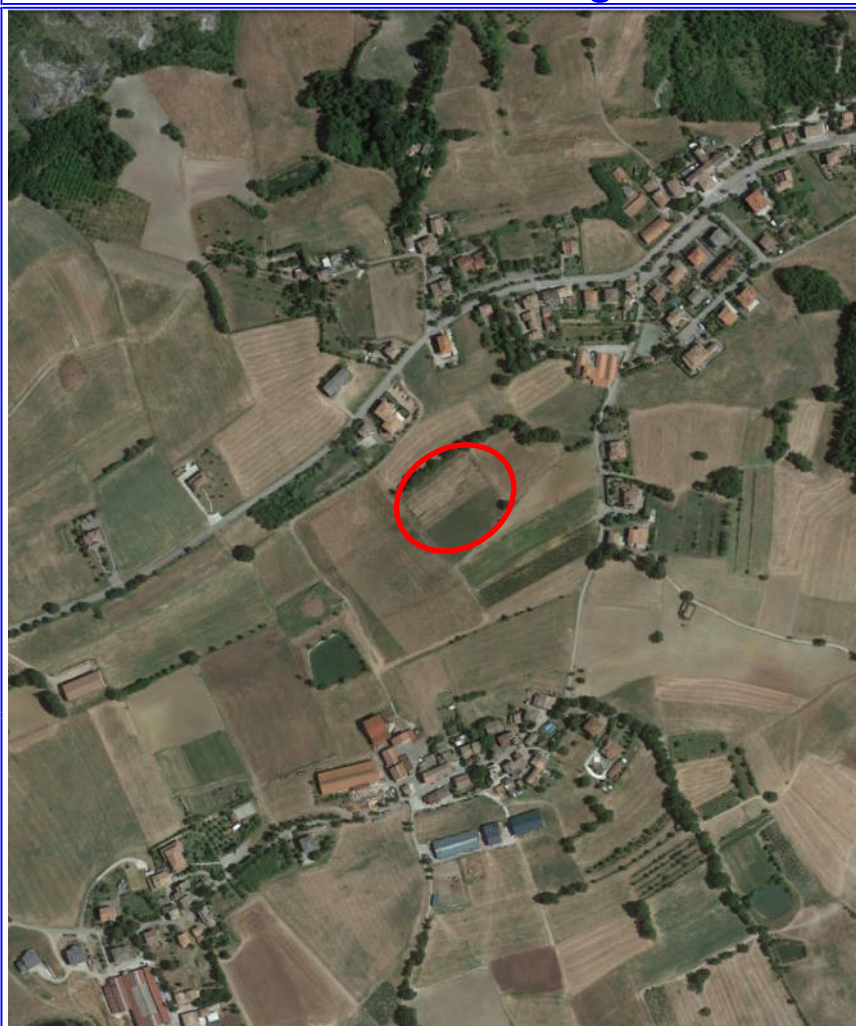


COMUNE DI PAVULLO NEL FRIGNANO  
*Provincia di Modena*

REALIZZAZIONE DI NUOVO FABBRICATO AD USO FIEBILE  
A SERVIZIO DI AZIENDA AGRICOLA ESISTENTE  
IN LOC. "LE COSTE" – FR. COSCOGNO

ai sensi dell'Art. 53 L.R. 24/2017 in variante al PSC/RUE del Comune di Pavullo n/F.

**Relazione Geologica e Sismica**



DATA:

Luglio 2022

PROT. N°:

PRATICA N°

PROPRIETÀ:

**SOCIETÀ AGRICOLA  
LENZINI DIEGO**

IL GEOLOGO:

*Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti*

**DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO**  
**GEOLOGO**

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo) - cell. 339 4679008 – e mail [sb.marco@libero.it](mailto:sb.marco@libero.it)  
Piva 02496130366 – CF sntmrc72m09g393s – pec [santibortolotti@pec.epap.it](mailto:santibortolotti@pec.epap.it) – Cod (SDI) XL13LG4



# *Relazione Geologica e Sismica*

## **1. PREMESSA**

La presente relazione riferisce dello studio geologico e sismico eseguito in loc. Le Coste, frazione di Coscogno in Comune di Pavullo n/F. (Mo) (Fig. 1-2), in particolare espone gli aspetti geologici e sismici connessi con la realizzazione di un fabbricato ad uso fienile a servizio dell'Azienda Agricola.

### **1.1 CRONOPROGRAMMA E METODOLOGIA DI LAVORO**

Al fine di inquadrare e contestualizzare dal punto di vista geologico e sismico l'area, si è proceduto essenzialmente attraverso due fasi:

- 1) analisi bibliografica degli studi e delle indagini disponibili nell'area e in un suo intorno significativo;
- 2) approfondimento d'indagine sito-specifica con esecuzione di indagini geognostiche e sismiche.

1) La ricerca bibliografica ha permesso di reperire dati di buona qualità, quelli più significativi e utilizzati in questo lavoro sono:

- cartografia tecnica e geologica esistente;
- Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Pavullo nel Frignano;
- PSC del Comune di Pavullo nel Frignano;
- sono state consultate anche alcune indagini eseguite in passato dallo scrivente in sito limitrofo per la realizzazione di strutture sempre a servizio dell'Azienda Agricola.

2) La consultazione dei documenti sopra elencati permette di ottenere un buon quadro generale dell'area in studio. Per qualificare e completare ulteriormente lo studio sono state comunque programmate nuove **indagini geognostiche e geofisiche "sito-specifiche"**, comprensive di:

- n° 3 prove penetrometriche dinamiche DPSH (All. 1);
- n° 1 prospezione sismica HVSR, registrazione passiva di microtremiti (All. 2).

Così operando, si è inteso:

- valutare le condizioni geologiche-geomorfologiche e idrogeologiche dell'area;
- valutare le condizioni di stabilità generali e locali;
- valutare la pericolosità sismica di base del sito di costruzione;
- valutare le caratteristiche geolitologiche dei terreni di fondazione del sito d'intervento;
- definire il modello geologico-geotecnico;
- individuare le possibili problematiche geologiche-tecniche dell'area in relazione all'intervento.

Lo studio, pertanto, secondo i dettami della normativa vigente (D.M. 14.01.2018) e dello stato dell'arte, è rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica e sismica dell'area d'intervento che consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici, e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

L'elaborato è sviluppato in modo da costituire imprescindibile elemento di base e di riferimento per la redazione del dimensionamento geotecnico di dettaglio e per il completamento della successiva progettazione.

## RELAZIONE GEOLOGICA

### 2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO (6.2.1 NTC)

#### 2.1 ELEMENTI GEOGRAFICI-GEOMORFOLOGICI DELL'AREA

L'area, situata in località "Le Coste", fraz. di Coscogno, dista dal capoluogo Pavullo circa 4 km in direzione nord-est, ed è collegato a quest'ultimo tramite la S.P. n° 22.

Questa porzione di territorio si colloca lungo la fascia della media collina nell'Appennino modenese, ad un'altimetria media intorno ai 500-600 metri s.l.m. (Fig. 1-2).

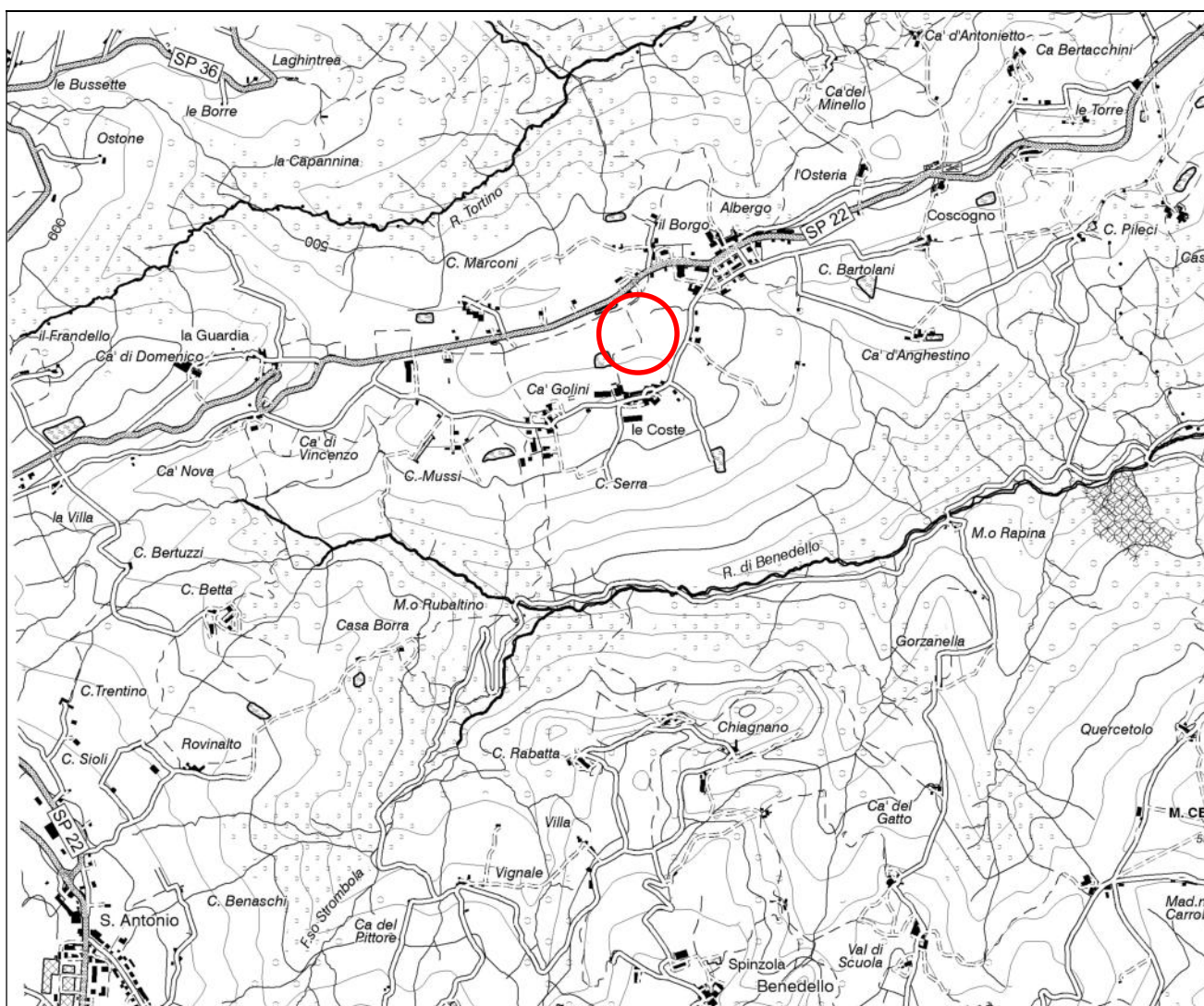
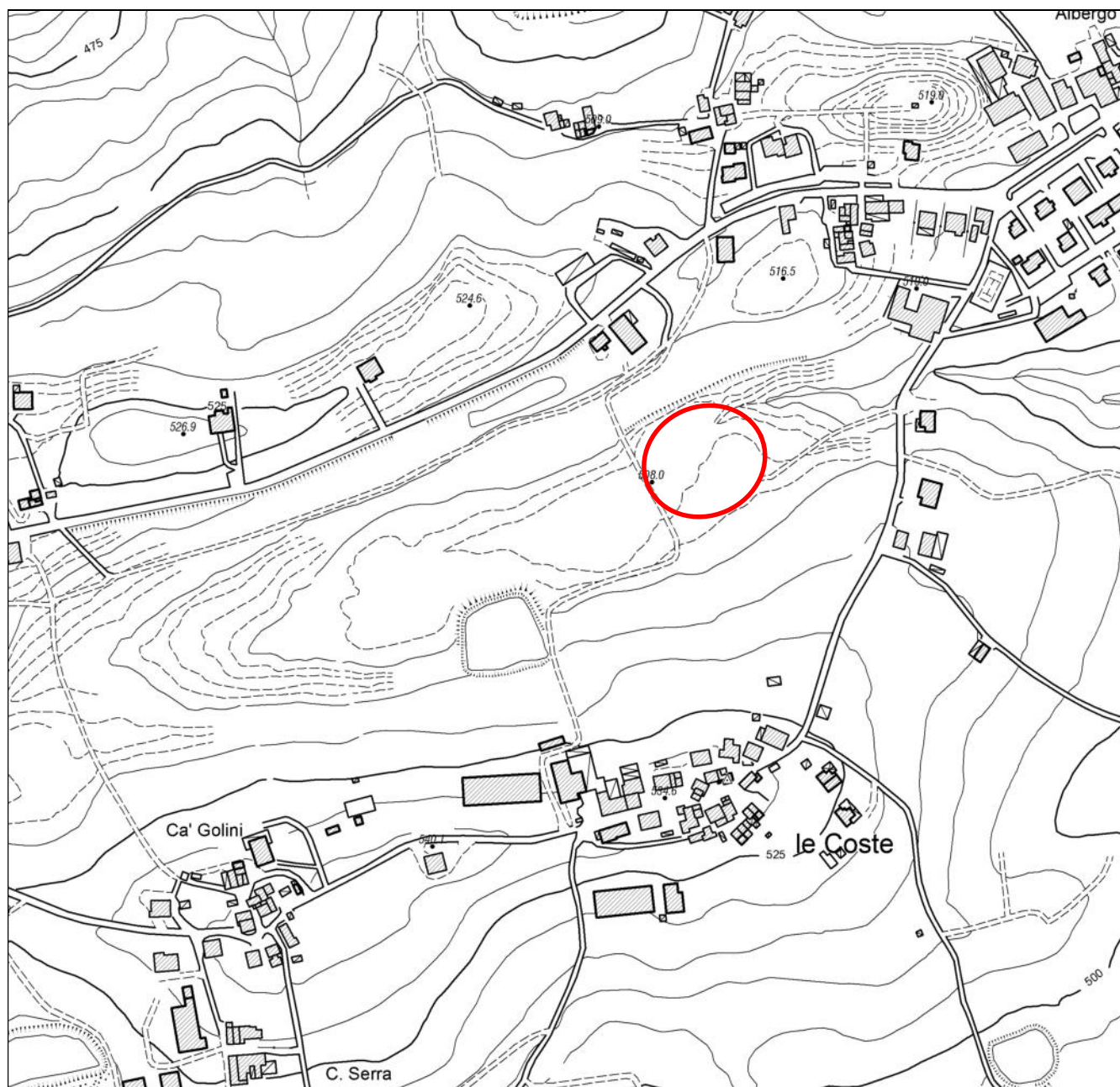


Figura 1 – Inquadramento geografico 1:25.000 (Tavoletta ctr n° 236ne)

I terreni costituenti i versanti della zona in studio sono caratterizzati da formazioni prevalentemente argillose, tipiche di questa fascia appenninica. Queste litologie comportano forme del paesaggio anche blande e da poco a mediamente acclivi progradanti più o meno uniformemente e a volte irregolarmente verso valle.



**Figura 2** – Corografia 1:5.000 (Elemento CTR n° 236034)

### 2.1.1 Riferimenti Cartografici

Cartograficamente l'area in studio è individuata sulla C.T.R. nella Tavoleta 236ne a scala 1:25.000 (Fig. 1), nella Sezione n° 236030 alla scala 1:10.000 e nell'Elemento n° 236034 a scala 1:5.000 (Fig. 2).

## 2.2 MORFOLOGIA DI DETTAGLIO DELL'AREA

La zona in studio si colloca all'interno dell'ampia dorsale Coscogno – Le Coste che si sviluppa in direzione circa ovest-est caratterizzata da deboli pendenze.

Il sito d'intervento si pone in posizione subpianeggiante con leggero declivio verso ne.

Le quote d'intervento sono comprese tra 506-508 m s.l.m.

In dettaglio il pendio meridionale posto sul fianco dell'area di dorsale presenta le seguenti caratteristiche morfometriche:

### MORFOMETRIA E MORFOLOGIA DEL PENDIO

*Quota massima (s.l.m.): 534 m*

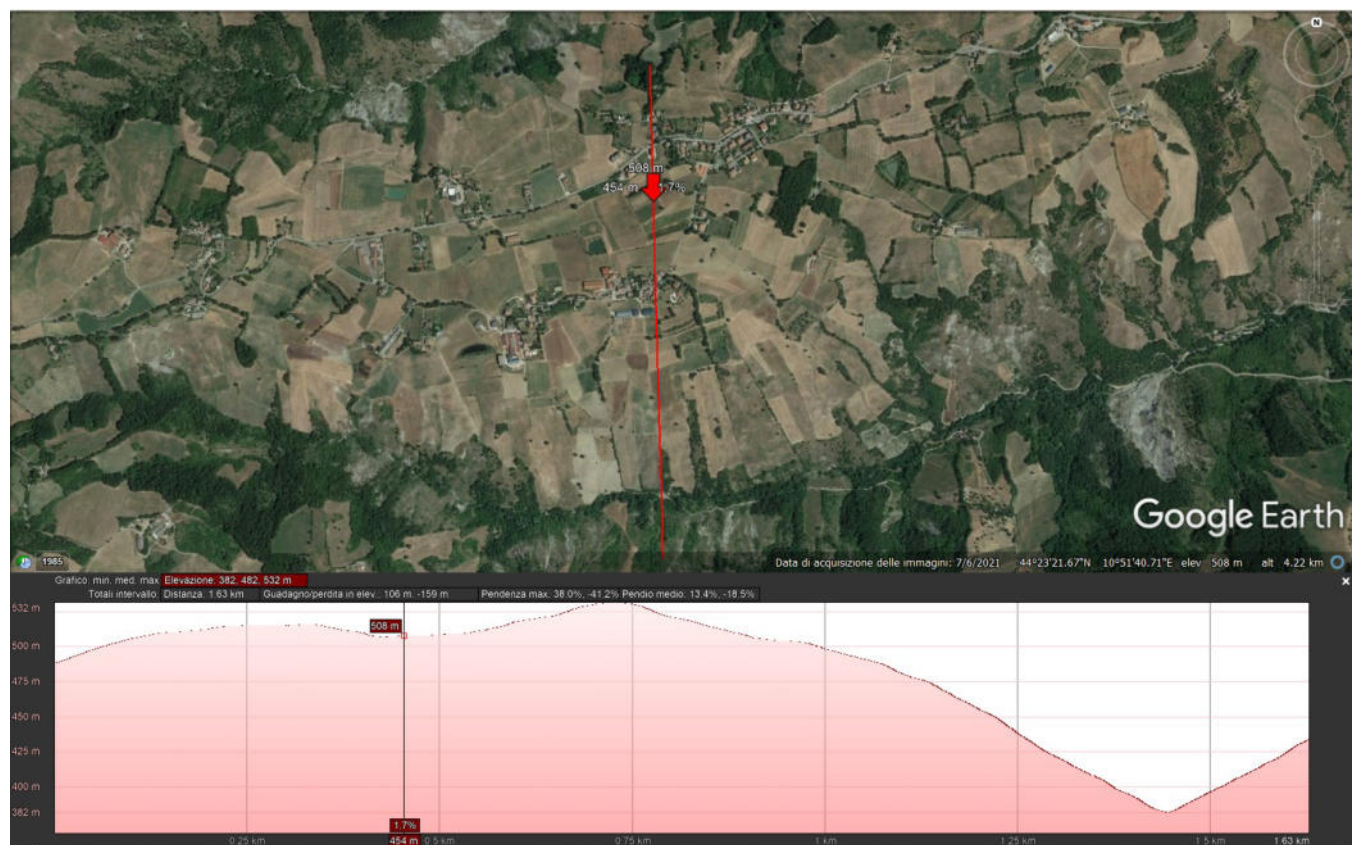
*Quota del settore d'intervento (s.l.m.): 508 m*

*Quota minima (s.l.m.): 390 m (Rio Benedello)*

*Distanza dallo spartiacque: 50 m*

*Distanza dalla base: 600 m*

*Pendenza media dallo spartiacque alla base: 12° (21%)*



**Figura 3** – Profilo topografico (tratta da Google Earth)

### 2.3 ELEMENTI GEOLOGICI

Le caratteristiche geologiche dell'area possono essere inquadrate nella tipica situazione riscontrabile lungo i versanti del medio Appennino modenese: si osservano gli estesi affioramenti del complesso alloctono prevalentemente argilloso (Complesso di base) delle formazioni liguridi (Fig. 4).

I terreni costituenti il versante in studio sono composti da una litologia prevalentemente argillosa-marnosa, tipica di questa fascia appenninica, che comporta forme del paesaggio blande.

