



DOTT. FABRIZIO RAFFAELI - STUDIO GEOLOGICO

GEOLOGIA TECNICA - IDROGEOLOGIA - GEOLOGIA AMBIENTALE E DEL TERRITORIO

Viale dell'Industria, 233
62014 - Corridonia (MC)

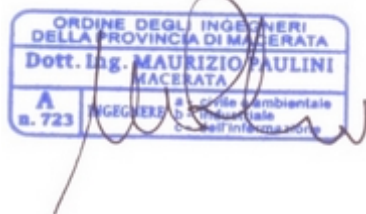
Cellulare: 347/6181327
e-mail: raf1266@libero.it

Partita IVA: 01467350433
Cod. Fisc.: RFFFRZ66C12E694D

Provincia	Macerata
Comune	Petriolo
Committente	Amministrazione Comunale Settore Lavori Pubblici

**PROGETTO DI AMPLIAMENTO E VERIFICA DELLA
VULNERABILITA' SISMICA, DEL PLESSO SCOLASTICO
"PIETRO E SOFIA SAVINI" IN VIA DEL PINO A PETRIOLO (MC)**

Per Presa Visione



**RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA
CON CARATTERIZZAZIONE SISMICA E
MODELLAZIONE GEOTECNICA**

Corridonia (MC)

28 novembre 2018

Il tecnico incaricato

Geologo Fabrizio Raffaeli





INDICE

1. PREMESSA	pag. 2
2. DESCRIZIONE PIANO INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE	pag. 2
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	pag. 3
4. CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA	pag. 3
5. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA	pag. 3
6. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA ED IDROGRAFICA	pag. 4
7. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA	pag. 4
8. INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA	pag. 5
9. SINTESI DEGLI ELEMENTI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA	pag. 10
10. MODELLAZIONE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	pag. 10
11. INDICAZIONI PER LA PROGETTAZIONE GEOTECNICA	pag. 12
12. CONCLUSIONI	pag. 14

ALLEGATI IN APPENDICE

- 1 - Corografia
- 2 - Stralcio carta geologica del CARG
- 3 - Stralcio tavola RI52B del PAI
- 4 - Inquadramento da Google Maps
- 5 - Planimetria
- 6 - Stratigrafia sondaggio geognostico S1
- 7 - Prove penetrometriche DPSH
- 8 - Indagini geofisiche
- 9 - Sezione geolitologica
- 10 - Sezione geotecnica
- 11 - Modello sismico del terreno
- 12 - Informativa privacy

ALLEGATO FUORI TESTO

Relazione di analisi della Risposta Sismica Locale

"Opera dell'ingegno – Riproduzione vietata ed ogni diritto riservato – Art. 99 L. 633/41"





1 - PREMESSA

Su incarico del settore Lavori Pubblici viene redatta la seguente relazione, a supporto del progetto di ampliamento e verifica della vulnerabilità sismica del plesso scolastico "Pietro e Sofia Savini", ubicato in via del Pino all'interno del centro storico del comune di Petriolo (MC).

Per le finalità del progetto le Norme Tecniche sulle Costruzioni richiedono la presentazione dei seguenti elaborati:

→ Relazione geologica	Modellazione geologica
	Caratterizzazione sismica
→ Relazione geotecnica	Modellazione geotecnica
	Caratterizzazione dinamica del terreno

In questo elaborato verranno trattate in maniera approfondita le tematiche geologiche, lasciando al progettista, ove necessario e per le proprie competenze, la possibilità di integrare debitamente o riformulare le valutazioni di seguito riportate. Il tutto verrà integrato con un'analisi di Risposta Sismica Locale, redatta secondo le indicazioni riportate nelle NTC 2018, utile per quantificare l'azione sismica di progetto intesa come la determinazione dell'azione sismica attesa in un punto (piano di fondazione dell'opera in esame) a seguito di una sollecitazione sismica che si propaga nel sottosuolo a partire da un ipocentro.

L'elaborato è stato redatto in ottemperanza alla principale normativa di settore vigente.

2 - DESCRIZIONE PIANO INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE

Per la caratterizzazione del volume significativo di terreno, potenzialmente interagente con l'opera prevista, è stata attuata la seguente procedura:

- acquisizione dei dati bibliografici esistenti (**cartografia tematica regionale, provinciale e comunale - PRG comunale - indagini tematiche limitrofe – risultati degli studi di microzonazione sismica di I e III livello**);
- approfondimenti di superficie mediante sopralluoghi e rilievi geologici e geomorfologici;
- caratterizzazione lito-stratigrafica tramite analisi degli affioramenti presenti e tramite l'esecuzione di un sondaggio geognostico a carotaggio;
- caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti mediante esecuzione di due prove penetrometriche DPSH;
- determinazione delle caratteristiche sismiche locali attraverso una indagine geofisica attiva a tecnica MASW, abbinata a tre indagini geofisiche passive a stazione singola con tecnica HVSR (misura dei microtremori).

Nell'allegato grafico planimetrico è riportata l'ubicazione delle verticali di indagini di cui sopra.





3 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio è ubicata ad una quota di circa 270 metri sul livello del mare, lungo il margine più occidentale del centro storico di Petriolo.



Dal punto di vista cartografico ricade nella sezione "Petriolo" 303140, della Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000, con punto mediano di riferimento designato dalle coordinate Gauss-Boaga E2395230-N4786495.

4 - CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA

La morfologia generale dell'area rispecchia l'assetto del bacino collinare di riferimento, modellato sulla struttura terrigena monoclinale che caratterizza il settore marchigiano esterno. Tale struttura risulta tendenzialmente segnata da depressioni vallive e dorsali collinari principali, tra loro sub-parallele e con asse orientato circa sudovest-nordest. Il raccordo tra le dorsali e gli impluvi vallivi principali avviene tramite versanti degradanti in maniera più o meno articolata, spesso segnati da sistemi valle-dorsale secondari, più o meno ramificati e variamente orientati.

L'area oggetto di studio ricade in prossimità della sommità sub-pianeggiante della dorsale principale di Petriolo, caratterizzata da asse immergente verso nordest con inclinazioni di pochi gradi.

L'area non evidenzia elementi riferibili a fenomeni di dissesto quiescente o in atto.

5 - CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

Dal punto di vista geologico l'area di studio si caratterizza per la presenza affiorante dei depositi stratificati del substrato marino Pliocenico. Esso è costituito prevalentemente sabbie fini ben addensate e localmente diagenizzate (arenarie), alternate ad argille limose e marnose sovra. In base al rapporto sabbie/argille tale alternanza può essere riferita alla litofacies arenaceo-conglomeratica della "Formazione delle argille azzurre" (**La geologia delle Marche, Studi geologici Camerti, 1986**), di paleo-ambiente marino ed in facies neritica (profondità comprese tra 0 e 200 metri), rinvenibile in giacitura debolmente inclinata e con immersione di circa 10° verso E-NE.





Dall'esame della cartografia esistente non si evidenziano elementi o lineamenti tettonici recenti o antichi degni di nota.

6 - CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA ED IDROGRAFICA

L'assetto idrogeologico locale risulta condizionato dalle caratteristiche e dall'organizzazione dei vari litotipi presenti, la cui permeabilità caratteristica risulta condizionata dalla stratificazione dei sedimenti. L'alternanza tra orizzonti sabbiosi permeabili e livelli argillosi impermeabili determinano una spiccata variabilità della potenziale circolazione idrica sotterranea, maggiormente sviluppata parallelamente alla stratificazione ma fortemente limitata nella direzione ortogonale, intercettante gli orizzonti argillosi impermeabili. In corrispondenza dei depositi del substrato marino l'alternanza tra sabbie ed argille può creare le condizioni, in profondità, per la presenza di sottili acquiferi confinati, spesso in pressione, ma comunque di importanza relativa e di potenza minima.

Le indagini svolte non hanno evidenziato la presenza di una falda idrica superficiale.

L'idrografia superficiale locale risulta completamente obliterata dagli interventi urbanistici realizzati nel corso del tempo.

Le precipitazioni medie annue dell'area sono stimabili in circa 790 mm; l'intensità di pioggia critica da utilizzare per il dimensionamento dei collettori fognari potrà essere pari a $I_c = 76$ mm/ora (**valore determinato prendendo in esame il regime di pioggia critica oraria degli ultimi 20 anni, per le stazioni di Loro Piceno, Tolentino, Sarnano e Macerata**) o $I_c = 63,6$ mm/ora (**valore della precipitazione massima determinata per la provincia di Macerata dall'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata, per il quarantennio 1957-1997**).

7 - CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA

La distribuzione verticale locale dei terreni, definita con le indagini geognostiche svolte sull'area, è così mediamente costituita:

Unità Litotecnica	Descrizione del deposito	Litotipo
-	Terreno vegetale e/o di riporto	Depositi antropici
A	Alternanza stratificata di sabbie ed argille	Substrato marino

Depositi antropici - sono costituiti prevalentemente da terreni limoso sabbiosi, di colore giallo-marrone, secco e con inclusi resti vegetali, rari ciottoli e piccoli frammenti di laterizio.

Tale deposito, costituente l'orizzonte superficiale della corte perimetrale del fabbricato, è rinvenibile fino a circa 0,4 metri di profondità. Solo in corrispondenza della prova penetrometrica P1 lo spessore di tali depositi risulta prossimo ai 2,6 metri, conseguentemente alla presenza di scavi realizzati per la posa della rete fognaria o per la realizzazione dei volumi interrati dei vicini fabbricati. Tali depositi si riducono rapidamente allontanandosi dalle linee dei servizi sotterranei o dai fabbricati.





A. Substrato marino - costituito da un'alternanza stratificata di sabbie fini e/o finissime giallo avana, molto addensate ed asciutte, ed argille limose e marnose grigio avana, molto compatte e molto consistenti. La porzione sommitale è tendenzialmente poco alterata (fino a circa 3,0 metri), pur mantenendo sempre ottime caratteristiche di consistenza.

Il substrato marino, tendenzialmente sub-orizzontale, è rinvenibile subito sotto i terreni della copertura antropica.

* * *

Nel corso delle prospezioni non sono state rinvenute percolazioni idriche.

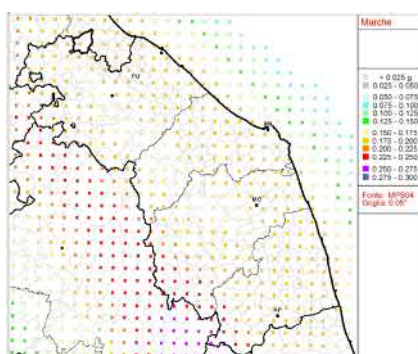
Le relazioni tra i vari litotipi sono riportate nelle sezioni degli allegati 9 e 10.

8 - INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

Sismicamente il territorio del comune di Petriolo è compreso nella categoria II (zona 2 dell'OPCM 3274) della classificazione sismica nazionale, con indice di rischio 0,07 e intensità massima osservata pari a 7 (MCS). Per tale categoria è previsto un grado di sismicità $S=9$ (coefficiente di intensità sismica $C=0,07$) ed una accelerazione orizzontale di ancoraggio ag/g pari a 0,25 (OPCM 3274/03).

Inquadramento macrosismico dell'area

Ai fini della pericolosità sismica dell'area di intervento, l'ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 riporta un valore di accelerazione massima al suolo, valida per suolo rigido con $V_s > 800$ m/sec e con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, compresa tra 0,175 e 0,200 g.



Con le nuove NTC la pericolosità sismica di base di ogni punto del territorio italiano, viene definita in relazione ad alcuni parametri validi per ogni stato limite, quali:

- a_g - accelerazione massima del terreno su suolo rigido orizzontale, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni espressa in frazione di g (accelerazione di gravità);
- F_o - fattore di amplificazione spettrale massimo in accelerazione orizzontale;
- T_c - periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro elastico in accelerazione orizzontale.

Oltre la pericolosità sismica di base, per la definizione della risposta sismica locale vanno considerati ulteriori elementi, in grado di influenzare la propagazione delle onde sismiche o di determinare fenomeni





amplificativi locali. Essi sono:

- **Azione topografica** – Definita dal coefficiente S_T .
- **Azione stratigrafica** – Definita dai coefficienti S_S e C_C , strettamente dipendenti dalla tipologia di sottosuolo.
- **Liquefazione potenziale** – Strettamente connessa con la presenza di sedimenti granulari fini sciolti, appartenenti ad un ben specifico fuso granulometrico e ubicati in falda.
- **Falda idrica** – Che quando presente superficialmente è in grado di innescare liquefazione o altre interazioni negative con i terreni.

Per la zona di studio il catalogo macrosismico italiano riporta una serie di eventi con magnitudo significativa, che hanno dato risentimenti evidenti anche nel comune oggetto di questo intervento. Essi sono:

Anno	Mese	Giorno	Area epicentrale	Intensità
1269	09		Ancona	VIII
1279	04	30	Camerino	X
1328	12	01	Norcia	X
1502	09	06	Cupramontana	VII
1540	04	08	Fermo	VI-VII
1599	11	05	Cascia	VIII-IX
1612	10	14	Fossato di Vico	VII
1690	12	22	Ancona	VIII
1703	01	14	Norcia	X
1741	04	24	Fabriano	IX - 6,2 Mw
1747	04	17	Fiuminata	IX
1751	07	27	Gualdo Tadino	X
1781	06	03	Cagliese	IX-X
1791	10	11	Scopoli	VII-VIII
1799	07	28	Camerino	IX
1805	05	09	Macerata	VI-VII
1859	08	22	Norcia	VIII-IX
1870	02	08	Numana	VII
1873	03	12	San Ginesio	VII-VIII
1898	08	25	Visso	VII
1903	11	02	Valnerina	VI-VII
1916	07	04	Monti Sibillini	VI-VII
1917	11	05	Numana	VI
1921	08	28	Sarnano	VII
1922	06	08	Caldarola	VI
1927	08	16	Castel S. Angelo Sul Nera	VI
1930	10	30	Senigallia	VIII-IX
1936	12	09	Caldarola	VII
1943	10	03	Offida	VIII-IX
1951	09	01	Sarnano	5,3 Mw
1972	01	25	Ancona	5,4 Mw
1972	06	14	Ancona - Senigallia	5,9 Mw
1979	09	19	Valnerina - Norcia - Cascia	5,9 Mw
1984	04	29	Gubbio	5,2 Mw
1997	09	26	Serravalle	6,1 Mw
2009	04	06	Aquila	6,3 Mw
2009	09	20	Montefano	4,6 Mw
2010	01	12	San Ginesio	4,1 Mw
2013	07	21	Adriatico	4,9 Mw
2016	08	24	Accumoli	6,0 Mw
2016	10	26	Castel Sant'Angelo sul Nera	5,9 Mw
2016	10	30	Norcia	6,5 Mw

Per il comune di Petriolo la consultazione dei database macrosismici DBM15 e CPTI15, non aggiornato con gli eventi più recenti, evidenziano che il territorio comunale si caratterizza per una sismicità media, con intensità





massima risentita per i vari eventi (espressa in termini di grado Mercalli Int.), come nella tabella seguente:

Petriolo



PlaceID IT_51888
Coordinate (lat, lon) 43.221, 13.466
Comune (ISTAT 2015) Petriolo
Provincia Macerata
Regione Marche
Numero di eventi riportati 20

Effetti	In occasione del terremoto del												
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw			
6	1943	10	03	08	28	2	Ascolano	170	8	5.67			
1-2	1962	01	23	17	31		Costa pesarese	49	5	4.35			
5	1979	09	19	21	35	3	Valnerina	694	8-9	5.83			
4	1980	02	28	21	04	4	Valnerina	146	6	4.97			
4	1980	05	24	20	16	0	Monti Sibillini	58	5-6	4.48			
3-4	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81			
3-4	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62			
4	1986	10	13	05	10	0	Monti Sibillini	322	5-6	4.46			
6	1987	07	03	10	21	5	Costa Marchigiana	359	7	5.06			
5	1995	12	30	15	22	0	Fermano	106	5	4.19			
6-7	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66			
6	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97			
5-6	1997	10	03	08	55	2	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22			
5	1997	10	06	23	24	5	Appennino umbro-marchigiano	437		5.47			
4-5	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62			
6	1998	03	26	16	26	1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26			
NF	2003	05	25	17	15	1	Ascolano	88	4-5	3.81			
3-4	2005	04	12	00	31	5	Maceratese	131	4	3.74			
3	2005	12	15	13	28	3	Val Nerina	350	5	4.14			
4-5	2006	04	10	19	03	3	Maceratese	211	5	4.06			



Nella tabella di cui sopra i valori di I_0 e M_w si riferiscono all'area epicentrale.

