



CITTA' DI GROTTAMMARE

(Provincia di Ascoli Piceno)

Via Matteotti, 69 - Tel. 0735 739218 - comune.grottammare.protocollo@emarhce.it

Area Gestione del Patrimonio - Responsabile Arch. Liliana Ruffini

MESSA IN SICUREZZA CONTRO IL RISCHIO SISMICO: RIFACIMENTO SOLAI SCUOLA "G. SPERANZA"

Progetto Definitivo - Esecutivo

Stato di Progetto

Relazione Geologica

(art.33 co.1 lett. b e art. 35 del D.P.R. 05.10.2010, n.207)

Elab. B

NOVEMBRE 2019

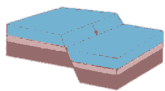
Responsabile del progetto
Arch. Bernardino Novelli

Responsabile del Procedimento
Arch. Liliana Ruffini

Geologo:
Giuseppe Capponi

Collaboratori:
Geom. Sante Cocci
Geom. Stefania Pulcini
Geom. Rosa Benassati

STUDIO DI GEOLOGIA AMBIENTALE



Dr. Geol. Giuseppe Capponi

Via G. Matteotti, 9 - 63827 - Pedaso (FM)
Tel. e fax: 0734/932987 - mail: giuseppe@capponigeologia.it
C.F.: CPPGPP62B01D542L - P. IVA: 01413170448

IL RESPONSABILE:

Dr. Geol. Giuseppe Capponi



Provincia:

Ascoli Piceno

Comune:

GROTTAMMARE

Committente:

COMUNE DI GROTTAMMARE

Oggetto: **Messa in sicurezza contro il rischio sismico:
rifacimento solai scuola primaria «Giuseppe Speranza»
Interventi di miglioramento sismico
ai sensi del p.to 8.4.2. del D.M. 17.01.2018**

-INDAGINE GEOFISICA INTEGRATIVA-

Elab.:

Titolo:

**RELAZIONE, TAVOLE
ED ALLEGATI**

Scala:

Cod.:

RGi04/09/19

Data:

Settembre 2019



1. PREMESSA

Su incarico del Comune di Grottammare (AP), con Determinazione n. 15 del 08.04.2019 (Area V – Gestione Opere Pubbliche), vengono di seguito esposti i risultati di un’indagine geofisica integrativa, sulla base del D.M. 17.01.18: “Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni”, finalizzata al:

“Progetto di messa in sicurezza contro il Rischio Sismico: Rifacimento Solai Scuola Primaria “Giuseppe Speranza” – Interventi di Miglioramento Sismico ai sensi del punto 8.4.2 del D.M. 17.01.2018”.

In particolare sono state svolte, all’interno del sito oggetto di intervento (**Tav.1**), n.4 indagini geofisiche, in conformità con la vigente legislazione tecnica, aventi il fine di fornire al progettista i principali parametri delle onde di taglio dei terreni in condizioni dinamiche necessari per una completa caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione (**Allegato A**).

Le suddette indagini, ubicate in **Tav. 2**, sono consistite nell’esecuzione di n.2 prove sismiche con metodologia **MASW** e di n. 2 prove sismiche **Tr1** e **Tr2** con metodologia **HVSR** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio* o tecnica di *Nakamura*) - (ved. **Allegato B** – Documentazione Fotografica).

Si specifica, infine, che per tutte le considerazioni di carattere geologico, litostratigrafico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico si rimanda alle precedenti indagini redatte nell'area in oggetto, dal Dott. Geol. Vittorio Marucci di Ascoli Piceno, in occasione dei seguenti studi:

“SCUOLA ELEMENTARE “G. SPERANZA”

**“INDAGINI STATICHE PER LA PROGETTAZIONE DEGLI
INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DELL'EDIFICIO”**

- 1) “STUDI ED INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE
 RELAZIONE GEOLOGICA CON INDICAZIONI GEOTECNICHE”**

(Anno: Giugno 2004)

- 2) “NOTA TECNICA INTEGRATIVA SULLA RELAZIONE GEOLOGICA”**

(Anno: Maggio 2009)

A cura del Dott. Geol. Vittorio Marucci

2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Il Comune di Grottammare (AP) ricade nella zona sismica “3” in base alla nuova normativa sismica (Ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003 e del. G.R. n. 1046 del 29 luglio 2003 “Individuazione e formazione dell’elenco delle zone sismiche nella Regione Marche”).

Per tale zona sismica è attribuita, come si evince dalla tabella seguente un’accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g), espressa come frazione dell’accelerazione di gravità (g), il cui valore corrispondente risulta pari a: $a_g/g = 0.15g$.

L’accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni risulta:

$$0.05 < a_g/g < 0.15 \text{ g.}$$

Zona Sismica	Acc. Orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)	Acc. Orizzontale dello spettro di risposta elastico (ag/g)
1	> 0,25	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

Con l’entrata in vigore del D.M. 17 Gennaio 2018, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio sito dipendente e non più tramite un criterio zona dipendente.

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla pericolosità di base del sito che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

2.1 AZIONE SISMICA

In relazione al Testo Unico – Norme Tecniche per le Costruzioni di cui D.M. 17.01.2018 ed alla suddetta normativa sismica Ord. P.C.M. n. 3274 del 20.3.03, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III) mediante la misura diretta della $V_{s_{eq}}$ (velocità equivalente media di propagazione delle onde di taglio).

Nel caso specifico oggetto del presente studio, analizzando i risultati delle indagini effettuate (n.2 Indagini geofisiche con metodologia "MASW" e n.2 Indagini geofisiche con metodologia "HVSr" – Allegato A) è possibile assimilare il locale profilo stratigrafico, in virtù del piano di posa delle fondazioni posto a 1.30 metri dal p.c., alla **categoria "B" - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, ai sensi della vigente normativa sismica, la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri di profondità (V_{s30}), risulta essere pari a:

MASW 1

$$V_{s30} = 367,40 \text{ m/s} - \textit{Categoria suolo di fondazione "B"}$$

MASW 2

$$V_{s30} = 371,52 \text{ m/s} - \textit{Categoria suolo di fondazione "B"}$$

Si specifica che la relazione dell'indagine geofisica eseguita con i risultati dei profili verticali delle onde di taglio, il valore V_{seq} necessario per la classificazione e le frequenze tipiche del sito, è riportata integralmente nell'**Allegato A**.

L'interpretazione delle prove sismiche effettuate con il tromografo digitale (denominate **HVSR 1 – HVSR 2**) ha permesso, inoltre, di determinare la frequenza caratteristica di risonanza del sito in esame, che rappresenta un parametro importante per il corretto dimensionamento della struttura in termini di risposta sismica locale.

La conoscenza di tale dato, infatti, risulta importante al fine di evitare di realizzare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno e che in caso di sisma possono essere soggette all'effetto di risonanza che potrebbe comprometterne la stabilità stessa.

Le frequenze fondamentali di risonanza del sito in esame sono risultate essere pari a:

23,406 Hz +/- 2,997 Hz (in the range 0.2 – 60.0 Hz – Ampiezza rapport H/V= 1,591) – HVSRI

2,265 Hz +/- 0,626 Hz (in the range 0.2 – 60.0 Hz – Ampiezza rapport H/V= 0,858) – HVSRI2

L'area in esame, infine, per quanto riguarda le condizioni topografiche, in base alla Tabella 3.2.IV – *Categorie Topografiche* della suddetta normativa, rientra nella categoria **T1 (Superfici pianeggianti, pendii e rilievi con inclinazione media $i \leq 15^\circ$** .

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

2.2 STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

Nel presente capitolo vengono determinati i parametri sismici di dettaglio, ovvero **A_{max}**, **K_h** e **K_v**.

Il primo passo da compiere consiste nella determinazione di **ag** ovvero dell'accelerazione orizzontale massima attesa in un sito di riferimento rigido; noto **ag** e valutati i coefficienti di *amplificazione stratigrafica (Ss)* e *topografica (St)*, è possibile calcolare **Amax**, ovvero l'*accelerazione massima attesa nel sito*.

L'analisi di seguito riportata è stata eseguita utilizzando il software di calcolo GeoStru.