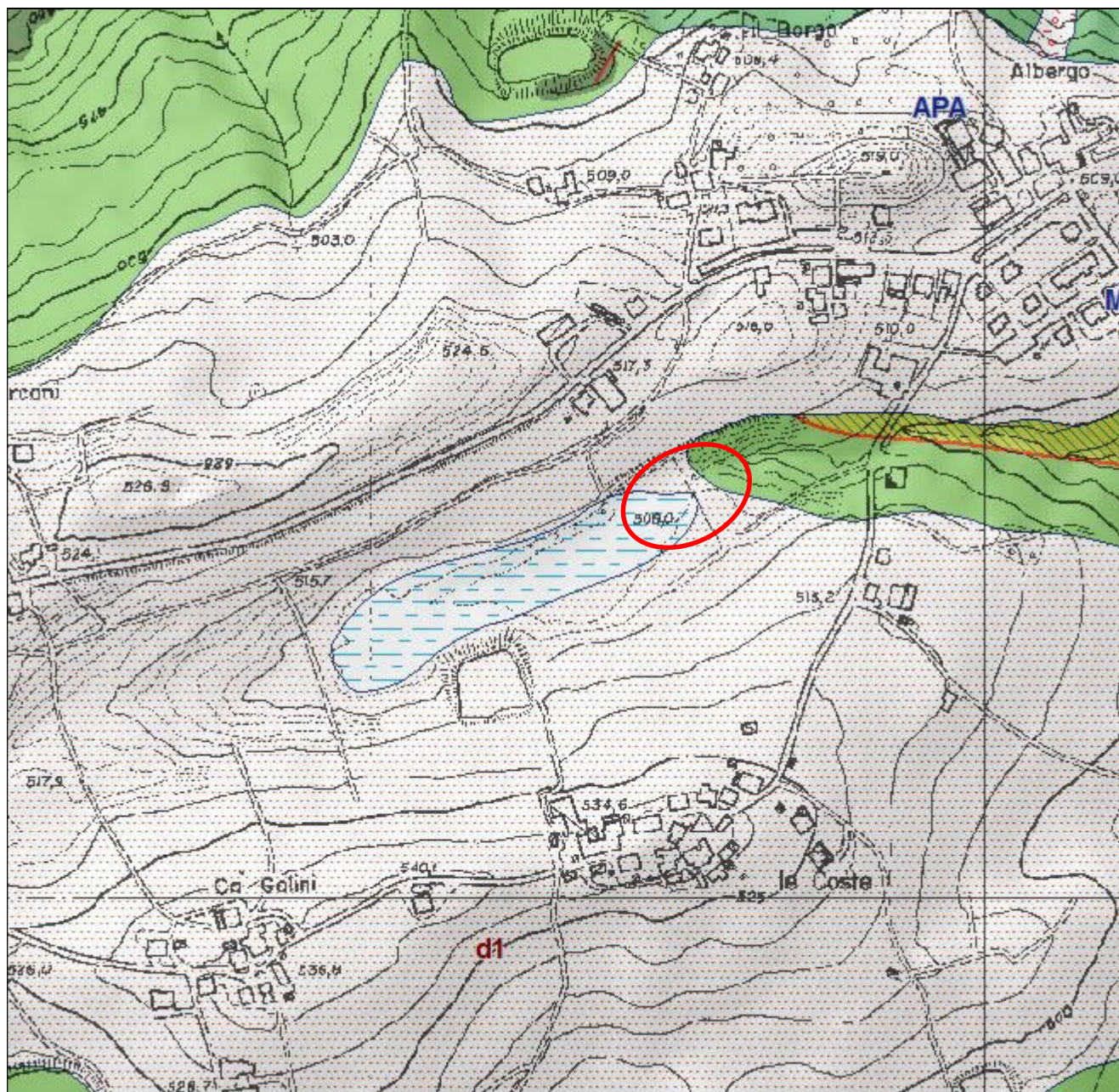


Figura 4 – Carta Geologica 1:5.000 (da Progetto CARG – RER)

| Coperture quaternarie (10K) |                                                       |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------|
|                             | a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento       |
|                             | a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango |
|                             | a2g - Deposito di frana quiescente complessa          |
|                             | b1 - Deposito alluvionale in evoluzione               |
|                             | d1 - Deposito eolico                                  |
|                             | f1 - Deposito palustre                                |
| Affioramenti (aree) (10K)   |                                                       |
| Unità geologiche (10K)      |                                                       |
|                             | SCB - Arenarie di Scabiazza                           |

Di seguito vengono descritte brevemente le caratteristiche litologiche e stratigrafiche dell'unità direttamente presente nell'area in studio; vengono inoltre distinti i depositi di versante.

### **SCB - Arenarie di Scabiazza**

Questa formazione rappresenta il substrato del terreno in studio.

Torbiditi arenaceo-pelitiche con arenarie da molto sottili a medie, mal strutturate e poco cementate, talora gradate, con granulometria da fine a finissima, di colore grigio, grigio-scuro o grigio-verdastre (beige o rossastro se alterate) in strati molto sottili e sottili, e argille o argille marnose verdastre o grigio scuro molto sporche; rapporto A/P < 1 o uguale a 1. Presenza saltuaria di calcilutiti marnose verdi o biancastre e marne calcaree grigio-chiare in strati da sottili a spessi e argilliti varicolorate. Ambiente deposizionale di piana bacinale con frequenti apporti torbiditici. Potenza geometrica affiorante che può raggiungere alcune centinaia di metri. *Turoniano sup.? - Campaniano inf.*

Nell'area d'intervento e nell'immediato intorno, il rilevamento diretto offre ben poche indicazioni in quanto si tratta di area completamente ricoperta da un cotico vegetale impostato su estesa falda di detrito medio-fine.

#### *Depositi di versante*

### **d1 - Deposito eolico**

Sabbie fini, limi e limi argillosi in genere notevolmente pedogenizzati, su paleosuperfici.

### **f1 - Deposito palustre**

Limi e depositi di materiale organico alloggiati in depressioni per lo più di origine glaciale.

## **2.4 ELEMENTI IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI**

L'area in esame è caratterizzata dai seguenti riferimenti idrografici:

*bacino principale: Fiume Panaro*

*bacino secondario: Rio Benedello*

L'area in esame si colloca sul versante sinistro del Rio Benedello (bacino idrografico secondario), tributario di sinistra del F. Panaro (bacino idrografico principale).

Nel sito in studio l'eduzione delle acque meteoriche e superficiali per lo più avviene per infiltrazione e filtrazione all'interno dei depositi detritici superficiali costituenti la copertura, che possono essere considerati dotati di una discreta permeabilità per porosità.

Le Formazioni presenti lungo il tratto di versante in studio possono essere raggruppate in due complessi idrogeologici, sia per caratteristiche litologiche sia per grado di permeabilità:

- a) complesso impermeabile: costituito da terreni prevalentemente argillosi della Formazione delle Arenarie di Scabiazza. Questa formazione ponendosi alla base di litotipi a maggiore permeabilità tamponano in modo pressoché completo la circolazione idrica sotterranea delle unità sovrastanti.
- b) complesso permeabile per porosità: fanno parte di questo tutti quei terreni detritici di disfacimento e di alterazione che costituiscono la copertura, talora anche di discreto spessore. La permeabilità, che avviene per porosità, è legata principalmente alla granulometria dei clasti che costituiscono il detrito, per cui si ha una discreta permeabilità per i termini più grossolani. Le acque che si infiltrano negli accumuli detritici di copertura, generano livelli di falde freatiche sospese e di fondo, in relazione alla presenza di locali setti o livelletti impermeabili.

L'area in oggetto insiste su terreni prevalentemente argillosi a loro volta ricoperti da una coltre detritica di qualche metro di spessore: pertanto può essere soggetta a filtrazione di acque in particolare nello strato di copertura e talora nella parte superficiale e più alterata del substrato argillitico o in corrispondenza di livelli competenti calcareo-arenacei. In occasione di prolungate ed intense precipitazioni tali terreni possono comunque raggiungere un alto grado di saturazione, proprio per la grande capacità della matrice argillosa di assorbire acqua.

L'area in studio non ricade in alcuna zona di protezione di acque sotterranee e/o di zone di possibile alimentazione di sorgenti (PTCP 2009).

In considerazione della posizione occupata dall'area in oggetto, l'opera in progetto non interferirà in alcun modo con corsi d'acqua.

## 2.5 STABILITÀ DELL'AREA

### 2.5.1 Quadro conoscitivo-cartografico

Nella Figura 5 si riporta la “Carta del dissesto del PTCP di Modena PTCP (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) dove l'area in studio non rientra in zone di dissesto in atto né potenziale.

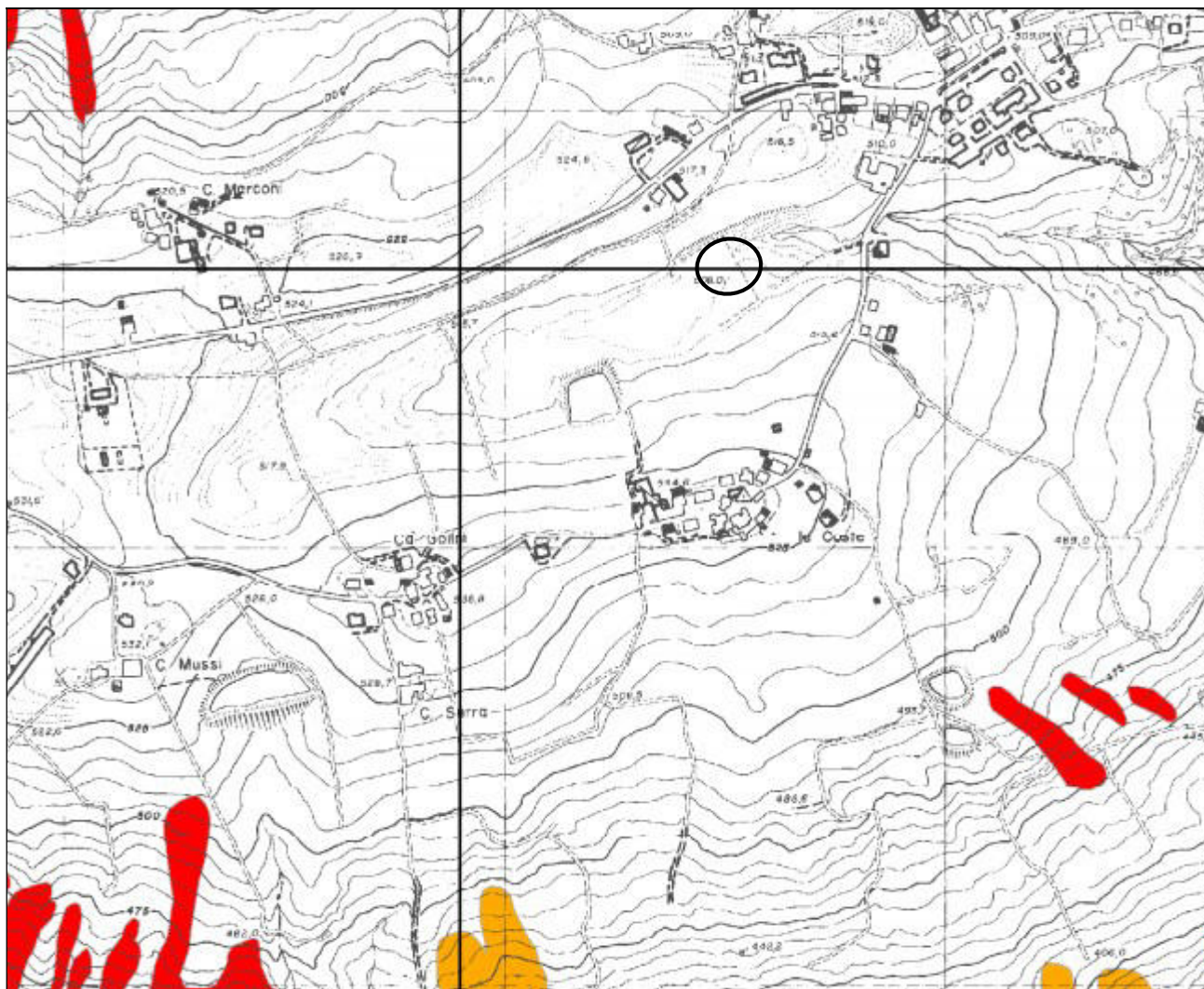


Figura 5 – Carta del Dissesto – Stralcio PTCP 1:10.000

| VOCI DI LEGENDA                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                      |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------|
| Zone ed elementi caratterizzati da fenomeni di dissesto e instabilità               |                                                                                     |                                                                                     |                                      |        |
|  |  |  | Aree interessate da frane attive     | Art.15 |
|  |  |  | Aree interessate da frane quiescenti |        |
| Zone ed elementi caratterizzati da potenziale instabilità                           |                                                                                     |                                                                                     |                                      |        |
|  |  |  | Aree potenzialmente instabili        | Art.16 |

#### Note bibliografiche

La ricerca bibliografica si è incentrata su:

- Carta della Propensione al Dissesto Idrogeologico della RER a scala 1:250.000 (1974);
- Carta geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo a scala 1:10.000 (1986);
- Inventario del Dissesto a scala 1:25.000 (Regione Emilia-Romagna, 1996);
- Analisi multitemporale fotografie aeree;
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) (Prov. Mo1999-2006-2009).
- Nuova Carta Geologica d'Italia Progetto CARG (2000)

### 2.5.2 Influenza dell'opera sulle condizioni di stabilità - Quadro morfoevolutivo

L'analisi ed il rilievo diretto sulle condizioni geomorfologiche e di stabilità dell'area d'intervento hanno messo in evidenza i seguenti aspetti:

- l'area si colloca in posizione subpianeggiante, dove l'ossatura argillitica di base risulta ricoperta da una falda detritica, non è soggetta ad alcun fenomeno di instabilità in atto né pregresso.
- Non si rilevano processi erosivi da parte delle acque di corrivazione.
- Nell'intorno dell'area non si sono rilevati fenomeni che possano interferire dal punto di vista geodinamico con il sito d'intervento.
- Non sono previsti sbancamenti e/ scavi se non quelli strettamente necessari alla posa degli apparati fondali.
- Non vi saranno pertanto significative alterazioni degli equilibri statici dell'area.

In un quadro morfoevolutivo non si riscontrano quindi fattori che possano deteriorare la situazione di stabilità attuale.

Tra gli obiettivi della progettazione geotecnica dell'intervento vi dovrà quindi essere quello di prevedere i dovuti accorgimenti per garantire che i terreni interessati nonché quelli all'intorno conservino le attuali condizioni di resistenza e che l'area mantenga le attuali caratteristiche di stabilità. Decisiva sarà la corretta regimazione delle acque superficiali ed il loro opportuno smaltimento, evitando così qualsiasi dispersione liquida nei terreni.

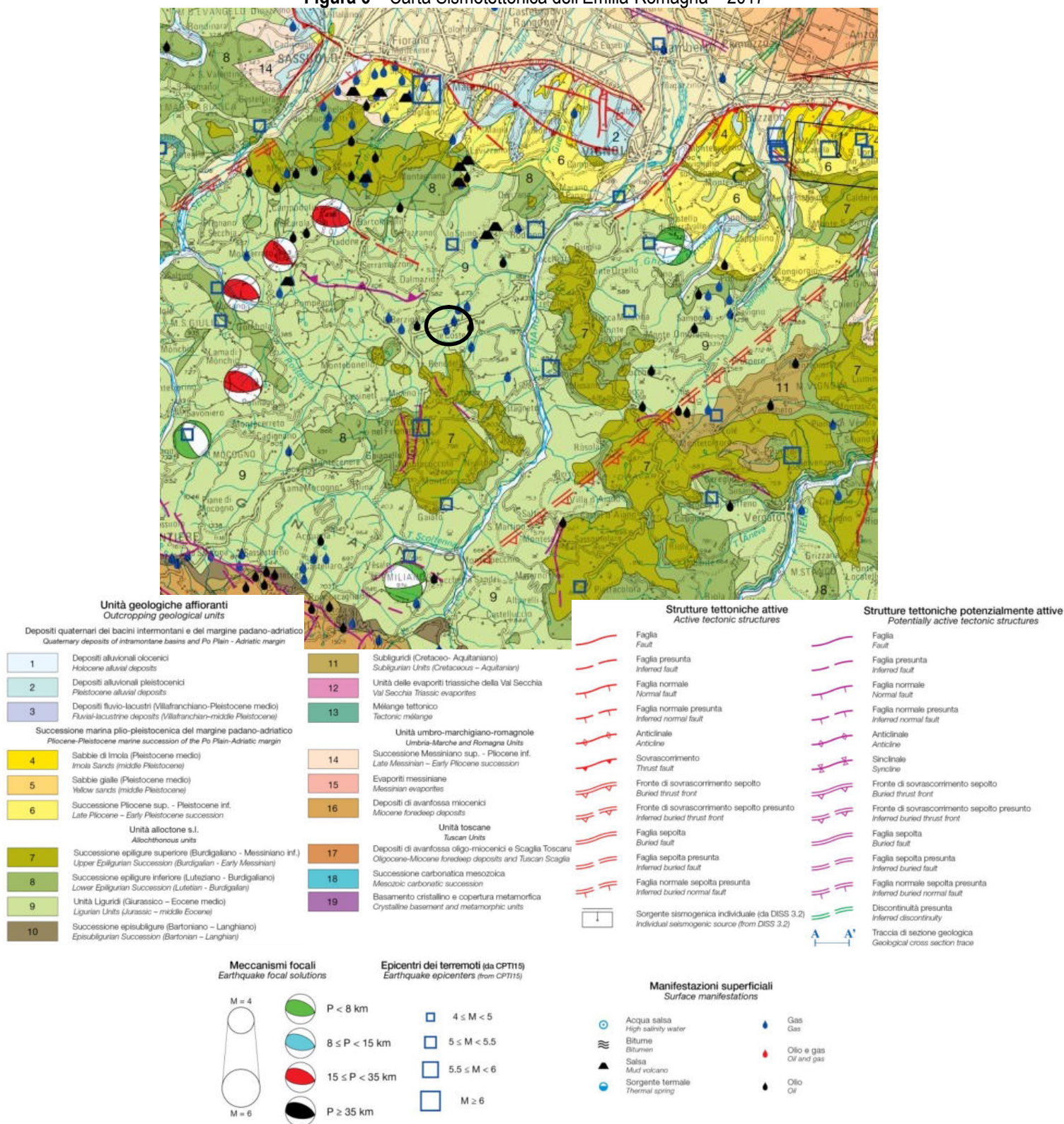
### 3. RELAZIONE SISMICA

#### 3.1 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

##### 3.1.1 SISMOTETTONICA

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna e una sezione relativa all'andamento dei terreni di substrato.

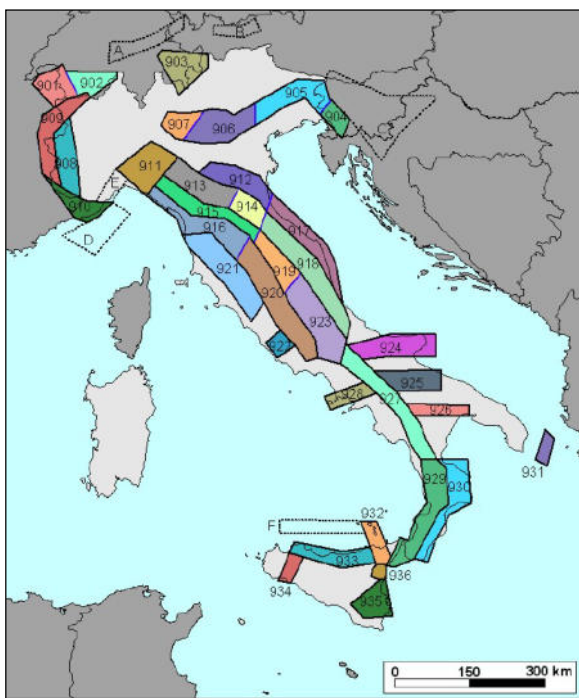
Figura 6 – Carta Sismotettonica dell'Emilia-Romagna – 2017



### 3.1.2 SISMICITÀ DEL COMUNE DI PAVULLO

#### **Zonazione sismogenetica**

È stata utilizzata la zonazione sismogenetica dell'INGV, chiamata ufficialmente ZS9. Rispetto alle zonazioni precedenti, in questo caso le zone sorgente sono state disegnate più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità storica e strumentale e le aree circostanti sono state cautelate attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgente.



**Fig. 7 – Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).**

La zonizzazione ZS9 risulta basata prevalentemente sulle informazioni di ZS4; recepisce le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 2.0 (Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy, 2001) e da altre compilazioni regionali di faglie attive; considera inoltre le indicazioni che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali localizzati al di fuori delle zone sorgente in essa definite; supera il problema delle ridotte dimensioni delle zone sorgente e della conseguente limitatezza del campione di terremoti che ricade in ciascuna di esse.

La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il catalogo CPTI2, e fornisce inoltre una stima della "profondità efficace", cioè dell'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in

combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce per ogni zona un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

La zonazione è costituita da 42 zone-sorgente, i limiti tra le zone sono neri e blu, i limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche e geologico-strutturali, il colore blu invece definisce suddivisioni di zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche della sismicità. Come ad es. distribuzione spaziale degli eventi o la massima magnitudo rilasciata, ecc.

Le 42 zone-sorgente ZS9 vengono identificate da un numero che va da 901 a 936 o con una lettera da A a F.

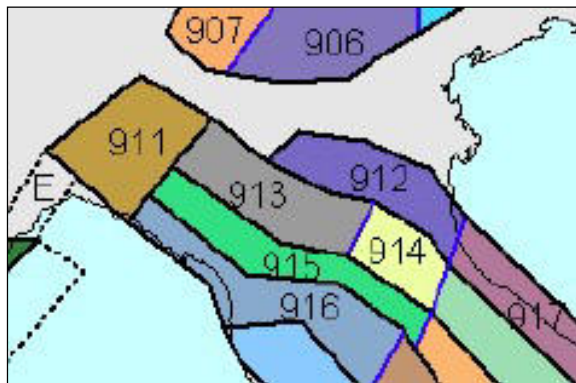
#### **Sismicità delle zone sorgenti**

Il territorio del Comune di Pavullo si colloca a sud del fronte di accavallamento della successione carbonatica meso-cenozoica in sovrascorrimento verso NE. In passato sono stati risentiti gli effetti di numerosi terremoti dovuti ad una sismicità naturale localizzata nelle zone 913 e 915.

Le zone 913 e 915 sono quelle con un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel territorio del Comune di Pavullo, mentre le altre vengono considerate poco influenti per generando terremoti con magnitudo a volte anche elevata (ad es. la zona 912).

La zona 915 determina una sismicità riconducibile a sorgenti attivate da meccanismi focali distensivi (faglie dirette e trascorrenti distensive) con massimi storici che hanno raggiunto intensità del X° MCS (Magnitudo  $M_a=6-6.5$ ). In

particolare il terremoto del 1920 della Garfagnana, con intensità epicentrale del IX-X° MCS ha determinato, in base alla ricostruzione macrosismica, intensità del VI-VII° MCS a Pavullo.



**Figura 8** – Zoom sulla zonazione sismogenetica ZS9 dell'Emilia Romagna.

Nella zona 913 si verificano terremoti prevalentemente compressivi che sono causa di una sensibile attività come documentato dagli eventi del bolognese, del reggiano e del parmense (anno 2000) risentiti nell'area in studio. Questi eventi sono riconducibili a sorgenti superficiali attivate da meccanismi focali per compressione (faglie inverse e trascorrenti compressive) se si escludono eventi la cui origine è ancora incerta. Fra questi figura il terremoto di Castelvetro del 1501 che avrebbe prodotto, in base alla ricostruzione macrosismica, effetti del IX° MCS. Se confermato, la fascia

pedappenninica sarebbe quella potenzialmente più pericolosa per il territorio modenese.

