

# Comune di Montegiorgio

Provincia di Fermo  
*Relazione tecnico-geologica*

Oggetto: studio di fattibilità per la realizzazione e gestione della  
nuova residenza sanitaria assistenziale e casa di riposo

Località: Ex Convento dei Cappuccini

Committente: Amministrazione Comunale

Montegiorgio 02/10/19

il geologo

Dr. Geol. Giacomo Liberati



**Dr. GIACOMO LIBERATI**  
C.F. LBR GCM 65P09 F520X  
P.I. 01481650446  
N 447 O.R.G. MARCHE

**STUDIO DI GEOLOGIA**  
Via G. MAZZINI, 61  
MONTEGIORGIO (FM) - 63833  
tel. 0734/962580 - 335/8299719

*Opera dell'ingegno dell'autore - Riproduzione vietata, ogni diritto riservato - Art. 99 L.633/41 - Dr. Geol Giacomo Liberati*

## INDICE

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 1. PREMESSA                         | 1 |
| 2. UBICAZIONE TOPOGRAFICA           | 1 |
| 3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE  | 2 |
| 4. CARATTERI GEOLOGICI E TETTONICI  | 2 |
| 5. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE   | 2 |
| 6. RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITU | 3 |
| 6.1 Caratteristiche Stratigrafiche  | 3 |
| 6.2 Caratteristiche Meccaniche      | 3 |
| 7. NORME SISMICHE                   | 4 |
| 8. CONCLUSIONI                      | 4 |

## 1. PREMESSA

L'Amministrazione Comunale di Montegiorgio dovendo provvedere alla predisposizione di uno studio di fattibilità per la realizzazione e gestione della nuova residenza sanitaria assistenziale e casa di riposo, con determina del responsabile del servizio Lavori Pubblici e Patrimonio n°195 del 12 settembre 2019 Reg. Gen. 657/19, mi ha incaricato di eseguire uno studio sui terreni di fondazione al fine di verificare le condizioni geologiche, geomorfologiche e litotecnico-sismiche dell'area.

L'indagine geologico-tecnica è stata svolta in due fasi, la prima fase ha riguardato lo studio generale dell'area e la sua morfologia; la seconda l'accertamento della stratigrafia, della litologia e dell'idrogeologia profonda. Quest'ultima è stata condotta nell'area di sedime mediante due sondaggi meccanici a rotazione a secco, effettuati con trivelsonda e carotiere da 200 mm, spinti alla profondità massima di 19,00m.

I dati geotecnici e sismici sono stati desunti da una indagine effettuata nell'area interessata, con l'esecuzione di una prova penetrometrica statica E-CPT, con penetrometro statico modello Pagani TG 63, con spinta massima di 100 KN, attrezzato con una punta di tipo elettrico, spinta alla profondità massima di 10,69m dal p.c. e mediante l'ausilio di prove in situ, fatte sui terreni provenienti dai sondaggi, con il Penetrometro P1000 e lo Scissometro T1000 della ditta PASI che ha permesso di determinare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni intercettati; mentre le caratteristiche sismiche dell'area di sedime sono state ricavate con una indagine sismica HVSR con Tromografo digitale svolta nella porzione centrale dell'area di sedime che si allega alla presente relazione (Vedere foto allegate); entrambe le tipologie di prova sono state svolte dalla ditta Geodrill di Cerreto d'Esi.

Per la redazione degli allegati cartografici della presente relazione, ho utilizzato la carta geologica scala 1:10.000 in possesso dell'Amministrazione Comunale, edita a corredo dello studio del P.R.G., la Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 sezione n°314070 "Montegiorgio", la carta RI59 scala 1:10.000 allegata al P.A.I e le planimetrie fornite dall'Ufficio.

Il presente elaborato si compone dei seguenti allegati:

|   |                     |
|---|---------------------|
| N°1 CARTA GEOLOGICA                       | SCALA 1:10.000      |
| N°1 STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE      | SCALA 1:10.000      |
| N°1 STRALCIO CARTA DEL P.A.I. REGIONALE   | SCALA 1:10.000      |
| N°1 PLANIMETRIA CATASTALE                 | SCALA 1:2.000-1:500 |
| N°2 PROFILI STRATIGRAFICI                 | SCALA 1:100         |
| N°1 PROFILO STRATIGRAFICO REPERITO        | SCALA 1:100         |
| N°1 SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA             | SCALA 1:200         |
| CERTIFICAZIONE DELLA PROVA PENETROMETRICA |                     |
| CERTIFICAZIONE DELLA PROVA SISMICA        |                     |
| DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA                |                     |

## 2. UBICAZIONE TOPOGRAFICA

L'area in oggetto è sita alla sommità del colle ove sorge l'ex Convento dei Frati Cappuccini, ad una quota compresa fra le isoipse 370m-363m s.l.m. È individuabile nella Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 sezione n°314070, "Montegiorgio" e nella planimetria catastale al Foglio n°29 particella n°58 del n.c.u.

### 3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

L'area di sedime è situata alla sommità del crinale principale sul quale sono stati edificati il convento dei Frati Cappuccini, il Cimitero di Montegiorgio ed il centro urbano più ad Est. Tale crinale funge da spartiacque fra i bacini idrografici dei fiumi Tenna ed Ete Morto, su di esso si impostano i fossi Tarucchio e Castagneto, affluenti dei nominati fiumi, che costituiscono i principali dreni della zona.

Il litotipo, presente nella zona, è costituito da corpi arenaceo-pelitici in alto e pelitico-arenacei più in basso, ascrivibili al Pliocene medio-Pleistocene inferiore. Gli strati non sono stati intercettati nei sondaggi svolti ma negli affioramenti presenti più ad ovest lungo le scarpate morfologiche del citato crinale.

Nel corso delle indagini ho rilevato sotto il suolo agrario, fino al termine dei sondaggi, alla profondità massima di 19,00m, la presenza di colluvio sabbioso-argilloso in superficie e a prevalenza sabbiosa più in profondità, con buone caratteristiche geomeccaniche sovrastante la formazione di base, costituita da sabbie e argille stratificate; questa come detto non è stata intercettata nel corso delle attuali indagini ma fu intercettata durante la campagna geognostica per la costruzione di nuove edicole funerarie, svolta circa 300m più ad Ovest, nel sondaggio n°1 da circa 17,00 m dal p.c. fino alla profondità di circa 20,20m.

Per quanto concerne la stabilità della zona, non ho osservato forme di movimenti gravitativi di masse che coinvolgano l'area in esame. A circa duecento metri da essa è presente una perimetrazione del P.A.I. identificata con la sigla F19-0401, come area coinvolta da soliflusso attivo, a rischio R1 e pericolosità P1, cioè appartenente alla classe più bassa, a rischio e pericolosità moderata (vedi cartografia). La zona a valle del cimitero sul versante nord, è interessata da rigonfiamenti e contropendenze che indicano dei movimenti limitati alla porzione superficiale dei terreni incontrati. Tali movimenti sono in parte dovuti alla pendenza che mediamente è di circa 16°, anche se lungo il versante sono presenti zone acclivi intervallate da zone pianeggianti. Data la distanza e la tipologia di fenomeni si può affermare che questi non avranno alcuna influenza sulle opere in progetto

Le condizioni geomorfologiche risultano, quindi, soddisfacenti in relazione alla litologia dei terreni ed alla superficie topografica, che nell'area, si presenta leggermente inclinata verso Sud-Ovest, a garanzia d'equilibrio per le opere in progetto.

### 4. CARATTERI GEOLOGICI E TETTONICI

La coltre colluviale descritta in precedenza, ricopre il basamento litico che, nella zona, è costituito da una alternanza di strati di sabbie ed argille appartenenti alla formazione marina epibatiale dell'arenaceo-pelitica ascrivibile al Pleistocene inferiore. La formazione è stata individuata, come già detto, ad Ovest sui tagli e le scarpate presenti lungo il versante.