Vita nominale e periodo di riferimento

Le NTC18 prevedono che l'azione sismica sia associata ad un periodo di riferimento (V_R) dell'opera e ad una prefissata probabilità di eccedenza, cui è abbinato un periodo di ritorno T_R . V_R definisce il periodo di osservazione per l'accadimento di terremoti di severità prefissata in base a T_R , mentre allo "stato limite" è associata la probabilità di eccedenza dell'azione sismica da considerare. Per ogni tipo di costruzione, il periodo di riferimento è ottenuto come prodotto della vita nominale dell'opera (V_n) per il coefficiente della classe d'uso della stessa (C_u). Viste l'affollamento significativo che interessa l'edificio (scuola), considerando una vita di progetto V_n pari a 50 anni e una classe d'uso III, ne scaturisce una C_u pari a 1,5 ed un periodo di riferimento per l'azione sismica V_R pari a 75 anni.





Stati limite e periodi di ritorno

L'approccio prestazionale delle NTC18 prevede di considerare quattro possibili stati limite, di cui due di esercizio:

- stato limite di operatività (SLO);
- stato limite di danno (SLD).

E due stati limite di danno:

- stato limite di salvaguardia della vita (SLV)
- stato limite di prevenzione del collasso (SLC)

Essi sono riferiti alla prestazione della costruzione nel suo complesso, inclusi quindi sia gli elementi strutturali sia quelli non strutturali. Nel caso specifico trattandosi di un edificio in classe IV dovranno essere eseguite almeno 3 verifiche, delle quali una nella condizione di esercizio (SLO) e due nella condizione limite di danno (SLD e SLV). Diversamente, non considerando l'edificio come strategico o con destinazione a funzioni pubbliche, potranno essere svolte esclusivamente verifiche in campo dinamico (SLD e SLV).

Definizione della categoria di sottosuolo secondo l'approccio semplificato da NTC

In riferimento alle norme sismiche riportate nell' OPCM 3274/03, completamente riprese dalle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni, il valore delle V_{seq} (velocità media di propagazione delle Onde di Taglio) è dato da:

$$V_{seq} = H / \sum_{i=1;N} (H_i / V_{s_i})$$

Dove H_i e V_{s_i} indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato "iesimo", per un totale di N strati; H rappresenta la profondità del substrato sismico, intendendo come tale un terreno molto rigido con velocità delle onde di taglio $V_s > 800$ m/sec.

Per depositi nei quali il substrato sismico è a profondità superiori ai 30 metri, la V_{seq} si trasforma in V_{S30} come nelle NTC 2008, ossia considerando $H=30$ e le caratteristiche dei terreni fino a 30 metri.

Per l'area oggetto di intervento, le risultanze delle indagini sismiche svolte hanno fornito un risultato, riferito al piano campagna, di:

$$V_{seq} = 492 \text{ m/s}$$

In base a quanto sopra, nel caso che sia possibile applicare l'approccio semplificato, per l'area oggetto di intervento la categoria di sottosuolo da considerare sarà:

Assegnazione	Categoria	Descrizione
→	B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{seq} compresi tra 360 m/s e 800 m/s

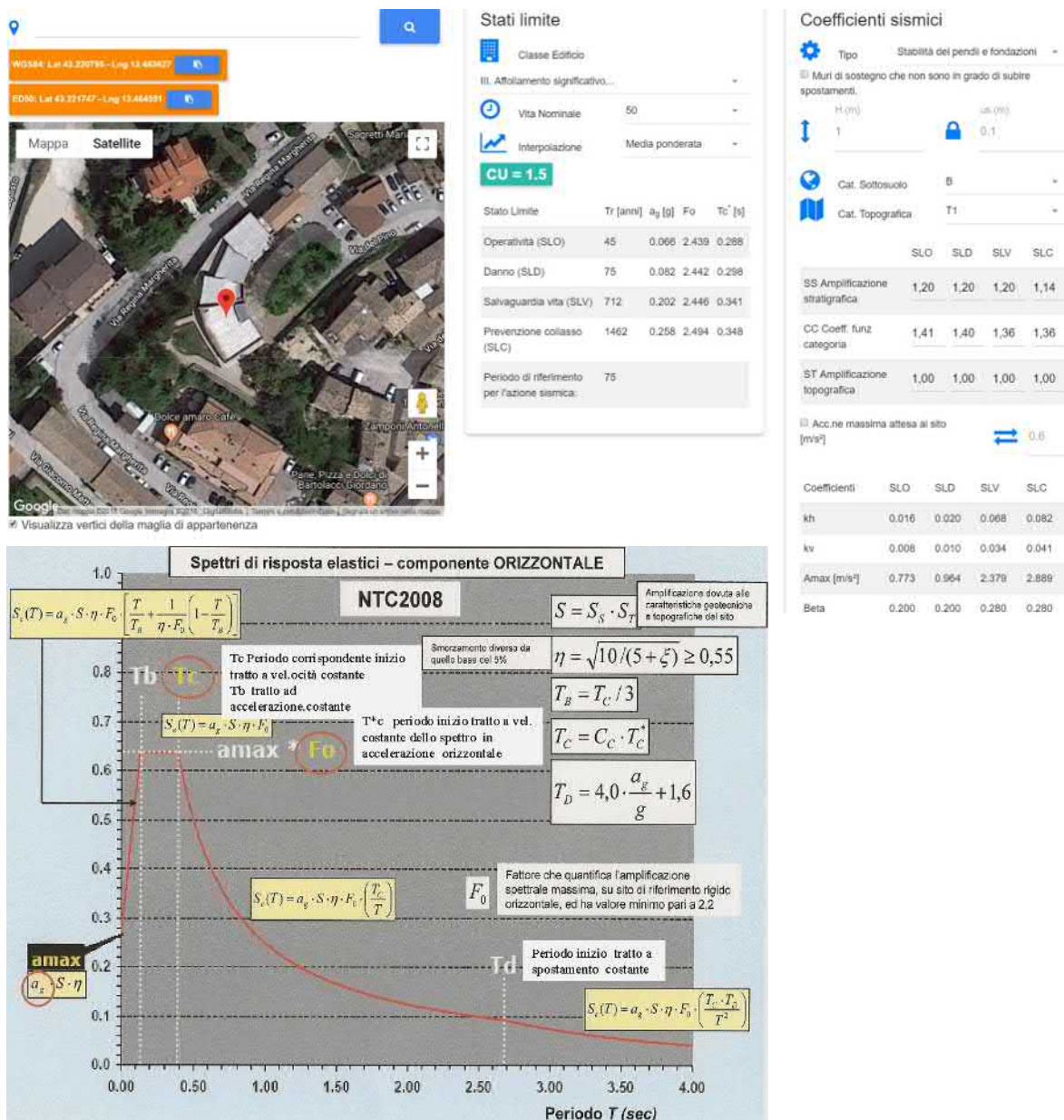
Secondo la relazione che definisce l'accelerazione massima attesa in un determinato sito e per un ben definito stato limite

$$a_{max} = S_S \times S_T \times a_g$$

considerando per il caso in esame una categoria di sottosuolo "B", una categoria topografica T1, un periodo di riferimento di 50 anni ed un coefficiente $C_u=1,5$, sarà possibile definire lo spettro di risposta elastico in accelerazione, per uno smorzamento



convenzionale del 5%, utilizzando per ogni stato limite i parametri ed i coefficienti sismici seguenti:



Le analisi di Risposta Sismica Locale sono riportate in un allegato esterno a questa relazione.

NOTA

Nei casi di interventi compresi nelle aree oggetto di Microzonazione Sismica di livello 3, al fine di definire lo spettro elastico di progetto, il progettista delle strutture dovrà confrontare lo spettro di risposta medio regolarizzato (secondo il metodo riportato in Appendice 1 dell'ordinanza del commissario per la ricostruzione n° 55 del 24 aprile 2018) ottenuto dallo studio di MS3 della microzona di interesse con quello ottenuto con l'approccio semplificato della normativa sismica, per la categoria di sottosuolo in corrispondenza del manufatto e per il tempo di ritorno di 475 anni. L'intervallo di periodi da considerare per il confronto tra lo spettro di MS3 e quello di norma dell'approccio semplificato è determinato considerando i periodi di vibrazione di interesse dell'opera nelle due direzioni principali, ossia il minore, T_{min} , e il maggiore, T_{max} , dei tre periodi di vibrazione dell'edificio (inteso come struttura tridimensionale) con massa partecipante più elevata, tenendo anche conto dell'elongamento degli stessi durante la risposta sismica. Tale intervallo è compreso tra T_{min} e $2T_{max}$. In questo intervallo dovranno essere valutate le seguenti due condizioni:

- 1) lo spettro di MS3 supera puntualmente in misura maggiore del 30% lo spettro semplificato di norma;
2) l'integrale dello spettro di MS3 è superiore del 20% rispetto al corrispondente integrale dello spettro



semplificato di norma.

Se nessuna delle due condizioni è verificata, è possibile utilizzare l'approccio semplificato della normativa sismica. Se almeno una delle condizioni di cui sopra è verificata, lo spettro previsto dall'approccio semplificato della normativa può ritenersi significativamente meno conservativo di quello di MS3. In questo caso il progettista, utilizzando i risultati della MS3, dovrà procedere a definire gli approfondimenti geologici, geofisici e geotecnici necessari a dettagliare il modello di sottosuolo nell'area di interesse del manufatto. Sulla base di questi approfondimenti il progettista dovrà valutare le condizioni di applicabilità dell'approccio semplificato della normativa e, nel caso, giustificare l'adozione in relazione alle caratteristiche stratigrafiche e morfologiche dello specifico sito rispetto alla situazione di riferimento cui si riferisce lo spettro ottenuto dagli studi di microzonazione sismica. In caso contrario, il progettista dovrà necessariamente procedere con un'analisi di risposta sismica locale monodimensionale (1D) o bidimensionale (2D), in base alle caratteristiche del sito. In particolare, i risultati della MS3 saranno utilizzati per definire il volume significativo di sottosuolo e le caratteristiche morfologiche da considerare per le analisi numeriche della risposta sismica locale, includendo la possibile presenza di effetti 2D. Infine, ferme restando le prerogative del progettista in merito alle scelte effettuate per la caratterizzazione delle azioni sismiche e sotto la sua completa responsabilità, gli spettri di risposta elastici prodotti dallo studio di MS3 (regolarizzati secondo il metodo riportato in Appendice 1), possono essere usati nella progettazione qualora vengano ritenuti più affidabili di quelli risultanti dall'analisi di risposta sismica locale (RSL) condotti con metodi standard (1D lineare equivalente) e in ogni caso più conservativi di quelli dell'approccio semplificato. La scelta del progettista di utilizzare gli spettri di risposta elastici prodotti dallo studio di MS3 dovrà comunque essere giustificata nella relazione di calcolo strutturale, anche con riferimento alla relazione geologica e geotecnica. Per le costruzioni di classe III e IV, se nessuna delle due condizioni di cui ai punti 1 e 2 del presente paragrafo risultasse verificata, in riferimento al tempo di ritorno di 475 anni, sarà possibile utilizzare l'approccio semplificato della normativa sismica, al fine di determinare gli spettri di risposta per tutti i tempi di ritorno necessari. In caso contrario, occorrerà necessariamente approfondire l'analisi della risposta sismica locale nei modi detti. Sono fatte salve eventuali disposizioni regionali più restrittive. Per le costruzioni di classe I, il progettista potrà adottare l'approccio semplificato della normativa sismica, fatte salve eventuali disposizioni regionali più restrittive.

9 - SINTESI DEGLI ELEMENTI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA

Le analisi svolte durante la campagna di indagine non hanno evidenziato elementi tali da precludere l'intervento di ampliamento previsto o obbligare a particolari approcci edificatori.

Le sequenze lito-stratigrafiche, rilevabili sotto l'area di intervento e nel suo perimetro più prossimo, hanno evidenziato la presenza di sedimenti di ottima consistenza, blandamente alterati o degradati solo superficialmente, riferibili ai depositi stratificati del substrato. Esso risulta organizzato secondo una giacitura monoclinale di basso angolo immergente verso est, non interessato elementi plicativi o disgiuntivi, connessi con una tettonica attiva.

L'assetto geomorfologico fa riferimento ad una struttura di dorsale collinare allungata, con superficie sommitale tendenzialmente planare e non interessata da fenomeni depositi o processi ascrivibili a criticità idrogeologiche attive o quiescenti.

L'analisi della sismicità storica non evidenzia l'esistenza di zone epicentrali in corrispondenza dell'area di studio; le onde sismiche originate da epicentri attivi limitrofi non sono soggette a fenomeni amplificativi particolarmente gravosi.

L'area di intervento risulta quindi caratterizzata da basso livello di pericolosità geologica, geomorfologica e sismica, comunque tale da non determinare interferenze con l'edificato esistente.

10 - MODELLAZIONE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

I parametri riportati in questo paragrafo sono stati desunti dall'interpretazione delle prove in sito svolte durante la campagna geognostica.





Riassumendo, è possibile raggruppare nella seguente tabella, i valori dei principali parametri geotecnici delle unità litotecniche presenti, distinti per valori minimi e medi:

Parametri fisico-meccanici	Unità litotecnica		Unità di misura
	A		
	(substrato marino)		
	min	med	
Peso di volume γ	2,1	2,2	g/cm³
Coesione non drenata C_u	2,5	3,5	Kg/cm²
Coesione di picco C'	0,20	0,30	Kg/cm²
Angolo attrito efficace ϕ'	27	29	gradi
Modulo edometrico E_{ed}	180	200	Kg/cm²
Coefficiente di sottofondo K_w	5	>>5	Kg/cm³
Coefficiente di Poisson μ	0,25	0,25	-
Velocità onde di taglio V_s	450	650	m/sec

Si ricorda che i valori di coesione sopra riportati si riferiscono alla frazione argillosa; i valori minimi sono attribuibili alla porzione maggiormente alterata, presente superficialmente.. Per le varie verifiche geotecniche le NTC sanciscono che vengano attuate secondo i parametri medi caratteristici dell'ammasso e, dove il volume interessato dall'intervento possa ritenersi ridotto, secondo i parametri minimi. Per gli interventi previsti, vista la potenziale interferenza con gli orizzonti maggiormente alterati e fessurati contenuti nel volume significativo di terreno, si consiglia comunque l'uso dei parametri minimi.

La relazione che lega i vari parametri è la seguente:

Valore di riferimento " V " (V_{medio}) $\rightarrow$ Valore caratteristico " V_k " $\rightarrow$ Valore di progetto V_d ($V_k \cdot \gamma_M$)

Il "parametro caratteristico", come detto sopra, può essere riferito al valore minimo o a quello medio oppure, secondo quanto sancito dall'EC7, dovrebbe determinarsi associando una probabilità di non superamento del 5% (frattile 5%), partendo dai valori medi ottenuti da prove di laboratorio o prove in sito, secondo la relazione:

$$V_k = V_{medio} (1 + X \cdot COV_V)$$

con $X = -1,645$

COV_V = coefficiente di variazione

Il valore del coefficiente riduttivo parziale γ_M è:

PARAMETRO	PARAMETRO SOTTOPOSTO AL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	
		M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'} = 1,00$	$\gamma_{\phi'} = 1,25$
Coesione efficace	C'_k	$\gamma_c = 1,00$	$\gamma_c = 1,25$
Resistenza non drenata	C_{uk}	$\gamma_{cu} = 1,00$	$\gamma_{cu} = 1,40$
Peso dell'unità di volume	γ	$\gamma_\gamma = 1,00$	$\gamma_\gamma = 1,00$
Resistenza compressione non confinata (R) (materiali lapidei non fessurati)	Q_{uk}	$\gamma_{qu} = 1,00$	$\gamma_{qu} = 1,60$

Solitamente, ma non necessariamente, i coefficienti della colonna A1 delle azioni, combinati con quelli della colonna M1 della tabella sopra, sono rilevanti per stabilire la capacità strutturale delle opere che interagiscono con il terreno, mentre i coefficienti della colonna A2, combinati con quelli della colonna M2, sempre della tabella





sopra riportata, sono rilevanti per il dimensionamento geotecnico. Tranne nei casi in cui una delle due combinazioni sia manifestamente più restrittiva, le verifiche degli stati limite SLU devono essere condotte con entrambe le combinazioni (A1+M1 e A2+M2). Fanno eccezione i pali e gli ancoraggi, per i quali valgono criteri specifici.