L'intera fascia è caratterizzata da terremoti che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori rispetto alla fascia esterna 912. La fascia del fronte appenninico sepolto determina infatti una sismicità rappresentata da terremoti a intensità medio-bassa, ma con una discreta frequenza di accadimento.

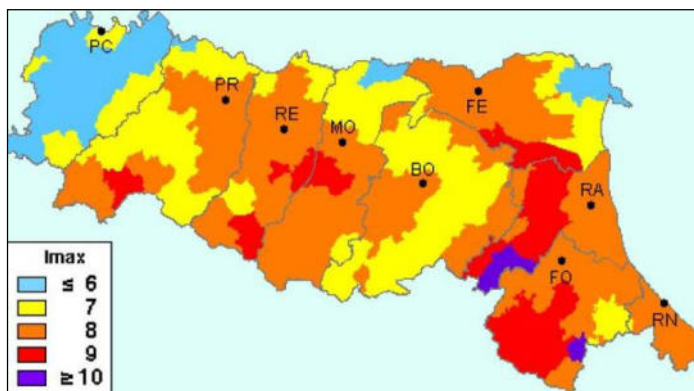
Per quanto riguarda la sismicità storica si può osservare che meccanismi focali di terremoti a dinamica compressiva, con direzione di raccorciamento principale orientata all'incirca N-S o NNE-SSO e di magnitudo (secondo la scala di Richter) fino a 5-5,5, sono stati registrati con epicentri posti non lontani da Pavullo.

### Ricostruzione della storia sismica

Il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996), evidenzia quanto riportato nella figura seguente:

L'intensità massima registrata nel Comune di Pavullo è dell'VIII MCS (scala Mercalli-Cancani-Sieberg), corrispondente ad una magnitudo dell'ordine di 5-5.5 (scala Richter).

L'attività tellurica dell'area è nota e documentata dall'anno 1000, anche se la qualità e la quantità delle informazioni non sono omogenee e si manifesta sia con eventi singoli di media intensità, sia con sequenze sismiche estese nel tempo.



**Fig. 9** – Intensità Macrosismiche osservate nei comuni italiani – GNDT ING/SGA

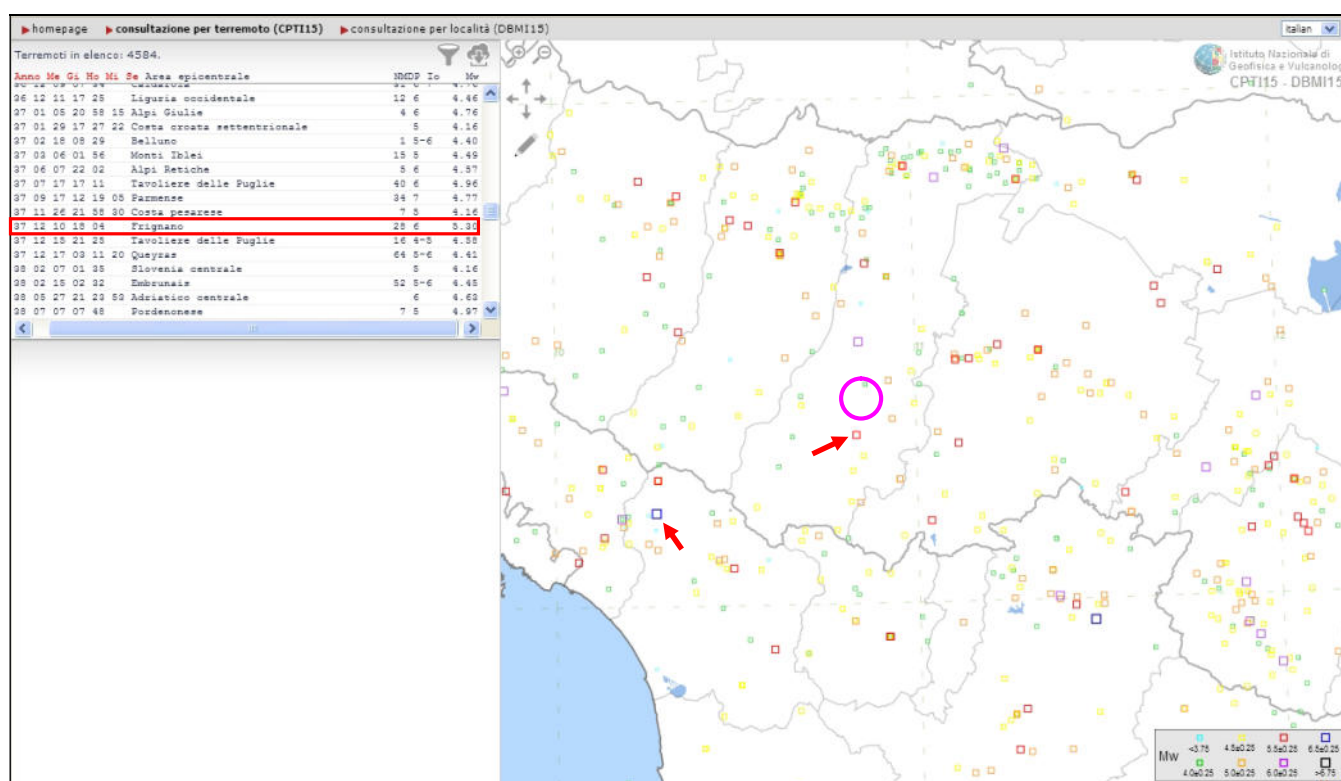
Le revisioni e ricollocazioni degli eventi storici e recenti, ma soprattutto l'attivazione di una rete sismica regionale integrata con quella nazionale, hanno permesso di distinguere, nell'ambito della regione, zone con differente regime sismico, vale a dire frequenza dei fenomeni, intensità e profondità focale.

Il confronto dei dati della sismicità strumentale con quelli storici evidenzia la stabilità nel tempo delle aree sismogenetiche.

Dal Catalogo parametrico CPTI15 dell'INGV si evince che storicamente i terremoti più forti entro una distanza di 30-40 km risultano:

periodo dal 1000 al 2014:

- Anno 1920 – Garfagnana – Mw 6.48
- Anno 1937 – Frignano – Mw 5.30



**Figura 10** – Tratto da INGV CPTI15 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2015) – Dal 1000 al 2014.

### Area in studio

Nella pagina successiva sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono indicate:

Is: intensità al sito

Anno Me Gi: anno mese giorno dell'evento

AE: località

Io: l'intensità massima epicentrale in scala MCS

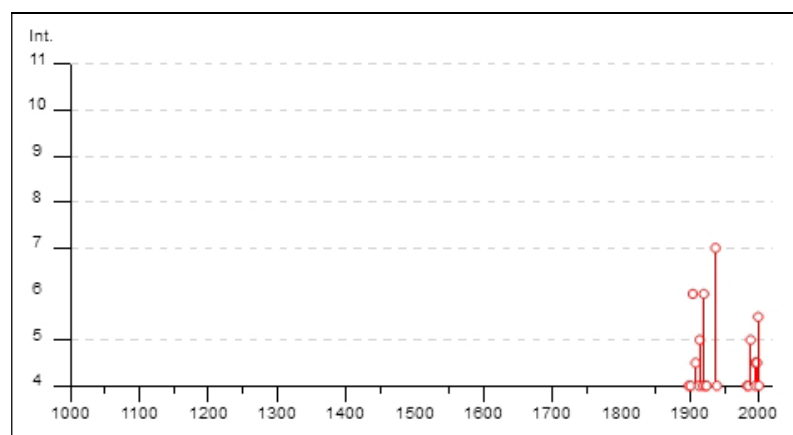
Mw: magnitudo momento

Dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano 2015 DBMI15 per Pavullo si ottiene il seguente elenco di eventi sismici:

### Pavullo nel Frignano

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| PlaceID                    | IT_38865             |
| Coordinate (lat, lon)      | 44.334, 10.834       |
| Comune (ISTAT 2015)        | Pavullo nel Frignano |
| Provincia                  | Modena               |
| Regione                    | Emilia-Romagna       |
| Numero di eventi riportati | 52                   |

| Intensity | Year Mo Da Ho Mi Se    | Epicentral area          | NMDP | Io  | Mw   |
|-----------|------------------------|--------------------------|------|-----|------|
| 3         | 1887 02 23 05 21 50.00 | Liguria occidentale      | 1511 | 9   | 6.27 |
| 3         | 1892 05 17 03 08 15.00 | Carpineti                | 28   | 5   | 4.28 |
| F         | 1895 05 18 19 55 12.00 | Fiorentino               | 401  | 8   | 5.5  |
| F         | 1895 08 07 19 49 32.00 | Appennino tosco-emiliano | 84   | 5   | 4.67 |
| 3         | 1896 07 08 01 51 28.00 | Porretta Terme           | 17   | 5   | 4.37 |
| NF        | 1896 12 08 17 06 45.00 | Sestola                  | 26   | 5   | 4.33 |
| NF        | 1897 09 06 03 10 44.00 | Valdarno inferiore       | 104  | 5-6 | 4.59 |
| 4         | 1898 03 04 21 05       | Parmense                 | 313  | 7-8 | 5.37 |
| 4         | 1901 10 30 14 49 58.00 | Garda occidentale        | 289  | 7-8 | 5.44 |
| 6         | 1904 06 10 11 15 28.00 | Frignano                 | 101  | 6   | 4.82 |
| 4-5       | 1908 06 02 22 30       | Frignano                 | 18   | 4-5 | 4.5  |
| NF        | 1909 08 25 00 22       | Crete Senesi             | 259  | 7-8 | 5.34 |
| 4         | 1913 02 13 16 39       | Corno alle Scale         | 26   | 5   | 4.18 |
| 5         | 1914 10 27 09 22       | Lucchesia                | 660  | 7   | 5.63 |
| 3         | 1915 10 10 23 10       | Reggiano                 | 30   | 6   | 4.87 |
| 3         | 1916 05 17 12 50       | Riminese                 | 132  | 8   | 5.82 |
| 4         | 1919 06 29 15 06 13.00 | Mugello                  | 565  | 10  | 6.38 |
| 3         | 1919 09 25 03 15       | Frignano                 | 7    | 4   | 3.7  |
| 6         | 1920 09 07 05 55 40.00 | Garfagnana               | 750  | 10  | 6.53 |
| 2         | 1922 08 02 21 13       | Frignano                 | 21   | 5   | 4.32 |
| 4         | 1923 06 28 15 12       | Modenese                 | 22   | 6   | 5.04 |
| 4         | 1924 06 12 21 03 48.00 | Frignano                 | 25   | 5-6 | 4.46 |
| 2-3       | 1928 06 13 08          | Carpi                    | 35   | 6   | 4.67 |
| 3-4       | 1929 04 19 04 16       | Bolognese                | 82   | 6-7 | 5.13 |
| 2         | 1930 10 30 07 13       | Senigallia               | 268  | 8   | 5.83 |
| 2         | 1931 06 10 17 02       | Modenese                 | 14   | 4   | 4.59 |
| 3         | 1936 10 18 03 10       | Alpago Consiglio         | 269  | 9   | 6.06 |
| 7         | 1937 12 10 18 04       | Frignano                 | 28   | 6   | 5.3  |
| 4         | 1939 10 15 14 05       | Garfagnana               | 62   | 6-7 | 4.96 |
| 3         | 1951 05 15 22 54       | Lodigiano                | 179  | 6-7 | 5.17 |
| NF        | 1956 04 26 03 00 03.00 | Appennino bolognese      | 89   | 6   | 4.74 |
| 3         | 1957 08 27 11 54       | Appennino modenese       | 58   | 5   | 4.73 |
| 3         | 1971 07 15 01 33 23.00 | Parmense                 | 228  | 8   | 5.51 |
| 4         | 1983 11 09 16 29 52.00 | Parmense                 | 850  | 6-7 | 5.04 |
| 4         | 1985 01 23 10 10 16.55 | Garfagnana               | 73   | 6   | 4.6  |
| NF        | 1986 12 06 17 07 19.77 | Ferrarese                | 604  | 6   | 4.43 |
| NF        | 1987 05 02 20 43 53.32 | Reggiano                 | 802  | 6   | 4.71 |
| 3-4       | 1988 02 08 11 24 46.14 | Garfagnana               | 75   | 6   | 4.34 |
| 5         | 1988 02 08 13 36 44.64 | Frignano                 | 43   | 5   | 4.28 |
| NF        | 1992 04 17 11 59 07.29 | Appennino bolognese      | 56   | 4-5 | 4.11 |
| 4-5       | 1995 08 24 17 27 33.00 | Appennino pistolese      | 56   | 6   | 4.45 |
| 1-2       | 1995 10 10 06 54 21.72 | Lunigiana                | 341  | 7   | 4.82 |
| 4         | 1995 12 31 21 29 47.60 | Appennino reggiano       | 96   | 4-5 | 4.51 |
| 4-5       | 1996 10 15 09 55 59.95 | Pianura emiliana         | 135  | 7   | 5.38 |
| 4-5       | 1997 12 24 17 53 10.12 | Garfagnana               | 98   | 5   | 4.33 |
| 5-6       | 1999 07 07 17 16 12.59 | Frignano                 | 32   | 5   | 4.67 |
| NF        | 2000 06 18 07 42 07.68 | Pianura emiliana         | 304  | 5-6 | 4.4  |
| 4         | 2000 10 03 01 12 36.56 | Frignano                 | 62   | 5   | 4.22 |
| 3-4       | 2002 06 08 20 13 07.10 | Frignano                 | 115  | 4   | 4.23 |
| 3-4       | 2002 06 18 22 23 38.10 | Frignano                 | 186  | 4   | 4.3  |
| NF        | 2002 06 19 22 11 15.57 | Frignano                 | 52   | 3   | 4.03 |
| 3         | 2003 09 14 21 42 53.18 | Appennino bolognese      | 133  | 6   | 5.24 |



Tratto da INGV DBMI15 (Database Macrosismico Italiano – 2015)

3.1.3 Frequenza di accadimento in Emilia Romagna

La frequenza con cui si sono verificati in passato i terremoti capaci di produrre danni significativi agli edifici consente di valutare con quale frequenza si manifesteranno in futuro, dal momento che questa presumibilmente non cambia. Nella tabella sono riportati, per varie soglie di magnitudo, il numero di eventi per intervalli di tempo crescenti di 100 anni, partendo dall'ultimo secolo, registrati in Emilia Romagna.

| CLASSI DI MAGNITUDO | INTERVALLO DI 100 ANNI |                              | INTERVALLO DI 200 ANNI |                              | INTERVALLO DI 300 ANNI |                              | INTERVALLO DI 400 ANNI |                              |
|---------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|
|                     | Numero di terremoti    | Tempo in anni di ripetizione | Numero di terremoti    | Tempo in anni di ripetizione | Numero di terremoti    | Tempo in anni di ripetizione | Numero di terremoti    | Tempo in anni di ripetizione |
| 4,5 < Ma < 5,0      | 28                     | 3,6                          | 56                     | 3,6                          | 67                     | 4,5                          | 75                     | 5,3                          |
| 5,0 < Ma < 5,5      | 10                     | 10,0                         | 16                     | 12,5                         | 22                     | 13,6                         | 27                     | 14,8                         |
| 5,5 < Ma < 6,0      | 3                      | 33,3                         | 4                      | 50,0                         | 6                      | 50,0                         | 8                      | 50,0                         |
| Ma > 6,0            | -                      | -                            | -                      | -                            | -                      | -                            | -                      | -                            |
| Tutte*              | 76                     | 1,3                          | 129                    | 1,5                          | 147                    | 2,0                          | 173                    | 2,3                          |

\* tutti gli eventi che hanno prodotto danni (intensità epicentrale massima osservata maggiore di V-VI grado MCS)

Come si può osservare le frequenze che si ottengono nei primi due intervalli, più attendibili perché andando indietro nel tempo il catalogo dei terremoti diventa più incompleto, è di un evento ogni 1.3-1.5 anni. Valori di magnitudo maggiori di 5.0, che corrispondono ad intensità epicentrali di VII-VIII grado MCS indicano un evento ogni 10-12 anni, mentre terremoti con Ma>5.5

(VIII-IX grado MCS) si ripetono con una frequenza di un evento ogni 50 anni, che si mantiene costante indicando una buona completezza del catalogo.

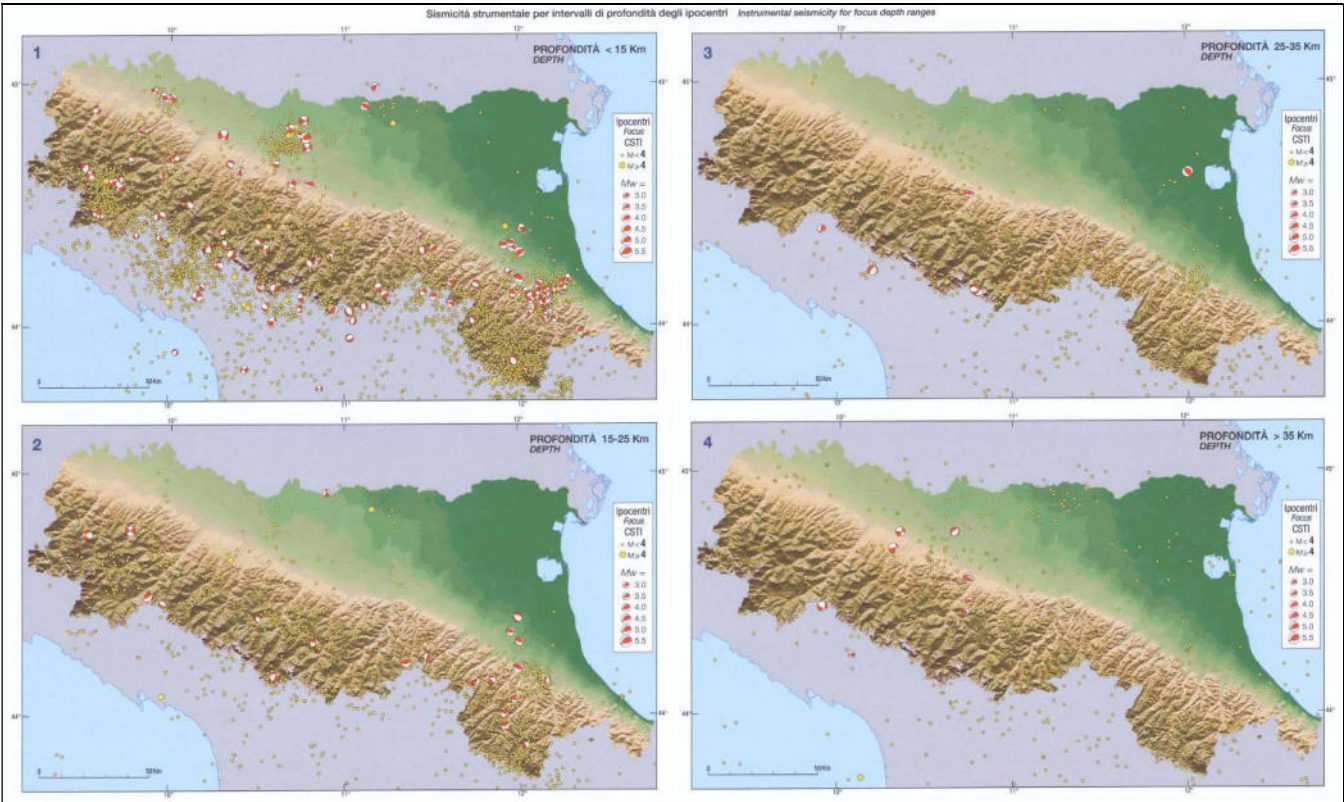
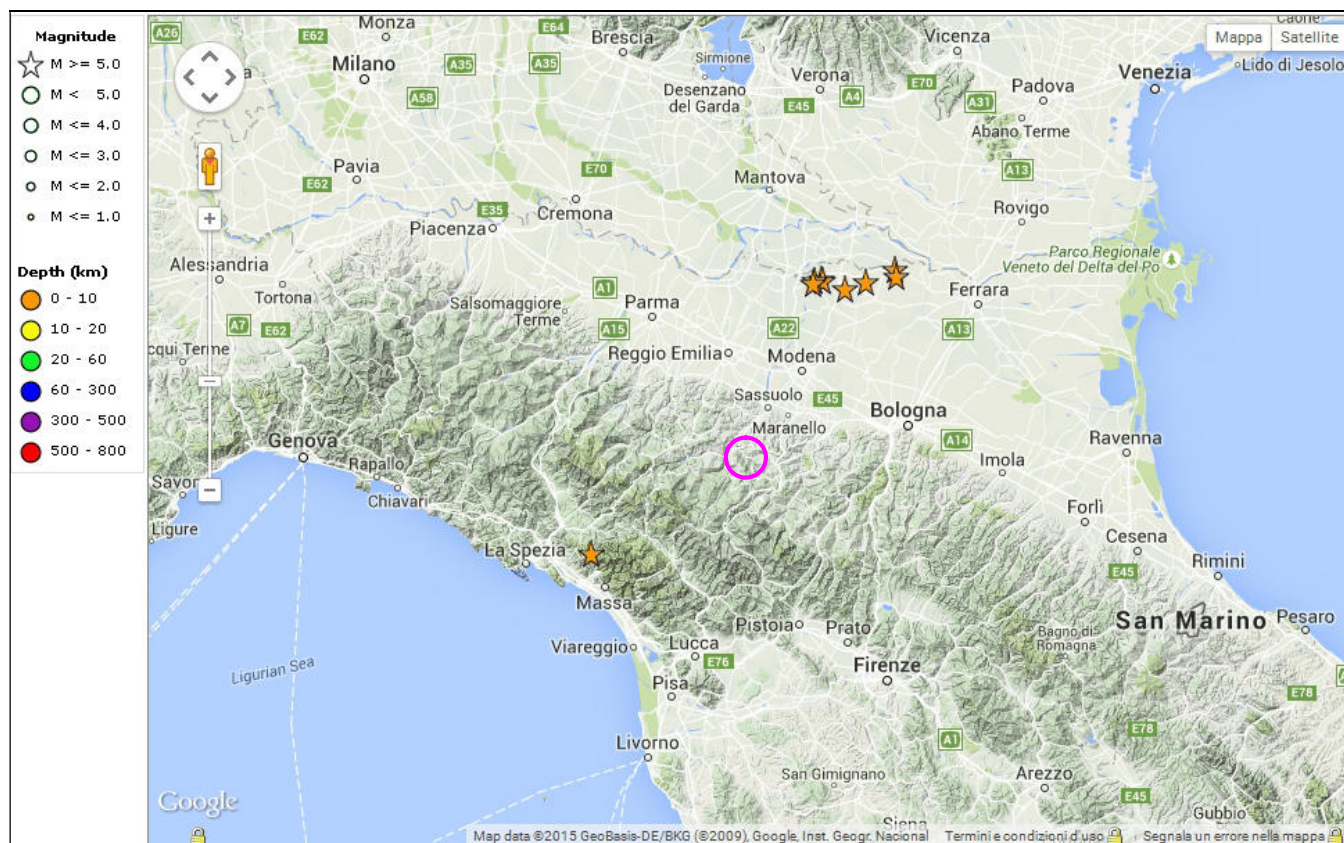


Figura 11 – Sismicità strumentale per intervalli di profondità degli ipocentri.