Nell'area di sedime non ho riscontrato segni di dislocazioni tettoniche, ho potuto verificare la giacitura dei piani di strato, che ha un'immersione verso nord-est, con inclinazione di pochi gradi (circa 5°-7°) in analogia con la caratteristica della monoclinale regionale. Gli strati si presentano quindi a reggipoggio-traverpoggio rispetto all'andamento del crinale.

### 5. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

La circolazione idrica di superficie è regolata dalle strutture fognanti essendo la zona urbanizzata, le acque di scorrimento superficiale, se non captate da questo, sono

convogliate dall'apparato idrografico dei fossi Tarucchio e Castagneto che, tramite solchi e fossetti, drenano tutte le acque di ruscellamento superficiale, convogliandole nei fiumi Tenna ed Ete Morto che costituiscono i principali dreni delle corrispondenti vallate.

Durante l'esecuzione dei sondaggi spinti fino a 19,00m dal p.c. non sono state intercettate manifestazioni idriche sotterranee ed i terreni hanno mostrato un tenore di umidità naturale. Considerando la morfologia della zona e la litologia incontrata, ritengo che non sia favorito l'accumulo di acqua a quote che possano influenzare le nuove strutture di fondazione.

## 6. RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITU

Le indagini in situ, come già accennato, sono state svolte provvedendo all'esecuzione di due sondaggi meccanici a rotazione a secco effettuati con trivelsonda con carotiere da 200mm, spinti alla profondità massima di 19,00m. I dati geotecnici sono stati desunti da una indagine effettuata nell'area interessata, con l'esecuzione di una prova penetrometrica statica CPT, con penetrometro statico modello Pagani TG 63, dotato di una spinta massima di 100 KN e punta di tipo elettrico; sono inoltre state utilizzate le prove in situ fatte sui terreni provenienti dai sondaggi, con il Penetrometro P1000 e lo Scissometro T1000 della ditta PASI.

### 6.1 Caratteristiche Stratigrafiche

In base a quanto appena esposto è stato possibile ricostruire il seguente andamento stratigrafico dell'area:

- da 0,00m a 0,40m dal p.c.  
Suolo agrario.
- da 0,40m 19,00m dal p.c.  
Colluvio limoso - sabbioso leggermente argilloso a diverso predominio con concrezioni, noduli calcarei e frustoli carboniosi in superficie.

### 6.2 Caratteristiche Meccaniche

Dalle prove in situ effettuate è possibile definire la seguente parametrizzazione meccanica dei terreni in successione:

#### - *Suolo agrario*

Non classificabile meccanicamente ed inutilizzabile come terreno di fondazione.

#### - *Limo sabbioso leggermente argilloso a diverso predominio (Colluvio)*

|  |                              |
|--|------------------------------|
| $\gamma = 1,95 - 2,15 \text{ Kg/dm}^3$ | peso di volume               |
| $C_u = 1,28 - >2,40 \text{ Kg/cm}^2$   | coesione non drenata         |
| $q_u = 2,0-5,0 \text{ Kg/cm}^2$        | resistenza alla compressione |
| $\phi > 24^\circ$                      | angolo d'attrito interno     |
| $D_r > 58\%$                           | densità relativa             |

### - Sabbie ed argille stratificate (Bedrock)

|                                     |                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| $\gamma = 2,20$ Kg/cm <sup>3</sup>  | peso di volume                        |
| $q_u > 6$ Kg/cm <sup>2</sup>        | resistenza alla compressione semplice |
| $C_u > 2,4$ Kg/cm <sup>2</sup>      | coesione non drenata                  |
| $\phi > 30^\circ$                   | angolo d'attrito interno              |
| $K > 10$ Kg/cm <sup>3</sup>         | modulo di sottofondo di Winkler       |
| Non intercettate durante i sondaggi |                                       |

## 7. NORME SISMICHE

L'area ricade nel territorio del comune di Montegiorgio, appartenente alla Zona sismica 2.

Sulla base dei risultati delle indagini, la classificazione sismica dei terreni è stata effettuata sui litotipi intercettati nelle indagini. Questi saranno i terreni interessati dell'opera in progetto e ricadono nel **Gruppo C**, così come indicato nella Tabella 3.2.II del paragrafo 3.2.2 "Categorie di sottosuolo" del D.M. 17 gennaio 2018 in quanto la  $V_{S30\text{ eq}}$  è pari a **268m/s** e quindi  $180\text{m/s} > V_{S30\text{ eq}} > 360\text{m/s}$ .

Bisogna tenere conto però della frequenza massima di picco del sito, che nell'area assume un valore di **2,00 ± 0,26Hz**. Si evidenzia inoltre che l'area sollecitata dal sisma, **amplifica le onde di superficie con un fattore  $\geq 2$  nei range  $1,12\text{ Hz} \leq f \leq 3,15\text{ Hz}$ ,  $8,46\text{ Hz} \leq f \leq 10,77\text{ Hz}$ , con picchi rispettivamente a  $2,00\text{ Hz}$ ,  $9,66$** . Essendo la frequenza di picco nell'intervallo delle frequenze di risonanza delle normali strutture, è necessario che la struttura in oggetto abbia una frequenza inferiore a quella del sottosuolo o che venga progettata con frequenze proprie principali maggiori di almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo, se ciò non potrà essere rispettato la categoria del sottosuolo dovrà essere declassata alla categoria E.

Per quanto concerne la definizione della categoria topografica, in base alla Tabella 3.2.III del paragrafo 3.2.2 "Categorie di sottosuolo" del D.M. 17 gennaio 2018, l'area appartiene alla categoria **T2** in quanto l'inclinazione media del versante rivolto a sud-Est è di **16°**, con la cresta molto larga rispetto alla base del versante, quindi con inclinazione media  **$i > 15^\circ$** .

## 8. CONCLUSIONI

In base ai risultati delle indagini preliminari svolte, si può dichiarare la fattibilità tecnico-geologica delle opere in progetto non essendoci, nell'area interessata ed in suo intorno significativo, particolari problematiche di carattere geologico-geotecnico che ne impediscano la realizzazione.

La presente relazione con gli allegati elaborati viene consegnata in data odierna in evasione all'incarico ricevuto.

Montegiorgio li 2 ottobre 2019

Il professionista  
Dr. Geol. Giacomo Liberati

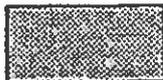


# CARTA GEOLOGICA

## Comune di Montegiorgio



SCALA 1:10.000



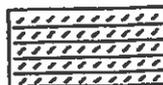
DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI



AREA IN STUDIO



ASSOCIAZIONE PELTICA (Pleistocene inferiore)



ASSOCIAZIONE ARENACEO-PELTICA (Pleistocene inferiore)