Parametri sismici:

Tipo di elaborazione:

Fondazioni

Caratteristiche sito in esame:



latitudine: 42,989509
longitudine: 13,869245
Classe: 3
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 23648	Lat: 42,9845	Lon: 13,8318	Distanza: 3098,885
Sito 2	ID: 23649	Lat: 42,9843	Lon: 13,9001	Distanza: 2577,266
Sito 3	ID: 23427	Lat: 43,0343	Lon: 13,9005	Distanza: 5586,573

Sito 4 ID: 23426 Lat: 43,0345 Lon: 13,8321 Distanza: 5844,865

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 45 [anni]
ag: 0,059 g
Fo: 2,448
Tc*: 0,292 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 75 [anni]
ag: 0,075 g
Fo: 2,448
Tc*: 0,307 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 712 [anni]
ag: 0,210 g
Fo: 2,478
Tc*: 0,322 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1462 [anni]
ag: 0,275 g
Fo: 2,479
Tc*: 0,329 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,410
St: 1,000
Kh: 0,013
Kv: 0,006
Amax: 0,690
Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,390

St: 1,000
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,885
Beta: 0,180

SLV:

Ss: 1,190
Cc: 1,380
St: 1,000
Kh: 0,077
Kv: 0,039
Amax: 2,450
Beta: 0,310

SLC:

Ss: 1,130
Cc: 1,370
St: 1,000
Kh: 0,096
Kv: 0,048
Amax: 3,051
Beta: 0,310

dove: **Amax** = **ag** * **Ss** * **St**

quindi, nel caso di SLV si ha che:

$$ag(SLV) = 0,210 * 9,8 = 2,058 \text{ m/s}^2$$

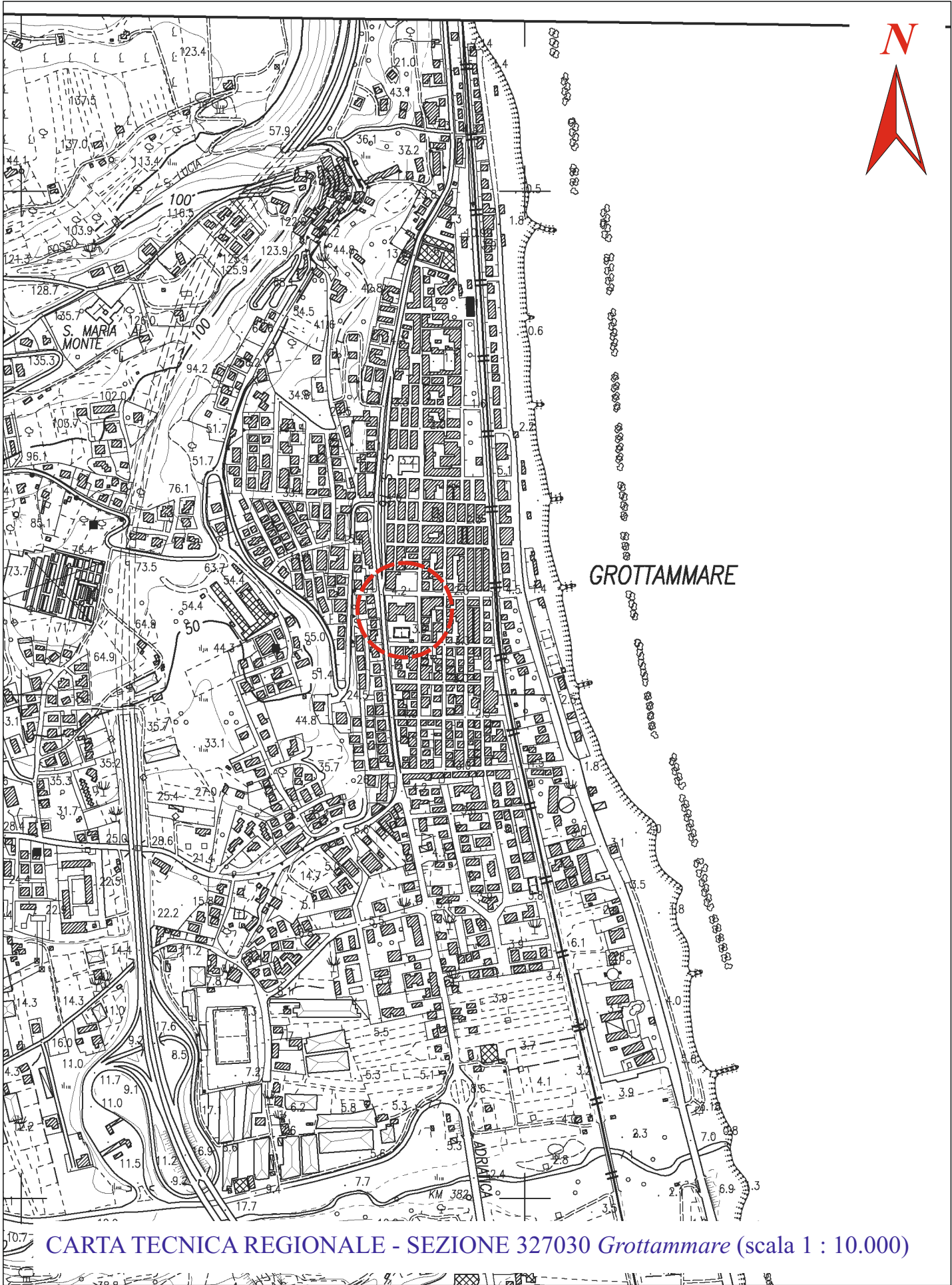
$$\text{da cui: } \mathbf{Amax} = 2,058 * 1,19 * 1,0 = \mathbf{2,450 \text{ m/s}^2}.$$

Pedaso, settembre 2019

Dott. Geol. Giuseppe Capponi



TAV. 1 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE



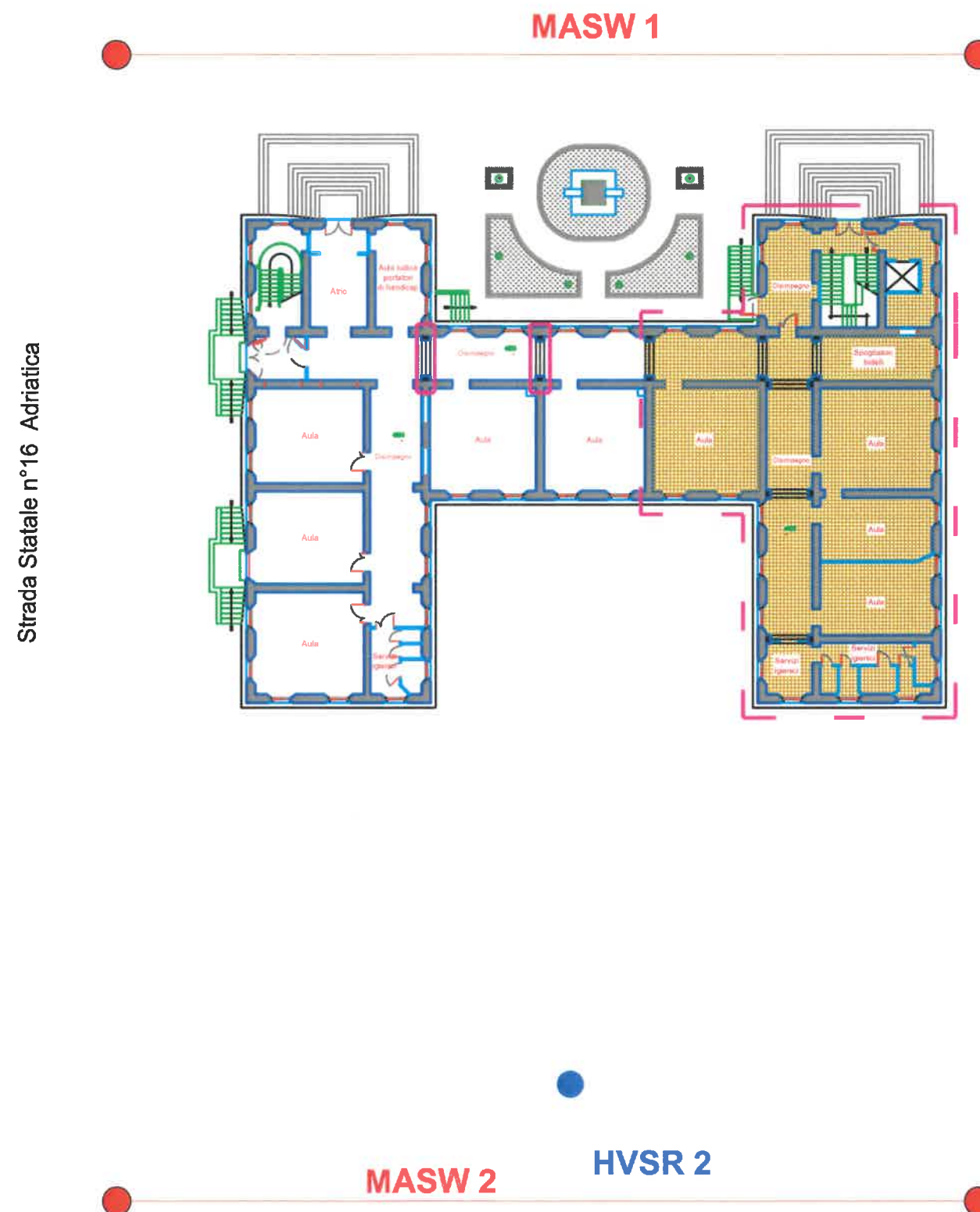
AREA IN OGGETTO



LEGENDA

MASW 1 Ubicazione indagine sismica MASW eseguita

HVSR 1 Ubicazione indagine sismica HVSR eseguita



ALLEGATO A

INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE

COMUNE DI GROTTAMMARE
PROVINCIA di ASCOLI PICENO

Dott. Geol. Alessio Acciarri

Via: Montecamauro, 43

63828 Campofilone - FM

Tel: 3384774968

Email: alessio.acciarri@gmail.com

P.IVA: 02245140443

**Indagini geofisiche per intervento di messa in sicurezza
contro il rischio sismico: rifacimento solai Scuola Primaria
"G. Speranza"**



Data: Marzo 2019

Committente: Amm.ne Comunale di Grottammare

Geologo: Dott. Giuseppe Capponi

Il Tecnico:



Indagini geofisiche tramite tecnica MASW e HVSr

Indice

Indagine MASW.....	3
Dati generali.....	4
Stendimento MASW 1.....	6
Stendimento MASW 2.....	12
Indagine HVSR.....	18
HVSR 1	20
HVSR 2.....	23

Indagine MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Metodologia di indagine MASW

L'indagine MASW è stata eseguita per mezzo della seguente strumentazione:

- Sismografo PASI GEA24;
- 24 geofoni verticali – frequenza naturale 4.5 Hz
- Mazza 5 kg
- Software di elaborazione EasyMASW-Geostru 2018

Sono stati impostati punti di battuta ad entrambe gli estremi dello stendimento con offset di 3.0 e 5.0 metri. Per ogni punto di battuta si sono effettuate più energizzazioni, sommandole poi assieme (stacking, minimo 3) al fine di aumentare il rapporto segnale/rumore.