### 3.1.4 Sismicità recente

La sismicità recente che ha interessato il territorio comunale di Pavullo è stata desunta dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>.

Nello specifico sono stati ricercati i terremoti, registrati nell'intervallo di tempo tra il 01/01/2007 e il 25/08/2015, aventi una magnitudo maggiore di 5 in un raggio di 100 km e maggiore di 4.5 nel raggio di 50 Km dal Comune di Pavullo.



**Figura 12:** Eventi sismici recenti registrati con  $M > 5$  in un raggio di 100 Km dal Comune di Pavullo

Data: 01/01/2007 → 31/12/2021

Distanza: 100 km da Pavullo

Magnitudo: > 5

Terremoti totali: 9

| Tempo Origine (UTC)     | Latitudine | Longitudine | Profondità | Magnitudo | Fonte    |
|-------------------------|------------|-------------|------------|-----------|----------|
| 2013-06-21 10:33:56.070 | 44.09      | 10.062      | 5.7        | 5.1-Mw    | BULLETIN |
| 2012-05-29 11:00:22.990 | 44.866     | 10.976      | 7.2        | 5.1-ML    | BULLETIN |
| 2012-05-29 11:00:01.680 | 44.856     | 10.941      | 8.7        | 5.0-ML    | REMO     |
| 2012-05-29 10:55:56.550 | 44.865     | 10.98       | 4.4        | 5.3-Mw    | REMO     |
| 2012-05-29 08:25:51.480 | 44.865     | 10.948      | 7.9        | 5.0-ML    | REMO     |
| 2012-05-29 07:00:02.880 | 44.842     | 11.066      | 8.1        | 5.6-Mw    | REMO     |
| 2012-05-20 03:02:47.090 | 44.86      | 11.152      | 9.1        | 5.0-ML    | BULLETIN |
| 2012-05-20 02:07:28.950 | 44.874     | 11.27       | 6.1        | 5.0-ML    | BULLETIN |
| 2012-05-20 02:03:50.170 | 44.896     | 11.264      | 9.5        | 5.8-Mw    | BULLETIN |

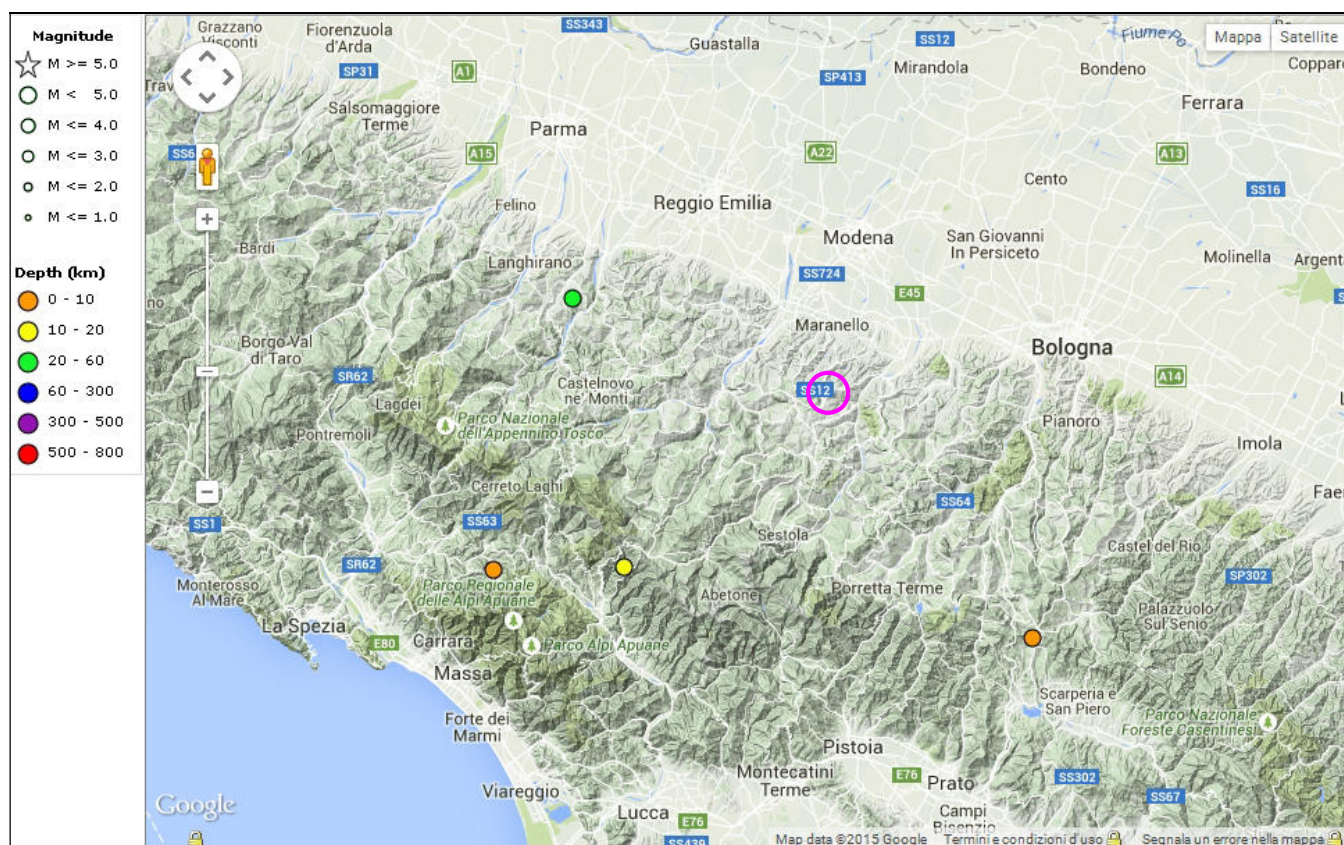


Figura 13: Eventi sismici recenti registrati con  $M > 4.5$  in un raggio di 50 Km dal Comune di Pavullo

Data: 01/01/2007 → 31/12/2021

Distanza: 50 km da Pavullo

Magnitudo:  $> 4.5$

Terremoti totali: 4

| Tempo Origine (UTC)     | Latitudine | Longitudine | Profondità | Magnitudo | Fonte    |
|-------------------------|------------|-------------|------------|-----------|----------|
| 2013-06-30 14:40:08.480 | 44.16      | 10.187      | 6.1        | 4.5--Mw   | BULLETIN |
| 2013-01-25 14:48:18.270 | 44.164     | 10.446      | 19.8       | 4.8--Mw   | BULLETIN |
| 2008-12-23 15:24:21.770 | 44.544     | 10.345      | 22.9       | 4.9--Mw   | BULLETIN |
| 2008-03-01 07:43:13.080 | 44.063     | 11.253      | 3.8        | 4.5--Mw   | BULLETIN |

Come si evince dalle Tabelle sopra riportate, gli eventi principali ( $M > 5$ ) registrati nel raggio di 100 Km dal Comune di Pavullo sono i terremoti del maggio-giugno 2012 della bassa pianura modenese e ferrarese e quello di giugno 2013 della Lunigiana in Toscana.

### 3.2 NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO

#### Ordinanza P.C.M. 3274/2003

A seguito della nuova classificazione sismica (Ordinanza P.C.M. 3274 del 20/3/2003 e s.m.), il territorio nazionale è diviso in 4 zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) su suolo di categoria A.

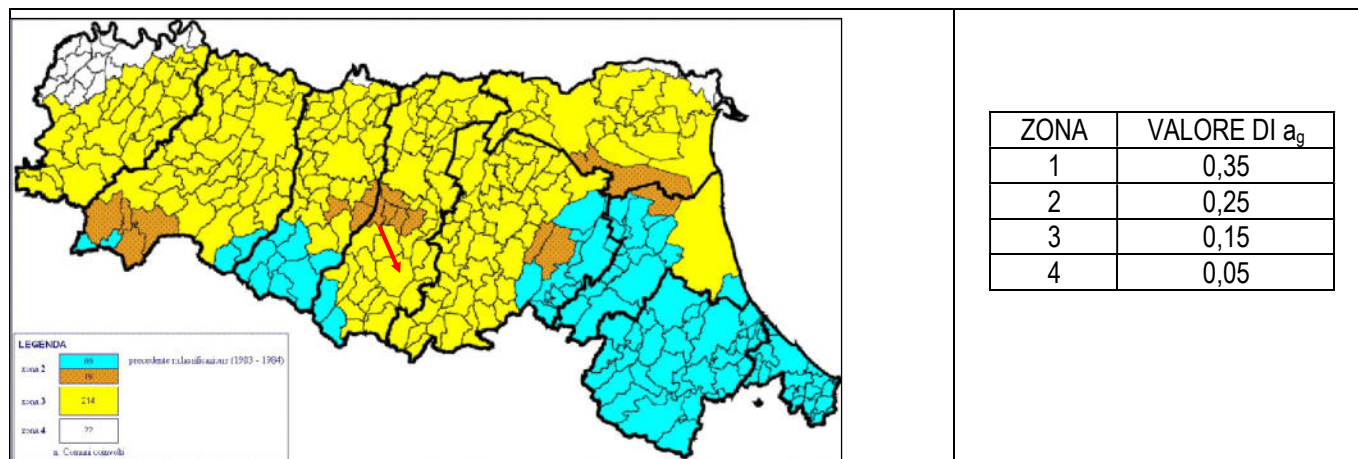


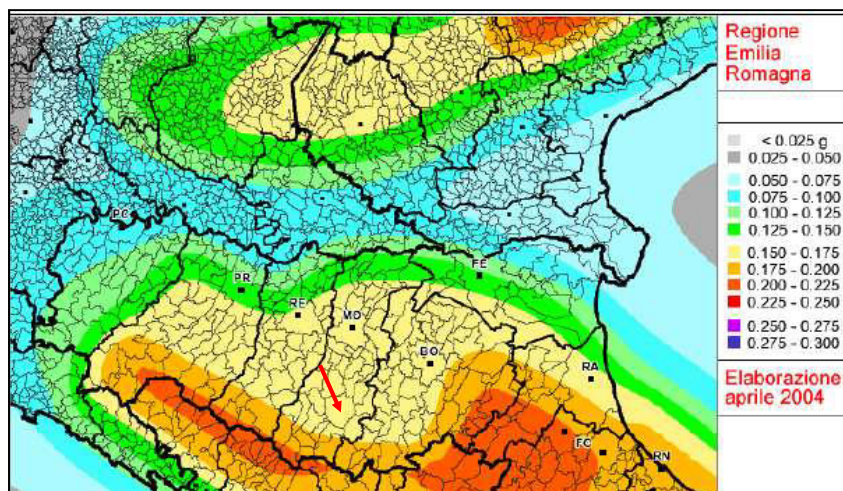
Fig. 14 - Classificazione sismica attuale di riferimento - Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n. 2374 All. 1.

Il Comune di Pavullo ricade in "zona sismica 3" a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A, riferita ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , pari a  $a_g = 0,15g$ .

#### Ordinanza P.C.M. 3519/2006

Successivamente, l'Ordinanza PCM 3519/2006 ha indicato i *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*.

A tale ordinanza è allegata la *Mappa di Pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale* nella quale è possibile verificare che il territorio del Comune di Pavullo è compreso nell'area caratterizzata da **valori dell'accelerazione massima al suolo**



( $a_{max}$ ), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A, All. 2, 3.1), **compresi tra 0,150-0.175** l'accelerazione di gravità  $g$ .

Fig. 15 - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A) allegata all'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006. (Fonte: Sito web RER).

**Del. Rer. 112/2007**

La RER ha approvato la Del. n. 112 del 02-05-2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica."; in All. A4 sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ ), per ogni comune della Regione.

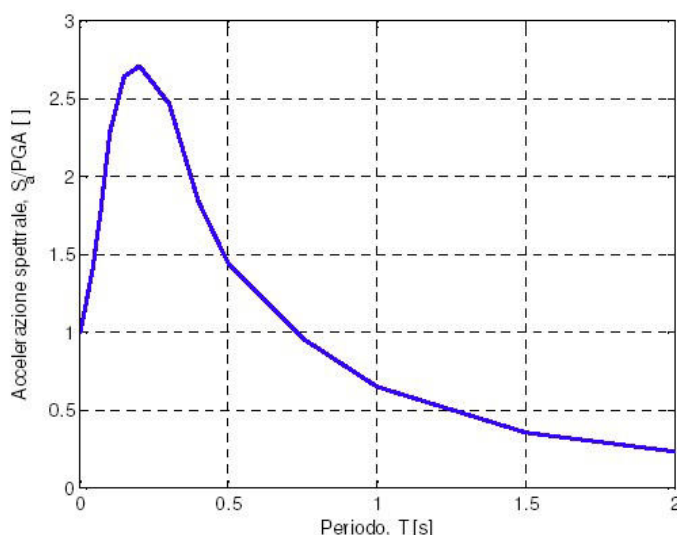
|           |                |              |
|-----------|----------------|--------------|
| MO        | Nonantola      | 0.160        |
| MO        | Novi di Modena | 0.139        |
| MO        | Palagano       | 0.164        |
| <b>MO</b> | <b>Pavullo</b> | <b>0.159</b> |
| MO        | Pievepelago    | 0.194        |
| MO        | Polinago       | 0.161        |
| MO        | Prignano       | 0.158        |

Per il Comune di Pavullo:  $a_{refg}=0,159$

**Definizione del moto di riferimento**

La PGA per un periodo di ritorno di 475 anni riportata nelle mappe di pericolosità sismica di INGV (Meletti C., Montaldo V., 2007. Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>) varia nell'intervallo  $0,150 \div 0,175 g$ . Tali dati sono anche stati utilizzati anche dalla Regione Emilia Romagna nella redazione della Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 - 2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" dove viene indicata una PGA corrispondente a  $0,159 g$  per l'intero territorio comunale.

La RER fornisce lo spettro di risposta normalizzato, dal quale è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella seguente per il valore di  $a_{refg}$  di ogni comune (vedi sopra), lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.



| T (s)   | Sa/ $a_{ref}$ |
|---------|---------------|
| 0,00000 | 1,00000       |
| 0,04000 | 1,38865       |
| 0,07000 | 1,75927       |
| 0,10000 | 2,28349       |
| 0,15000 | 2,63726       |
| 0,20000 | 2,70745       |
| 0,30000 | 2,46642       |
| 0,40000 | 1,84047       |
| 0,50000 | 1,44476       |
| 0,75000 | 0,95494       |
| 1,00000 | 0,64546       |
| 1,50000 | 0,35479       |
| 2,00000 | 0,23070       |

Spettro di risposta normalizzato ( $T_R = 475$  anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia-Romagna, e valori che lo definiscono.

Nella prima colonna sono riportati i valori del periodo proprio  $T$ , espresso in secondi, nella seconda i valori di accelerazione spettrale normalizzata al valore di accelerazione massima orizzontale (PGA), espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  (pari a  $9.81 \text{ m/s}^2$ ), al corrispondente periodo  $T$ .

**NTC2018**

Le NTC stabiliscono che l'accelerazione orizzontale massima del sito di riferimento non è più riferita ad una classificazione comunale ma viene calcolata considerando le proprietà del sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi (§ 7.11.3 NTC18). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella seguente Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Il suolo può essere assimilato e classificato in modo semplificato in una delle 5 classi principali (A,B,C,D,E).

| Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Categoria                                                                                    | Caratteristiche della superficie topografica                                                                                                                                                                                                                                                               |
| A                                                                                            | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.                                             |
| B                                                                                            | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.                                            |
| C                                                                                            | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.   |
| D                                                                                            | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| E                                                                                            | Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.                                                                                                                                    |

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

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{m/s}$$

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo

$V_{S,i}$  = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

$N$  = numero strati considerati

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

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

### 3.3 INDAGINE GEOFISICA

Per la caratterizzazione sismica del suolo di fondazione oltre alla consultazione dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Pavullo e di indagini Masw eseguite dallo scrivente nell'areale della dorsale di Coscogno, è stata eseguita indagine geofisica "sito-specifica", comprensiva di:

- n° 1 prospezione sismica passiva di microtremori HVSr (All. 2)

#### 3.3.1 PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA DI MICROTREMORI (HVSr) – ALLEGATO 2

Allo scopo di valutare la pericolosità sismica di base del sito di costruzione e la risposta sismica locale mediante classificazione semplificata del suolo in base alla VsEq, e calcolare l'accelerazione spettrale elastica e dei coefficienti di amplificazione sismica (NTC 2018), è stata eseguita la seguente indagine sismica sito-specifica:

- n° 1 prospezione sismica passiva di microtremori HVSr (All. 2);



Fig. 16 – Ubicazione indagine geofisica

L'indagine HVSr, registrazione con tromografo di rumore sismico ambientale di fondo (microtremore), si pone come obiettivo preminente l'individuazione delle diverse frequenze di risonanza del terreno il tutto, nell'ottica di valutare eventuali fenomeni di amplificazione del moto sismico nel terreno d'indagine.

#### Strumentazione utilizzata

La registrazione di rumore sismico ambientale è stata effettuata tramite tromografo digitale *Tromino* della *Micromed s.p.a*; tale strumento permette sia l'acquisizione digitale in alta risoluzione in modo passivo/non intrusivo che il pre-processing dei dati. Esso è costituito da tre velocimetri elettrodinamici ortogonali (N-S, E-W e UP-DOWN) autobloccanti in fase di non acquisizione.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata tramite il software *Grilla vers. 6.1* in dotazione allo strumento; esso permette di definire gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN) e di effettuare le analisi H/V.

È stata effettuata n° 1 acquisizione di 20 min.

La registrazione è stata effettuata su terreno agrario; a tal proposito si specifica che è stato pulito e regolarizzato il piano di posa al fine di un corretto posizionamento/funzionamento dello strumento.

Il disturbo da traffico veicolare può essere considerato basso, in virtù dell'adiacenza con le strade principali.

L'acquisizione è avvenuta in condizioni meteo buone (26°C, vento assente). Per ulteriori dettagli/approfondimenti circa l'acquisizione si rimanda agli elaborati allegati.

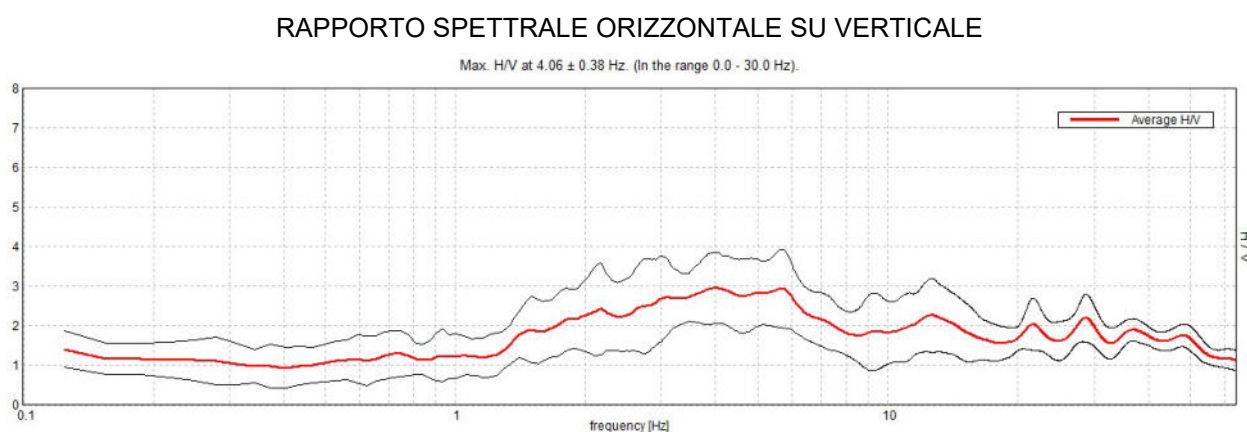
### Interpretazione dei dati

L'elaborazione dei dati ha permesso di ottenere i diagrammi specifici ovvero gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN) e lo spettro del moto del suolo (H/V) (vedi elaborato specifico).

In fase di elaborazione dati, inoltre, è stata eseguita anche un'analisi H/V con una percentuale di *smoothing* inferiore ovvero pari all'1% (qui non riportata) in modo tale da individuare possibili i picchi antropici e le loro frequenze; tale analisi conferma, sostanzialmente, che i picchi H/V alle frequenze individuate sono di natura stratigrafica.

La presenza di significative impedenze sismiche viene segnalata con l'elaborazione degli spettri HVSR, e delle tre componenti spaziali. I risultati analitici sono riportati in forma grafica in Allegato. L'analisi degli esiti di questa indagine può essere associata alle conoscenze di sottosuolo (stratigrafia e geomeccanica), ed alle misure ottenute dalle altre indagini geofisiche.

L'andamento della curva H/V permette di rilevare l'assenza di sostanziali inversioni di velocità; la linea rossa (average H/V) si mantiene con valori superiori a 1.



### Frequenze di risonanza

La curva H/V mostra un picco di risonanza abbastanza ampio ma poco definito a 4.06 Hz.

Questo andamento, ritenuto affidabile e di origine stratigrafica, evidenzia un passaggio di rigidezza tra i terreni di copertura/primo substrato alterato consistente.

Il range tipico di interesse ingegneristico/strutturale delle costruzioni è compreso tra 1-10 Hz.

