | 8,50            |        |       |            |
|                        | 0,30          | 9,10            |                    |          | GHIAIA: clasti eterometrici a spigoli vivi in matrice limo argillosa, a luoghi più abbondante e piuttosto umida.                                                                                                 |                   |                   |                       |            |                     |                 |        |       |            |
|                        | 1,30          | 10,40           |                    |          | Limo argilloso plastico.                                                                                                                                                                                         |                   |                   |                       |            |                     |                 |        |       |            |
|                        | 4,60          |                 |                    |          | GHIAIA: clasti a spigoli vivi in matrice limo argillosa, asciutta o lievemente umida.                                                                                                                            |                   |                   |                       |            |                     |                 |        |       |            |
|                        | 5,00          |                 |                    |          |                                                                                                                                                                                                                  |                   |                   |                       |            |                     |                 |        |       |            |

| COMUNITÀ MONTANA - ZONA «I»              |                      |     |                                                                                                           | SONDAGGIO n° 1                                                                                              |                 |            |             |                                                                           |
|------------------------------------------|----------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------|
| ALTE VALLI del FIASTRONE, CHIANTI e NERA |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| Sede: CAMERINO - Tel. (0737) 2740        |                      |     |                                                                                                           | <input checked="" type="checkbox"/> ROTAZ. <input type="checkbox"/> PERCUS. <input type="checkbox"/> ESCAV. |                 |            |             |                                                                           |
| UFFICIO GEOLOGICO                        |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| SEDE COMUNALE DI MONTECAVALLO            |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| STRATIGRAFIA                             | QUOTE<br>P. C. PARZ. |     | TIPO LITOLOGICO                                                                                           | $\varphi$<br>°                                                                                              | $\gamma$<br>t/m | C<br>kg/cm | Rp<br>kg/cm | OSSERVAZIONI                                                              |
| 0.5                                      | 0.5                  |     | piano di calpestio-<br>terreno vegetale                                                                   |                                                                                                             |                 |            | 0 1 2 3 4 5 |                                                                           |
| 1.0                                      |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 2.0                                      |                      |     | limo sabbioso con<br>inclusi lapidei etero-<br>metrici sparsi e,<br>talora, in livelli<br>(inferiormente) |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 3.0                                      |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 4.0                                      | 4.0                  | 3.5 |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 5.0                                      |                      |     | ghiaie e sabbie<br>limose con ciottoli                                                                    |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 6.0                                      | 6.0                  |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 7.0                                      |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             | non si può pro-<br>seguire per<br>frammento del<br>foro di sondag-<br>gio |
| 8.0                                      |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 9.0                                      |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 10.0                                     |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 11.0                                     |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 12.0                                     |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 13.0                                     |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 14.0                                     |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 15.0                                     |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 16.0                                     |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 17.0                                     |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 18.0                                     |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 19.0                                     |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 20.0                                     |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |
| 21.0                                     |                      |     |                                                                                                           |                                                                                                             |                 |            |             |                                                                           |

N.B.  $\varphi$ : ANGOLO DI ATTRITO INTERNO;  $\gamma$ : PESO DI VOLUME; C: COESIONE  
 Rp: RESISTENZA ALLA FUNTA [POCKET PENETROMETER]

## COMUNITÀ MONTANA - ZONA « I »

ALTE VALLI del FIASTRONE, CHIANTI e NERA

SONDAGGIO n° 2

Sede: CAMERINO - Tel. (0737) 2740

☒ ROTAZ. ☐ PERCUS. ☐ ESCAV.

UFFICIO GEOLOGICO

## SEDE COMUNALE DI MONTECAVALLO

| STRATIGRAFIA                                                                       | QUOTE<br>P. C. PARZ. |     | TIPO LITOLOGICO                                                                                        | $\Phi$<br>° | $\gamma$<br>t/m | C<br>kg/cm | Rp<br>kg/cm |   |   |   |   | OSSERVAZIONI |                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|------------|-------------|---|---|---|---|--------------|------------------------------------------------------|
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            | 0           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5            |                                                      |
|  | 0.6                  | 0.6 | piano di calpestio-<br>terreno vegetale                                                                |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     | limo sabbioso con<br>inclusi lapidei e<br>rometrici sparsi e,<br>talora, in livelli<br>(inferiormente) |             |                 |            |             |   |   |   |   |              | - 2,3 m: pre<br>lievo campio<br>ne indistur-<br>bato |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |             |   |   |   |   |              |                                                      |

N.B.  $\Phi$ : ANGOLO DI ATTRITO INTERNO;  $\gamma$ : PESO DI VOLUME; C: COESIONE

Rp: RESISTENZA ALLA PUNTA (POCKET PENETROMETER)

COMUNITÀ MONTANA - ZONA « I »

ALTE VALLI del FIASTRONE, CHIANTI e NERA

SONDAGGIO n° 3

Sede: CAMERINO - Tel. (0737) 2740

☒ ROTAZ. ☐ PERCUS. ☐ ESCAV.