Unitamente all'acquisizione di tipo MASW si è provveduto ad effettuare una registrazione di microtremori tramite apposita terna triassiale SARA Geobox – frequenza propria 4.5 Gz (tempo di registrazione 20 minuti – frequenza di campionamento 300 Hz).

I dati acquisiti sono stati analizzati ed elaborati mediante il software EasyMASW distribuito dalla Geostru.

Basandoci sui dati pregressi e di nuova acquisizione riguardanti il sito studiato (di natura geologica, stratigrafica e sismica) si è provveduto ad effettuare una modellazione diretta dei dati al fine di ottenere un modello sismostratigrafico del sottosuolo il più plausibile possibile, compatibilmente con i dati di nuova acquisizione.

La curva H/V sintetica del modello sismostratigrafico ottenuto, per una validazione dello stesso, è stata confrontata con la curva H/V registrata mediante l'indagine di microtremori HVSr.

Dati generali

Committente	Amm.ne Comunale di Grottammare
Cantiere	Scuola Elementare "G: Speranza"
Operatore	Geol. Alessio Acciarri – Geol. Stefano D'Alessandro
Responsabile	Geol. Alessio Acciarri
Data	27/03/2019 10:53
Latitudine	42.9887
Longitudine	13.8684



Ubicazione delle indagini geofisiche eseguite



Esecuzione indagine geofisica con metodologia MASW 1

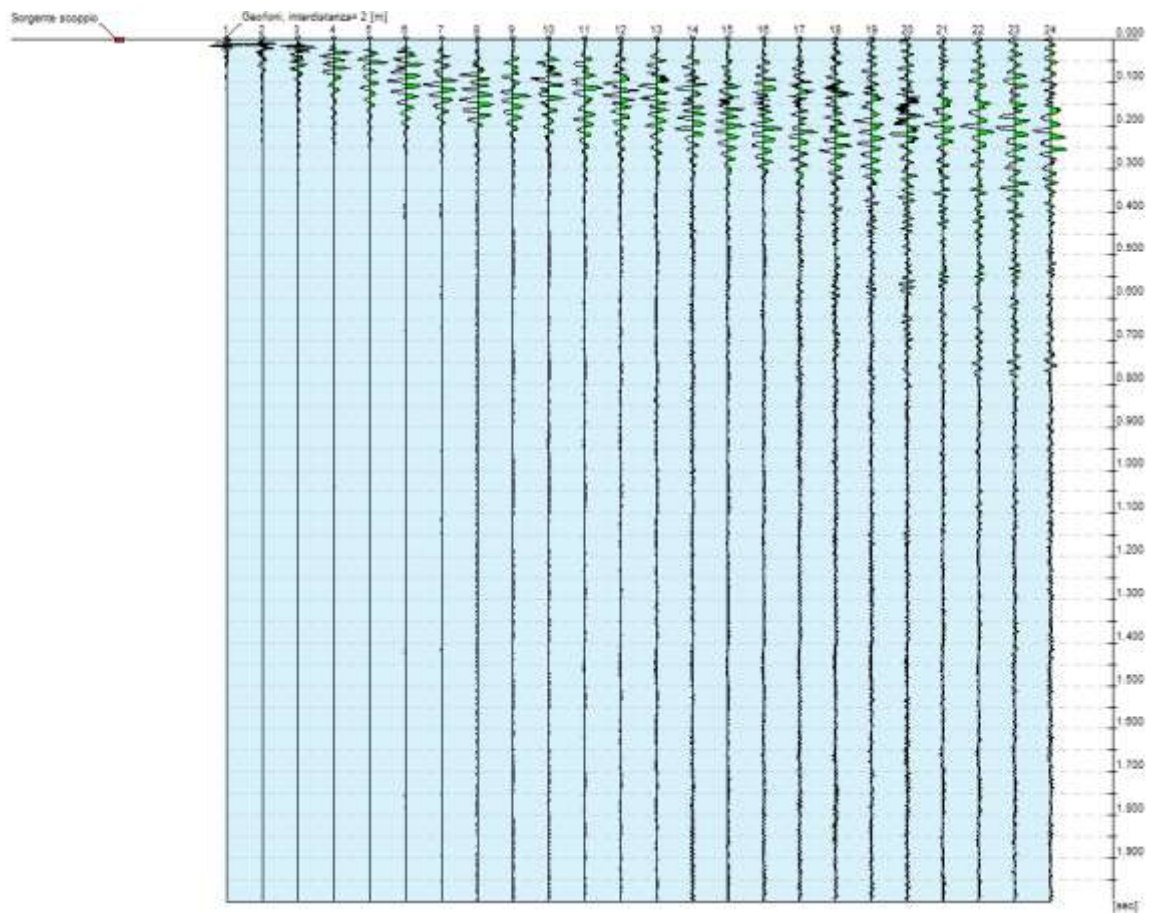


Esecuzione indagine geofisica con metodologia MASW 2

STENDIMENTO MASW 1

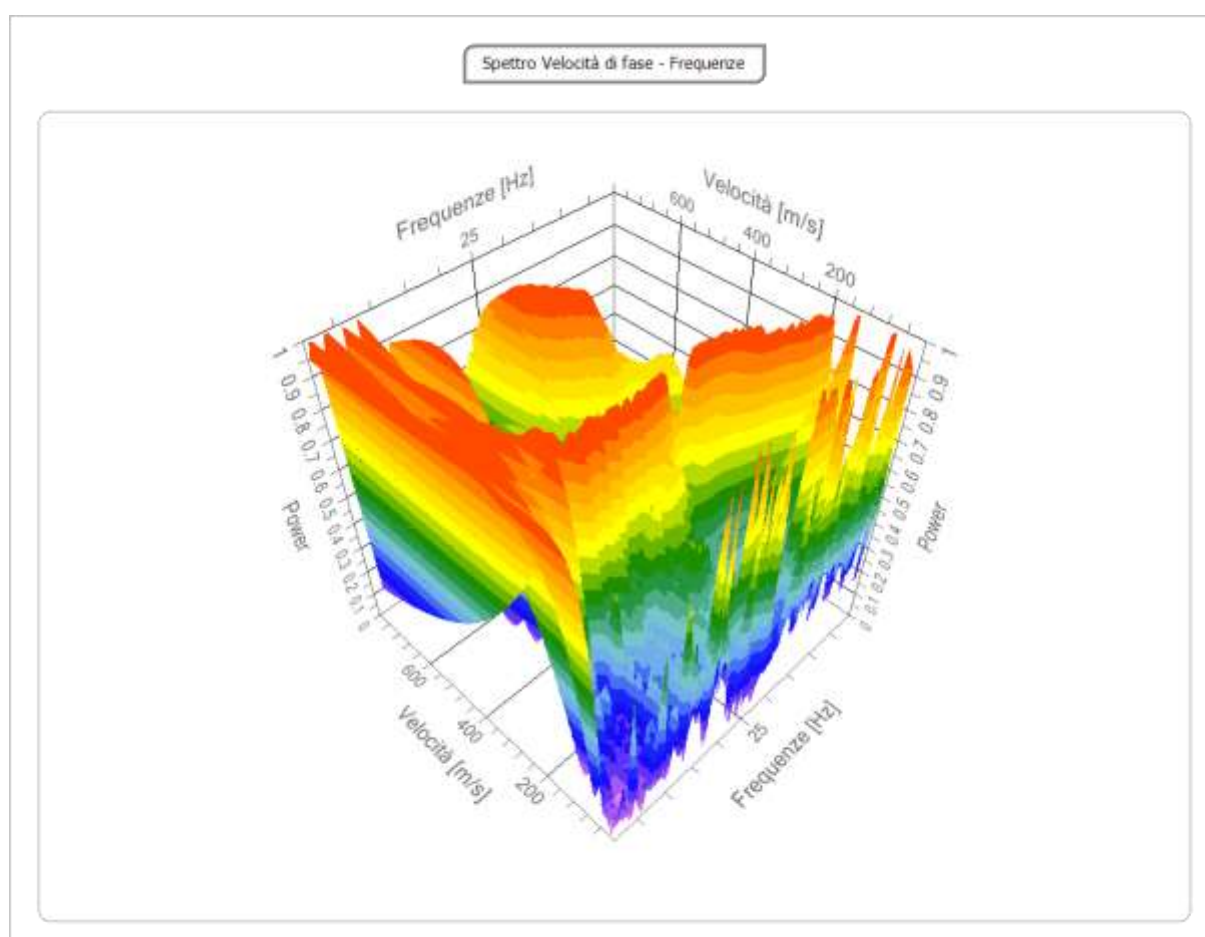
Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Lunghezza Stendimento [m]	46.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