Inattivo

Attivo



ACCUMULO DI FRANA



LIMITE GEOLOGICO CERTO O PRESUNTO



FAGLIA CERTA O PRESUNTA



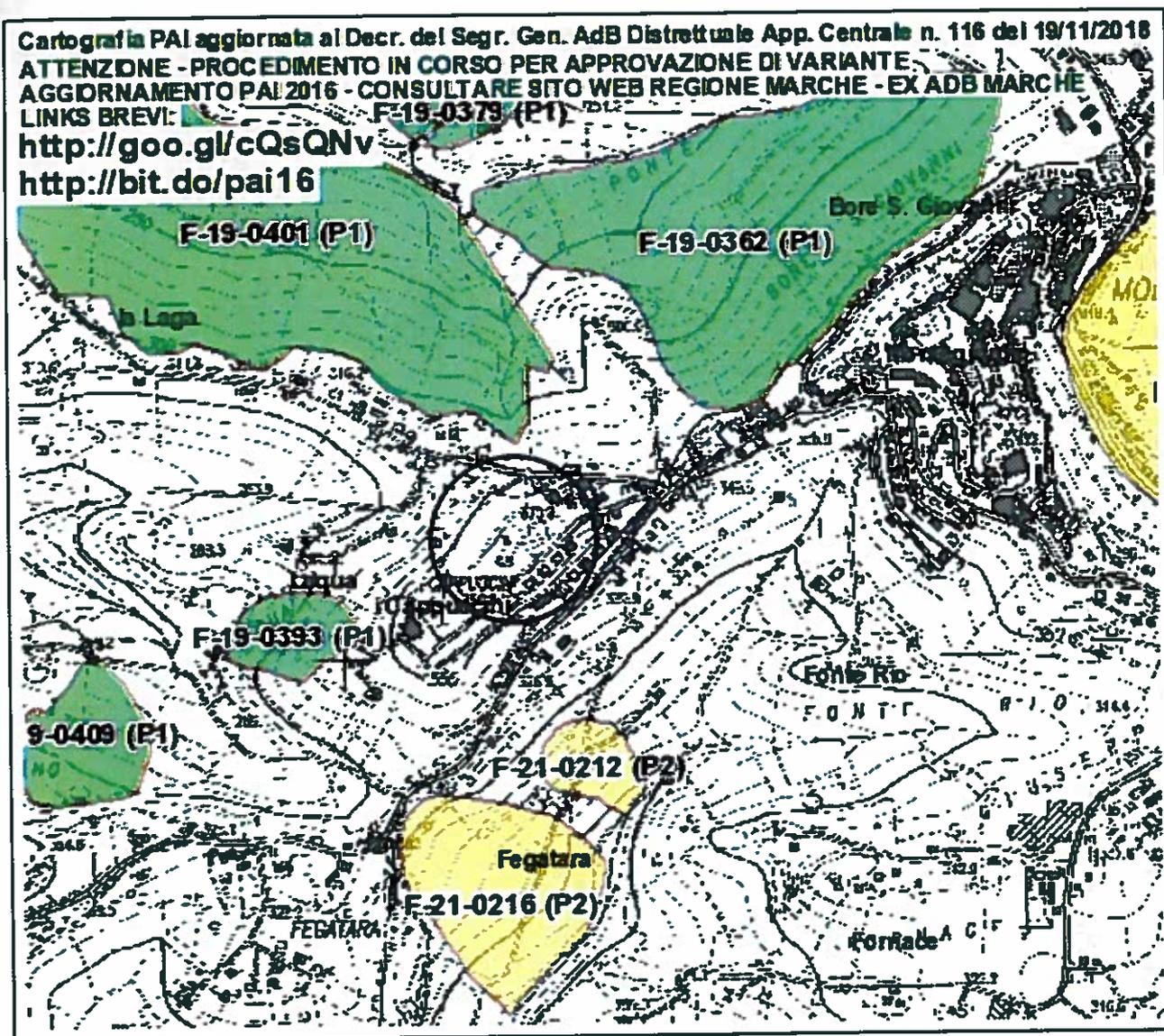
# COMUNE DI MONTEGIORGIO

Provincia di Fermo

Studio di fattibilità per la realizzazione e gestione della nuova residenza  
sanitaria assistenziale e casa di riposo

Amministrazione Comunale

Montegiorgio



Perimetrazione P.A.I. – Tav RI59 – scala 1:10.000



area in studio

# STRALCIO DELLA PLANIMETRIA CATASTALE

SCALA 1:2.000

SCALA 1:500

--- Linea di sezione



Punto scatto foto



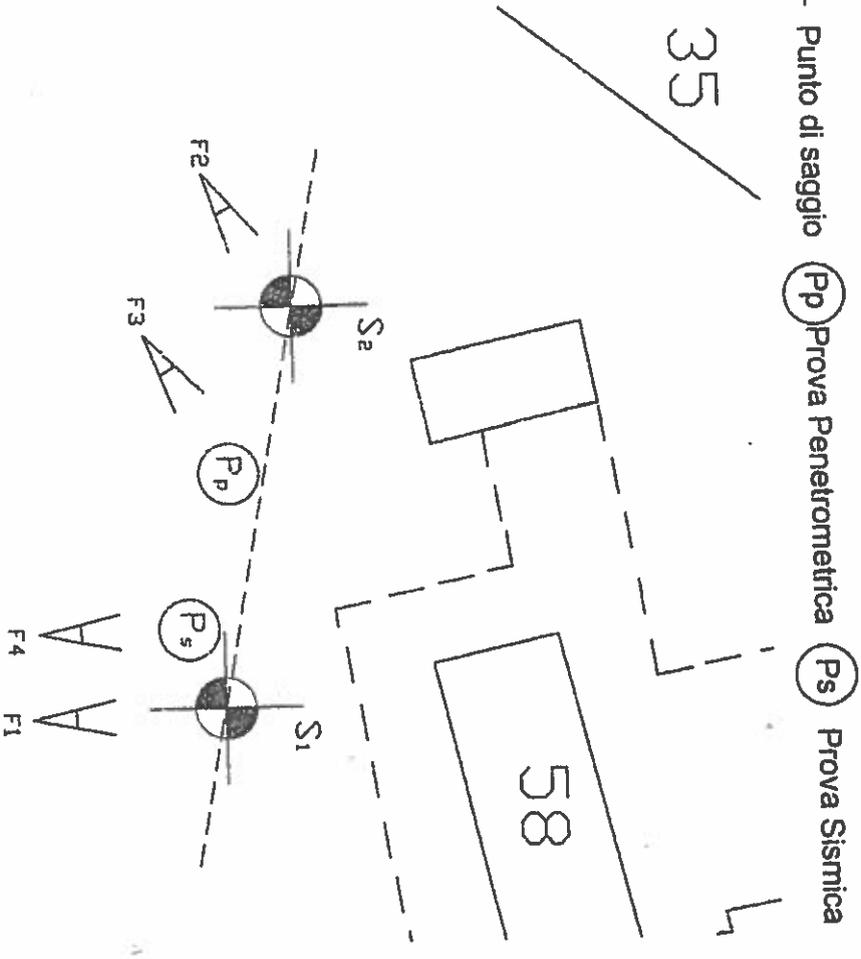
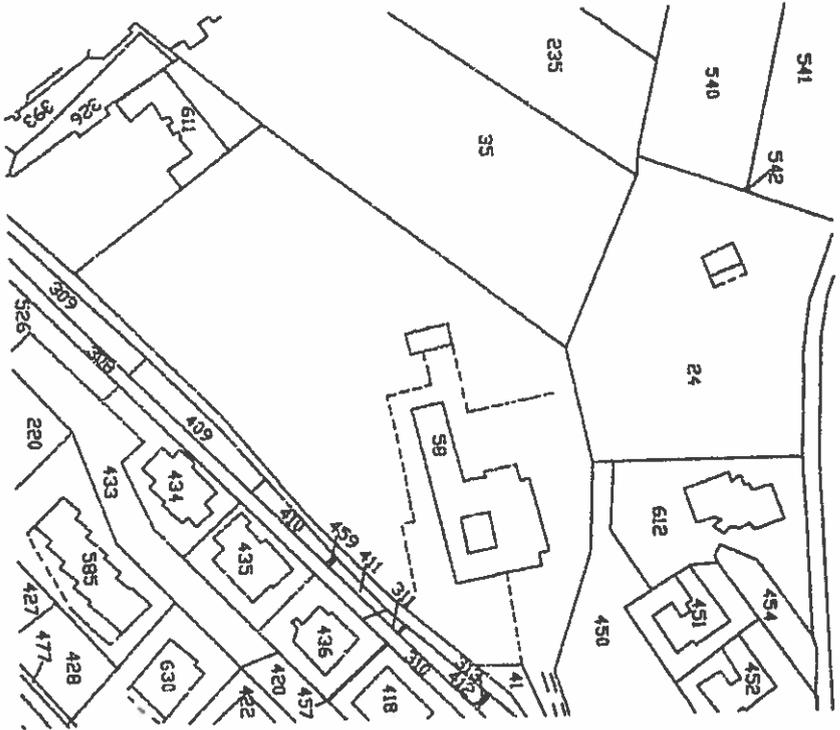
Punto di saggio



Prova Penetrometrica



Prova Sismica



COMMITTENTE: Amministrazione Comunale  
 LOCALITÀ: Ex Convento dei Cappuccini  
 COMUNE: Montegiochio  
 FOGLIO N°29 - PARTICELLA n°58