UFFICIO GEOLOGICO

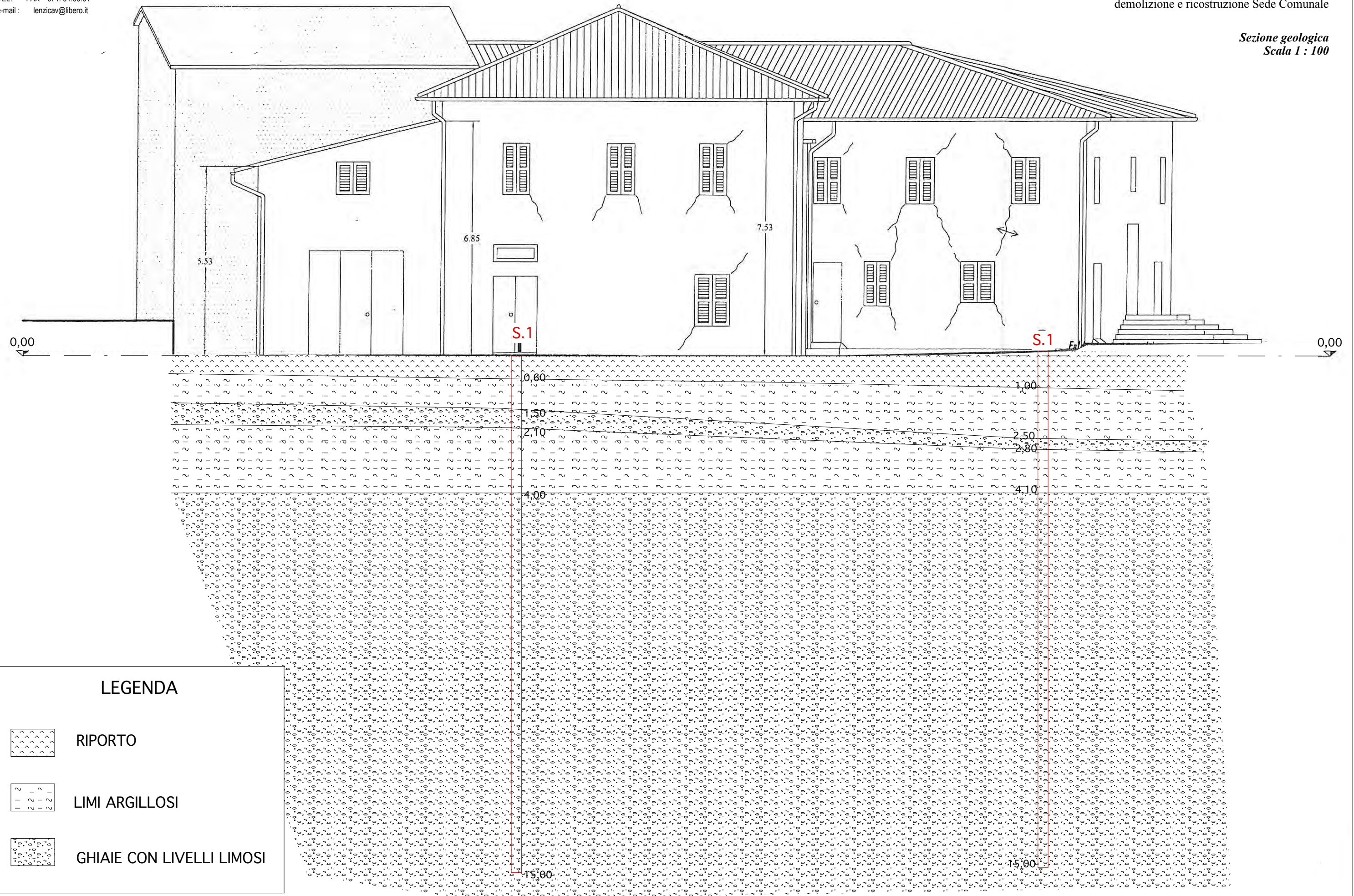
SEDE COMUNALE DI MONTECAVALLO

| STRATIGRAFIA                                                                       | QUOTE<br>P. C. PARZ. |     | TIPO LITOLOGICO                                                                                        | $\Phi$<br>° | $\gamma$<br>t/m | C<br>kg/cm | R <sub>p</sub><br>kg/cm |   |   |   |   | OSSERVAZIONI |  |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|------------|-------------------------|---|---|---|---|--------------|--|
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            | 0                       | 1 | 2 | 3 | 4 | 5            |  |
|  | 0.8                  | 0.8 | piano di calpestio-<br>terreno vegetale                                                                |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     | limo sabbioso con<br>inclusi lapidei e<br>rometrici sparsi e,<br>talora, in livelli<br>(inferiormente) |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |
|                                                                                    |                      |     |                                                                                                        |             |                 |            |                         |   |   |   |   |              |  |

non si può pro-  
seguire per  
frammento del  
foro di sondag-  
gioN.B.  $\Phi$  : ANGOLO DI ATTRITO INTERNO;  $\gamma$  : PESO DI VOLUME; C : COESIONE

Rp : RESISTENZA ALLA PUNTA (POCKET PENETROMETER)

**Sezione geologica**  
**Scala 1 : 100**





**INDAGINE DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA  
MEDIANTE TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI O HVSR  
PER L'ANALISI PRELIMINARE RELATIVA ALLA CARATTERIZZAZIONE  
DEL COMPORTAMENTO DINAMICO DI STRUTTURE E TERRENI  
ESEGUITA PRESSO LA SEDE COMUNALE DI VIA ROMA  
NEL COMUNE DI MONTE CAVALLO (MC)**

---

**Oggetto:** Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR.

**Committente:** Comune di Monte Cavallo (MC)

**Commessa:** G001-19

---

Falconara M.ma, lì 14 Giugno 2019

## I N D I C E

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. PREMESSA.....                                                                  | 3  |
| 2. CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DELLE STRUTTURE E DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....    | 3  |
| 3. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA.....                                                  | 3  |
| 4. PROCEDURE DI ANALISI DATI PER STAZIONI SINGOLE H/V DEI TERRENI DI SEDIME ..... | 4  |
| 4.1    Stazione singola HVSR1 Terreno - Dati di input .....                       | 4  |
| 4.1.1    Rapporto spettrale H/V.....                                              | 5  |
| 5. STATO DINAMICO DELL'EDIFICIO.....                                              | 6  |
| 5.1    Acquisizione delle registrazioni ed elaborazione – SSR .....               | 7  |
| 5.1.1    Spettri di frequenza Verticale V1 .....                                  | 7  |
| 5.1.2    Spettri di frequenza Verticale V2 .....                                  | 8  |
| 5.1.3    Spettri di frequenza Verticale V3 .....                                  | 9  |
| 6. VERIFICA DOPPIA RISONANZA TERRENO-EDIFICIO .....                               | 10 |
| 7. CONCLUSIONI .....                                                              | 10 |

## **1. PREMESSA**

Su incarico e per conto della del Comune di Monte Cavallo ai sensi Nuove NTC - D.M. 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», è stata eseguita in data 15 Maggio 2019, una indagine geofisica, mediante la tecnica dei rapporti spettrali o HVSr, per la caratterizzazione dinamica della sede Comunale sita in via Roma presso il Comune di Monte Cavallo (MC).

L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di *Nakamura* e sul rapporto spettrale H/V.

## **2. CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DELLE STRUTTURE E DEI TERRENI DI FONDAZIONE**

Il presente rapporto fornisce in via preliminare ed in maniera sintetica i risultati della campagna sperimentale per la caratterizzazione dinamica terreno/struttura effettuata nel giorno 15 Maggio 2019 presso la sede Comunale sita in via Roma nel Comune di Monte Cavallo (MC).

Al fine di caratterizzare il comportamento dinamico della struttura in esame, e verificare se esistano eventuali fenomeni di risonanza con il terreno su cui essa è edificata si è proceduti all'acquisizione di tracce sia sui terreni di sedime che sulla stessa struttura.

Studi recenti hanno infatti dimostrato che, quando la frequenza del sottosuolo coincide con quella dell'opera su di esso realizzata, in caso di sisma, può verificarsi un effetto di risonanza tra struttura e terreno la cui conseguenza è un'amplificazione sismica, che induce un notevole aumento della sollecitazione dinamica della struttura. Per queste ragioni l'amplificazione sismica, essendo considerata la principale causa di danni prodotti dai terremoti, rende di fondamentale importanza lo studio delle frequenze caratteristiche dei siti e dei manufatti su di essi costruiti

## **3. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA**

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Per tale scopo viene utilizzato un sismografo 24 bit GEOBOX prodotto dalla ditta Sara Instruments Srl (frequenza di risonanza 0.45 Hz).

Lo strumento (GeoBox – Sara Instrument) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni NS, EW e verticalmente, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni.

#### 4. PROCEDURE DI ANALISI DATI PER STAZIONI SINGOLE H/V DEI TERRENI DI SEDIME

Sui terreni di sedime è stata condotta, un'indagine geofisica attraverso l'acquisizione di n.1 registrazione a stazione singola, denominata HVSR 1.

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero si ricava la curva H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), avendo utilizzato i seguenti parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari a 10% della frequenza centrale;
- rimozione dei transetti sulla serie temporale degli H/V.

