



# PROVINCIA DI FERMO

## SETTORE

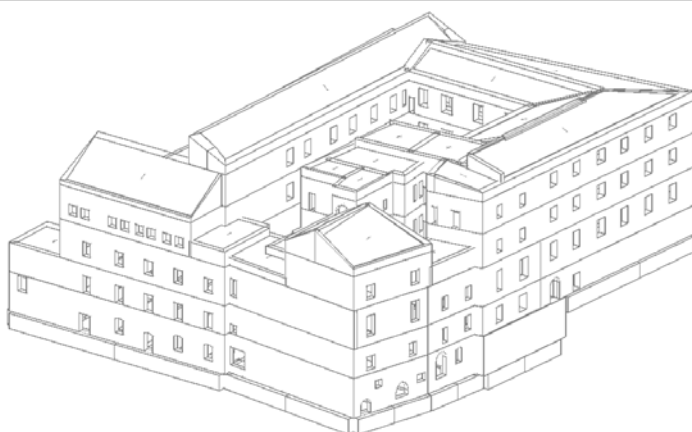
*Patrimonio Edilizia Scolastica Genio Civile e Protezione Civile*

### STUDIO DELLA VULNERABILITA' E DEL RISCHIO SISMICO

IMMOBILE SEDE DEL

## LICEO CLASSICO "ANNIBAL CARO"

*Località via Permentì angolo via Giacomo Leopardi in Fermo*



Revisione

**1°**

Tipologia tavola

**Strutture**

Data documento

**10/05/2018**

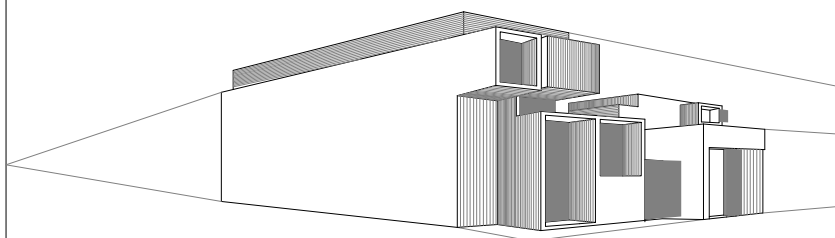
Scale utilizzate

**Elaborato:**

**INDAGINE GEOFISICA DI RIFERIMENTO PER LA  
VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA'**

# Tav. 04

Il Resp. Procedimento  
**Ing. Ivano Pignoloni**



Il Tecnico :

**Ing. Egidio Santucci**

Via P.Nenni,25 - Montappone (FM)

Tel/Fax 0734 761200 Cell. 338 3781917

P. IVA 01633150444

Timbro e firma



**Maggio  
2018**



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' - INFRASTRUTTURE - URBANISTICA  
PATRIMONIO ED EDILIZIA SCOLASTICA

Valutazione della vulnerabilità sismica di edificio  
adibito a sede del Liceo Classico A. Caro di  
Fermo sito in Via G. Leopardi

## RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOFISICHE

DOTT. GEOL. COSTANTINO BERARDINI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
DOTT. ING. IVANO PIGNOLONI



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA'-INFRASTRUTTURE-URBANISTICA E EDILIZIA  
SCOLASTICA E PATRIMONIO EDILIZIO

---

## INDICE

---

1. PREMESSA	pag. 2
2. UBICAZIONE TOPOGRAFICA	pag. 2
3. SISMICA	pag. 3

## ALLEGATI

---

- Allegato 1: Corografia, scala 1:25.000;
- Allegato 2: Coordinate geografiche
- Allegato 3: Ubicazione indagini geofisiche, scala 1:500;
- Allegato 4: Relazione sulle indagini geofisiche;
- Allegato 5: Valutazione del coefficiente di amplificazione topografica ST
- Allegato 6: Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA'-INFRASTRUTTURE-URBANISTICA E EDILIZIA  
SCOLASTICA E PATRIMONIO EDILIZIO

## 1. PREMESSA

L'Amministrazione Provinciale di Fermo – Settore Viabilità-Infrastrutture-Urbanistica-Edilizia Scolastica e Patrimonio Edilizio, dovendo procedere alla valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio adibito a sede del Liceo Classico Annibal Caro di Fermo sito in Via G. Leopardi nel comune di Fermo (FM), ha effettuato uno studio geofisico, mediante le relative prove geofisiche, allo scopo di fornire tutti i dati occorrenti alla valutazione dell'azione sismica di progetto.

La campagna delle indagini geofisiche è stata effettuata secondo la normativa vigente:

- D.M. 14/01/2008 recante "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni (G.U. 04/02/2008 n. 29);
- Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 02/02/2009, n. 617 C.S.LL.PP., "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2009" (G.U. n. 47 del del 26/02/2009).

Ai fini della valutazione dell'azione sismica di progetto, ai sensi della nuova normativa sismica proposta con DM 14/01/2008, la campagna delle indagini geofisiche (Allegato 4). è stata eseguita mediante:

- n. 2 indagini con tecnica MASW;
- n. 3 misure di microtremori ambientali HVSr.

## 2. UBICAZIONE TOPOGRAFICA

L'edificio oggetto del presente studio è situato all'incrocio tra Via G. Leopardi e Via Pernenti all'interno del centro storico del Comune di Fermo (FM)(Allegato 1).

Le coordinate geografiche sono:

WGS84	Latitudine 43.162334	Longitudine 13.719047
ED50	Latitudine 43,163285	Longitudine 13,719964

L'area è inquadrata topograficamente nel Foglio 125 "Fermo", in scala 1:25.000 (allegato 1), della Carta Topografica, base I.G.M. e nella Carta orto-fotogrammetrica derivata del territorio del



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA'-INFRASTRUTTURE-URBANISTICA E EDILIZIA  
SCOLASTICA E PATRIMONIO EDILIZIO

comune di Fermo alla scala 1:2.000, nella sezione 315011, fogli 11 e 15 (utilizzata come base cartografica).

### 3. SISMICA

Al fine di definire le condizioni geofisiche di sito sono state eseguite le seguenti indagini:

LINEA	LUNGHEZZA (m)	RICEVITORI (n°)	DISTANZA INTER GEOFONICA (m)	Vs30 (m/secc)	TIPOLOGIA
MASW 1	55	12	5	554	MASW
MASW 2	55	12	5	554	MASW

Tabella 1: Elenco e caratteristiche delle linee in sismica a rifrazione eseguite.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008, l'azione sismica di progetto viene definita mediante un approccio "sito dipendente", che prevede, nel caso di approccio semplificato, si debbano conoscere i seguenti parametri:

1. Pericolosità sismica di base del sito ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ )
2. Categoria di sottosuolo;
3. Coefficiente di amplificazione topografica ( $S_T$ );

La "pericolosità sismica di base" viene definita in termini di accelerazione massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastici. Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido ed orizzontale:

- $A_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;



# PROVINCIA DI FERMO

## SETTORE VIABILITA'-INFRASTRUTTURE-URBANISTICA E EDILIZIA SCOLASTICA E PATRIMONIO EDILIZIO

La nuova normativa individua le seguenti *“categorie di suolo di fondazione”*,

A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m., caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di scarsamente compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt30} > 50$ nei terreni a grana grossa, e $Cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m., caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt30} < 50$ nei terreni a grana grossa, e $70 < Cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m., caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori 180 m/s (ovvero $N_{spt30} < 15$ nei terreni a grana grossa, e $Cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina.
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiore a 20 m. posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s).

Per i terreni di seguito illustrati andranno svolti studi speciali per la definizione dell'azione sismica.

S1	Terreni che includono uno strato di almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ( $PI > 40$ ) e contenuto di acqua, con $10 < cu < 20$ kPa e caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s.
S2	Terreni soggetti a liquefazione, argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Dalle risultanze delle indagini geofisiche con tecnica MASW, (Allegato 4) il suolo di fondazione può essere definito di Categoria “B” con  $V_{s30} = 554$  m/sec

RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOFISICHE	Pagina 4 di 6
Valutazione della vulnerabilità sismica di un edificio adibito a Liceo Classico Annibal Caro sito in Via G. Leopardi. Comune di Fermo (FM).	



# PROVINCIA DI FERMO

## SETTORE VIABILITA'-INFRASTRUTTURE-URBANISTICA E EDILIZIA SCOLASTICA E PATRIMONIO EDILIZIO

Per tener conto delle condizioni topografiche del sito per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tabella 3.2. IV del D.M.14/01/2008).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $<15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $>15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore della base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore della base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Il “coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ ” in funzione delle categorie topografiche precedentemente descritte e dell'ubicazione dell'intervento sono riportate nella seguente tabella (Tabella 3.2. VI del D.M. 14/01/2008).

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	St
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Il fabbricato si colloca in corrispondenza di un versante con pendenza media di  $10^\circ$ , pertanto il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  è stato valutato pari a 1.0 (Allegato 5).

Ai fini della misura diretta delle frequenze caratteristiche di sito e la valutazione dell'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 sono state effettuate n. 3 misure di microtremore ambientale HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). Nel caso in esame si evidenzia che l'area, sollecitata da input sismico, amplifica le onde nel range  $8.48 \text{ Hz} \leq f \leq 10.28 \text{ Hz}$  (Allegato 4).

RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOFISICHE	Pagina 5 di 6
Valutazione della vulnerabilità sismica di un edificio adibito a Liceo Classico Annibal Caro sito in Via G. Leopardi. Comune di Fermo (FM).	



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA'-INFRASTRUTTURE-URBANISTICA E EDILIZIA  
SCOLASTICA E PATRIMONIO EDILIZIO