Si lascia al tecnico strutturista il calcolo della frequenza di vibrazione della struttura in esame. La conoscenza di tale caratteristica è necessaria al fine di valutare l'esistenza di eventuali incrementi dell'ampiezza delle oscillazioni sismiche, legati a fenomeni di doppia risonanza tra la frequenza fondamentale dei terreni superficiali e il primo modo di vibrare della struttura in studio.

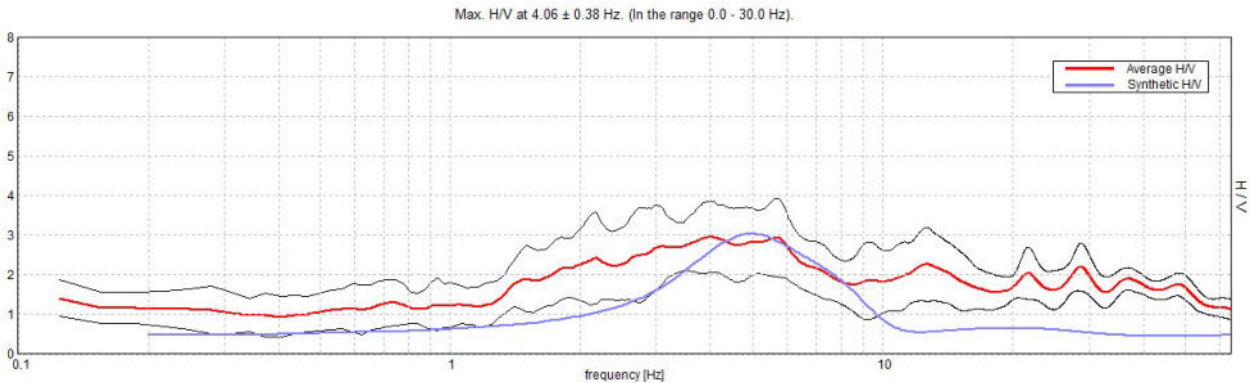
Valutazione della VsEq

La procedura è la seguente: la curva sperimentale HVSR, che ha il grande vantaggio rispetto ai singoli spettri di fornire una correzione automatica per il livello assoluto del tremore, viene fittata con una curva teorica usando come vincolo lo spessore dello strato più superficiale (o altro orizzonte) di sottosuolo, che è sempre indipendentemente noto dalle indagini geognostiche eseguite a corredo del progetto edilizio.

La procedura di inversione consiste in 3 passi:

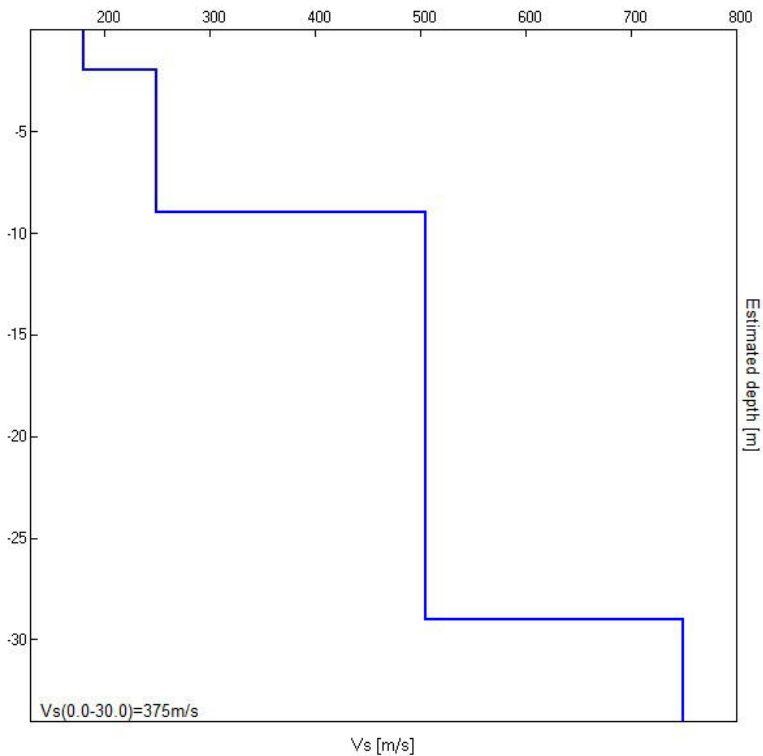
- 1) identificazione di un orizzonte stratigrafico superficiale (di solito ad alcuni metri di profondità),
- 2) identificazione del marker HVSR corrispondente,
- 3) fit della curva HVSR teorica utilizzando 1) e 2) come vincoli (vedi figura seguente).

EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



| Depth at the bottom of the layer [m] | Thickness [m] | Vs [m/s] | Poisson ratio |
|--------------------------------------|---------------|----------|---------------|
| 2.00                                 | 2.00          | 180      | 0.35          |
| 9.00                                 | 7.00          | 250      | 0.35          |
| 29.00                                | 20.00         | 505      | 0.35          |
| inf.                                 | inf.          | 750      | 0.35          |

$VsEq = Vs30 = 375\text{m/s}$



### 3.4 CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO

#### 3.5.1 Analisi semplificata (NTC 2018)

Sulla base dei dati ottenuti con le indagini geofisiche unitamente alle conoscenze geologiche e litostratigrafiche, è possibile ottenere un modello di sottosuolo riconducibile alla classificazione semplificata tipica delle categorie di sottosuolo definite dalle NTC 2018.

Il suolo di fondazione del sito d'intervento, viene classificato come:

**- suolo di fondazione Categoria B (NTC2018)**

a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione stratigrafica **Ss=1.20**

Sulla base di questi dati, ed in accordo con il Progettista si è ritenuto idoneo utilizzare l'approccio semplificato e non si è ritenuto necessario eseguire ulteriori approfondimenti d'indagine geofisica.

### 3.5 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

| Tab. 3.2.III – Categorie topografiche |                                                                                                                 |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Categoria                             | Caratteristiche della superficie topografica                                                                    |
| T1                                    | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$                      |
| T2                                    | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$                                                                    |
| T3                                    | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T4                                    | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$                  |

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella seguente Tab. 3.2.V, in funzione della categoria topografica definita e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento. La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove  $S_T$  assume il valore massimo riportato nella Tab. 3.2.V, fino alla base, dove  $S_T$  assume valore unitario.

| Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica $S_T$ |                                                                                              |       |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Categoria topografica                                                            | Ubicazione dell'opera o dell'intervento                                                      | $S_T$ |
| T1                                                                               | -                                                                                            | 1,0   |
| T2                                                                               | In corrispondenza della sommità del pendio                                                   | 1,2   |
| T3                                                                               | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$ | 1,2   |
| T4                                                                               | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$       | 1,4   |

Il sito in esame si colloca in settore pianeggiante nel tratto superiore di un versante con pendenza media generale di circa  $8-12^\circ$ ; pertanto si ottiene una **categoria topografica T1** a cui si fa corrispondere un coefficiente di amplificazione:  **$S_T=1.0$** .

### 3.6 CALCOLO DEI PARAMETRI SISMICI DEL SITO (NTC2018)

I parametri spettrali per definire l'azione sismica di progetto (lasciando al progettista la verifica definitiva) vengono calcolati:

- a) Classe dell'opera II -  $C_u = 1$
- b) vita nominale della costruzione : 50 anni
- c) azione sismica : stato limite di salvaguardia della vita (tempo di ritorno : 475 anni)

I parametri tabellati sono sempre riferiti al substrato rigido. Oltre ad  $a_g$  si riportano anche altri due parametri:

- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore del sito viene ottenuto tramite la media pesata dei valori che si riferiscono ai quattro punti del reticolo che comprendono l'area in oggetto mediante la seguente formula:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

Dove :

$p$  = valore del parametro di interesse nel punto in esame

$p_i$  = valore del parametro di interesse nell' $i$ -simo punto della maglia elementare contenete il punto in esame

$d_i$  = distanza del punto in esame dall' $i$ -simo punto della maglia suddetta

#### Parametri sismici

Di seguito si riportano i parametri e i coefficienti sismici del sito.

| Sito in esame          | Siti di riferimento                                           |
|------------------------|---------------------------------------------------------------|
| latitudine: 44,390069  | Sito 1 ID: 17167 Lat: 44,4051 Lon: 10,8317 Distanza: 2923,788 |
| longitudine: 10,861904 | Sito 2 ID: 17168 Lat: 44,4066 Lon: 10,9016 Distanza: 3647,610 |
| Classe: 1              | Sito 3 ID: 17390 Lat: 44,3566 Lon: 10,9037 Distanza: 4985,573 |
| Vita nominale: 50      | Sito 4 ID: 17389 Lat: 44,3551 Lon: 10,8338 Distanza: 4485,870 |

#### Parametri sismici

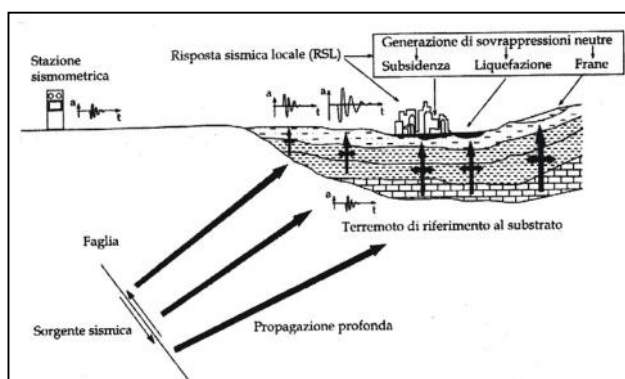
|                         |         |
|-------------------------|---------|
| Categoria sottosuolo:   | B       |
| Categoria topografica:  | T1      |
| Periodo di riferimento: | 35 anni |
| Coefficiente $c_u$ :    | 0.7     |

Di seguito i parametri sismici ai vari stati limite:

| Parametri sismici                | Operatività SLO              |
|----------------------------------|------------------------------|
| Probabilità di superamento: 81 % | Ss: 1,200                    |
| Tr: 30[anni]                     | Cc: 1,450                    |
| $a_g$ : 0,055 g                  | St: 1,000                    |
| $F_0$ : 2,500                    | Kh: 0,013                    |
| $T_c^*$ : 0,252[s]               | Kv: 0,007                    |
|                                  | Amax: 0,649                  |
|                                  | Beta: 0,200                  |
| Parametri sismici                | Danno SLD                    |
| Probabilità di superamento: 63 % | Ss: 1,200                    |
| Tr: 35[anni]                     | Cc: 1,440                    |
| $a_g$ : 0,059 g                  | St: 1,000                    |
| $F_0$ : 2,499                    | Kh: 0,014                    |
| $T_c^*$ : 0,256[s]               | Kv: 0,007                    |
|                                  | Amax: 0,692                  |
|                                  | Beta: 0,200                  |
| Parametri sismici                | Salvaguardia della vita SLV  |
| Probabilità di superamento: 10 % | Ss: 1,200                    |
| Tr: 332[anni]                    | Cc: 1,410                    |
| $a_g$ : 0,139 g                  | St: 1,000                    |
| $F_0$ : 2,499                    | Kh: 0,040                    |
| $T_c^*$ : 0,289[s]               | Kv: 0,020                    |
|                                  | Amax: 1,640                  |
|                                  | Beta: 0,240                  |
| Parametri sismici                | Prevenzione del collasso SLC |
| Probabilità di superamento: 5 %  | Ss: 1,200                    |
| Tr: 682[anni]                    | Cc: 1,400                    |
| $a_g$ : 0,178 g                  | St: 1,000                    |
| $F_0$ : 2,501                    | Kh: 0,051                    |
| $T_c^*$ : 0,295[s]               | Kv: 0,026                    |
|                                  | Amax: 2,093                  |
|                                  | Beta: 0,240                  |

### 3.7 PERICOLOSITÀ SISMICA ED EFFETTI LOCALI

La diversa entità dei danni prodotti da un terremoto nello stesso ambito territoriale dimostra che le azioni sismiche possono



assumere, anche a distanze di poche decine di metri, caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni geologiche che caratterizzano un dato ambito territoriale (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza/profondità della falda freatica, proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, ecc).

Terreni con caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti possono, in condizioni di sollecitazione sismica, perdere

temporaneamente o permanentemente la capacità portante a loro ascrivibile in condizioni statiche, causando cedimenti e lesioni negli edifici, anche se questi sono stati costruiti con criteri tali da far loro sopportare le sollecitazioni indotte dai terremoti attesi. Altro caso riguarda l'effetto di liquefazione in condizioni sismiche dei terreni sabbiosi saturi che, sotto sollecitazioni cicliche, tendono a perdere la loro resistenza al taglio.

In alcuni casi, le particolari caratteristiche del sito, sia di tipo morfologico sia derivanti dalla natura del substrato, possono determinare effetti di amplificazione delle sollecitazioni, rispetto ad una situazione tipo. Si precisa che la situazione tipo è in generale definita da un'area pianeggiante con roccia granitica come appoggio per le strutture di fondazione degli edifici oppure, negli studi di microzonazione sismica, come il substrato roccioso (bedrock) che risente del terremoto di riferimento per il sito in questione, rispetto al quale si verifica l'eventuale effetto di amplificazione.

Tale effetto di amplificazione è legato alla presenza di terreni con rigidità inferiori a quella di riferimento; tale condizione di minore rigidità può ad esempio essere espressa dal valore dell'impedenza acustica della roccia (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche): più l'impedenza acustica della roccia è minore rispetto a quella della roccia di riferimento più l'effetto di amplificazione si rende evidente.

L'effetto di amplificazione sismica si risente poi anche quando il substrato è costituito da "terreni" (in senso geotecnico: terreni quaternari, depositi superficiali, ecc.), che per la loro stessa natura sono caratterizzati da valori di impedenza acustica sempre inferiori a quelli della roccia di riferimento. In questi casi, tuttavia, accade spesso che il fenomeno di amplificazione non risulta la causa delle lesioni e dei crolli degli edifici costruiti su questi terreni. In effetti, sono le caratteristiche geotecniche dei medesimi, che in condizioni di sollecitazione sismica tendono a peggiorare decisamente, a determinare i crolli: a causa della perdita di capacità portante alle strutture di fondazione, che avviene prima che l'effetto di amplificazione venga risentito dalla struttura degli immobili.

Fondamentale quindi è la valutazione della "risposta sismica locale" (RSL). Con tale termine s'intende l'insieme delle modifiche in intensità, ampiezza e frequenza, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraverso gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

I due coefficienti di amplificazione che sono stati considerati in questo studio sono:

$S_s$  (in base al profilo stratigrafico e tipo di suolo) e  $S_T$  (coefficiente di amplificazione topografica) - Cap. 3.2-3.3-3.4.

Per l'area in esame, si escludono effetti locali indotti da instabilità, liquefazione e da cedimenti.

### 3.6.1 MICROZONAZIONE SISMICA - CARTA DELLE MOPS

Dalla consultazione dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Pavullo, di seguito si riporta la “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica”, nella quale il sito in studio rientra in parte nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e in parte in zone suscettibili di instabilità (cedimenti differenziali).

Le indagini svolte non evidenziano la presenza di terreni a scarsa resistenza ( $R_p < 7 \text{ kg/cm}^2$ ) al fine di identificare zone potenzialmente suscettibili di cedimenti differenziali.

Le indagini sismiche e geomorfologiche mostrano: un'amplificazione di tipo litostratigrafico che viene quantificata con il fattore  $S_s = 1.20$  (suolo B).

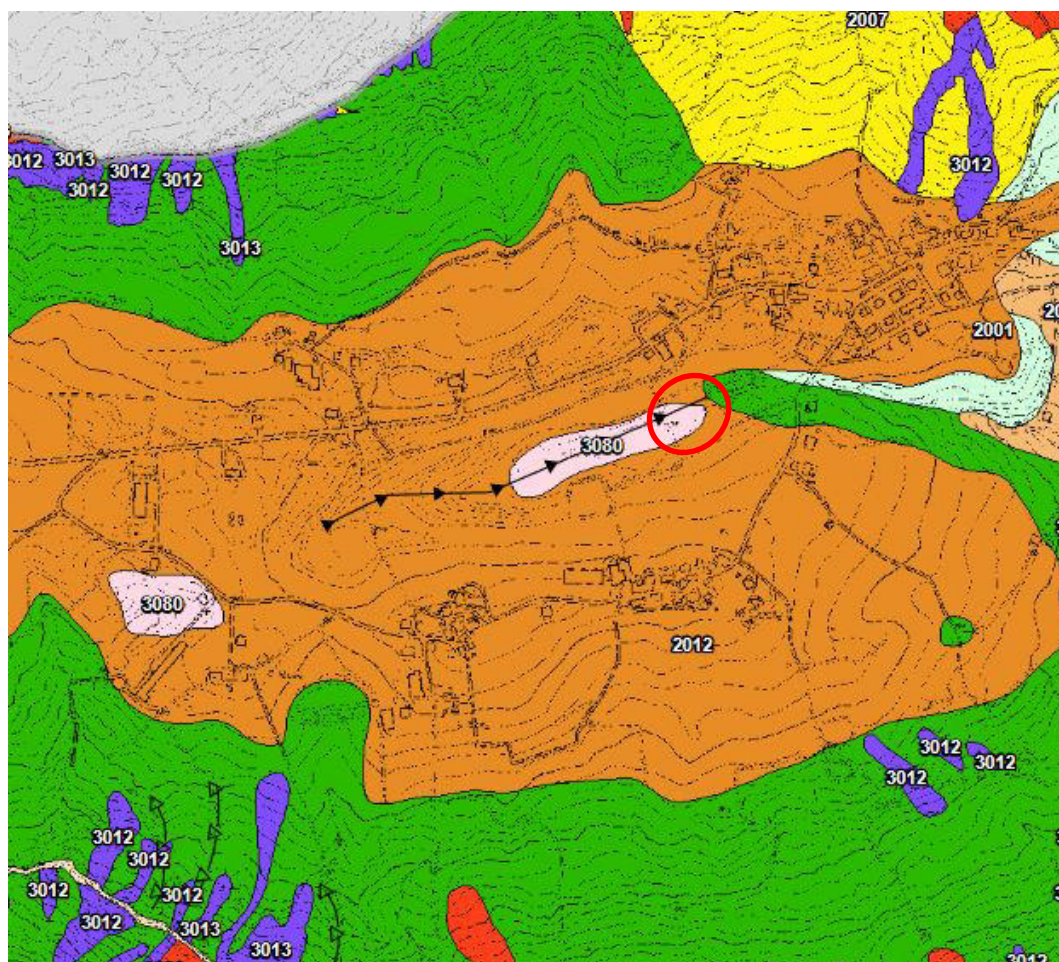
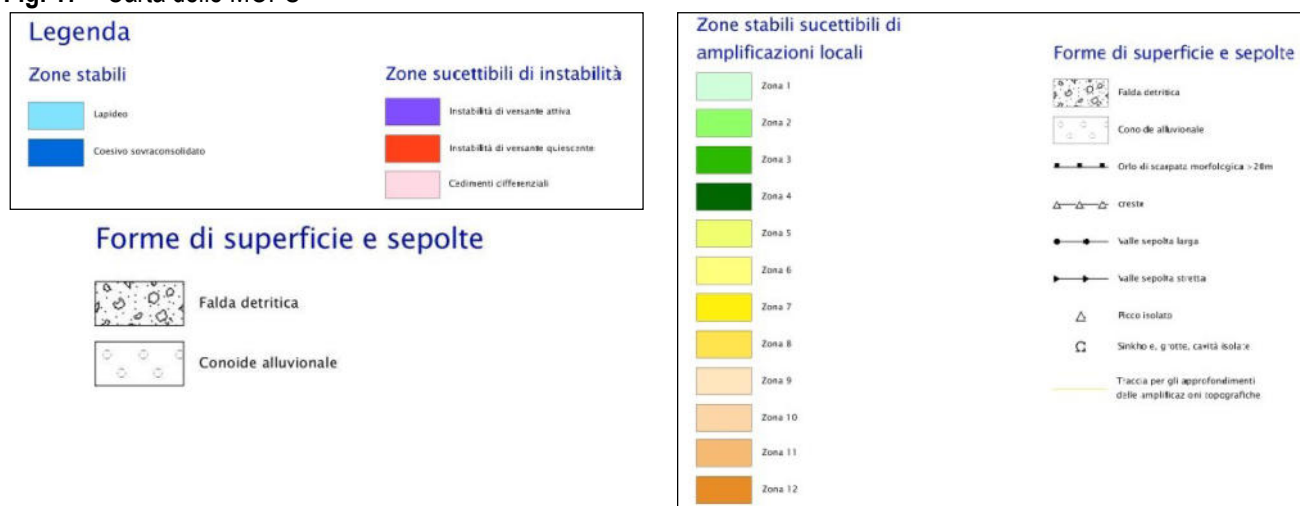


Fig. 17 – Carta delle MOPS



## MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

### 4. INDAGINI, MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Per la caratterizzazione litostratigrafica e fisico-meccanica dei terreni di fondazione del sito sono state eseguite:

- n° 3 prove penetrometriche statiche CPT (All. 1);



Fig. 18 – Ubicazione indagini geognostiche su foto aerea

● prova penetrometrica statica CPT



#### 4.1.1 PROVA PENETROMETRICA STATICA – STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Lo strumento utilizzato per l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche è il penetrometro Pagani DPSH montato su mezzo cingolato fornito di autoancoraggio per sopportare la spinta massima di 20 tonnellate.

Il dispositivo di spinta (*martinetto idraulico*) è ancorato al suolo per mezzo di due ancoraggi elicoidali laterali che devono fornire l'adeguato contrasto all'atto della penetrazione delle aste e della punta. Il martinetto agisce su una *batteria doppia di aste* (aste esterne cave e aste interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico.

La *punta conica* (di tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito laterale (punta/manicotto tipo "Begemann").

Le dimensioni della punta/manicotto sono standardizzate, e precisamente:

|                                           |                     |
|-------------------------------------------|---------------------|
| diametro di base del cono $\varnothing$ = | 35,7 mm             |
| area della punta conica $A_p$ =           | 10 cm <sup>2</sup>  |
| angolo apertura del cono B =              | 60°                 |
| superficie laterale manicotto $A_m$ =     | 150 cm <sup>2</sup> |
| costante di trasformazione $C_t$ =        | 1                   |

Sulla batteria di aste esterne è stato installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'approfondimento.

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $v = 2 \text{ cm/s} + 0,5 \text{ cm/s}$ ).