La curva H/V viene riprodotta creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di *Rayleigh* e di *Love* nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

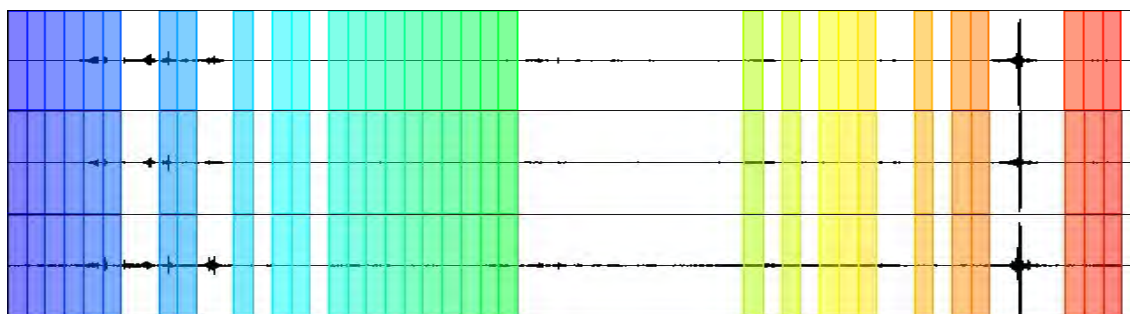
Tale operazione è possibile esclusivamente in presenza di un vincolo che può essere la profondità, nota tramite prove dirette (Sondaggi eseguiti in situ), di un riflettore sismico il cui *marker* sia riconoscibile nelle curve H/V (Castellaro e Mulargia, 2008) o la velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) del primo strato nota da altre indagini.

##### 4.1 Stazione singola HVSR1 Terreno - Dati di input

###### Dati riepilogativi:

|                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Numero tracce:                 | 3                               |
| Durata registrazione:          | 1200 s                          |
| Frequenza di campionamento:    | 300,00 Hz                       |
| Numero campioni:               | 360000                          |
| Direzioni tracce:              | Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale. |
| Dimensione temporale finestre: | 20,0 s                          |
| Tipo di lisciamento:           | Konno-Ohmachi                   |
| Percentuale di lisciamento:    | 5,00 %                          |

###### Grafici tracce con finestre selezionate:



**Fig.1:** Traccia e finestre selezionate in direzione N-S, E-W e Verticale.

### Grafici degli spettri

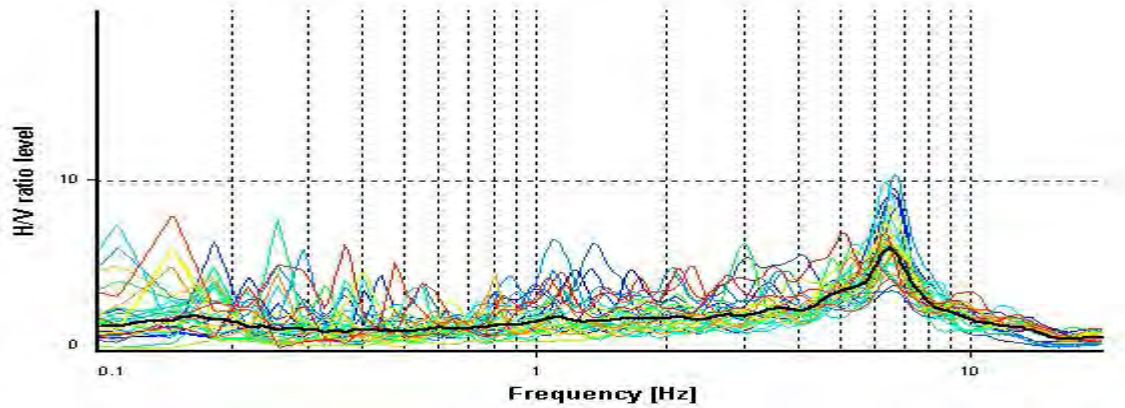


Fig.2: Spettri medi nelle tre direzioni.

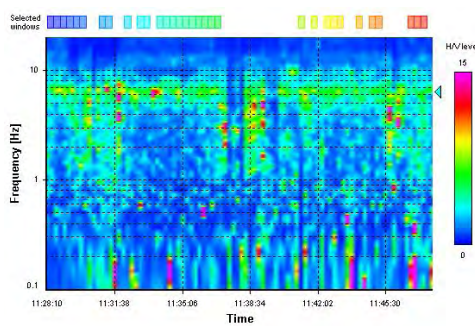


Fig.3: Mappa della stazionarietà degli spettri.

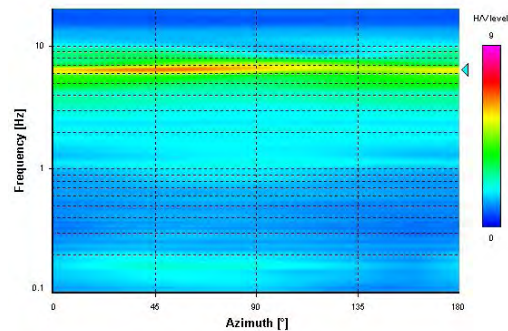


Fig.4: Mappa della direzionalità degli spettri.

#### 4.1.1 Rapporto spettrale H/V

##### Verifiche SESAME:

Frequenza del picco del rapporto H/V: **6,43 Hz ± 0,34 Hz**

| HVSr curve reliability criteria                               |                                              |    |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----|
| $f_0 > 10 / L_w$                                              | 32 valid windows (length > 1.55 s) out of 32 | OK |
| $n_c(f_0) > 200$                                              | 4117.96 > 200                                | OK |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$                     | Exceeded 0 times in 79                       | OK |
| HVSr peak clarity criteria                                    |                                              |    |
| $\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$  | 4.51426 Hz                                   | OK |
| $\exists f' \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$ | 7.95886 Hz                                   | OK |
| $A_0 > 2$                                                     | 6.02 > 2                                     | OK |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$   | 1.79% <= 5%                                  | OK |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                 | 0.34192 >= 0.32172                           | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                 | 1.30024 < 1.58                               | OK |
| Overall criteria fulfillment                                  |                                              | OK |

Tab.2: Sesame – Affidabilità del picco.

## 5. STATO DINAMICO DELL'EDIFICIO

Il comportamento dinamico di una struttura può essere ottenuto sia da modelli teorici sia da dati sperimentali. L'approccio teorico consiste in una modellazione dinamica basata sulle equazioni del moto, le cui soluzioni, determinano i modi di vibrare di una struttura. Il problema principale delle costruzioni è che queste, pur nella loro apparente semplicità, sono comunque troppo complesse per essere accuratamente modellate attraverso schemi teorici. Difatti la disomogeneità nei materiali, la struttura interna, ed il comportamento delle varie componenti strutturali rendono difficoltosa una precisa modellazione matematica. In questo caso le misure sperimentali delle frequenze naturali possono fornire un valido supporto nella costruzione di tali modelli matematici permettendone una verifica finale.

Per poter verificare l'eventuale presenza di fenomeni di risonanza terreno/struttura sono state eseguite n° 5 verticali di microtremore ambientale distribuite all'interno delle strutture presenti nell'area di studio come in fig 6.



**Fig 6:** Sezione dell'edificio con ubicazione verticali SSR e punti di misura.

Per ogni verticale sono state acquisite n° 2 registrazioni della durata di 10 min, una al piano più basso ed una a quello più alto della struttura esaminata.

Le acquisizioni sono state eseguite posizionando lo strumento sempre nella stessa direzione rispetto l'elemento strutturale stabilito come riferimento. Per facilità di calcolo, le direttrici Nord-Sud ed Est Ovest dello strumento corrispondono

agli assi dell'edificio e in particolare la direttrice Nord-Sud corrisponde al lato maggiore dell'edificio, la direttrice Est-Ovest a quello minore (vedi fig.6).

Per l'edificio in oggetto di studio sono state acquisite n° 3 SSR (V1 ... V3) con il Nord dello strumento che differisce dal Nord Magnetico di circa 13° verso Est (Ns = N13°E).