---

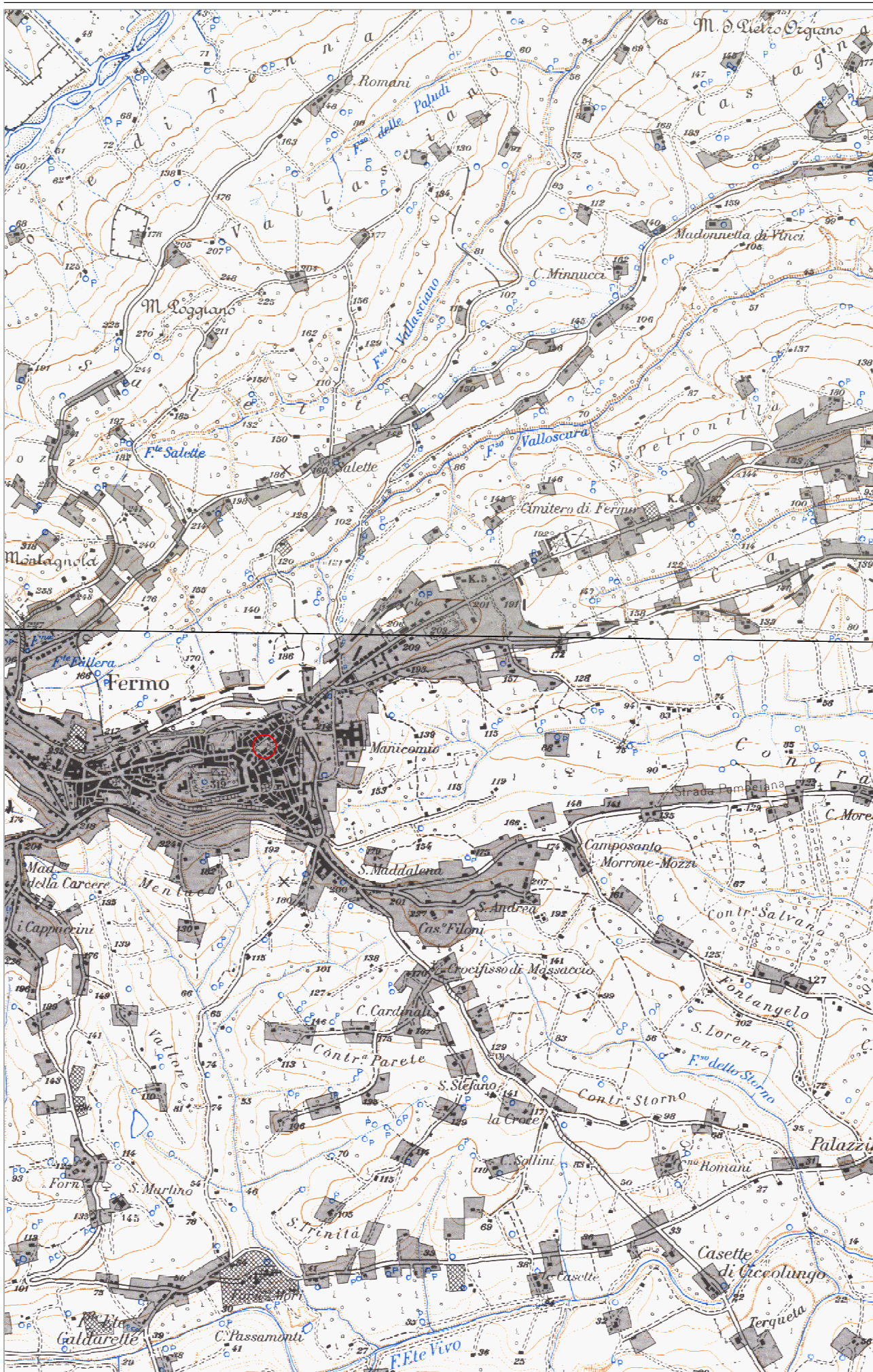
Dagli studi di microzonazione sismica di livello 1 del territorio comunale di Fermo (FM) (Allegato 6), il fabbricato si colloca in corrispondenza di un'area stabile ma suscettibile di amplificazione sismica, con substrato pressoché affiorante e copertura con spessore da 0.0 a 3.0 ml.

Fermo li, 01 Agosto 2017

Il GEOLOGO

Dott. Costantino Berardini





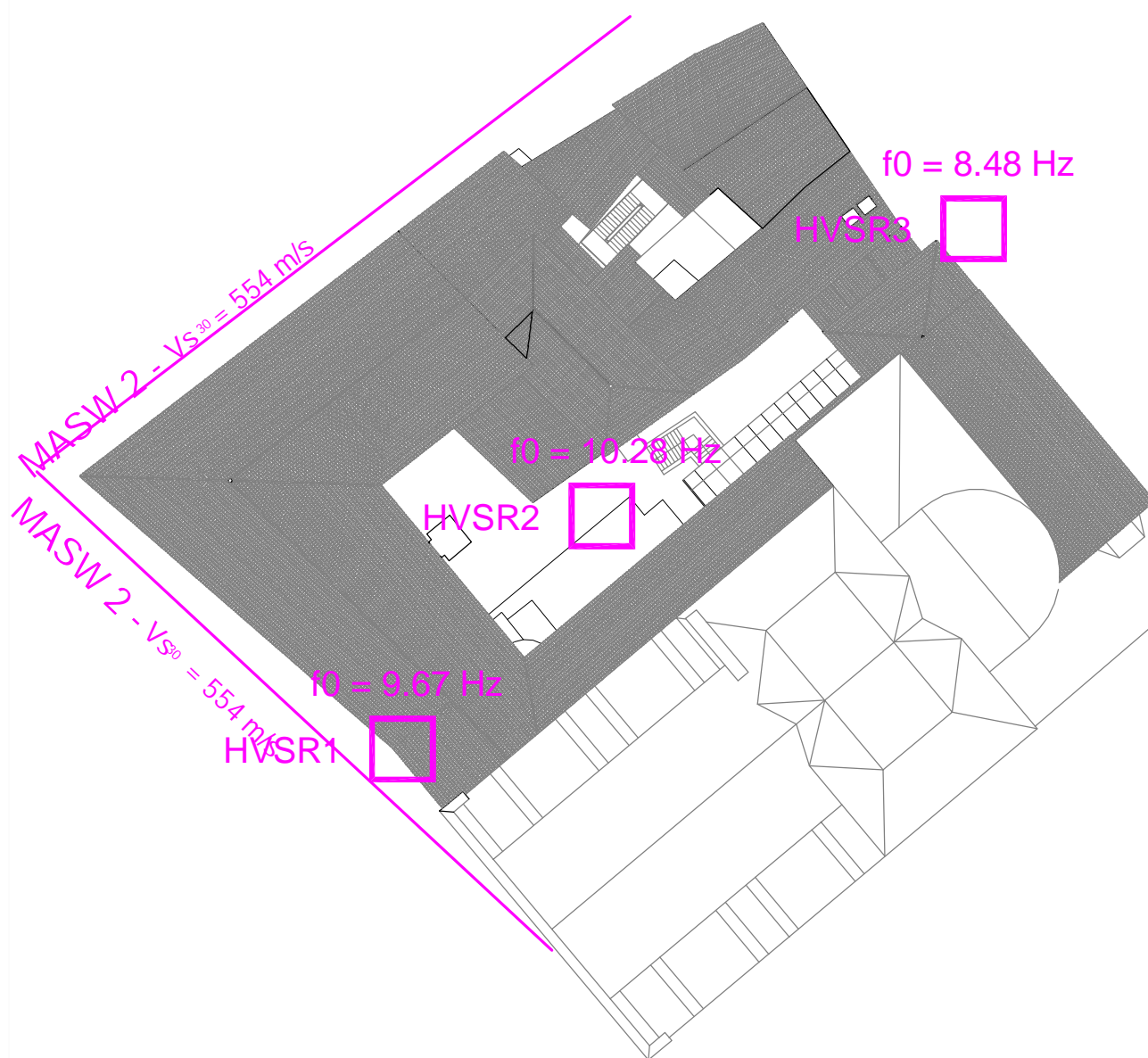
## COROGRAFIA, Scala 1:25.000

ALLEGATO 1

Valutazione della vulnerabilità sismica di edificio adibito a sede del Liceo Classico Annibal Caro di Fermo sito in Via G. Leopardi  
Comune di Fermo (FM).







MASWn



Indagine geofisica con tecnica MASW



HVSRn

Misure dei microtrempi HVSR

UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE, Scala 1:500

ALLEGATO 3

Valutazione della vulnerabilità sismica di edificio adibito a sede del Liceo Classico Annibal Caro di Fermo sito in Via G. Leopardi  
Comune di Fermo (FM)

## Comune di FERMO

(Prov. Fermo)

**Oggetto:**

**Indagine geofisica tramite:**

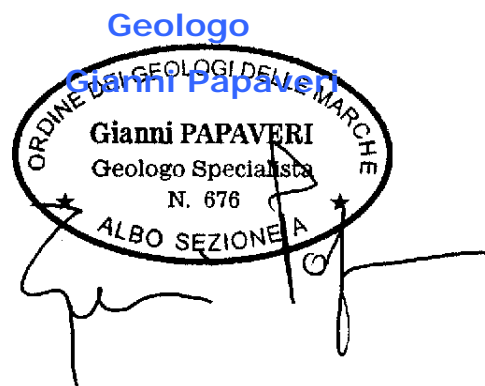
- sismica a rifrazione e prova sismica multicanale masw
- HVSR

per Valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio adibito a sede del Liceo Classico A. Caro di Fermo sito in Via G. Leopardi"

rif. Prot. 11910|23/06/2017|P\_FM|RP\_FM|ZPA|P|11.15.1/2009/ZPA/2

**Richiedente: PROVINCIA DI FERMO SETTORE VIABILITA' INFRASTRUTTURE  
URBANISTICA**

**Monterubbiano luglio 2017**





## **sismica a rifrazione e prova sismica multicanale masw**

### ***PREMESSA***

La presente prospezione geofisica è realizzata per la ricostruzione dei sismostrati e per la caratterizzazione dei suoli attraverso la velocità di propagazione delle onde di compressione e tramite prova sismica multicanale masw, nell'ambito di una indagine geologica per Valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio adibito a sede del Liceo Classico A. Caro di Fermo sito in Via G. Leopardi" Comune di Fermo (FM).

L'acquisizione sismica, attraverso n. 2 basi a rifrazione e masw, sono state eseguita nelle vie prospicienti l'immobile oggetto di intervento.

### ***PRINCIPI GENERALI***

Le indagini geosismiche vengono realizzate utilizzando il metodo sismico a rifrazione, che utilizza la determinazione della velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) Tali onde sono generate, e si propagano nel terreno, ogni qualvolta quest' ultimo è sottoposto a sollecitazioni meccaniche sia di tipo naturale, sia di tipo artificiale (esplosioni, mazze battenti, vibratorii ecc.).

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di sparo o scoppio), in corrispondenza di una molteplicità di sensori disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni).

Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni, la compattezza dei materiali e la loro stratificazione da queste attraversati.

Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla probabile composizione litologica dei terreni al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo ("bedrock"), alla sua forma e talora, in terreni alluvionali, alla profondità della falda freatica.

L'elaborazione dei dati sismici con un modello matematico bidimensionale attraverso procedure iterative, consente di massimizzare la risoluzione e il dettaglio di ricostruzione del modello di velocità attribuito al terreno in esame.

Utilizzando quindi le distanze tra il punto di scoppio e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, sono ricavate le dromocrone (curve tempi-distanze – vedi allegato), dalle quali si risale, tramite opportuno programma di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.

Per questa parte di procedura interpretativa l'algoritmo utilizzato dal programma di calcolo è stato pubblicato nel 1986 da Dereck Palmer in un articolo dal titolo "The Generalized Reciprocal Method of Seismic Refraction Interpretation (Society of Exploration Geophysicists).

### **ELABORAZIONE - METODO GRM**

Il metodo G.R.M. (Palmer, 1980), consente di ricostruire morfologie del substrato piano o irregolari, anche nel caso di variazioni laterali di velocità.

Per ricostruire l'andamento dell'interfaccia di strato lungo tutto lo stendimento, è necessario che i segnali provenienti dal singolo rifrattore siano ricevuti da tutti i geofoni messi in opera.

Il grafico distanza-tempi che si ottiene è considerevolmente più complesso rispetto al caso del metodo convenzionale.

L'interpretazione del grafico distanza-tempi prevede due passaggi:

- la ricostruzione delle dromocrone relative ai singoli strati;
- la stima delle velocità e delle profondità di ogni singolo rifrattore.

La fase essenziale quella di ricostruire la dromocrona relativa ad ogni strato, seguendola, se possibile, da un estremo all'altro dello stendimento, assemblando quindi insieme tratti di dromocrone relative a sorgenti differenti, ma i cui segnali provengono dallo stesso rifrattore.

Ciò è stato eseguito sia per il tiro diretto che per quello coniugato.

Con il metodo reciproco generalizzato si parte dall'ipotesi che esista una distanza intergeofonica XY ottimale, distanza che fornisce il maggior dettaglio possibile nella ricostruzione della morfologia del rifrattore.

Per determinare la distanza XY ottimale in pratica si è proceduto come indicato di seguito:

- Si fa variare XY da un valore minimo corrispondente alla spaziatura reale fra i geofoni fino a un valore massimo di 9-10 volte tale distanza;

quindi se, come nel nostro caso, i geofoni sono spaziati di 5 m, si dovranno prendere in considerazione intervalli di XY uguali a 5 e sui multipli.