La penetrazione avviene tramite il dispositivo di spinta citato in precedenza, che agisce sulla batteria di aste e quindi sulla punta meccanica.

L'esecuzione della prova consiste, una volta posizionato lo strumento, nel far avanzare a intervalli regolari, pari a 20 cm, l'intera batteria di aste e la punta. È possibile suddividere in fasi l'avanzamento:

- fase 1: si legge per i primi 4 cm di avanzamento la resistenza alla punta ( $L_{\text{punta}}$ =lettura di campagna durante l'infissione della sola punta);
- fase 2: si legge, per i successivi 4 cm, la resistenza alla punta più quella laterale ( $L_{\text{laterale}}$ =lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto);
- fase 3: negli ultimi 12 cm si ritorna nella posizione iniziale senza alcuna lettura.

I dati letti su due distinti manometri montati su una cella di pressione, sono riportati nelle tabelle di campagna (All. 1).

Per le prove, nei tabulati di calcolo e nei diagrammi penetrometrici (Allegato 1) sono stati riportati, oltre ai valori misurati in sito ogni 20 cm di avanzamento della punta, i valori della *resistenza penetrometrica alla punta* ( $R_p$ ) (grafico a sinistra), espressi in kg/cm<sup>2</sup>, i valori della *resistenza laterale locale* ( $R_l$ ), sempre espressi in kg/cm<sup>2</sup>, nonché i valori del rapporto fra la *resistenza alla punta* e la *resistenza laterale locale* ( $R_p/R_l$ ) (grafico a destra).

## 4.2 CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA-MECCANICO-RESISTIVA TERRENI DI FONDAZIONE

Dall'interpretazione dei dati ricavati dalle prove (All. 1), vengono ricostruite le seguenti stratigrafie interpretative del sottosuolo dell'area.

### SEQUENZE LITOSTRATIGRAFICHE

| PROVA 1       |                                                                                                                                                         | PROVA 2       |                                                                                                                                                                    | PROVA 3       |                                                                                                                                                         |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - 0.0 ÷ 1.0 m | Terreno agrario superficiale.                                                                                                                           | - 0.0 ÷ 1.0 m | Terreno agrario superficiale.                                                                                                                                      | - 0.0 ÷ 1.0 m | Terreno agrario superficiale.                                                                                                                           |
| - 1.0 ÷ 2.8 m | Argille limose molto compatte.<br>Rpm=59.6 kg/cm <sup>2</sup><br>Rp=20÷85 kg/cm <sup>2</sup> .                                                          | - 1.0 ÷ 2.2 m | Argille limose mediamente compatte.<br>Rpm=19.8 kg/cm <sup>2</sup><br>Rp=16÷22 kg/cm <sup>2</sup> .                                                                | - 1.0 ÷ 3.0 m | Argille limose mediamente compatte.<br>Rpm=14.5 kg/cm <sup>2</sup><br>Rp=7÷21 kg/cm <sup>2</sup> .                                                      |
| - 2.8 ÷ 7.4 m | Sequenza di argille limose da mediamente compatte a compatte e limi sabbiosi addensati.<br>Rpm=43.5 kg/cm <sup>2</sup><br>Rp=16÷75 kg/cm <sup>2</sup> . | - 2.2 ÷ 9.2 m | Sequenza di argille limose da mediamente compatte a compatte e limi sabbiosi mediamente addensati.<br>Rpm=29.8 kg/cm <sup>2</sup><br>Rp=19÷48 kg/cm <sup>2</sup> . | - 3.0 ÷ 7.8 m | Sequenza di argille limose da mediamente compatte a compatte e limi sabbiosi addensati.<br>Rpm=44.7 kg/cm <sup>2</sup><br>Rp=27÷82 kg/cm <sup>2</sup> . |
| - 7.4 ÷ 8.6 m | Primo substrato Argille marnose con trovanti e/o livelli litoidi.<br>Rpm=159 kg/cm <sup>2</sup><br>Rp=65÷350 kg/cm <sup>2</sup> .                       |               |                                                                                                                                                                    | - 7.8 ÷ 8.4 m | Primo substrato Argille marnose con trovanti e/o livelli litoidi.<br>Rpm=167 kg/cm <sup>2</sup><br>Rp=87÷320 kg/cm <sup>2</sup> .                       |
|               |                                                                                                                                                         | - 9.2 ÷ 9.4 m | Livello litoide<br>Rpm=340 kg/cm <sup>2</sup>                                                                                                                      |               |                                                                                                                                                         |

Rp/Rpm: range/valore medio della resistenza alla punta statica con valori riferiti alla superficie della punta di perforazione (10 cm<sup>2</sup>).

Dall'analisi dei risultati dell'indagine eseguita risulta un quadro litostratigrafico composto da una sequenza di terreni argillosi-limosi variamente addensati, per lo più da mediamente compatti fino a molto compatti posti a tetto di un primo substrato costituito da argilliti marnose consistenti con frazione litoide arenaceo-calcareo.

Le verticali d'indagine hanno permesso una buona validazione del modello geologico; anche l'approfondimento del piano d'indagine, in riferimento all'opera in progetto, è ritenuto idoneo in quanto rileva il passaggio tra i terreni di copertura e il primo substrato, che rappresenta la discordanza/eteropia verticale significativa all'interno del volume significativo di terreno coinvolto nell'intervento.

#### 4.3 IDROLOGIA SOTTERRANEA

Per quanto riguarda la conformazione e il regime idrologico del sottosuolo, nei fori di sondaggio 1-2 sono stati intercettati livelli d'infiltrazione preferenziale a -5 m e -9 m di profondità.

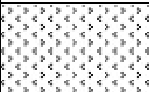
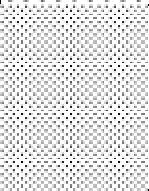
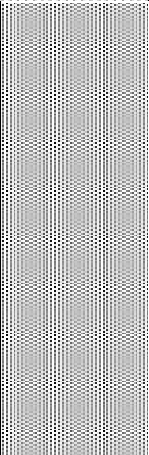
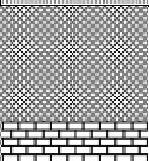
Non si può escludere, nel corso dei periodi piovosi, l'instaurarsi di orizzonti di saturazione discontinui a carattere stagionale più superficiali o zone d'infiltrazione preferenziali nelle fratture e/o al contatto tra litotipi a diversa permeabilità.

### 5. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

#### 5.1 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Di seguito viene schematizzato il modello geologico-geotecnico dell'area d'intervento con riportati i parametri geotecnici nominali.

#### MODELLO GEOTECNICO - PARAMETRI GEOTECNICI NOMINALI

| Stratigrafia                                                                        | Strati<br>prof. in m | Descrizione<br>litologica                                                           | Parametri<br>geotecnici                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 0.0– 1.0             | Terreno agrario<br>e primo suolo                                                    | -                                                                                                                                     |
|  | 1.0 – 2.2/3.0        | Argille limose<br>mediamente compatte                                               | $\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$<br>$\phi = 22^\circ$<br>$c' = 7 \text{ kPa}$<br>$c_u = 60 \text{ kPa}$<br>$E_d = 3000 \text{ kPa}$       |
|  | 2.2/3.0 – 7.4/9.2    | Sequenza di<br>Argille limose<br>compatte e limi<br>argillosi addensati             | $\gamma = 1.9 \text{ t/m}^3$<br>$\phi = 24^\circ$<br>$c' = 10 \text{ kPa}$<br>$c_u = 120 \text{ kPa}$<br>$E_d = 6000 \text{ kPa}$     |
|  | 7.4/9.2 – 8.4/9.4    | SUBSTRATO<br>Argilliti marnose molto<br>compatte con frazione<br>grossolana litoide | $\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$<br>$\phi = 33^\circ$<br>$c' = 12-15 \text{ kPa}$<br>$c_u = 250 \text{ kPa}$<br>$E_d = 25000 \text{ kPa}$ |

Legenda: parametri nominali:  $\gamma$  peso di volume;  $C'$  coesione efficace,  $\phi$  angolo d'attrito;  $C_u$  coesione non drenata;  $E_d$  modulo edometrico.

## 6. TIPOLOGIA D'INTERVENTO

Nell'area in studio è in previsione la realizzazione di un fabbricato ad uso fienile a servizio dell'Azienda Agricola.

Per i disegni e i dettagli dimensionali e costruttivi si rimanda agli elaborati progettuali.

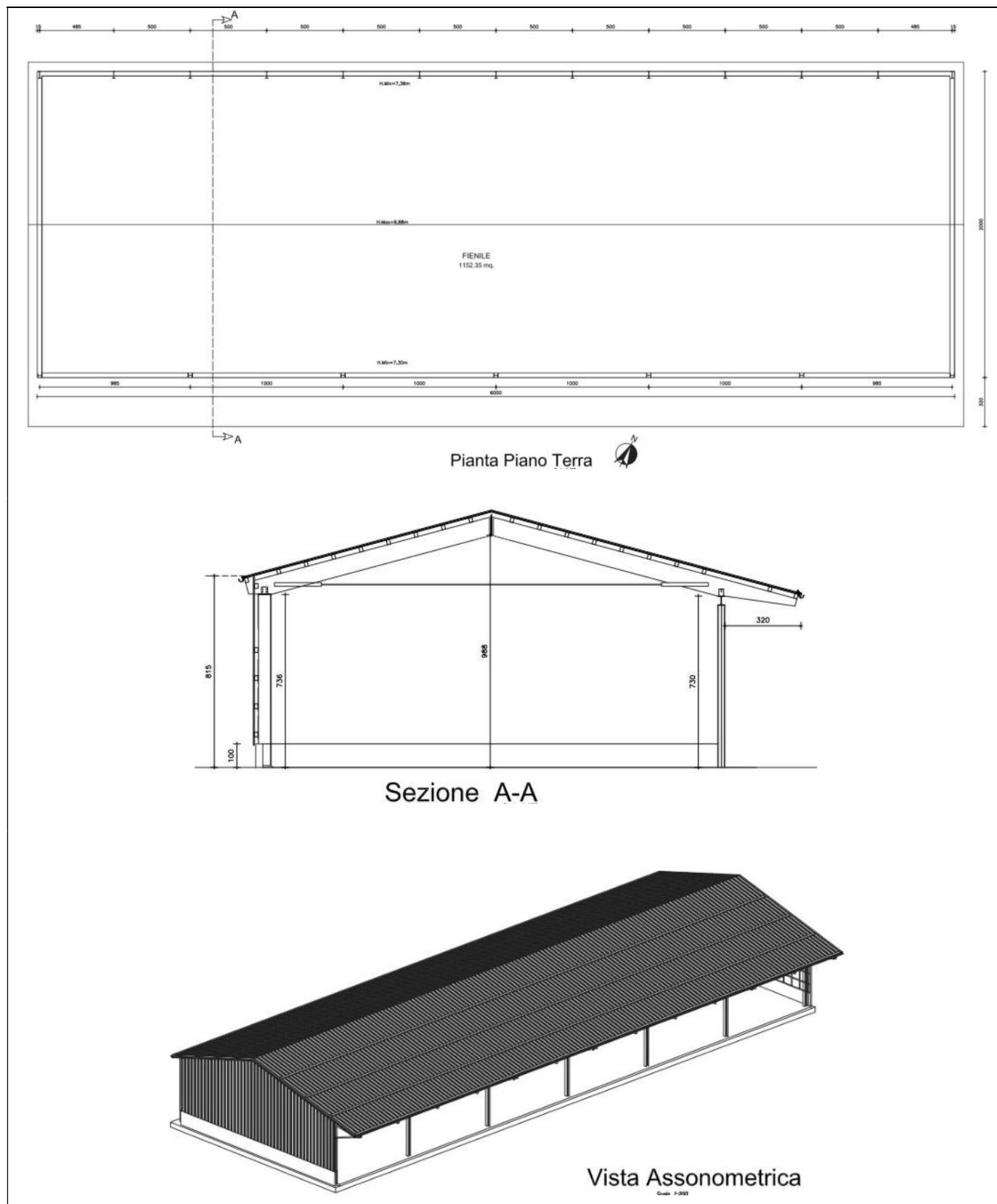


Fig. 19 – Struttura in progetto

## 7. TIPOLOGIA DI FONDAZIONE E PROFONDITA' DEL PIANO DI POSA

Quanto riportato in questo capitolo è una proposta che fa seguito alla modellazione geologica del sito; rimane in capo allo strutturista l'individuazione della scelta progettuale definitiva.

Nella scelta della profondità fondale andrà tenuto conto che le NTC2018 prescrivono che il piano di fondazione deve essere situato sotto la coltre di terreno vegetale nonché sotto lo strato interessato dal gelo e da significative variazioni stagionali del contenuto d'acqua (strato attivo).

Tenendo conto del modello geologico-geotecnico desunto dalle indagini condotte, risulta possibile l'utilizzo di fondazioni superficiali tipo plinto isolato con quota di posa a circa -2/2.5 m dal piano campagna naturale.

In fase esecutiva sarà necessario verificare e accertare puntualmente gli assunti litostratigrafici e geotecnici scelti nella presente relazione con nuove indagini geognostiche.

In alternativa si potranno adottare fondazioni profonde su pali trivellati che permetteranno di oltrepassare i terreni di copertura superficiali e alterati, evitando eventuali cedimenti differenziali, ed innestarsi su terreni di substrato consistente con caratteristiche omogenee.

Nella scelta della profondità dei pali, andrà tenuto conto che i pali andranno innestati adeguatamente, per alcuni metri, nella litologia consistente di substrato intercettata a quote variabili tra 7.5-9 m dal piano campagna naturale.

La fase esecutiva, con le prime perforazioni, permetterà di quantificare puntualmente la natura e i caratteri lito-tecnici dei terreni, e di conseguenza affinare eventualmente la profondità e il dimensionamento dei pali.

Di seguito, per la struttura in progetto, si riportano sinteticamente la tipologia fondale (nel caso di scelta di fondazione superficiale tipo plinto), quota di posa e caratteristiche del terreno di fondazione:

| Struttura                   | Fondazione prevista<br>quota di posa | Terreno                                  | Parametri geotecnici nominali                                                                                                                                    |
|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Capannone deposito agricolo | Plinto<br>-2.5 m<br>da p.c.          | Argille limose<br>mediamente<br>compatte | $\gamma = 1.9 \text{ t/m}^3$<br>$\phi = 24^\circ$<br>$c' = 10 \text{ kPa}$<br>$c_u = 120 \text{ kPa}$<br>$E_d = 6000 \text{ kPa}$<br>$K_s = 1.5 \text{ kg/cm}^3$ |

Legenda:  $\gamma$  peso di volume;  $c_u$  coesione non drenata;  $\phi$  angolo d'attrito;  $c'$  coesione efficace;  $E_d$  modulo edometrico;  $K_s$  coeff. di Winkler

## 8. CONSIDERAZIONI FINALI

Nell'area in esame (Fig. 1-2), è stato eseguito uno studio volto alla ricostruzione degli aspetti geologici e sismici connessi con la realizzazione di un fabbricato ad uso fienile a servizio dell'Azienda Agricola in loc. "Le Coste", Fr. Coscogno in Comune di Pavullo n/F. (Mo).

Lo studio ha messo in evidenza i seguenti aspetti:

- Dalle indagini svolte si evidenzia un sottosuolo caratterizzato da una sequenza di terreni argillosi-limosi variamente addensati, per lo più da mediamente compatti fino a molto compatti posti a tetto di un primo substrato costituito da argilliti marnose consistenti con frazione litoide arenaceo-calcareo.
- L'area si colloca in posizione subpianeggiante, dove l'ossatura argillitica di base risulta ricoperta da una falda detritica, non è soggetta ad alcun fenomeno di instabilità in atto né pregresso.
- Non si rilevano processi erosivi da parte delle acque di corrivazione.
- Nell'intorno dell'area non si sono rilevati fenomeni che possano interferire dal punto di vista geodinamico con il sito d'intervento.
- In un quadro morfoevolutivo non si riscontrano quindi fattori che possano deteriorare la situazione di stabilità attuale.
- La caratterizzazione sismica dell'area ha permesso di classificare il suolo di fondazione nella categoria B.
- L'accelerazione massima su suolo rigido e pari a  $a_g = 0.139$  ( $C_u=0.7$ ).
- Allo stato limite ultimo (SLV) l'ampl. stratigrafica  $S_s=1,20$  l'ampl. topografica  $S_t=1.0$ .
- Per gli effetti di sito, si escludono fenomeni quali instabilità, liquefazione o cedimenti sismo-indotti. Si avrà invece amplificazione sismica per caratteristiche litologiche ( $S_s=1.20$  – Suolo B).
- Le indagini svolte non evidenziano la presenza di terreni a scarsa resistenza ( $R_p < 7$  kg/cmq) al fine di identificare zone potenzialmente suscettibili di cedimenti differenziali.
- L'indagine sismica HVSR mostra un picco di frequenza significativo a 4.06 Hz.

Il completamento della fase progettuale dovrà essere accompagnato dall'esecuzione delle opportune opere di regimazione idrica superficiale al fine di evitare la dispersione selvaggia delle acque di corrivazione e la conseguente eccessiva infiltrazione d'acqua nei termini più alterati e superficiali che potrebbe determinare condizioni di ammolimento dei terreni di copertura con scadimento delle caratteristiche resistive dei terreni di fondazione.

### Sbancamenti

Non sono previsti sbancamenti e/ scavi se non quelli strettamente necessari alla posa degli apparati fondali.

Non vi saranno pertanto significative alterazioni degli equilibri statici dell'area.

### Fondazioni

Tenendo conto del modello geologico-geotecnico desunto dalle indagini condotte, risulta possibile l'utilizzo di fondazioni superficiali tipo plinto isolato con quota di posa a circa -2/2.5 m dal piano campagna naturale.

In fase esecutiva sarà necessario verificare e accertare puntualmente gli assunti litostratigrafici e geotecnici scelti nella presente relazione con nuove indagini geognostiche.

In alternativa si potranno adottare fondazioni profonde su pali trivellati che permetteranno di oltrepassare i terreni di copertura superficiali e alterati, evitando eventuali cedimenti differenziali, ed innestarsi su terreni di substrato consistente con caratteristiche omogenee.

Nella scelta della profondità dei pali, andrà tenuto conto che i pali andranno innestati adeguatamente, per alcuni metri, nella litologia consistente di substrato intercettata a quote variabili tra 7.5-9 m dal piano campagna naturale.

La fase esecutiva, con le prime perforazioni, permetterà di quantificare puntualmente la natura e i caratteri lito-tecnici dei terreni, e di conseguenza affinare eventualmente la profondità e il dimensionamento dei pali.

Si consiglia di eseguire gli sbancamenti e gli scavi fondali durante la stagione asciutta, avendo cura di lasciarli esposti per lo stretto necessario.

Si consiglia la presenza dello scrivente all'inizio dei lavori, al fine di acquisire quegli ulteriori elementi di conoscenza, a priori non prevedibili e per avere conferma delle ipotesi fatte.

Dalle considerazioni sopra esposte, e nel rispetto delle prescrizioni indicate, si ritiene l'intervento in progetto compatibile con le caratteristiche geologiche e sismiche dell'area.

Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti



## ALLEGATO - 1 -

### PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

TABULATO DI CALCOLO PROVA PENETROMETRICA STATICA (C.P.T.)