### **5.1 Acquisizione delle registrazioni ed elaborazione – SSR**

Al fine di caratterizzare il comportamento dinamico dei terreni di fondazione e della struttura oggetto di studio, sono state acquisite in data 15 Maggio 2019 n° 7 registrazioni HVSR di cui n° 1 esterna all'edificio (per la caratterizzazione dei terreni) e n° 6 all'interno dello stesso, suddivise in 3 verticali .

Per ogni verticale sono state acquisite n° 2 registrazioni, una sul piano poggiante sul terreno e la seconda sul piano più alto corrispondente.

Le tracce sono state acquisite con le seguenti caratteristiche:

#### Dati riepilogativi:

|                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Numero tracce:                 | 3                               |
| Durata registrazione:          | 600 s                           |
| Frequenza di campionamento:    | 300,00 Hz                       |
| Numero campioni:               | 180000                          |
| Direzioni tracce:              | Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale. |
| Dimensione temporale finestre: | 20,0 s                          |
| Tipo di lisciamento:           | Konno-Ohmati                    |
| Percentuale di lisciamento:    | 5,00 %                          |

Per determinare le frequenze dei modi vibrazionali della struttura, le misurazioni sono state effettuate al piano terreno e all'ultimo piano, rigorosamente sulla stessa verticale e con l'orientazione degli assi dello strumento coincidenti con quelli (longitudinale e trasversale) dell'edificio.

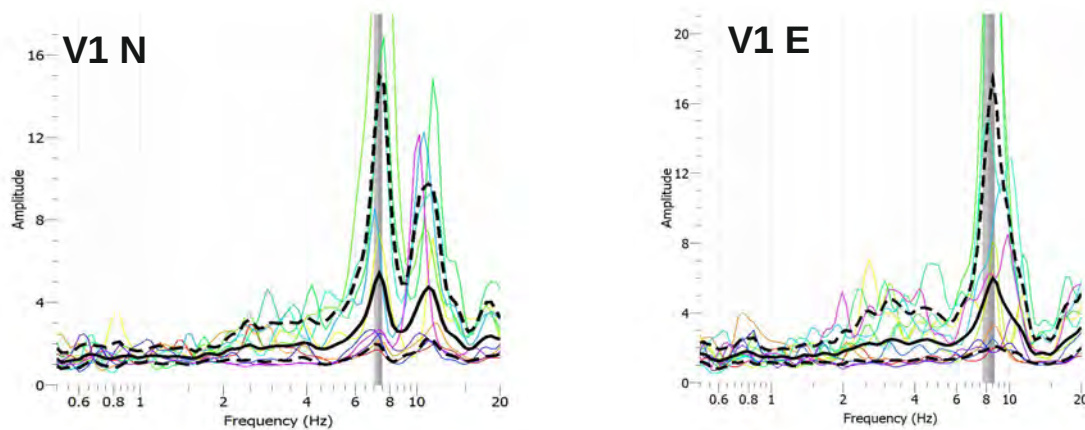
Diversamente dalla procedura per scopi stratigrafici in cui il grafico significativo è l'H/V, per le strutture è stato fatto riferimento al grafico (c2-c1)/c1, dove vengono confrontati gli spostamenti sul solo piano orizzontale (alle varie frequenze) del tetto dell'edificio (c2) rispetto al piano di fondazione (c1) preso come riferimento. Ciò al fine di rimuovere dalle registrazioni l'effetto del sottosuolo (o anche detto “effetto di sito”).

#### **5.1.1 Spettri di frequenza Verticale V1**

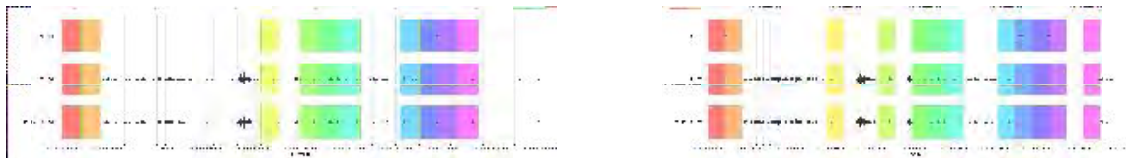
I grafici seguenti mostrano gli spettri di Fourier nella classica visualizzazione con spettro medio, curve di confidenza e uno spettro colorato per ogni finestra, relativi alle differenze spettrali normalizzate tra tetto dell'edificio e piano di fondazione.

Le frequenza di risonanza dell'edificio rilevate lungo la verticale sono (vedi fig. 7):

- direzione N-S:  $7,38 \pm 0,24$  Hz (A 2,75);
- direzione E-W:  $8,19 \pm 0,48$  Hz (A 5,57);



**Fig 7:** Frequenze di risonanza dell'edificio sulla Verticale V1 direzioni Nord-Sud e Est-Ovest;



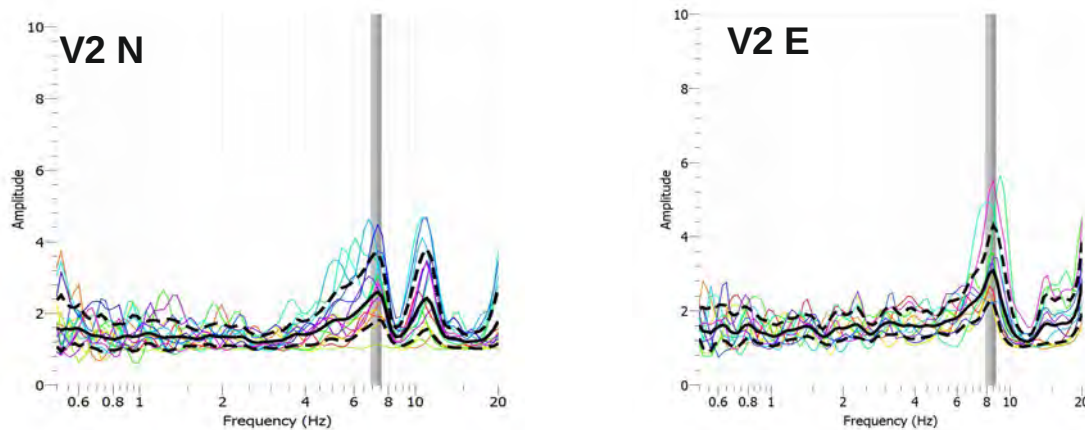
**Fig 8:** Traccia e finestre selezionate in direzione N-S e E-W;

### 5.1.2 Spettri di frequenza Verticale V2

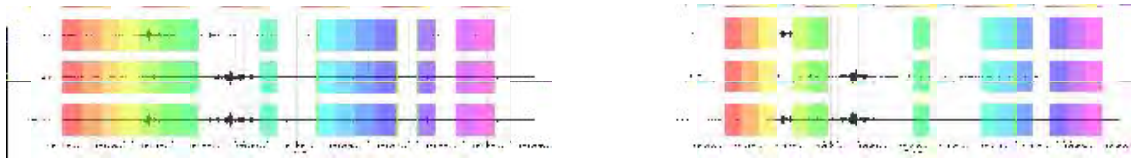
I grafici seguenti mostrano gli spettri di Fourier nella classica visualizzazione con spettro medio, curve di confidenza e uno spettro colorato per ogni finestra, relativi alle differenze spettrali normalizzate tra tetto dell'edificio e piano di fondazione.