11 - INDICAZIONI PER LA PROGETTAZIONE GEOTECNICA

In questo capitolo si vogliono fornire i risultati di alcune valutazioni preliminari, necessarie per indirizzare adeguatamente le scelte progettuali sul sistema fondale. Tali valutazioni, inerenti gli stati limite principali, fanno riferimento alla sola **“resistenza R_d ”**; spetterà al progettista strutturale definire, dalle indicazioni fornite, le scelte tecniche più idonee, affinché venga rispettata la condizione che **“gli effetti delle azioni applicate siano sempre inferiori agli effetti delle resistenze ($Ed \leq R_d$)”**. Le scelte attuate dovranno garantire, per il periodo di vita e gli usi considerati, il raggiungimento di adeguate caratteristiche prestazionali, così come riportato nel DM 14/01/2008 e nel suo aggiornamento del 2018.

Il calcolo analitico delle resistenze di progetto R_d è stato attuato tramite procedure che usano i coefficienti parziali, agenti sui parametri geotecnici e sul valore delle resistenze calcolate R_k . A tali procedure fanno capo due approcci progettuali, secondo le seguenti combinazioni di calcolo:

- approccio 1 combinazione 1 (A1+M1+R1) e combinazione 2 (A2+M2+R2);
- approccio 2 (A1+M1+R3).

I valori dei coefficienti parziali γ_M , agenti sui parametri geotecnici M1 e M2, sono stati riportati nel capitolo sulla modellazione e caratterizzazione geotecnica. Per i coefficienti parziali γ_R , agenti sulle resistenze calcolate R_k , potrà farsi riferimento alle seguenti tabelle:

Coefficienti parziali γ_R per fondazioni superficiali

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_{R1}=1,0$	$\gamma_{R2}=1,8$	$\gamma_{R3}=2,3$
Scorrimento	$\gamma_{R1}=1,0$	$\gamma_{R2}=1,1$	$\gamma_{R3}=1,1$

Coefficienti parziali γ_R per fondazioni profonde

RESISTENZA	COEFFICIENTE	PALI INFISSI			PALI TRIVELLATI			PALI AD ELICA CONTINUA		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Punta	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,70	1,35	1,0	1,60	1,30
Laterale (compressione)	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (compressione)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,60	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,60	1,25	1,0	1,60	1,25	1,0	1,60	1,25

Fattori di correlazione ξ per la determinazione di R_k dei pali in funzione del numero di verticali indagate

VERTICALI INDAGATE	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3 (media)	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4 (min)	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21





----- INDICAZIONI SULLA TIPOLOGIA FONDALE -----

Il fabbricato esistente risulta fondato su fondazioni superficiali continue, direttamente intestate sul litotipo "A", delle quali non si conoscono dimensionamento e caratteristiche realizzative. Per l'ampliamento previsto, viste le caratteristiche litostratigrafiche e geomorfologiche locali, si consiglia di indirizzare le scelte sempre su tipologie superficiali continue.

Pur spettando al progettista la scelta ed il dimensionamento finale della fondazione, i risultati di seguito riportati sono stati ottenuti per una platea alta 40 cm ed intestata sulla parte sommitale del litotipo "A", caratterizzata dai seguenti parametri:

Litotipo di fondazione	Parametri di riferimento utilizzati nel calcolo	Coefficiente parziale γ_M agente sui parametri caratteristici (K)
Substrato marino "A"	Minimi: $\gamma = 2,1 \text{ T/m}^3 - C' = 2,0 \text{ T/m}^2 - \varphi' = 27,0^\circ$ Caratteristici (k): $\gamma_k = 2,1 \text{ T/m}^3 - C'_k = 2,0 \text{ T/m}^2 - \varphi'_k = 27,0^\circ$ Progetto (d): $\gamma_d = 2,1 \text{ T/m}^3 - C'_d = 1,4 \text{ T/m}^2 - \varphi'_d = 22,2^\circ$	$\gamma_f = 1,00$ $\gamma_c = 1,25$ $\gamma_\varphi = 1,25$

e per la seguente relazione:

Valutazione della resistenza geotecnica di progetto R_d

Il carico limite verticale dal terreno, per fondazioni dirette, è determinabile dalla seguente relazione di Terzaghi ed altri:

$$R_K = Q_d = (K_1 C N_c) + (K_2 \gamma D_f N_q) + (K_3 b/2 \gamma N_\gamma)$$

$$R_d = R_K / \gamma_R$$

con:

$R_K = Q_d$ = carico unitario limite ultimo calcolato (di rottura)

C = coesione

D_f = altezza della fondazione

γ = peso di volume del terreno

$a - b$ = dimensione maggiore e minore della fondazione

$N_c - N_q - N_\gamma$ = coefficienti di capacità portante (Vesic)

$K_1 - K_2 - K_3$ = coefficienti di forma (vedi tabella)

γ_R = coefficiente parziale

COEFFICIENTI DI FORMA				
Fondazione	Dimensioni	K_1	K_2	K_3
Nastri-forme	b	1	1	1
Quadrata	$b = a$	1,2	1	0,8
Rettangolare	$b < a$	$1 + 0,2(b/a)$	1	$1 - 0,2(b/a)$

Nelle condizioni a lungo termine la resistenza di progetto risulterà pari a:

$R_d (A1+M1+R1) = R_K / \gamma_R = 132,1/1,0 \text{ Kg/cm}^2$ per $N_c=23,94$, $N_q=13,20$ e $N_\gamma=14,47$	13,21 Kg/cm ²
$R_d (A2+M2+R2) = R_K / \gamma_R = 6,81/1,8 \text{ Kg/cm}^2$ per $N_c=17,09$, $N_q=7,97$ e $N_\gamma=7,31$	3,78 Kg/cm ²
$R_d (A1+M1+R3) = R_K / \gamma_R = 132,1/2,3 \text{ Kg/cm}^2$ per $N_c=23,94$, $N_q=13,20$ e $N_\gamma=14,47$	5,74 Kg/cm ²

Nel confronto tra Azioni di calcolo e Resistenze di progetto, si dovrà tenere in considerazione il risultato più basso, ottenuto con l'approccio 1 combinazione 2 (A2+M2+R2) e valido per le resistenze a lungo termine.

Cedimenti



Visti i carichi in gioco e le caratteristiche dei terreni di fondazione, non si prevedono cedimenti non compatibili. Essi potranno comunque calcolarsi secondo la relazione del consolidamento mono-direzionale, valida per fondazioni superficiali rigide:

$$\delta H = \frac{h \cdot \delta P \cdot I_w}{E}$$

dove:

δH	= cedimento calcolato in centimetri;
h	= spessore dello strato compressibile considerato;
δP	= incremento di pressione sul piano di posa della fondazione;
I_w	= coefficiente di influenza registrato a metà dello strato considerato (Steinbrenner);
E	= modulo edometrico o di elasticità del terreno.

Coefficiente di sottofondo

Secondo Bowles, approssimando il terreno ad un mezzo omogeneo, elastico ed isotropo (con comportamento alla Winkler), il coefficiente di sottofondo, valido per i terreni presenti sotto la fondazione, potrà essere considerato pari a:

$$K_w > 5,0 \text{ Kg/cm}^3$$

12 - CONCLUSIONI

A seguito dell'indagine svolta, in conclusione si ricorda:

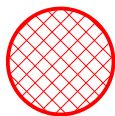
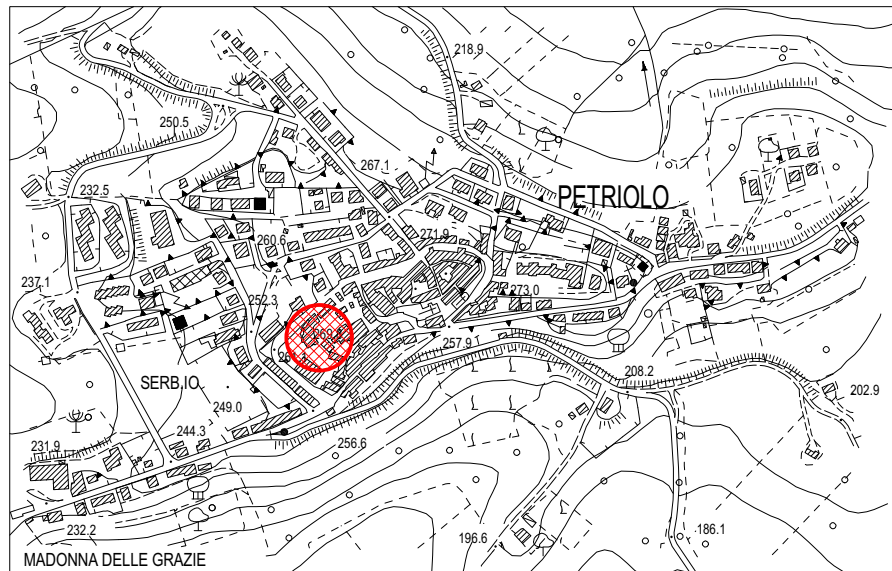
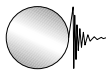
- l'area di intervento è ubicata su territorio sub-pianeggiante, non interessato da fenomeni di dissesto idrogeologico in atto;
- la litologia dell'area si caratterizza per la presenza del substrato arenaceo-pelitico affiorante, poco alterato e molto consistente. Non si rilevano lineamenti tettonici attivi nell'area di pertinenza degli interventi;
- non sono state rinvenute percolazioni idriche o presenza di falda idrica superficiale interagente con il sistema di fondazioni;
- l'area si caratterizza per una sismicità media e per un profilo stratigrafico del suolo di fondazione riferibile alla tipologia "B";
- i litotipi presenti risultano compatibili con sistemi fondali superficiali continui. Le verifiche inerenti i vari stati limite dovranno svolgersi relazionando i carichi realmente agenti con le resistenze locali del terreno di fondazione;
- l'analisi di Risposta Sismica Locale evidenzia una leggera amplificazione del segnale sismico.

Per quanto sopra considerato e nel rispetto delle competenze del sottoscritto, si esprime parere favorevole sulla compatibilità del fabbricato con le condizioni idrogeologiche, morfo-litologiche e sismiche riscontrate.

Corridonia, 28 novembre 2018

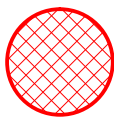
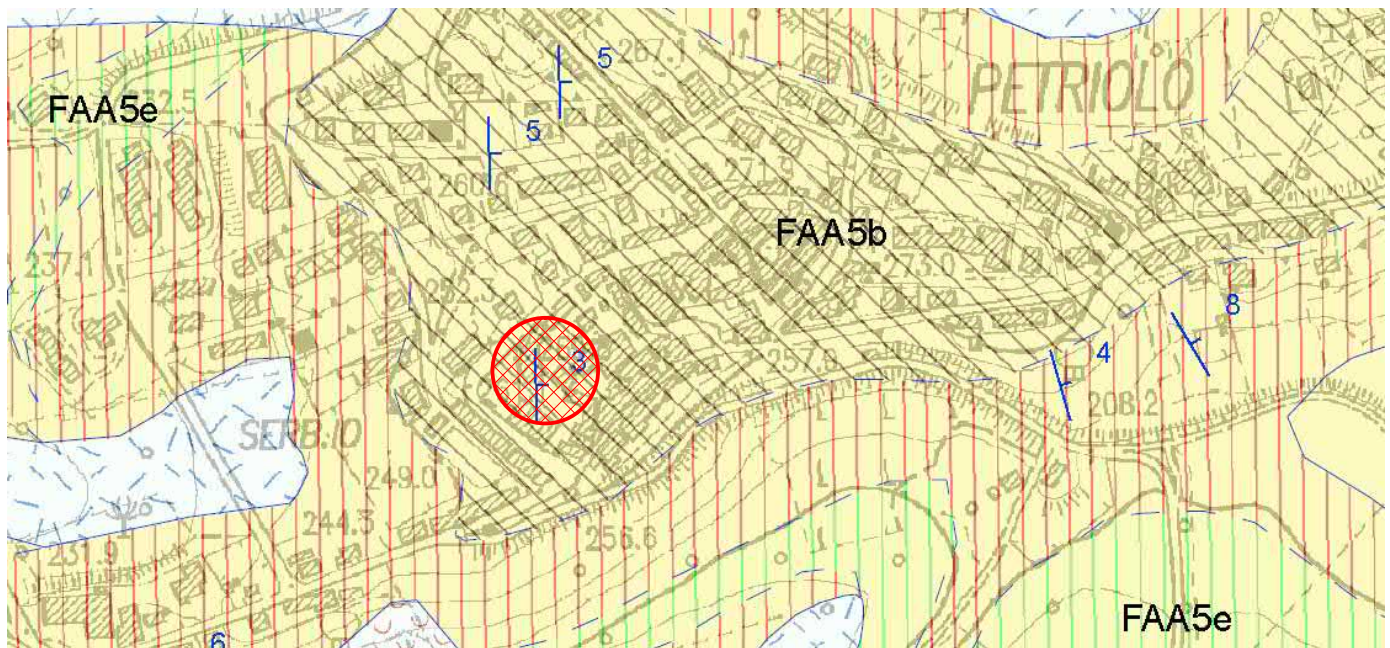
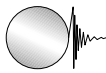
il Tecnico
Geol. Fabrizio Raffaelli



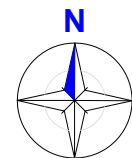


Area in esame





Area di intervento

**DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI****VERSANTE MARCHIGIANO****SINTEMA DEL MUSONE**

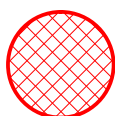
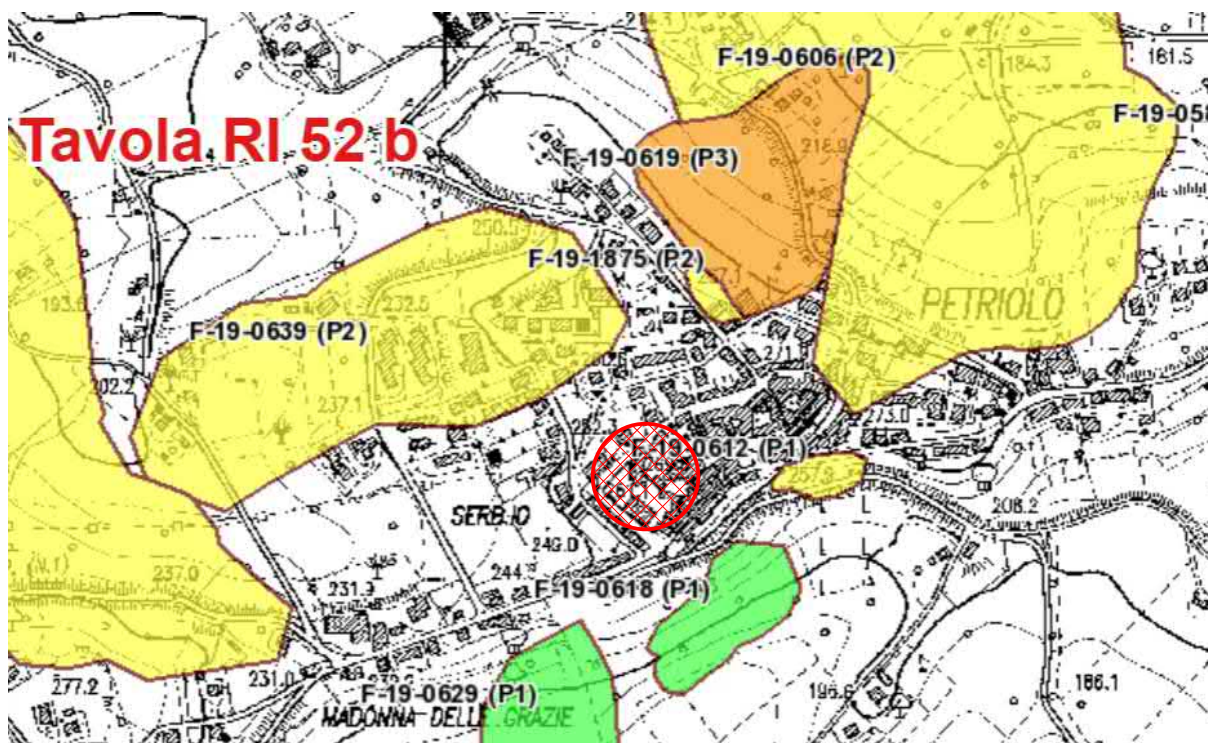
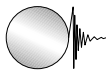
(OLOCENE)