1

Prova n°: 1 Quota (m): - Data: 16/07/2018

Committenza: Sig. Lenzini Diego

Località: Coscogno - Pavullo nel Frignano (Mo)

| Prof.<br>(m) | P<br>(kg/cmq) | P+L<br>(kg/cmq) | Rp<br>(kg/cmq) | RI<br>(kg/cmq) | Rp/RI  | FR%<br>(RI/Rp*100) | Rpm<br>(kg/cmq) | Falda<br>(m) | Descrizione<br>litologica | Stratigrafia |
|--------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|--------|--------------------|-----------------|--------------|---------------------------|--------------|
| 0,2          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            |                           |              |
| 0,4          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            | Terreno                   |              |
| 0,6          | 19            | 46              | 19,00          | 1,80           | 10,56  | 9,47               |                 | -            | agrario                   |              |
| 0,8          | 42            | 57              | 42,00          | 1,00           | 42,00  | 2,38               |                 | -            | superficiale              |              |
| 1,0          | 12            | 34              | 12,00          | 1,47           | 8,18   | 12,22              |                 | -            |                           |              |
| 1,2          | 20            | 46              | 20,00          | 1,73           | 11,54  | 8,67               |                 | -            |                           |              |
| 1,4          | 38            | 65              | 38,00          | 1,80           | 21,11  | 4,74               |                 | -            |                           |              |
| 1,6          | 54            | 112             | 54,00          | 3,87           | 13,97  | 7,16               |                 | -            |                           |              |
| 1,8          | 58            | 125             | 58,00          | 4,47           | 12,99  | 7,70               |                 | -            |                           |              |
| 2,0          | 71            | 130             | 71,00          | 3,93           | 18,05  | 5,54               | 59,6            | -            |                           |              |
| 2,2          | 84            | 137             | 84,00          | 3,53           | 23,77  | 4,21               |                 | -            | Livello di                |              |
| 2,4          | 85            | 152             | 85,00          | 4,47           | 19,03  | 5,25               |                 | -            | argille limose            |              |
| 2,6          | 68            | 139             | 68,00          | 4,73           | 14,37  | 6,96               |                 | -            | molto compatte            |              |
| 2,8          | 58            | 114             | 58,00          | 3,73           | 15,54  | 6,44               |                 | -            |                           |              |
| 3,0          | 24            | 48              | 24,00          | 1,60           | 15,00  | 6,67               |                 | -            |                           |              |
| 3,2          | 20            | 46              | 20,00          | 1,73           | 11,54  | 8,67               |                 | -            |                           |              |
| 3,4          | 26            | 51              | 26,00          | 1,67           | 15,60  | 6,41               |                 | -            |                           |              |
| 3,6          | 16            | 43              | 16,00          | 1,80           | 8,89   | 11,25              |                 | -            |                           |              |
| 3,8          | 75            | 115             | 75,00          | 2,67           | 28,13  | 3,56               |                 | -            |                           |              |
| 4,0          | 35            | 70              | 35,00          | 2,33           | 15,00  | 6,67               |                 | -            |                           |              |
| 4,2          | 40            | 68              | 40,00          | 1,87           | 21,43  | 4,67               |                 | -            |                           |              |
| 4,4          | 34            | 52              | 34,00          | 1,20           | 28,33  | 3,53               |                 | -            |                           |              |
| 4,6          | 30            | 50              | 30,00          | 1,33           | 22,50  | 4,44               |                 | -            |                           |              |
| 4,8          | 25            | 46              | 25,00          | 1,40           | 17,86  | 5,60               |                 | -            |                           |              |
| 5,0          | 31            | 50              | 31,00          | 1,27           | 24,47  | 4,09               | 43,5            | -            |                           |              |
| 5,2          | 39            | 64              | 39,00          | 1,67           | 23,40  | 4,27               |                 | -            |                           |              |
| 5,4          | 46            | 69              | 46,00          | 1,53           | 30,00  | 3,33               |                 | -            |                           |              |
| 5,6          | 82            | 121             | 82,00          | 2,60           | 31,54  | 3,17               |                 | -            |                           |              |
| 5,8          | 62            | 93              | 62,00          | 2,07           | 30,00  | 3,33               |                 | -            |                           |              |
| 6,0          | 43            | 74              | 43,00          | 2,07           | 20,81  | 4,81               |                 | -            |                           |              |
| 6,2          | 48            | 73              | 48,00          | 1,67           | 28,80  | 3,47               |                 | -            |                           |              |
| 6,4          | 40            | 100             | 40,00          | 4,00           | 10,00  | 10,00              |                 | -            |                           |              |
| 6,6          | 39            | 81              | 39,00          | 2,80           | 13,93  | 7,18               |                 | -            |                           |              |
| 6,8          | 48            | 66              | 48,00          | 1,20           | 40,00  | 2,50               |                 | -            |                           |              |
| 7,0          | 76            | 139             | 76,00          | 4,20           | 18,10  | 5,53               |                 | -            |                           |              |
| 7,2          | 59            | 108             | 59,00          | 3,27           | 18,06  | 5,54               |                 | -            |                           |              |
| 7,4          | 62            | 111             | 62,00          | 3,27           | 18,98  | 5,27               |                 | -            |                           |              |
| 7,6          | 170           | 220             | 170,00         | 3,33           | 51,00  | 1,96               |                 | -            |                           |              |
| 7,8          | 113           | 175             | 113,00         | 4,13           | 27,34  | 3,66               |                 | -            |                           |              |
| 8,0          | 190           | 230             | 190,00         | 2,67           | 71,25  | 1,40               | 159,3           | -            |                           |              |
| 8,2          | 68            | 150             | 68,00          | 5,47           | 12,44  | 8,04               |                 | -            |                           |              |
| 8,4          | 65            | 130             | 65,00          | 4,33           | 15,00  | 6,67               |                 | -            |                           |              |
| 8,6          | 350           | 380             | 350,00         | 2,00           | 175,00 | 0,57               |                 | -            |                           |              |
| 8,8          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            |                           |              |
| 9,0          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            |                           |              |
| 9,2          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            |                           |              |
| 9,4          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            |                           |              |
| 9,6          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            |                           |              |
| 9,8          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            |                           |              |
| 10,0         |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            |                           |              |

Prova n°: 1 Quota (m): -

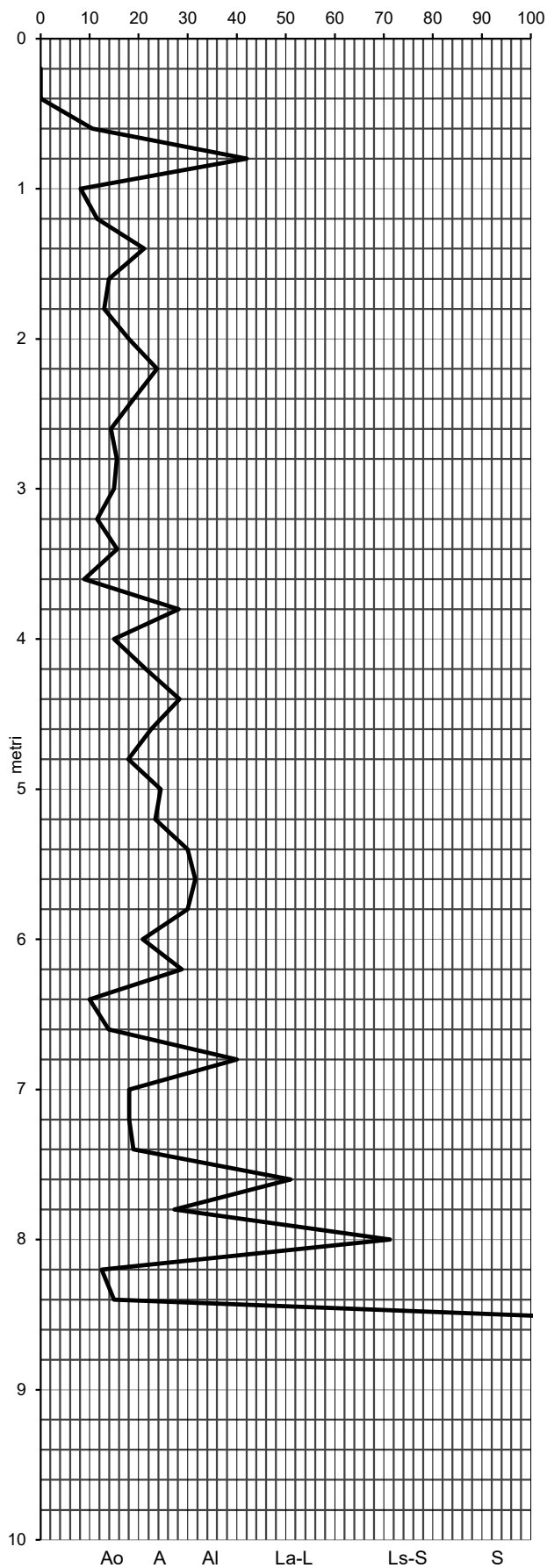
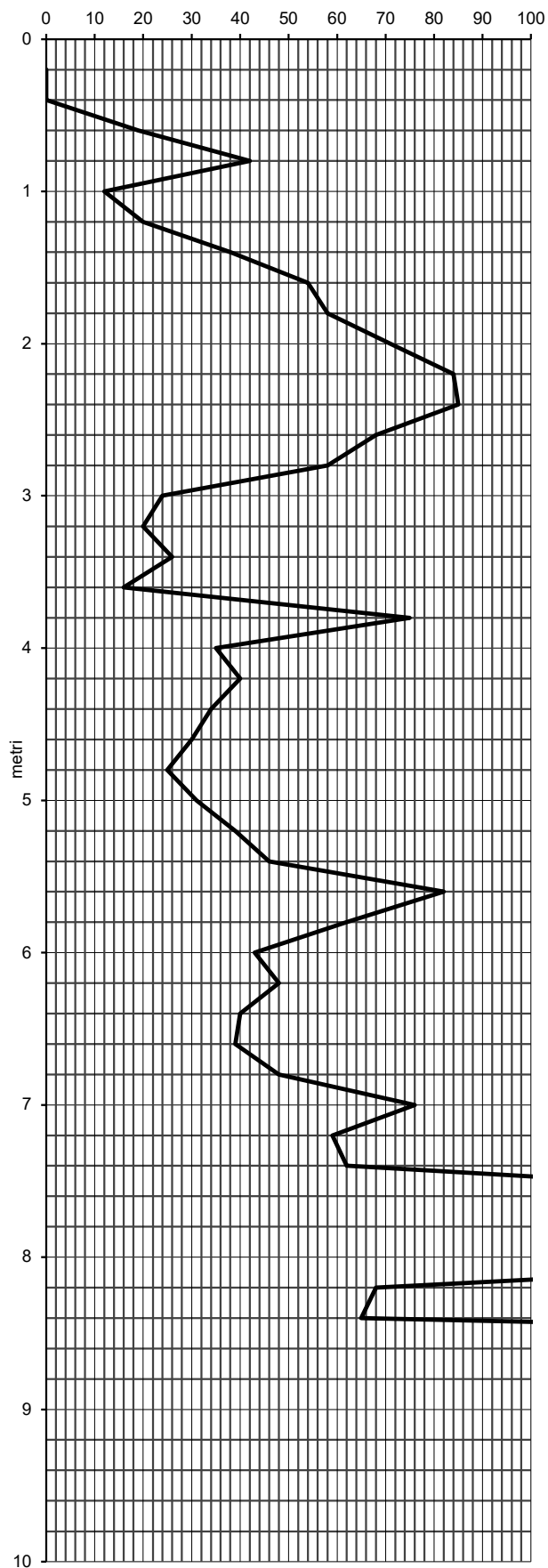
Data: 16/07/2018

Committente: Sig. Lenzini Diego

Località: Coscogno - Pavullo nel Frignano (Mo)

Resistenza alla Punta (Rp) - (kg/cmq)

Rp/RI



Legenda: Ao argille organiche; A argille; Al argille limose; La-L limi argillosi - limi; Ls-S limi sabbiosi-sabbie; S sabbie

Prova n°: 2 Quota (m): - Data: 16/07/2018

Committenza: Sig. Lenzi Diego

Località: Coscogno - Pavullo nel Frignano (Mo)

| Prof.<br>(m) | P<br>(kg/cmq) | P+L<br>(kg/cmq) | Rp<br>(kg/cmq) | RI<br>(kg/cmq) | Rp/RI  | FR%<br>(RI/Rp*100) | Rpm<br>(kg/cmq) | Falda<br>(m) | Descrizione<br>litologica                                                                                              | Stratigrafia |
|--------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|--------|--------------------|-----------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 0,2          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            | Terreno<br>agrario<br>superficiale                                                                                     |              |
| 0,4          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 0,6          | 32            | 45              | 32,00          | 0,87           | 36,92  | 2,71               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 0,8          | 12            | 28              | 12,00          | 1,07           | 11,25  | 8,89               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 1,0          | 10            | 20              | 10,00          | 0,67           | 15,00  | 6,67               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 1,2          | 16            | 29              | 16,00          | 0,87           | 18,46  | 5,42               | 19,8            | -            | Argille limose<br>mediamente<br>compatte                                                                               |              |
| 1,4          | 18            | 32              | 18,00          | 0,93           | 19,29  | 5,19               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 1,6          | 22            | 39              | 22,00          | 1,13           | 19,41  | 5,15               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 1,8          | 22            | 38              | 22,00          | 1,07           | 20,63  | 4,85               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 2,0          | 22            | 35              | 22,00          | 0,87           | 25,38  | 3,94               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 2,2          | 19            | 33              | 19,00          | 0,93           | 20,36  | 4,91               |                 | -            | Sequenza di<br>argille limose<br>da mediamente<br>compatte a<br>compatte<br>e limi sabbiosi<br>mediamente<br>addensati |              |
| 2,4          | 28            | 41              | 28,00          | 0,87           | 32,31  | 3,10               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 2,6          | 30            | 45              | 30,00          | 1,00           | 30,00  | 3,33               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 2,8          | 33            | 55              | 33,00          | 1,47           | 22,50  | 4,44               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 3,0          | 30            | 53              | 30,00          | 1,53           | 19,57  | 5,11               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 3,2          | 33            | 57              | 33,00          | 1,60           | 20,63  | 4,85               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 3,4          | 29            | 54              | 29,00          | 1,67           | 17,40  | 5,75               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 3,6          | 22            | 45              | 22,00          | 1,53           | 14,35  | 6,97               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 3,8          | 20            | 37              | 20,00          | 1,13           | 17,65  | 5,67               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 4,0          | 16            | 32              | 16,00          | 1,07           | 15,00  | 6,67               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 4,2          | 21            | 33              | 21,00          | 0,80           | 26,25  | 3,81               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 4,4          | 19            | 34              | 19,00          | 1,00           | 19,00  | 5,26               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 4,6          | 22            | 36              | 22,00          | 0,93           | 23,57  | 4,24               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 4,8          | 23            | 39              | 23,00          | 1,07           | 21,56  | 4,64               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 5,0          | 25            | 41              | 25,00          | 1,07           | 23,44  | 4,27               | 29,8            | -            |                                                                                                                        |              |
| 5,2          | 27            | 44              | 27,00          | 1,13           | 23,82  | 4,20               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 5,4          | 30            | 47              | 30,00          | 1,13           | 26,47  | 3,78               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 5,6          | 32            | 50              | 32,00          | 1,20           | 26,67  | 3,75               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 5,8          | 31            | 49              | 31,00          | 1,20           | 25,83  | 3,87               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 6,0          | 33            | 49              | 33,00          | 1,07           | 30,94  | 3,23               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 6,2          | 33            | 52              | 33,00          | 1,27           | 26,05  | 3,84               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 6,4          | 32            | 50              | 32,00          | 1,20           | 26,67  | 3,75               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 6,6          | 31            | 48              | 31,00          | 1,13           | 27,35  | 3,66               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 6,8          | 30            | 49              | 30,00          | 1,27           | 23,68  | 4,22               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 7,0          | 31            | 49              | 31,00          | 1,20           | 25,83  | 3,87               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 7,2          | 31            | 49              | 31,00          | 1,20           | 25,83  | 3,87               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 7,4          | 33            | 60              | 33,00          | 1,80           | 18,33  | 5,45               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 7,6          | 48            | 70              | 48,00          | 1,47           | 32,73  | 3,06               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 7,8          | 43            | 66              | 43,00          | 1,53           | 28,04  | 3,57               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 8,0          | 41            | 66              | 41,00          | 1,67           | 24,60  | 4,07               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 8,2          | 37            | 59              | 37,00          | 1,47           | 25,23  | 3,96               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 8,4          | 30            | 49              | 30,00          | 1,27           | 23,68  | 4,22               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 8,6          | 41            | 64              | 41,00          | 1,53           | 26,74  | 3,74               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 8,8          | 26            | 46              | 26,00          | 1,33           | 19,50  | 5,13               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 9,0          | 25            | 45              | 25,00          | 1,33           | 18,75  | 5,33               |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 9,2          | 28            | 43              | 28,00          | 1,00           | 28,00  | 3,57               |                 | ~~~~~        |                                                                                                                        |              |
| 9,4          | 340           | 380             | 340,00         | 2,67           | 127,50 | 0,78               | 340,0           | ~~~~~        | Livello litoide                                                                                                        |              |
| 9,6          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 9,8          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            |                                                                                                                        |              |
| 10,0         |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -            |                                                                                                                        |              |

Prova n°: 2 Quota (m): -

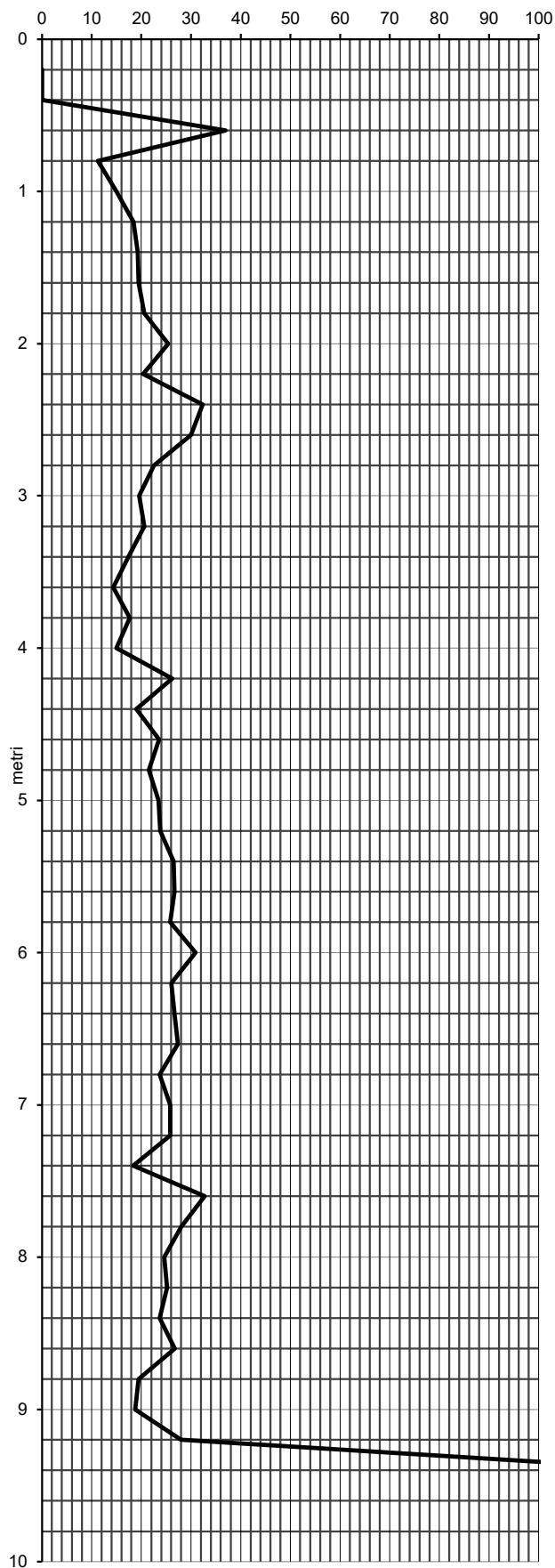
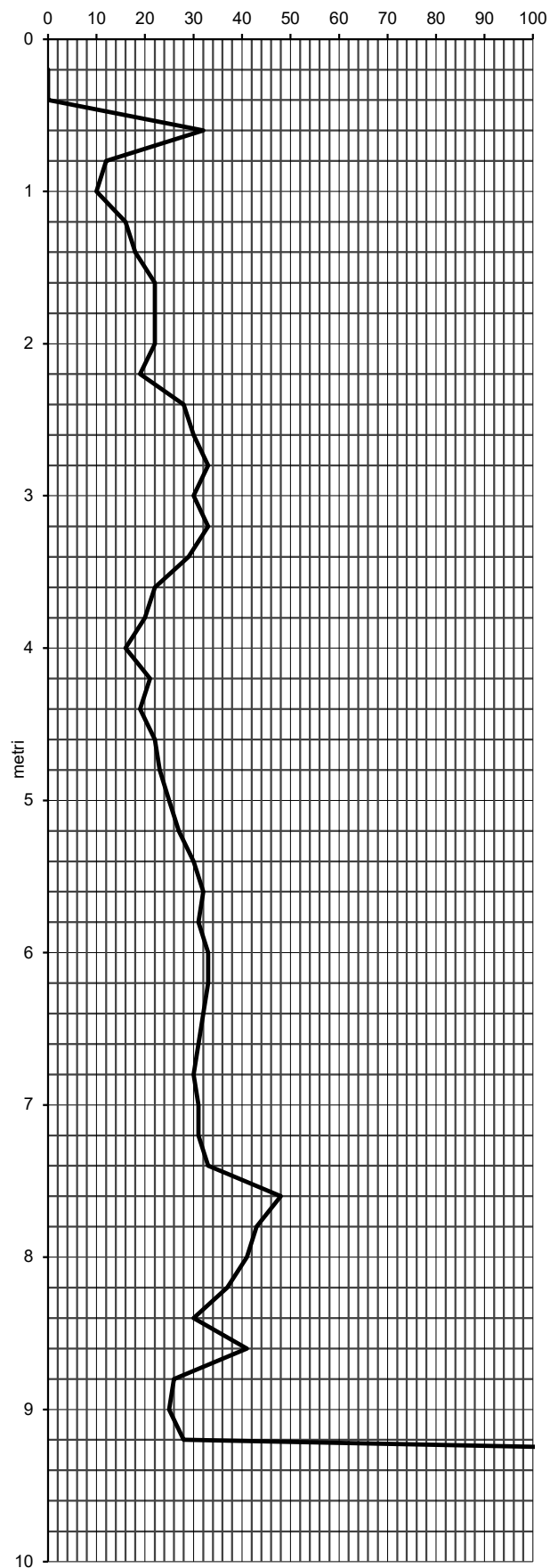
Data: 16/07/2018

Committente: Sig. Lenzini Diego

Località: Coscogno - Pavullo nel Frignano (Mo)

Resistenza alla Punta (Rp) - (kg/cmq)

Rp/RI



Legenda: Ao argille organiche; A argille; Al argille limose; La-L limi argillosi - limi; Ls-S limi sabbiosi-sabbie; S sabbie