Le frequenza di risonanza dell'edificio rilevate lungo la verticale sono (vedi fig. 9):

- direzione N-S:  $7,24 \pm 0,33$  Hz (A 2,57);
- direzione E-W:  $8,31 \pm 0,42$  Hz (A 3,04);



**Fig 9:** Frequenze di risonanza dell'edificio sulla Verticale V2 direzioni Nord-Sud e Est-Ovest;



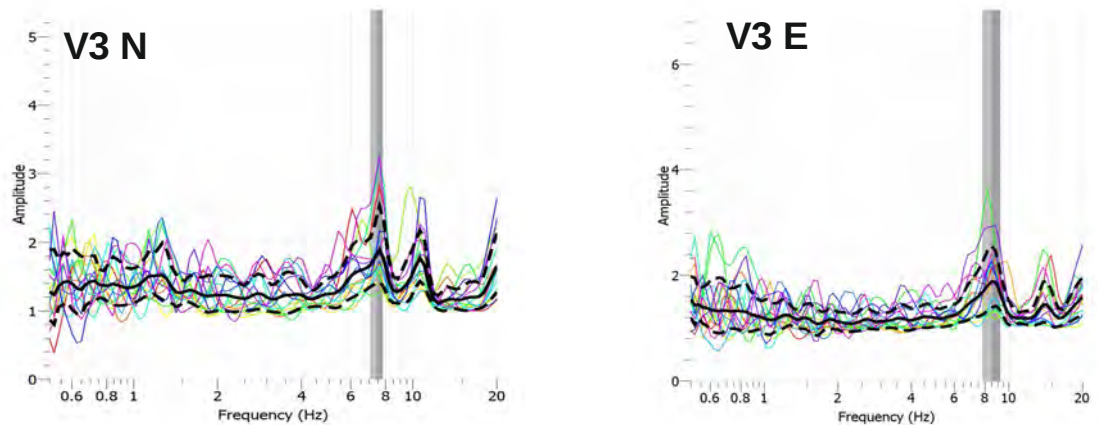
**Fig10:** Traccia e finestre selezionate in direzione N-S e E-W;

### 5.1.3 Spettri di frequenza Verticale V3

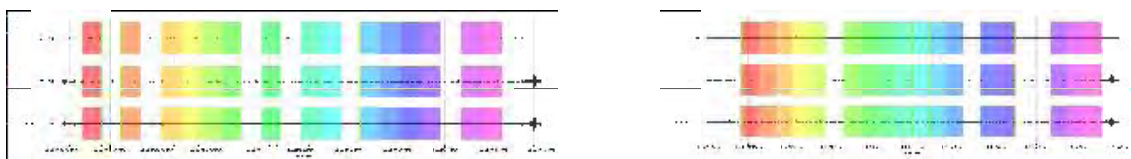
I grafici seguenti mostrano gli spettri di Fourier nella classica visualizzazione con spettro medio, curve di confidenza e uno spettro colorato per ogni finestra, relativi alle differenze spettrali normalizzate tra tetto dell'edificio e piano di fondazione.

Le frequenze di risonanza dell'edificio rilevate lungo la verticale sono (vedi fig. 11):

- direzione N-S:  $7,43 \pm 0,38$  Hz (A 1,83);
- direzione E-W:  $8,51 \pm 0,72$  Hz (A 1,88);



**Fig11:** Frequenze di risonanza dell'edificio sulla Verticale V3 direzioni Nord-Sud e Est-Ovest;



**Fig12:** Traccia e finestre selezionate in direzione N-S e E-W;

Di seguito viene sintetizzato in tabella l'andamento delle frequenze e l'ampiezza riscontrate nelle verticali eseguite.

| Verticale SSR | Direzione Nord-Sud (Hz) | Ampiezza | Direzione Est-Ovest (Hz) | Ampiezza | Rapporto H/V (Hz) |
|---------------|-------------------------|----------|--------------------------|----------|-------------------|
| V1            | 7,38                    | 2,75     | 8,19                     | 5,57     | -                 |
| V2            | 7,24                    | 2,57     | 8,31                     | 3,04     | -                 |
| V3            | 7,43                    | 1,83     | 8,51                     | 1,88     | -                 |
| HV1           | Terreno                 | -        | -                        | 6,02     | 6,43              |

**Tab 3:** Frequenze di risonanza N-S e E-W e del terreno;

## 6. VERIFICA DOPPIA RISONANZA TERRENO-EDIFICIO

Per la verifica degli spettri di risonanza dell'edificio in oggetto sono stati acquisite n° 3 verticali (V1 ... V3). Dall'analisi di tutti gli spettri di risonanza (vedi Tab.3) si evince che il picco di frequenza caratteristica della struttura lungo la componente longitudinale (N-S) è mediamente compreso tra 7,24 e 7,43 Hz con ampiezza massima di 2,75 (V1) , mentre lungo la componente trasversale (E-W), esso è mediamente compreso tra 8,19 e 8,51 Hz con ampiezza massima pari a 5,57 (V1), sulle verticali nella componente N-S si riscontra la presenza di un secondo picco di risonanza superiore a 10 Hz non considerato in quanto ininfluenza ai fini del presente lavoro.

## 7. CONCLUSIONI

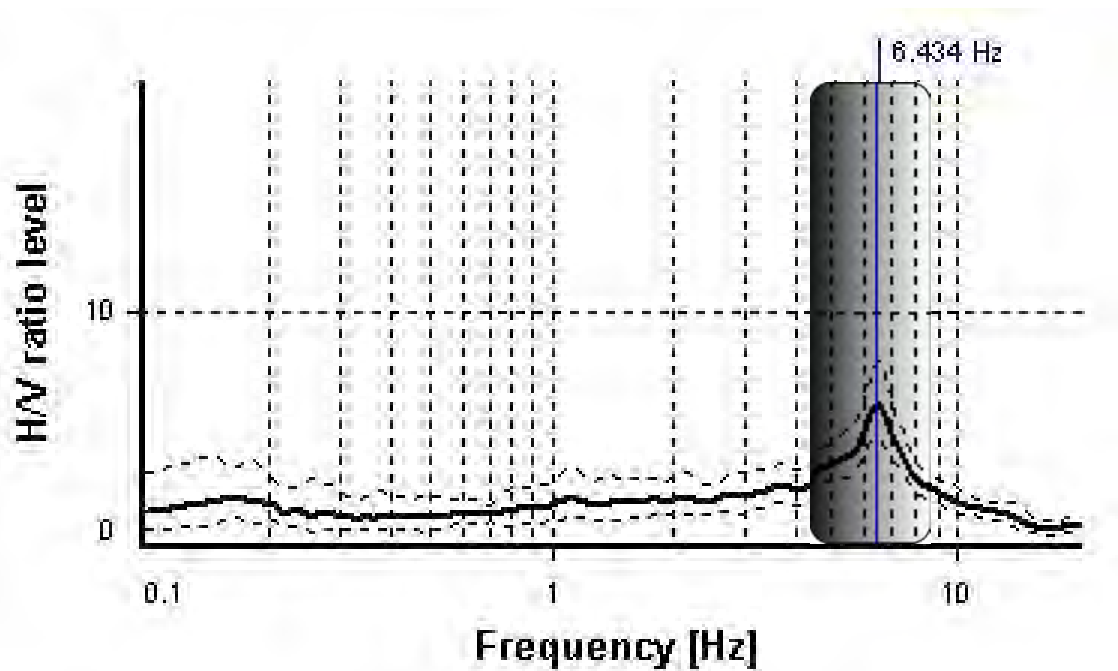
Sui terreni di sedime è stata condotta, un'indagine geofisica attraverso l'acquisizione di registrazioni a stazione singola, denominata HVSR1.