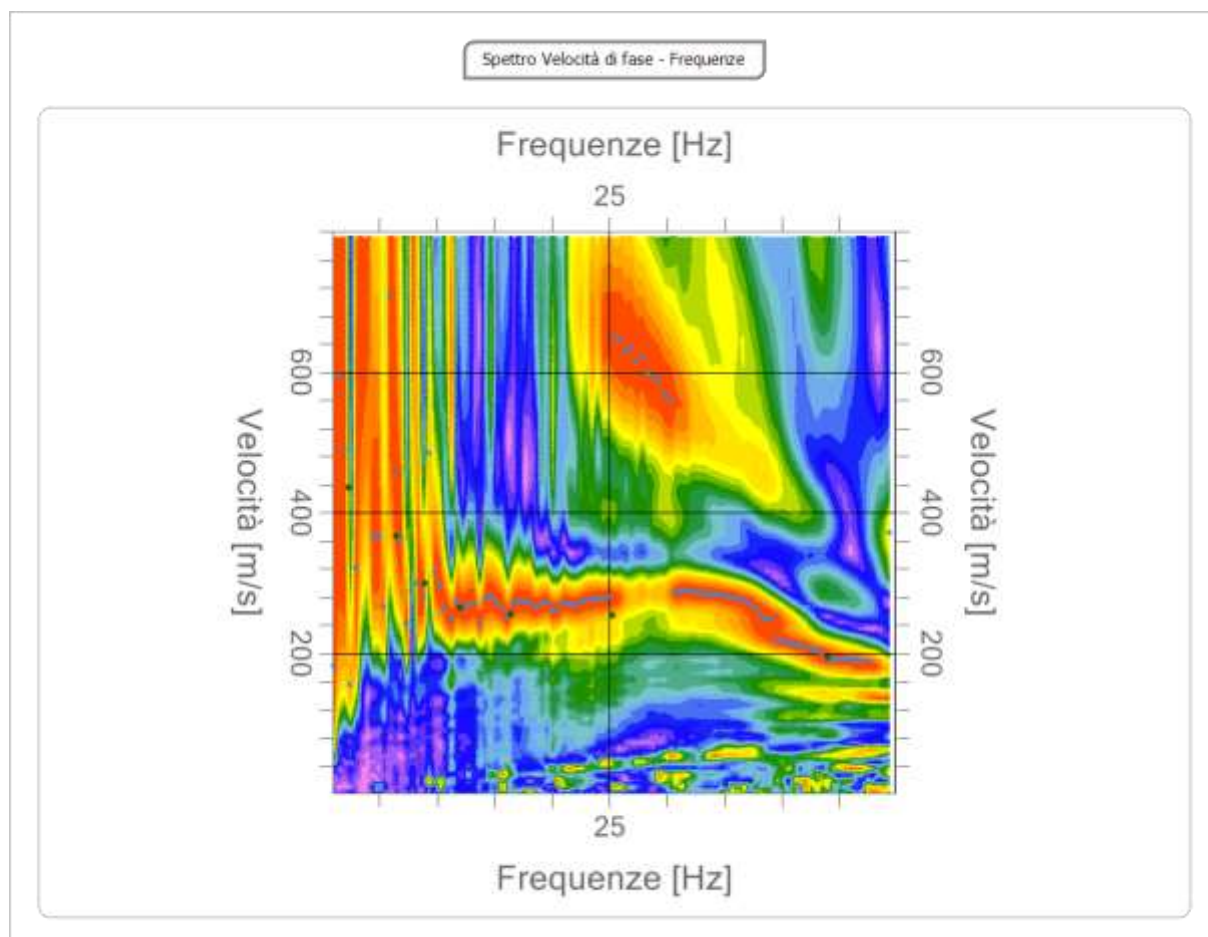
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	50
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.3	435.6	0
2	6.5	366.6	0
3	9.0	298.9	0
4	12.0	265.7	0
5	16.4	255.6	0
6	25.2	254.3	0
7	44.0	193.8	0



Inversione

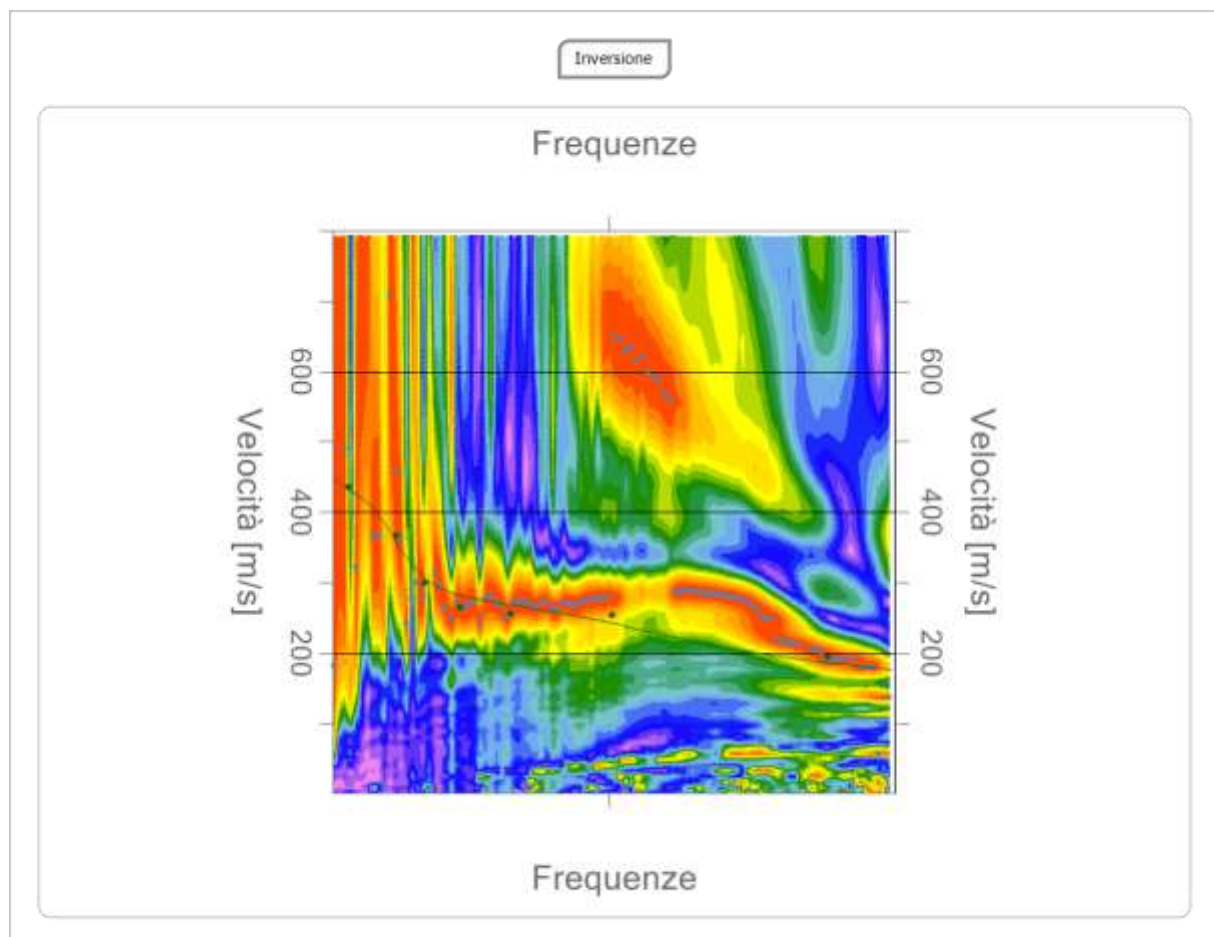
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	0.80	0.80	1800.0	0.20	No	209.0	128.0
2	2.80	2.00	1850.0	0.20	No	407.9	249.8
3	8.01	5.21	1950.0	0.30	No	631.5	337.6
4	16.01	8.00	2000.0	0.30	No	584.8	312.6
5	23.01	7.00	2050.0	0.30	No	767.1	410.0
6	∞	∞	2100.0	0.30	No	931.8	498.1