- Per ogni valore di XY scelto si stima, con un passo di calcolo uguale a XY, la funzione velocità.

### **ATTREZZATURE**

Per la presente indagine sismica è stata utilizzata un'attrezzatura ad acquisizione digitale costituita da: acquisitore digitale per prospezione sismica MAE A3000S, avente le seguenti caratteristiche; risoluzione scheda di acquisizione: 12 bit; numero canali da 1 a 16; CPU chipset

VIA 500 Mhz; monitor colori LCD transflettivo 6.4" touch-screen; salvataggio dati su disk on module interno allo stato solido e/o su memoria USB; interfaccia LAN 10/100 per controllo e diagnosi da remoto; interfaccia USB per periferiche esterne; Interfaccia VGA, monitor esterno, e PS2, mouse e tastiera; Alimentazione: 12 Volt tramite BOX batteria esterno; Temperatura di funzionamento da 0 a 60°C; Dimensioni e peso L280 X H220 X P170 mm, 3 Kg; visualizzazione fenomeno intero o parziale per ogni canale; funzione di analisi del rumore ambientale pre-acquisizione; funzione test geofoni automatico; funzioni grafiche limitate ed evidenza onda; funzioni lettura velocità e picking primi arrivi in tempo reale; filtri settabili e parzializzabili da software.

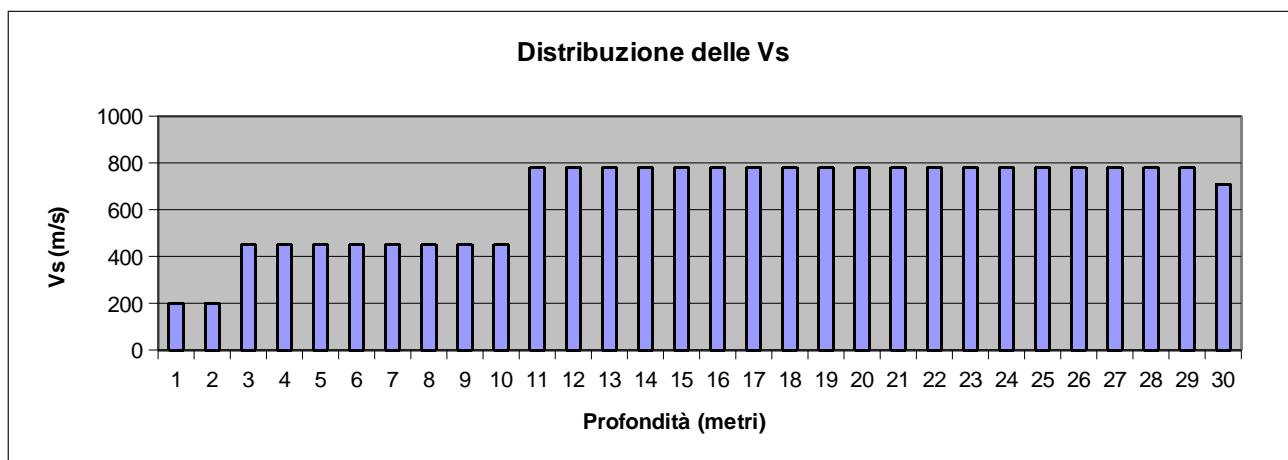
### ***PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)***

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente e delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata

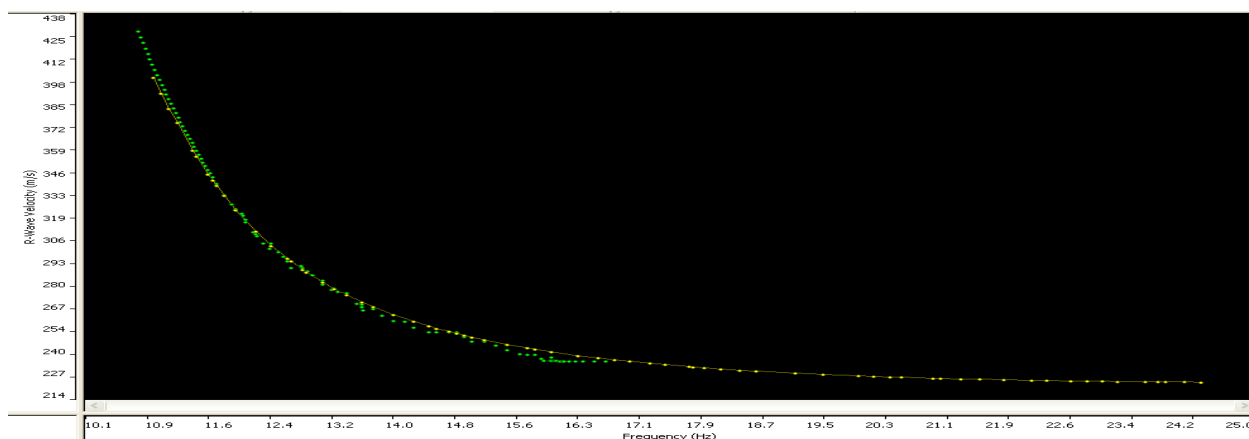
L'analisi MASW può essere ricondotta in quattro fasi :

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza  $f$  numero d'onda  $K$ ;
- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie  $f-k$  cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano  $V$  fase (m/sec) – frequenza;
- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  (Fig.1);



(Fig.1 – Distribuzione delle Vs);

- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo (Fig.2).



(Fig. 2 - curva di dispersione)

### MODALITA' OPERATIVE

E' stato eseguito uno stendimento con distanza intergeofonica 5 m. per una lunghezza di 55 metri con scoppi esterni posti a 5 metri rispetto ai geofoni estremi della linea.

Sono quindi stati attuati n. 5 scoppi di cui n. 2 esterni e tre centrali allo stendimento (v.d.r. report allegato). Vista la omogeneità degli strati i parametri sono calcolati sulla media delle velocità.



**CLASSIFICAZIONE SECONDO LA NORMATIVA SISMICA VIGENTE**

Nella sezione elaborata, sono stati riscontrati tre strati o sismostrati a differente velocità, il primo con velocità di 418.30 m/s e con spessore di circa 2.4 m.

Il secondo sismostrato, con velocità di 1020.20 m/s, con spessore medio di 8.2 metri

Lo strato di base presenta velocità 1964.65 m/s è caratteristico di un substrato competente.

Di seguito vengono ricapitolate le medie delle velocità e degli spessori:

N. Strato	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Spessore fino a 30 m. [m]
1	200,00	418,30	2,40
2	450,00	1020,20	8,20
3	780,00	1964,65	19,40

Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto in base al D.M. 14.01.2008, si determina la categoria di riferimento del sito in funzione della velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m. di profondità, secondo la seguente equazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} = 554.52 \cdot m/s$$

Possiamo a questo punto valutare la categoria e l'effetto della risposta sismica locale in base alla Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo del D.M. 14.01.2008.

<b>B</b>	Depositi di terreni a grana grossolana caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità . Vs <sub>30</sub> comprese tra 360 e 800 m/s
----------	--

Di seguito si riporta per completezza la Tabella 3.2.II:

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

### VALUTAZIONE MODULI ELASTICI DEI MEZZI ATTRAVERSATI

L'attenuazione delle onde sismiche dipende direttamente dalle caratteristiche elasto-meccaniche delle diverse parti che costituiscono il mezzo materiale che esse attraversano, i parametri che intervengono nella modificazione del segnale sismico sono:

- $\gamma_{din}$  – densità geofisica;
- $\rho$  – coefficiente di Poisson;
- E – Modulo di Young;
- $G_0$  – Modulo di taglio.

### DENSITÀ GEOFISICA ( $\gamma_{din}$ )

Esprime la concentrazione volumetrica di un corpo. Può essere calcolata indirettamente in condizioni dinamiche in relazione alla velocità  $V_p$ . La densità geofisica è espressa dalla seguente relazione:

$$\gamma_{din} = 0,51 \times V_p^{0,19} \Rightarrow \text{Possiamo determinarci il suo valore per ogni sismostrato}$$

N. Strato	$\gamma_{din}$	$V_p$ [m/s]
1	1,6057	418,30
2	1,9020	1020,20
3	2,1542	1964,65

### COEFFICIENTE DI POISSON ( $\nu$ )

Indica la misura di cambiamento geometrico di un corpo. Può presentare un intervallo di variazione tra 0.1 e 0.5. Viene definito dalla seguente relazione:

$$\nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \times (V_p^2 - V_s^2)}$$

N. Strato	Vs [m/s]	Vp [m/s]	$\nu$ Poisson
1	200,00	418,30	0,351824
2	450,00	1020,20	0,379221
3	780,00	1964,65	0,406442

### MODULO DI YOUNG (E)

Esprime la resistenza alla deformazione lineare di un corpo ad uno sforzo di trazione o di compressione.

$$E = V_p^2 \times \gamma \frac{(1 + \nu) \times (1 - 2\nu)}{1 - \nu} \quad (\text{espresso in MPa})$$

N. Strato	E_Young	Vp [m/s]	$\nu$ Poisson	$\gamma_{\text{din}}$
1	1,804368	418,30	0,351824	1,6057
2	11,040056	1020,20	0,379221	1,9020
3	38,308689	1964,65	0,406442	2,1542

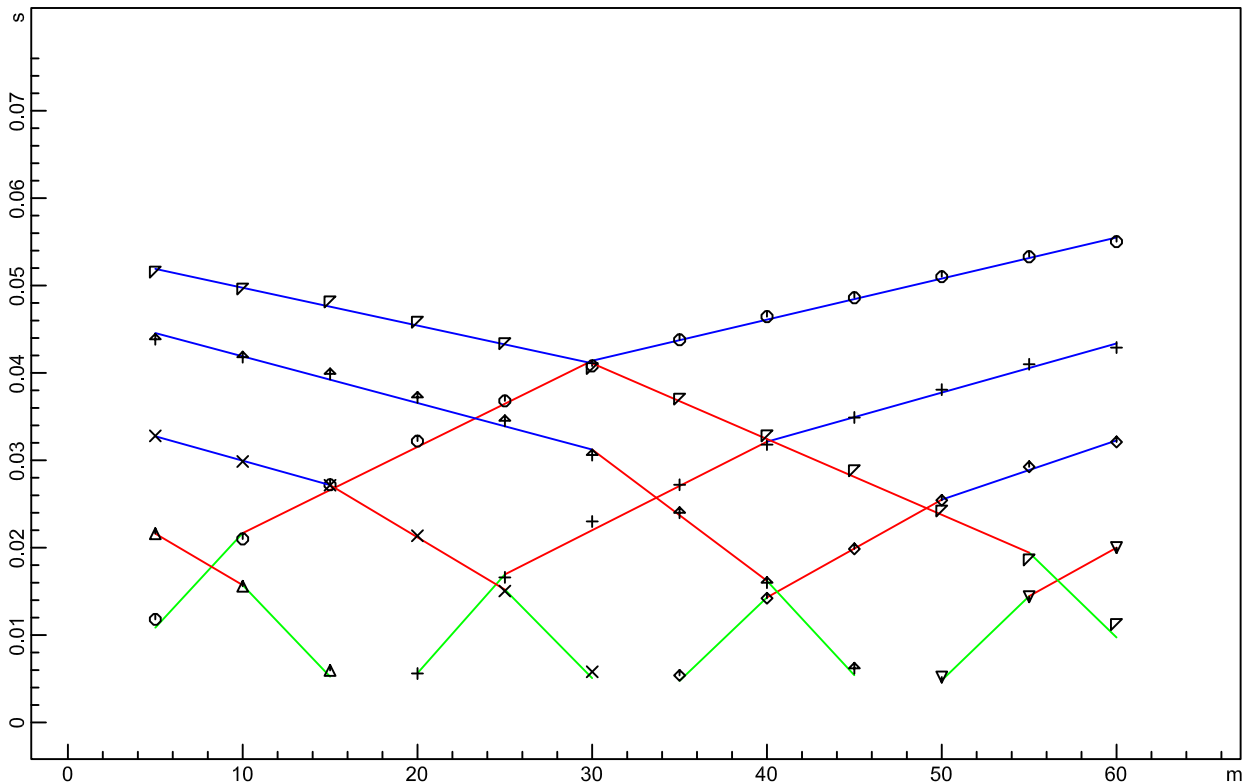
### MODULO DI TAGLIO ( $G_0$ )

Misura il rapporto sforzo-deformazione nel caso di una spinta tangenziale; è funzione della velocità Vs ed esprime quindi la capacità del materiale a resistere cambiando di forma e non di volume.