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero si è ricavata la curva H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), grazie al quale è possibile individuare la presenza di eventuali frequenze caratteristiche del sito.

Sovrapponendo allo spettro dei terreni di sedime, il *range* di frequenze determinato dallo studio effettuato all'interno dell'edificio, è possibile verificare l'interazione tra terreno e struttura al fine di evidenziare la presenza di possibili fenomeni di doppia risonanza.

A tal fine si assume un intervallo minimo e massimo, ottenuto considerando come valore massimo la frequenza del primo modo di vibrare della struttura sia in senso longitudinale che trasversale e come valore minimo una riduzione del 40% della stessa. Questo perché, una struttura soggetta ad un terremoto che subisce dei danni, avrebbe come conseguenza una diminuzione delle sue caratteristiche fisiche e di conseguenza una diminuzione delle frequenze proprie di risonanza, potendo così entrare in doppia risonanza con il terreno nella fase terminale del terremoto.

Nel caso specifico considerando le frequenze di risonanza Trasversali (E-W) e Longitudinali (N-S) (vedi tab.3) della struttura, si può calcolare il *range* di interferenza dato dal valore massimo della frequenza nel primo modo di vibrare diminuito del 40% come limite inferiore.



**Fig.13:** Rapporto spettrale H/V e intervallo di amplificazione dell'edificio.

La bassa ampiezza dei picchi di risonanza della struttura ne indica un comportamento rigido e nell'insieme omogeneo.

Sovrapponendo tale *range* al grafico del rapporto spettrale H/V del terreno (fig 13), si evince che allo stato attuale, per l'edificio in esame, sussiste un fenomeno di doppia risonanza terreno/struttura in quando all'interno del *range* è presente il picco di risonanza del terreno con un fattore di ampiezza di 6,43.

Va comunque sottolineato come, al momento, tale valutazione di sicurezza necessiti di un più ampio studio e calcolo dei parametri fondamentali, in particolare per la caratterizzazione qualitativa e quantitativa della struttura. L'approccio metodologico si propone comunque come valido strumento per una prima analisi speditiva delle caratteristiche dinamiche di edifici sia in muratura che in cemento armato.

Falconara M.ma, li 14 Giugno 2019

GECO srl

Il Responsabile  
(dott. geol. Angelo Curatolo)



**INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PRESSO UN LOCALE COMMERCIALE  
SITO IN VIA ROMA N.17 NEL COMUNE DI MONTE CAVALLO (MC)**

---

**Oggetto:** Indagine Geofisica

**Committente:** Comune di Moonte Cavallo (MC)

---

Falconara M.ma, lì 09 Luglio 2020

GECO s.r.l.  
Il Responsabile  
**GECO** s.r.l.  
Via Osoppo, 38 - Tel/Fax 071 9156126  
60015 FALCONARA MARITTIMA (AN)  
C.F. e P.IVA 02541280422

## INDICE

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. PREMESSA.....                                                                   | 3  |
| 1.1 GEOFISICA.....                                                                 | 3  |
| 2. INDAGINE SISMICA PASSIVA H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) ..... | 3  |
| 2.1 Strumentazione impiegata.....                                                  | 3  |
| 2.2 Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti .....                            | 4  |
| 2.3 Descrizione dei risultati .....                                                | 6  |
| 3. INDAGINE SISMICA TIPO MASW .....                                                | 6  |
| 3.1 Strumentazione utilizzata.....                                                 | 6  |
| 3.2 Indagine MASW: metodologia ed acquisizione .....                               | 7  |
| 3.3 Analisi ed elaborazione dei sismogrammi acquisiti .....                        | 7  |
| 4. ANALISI CONGIUNTA RAYLEIGH + HVSR .....                                         | 9  |
| 5. CONCLUSIONI .....                                                               | 10 |

Planimetria ubicazione indagini



| Coordinate UTM WGS 84 indagini geofisiche |                 |                  |
|-------------------------------------------|-----------------|------------------|
| HVSR                                      | Lat. 42.993563° | Long. 13.001292° |
| M.A.S.W. (inizio)                         | Lat. 42.993940° | Long. 13.001521° |
| M.A.S.W. (fine)                           | Lat. 42.993531° | Long. 13.001507° |

## 1. PREMESSA

Su incarico del Comune di Moonte Cavallo ai sensi del DD.MM. del 17 Gennaio 2018, è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche presso un edificio commerciale sito in Via Roma n.17 nel Comune di monte Cavallo (MC). Le indagini sono state eseguite secondo il programma.

### 1.1 GEOFISICA

- esecuzione di n°1 indagine sismica tipo Masw con acquisizione delle onde di Rayleigh (componente verticale ZVF);
- esecuzione di n°1 indagine sismica tipo HVSr;

| n° | Stesa | Lunghezza (m) | N° Scoppi | Data     |
|----|-------|---------------|-----------|----------|
| 1  | Masw  | 46,00         | 6         | 07/07/20 |
| 2  | HVSr  | -             | -         | 07/07/20 |

**Tab.1** – Elenco indagini geofisiche.

## 2. INDAGINE SISMICA PASSIVA H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

Allo scopo di calcolare la possibile frequenza di risonanza di sito ed eventualmente di migliorare la definizione dei profili verticali Vs nelle porzioni più profonde, si è scelto di eseguire, in corrispondenza dello stendimento MASW, una misurazione dei microtremori sismici ambientali per la definizione e l'analisi del rapporto spettrale H/V.

La tecnica HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del microtremore sismico ambientale. La prova a stazione singola, consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione.

### 2.1 Strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo 24 bit GEOBOX prodotto dalla ditta Sara Instruments Srl (frequenza di risonanza propria 4.5 Hz) digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Lo strumento (GeoBox – Sara Instrument) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni Verticale, NS, EW, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni.

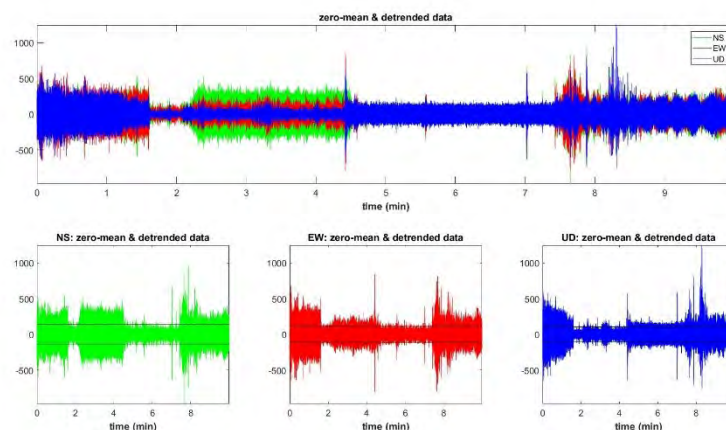
## 2.2 Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW® Academy 2018*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 s), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto.

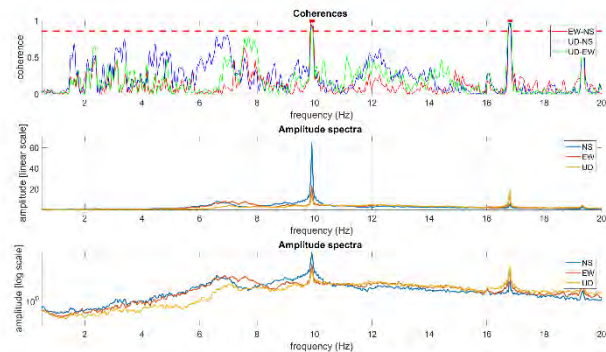
I risultati parziali ottenuti, durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSR. Un buon valore di direttività e cioè un'uniformità spaziale del segnale, ed una sua buona persistenza nel tempo, sono indice della validità stratigrafica del segnale sismico elaborato.