	MUSa1	Frane in evoluzione
	MUSa1q	Frane senza indizi di evoluzione
	MUSb2	Depositi eluvio-colluviali
	MUSb	Depositi alluvionali attuali (ghiaia, sabbia, limo)
	MUSbn	Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)
		Contatto stratigrafico e/o litologico
		Contatto stratigrafico inconforme
		Faglia
		Faglia diretta
		Stratificazione dritta
		Elemento lineare primario

SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA**SUCCESSIONE PLIOCENICA**

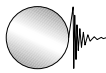
	FAA	FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE Zandeano p.p. - Santerniano
	FAA5	FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE Membro di Offida litofacies arenaceo-conglomeratica Zandeano p.p. - Santerniano
	FAA5b	FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE Membro di Offida litofacies arenaceo-conglomeratica Zandeano p.p. - Santerniano
	FAA5c	FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE Membro di Offida litofacies arenacea Zandeano p.p. - Santerniano
	FAA5d	FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE Membro di Offida litofacies arenaceo-pelitica Zandeano p.p. - Santerniano
	FAA5e	FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE Membro di Offida litofacies pelitico-arenacea Zandeano p.p. - Santerniano

PROGETTO: verifica della vulnerabilità sismica dell'edificio scolastico "Pietro e Sofia Savini" in via del Pino a Petriolo (MC)**COMMITTENTE:** Settore LL.PP. del comune di Petriolo (MC)**ALLEGATO GRAFICO 2****STRALCIO CARTA GEOLOGICA DEL CARG (NON IN SCALA)**

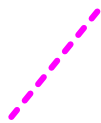


Area di intervento

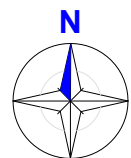


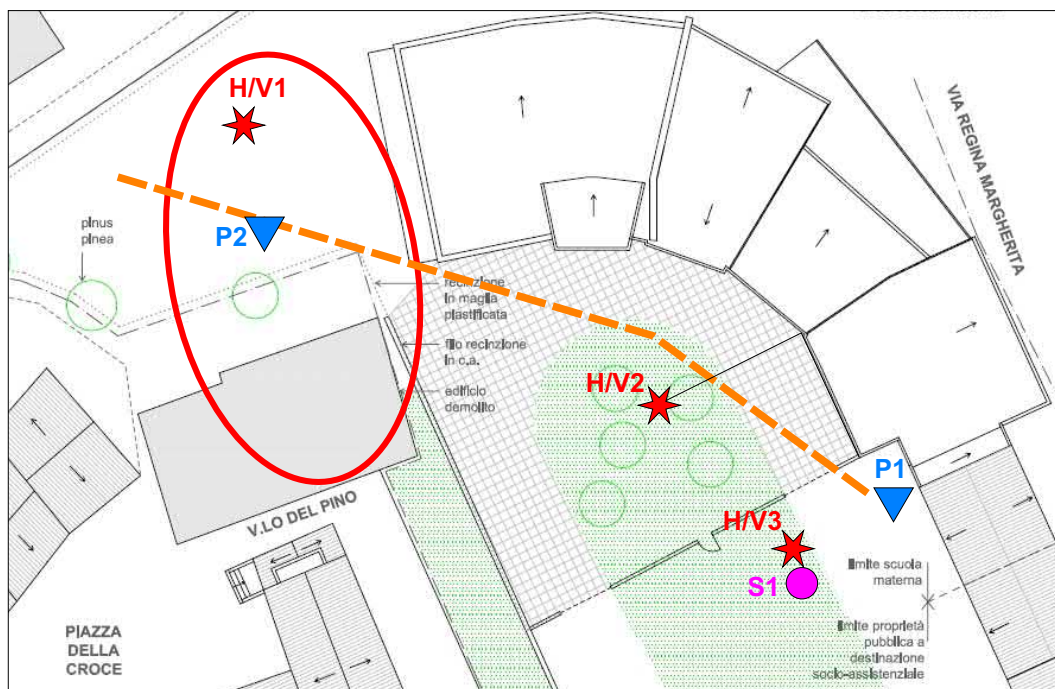
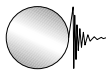


Fabbricato oggetto di intervento



Sezione longitudinale





Area di ampliamento della scuola

S1



Ubicazione sondaggio geognostico

P



Ubicazione prova penetrometrica

H/V

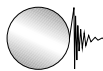


Ubicazione indagine geofisica passiva HVSR



Traccia sismica attiva MASW





Sistema di scavo: rotazione a secco con carotiere da 220 mm				Profondità raggiunta: 9,0 metri dal piano campagna				Data 23/10/2018				
Ditta esecutrice: TRIVEL 2000				Quota assoluta del piano campagna: 271,0 metri s.l.m.								
Scala: 1:100	Profondità metri	Spessore metri	Stratigrafia	Descrizione	Vane Kg/cm²	Andamento delle resistenze misurate	Pocket Kg/cm²	SPT	Campione	Manifest. idrica	Distinzione litotecnica, note ed osservazioni	
	0.4	0.4		Terreno vegetale limoso sabbioso giallo marrone							Deposito antropico	
	1.0			Alternanza stratificata di sabbie fini e/o finissime molto addensate giallo-avana ed argille limose e marnose molto compatte grigio-avana. Litotipo molto consistente, asciutto e leggermente alterato, con dominanza dei sedimenti granulari su quelli coesivi. Localmente le sabbie risultano leggermente cementate, a costituire veri e propri livelli centimetrici arenacei, e ossidate. A 3,0 metri di profondità litotipo tendenzialmente integro, con percentuale di umidità naturale leggermente superiore, rispetto ai primi metri fortemente essiccati.							Unità litotecnica "A"	
	2.0											Substrato marino
	3.0											
	4.0											
	5.0											
	6.0											
	7.0											
	8.0											
	9.0	9.0										
	10.0											
	11.0											
	12.0											
	13.0											
	14.0											
	15.0											
	16.0											
	17.0											
	18.0											
	19.0											
20.0												
										</		

* percolazione idrica

▼ livello statico della falda idrica

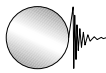
-1,2
C1a campione indisturbato
-1,8-1,2
C1a campione disturbato
-1,8-1,2
15
45
-1,8
prova SPT o SCPT

PROGETTO: verifica della vulnerabilità sismica dell'edificio scolastico "Pietro e Sofia Savini" in via del Pino a Petriolo (MC)

ALLEGATO GRAFICO 6

COMMITTENTE: Settore LL.PP. del comune di Petriolo (MC)

STRATIGRAFIA SONDAGGIO GEOGNOSTICO S1 (SCALA 1:100)



Caratteristiche tecniche del penetrometro utilizzato

Penetrometro dinamico super pesante PAGANI TG 63-200
(NORME DIN 4094)

Peso del maglio: 63,5 Kg
Altezza di caduta del maglio: 0,75 m
Penetrazione standard: 0,20 cm
Dimensioni della punta: diametro 5,1 cm - area 20,43 cm² - angolo 90°
Dimensioni aste: diametro 3,2 cm, lunghezza 1,0 m
Peso aste: 6,15 Kg
Peso massa passiva: 4,2 Kg
Coefficiente di correlazione: 1,47

Prova P1



Prova P2

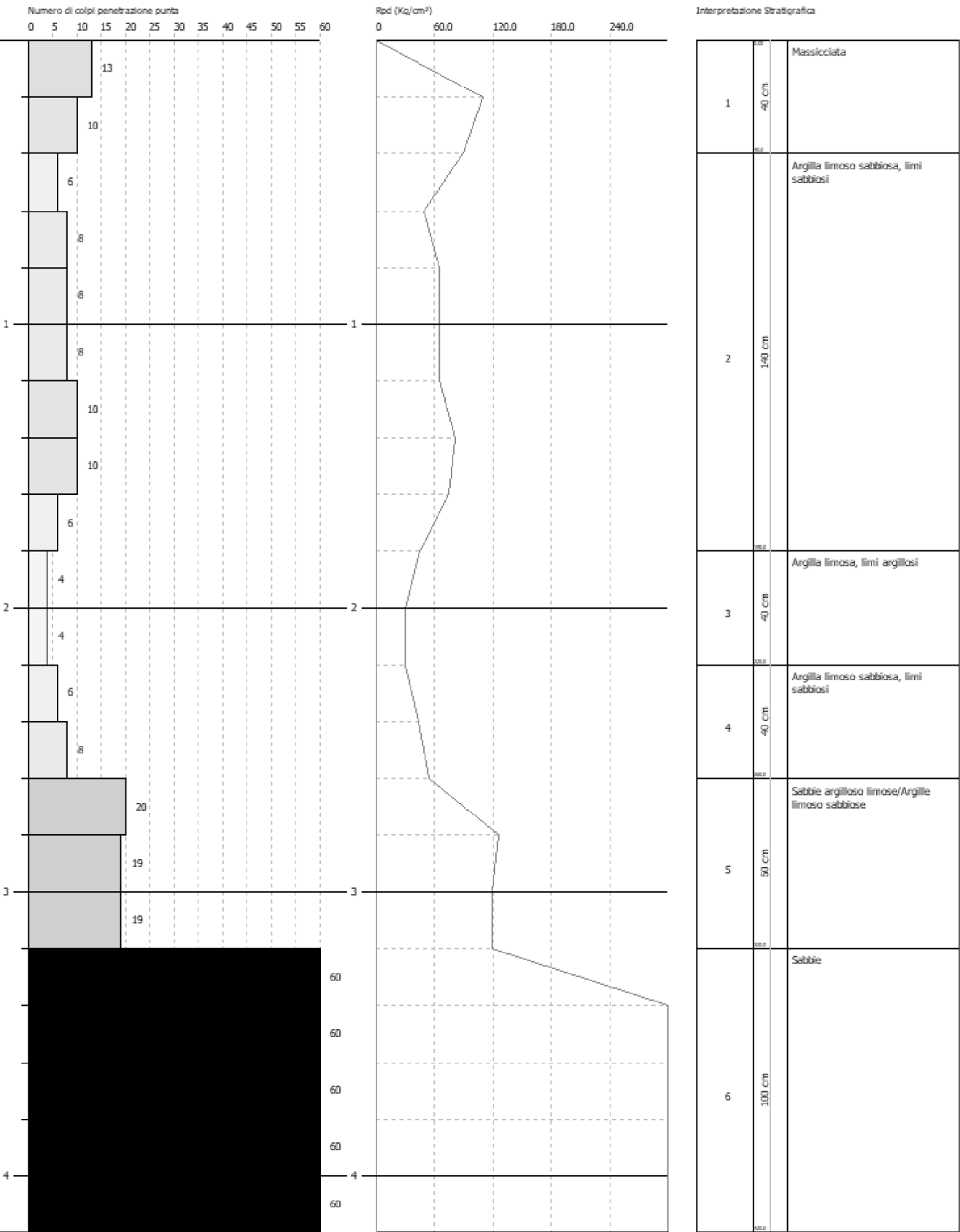


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Scuola Materna Savini
Descrizione: DPSH
Località: Petriolo (MC)

Data: 13/11/2018

Scala 1:20

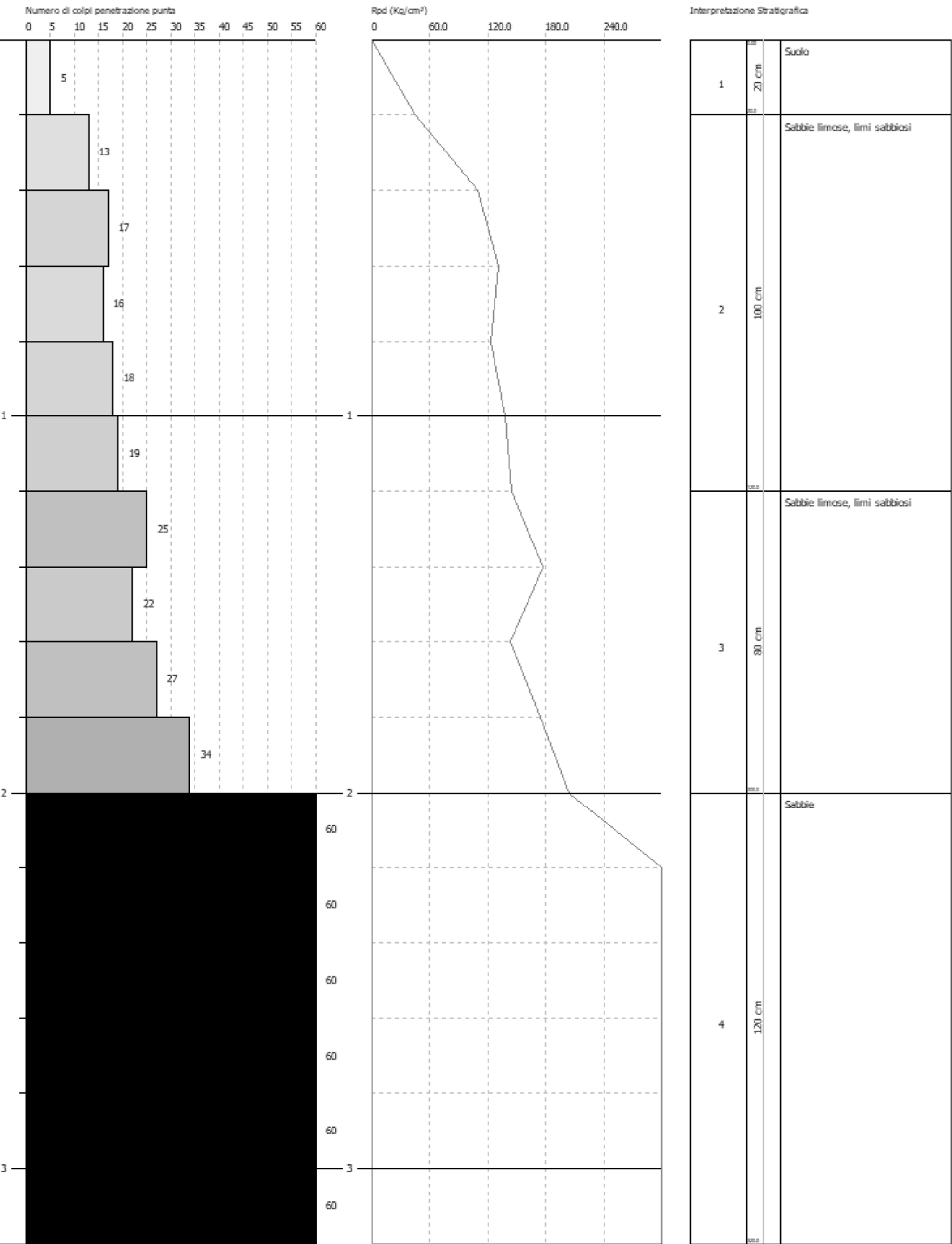


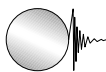
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Scuola Materina Savini
Descrizione: DPSH
Località: Petriolo (MC)

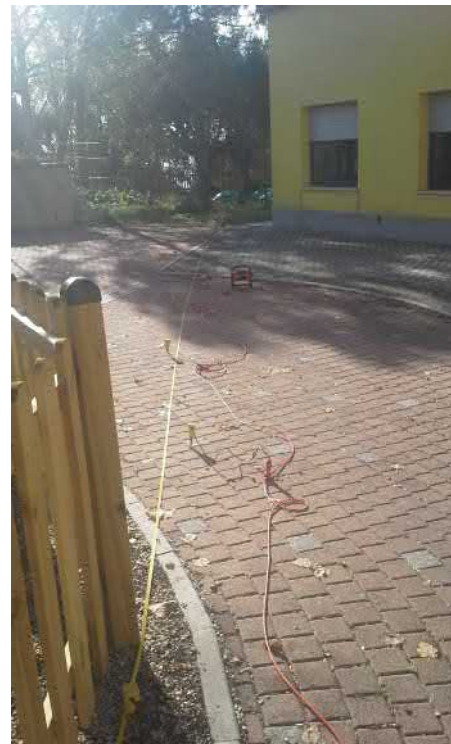
Data: 13/11/2018

Scala 1:15





Stesa sismica attiva MASW



Indagine sismica
passiva H/V1



Indagine sismica
passiva H/V2



Indagine sismica passiva H/V3



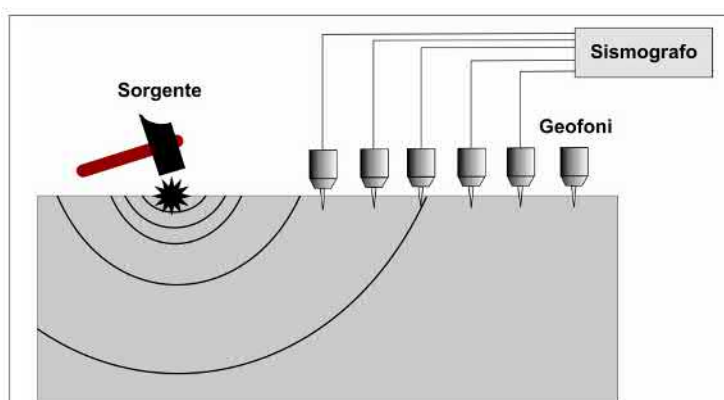
Geo-Sondaggi Sas di MC & C

Geosondaggi.n.c. – C.da Campiglia Bassa, 25 – 62015 Monte San Giusto (MC) email: geosondaggi@yahoo.it –
www.geo-sondaggi.com - cell. 3293126576 – 3292955106 – Fisso 0733/53663 - Fax. 0733/4431173
Indagine sismica Novembre 2018

MASW SCUOLA DELL'INFANZIA, PETRIOLO (MC)

Introduzione

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata un' acquisizione MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale delle Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio). Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005).



Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software winMASW7.3

Inversion of Rayleigh Dispersion Curves

Software winmasw 7.3 Academy

Main results

Rayleigh dispersion curve: R.cdp

DATI TECNICI RAYLEIGH componente ZVF	
STRUMENTAZIONE:	SISMOGRAFO PASI GEA 24 canali ad accumulabilità di impulsi. La registrazione dei sismogrammi avviene in forma digitale.
GEOFONI:	A componente verticale con frequenza 4.5 Hz.
LUNGHEZZA STENDIMENTO:	Stendimento rettilineo MASW da 46.0 metri diretto lungo la stessa quota.
SPAZIATURA INTERGEOFONICA:	2.0 metri.
TIPO DI ENERGIZZAZIONE:	Massa battente da 10 Kg.
MODALITA' DI ENERGIZZAZIONE:	1 colpo a 5.0 m sia dal geofono 1 che dal geofono 24.
INIZIO REGISTRAZIONE:	Il segnale di inizio registrazione, viene inviato allo strumento nel momento dell'energizzazione da un sensore (trigger) posto sulla massa battente.

MASW battuta end1

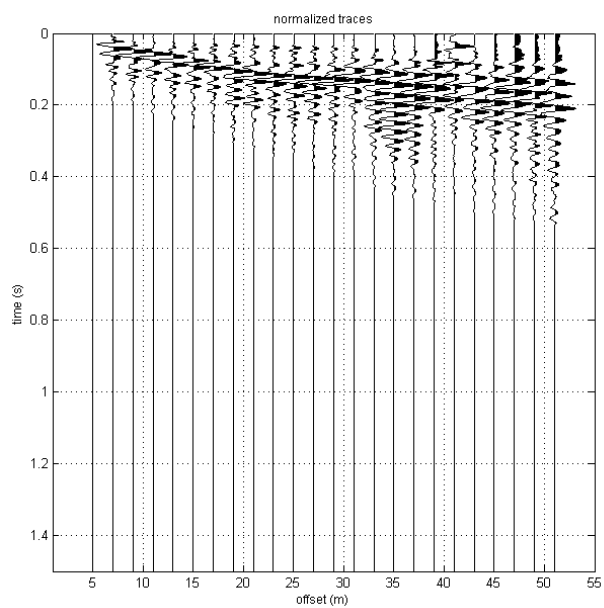
Numero di sensori utilizzati: 24

Durata di registrazione: 2000 ms

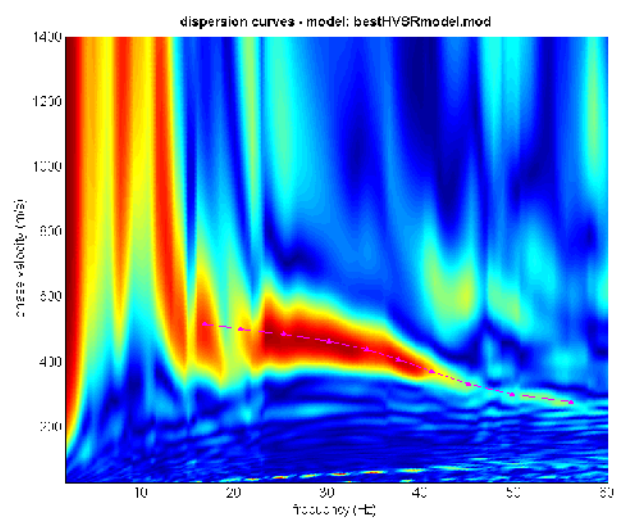
Passo di campionamento: 0.125 ms

Frequenza di campionamento 8000 Hz

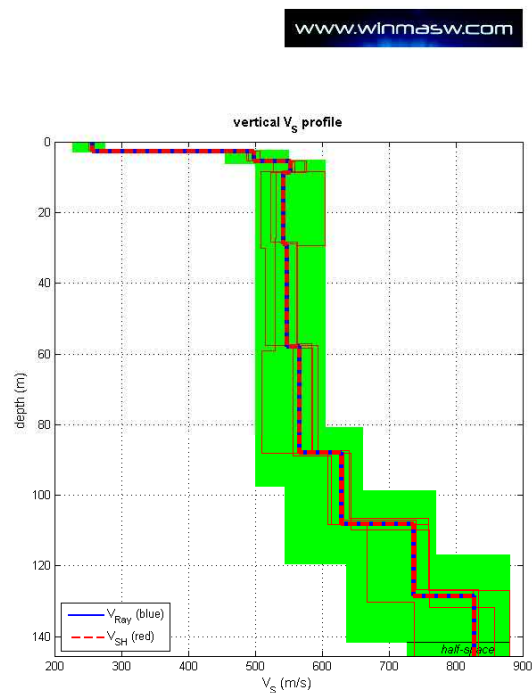
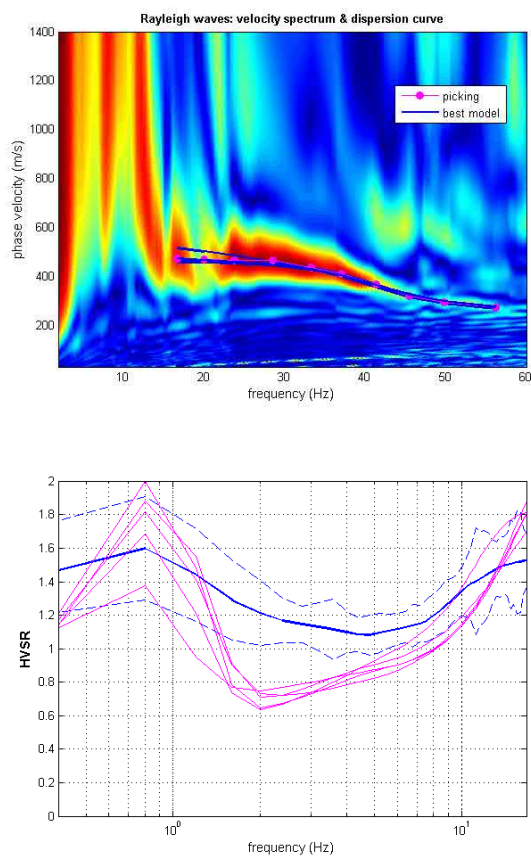
Sismogrammi



Picking curva di dispersione



Inversione congiunta con hv



Surface-wave dataset: end1_paz2m.dat
H/V dataset: raffaelli - scuola petriolo centrale_picked.hv
Rayleigh wave dispersion curve: 1.cdp
H/V curve: raffaelli - scuola petriolo centrale_picked.hv
 V_{s30} (minimum distance model): 492 m/s

"Best" model (minimum distance from the Utopia point)

V_{sv} (m/s): 259, 508, 528, 542, 562, 584, 641, 759, 880

Thickness (m): 2.6, 2.9, 3.2, 20.1, 28.3, 30.3, 19.3, 20.3

V_{s30} (m/s): 492.0

Best HVSR model (minimum misfit with respect to HVSR)

V_s (m/s): 259, 508, 528, 605, 562, 556, 614, 759, 834

Thickness (m): 3.0, 3.0, 3.0, 21.0, 28.0, 31.0, 19.0, 19.0

V_{s30} (m/s): 526

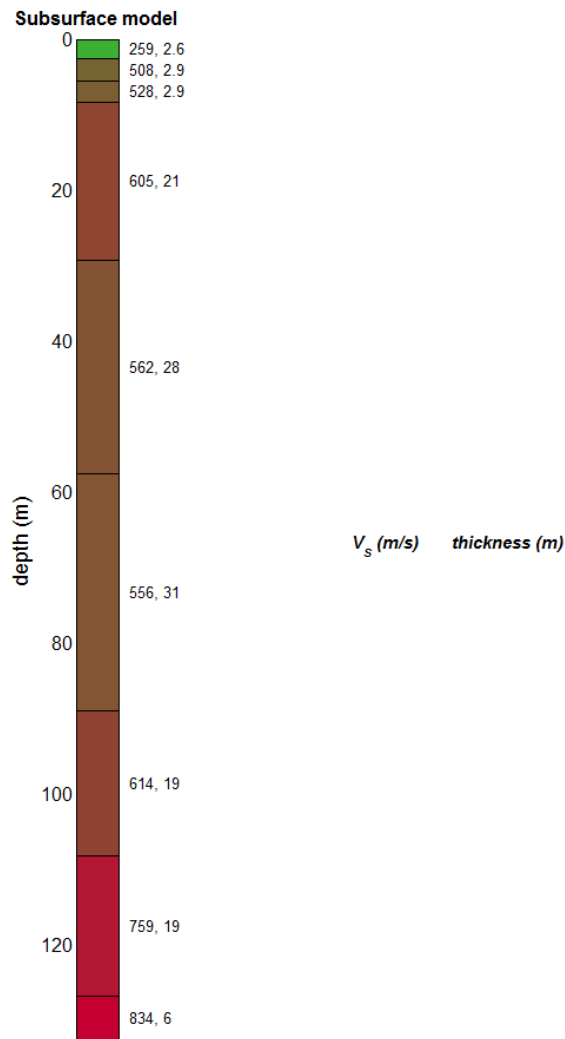
Mean model:

V_s (m/s): 257, 498, 553, 542, 547, 566, 628, 737, 827

Thickness (m): 2.6, 2.9, 3.1, 20.2, 29.1, 30.1, 20.0, 20.5

V_{s30} (m/s): 492

Best HVSR model



Parametri elastici

STRATO	Gamma (Kg/m ³)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	E (N/m ²)	E (Kg/cm ²)	G (N/m ²)	G (Kg/cm ²)	Coeff. Di Poisson	K (N/m ²)	K (Kg/cm ²)
1	1990	700	259	2.703	3.79E+08	3869	1.33E+08	1362	0.421	7.97E+08	8131
2,3	2100	1500	518	2.896	1.61E+09	16464	5.63E+08	5748	0.432	3.97E+09	40532
4	2150	1600	605	2.645	2.23E+09	22742	7.87E+08	8027	0.417	4.45E+09	45438
5	2100	1600	560	2.857	1.88E+09	19214	6.59E+08	6717	0.430	4.50E+09	45879

Riferimenti

Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P., 2007, Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation, J. Appl. Geophysics, 61, 39-55 Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, 64, 3; 800–808.



Monte San Giusto 12 Novembre 2018

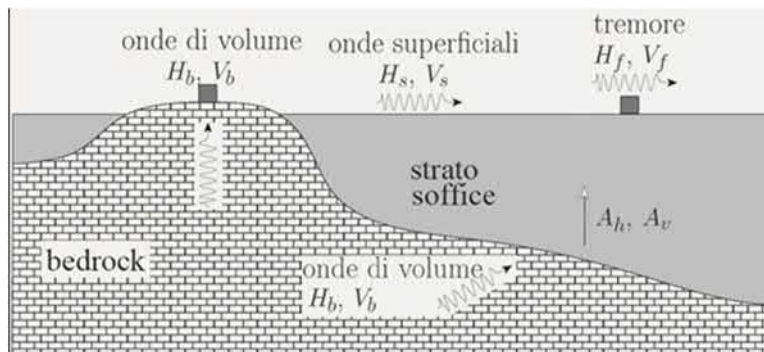
Indagine sismica passiva a stazione singola a tecnica HVSR

Scuola dell'infanzia Petriolo (MC)

Cenni teorici

La tecnica HVSR (o di Nakamura) è una tecnica sperimentale che consente di valutare alcune caratteristiche di depositi sedimentari (suoli), sia per quel che riguarda le registrazioni in sito, che per quel che riguarda le analisi cui i dati vengono sottoposti.

Si sottolinea da subito però che l'analisi del rapporto spettrale H/V non è, da sola, sufficiente a caratterizzare la complessità degli effetti di sito e soprattutto non è in grado di determinare, da sola, il valore assoluto dell'amplificazione sismica. Il metodo ha comunque dimostrato di essere idoneo per valutare il periodo fondamentale di depositi sedimentari (in modo particolare quando l'impedenza di questi è in grande contrasto con l'impedenza del bedrock). La principale applicazione della tecnica del rapporto spettrale H/V è quindi quella di consentire in modo semplice e veloce l'identificazione della frequenza fondamentale f_0 di diverse zone.



La tecnica HVSR consente quindi di valutare la frequenza fondamentale di risonanza di uno strato soffice a partire dalle sole registrazioni del rumore in superficie. Se si considera la struttura geologica tipica di un deposito sedimentario (fig.1), si vede come il tremore registrato in superficie si possa considerare come composto da onde superficiali e da onde di volume. Tali onde verranno modificate dall'azione filtrante dello strato soffice. Si possono definire due spettri relativi alle misure del moto superficiale orizzontale (H_f) e verticale (V_f); tali spettri sono legati agli spettri delle onde di volume e di quelle di superficie dalle seguenti formule:

$$\begin{cases} H_f = A_h \cdot H_b + H_s \\ V_f = A_v \cdot V_b + V_s \end{cases}$$

dove A_h e A_v sono i fattori di amplificazione del moto orizzontale e verticale delle onde di volume; H_b e V_b sono gli spettri orizzontale e verticale del moto nel *bedrock* e H_s e V_s sono gli spettri del moto orizzontale e verticale delle onde di superficie.