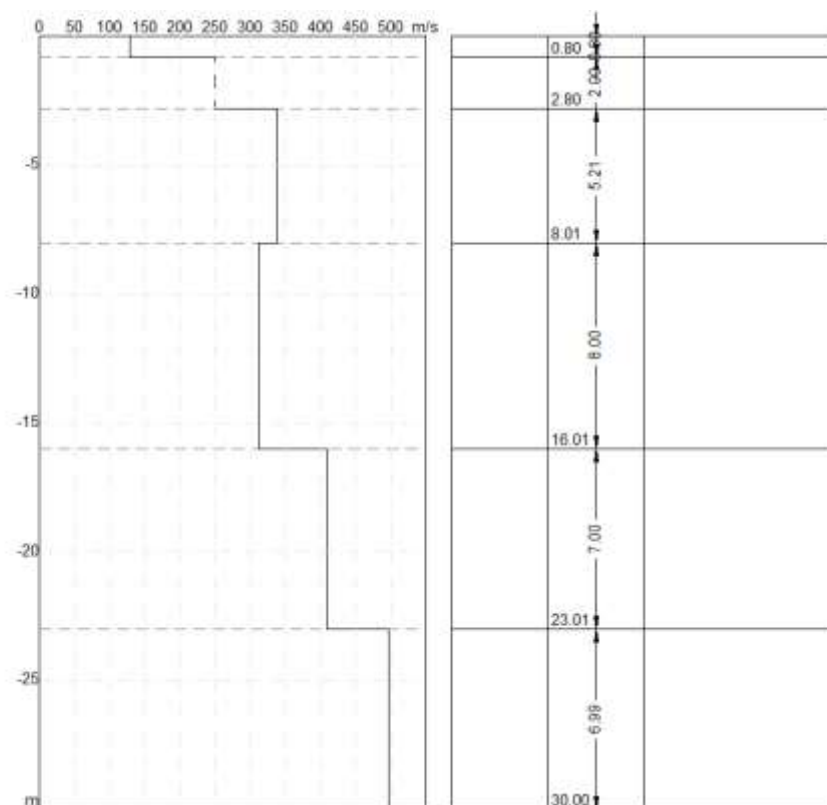
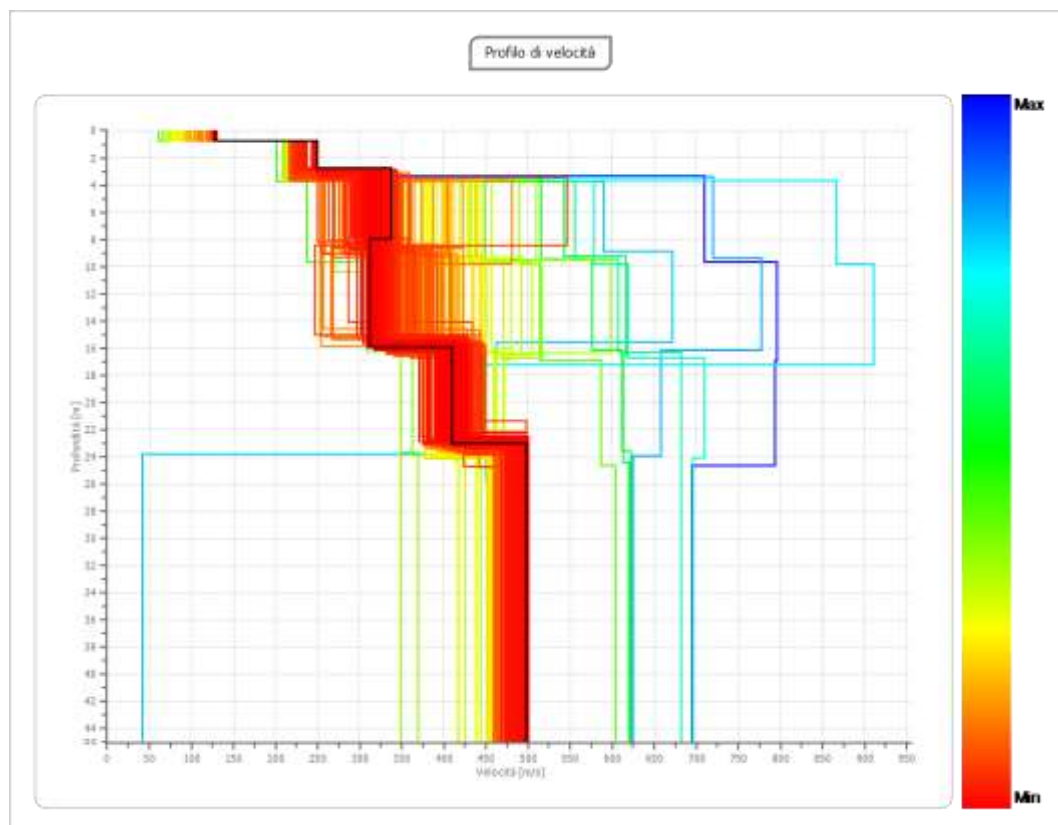
Percentuale di errore

0.114 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.039



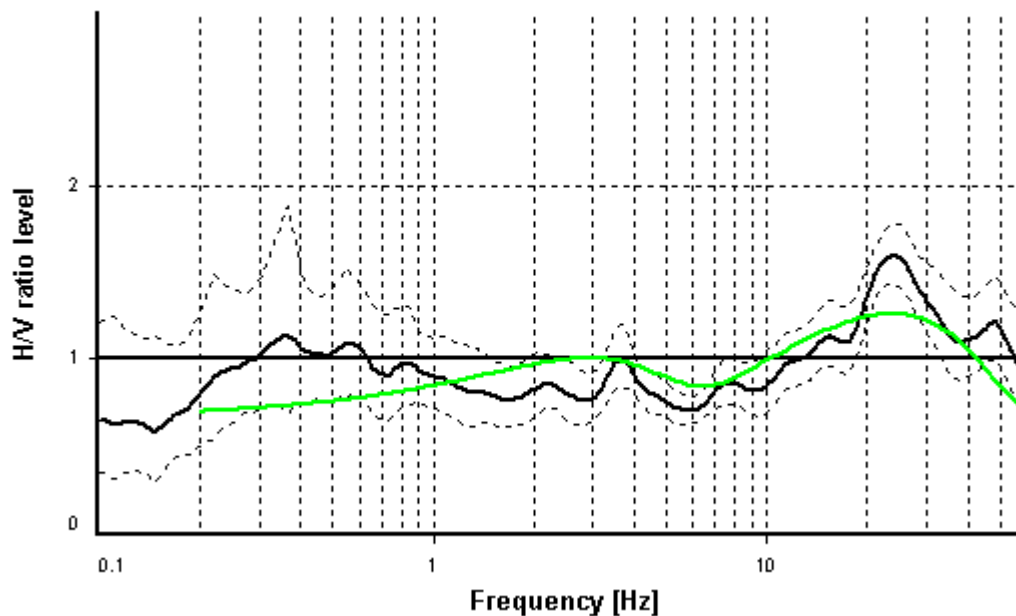


Risultati

Profondità piano di posa fondazioni [m]	0.00	0.50	1.00	1.50
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	347.26	359.33	368.78	373.36
Categoria del suolo	C	C	B	B

Suolo di tipo C (profondità piano di posa fondazioni <1.0 m): Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Synthetic HVSR modelling



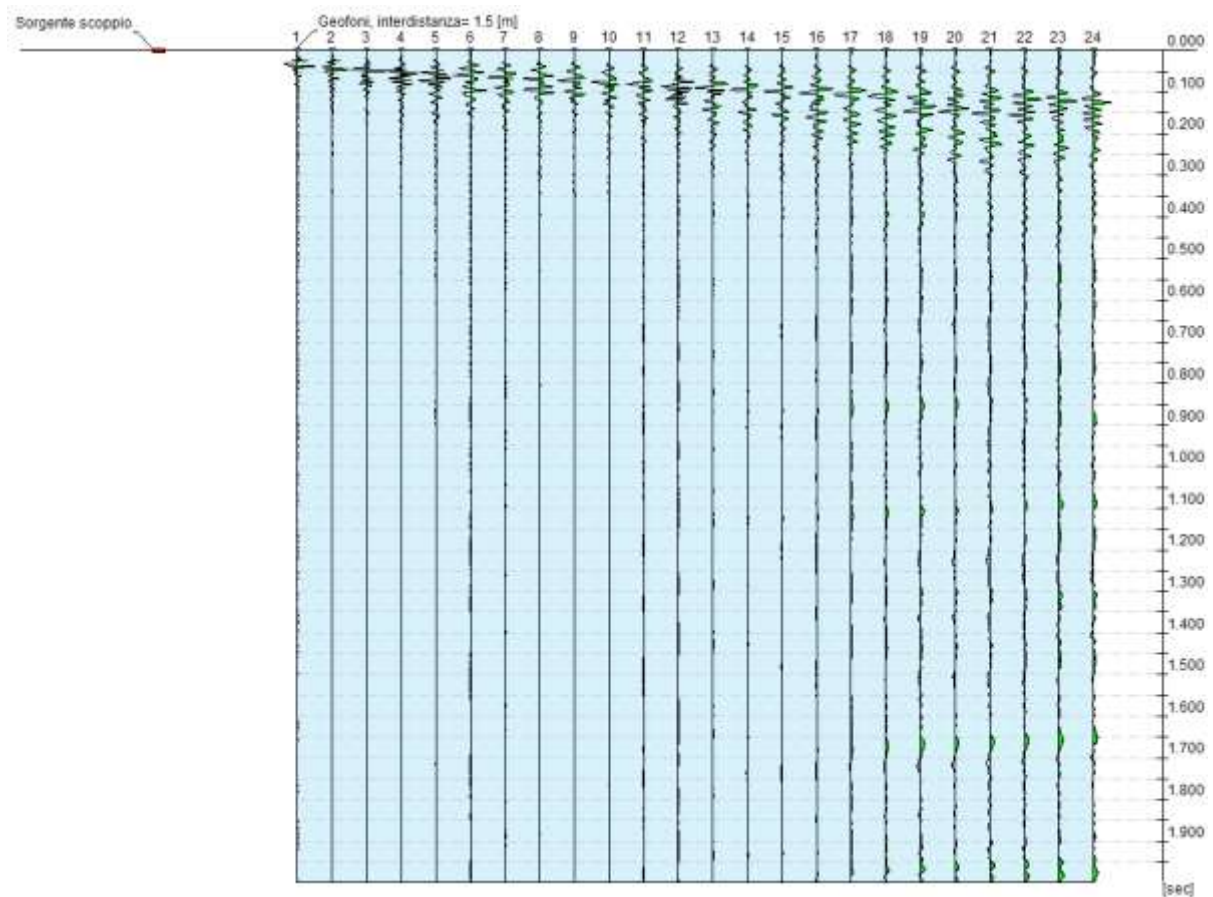
EXPERIMENTAL HVSR – TR1

SYNTHETIC HVSR (da modello sismostratigrafico ottenuto dall'analisi MASW)