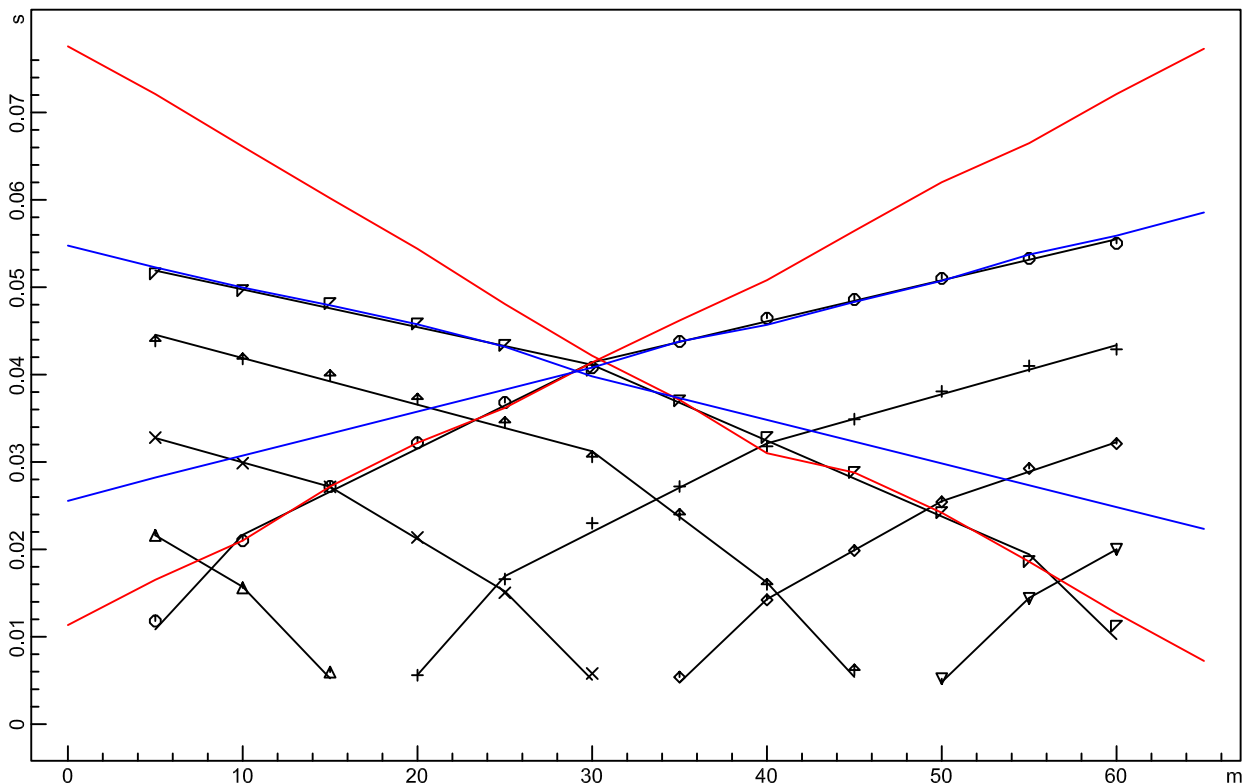
$$G_0 = \frac{\gamma \times (V_s)^2}{g} \quad (\text{espresso in MPa})$$

N. Strato	Vs [m/s]	$G_0$ Taglio	$\gamma_{\text{din}}$
1	200,00	0,66738	1,6057
2	450,00	4,00228	1,9020
3	780,00	13,61901	2,1542