STUDIO GEOLOGICO  
 Dr. GIACOMO LIBERATI N° 447 O.R.G.  
 Via G. MAZZINI, 61 MONTEGGIORGIO 63833  
 P.I. 01481650446 - C.F. LBR GCM 65P09 F520X

Comune: Montegiorgio  
 Località: ex Convento dei Cappuccini  
 Amministratore: Amministrazione Comunale

SONDAGGIO N. 1  
 PROFONDITA' m. 19,00  
 QUOTA S.L.M. 368

| CONOSSOMETRO<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |    | PENETROMETRO<br>GRADI |      | P. DI VOL.<br>(Kg/dmc) | QUOTA<br>FALDA | QUOTA<br>REL. | SIMBOLO<br>GRAFICO | DESCRIZIONE TERRENO  |
|---------------------------------------|----|-----------------------|------|------------------------|----------------|---------------|--------------------|--|
| Cu                                    | C' | qu                    | φ    | γ                      |                |               |                    |  |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 0,0           |                    | Suolo agrario  |
| 2,4                                   |    | 4,0                   | >23° | 1,95                   |                | 1,0           |                    | Limo sabbioso con noduli e concrezioni calcaree, di colore nocciola; |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 2,0           |                    |  |
|                                       |    | 2,5                   |      |                        |                | 3,0           |                    |  |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 4,0           |                    |  |
|                                       |    | 1,0                   |      |                        |                | 5,0           |                    | livello più umido e sabbioso;  |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 6,0           |                    | paleosuolo più argilloso, marrone;                                   |
|                                       |    | 2,0                   |      |                        |                | 7,0           |                    |  |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 8,0           |                    |  |
|                                       |    | 1,8                   |      |                        |                | 9,0           |                    |  |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 10,0          |                    | paleosuolo più argilloso, marrone;                                   |
|                                       |    | 2,5                   |      |                        |                | 11,0          |                    |  |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 12,0          |                    |  |
|                                       |    | 4,8                   |      |                        |                | 13,0          |                    |  |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 14,0          |                    |  |
|                                       |    | 5,5                   |      |                        |                | 15,0          |                    |  |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 16,0          |                    |  |
|                                       |    | 5,0                   |      |                        |                | 17,0          |                    |  |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 18,0          |                    | il colore diventa grigio-verde;                                      |
|                                       |    | 5,0                   |      |                        |                | 19,0          |                    | FINE DEL SONDAGGIO   |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 20,0          |                    |  |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 21,0          |                    |  |
|                                       |    |                       |      |                        |                | 22,0          |                    |  |

COMUNE: Montegiorgio  
 SOTTIETIERE: ex Convento del Cappuccini  
 COMMITTENTE: Amministrazione Comunale

SONDAGGIO N. 2  
 PROFONDITA' m. 12,00  
 QUOTA S.L.M. 366

| CUI  | SCISSOMETRO<br>(kg/cmq) |     | PENETROMETRO<br>GRADI |          | P. DI VOL.<br>(Kg/dmc) | QUOTA<br>FALDA | QUOTA<br>REL. | SIMBOLO<br>GRAFICO | DESCRIZIONE TERRENO  |
|------|-------------------------|-----|-----------------------|----------|------------------------|----------------|---------------|--------------------|--|
|      | C'                      | qu  | $\phi$                | $\gamma$ |                        |                |               |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 0,0           |                    | Suolo agrario  |
| >2,1 |                         | 4,3 | >23°                  | 1,95     |                        |                | 1,0           |                    | Limo sabbioso con noduli e concrezioni calcaree, di colore nocciola; |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 2,0           |                    |  |
| 2,4  |                         | 2,8 |                       |          |                        |                | 3,0           |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 4,0           |                    |  |
| 2,3  |                         | 3,0 |                       |          |                        |                | 5,0           |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 6,0           |                    | paleosuolo più argilloso, marrone;                                   |
| 2,4  |                         | 4,0 |                       |          |                        |                | 7,0           |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 8,0           |                    |  |
|      |                         | 4,5 |                       |          |                        |                | 9,0           |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 10,0          |                    |  |
|      |                         | 6,0 |                       |          |                        |                | 11,0          |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 12,0          |                    | FINE DEL SONDAGGIO   |
|      |                         | 4,8 |                       |          |                        |                | 13,0          |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 14,0          |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 15,0          |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 16,0          |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 17,0          |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 18,0          |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 19,0          |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 20,0          |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 21,0          |                    |  |
|      |                         |     |                       |          |                        |                | 22,0          |                    |  |

ROTAZIONE A SECCO



COMUNE: Montegiorgio  
 CANTIERE: Civico Cimitero  
 COMMITTENTE: Amministrazione Comunale