Nakamura ha quindi definito il rapporto QTS come:

$$QTS = \frac{H_f}{V_f} = \frac{H_b}{V_b} \cdot \frac{A_h + \frac{H_s}{H_b}}{A_v + \frac{V_s}{V_b}}$$

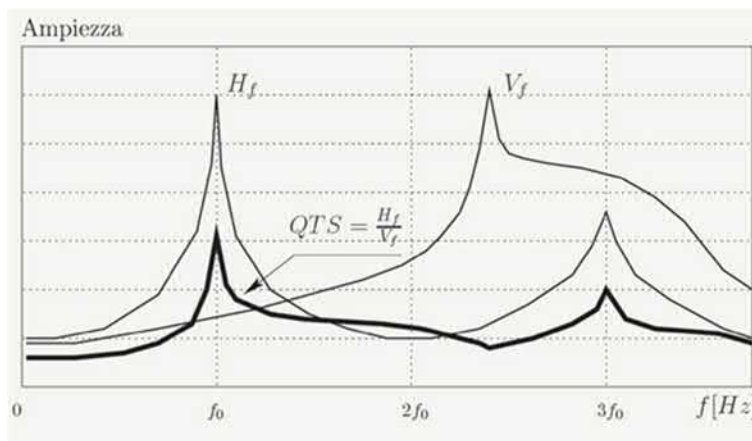
Geo-Sondaggi Sas di MC & C

GeoSondaggi – Contrada Campiglia Bassa, 25 – 62015 Monte San Giusto (MC)

email: geosondaggi@yahoo.it – www.geo-sondaggi.com

Recapiti telefonici: Cellulare 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

Per basse frequenze ($f < (2-3)f_0$) non c'è amplificazione significativa del moto verticale; inoltre, gli spettri H_b e V_b nel *bedrock* non hanno ancora ricevuto alcuna rilevante amplificazione. Con l'ulteriore ipotesi di predominanza delle onde provenienti dal *bedrock* su quelle superficiali si può dimostrare che il QTS è una approssimazione per difetto del fattore di amplificazione orizzontale A_h cercato (fig. 2).



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismic

HV1 vicino la scarpata

Dataset: raffaelli - scuola petriolo valle vicino scarpata.SAF

DATA ACQUISITION

Date and time: 2018 11 05 09 06 20.240 Z (UTC)

GPS data: Sat. 9 - 43°13'14,38" N - 13°27'49,34 E - 265,4 m

DATA PROCESSING

Date: 13 11 2018

Time: 17 12

Sampling frequency (Hz): 200

Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 20.0

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 7.0-30.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 14.3 (±4.3)

Peak HVSR value: 2.3 (±0.2)

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

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: 14.314 > 0.5 (OK)

#2. [$n_c > 200$]: 28914 > 200 (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

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

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency 3.6Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: (NO)

#3. [$A_0 > 2$]: 2.3 > 2 (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_A < \epsilon(f_0)$]: 4.327 > 0.716 (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 0.188 < 1.58 (OK)

Geo-Sondaggi Sas^{di MC & C}

GeoSondaggi – Contrada Campiglia Bassa, 25 – 62015 Monte San Giusto (MC)

email: geosondaggi@yahoo.it – www.geo-sondaggi.com

Recapiti telefonici: Cellulare 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

Curva hv

show data

reset

step1 (optional) - decimate

64 Hz

new frequency

resample

step2 - H/V computation

remove events

both Rad. & ...

clean axes

20

window length (s)

5

tapering (%)

Min. freq.: 0.5Hz

15

amplitude threshold

test removal

2

HVSR threshold

15%

spectral smoothing (triangular window)

2

detrrending order

HOU3C

☐

Particle motion, all HVSRs and video

☒

full output

compute

continuity

3D motion

☐

save video

show 3D motion

directivity analysis

frequencies to highlight: 1.0 5.0 10.0 Hz

compute

save - optional1: save HVSR as it is

save HV from 0.5 to 60 Hz

save HV curve (as it is)

save - optional2: picking HV curve

pick HV curve

save picked HV

quick analysis (fVs(tH))

average Vs (m/s)

200

(from surface to bedrock)

20

depth of the bedrock

1000

Vs of the bedrock

clean

compute

highlight a frequency

draw highlight

10 Hz

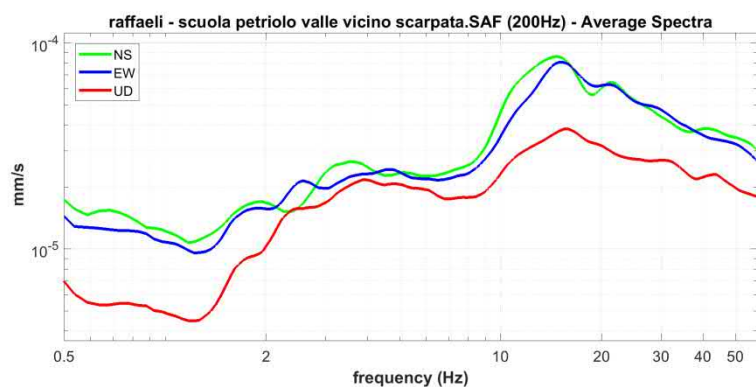
directivity over time

directivity in time

time

60

5



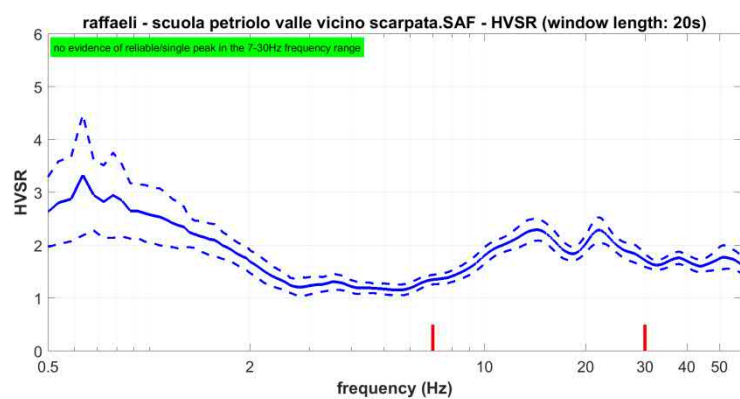
open working folder

show location

field notes

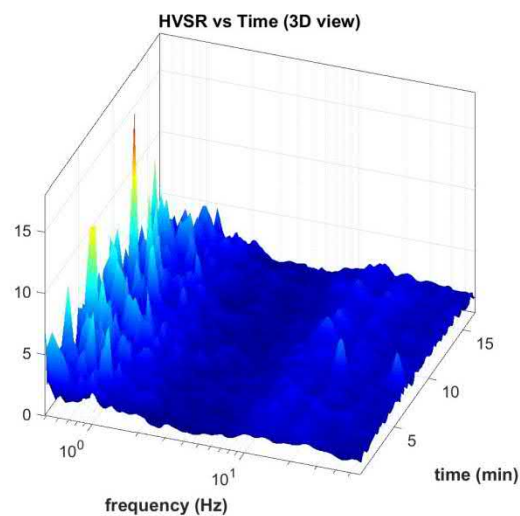
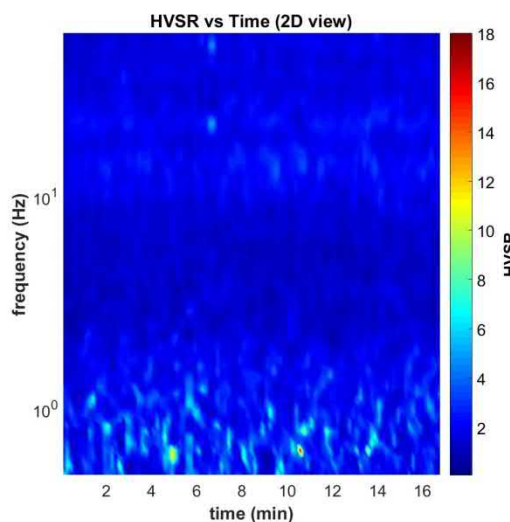
your comments

default axes



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

Stazionarietà

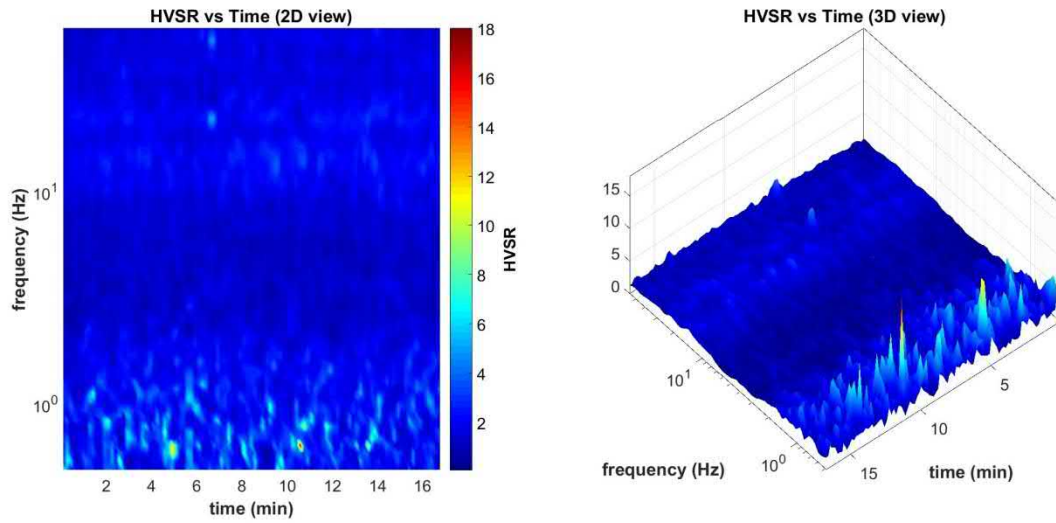


Geo-Sondaggi Sas di MC & C

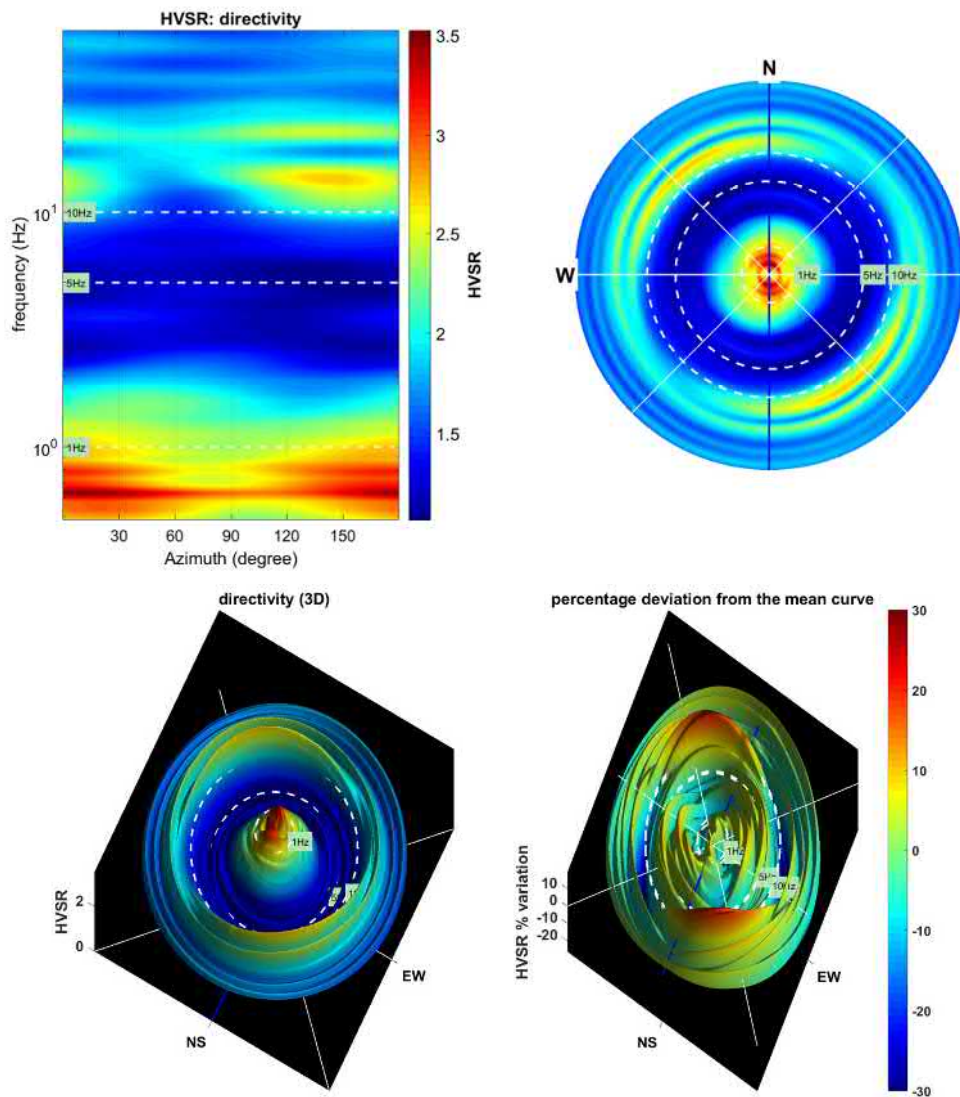
GeoSondaggi – Contrada Campiglia Bassa, 25 – 62015 Monte San Giusto (MC)

email: geosondaggi@yahoo.it – www.geo-sondaggi.com

Recapiti telefonici: Cellulare 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173



Direttività



Geo-Sondaggi Sas^{di MC & C}

GeoSondaggi – Contrada Campiglia Bassa, 25 – 62015 Monte San Giusto (MC)
email: geosondaggi@yahoo.it – www.geo-sondaggi.com
Recapiti telefonici: Cellulare 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

HV2 centrale

Dataset: raffaelli - scuola petriolo centrale.SAF

DATA ACQUISITION

Date and time: 2018 11 05 09 31 43.597 Z (UTC)

GPS data: Sat. 12 - 43°13'14,75" N - 13°27'49,63 E - 274,7 m

DATA PROCESSING

Date: 28 11 2018

Time: 11 3

Sampling frequency (Hz): 200

Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 20.0

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 1.5-10.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.8 (±2.6)

Peak HVSR value: 1.5 (±0.3)

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

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: 1.759 > 0.5 (OK)

#2. [$nc > 200$]: 3693 > 200 (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

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

#1. [exists f- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: (NO)

#2. [exists f+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: 1.5 < 2 (NO)

#4. [$f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_{maf} < \epsilon(f_0)$]: 2.611 > 0.176 (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 3.090 < 1.78 (NO)

Geo-Sondaggi Sas^{di MC & C}

GeoSondaggi – Contrada Campiglia Bassa, 25 – 62015 Monte San Giusto (MC)

email: geosondaggi@yahoo.it – www.geo-sondaggi.com

Recapiti telefonici: Cellulare 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

Curva hv

show data

reset

step1 (optional) - decimate

64 Hz

new frequency

resample

step2 - H/V computation

remove events

both Rad. & ...

clean axes

20

window length (s)

5

tapering (%)

Min. freq.: 0.5Hz

15

amplitude threshold

2

HVSR threshold

test removal

15%

spectral smoothing (triangular window)

2

detrrending order

HOU3C

Particle motion, all HVSRs and video

full output

compute

continuity

3D motion

save video

show 3D motion

directivity analysis

frequencies to highlight: 1.0 5.0 10.0 Hz

compute

save - optional1: save HVSR as it is

save HV from 0.5 to 60 Hz

save HV curve (as it is)

save - optional2: picking HV curve

pick HV curve

save picked HV

quick analysis (fVs(fH))

average Vs (m/s)

200

(from surface to bedrock)

20

depth of the bedrock

1000

Vs of the bedrock

clean

compute

highlight a frequency

draw highlight

10 Hz

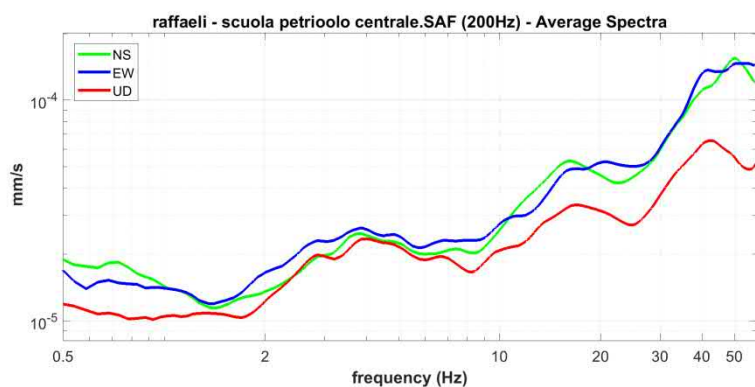
directivity over time

directivity in time

time

60

s



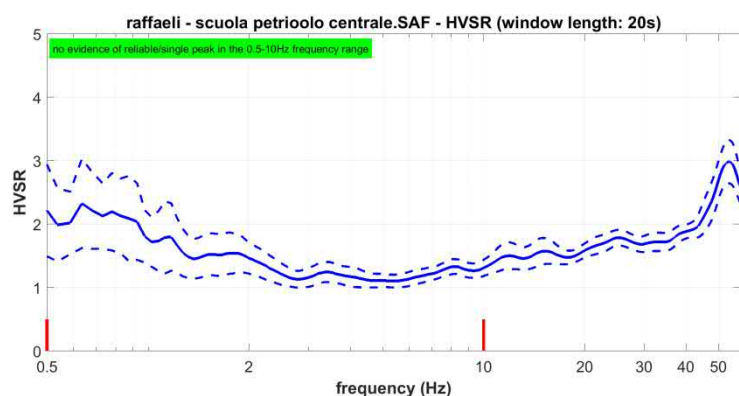
open working folder

show location

field notes

your comments

default axes



Criteria for a reliable H/V curve

#1: OK

#2: OK

#3: OK

Criteria for a clear H/V peak [0.635 Hz]