STENDIMENTO MASW 2

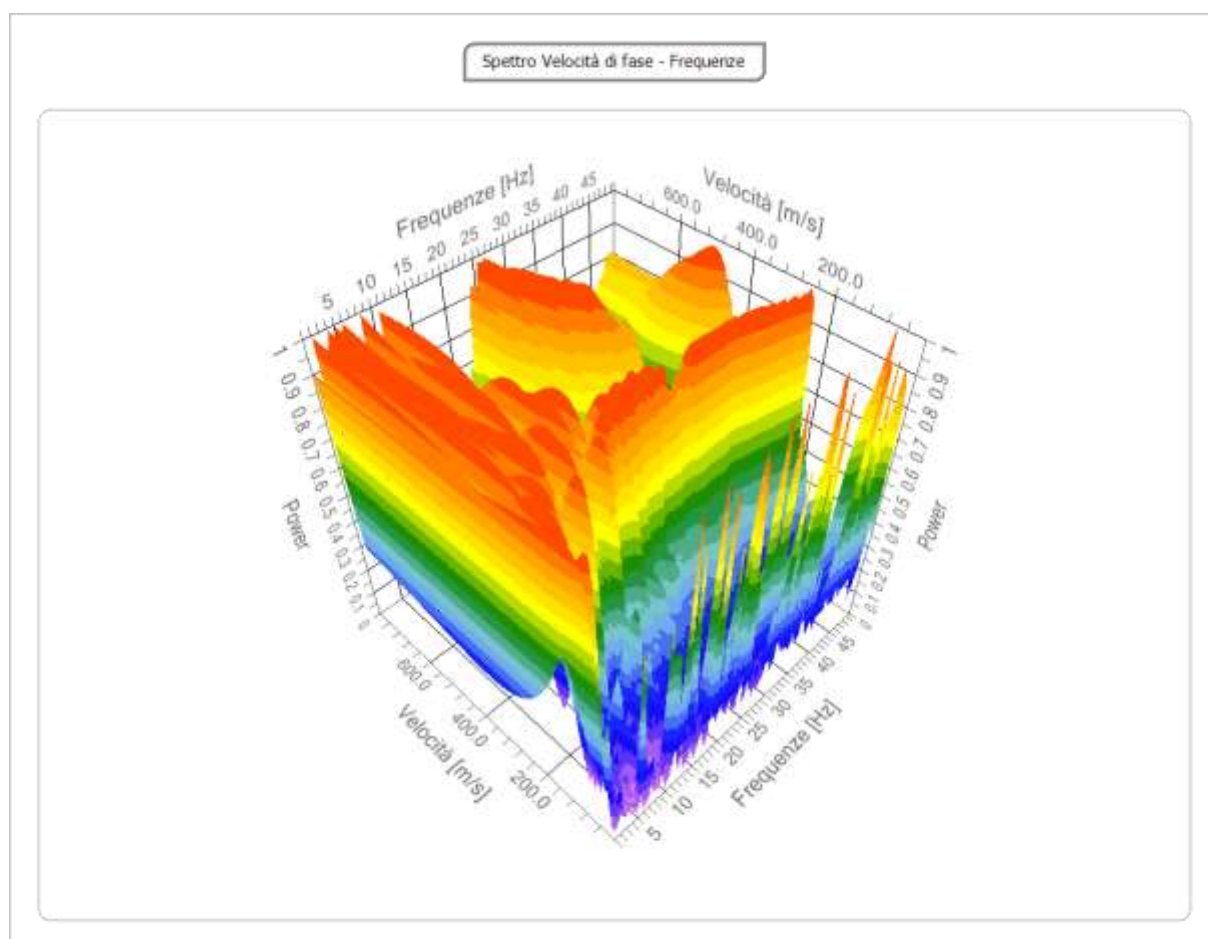
Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	1.5
Lunghezza Stendimento [m]	34.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00



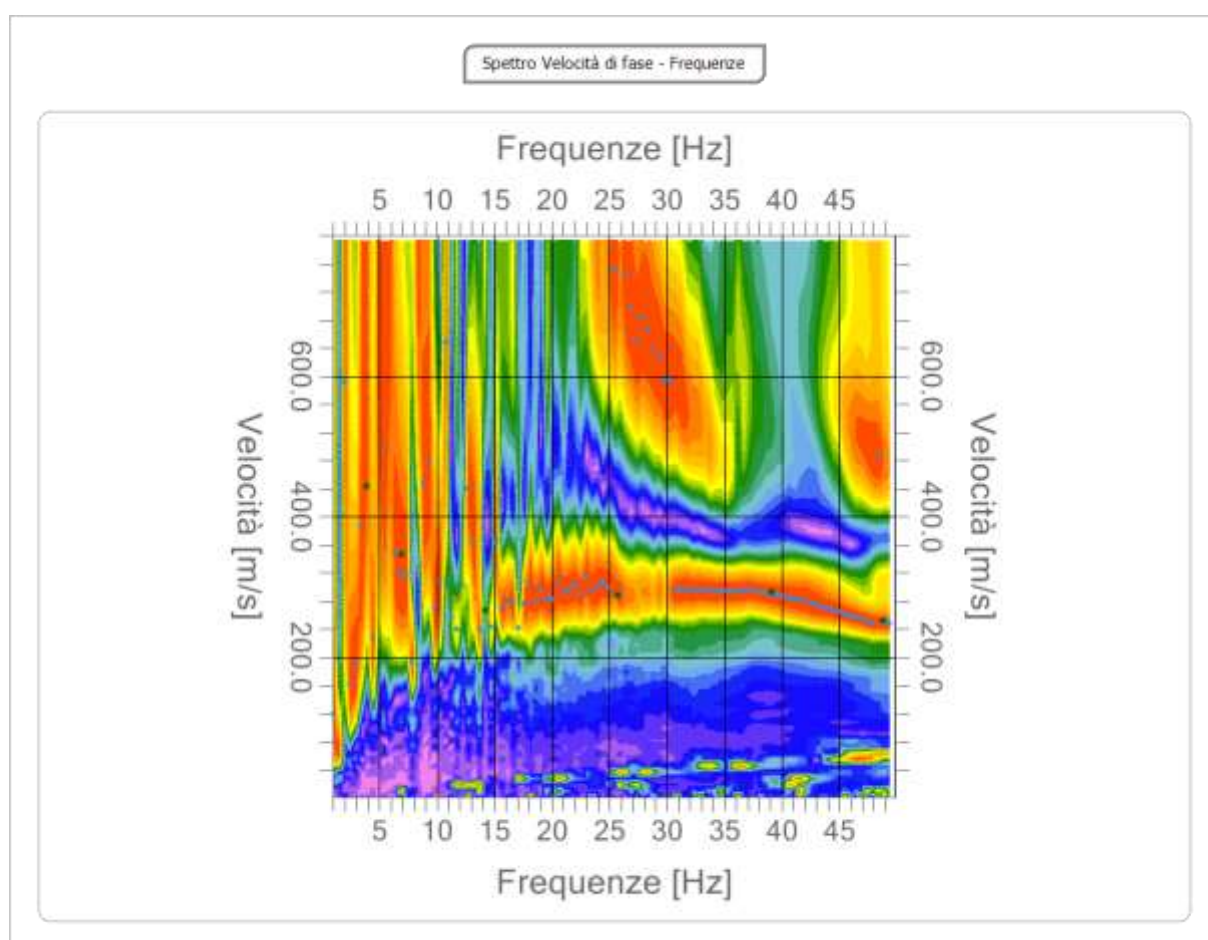
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	50
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	3.9	442.9	0
2	6.9	346.4	0
3	14.2	267.3	0
4	25.7	287.8	0
5	39.1	293.7	0
6	48.8	252.7	0