SONDAGGIO N. 1  
 PROFONDITA' m. 20,20  
 QUOTA S.L.M. 360

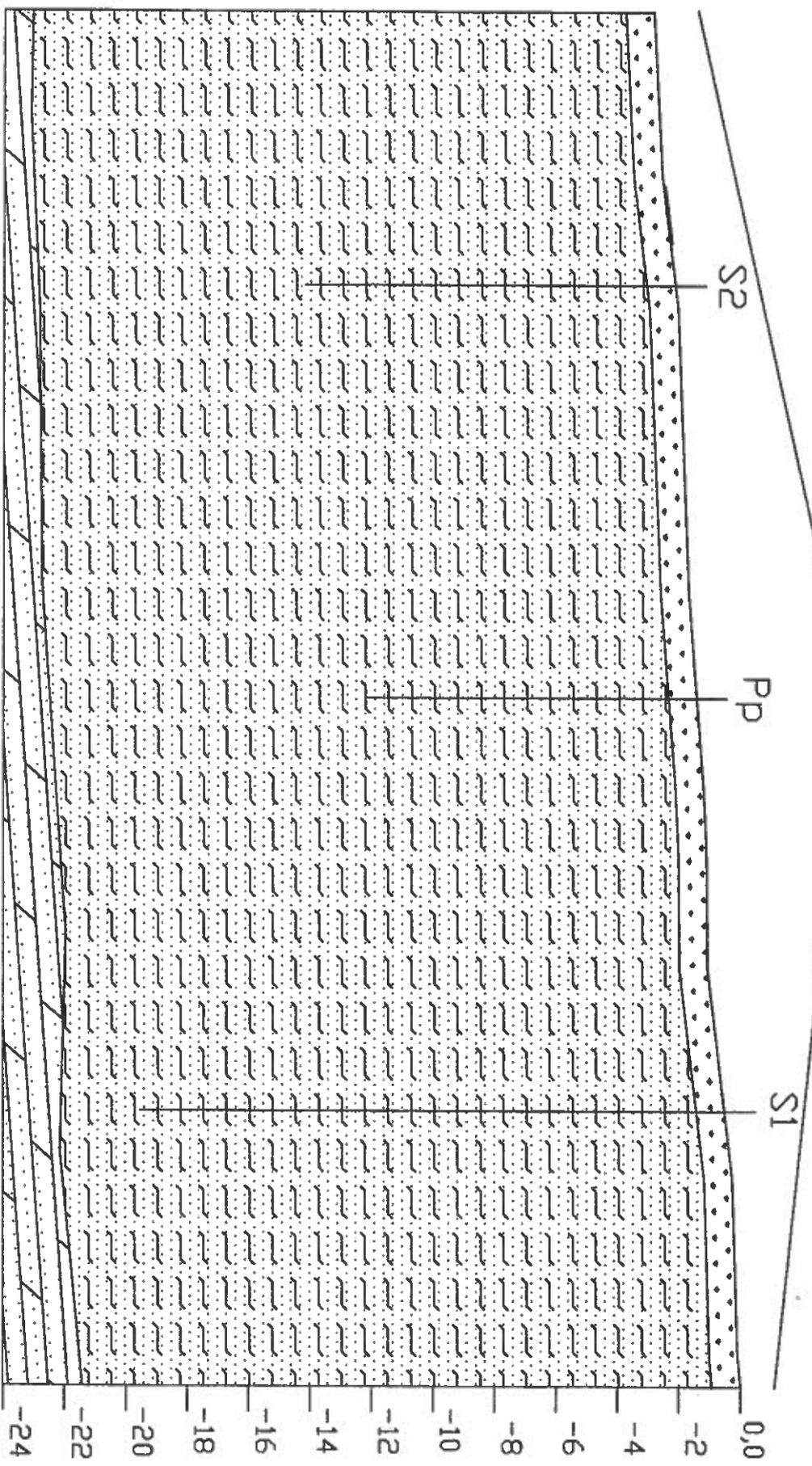
| PERFORAZ.<br><br>ROTAZIONE A SECCO | SCISSOMETRO           |      | PENETROMETRO |      | P. DI VOL. | QUOTA FALDA | QUOTA REL. | SIMBOLO GRAFICO | DESCRIZIONE TERRENO  |
|------------------------------------|-----------------------|------|--------------|------|------------|-------------|------------|-----------------|--|
|                                    | (kg/cm <sup>2</sup> ) |      | GRADI        |      | (Kg/dmc)   |             |            |                 |  |
|                                    | Cu                    | C'   | qu           | φ    | γ          |             |            |                 |  |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 0,0        |                 | Suolo agrario  |
| 1,8                                |                       | 2,0  | >23°         | 1,95 |            |             | 1,0        |                 | Limo sabbioso con noduli e concrezioni calcaree, di colore nocciola; |
| 2,0                                |                       | 3,0  |              |      |            |             | 2,0        |                 |  |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 3,0        |                 |  |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 4,0        |                 |  |
| 1,6                                |                       | 2,5  |              |      |            |             | 5,0        |                 |  |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 6,0        |                 |  |
| 2,2                                |                       | 3,8  |              |      |            |             | 7,0        |                 |  |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 8,0        |                 |  |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 9,0        |                 |  |
| >2,4                               |                       | 5,0  |              |      |            |             | 10,0       |                 |  |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 11,0       |                 |  |
| >2,4                               |                       | 4,8  |              |      |            |             | 12,0       |                 |  |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 13,0       |                 |  |
| 1,7                                |                       | 2,2  |              |      |            |             | 14,0       |                 |  |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 15,0       |                 |  |
| >2,4                               |                       | 5,0  |              |      |            |             | 16,0       |                 |  |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 17,0       |                 |  |
| >2,4                               |                       | 6,0  | >26°         | 205  |            |             | 17,0       |                 | sabbie prevalenti ed argille fit-                                    |
| >2,4                               |                       | >6,0 | >28°         | 2,10 |            |             | 18,0       |                 | tamente strtificatè, nel primo                                       |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 18,0       |                 | tratto risultano nocciola-ruggine                                    |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 19,0       |                 | ed alterate. In profondità diven-                                    |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 19,0       |                 | tano grigio-azzurre.   |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 20,0       |                 |  |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 20,0       |                 | FINE DEL SONDAGGIO   |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 21,0       |                 |  |
|                                    |                       |      |              |      |            |             | 22,0       |                 |  |

REPERITO

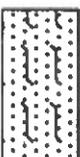
# Sezione Litostraigrafica Interpretativa

## Scala 1:200

area di sedime



Committente  
 Amministrazione Comunale  
 Ex Convento dei Cappuccini  
 Monteglorgio

-  Suolo agrario e di riporto
-  Limo sabbioso leggermente argilloso
-  Arenaceo-Pellitica bedrock

Studio di Geologia  
 Dr. Giacomo Liberati  
 Via G. Mazzini, 61  
 63833 Monteglorgio



**Geodrill** s.a.s.  
Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.  
**SERVIZI GEOLOGICI**  
Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340  
60043 Cerreto d'Esis(AN)  
P. IVA. 02334920424  
E-Mail: a\_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esis, il 31 luglio 2019

COMMITENTE: Amm.ne Com.le di Montegiorgio

CANTIERE: Cappuccini

#### PROVA E-CPT: SCHEDA TECNICA E LEGENDA

##### caratteristiche tecniche del penetrometro

Tipo di attrezzatura: penetrometro statico PAGANI semovente TG 63-100 standard  
Capacità di spinta: 100 kN

##### Punta digitale PAGANI

| Sensori di misura             |         | Dimensioni                            |         |
|-------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|
| Resistenza di punta ( $q_c$ ) | 50 Mpa  | Apertura cono                         | 60°     |
|                               |         | Area punta                            | cmq.10  |
| Attrito laterale ( $f_s$ )    | 0,5 Mpa | Rapporto delle aree di punta (a)      | 0,80    |
|                               |         | Area manicotto di attrito             | cmq.150 |
| Pressione nei pori (u)        | 2,5 Mpa | Rapporto delle aree del manicotto (b) | 0       |
|                               |         | Diametro                              | mm.36   |
| Inclinazione                  | 0°-20°  | Peso                                  | Kg.2,1  |
|                               |         | Lunghezza totale                      | mm.413  |

##### legenda per la rappresentazione grafica

$f_s$  = resistenza specifica locale al manicotto  
 $q_c$  = resistenza specifica al cono statico  
 $R_f$  = rapporto della resistenza ( $f_s/q_c$ )  
 $Tilt$  = inclinazione

##### legenda per la caratterizzazione geomeccanica

$q_c$  = resistenza specifica al cono statico  
 $q_{cm}$  = resistenza specifica al cono statico media per quel determinato strato  
 $\sigma_{v\text{eff}}$  = pressione verticale efficace (stima)  
 $D_r$  = densità relativa (Lancellotta, 1983)  
 $\phi$  = angolo di attrito (Caquot, Koppejan, De Beer, Schmertmann)  
 $E$  = modulo di Young (Robertson & Campanella, 1983)  
 $C_u$  = coesione non drenata (Terzaghi,  $((q_{cm} - \sigma_{v\text{eff}})/N_k)$  Lunne, Robertson, Powell 1977)  
 $M$  = modulo di deformazione edometrica (metodo generale del modulo edometrico; Buisman)  
 $V_s$  = velocità delle onde di taglio (Iyisan, 1996)  
 $G$  = modulo di deformazione al taglio (Imai & Tomachi)  
 $E_u$  = modulo di deformazione non drenato (Cancelli 1980)



**Geodrill** s.a.s.  
Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.  
**SERVIZI GEOLOGICI**  
Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340  
60043 Cerreto d'Esi(AN)  
P. IVA: 02334920424  
E-Mail: a\_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, 11 31 luglio 2019