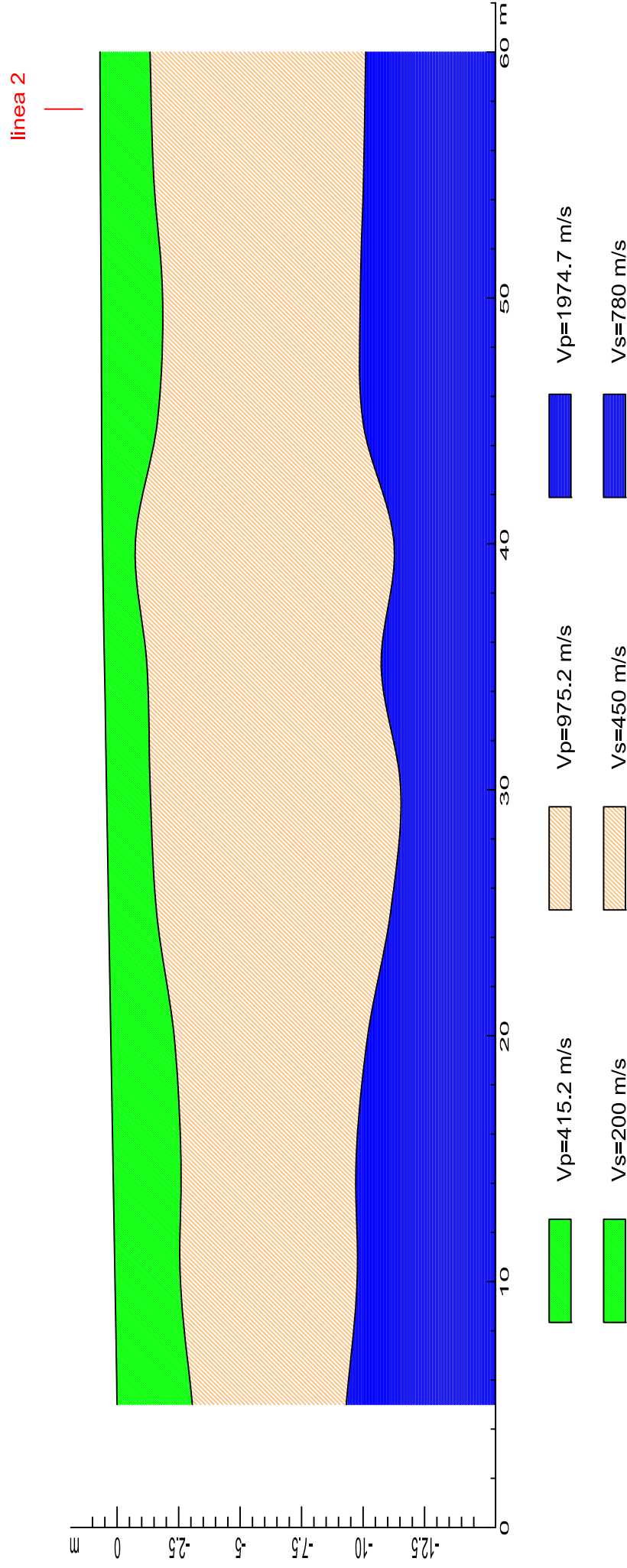
DROMOCRONE ORIGINALI linea 1



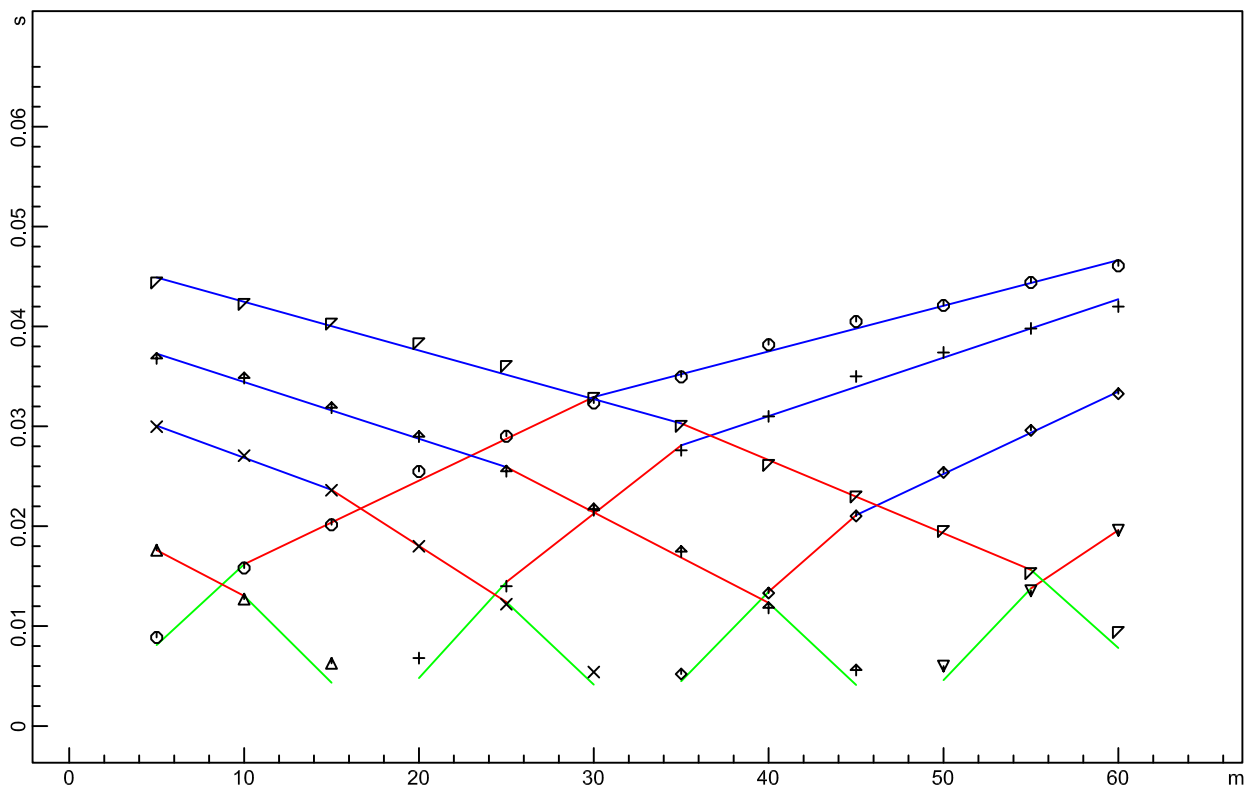
DROMOCRONE TRASLATE linea 1



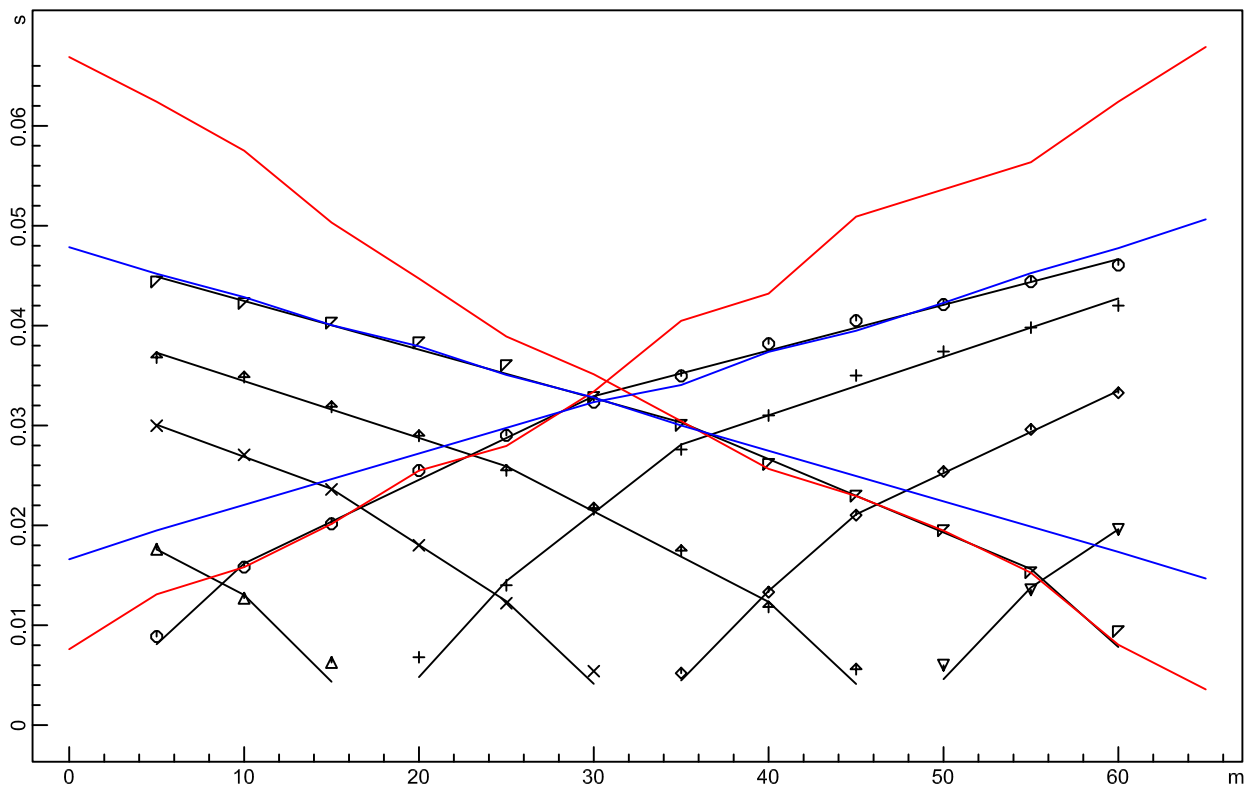
## SEZIONE VERTICALE linea 1



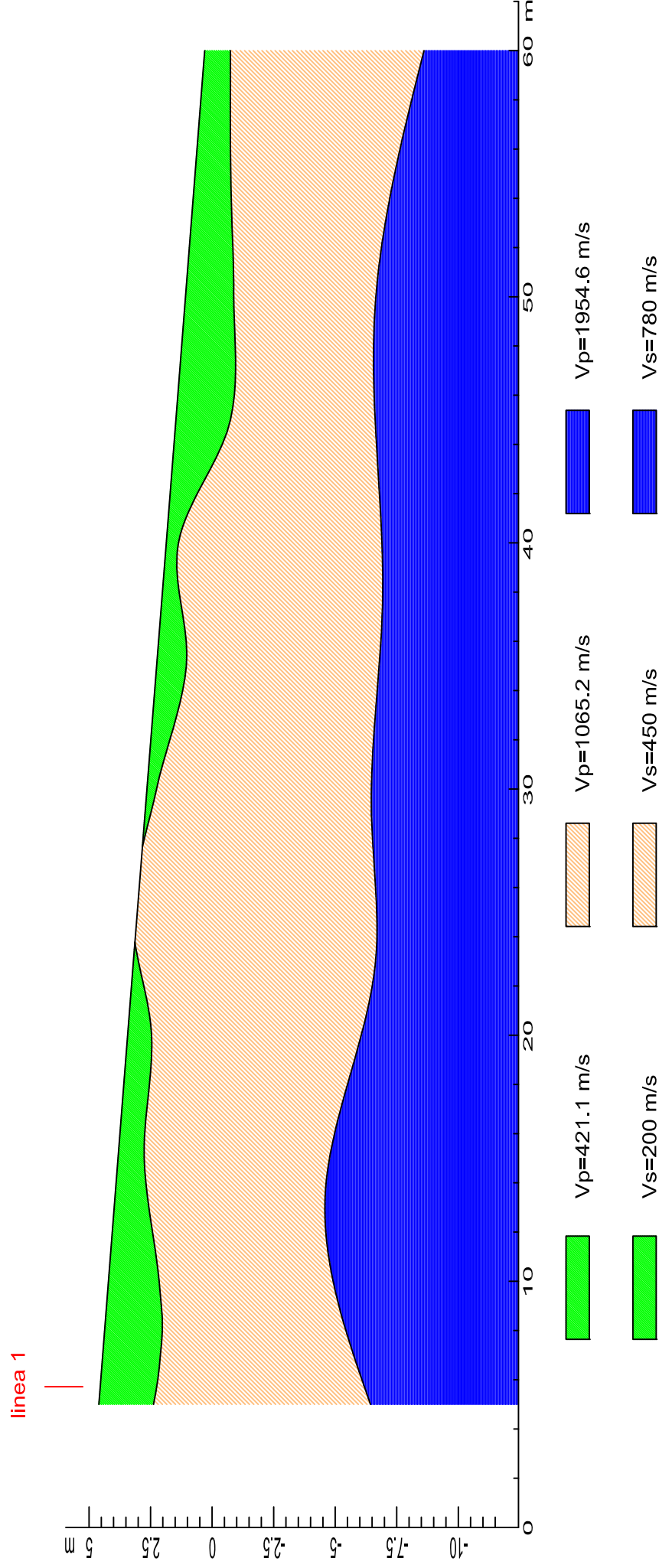
DROMOCRONE ORIGINALI linea 2



DROMOCRONE TRASLATE linea 2



## SEZIONE VERTICALE linea 2





Ubicazione linea 1



Ubicazione linea 2



## HVSR

### **PREMESSA**

La presente prospezione geofisica è realizzata per la ricostruzione dei sismostrati e per la caratterizzazione dei suoli attraverso la velocità di propagazione delle onde di taglio e la determinazione delle frequenze caratteristiche del suolo, nell'ambito di una Indagine geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali HVSR per la Valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio adibito a sede del Liceo Classico A. Caro di Fermo sito in Via G. Leopardi" Comune di Fermo (FM).

Le acquisizioni sismiche sono state effettuate in tre aree adiacenti la struttura in oggetto.

E' avvenuta attraverso la metodologia basata su i rapporti spettrali H/V tale metodo consente di determinare la frequenza caratteristica del sito.

### **PRINCIPI GENERALI**

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

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.

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 lineare.

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).

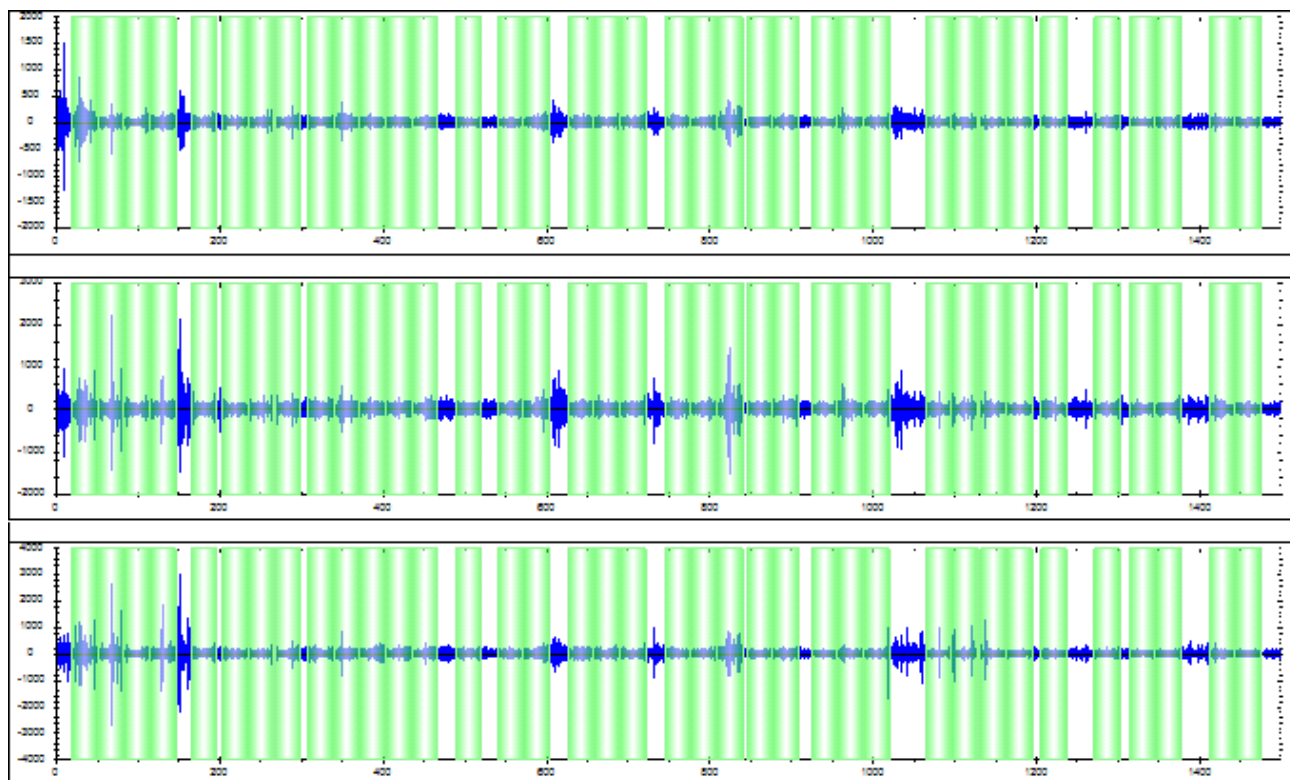
### **ATTREZZATURE**

Per la presente indagine sismica è stata utilizzata un'attrezzatura ad acquisizione digitale costituita da: acquisitore digitale per prospezione sismica MAE A6000S, avente le seguenti caratteristiche; risoluzione scheda di acquisizione: 24 bit; numero canali da 1 a 24; CPU chipset VIA 500 Mhz; monitor colori LCD transflettivo 6.4" touch-screen; salvataggio dati su disk on module interno allo stato solido e/o su memoria USB; interfaccia LAN 10/100 per controllo e diagnosi da remoto; interfaccia USB per periferiche esterne; Interfaccia VGA, monitor esterno, e PS2, mouse e tastiera; Alimentazione: 12 Volt tramite BOX batteria esterno; Temperatura di funzionamento da 0 a 60°C; Dimensioni e peso L280 X H220 X P170 mm, 6 Kg; visualizzazione fenomeno intero o parziale per ogni canale; funzione di analisi del rumore ambientale pre-acquisizione; funzione test geofoni automatico; funzioni grafiche limita ed evidenzia onda; funzioni lettura velocità e picking primi arrivi in tempo reale; filtri settabili e parzializzabili da software. Geofono triassiale Tipo MAE S3S.