Inversione

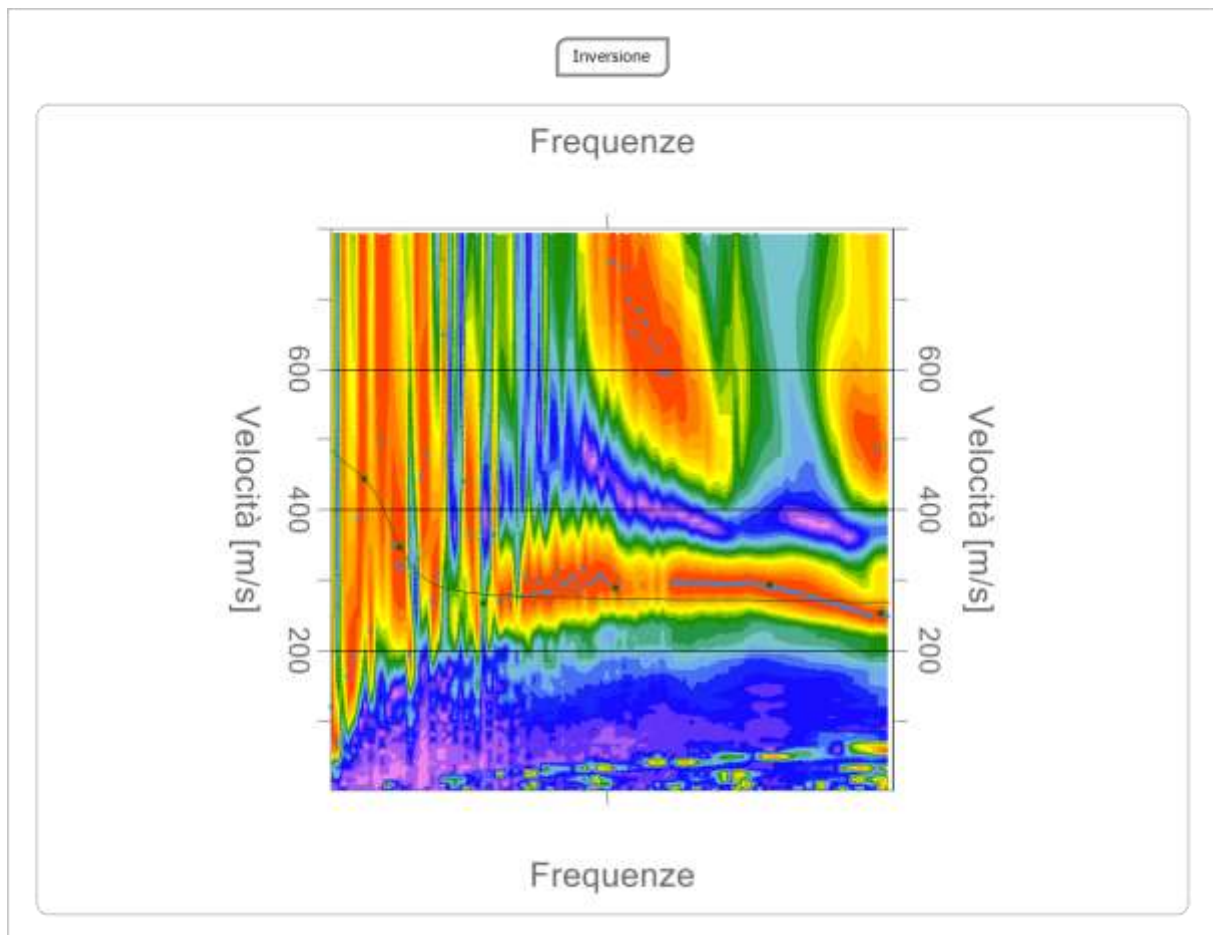
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.00	1.00	1800.0	0.20	No	425.6	260.6
2	3.96	2.96	1850.0	0.20	No	502.6	307.8
3	11.95	7.99	1950.0	0.30	Si	577.4	308.7
4	19.58	7.63	2000.0	0.30	No	577.4	308.7
5	26.58	7.00	2050.0	0.30	No	956.8	511.5
6	∞	∞	2100.0	0.30	No	1012.2	541.0

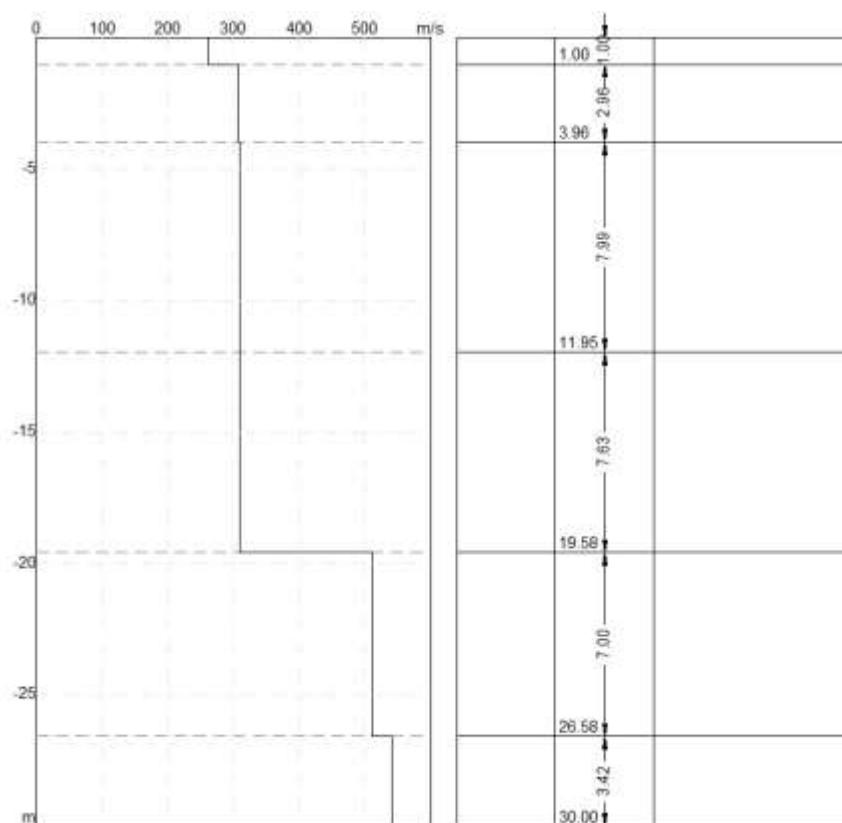
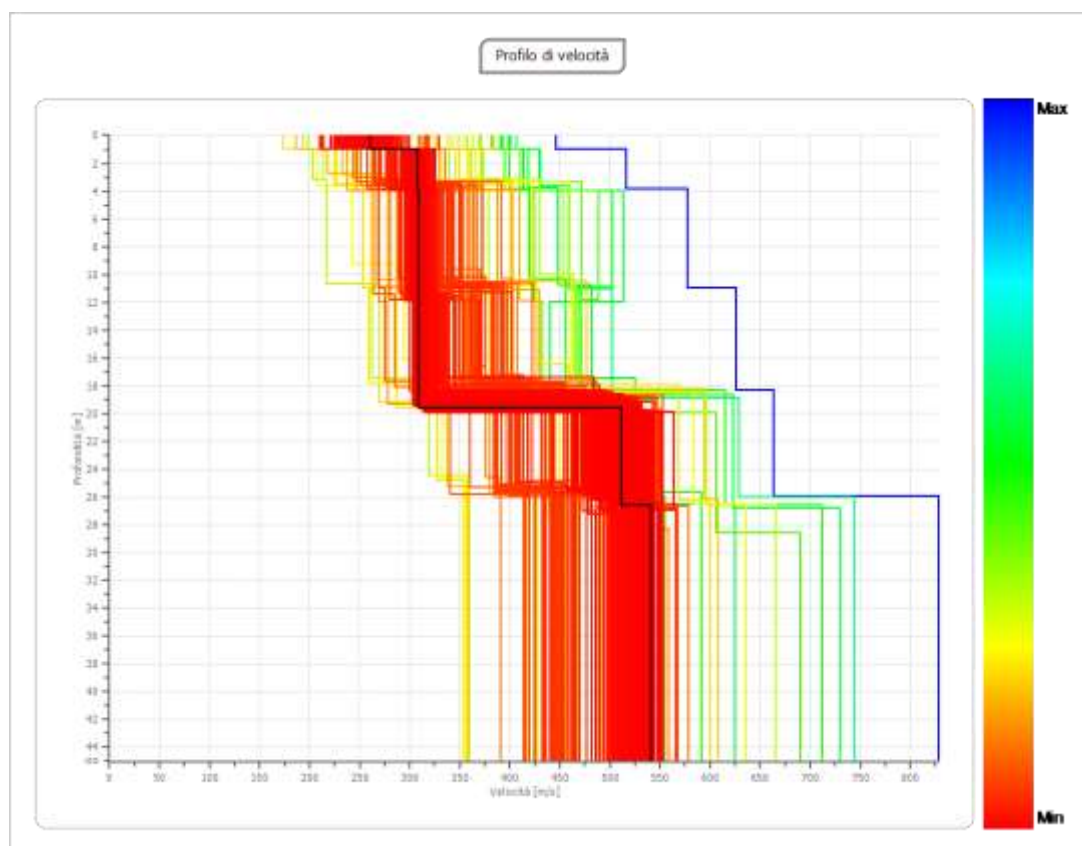
Percentuale di errore

0.187 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.050



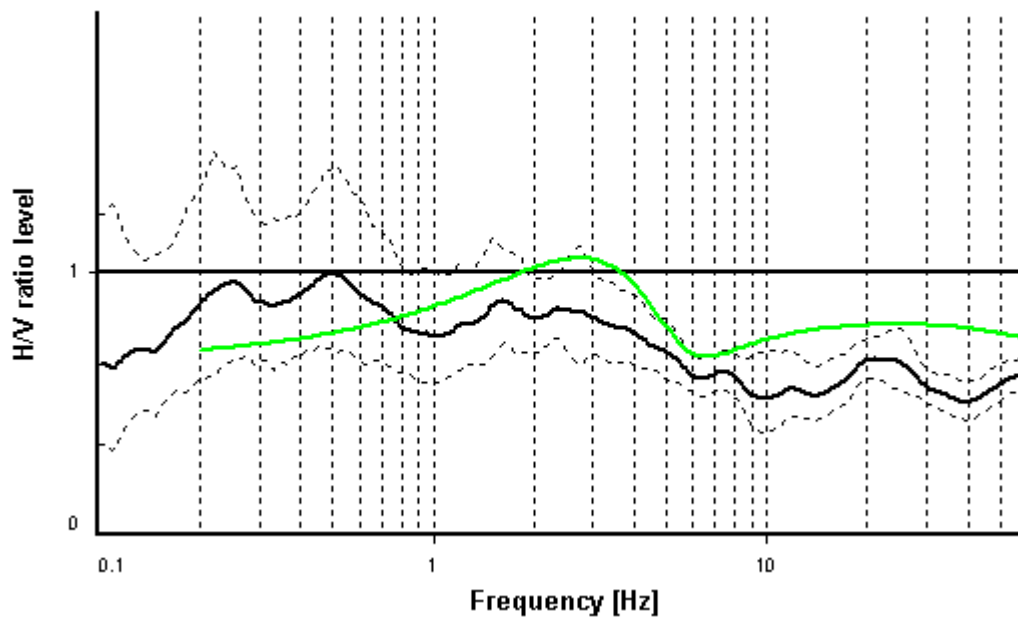


Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00	0.50	1.00	1.50
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	356.87	361.14	365.52	368.66
Categoria del suolo	C	B	B	B

Suolo di tipo C (profondità piano di posa fondazioni <1.0 m): Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Synthetic HVSR modelling



EXPERIMENTAL HVSR – TRI

SYNTHETIC HVSR (da modello sismostratigrafico ottenuto dall'analisi MASW)

Indagini HVSr

La presente indagine ha lo scopo di eseguire una misura sismica passiva HVSr (horizontal to vertical spectral ratio) per la valutazione della frequenza caratteristica di sito mediante l'acquisizione di rumore sismico.