Prova n°: **3** Quota (m): - Data: 16/07/2018

Committenza: Sig. Lenzi Diego

Località: Coscogno - Pavullo nel Frignano (Mo)

| Prof.<br>(m) | P<br>(kg/cmq) | P+L<br>(kg/cmq) | Rp<br>(kg/cmq) | RI<br>(kg/cmq) | Rp/RI  | FR%<br>(RI/Rp*100) | Rpm<br>(kg/cmq) | Falda<br>(m)   | Descrizione<br>litologica                                                 | Stratigrafia |
|--------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|--------|--------------------|-----------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 0,2          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -              | Terreno<br>agrario<br>superficiale                                        |              |
| 0,4          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -              |                                                                           |              |
| 0,6          | 12            | 26              | 12,00          | 0,93           | 12,86  | 7,78               |                 | -              |                                                                           |              |
| 0,8          | 17            | 29              | 17,00          | 0,80           | 21,25  | 4,71               |                 | -              |                                                                           |              |
| 1,0          | 14            | 33              | 14,00          | 1,27           | 11,05  | 9,05               |                 | -              |                                                                           |              |
| 1,2          | 10            | 16              | 10,00          | 0,40           | 25,00  | 4,00               |                 | -              | Argille limose<br>mediamente<br>compatte                                  |              |
| 1,4          | 8             | 13              | 8,00           | 0,33           | 24,00  | 4,17               |                 | -              |                                                                           |              |
| 1,6          | 7             | 12              | 7,00           | 0,33           | 21,00  | 4,76               |                 | -              |                                                                           |              |
| 1,8          | 13            | 19              | 13,00          | 0,40           | 32,50  | 3,08               |                 | -              |                                                                           |              |
| 2,0          | 14            | 25              | 14,00          | 0,73           | 19,09  | 5,24               |                 | -              |                                                                           |              |
| 2,2          | 21            | 32              | 21,00          | 0,73           | 28,64  | 3,49               | 14,5            | -              |                                                                           |              |
| 2,4          | 19            | 38              | 19,00          | 1,27           | 15,00  | 6,67               |                 | -              |                                                                           |              |
| 2,6          | 20            | 38              | 20,00          | 1,20           | 16,67  | 6,00               |                 | -              |                                                                           |              |
| 2,8          | 17            | 35              | 17,00          | 1,20           | 14,17  | 7,06               |                 | -              |                                                                           |              |
| 3,0          | 16            | 33              | 16,00          | 1,13           | 14,12  | 7,08               |                 | -              |                                                                           |              |
| 3,2          | 27            | 44              | 27,00          | 1,13           | 23,82  | 4,20               |                 | -              | Sequenza di<br>argille limose<br>compatte<br>e limi sabbiosi<br>addensati |              |
| 3,4          | 40            | 61              | 40,00          | 1,40           | 28,57  | 3,50               |                 | -              |                                                                           |              |
| 3,6          | 48            | 73              | 48,00          | 1,67           | 28,80  | 3,47               |                 | -              |                                                                           |              |
| 3,8          | 55            | 78              | 55,00          | 1,53           | 35,87  | 2,79               |                 | -3,8 m         |                                                                           |              |
| 4,0          | 45            | 72              | 45,00          | 1,80           | 25,00  | 4,00               |                 | foro<br>chiuso |                                                                           |              |
| 4,2          | 42            | 73              | 42,00          | 2,07           | 20,32  | 4,92               |                 | asciutto       |                                                                           |              |
| 4,4          | 39            | 71              | 39,00          | 2,13           | 18,28  | 5,47               |                 | -              |                                                                           |              |
| 4,6          | 28            | 51              | 28,00          | 1,53           | 18,26  | 5,48               |                 | -              |                                                                           |              |
| 4,8          | 25            | 50              | 25,00          | 1,67           | 15,00  | 6,67               |                 | -              |                                                                           |              |
| 5,0          | 37            | 52              | 37,00          | 1,00           | 37,00  | 2,70               |                 | -              |                                                                           |              |
| 5,2          | 23            | 53              | 23,00          | 2,00           | 11,50  | 8,70               |                 | -              |                                                                           |              |
| 5,4          | 38            | 69              | 38,00          | 2,07           | 18,39  | 5,44               | 44,7            | -              |                                                                           |              |
| 5,6          | 40            | 72              | 40,00          | 2,13           | 18,75  | 5,33               |                 | -              |                                                                           |              |
| 5,8          | 41            | 92              | 41,00          | 3,40           | 12,06  | 8,29               |                 | -              |                                                                           |              |
| 6,0          | 45            | 89              | 45,00          | 2,93           | 15,34  | 6,52               |                 | -              |                                                                           |              |
| 6,2          | 42            | 100             | 42,00          | 3,87           | 10,86  | 9,21               |                 | -              |                                                                           |              |
| 6,4          | 44            | 80              | 44,00          | 2,40           | 18,33  | 5,45               |                 | -              |                                                                           |              |
| 6,6          | 82            | 150             | 82,00          | 4,53           | 18,09  | 5,53               |                 | -              |                                                                           |              |
| 6,8          | 79            | 135             | 79,00          | 3,73           | 21,16  | 4,73               |                 | -              |                                                                           |              |
| 7,0          | 48            | 97              | 48,00          | 3,27           | 14,69  | 6,81               |                 | -              |                                                                           |              |
| 7,2          | 49            | 99              | 49,00          | 3,33           | 14,70  | 6,80               |                 | -              |                                                                           |              |
| 7,4          | 45            | 90              | 45,00          | 3,00           | 15,00  | 6,67               |                 | -              |                                                                           |              |
| 7,6          | 44            | 93              | 44,00          | 3,27           | 13,47  | 7,42               |                 | -              |                                                                           |              |
| 7,8          | 66            | 111             | 66,00          | 3,00           | 22,00  | 4,55               |                 | -              |                                                                           |              |
| 8,0          | 87            | 125             | 87,00          | 2,53           | 34,34  | 2,91               |                 | -              | Primo substrato                                                           |              |
| 8,2          | 95            | 140             | 95,00          | 3,00           | 31,67  | 3,16               | 167,3           | -              | Argilliti marnose                                                         |              |
| 8,4          | 320           | 350             | 320,00         | 2,00           | 160,00 | 0,63               |                 | -              | con trovanti litoidi                                                      |              |
| 8,6          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -              | Livello litoide                                                           |              |
| 8,8          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -              |                                                                           |              |
| 9,0          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -              |                                                                           |              |
| 9,2          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -              |                                                                           |              |
| 9,4          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -              |                                                                           |              |
| 9,6          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -              |                                                                           |              |
| 9,8          |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -              |                                                                           |              |
| 10,0         |               |                 | 0,00           | -              | -      | -                  |                 | -              |                                                                           |              |

Prova n°: 3 Quota (m): -

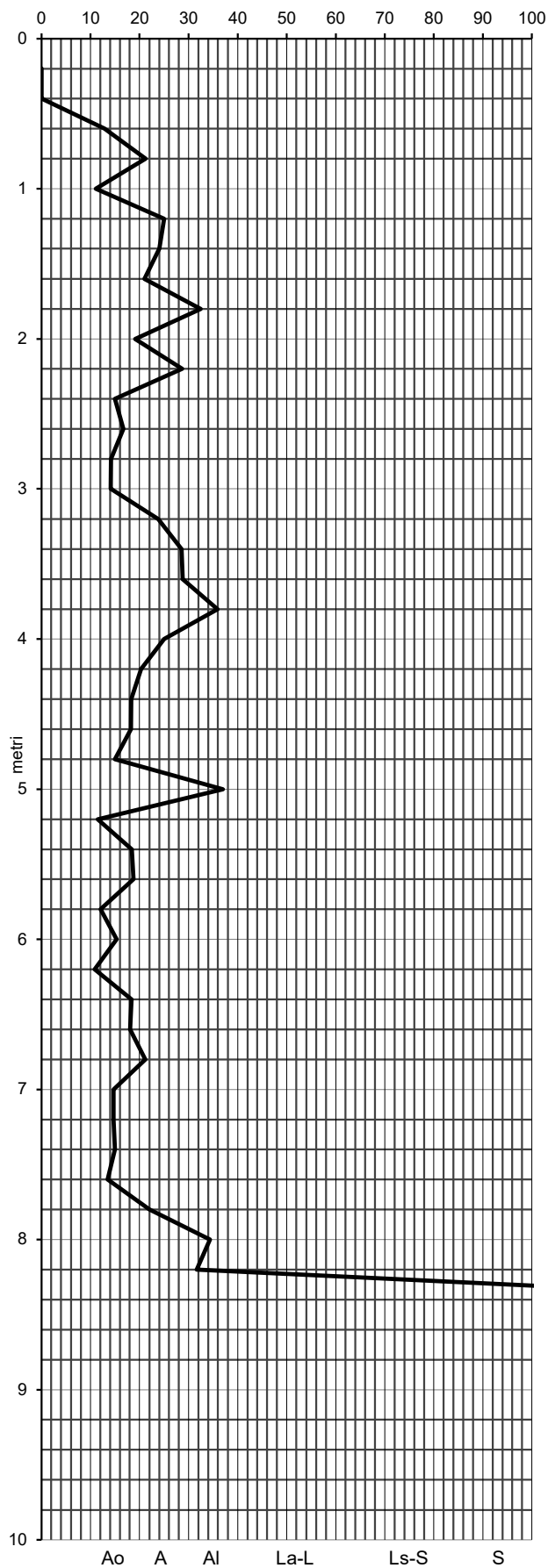
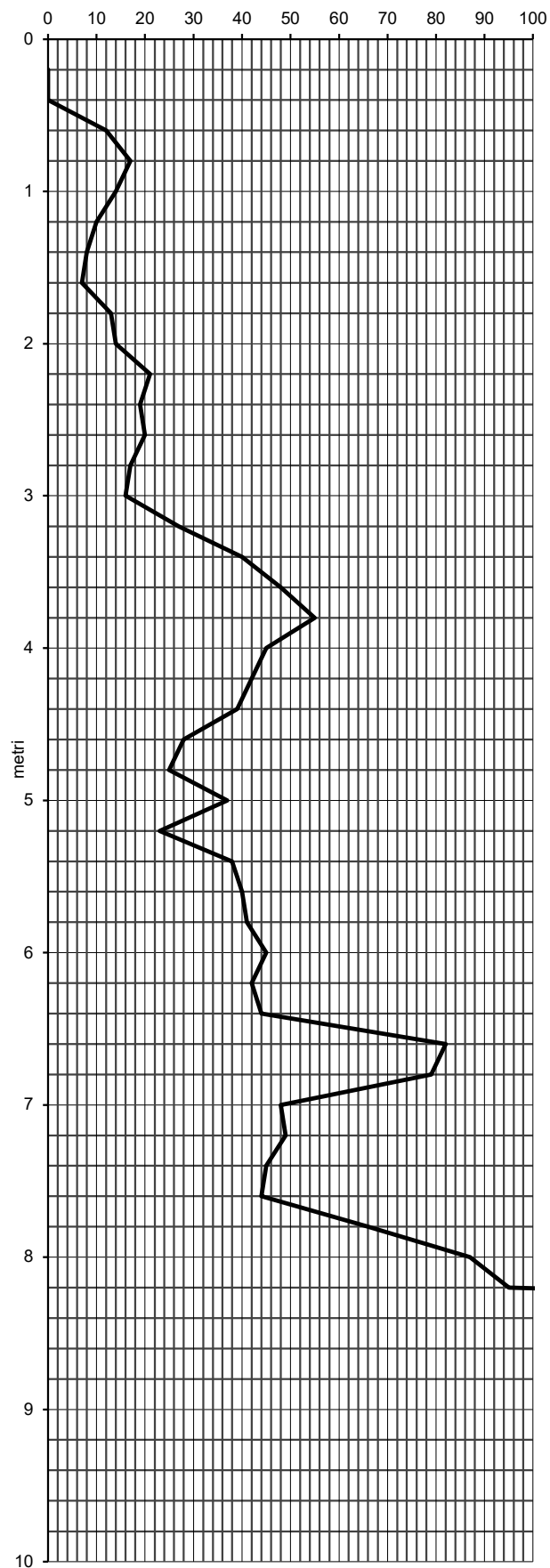
Data: 16/07/2018

Committente: Sig. Lenzini Diego

Località: Coscogno - Pavullo nel Frignano (Mo)

Resistenza alla Punta (Rp) - (kg/cmq)

Rp/Rl



Legenda: Ao argille organiche; A argille; Al argille limose; La-L limi argillosi - limi; Ls-S limi sabbiosi-sabbie; S sabbie

## ALLEGATO - 2 –

### INDAGINE SISMICA - HVSR

## INDAGINE SISMICA - HVSR Coscogno – Pavullo nel Frignano (Mo)

Instrument: TRZ-0162/01-11

Start recording: 16/07/18 11:03:02      End recording: 16/07/18 11:23:02

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 73% trace (manual window selection)

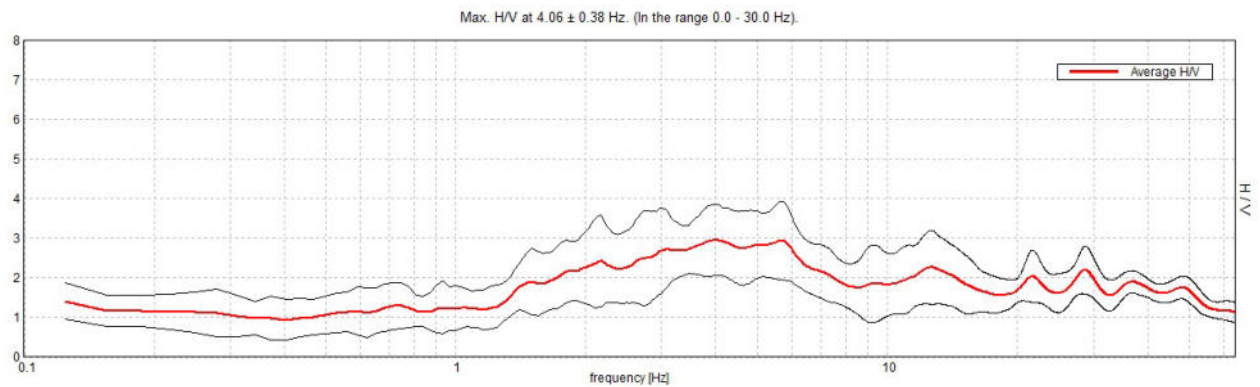
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

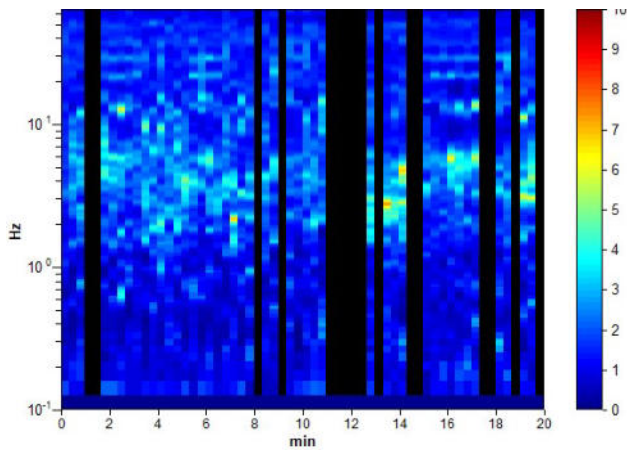
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

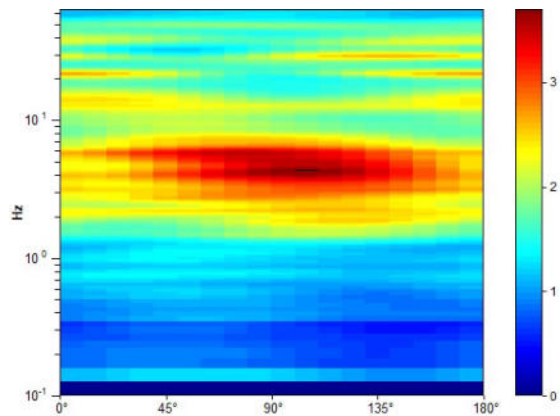
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



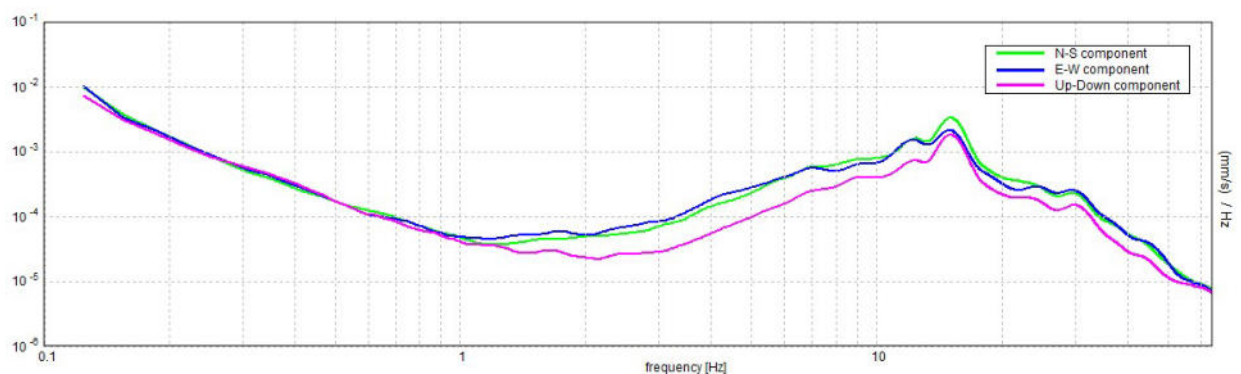
### H/V TIME HISTORY



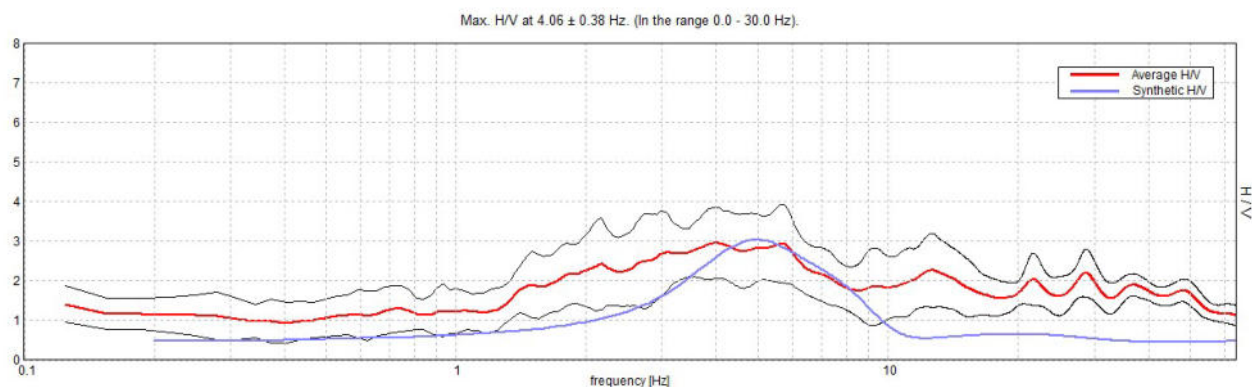
### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

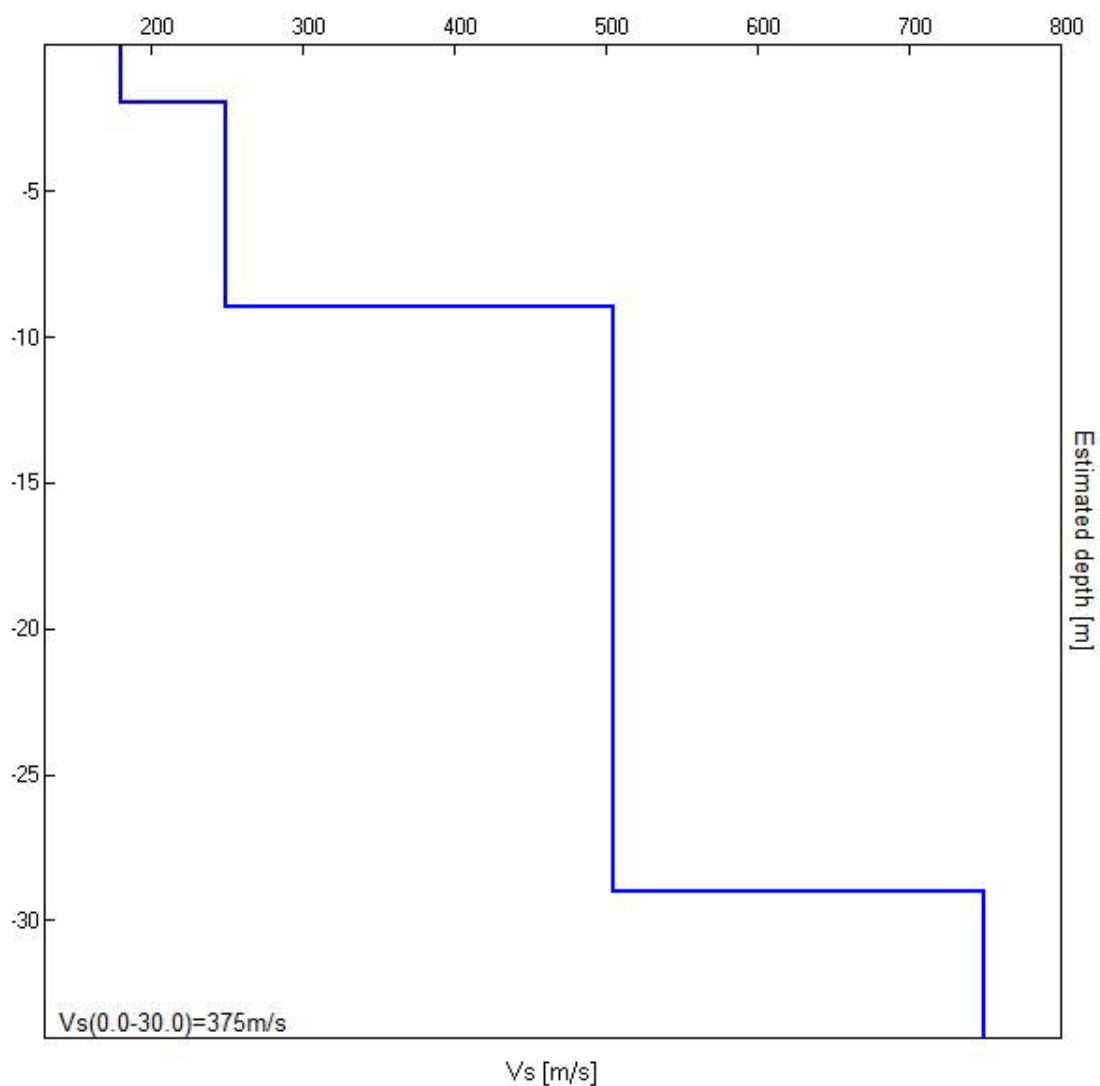


# EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



| Depth at the bottom of the layer [m] | Thickness [m] | Vs [m/s] | Poisson ratio |
|--------------------------------------|---------------|----------|---------------|
| 2.00                                 | 2.00          | 180      | 0.35          |
| 9.00                                 | 7.00          | 250      | 0.35          |
| 29.00                                | 20.00         | 505      | 0.35          |
| inf.                                 | inf.          | 750      | 0.35          |

**VsEq = Vs30 = 375m/s**



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

**Max. H/V at  $4.06 \pm 0.38$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

|                                                                                                                                        |                             |           |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|--|
| $f_0 > 10 / L_w$                                                                                                                       | $4.06 > 0.50$               | <b>OK</b> |  |
| $n_c(f_0) > 200$                                                                                                                       | $3575.0 > 200$              | <b>OK</b> |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$<br>$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 196 times | <b>OK</b> |  |

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

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

|                                                             |                     |           |           |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|-----------|-----------|
| Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$   | 1.313 Hz            | <b>OK</b> |           |
| Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$    |                     |           | <b>NO</b> |
| $A_0 > 2$                                                   | $2.95 > 2$          | <b>OK</b> |           |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.04599  < 0.05$  | <b>OK</b> |           |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                               | $0.18684 < 0.20313$ | <b>OK</b> |           |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                               | $0.4354 < 1.58$     | <b>OK</b> |           |

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

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

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