## HVlab report sito n. 1

### DETTAGLI ACQUISIZIONE

**strumento:** MAE A6000S  
**file:** fermo classico1.sg2  
**data:** 06/07/2017 00:00:00  
**durata:** 00:30:00



---

### ELABORAZIONE

---

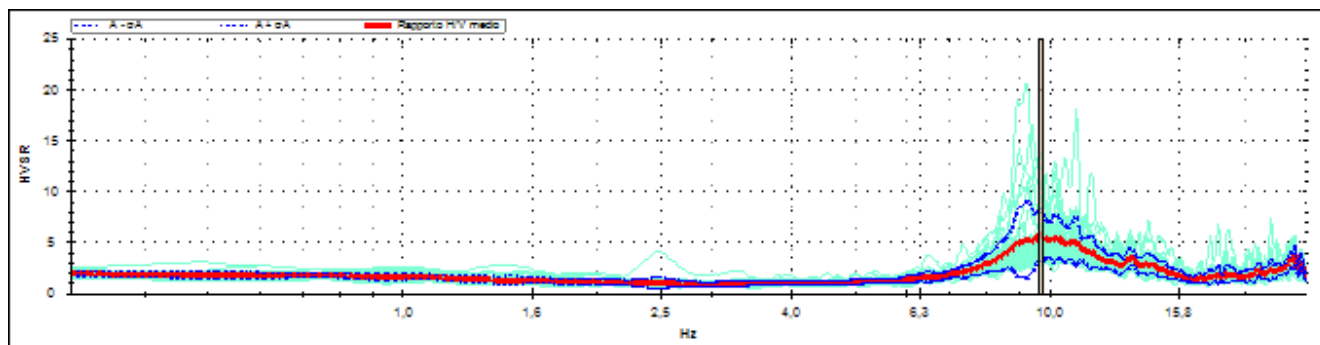
**frequenza di campionamento:** 250 Hz  
**finestre temporali (nw):** 37  
**tempo di ogni finestra (Lw):** 32 s  
**intervallo di ricerca:** 0,3-32,5 Hz

---

costante di lisciamento: 13

## RISULTATI

### curve HVSR:



frequenza di picco ( $f_0$ ):  $9,67 \pm 0,26$  Hz

classificazione picco: massimo

### dettagli affidabilità:

- 1)  $f_0 > 10/Lw$ : SI ( $9,67 > 0,31$ )
- 2)  $nc(f_0) > 200$ : SI ( $11454 > 200$ )
- 3) per  $f_0/2 < f < 2f_0$ ,  $\sigma A(f) < 2$ : NO ( $\max \sigma A(f) = 3,8$ )

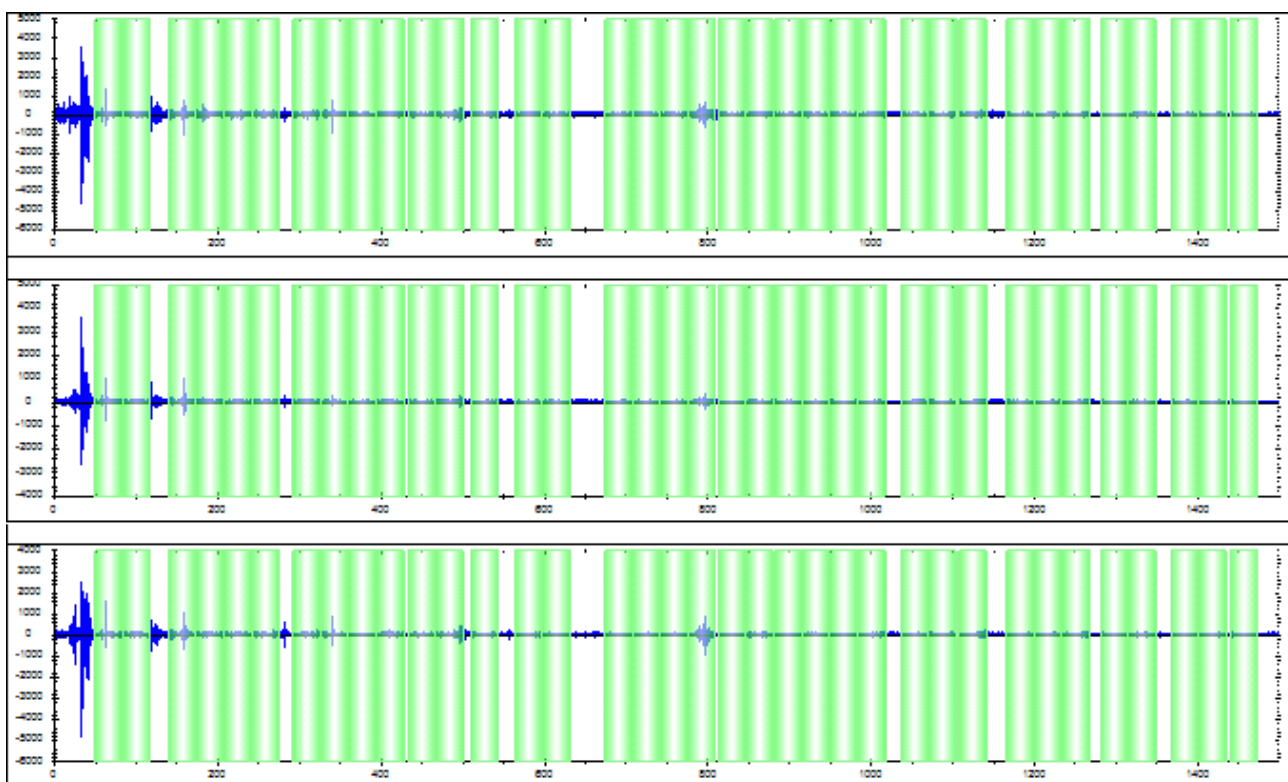
### dettagli evidenza:

- 1)  $A(f_-) < A_0/2$ : SI ( $f_- = 2,41$  Hz)
- 2)  $A(f_+) < A_0/2$ : SI ( $f_+ = 12,79$  Hz)
- 3)  $A_0 > 2$ : SI ( $A_0 = 5,6$ )
- 4)  $f_{peak}[A(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$ : NO ( $Df = 0,98$ )
- 5)  $\sigma f < \varepsilon(f_0)$ : SI ( $\sigma f = 0,26$ ;  $\varepsilon(f_0) = 0,48$ )
- 6)  $\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$ : NO ( $\sigma A(f_0) = 2,54$ ;  $\theta(f_0) = 1,58$ )

## HVlab report sito n. 2

### DETTAGLI ACQUISIZIONE

**strumento:** MAE A6000S  
**file:** fermo classico2.sg2  
**data:** 06/07/2017 00:00:00  
**durata:** 00:30:00



---

### ELABORAZIONE

---

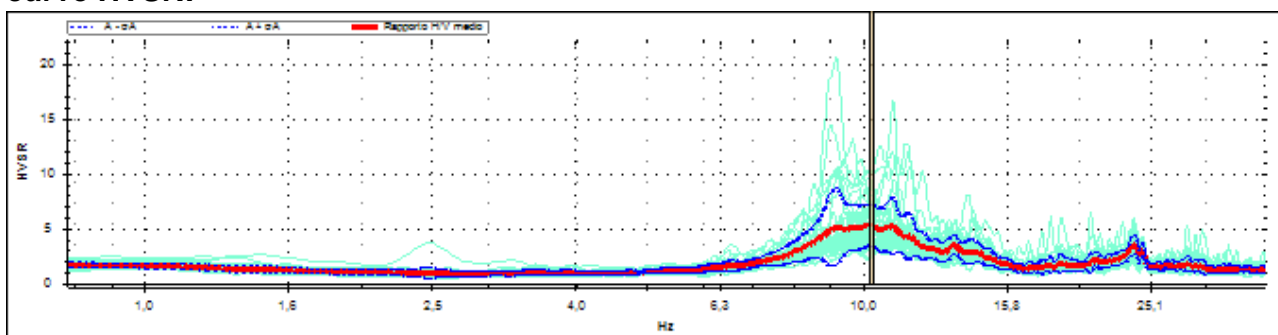
**frequenza di campionamento:** 250 Hz  
**finestre temporali (nw):** 44  
**tempo di ogni finestra (Lw):** 28 s  
**intervallo di ricerca:** 0,4-28,5 Hz

---

costante di lisciamento: 17

## RISULTATI

### curve HVSR:



frequenza di picco ( $f_0$ ):  $10,28 \pm 0,33$  Hz

classificazione picco: massimo

### dettagli affidabilità:

- 1)  $f_0 > 10/L_w$ : SI ( $10,28 > 0,36$ )
- 2)  $nc(f_0) > 200$ : SI ( $12670 > 200$ )
- 3) per  $f_0/2 < f < 2f_0$ ,  $\sigma A(f) < 2$ : NO ( $\max \sigma A(f) = 3,5$ )

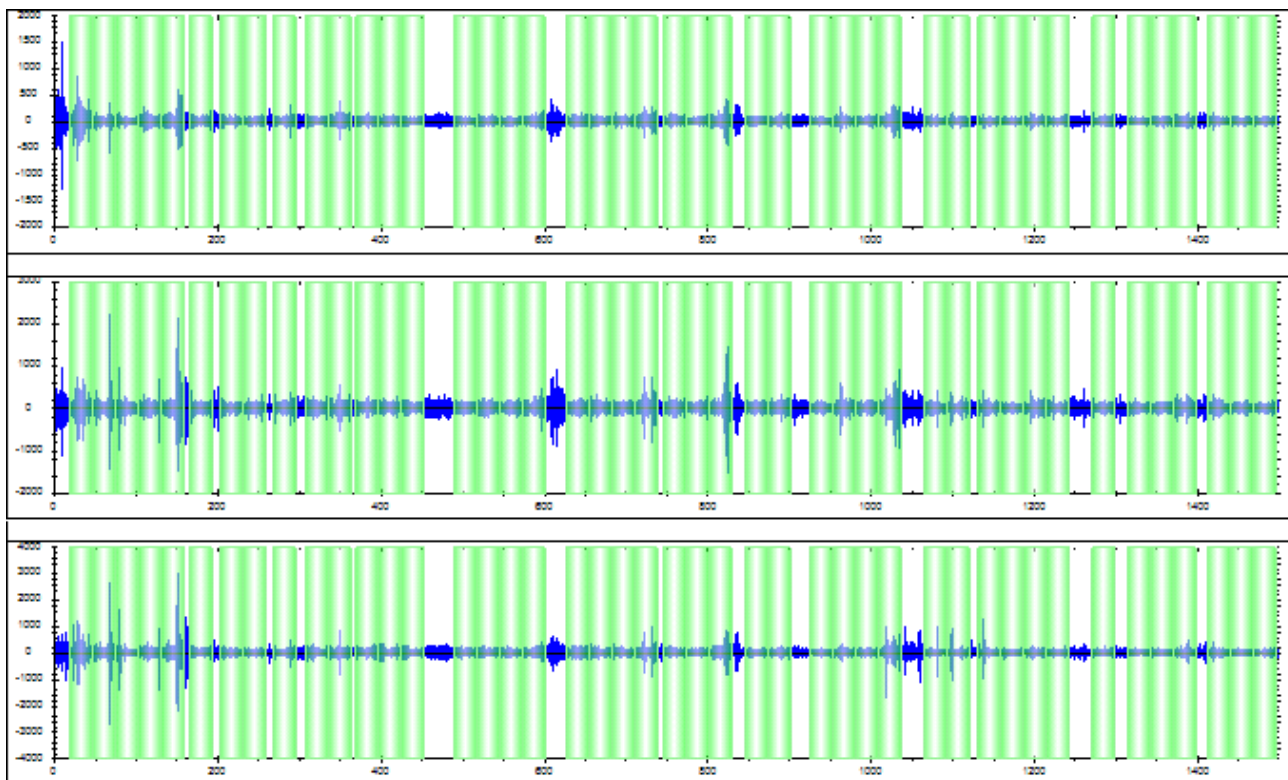
### dettagli evidenza:

- 1)  $A(f_-) < A_0/2$ : SI ( $f_- = 2,56$  Hz)
- 2)  $A(f_+) < A_0/2$ : SI ( $f_+ = 14,59$  Hz)
- 3)  $A_0 > 2$ : SI ( $A_0 = 5,3$ )
- 4)  $f_{peak}[A(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$ : SI ( $Df = 0,92$ )
- 5)  $\sigma f < \varepsilon(f_0)$ : SI ( $\sigma f = 0,33$ ;  $\varepsilon(f_0) = 0,51$ )
- 6)  $\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$ : NO ( $\sigma A(f_0) = 1,90$ ;  $\theta(f_0) = 1,58$ )

## HVlab report sito n. 3

### DETTAGLI ACQUISIZIONE

**strumento:** MAE A6000S  
**file:** fermo classico3.sg2  
**data:** 06/07/2017 00:00:00  
**durata:** 00:30:00



---

### ELABORAZIONE

---

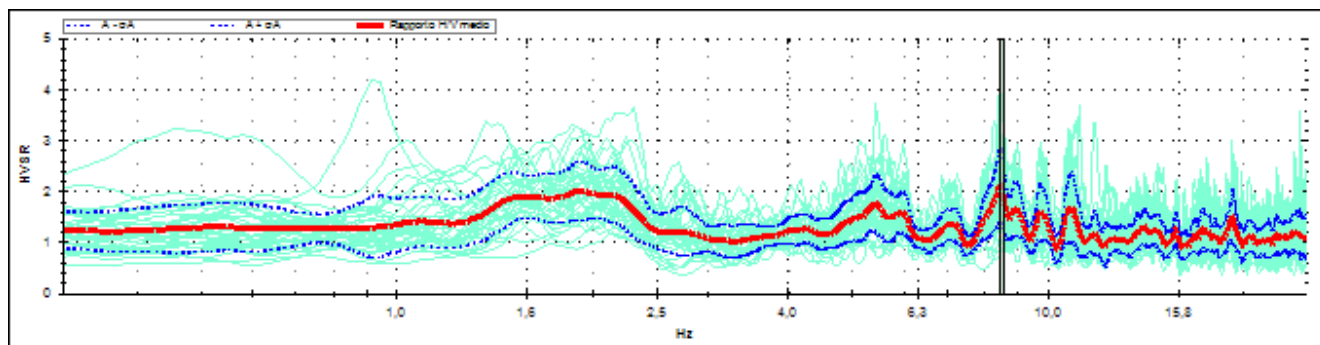
**frequenza di campionamento:** 250 Hz  
**finestre temporali (nw):** 40  
**tempo di ogni finestra (Lw):** 32 s  
**intervallo di ricerca:** 0,3-32,5 Hz

---

costante di lisciamento: 11

## RISULTATI

curve HVSR:



frequenza di picco ( $f_0$ ):  $8,48 \pm 1,31$  Hz

classificazione picco: affidabile

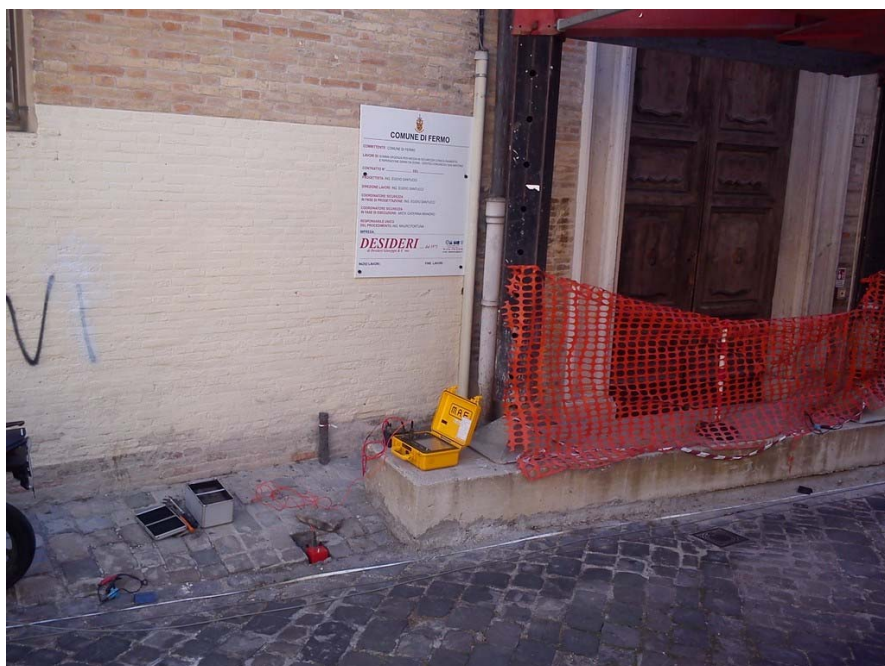
dettagli affidabilità:

- 1)  $f_0 > 10/L_w$ : SI ( $8,48 > 0,31$ )
- 2)  $nc(f_0) > 200$ : SI ( $10859 > 200$ )
- 3) per  $f_0/2 < f < 2f_0$ ,  $\sigma A(f) < 2$ : SI ( $\max \sigma A(f) = 0,7$ )

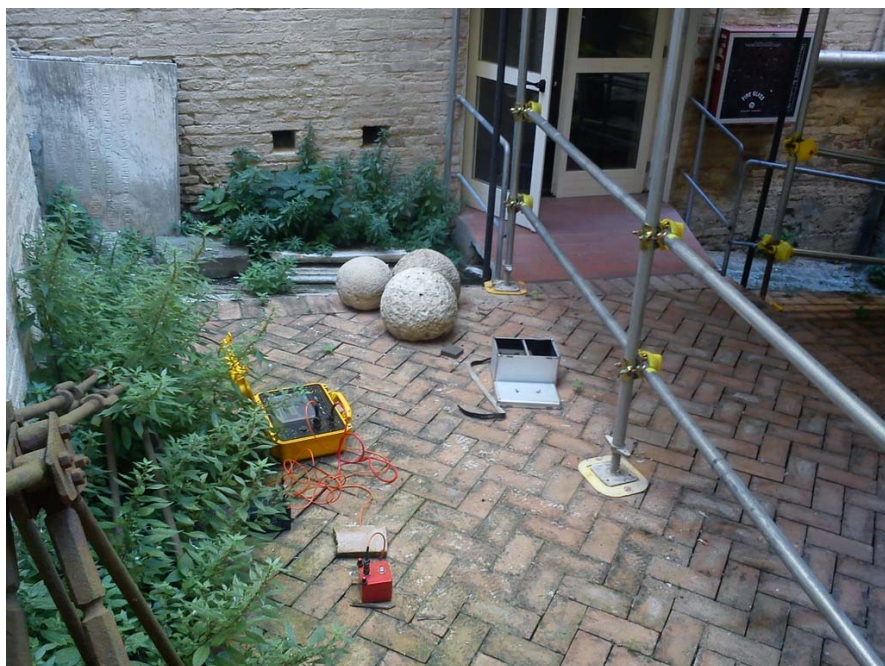
dettagli evidenza:

- 1)  $A(f_-) < A_0/2$ : SI ( $f_- = 3,14$  Hz)
- 2)  $A(f_+) < A_0/2$ : SI ( $f_+ = 9,40$  Hz)
- 3)  $A_0 > 2$ : SI ( $A_0 = 2,1$ )
- 4)  $f_{peak}[A(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$ : NO ( $Df = 0,76$ )
- 5)  $\sigma f < \varepsilon(f_0)$ : NO ( $\sigma f = 1,31$ ;  $\varepsilon(f_0) = 0,42$ )
- 6)  $\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$ : SI ( $\sigma A(f_0) = 0,72$ ;  $\theta(f_0) = 1,58$ )