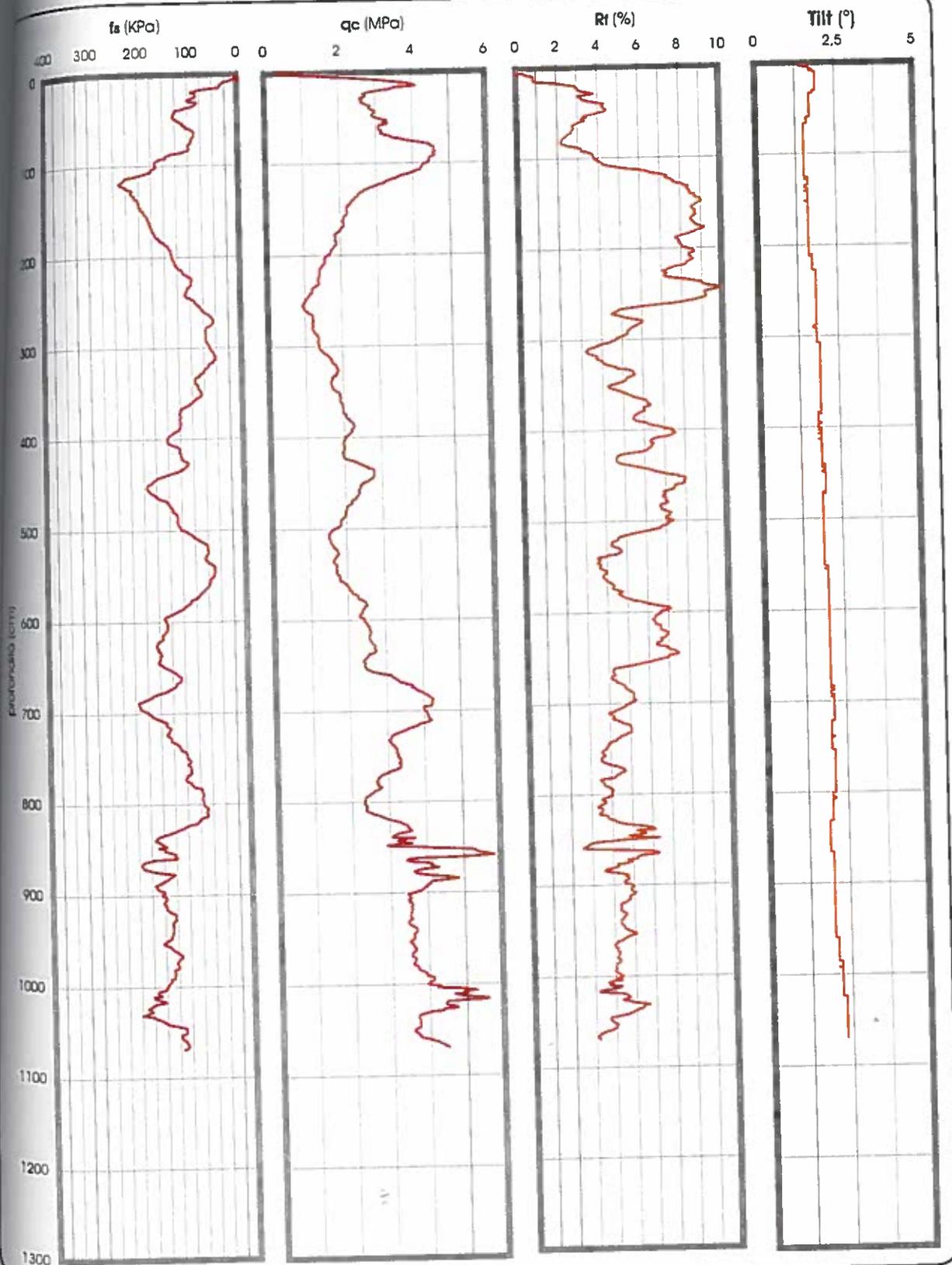
COMMITTENTE: Amm.ne Com.le di Montegiorgio

CANTIERE: Cappuccini

PROVA N.1 del 29/07/2019

PROF.: 10,69 m

**PROVA PENETROMETRICA STATICA E-CPT: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA**





### Introduzione e riferimenti normativi

Scopo dell'indagine HVSR, eseguita mediante tromografo digitale, è la determinazione della categoria sismica del suolo per il calcolo dell'azione sismica di progetto in funzione del parametro  $V_{seq}$  (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nel rispetto di: D.M. 17/01/2018 (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni)).

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche individuate dal valore  $a_g$  dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori di  $a_g$  (convenzionali), si riferiscono all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A (Tab.:1), in cui il moto sismico non subisce variazioni sostanziali, contrariamente a ciò che accade nei suoli di tipo B,C,D,E. I fattori che influenzano questo fenomeno sono l'intensità e la frequenza del moto stesso, le caratteristiche geotecniche, sismiche e lo spessore di suolo attraversato dal treno di onde per giungere in superficie.

L'indagine eseguita con tale metodologia MISURA DIRETTAMENTE le frequenze caratteristiche di sito permettendo così di effettuare un'analisi di amplificazione sismica locale al fine di ottenere una valutazione reale e diretta dello spettro di risposta del terreno, elemento di fondamentale importanza nello studio del fenomeno di doppia risonanza edificio-struttura descritto più avanti.

La Normativa, infatti, in assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale introduce un fattore di amplificazione  $S$  e periodi  $T$  che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%, per ricavare indirettamente quello stesso parametro che con la presente tecnica andiamo a misurare direttamente.

### Cenni sulla tecnica utilizzata (tecnica dei rapporti spettrali)

La tecnica HVSR, (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o tecnica di Nakamura), è una prospezione geofisica non invasiva che attraverso la misura del "rumore sismico", ovunque presente sulla superficie terrestre, fornisce dati sulle frequenze caratteristiche del sito investigato. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Tale tecnica, essendo una misurazione sismica passiva, non richiede la produzione di impulsi generati ad hoc come nel caso di sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Fig.1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo di riferimento, mentre la curva verde rappresenta il massimo di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti dalle onde oceaniche sulle coste.

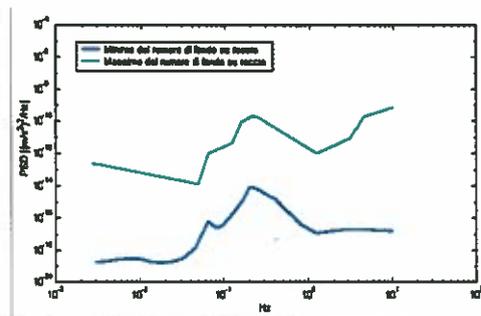


Fig.1: Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

### Strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 14 minuti, sono effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento Tromino, 10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

### Stratigrafia sismica da indagini a stazione singola

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

### Basi teoriche del metodo H/V

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Fig. 2 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

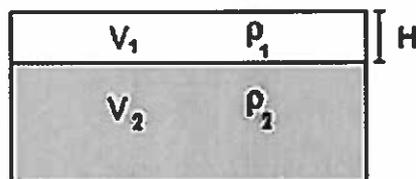


Fig. 2: Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità  $\rho$  e velocità di propagazione  $V$



Cerreto d'Esse il 31 luglio 2019  
Comm.: Amm.ne Com.le di Montegiorgio  
Cant.: Cappuccini – Montegiorgio (FM)  
Indagine HVSR - N°: 1 del: 29/07/2019

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $l$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $H$  del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_r) = V_s l / 4H \quad (f_r) = V_p l / 4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva  $H/V$  relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto  $H/V$ , che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti  $H/V$  misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali  $H/V$  ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, e nei casi più significativi, le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

#### Procedura di analisi dati

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, con parametri:
  - ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
  - ⇒ lisciamiento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
  - ⇒ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2,
  - ⇒ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto precedente).

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità  $h$  delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

$$H = \left[ \frac{V_0^2 (1 - a^2)}{4G_1} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

in cui  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato,  $a$  un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e  $v$  la frequenza fondamentale di risonanza. Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le

curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love. Si fa notare che ai fini di questi modelli le  $V_p$  e la densità  $\rho$  dei mezzi sono quasi ininfluenti pertanto i valori di  $V_p$  e  $\rho$  che si sono impiegati vanno considerati come puramente indicativi.

### La stima della frequenza di risonanza degli edifici

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico. Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura, espressa dalla relazione seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. naturale coperture} \quad [3]$$

ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione. La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H). \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200\text{-}300 \text{ m/s} / (4H). \quad [5]$$

Recenti studi Italiani di Masi et al. (2007) cfr. Figura 3, effettuati su un gran numero di edifici in c.a. mettendo in relazione le frequenze di oscillazione caratteristiche con le altezze, hanno evidenziato alcune deviazioni rispetto alla [5].