#1: OK

#2: OK

#3: OK

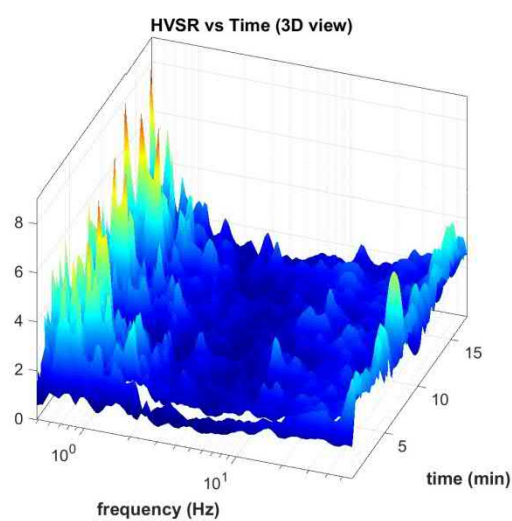
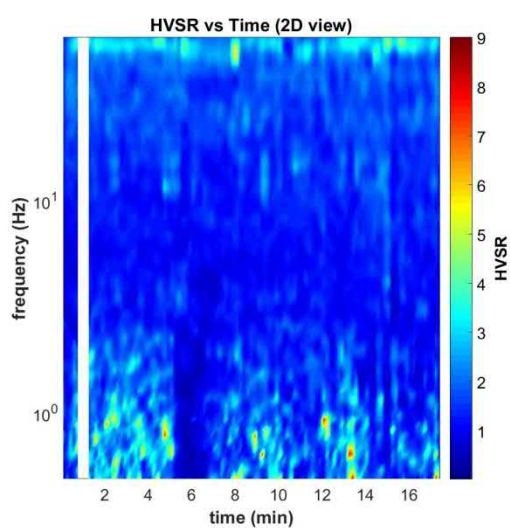
#4: NO

#5: NO

#6: NO

To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

Stazionarietà

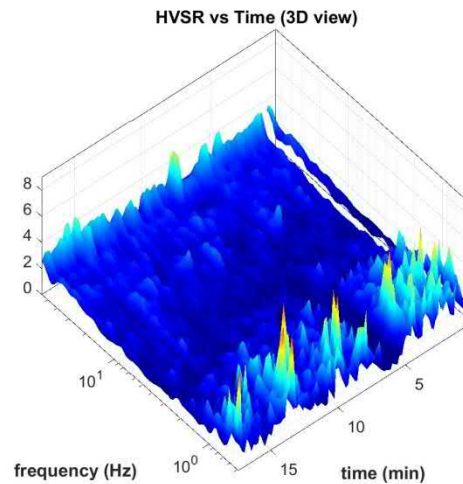
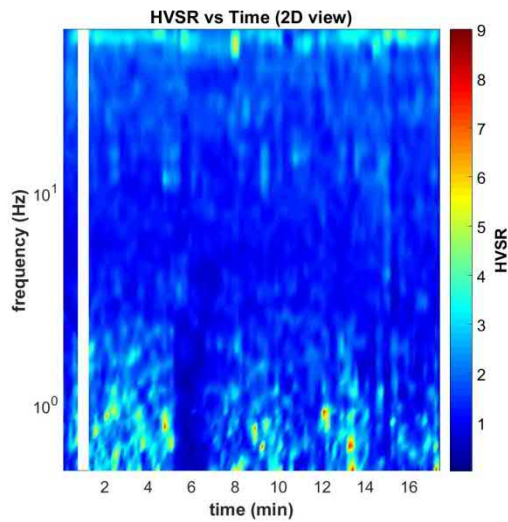


Geo-Sondaggi Sas di MC & C

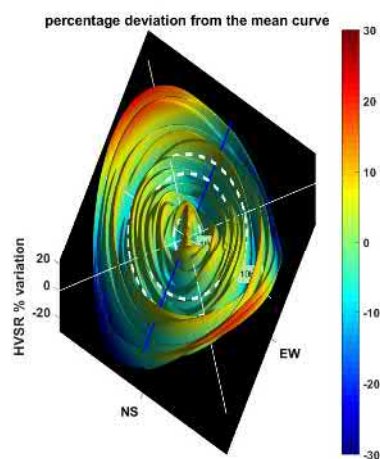
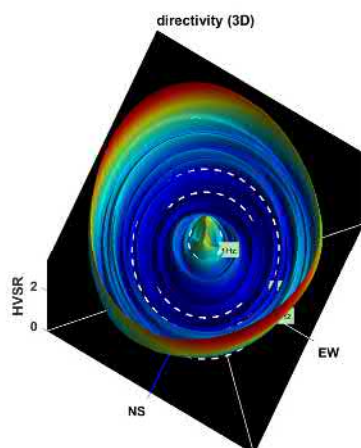
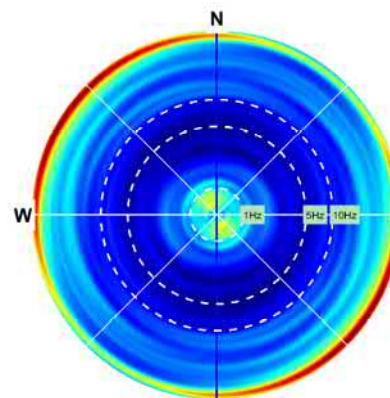
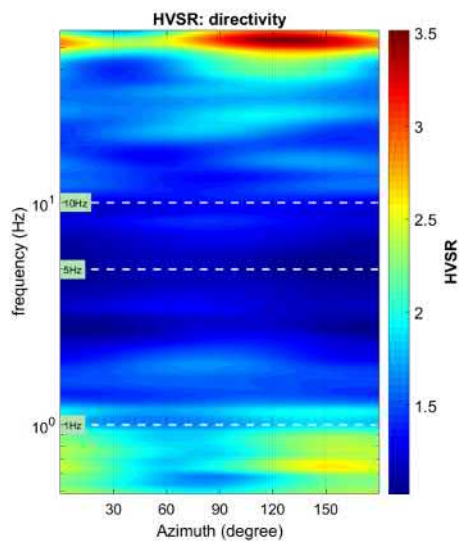
GeoSondaggi – Contrada Campiglia Bassa, 25 – 62015 Monte San Giusto (MC)

email: geosondaggi@yahoo.it – www.geo-sondaggi.com

Recapiti telefonici: Cellulare 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173



Direttività



Geo-Sondaggi Sas^{di MC & C}

GeoSondaggi – Contrada Campiglia Bassa, 25 – 62015 Monte San Giusto (MC)
email: geosondaggi@yahoo.it – www.geo-sondaggi.com
Recapiti telefonici: Cellulare 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

HV3 a monte

Dataset: raffaelli - scuola petriolo monte.SAF

DATA ACQUISITION

Date and time: 2018 11 05 10 46 21.416 Z (UTC)

GPS data: Sat. 11 - 43°13'15,59" N - 13°27'50,27 E - 267,8 m

DATA PROCESSING

Date: 13 11 2018

Time: 17 54

Sampling frequency (Hz): 64

Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 20.0

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 9.0-25.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 16.0 (±3.6)

Peak HVSR value: 1.5 (±0.2)

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

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $16.047 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $36908 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

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

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency 4.0Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 30.0Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $1.5 < 2$ (NO)

#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $3.605 > 0.802$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.266 < 1.58$ (OK)

Geo-Sondaggi Sas^{di MC & C}

GeoSondaggi – Contrada Campiglia Bassa, 25 – 62015 Monte San Giusto (MC)

email: geosondaggi@yahoo.it – www.geo-sondaggi.com

Recapiti telefonici: Cellulare 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

Curva hv

show data

reset

step1 (optional) - decimate

64 Hz

new frequency

resample

step2 - H/V computation

remove events

both Rad. & ...

clean axes

20

window length (s)

5

tapering (%)

Min. freq.: 0.5Hz

15

amplitude threshold

2

HVSR threshold

test removal

15%

spectral smoothing (triangular window)

2

detrrending order

HOLD3C

Particle motion, all HVSRs and video

full output

compute

continuity

3D motion

save video

show 3D motion

directivity analysis

frequencies to highlight: 1.0 5.0 10.0 Hz

compute

save - optional1: save HVSR as it is

save HV from 0.5 to 30 Hz

save HV curve (as it is)

save - optional2: picking HV curve

pick HV curve

save picked HV

quick analysis (fVs(fH))

200

average Vs (m/s)

(from surface to bedrock)

20

depth of the bedrock

1000

Vs of the bedrock

clean

compute

highlight a frequency

draw highlight

10 Hz

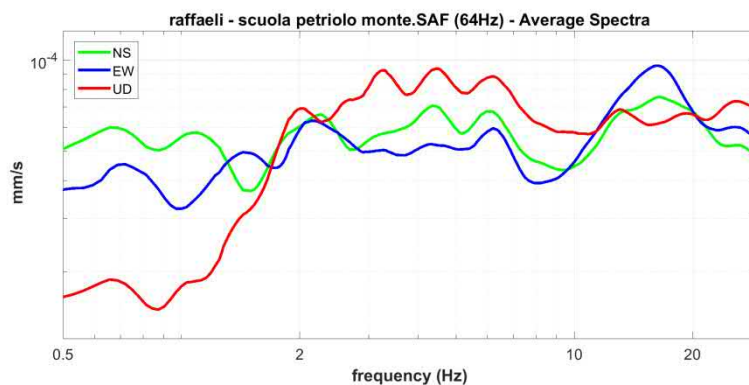
directivity over time

directivity in time

time

60

s



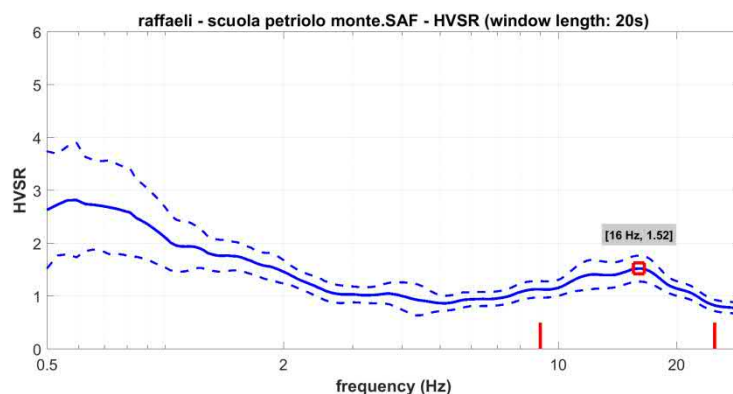
open working folder

show location

field notes

your comments

default axes



Criteria for a reliable H/V curve

#1: OK

#2: OK

#3: OK

Criteria for a clear H/V peak [16 Hz]

#1: OK

#2: OK

#3: NO

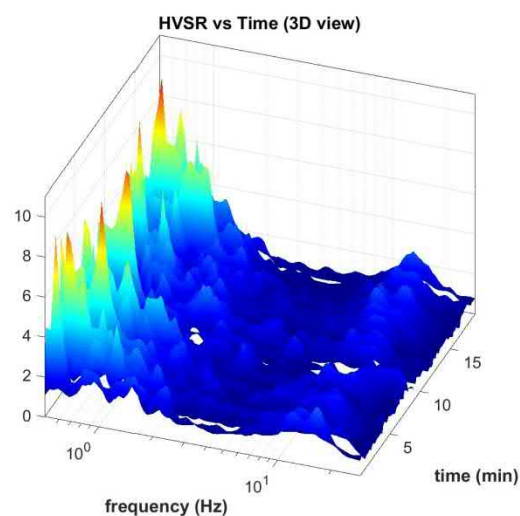
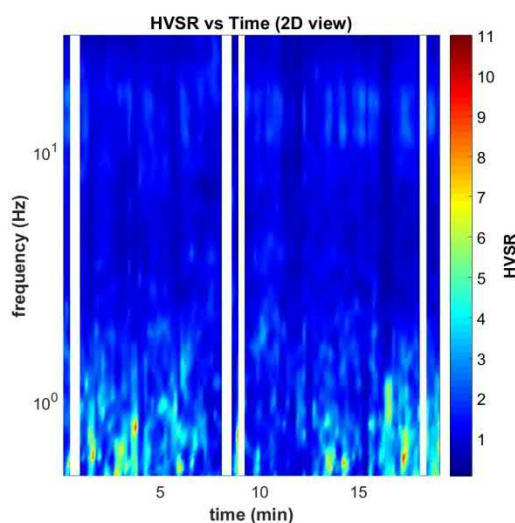
#4: OK

#5: NO

#6: OK

To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

Stazionarietà

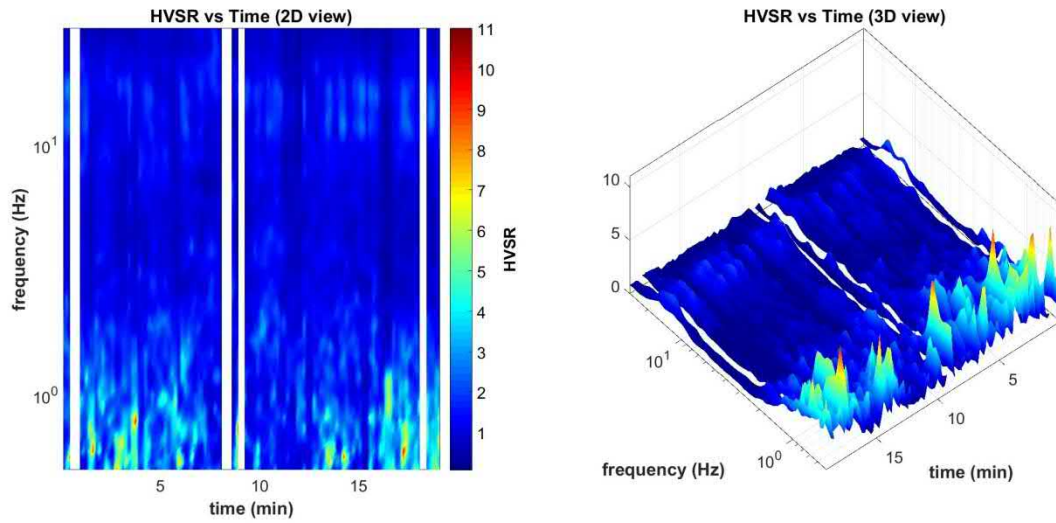


Geo-Sondaggi Sas di MC & C

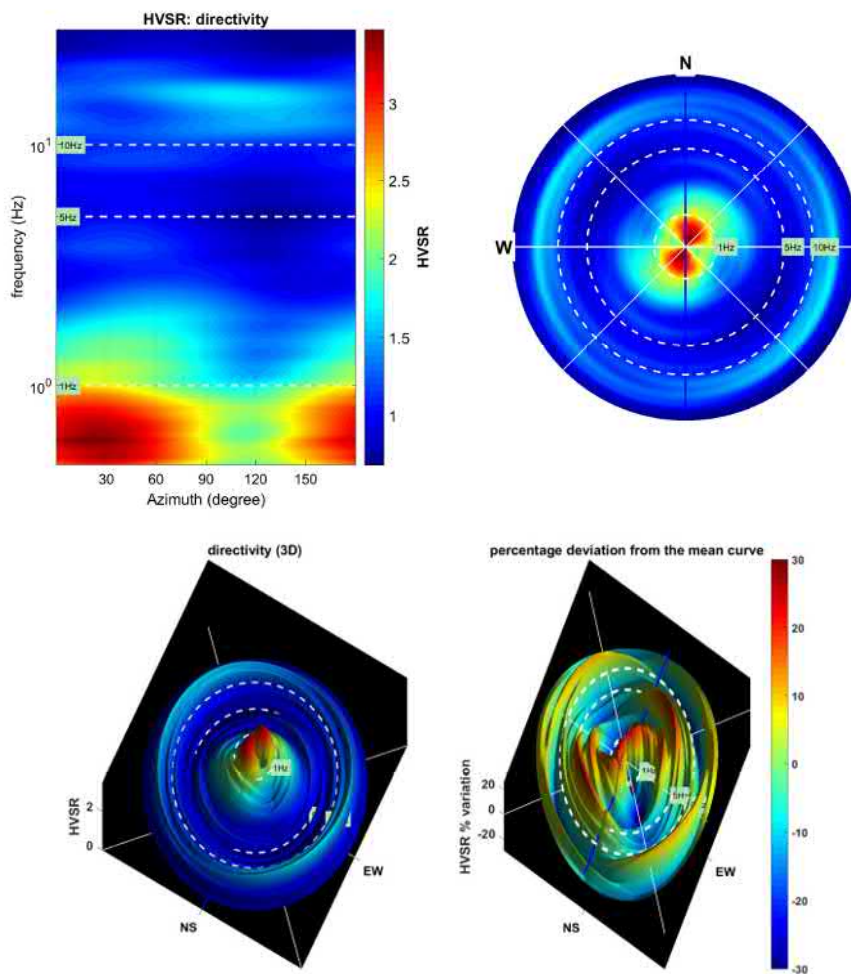
GeoSondaggi – Contrada Campiglia Bassa, 25 – 62015 Monte San Giusto (MC)

email: geosondaggi@yahoo.it – www.geo-sondaggi.com

Recapiti telefonici: Cellulare 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173