La validità delle curve HVSR, calcolate per ciascun sito, è stata verificata, secondo i criteri di ammissibilità del progetto *SESAME*, che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti.

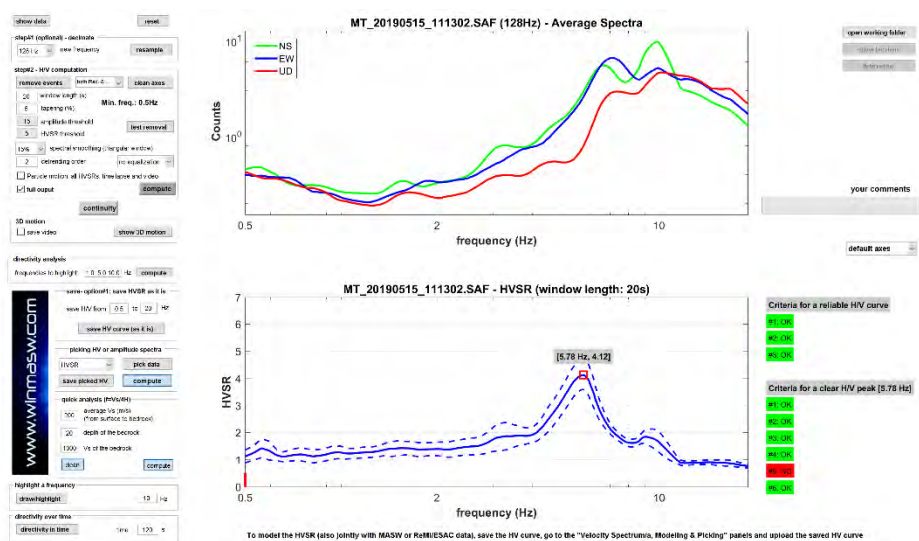
Di seguito si riportano gli spettri di ampiezza di ciascuna componente, le curve HV ottenute e i relativi risultati ottenuti applicando i criteri *SESAME*.



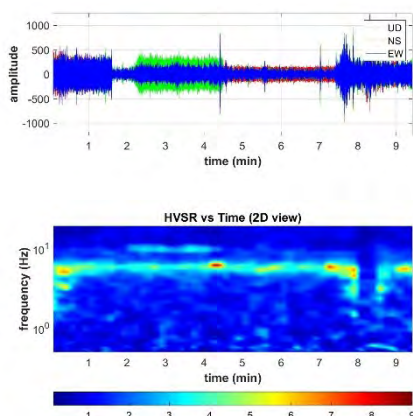
**Fig.1** - Visualizzazione dei dati dopo la rimozione di eventi transienti, cumulata delle tracce in alto, in basso traccia NS in verde, Traccia EW in rosso e Traccia verticale in blu.



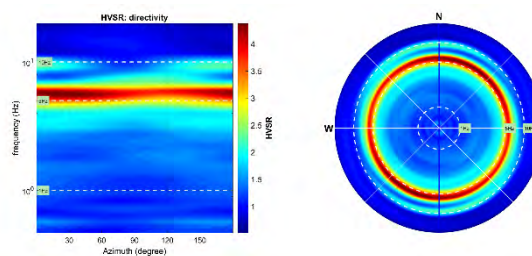
**Fig.2** - Spettri di ampiezza delle tre componenti con scale delle frequenze lineari (scala di ampiezza sia log che lineare) e le coerenze tra le varie coppie di sensori (EW versus NS, EW versus UD e NS versus UD).



**Fig.3** - Spettri delle tre componenti e rapporto H/V.



**Fig.4** - Persistenza del segnale.



**Fig.5** - Direzionalità del segnale.

Dataset: MT\_20200511.SAF

DATA ACQUISITION Date and time: 15/05/2019

DATA PROCESSING Date: 09/07/2020

Sampling frequency (Hz): 100

Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 20.0

Tapering (%): 5 Smoothing (%): 15

**SESAME criteria** the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range:

Peak frequency (Hz): 5.8 ( $\pm 1.3$ ) Peak HVSR value: 4.1 ( $\pm 0.5$ )

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

1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $5784 > 0.5$  (OK)
2.  $[nc > 200]$ :  $6594 > 200$  (OK)
3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

**Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)**

1.  $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 1.5Hz (OK)
2.  $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 7.2Hz (OK)
3.  $[A_0 > 2]$ :  $4.1 < 2$  (OK)
4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \text{ a } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ a } 5\%]$ : (OK)
5.  $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$ :  $1.308 > 0.289$  (NO)
6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $1.107 < 1.58$  (OK)

## **2.3 Descrizione dei risultati**

Nel caso in esame la curva non individua una frequenza di risonanza significativa.

## **3. INDAGINE SISMICA TIPO MASW**

### **3.1 Strumentazione utilizzata**

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata è costituita da:

- un sistema di energizzazione per le onde P: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione di onde superficiali e di volume;
- un sistema di ricezione: costituito da 24 geofoni verticali con frequenza di 4.5 Hz;
- sistema di acquisizione dati: Sismografo Ambrogeo (modello ECHO 2010) con memoria dinamica a 32 bit, dotato di hard disk, in grado di memorizzare i dati acquisiti in formato SEG2 e SEG Y, n° 2 cavi sismici telemetrici di 60 m ciascuno;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la mazza colpisce la base di battuta (piastra metallica), in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

### 3.2 Indagine MASW: metodologia ed acquisizione

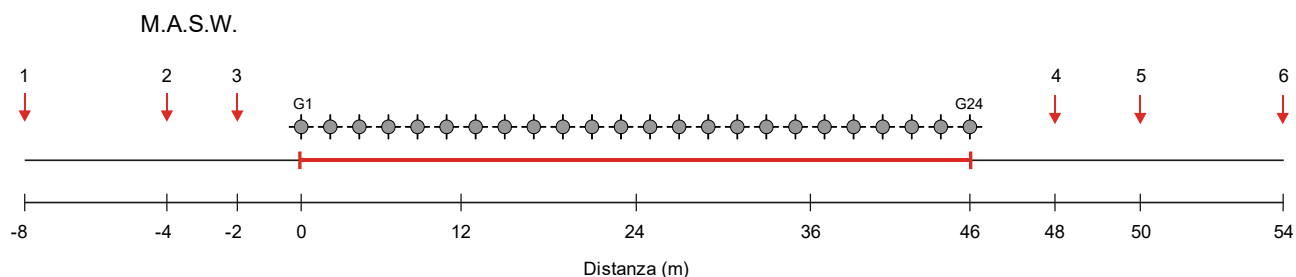
La tecnica di indagine MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) non è invasiva e permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

L'indagine MASW è di tipo "attivo" **ZVF** (acquisizione componente verticale delle onde di Rayleigh) e consiste nella registrazione simultanea di più ricevitori (geofoni verticali in questo caso), di una vibrazione prodotta da una sorgente sismica impulsiva, posta ad una data distanza dal primo ricevitore.

Il risultato finale del processo di elaborazione è il profilo verticale delle velocità delle onde S.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software *winMASW® Academy 2018*.