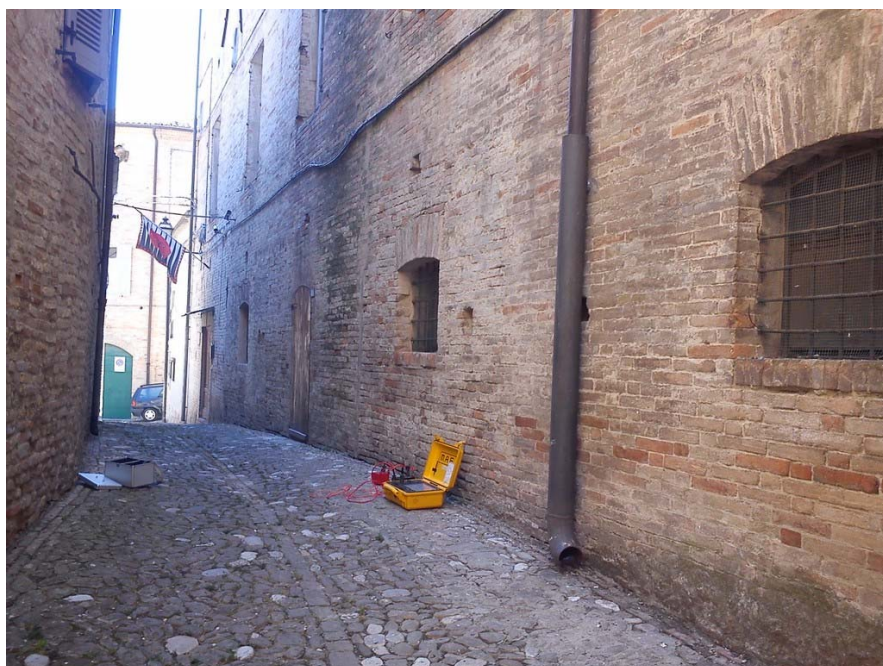




*Acquisizione sito 1*



*Acquisizione sito 2*



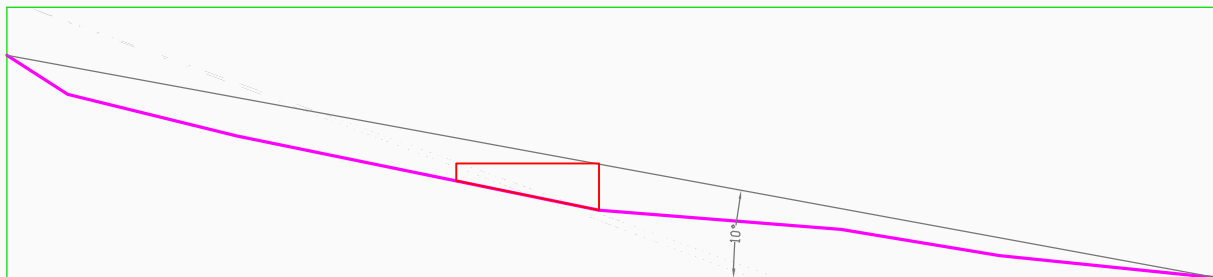
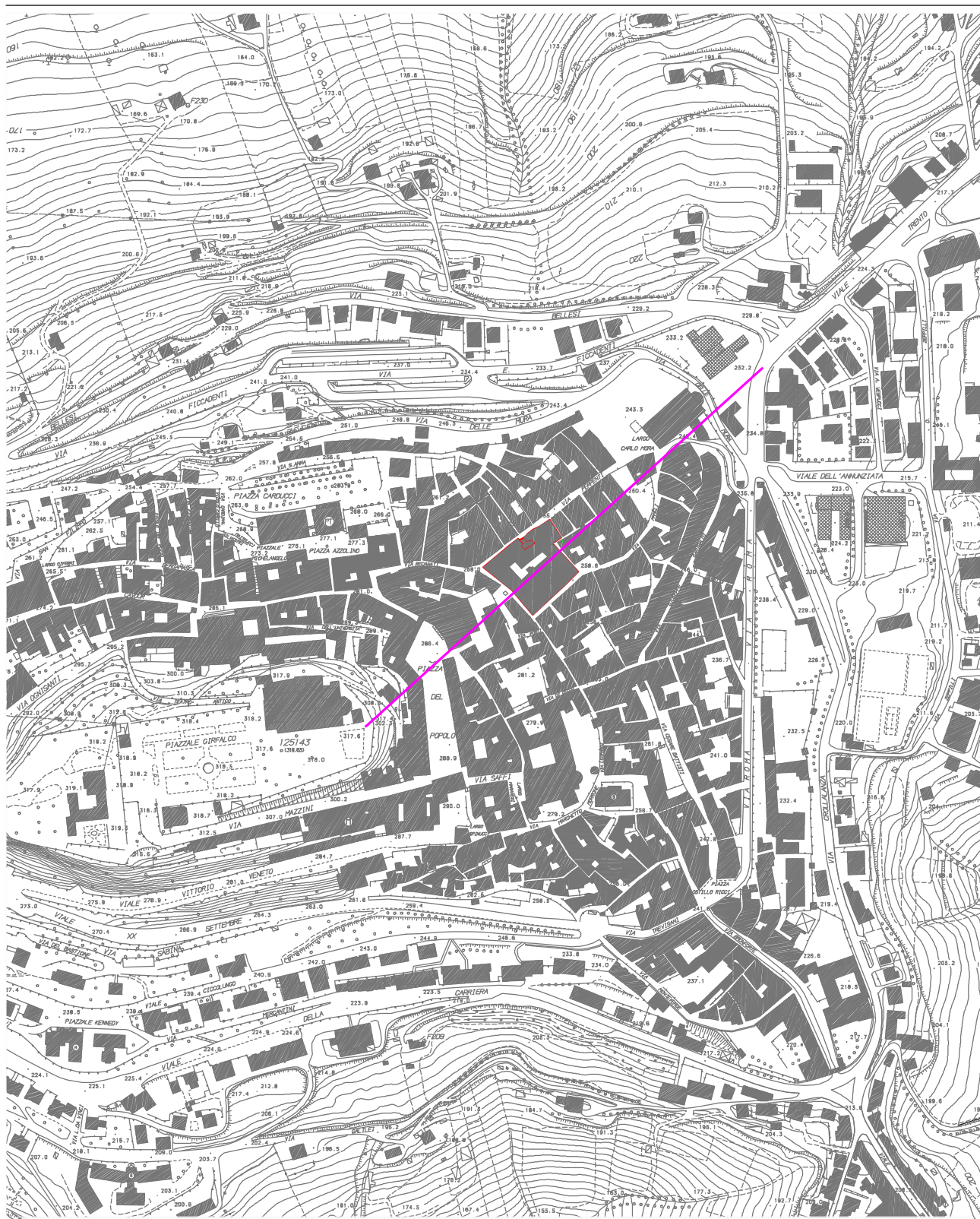
Acquisizione sito 3

Dott. Geologo

Gianni Papaveri







Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$

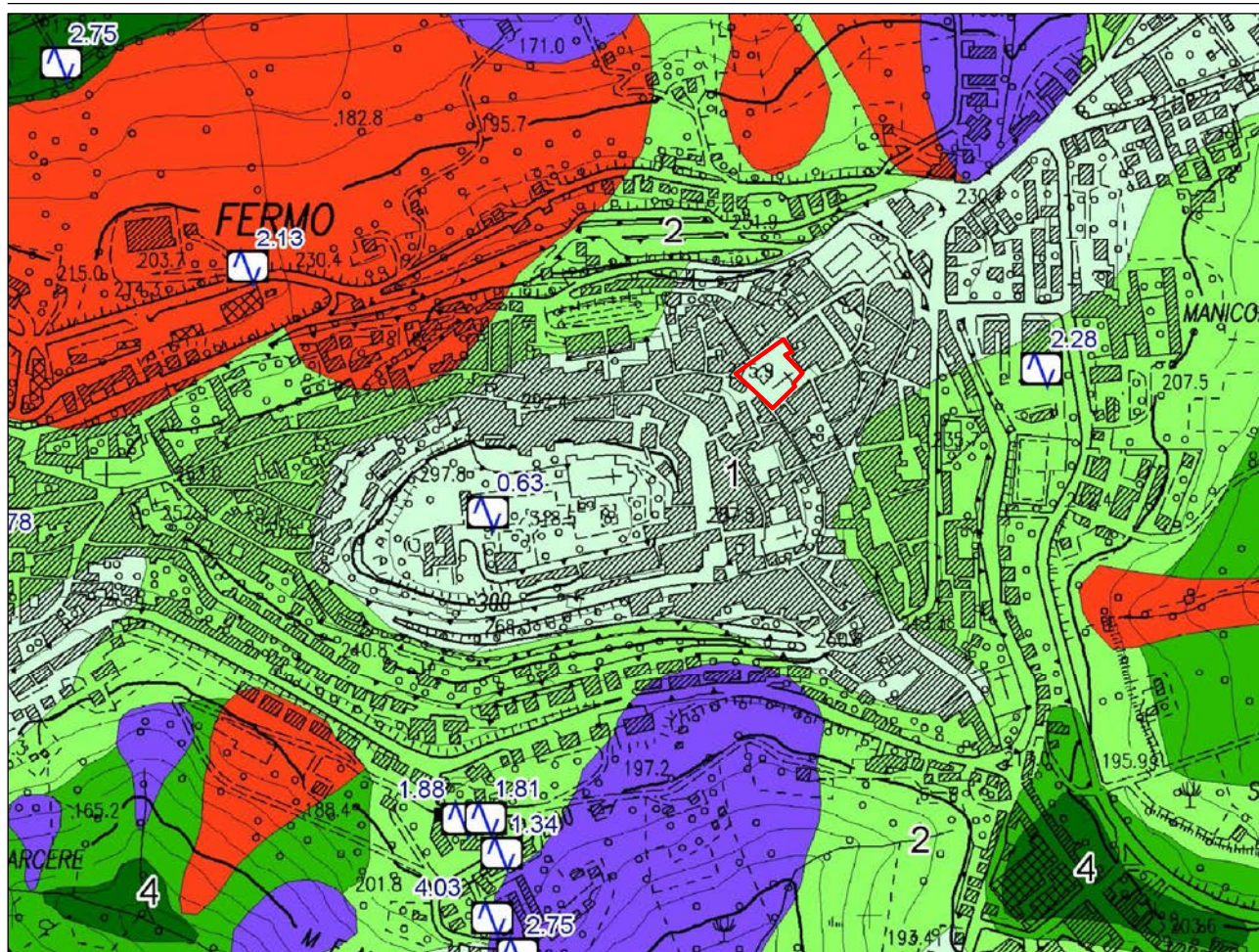
Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	ST
<b>T1</b>	-	<b>1.0</b>

## COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA ST

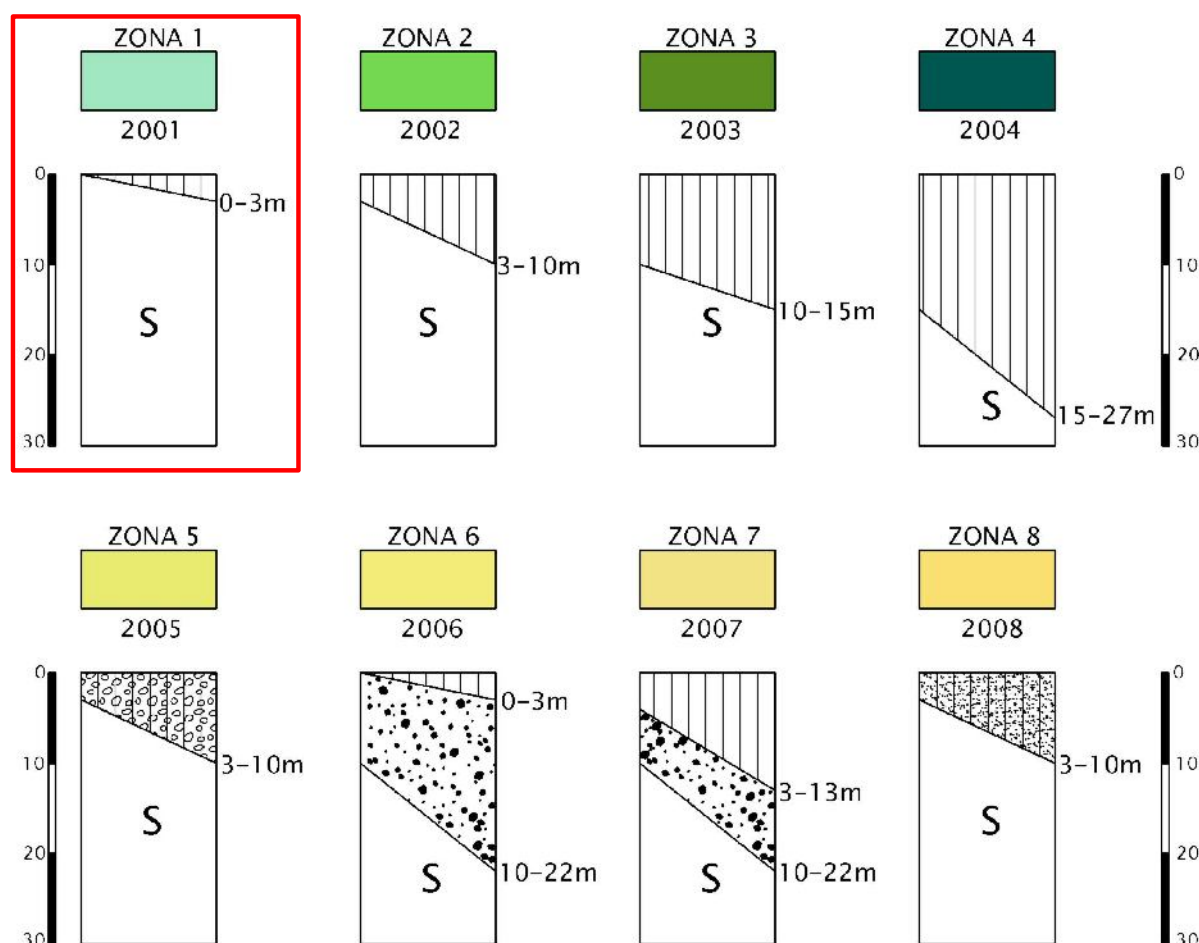
ALLEGATO 5

Valutazione della vulnerabilità sismica di edificio adibito a sede del Liceo Classico Annibal Caro di Fermo sito in Via G. Leopardi  
Comune di Fermo (FM)





### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



### CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

ALLEGATO 6

Valutazione della vulnerabilità sismica di edificio adibito a sede del Liceo Classico Annibal Caro di Fermo sito in Via G. Leopardi Comune di Fermo (FM).