Direttività



Geo-Sondaggi Sas di MC & C

GeoSondaggi – Contrada Campiglia Bassa, 25 – 62015 Monte San Giusto (MC)

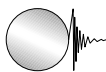
email: geosondaggi@yahoo.it – www.geo-sondaggi.com

Recapiti telefonici: Cellulare 3293126576 - 3292955106 - Fisso 0733/53663 - Fax.0733/4431173

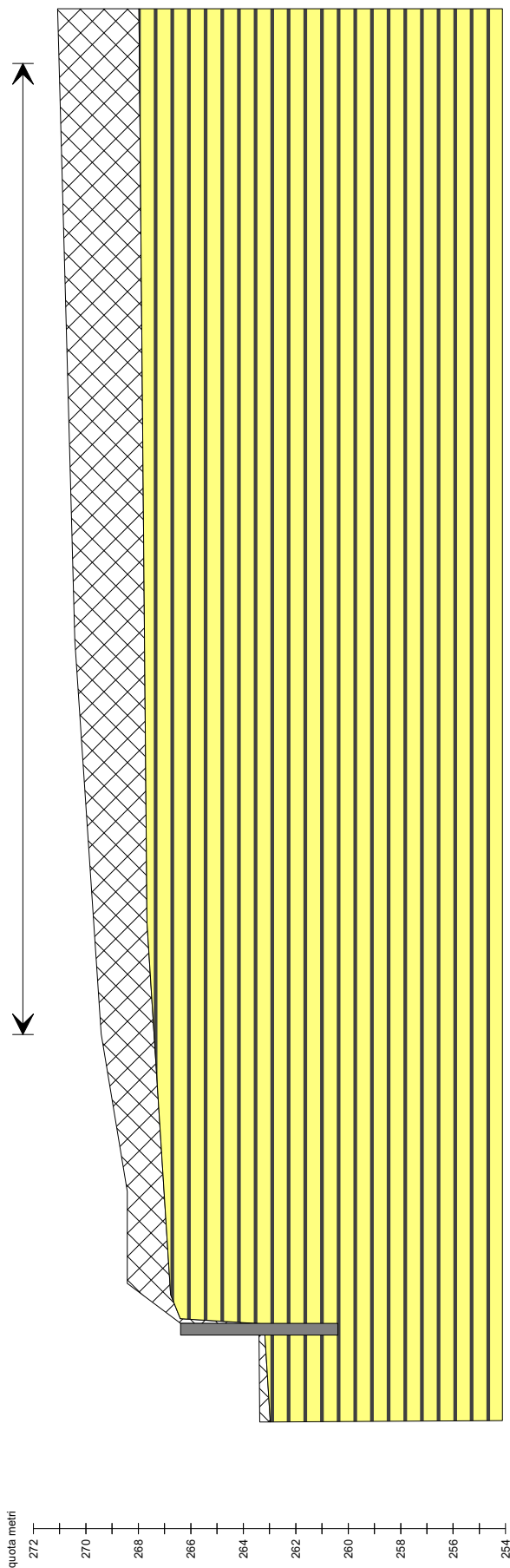
Osservazioni

Le due curve hv risultano piatte senza picchi evidenti, sinonimo di substrato geologico sub-affiorante con Vs relativamente alte. Si evidenzia su tutte e tre le misure un range di amplificazione (picco non distinguibile) tra 1.0 e 1.8 Hz, probabile contrasto di impedenza profondo. Altri picchi rilevati a 14 e 16 Hz rispettivamente in hv1 e in hv3, sono relativi a contrasti di impedenza molto superficiali (<5m).



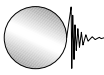


Edificio scolastico "Pietro e Sofia Savini"

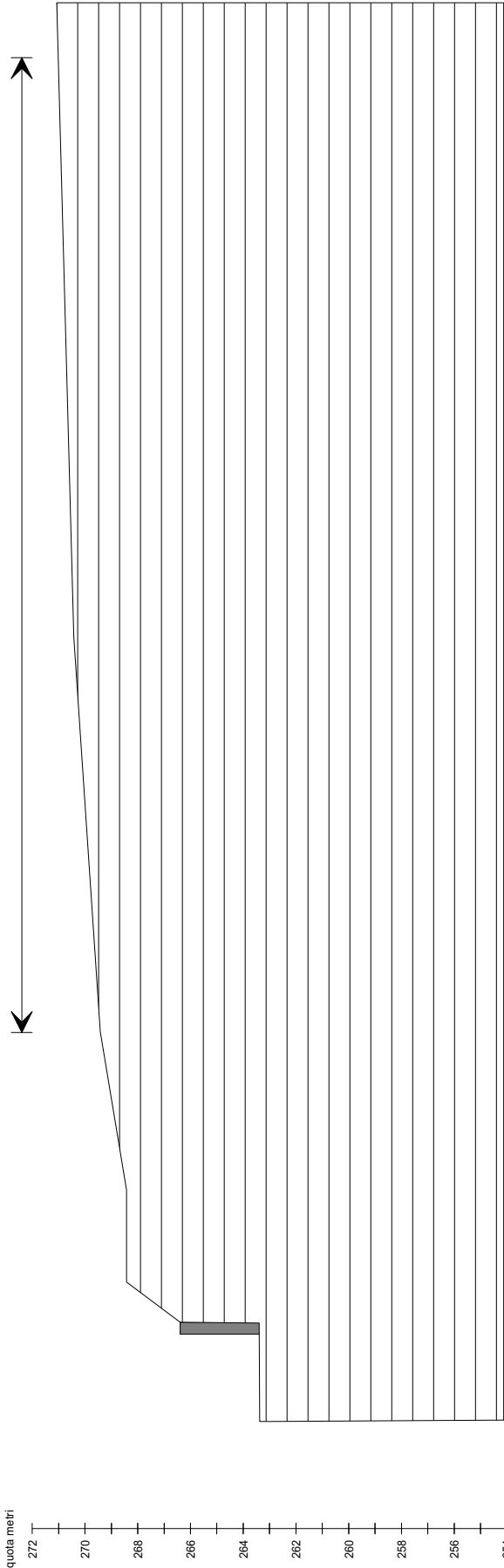


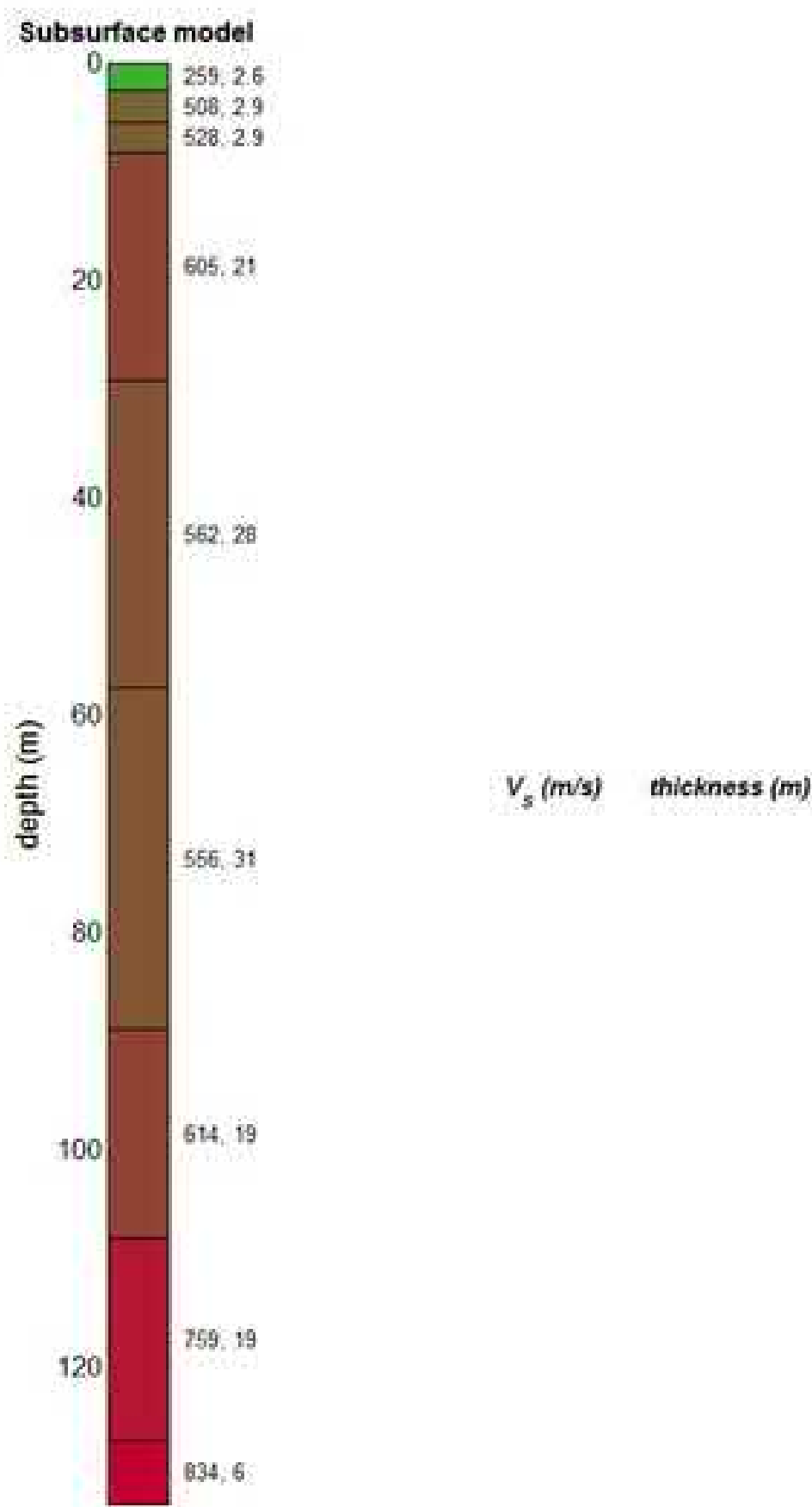
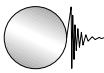
Alternanza stratificata di sabbie e argille del substrato marino poco alterato

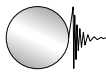
Alternanza stratificata di sabbie e argille del substrato marino integro



Edificio scolastico "Pietro e Sofia Savini"







Ai sensi del D. Lgs. 196/2003, per "Dati Personali" si intendono:

- quelli che Le richiediamo con il presente modulo e quelli ulteriori che avremo assoluta necessità di rilevare nell'espletamento delle prestazioni a suo favore;
- quelli spontaneamente da Lei forniti tenendo presente che non vi è alcun obbligo da parte Sua di fornirli;
- potendo essere indispensabili ai fini del rapporto intercorrente, la informiamo che potremmo registrare e trattare anche dati sensibili o giudiziari.

1. I Dati vengono da noi raccolti con la esclusiva finalità del corretto e completo svolgimento della nostra attività professionale nei Suoi confronti, in particolare come da incarico conferitoci e relativo a:

"VERIFICA DELLA VULNERABILITA' SISMICA DELL'EDIFICIO OCCUPATO DALLA SCUOLA DELL'INFANZIA "PIETRO E SOFIA SAVINI" DI PETRIOLO (MC)"

compresa la gestione amministrativa e contabile del rapporto; in particolare con alcuni Dati provvederemo a tenere le registrazioni ed effettuare le comunicazioni obbligatorie per legge, sia contabili che di altra natura.

2. I Dati vengono da noi trattati sia manualmente, e la documentazione cartacea relativa verrà da noi correttamente mantenuta e protetta per tutto il tempo necessario al trattamento, sia a mezzo del nostro sistema informatico, ed in tal caso verranno registrati su supporti informatici protetti.

3. I Dati raccolti ed elaborati potranno essere:

- ✓ messi a disposizione dei Collaboratori del Titolare, in qualità di Responsabili o Incaricati;
- ✓ comunicati a terze persone, fisiche o giuridiche o PA, solo se coinvolte e funzionali all'espletamento delle prestazioni richiesteci, ed in genere, a tutti quei soggetti pubblici e privati cui la comunicazione sia necessaria per il corretto adempimento delle finalità per cui è stato conferito l'incarico;
- ✓ oppure trasferiti ad altro Titolare (in qualità di titolare autonomo) per trattamenti effettuati all'esterno, per gli aspetti che possono riguardarli e secondo le modalità previste dalla legge;
- ✓ i dati non saranno oggetto di diffusione e verranno distrutti quando non avremo più necessità o obbligo di conservarli.

4. La informiamo che, in qualità di Interessato, ha tutti i diritti previsti dall'art. 7 del D. Lgs. n. 196/2003, tra i quali:

A. Ottenere a cura del Titolare e senza ritardo :

- ✓ la conferma o meno dell'esistenza di Dati personali che La riguardano, l'aggiornamento, la rettifica, l'integrazione dei Dati, la cancellazione, la trasformazione in forma anonima o il blocco dei Dati trattati in violazione della legge;
- ✓ l'attestazione che le operazioni di cui ai precedenti punti sono state portate a conoscenza di coloro ai quali i Dati sono stati comunicati, eccettuato i casi in cui tale adempimento si riveli impossibile o sproporzionato al diritto tutelato.

B. Opporsi in tutto od in parte, per motivi legittimi, al trattamento dei propri Dati personali, ancorché pertinenti allo scopo della raccolta, nel qual caso però non ci sarà possibile procedere all'erogazione dei servizi professionali a Suo favore. Tutti i diritti di cui all'art. 7 del D. Lgs. n. 196/2003 sono esercitati con richiesta rivolta senza formalità al Titolare od al Responsabile della Sicurezza, anche per il tramite di un incaricato, alla quale è fornito idoneo riscontro senza ritardo.

Le segnaliamo che il **Titolare del Trattamento** è lo scrivente Studio Geologico Raffaeli, con sede in Corridonia (MC) Viale Santa Croce n° 61 e che il **Responsabile della Sicurezza dei dati** è **Raffaeli Fabrizio**, elettivamente domiciliato, per le disposizioni di cui al D. Lgs. 196/2003, presso la sede dello scrivente, ove è anche disponibile l'elenco aggiornato dei soggetti esterni ai quali i dati potranno essere comunicati.

Firma del committente