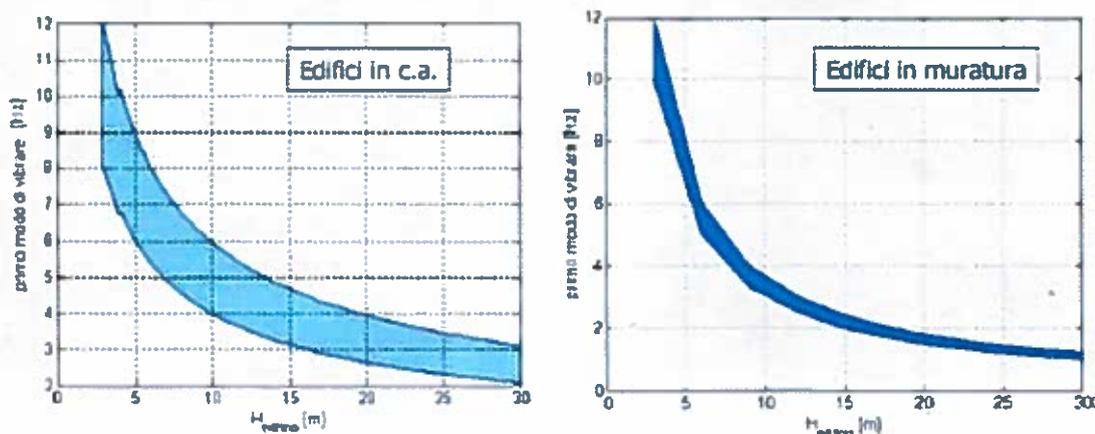


Fig 3:

Castellani e Faccioli (2000) definiscono la risonanza delle strutture tramite la relazione empirica  $f_s = \frac{B^{0,5}}{C \times H}$

**Comm: Amm.ne Com.le di Montegiorgio - Cant.: Cappuccini - Montegiorgio (FM)**

|       |        |       |         |                |         |              |     |
|-------|--------|-------|---------|----------------|---------|--------------|-----|
| Cielo | Sereno | Vento | Assente | Precipitazioni | Assenti | Orientamento | 0°N |
|-------|--------|-------|---------|----------------|---------|--------------|-----|

Strumento: TEP-0040/01-09

Inizio registrazione: 29/07/19 08:50:53 Fine registrazione: 29/07/19 09:10:53

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

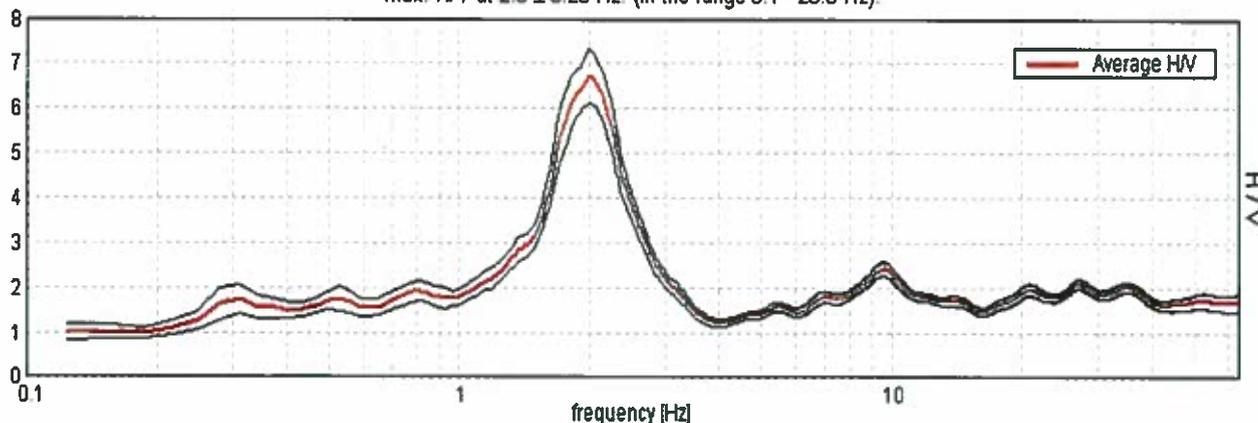
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

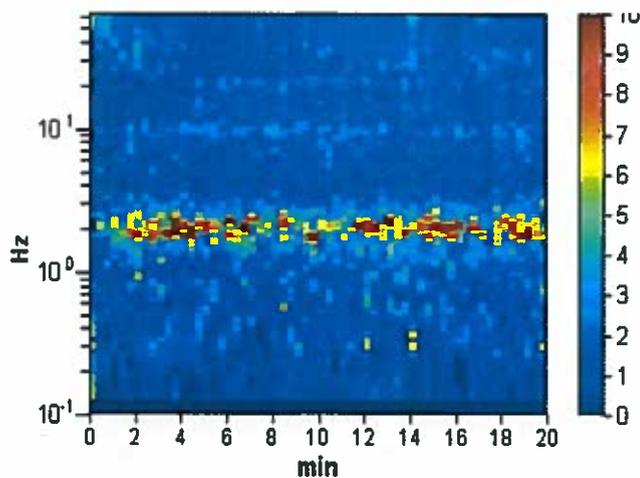
Lisciamento: 10%

**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**

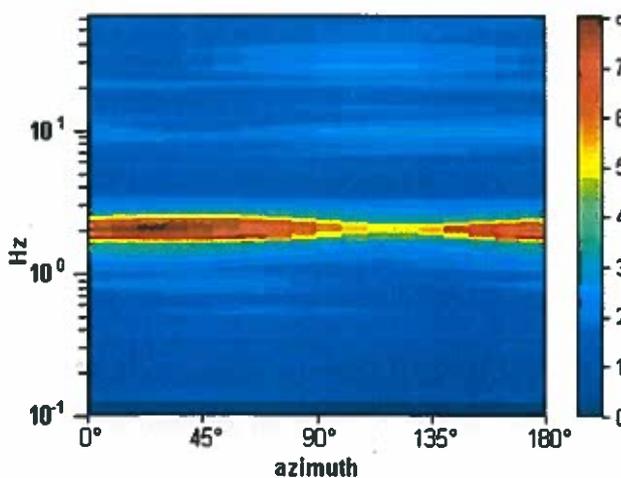
Max. HV at 2.0 ± 0.26 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