L'acquisizione è stata eseguita posizionando i 24 geofoni da 4.5 Hz, secondo la seguente configurazione spaziale e temporale: i) lunghezza stendimento ricevitori: 46 m; ii) n. geofoni: 24; iii) distanza intergeofonica: 2m; iv) n. punti di energizzazione: 6; v) offset sorgenti: 3m, 5m e 10m; vi) durata acquisizione: 2048ms; vii) intervallo di campionamento: 0.956 ms.



**Fig.6:** Geometria di acquisizione ed ubicazione punti di energizzazione.

### 3.3 Analisi ed elaborazione dei sismogrammi acquisiti

La stima dell'andamento in profondità delle velocità  $V_s$ , mediante acquisizione sismica multicanale, è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase. Viene impiegato lo spettro di velocità in quanto è il dominio che permette di comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Dopo aver scelto i sismogrammi più idonei, quelli con il miglior rapporto *segnale/rumore*, si esegue una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità* (Fig.7).

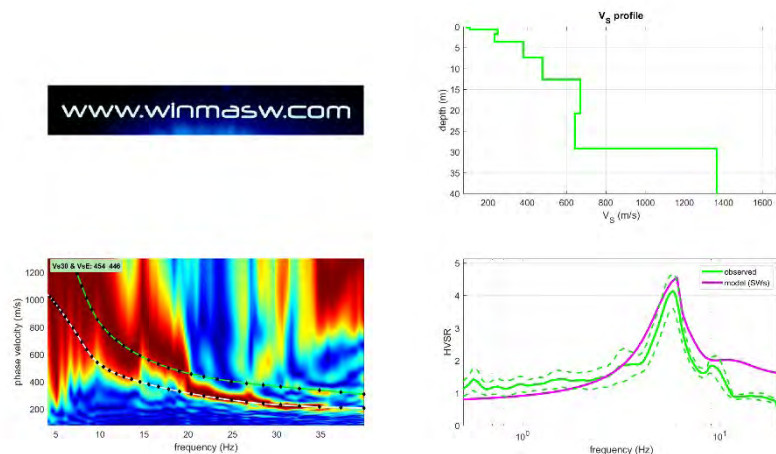
---

8

#### 4. ANALISI CONGIUNTA RAYLEIGH +HVSr

Durante l'elaborazione dei dati MASW, oltre al classico metodo legato all'identificazione delle curve modali, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a più bassa frequenza (<5-10 Hz) e nelle porzioni più profonde del modello geofisico, sono state considerate anche le curve HVSr, ottenute per il sito di indagine.

Considerando per l'analisi HVSr il picco precedentemente interpretato, è stata eseguita un'analisi congiunta tra lo spettro di dispersione dell'indagine MASW e la curva HV modellata, al fine di ottenere un solo modello vincolato di velocità, in corrispondenza del sito di indagine (Fig. 9).

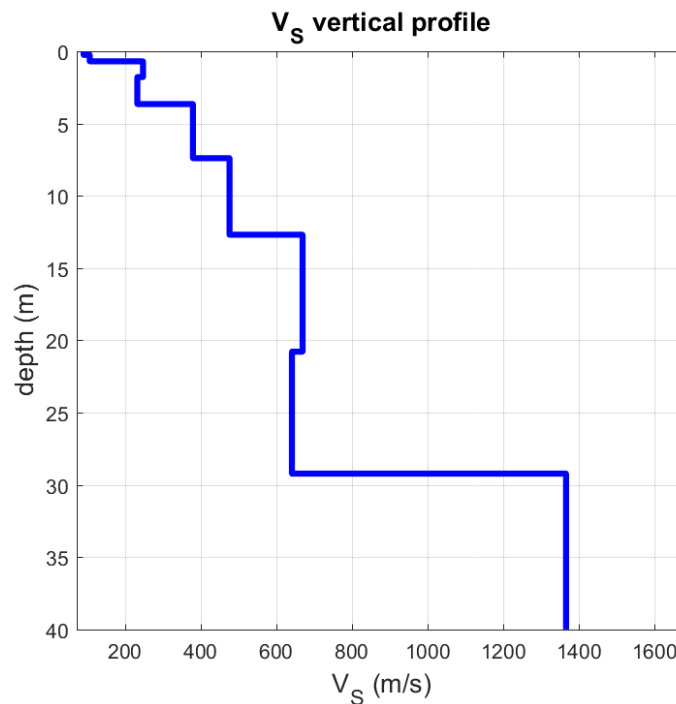


**Fig.9** - Analisi congiunta Rayleigh+HVSr figura riassuntiva: individuazione del modo fondamentale e dei modi superiori che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (sx in alto) e confronto tra le curve HVSr sperimentali (verde) e teoriche (viola), ottenute per lo stesso modello di velocità considerato durante l'analisi spettrale della relativa MASW.

Dall'analisi congiunta MASW+HVSr, è stato determinato un profilo di  $V_s$  completo. L'inversione viene effettuata grazie all'utilizzo di una solida tecnica di ottimizzazione (algoritmi genetici) il risultato è una soluzione più affidabile e una stima dell'attendibilità del modello ricavato (in termini di deviazioni standard). Per l'elaborazione ed interpretazione dei dati si è tenuto conto, delle evidenze dei segnali acquisiti e delle conoscenze stratigrafiche dell'area di indagine.

## 5. CONCLUSIONI

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un modello geofisico più attendibile, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia ZVF e analisi congiunta Rayleigh+HVSr.



**Fig.10** - Andamento delle Vs con la profondità.

| Sismostrato | Vs (m/s) | Spessore (m) | Profondità da p.c. (m) |
|-------------|----------|--------------|------------------------|
| 1           | 91       | 0.25         | 0.25                   |
| 2           | 107      | 0.44         | 0.69                   |
| 3           | 248      | 1.09         | 1.78                   |
| 4           | 233      | 1.87         | 3.65                   |
| 5           | 380      | 3.74         | 7.39                   |
| 6           | 477      | 5.30         | 12.69                  |
| 7           | 670      | 8.09         | 20.78                  |
| 8           | 642      | 9.22         | 30.0                   |

**Tab.2** - Modello sismostratigrafico individuato in termini di Vs – **Mean Model**.

È stato quindi possibile calcolare la  $V_{seq}$ , tramite la formula:

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

dove:

$h_i$  = spessore dello strato  $i$  – esimo (m)

$V_s$  = valore di velocità delle onde di taglio (m/s)

$N$  = numero strati

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

Nel caso in oggetto non avendo riscontrato il substrato sismico  $>800$  m/sec nei primi 30 m dal p.c. il valore del  $V_{seq}$  è assimilabile al valore  $V_{s30}$ .

- |                                          |                                       |
|------------------------------------------|---------------------------------------|
| • <b>Calcolo da piano campagna</b>       | <b><math>V_{Seq} = 450</math> m/s</b> |
| • <b>Calcolo -1.0m da piano campagna</b> | <b><math>V_{Seq} = 500</math> m/s</b> |
| • <b>Calcolo -2.0m da piano campagna</b> | <b><math>V_{Seq} = 515</math> m/s</b> |
| • <b>Calcolo -3.0m da piano campagna</b> | <b><math>V_{Seq} = 541</math> m/s</b> |

Falconara M.ma, lì 09 Luglio 2020

GECO s.r.l.  
Il Responsabile  
**GECO** s.r.l.  
Via Osoppo, 38 - Tel/Fax 071.9159126  
60015 FALCONARA MARITTIMA (AN)  
C.F. e P.IVA 02541280422