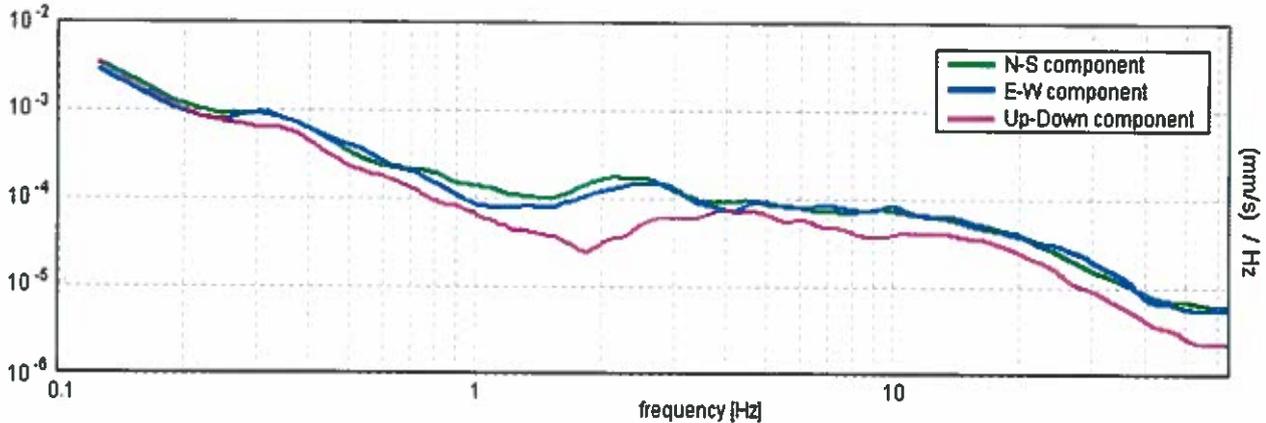
**SERIE TEMPORALE HV**



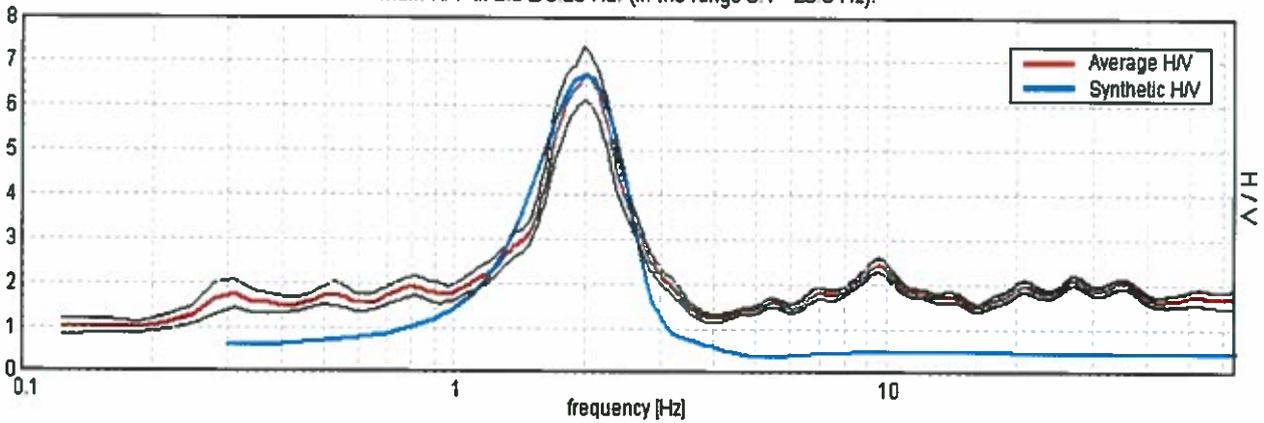
**DIREZIONALITA' HV**



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



**H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO**  
 Max. H/V at 2.0 ± 0.26 Hz. (in the range 0.1 - 20.0 Hz).



| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---------------------------------------|--------------|----------|---------------------|
| 18.00                                 | 18.00        | 220      | 0.42                |
| 55.00                                 | 37.00        | 400      | 0.42                |
| inf.                                  | inf.         | 685      | 0.40                |

Per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del nuovo D.M.17 gennaio 2018 integrato, la velocità di propagazione delle onde di taglio Vs, è calcolata con la seguente espressione.

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

con

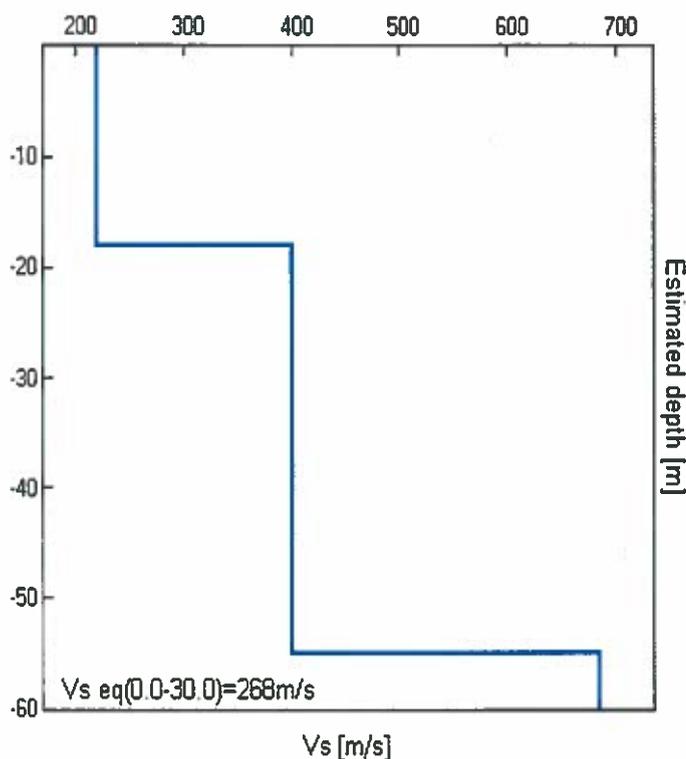
h<sub>i</sub> spessore dell'i-esimo strato;

V<sub>s,i</sub> velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

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

Vs eq (0.0-30.0)=685m/s



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

**NOTA:** la categoria di sottosuolo viene stabilita in funzione del valore di  $V_{eq}$  calcolato a partire dalla quota del Piano Campagna

#### Commento sul profilo delle velocità.

L'analisi del profilo delle velocità mostra una successione di terreni caratterizzati da:

**sismostrato 1:** ha uno spessore complessivo di m.18,00 correlabile ai terreni di copertura.

**sismostrato 2:** da m. 18,00 caratterizzato da velocità delle onde progressivamente crescenti con la profondità fino ad un valore stimato di  $V_s$  pari a m/s 685, valore quest'ultimo, ascrivibile alla formazione in posto.

#### Frequenza fondamentale di sito e frequenza di risonanza ai fini progettuali

Ogni sito è caratterizzato da una propria frequenza di risonanza fondamentale che può andare da millesimi di Hz a decine di Hz, in particolare in questo caso si è misurata una frequenza massima di picco pari a  $Hz\ 2,00 \pm 0,26$ .

**L'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico standard è invece 0,5 - 10 Hz** (corrispondenti alle frequenze principali di strutture approssimativamente da 30 a 1 piano). Essendo dunque l'intervallo di frequenze del sottosuolo più esteso di quello possibile per le strutture, alcune frequenze del sottosuolo possono essere trascurate ai fini della progettazione in zona sismica in quanto non comportano aggravii particolari per le strutture standard. In quest'ottica ad esempio non verranno segnalate le frequenze superiori a 20 Hz. **Nel caso in esame si evidenzia che l'area, sollecitata da input sismico, amplifica le onde di superficie con un fattore  $\geq 2$  nei range  $1,12\ Hz \leq f \leq 3,15\ Hz$ ,  $8,46\ Hz \leq f \leq 10,77\ Hz$ , con picchi rispettivamente a 2,00 Hz, 9,66.** Poiché la coincidenza di risonanze tra suolo e struttura comporta un aggravio nell'ampiezza dell'input sismico, la condizione ideale è che la frequenza della struttura sia inferiore rispetto a quella del sottosuolo, tuttavia quando questa condizione non può essere rispettata, è raccomandabile che la struttura venga progettata con frequenze proprie principali maggiori almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo. Qualora almeno una delle condizioni sopra indicate non possa essere rispettata la categoria di sottosuolo dovrà essere declassata alla categoria E.

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

**Picco H/V a  $2.0 \pm 0.26$  Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|  |                        |           |  |
|--|------------------------|-----------|--|
| $f_0 > 10 / L_w$   | $2.00 > 0.50$          | <b>OK</b> |  |
| $n_c(f_0) > 200$   | $2400.0 > 200$         | <b>OK</b> |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz | Superato 0 volte su 97 | <b>OK</b> |  |

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|  |                     |           |           |
|--|---------------------|-----------|-----------|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$ | 1.531 Hz            | <b>OK</b> |           |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$  | 2.625 Hz            | <b>OK</b> |           |
| $A_0 > 2$  | $6.73 > 2$          | <b>OK</b> |           |
| $f_{picco}   A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$    | $10.12818   < 0.05$ |           | <b>NO</b> |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                            | $0.25636 < 0.1$     |           | <b>NO</b> |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                            | $0.5943 < 1.58$     | <b>OK</b> |           |

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

| Intervallo di freq. [Hz]                       | Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$ |           |            |            |            |
|--|---|-----------|------------|------------|------------|
|  | < 0.2   | 0.2 - 0.5 | 0.5 - 1.0  | 1.0 - 2.0  | > 2.0      |
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz]                        | $0.25 f_0$  | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$              | 3.0   | 2.5       | 2.0        | 1.78       | 1.58       |
| $\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log HV}(f_0)$ | 0.48  | 0.40      | 0.30       | 0.25       | 0.20       |

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E UBICAZIONE





**Foto 1:** panoramica della porzione meridionale dell'area durante l'esecuzione del primo sondaggio.



**Foto 2:** panoramica della porzione occidentale dell'area dove è stato effettuato il secondo sondaggio.



**Foto 3:** fasi di esecuzione della prova penetrometrica nella porzione centrale dell'area.