Tale indagine geofisica si basa sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto H/V. La tecnica HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è una prospezione geofisica non invasiva, molto rapida e applicabile ovunque senza la necessità di perforazione né di energizzazioni esterne; essa si basa, difatti, sulla misura del "rumore sismico ambientale", chiamato anche microtremore (poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro), ovunque presente sulla superficie terrestre.

Tale indagine permette di ricavare:

- **frequenza caratteristica di risonanza del sito**, rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare manufatti aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosa per la stabilità degli stessi in caso di sisma;
- **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, quando la misura viene effettuata all'interno dello stesso. Tale misura risulterà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- **velocità media delle onde di taglio V_{seq} o V_{s30}** , calcolata tramite un apposito codice di calcolo. Tuttavia è necessario in questo caso, per l'affidabilità del risultato, utilizzare il dato HVSr per elaborazione congiunta con indagini sismiche attive o essere in possesso di specifiche tarature stratigrafiche (conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia e riconoscibile nella curva H/V). E' possibile calcolare la velocità equivalente (V_{seq}) e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dal DM 17/01/18;

Caratteristiche della strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (SARA GEOBOX 3CH 24 bit – SS45PACK, Sara electronic instruments s.r.l.) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri), da 4,5 Hz, orientati secondo le direzioni NS, EW e verticalmente, ad alta definizione. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alle frequenze di **campionamento di 300 Hz**, per un tempo di **20 minuti**. La misura è stata eseguita su una stazione curando un adeguato orientamento e accoppiamento della stazione con la superficie.

Analisi dei dati per stazioni singole H/V

L'analisi e l'elaborazione del rumore sismico registrato è stata eseguita mediante il software GeoExplorer HVSr 2.2.1, prodotto e sviluppato dalla Sara Electronic Instruments s.r.l..

Dalla registrazione del rumore ambientale in campagna si ricava la curva H/V secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005):

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

L'elaborazione ha permesso di ottenere la curva H/V caratteristica del sito in esame per la determinazione delle frequenze di sito secondo le linee guida del Progetto Sesame (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations, 2005).

Nel caso specifico si sono attestate le seguenti frequenze caratteristiche di risonanza del sito:

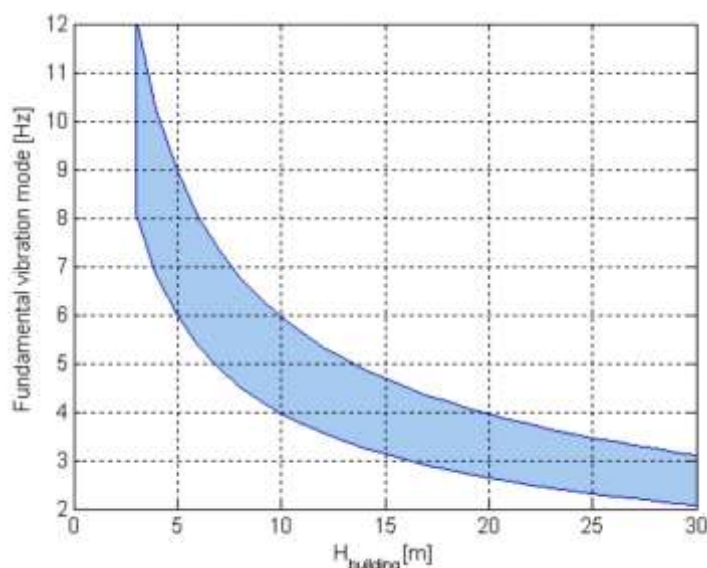
$23,406 \pm 2,997$ Hz (in un range 0.2 – 60,0 Hz) con ampiezza del picco H/V = 1,591 – Tr1

$2,265 \pm 0,626$ Hz (in un range 0.2 – 60,0 Hz) con ampiezza del picco H/V = 0,858 – Tr2

Sarà cura del progettista, al fine di evitare pericolosi fenomeni di doppia risonanza in caso di sisma, progettare una struttura con frequenze fondamentali di oscillazione lontane (per un fattore di almeno 1.4) da quelle tipiche del terreno nel sito specifico di edificazione.

E' da tenere presente che le frequenze dei modi di vibrare delle strutture dipendono principalmente dalla loro altezza. Nel seguente grafico è schematizzata, per edifici standard in c.a., la relazione esistente tra l'altezza della struttura e il primo modo vibrazionale.

Nel grafico a lato si osserva che le frequenze superiori ai 10-12 Hz non interagiscono con i fabbricati civili e, pertanto, possono essere considerate dal punto di vista ingegneristico non significative, mentre, frequenze fondamentali di risonanza del terreno inferiori a 10-12 Hz, interagiscono con quelle dei fabbricati in modo inversamente proporzionale all'altezza, negli edifici multi-piano le frequenze fondamentali risultano progressivamente più basse.



Relazione tipica tra la frequenza di primo modo flessionale di vibrare ed altezza di una struttura (da S. Castellaro 2008)



Esecuzione dell'indagine geofisica con metodologia HVSR – TR1



Esecuzione dell'indagine geofisica con metodologia HVSR – TR2

REPORT INDAGINE HVSR – TR1 SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

Recording start time: 2019/03/27 10:14:50

Recording length: 20 min

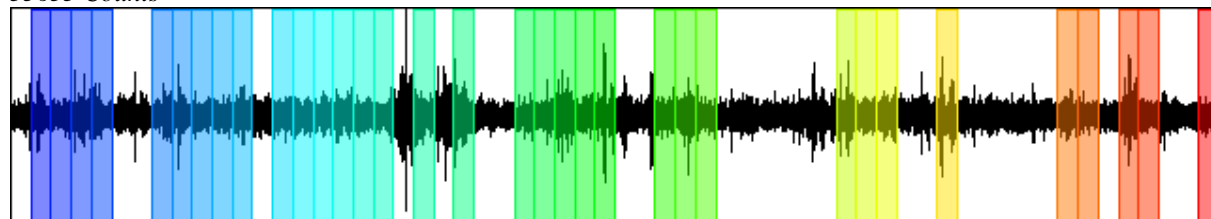
Windows count: 34

Average windows length: 20

Signal coverage: 56.67%

CHANNEL #1 [V]

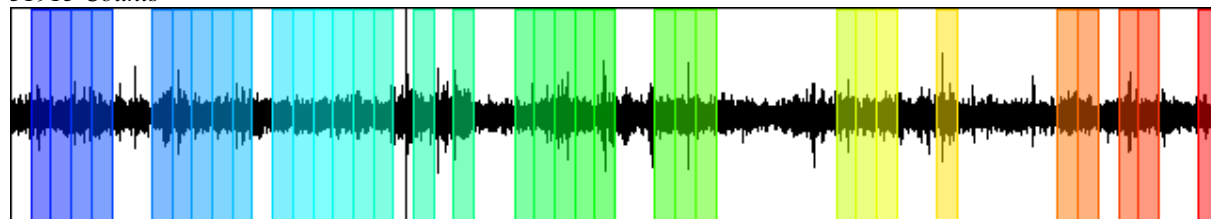
35653 Counts



-31994 Counts

CHANNEL #2 [N]

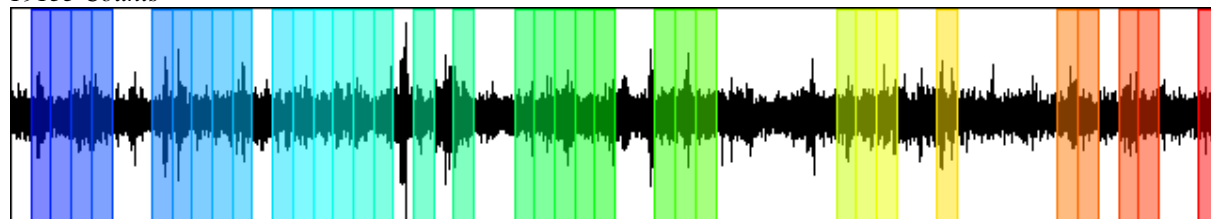
31915 Counts



-30714 Counts

CHANNEL #3 [E]

19133 Counts



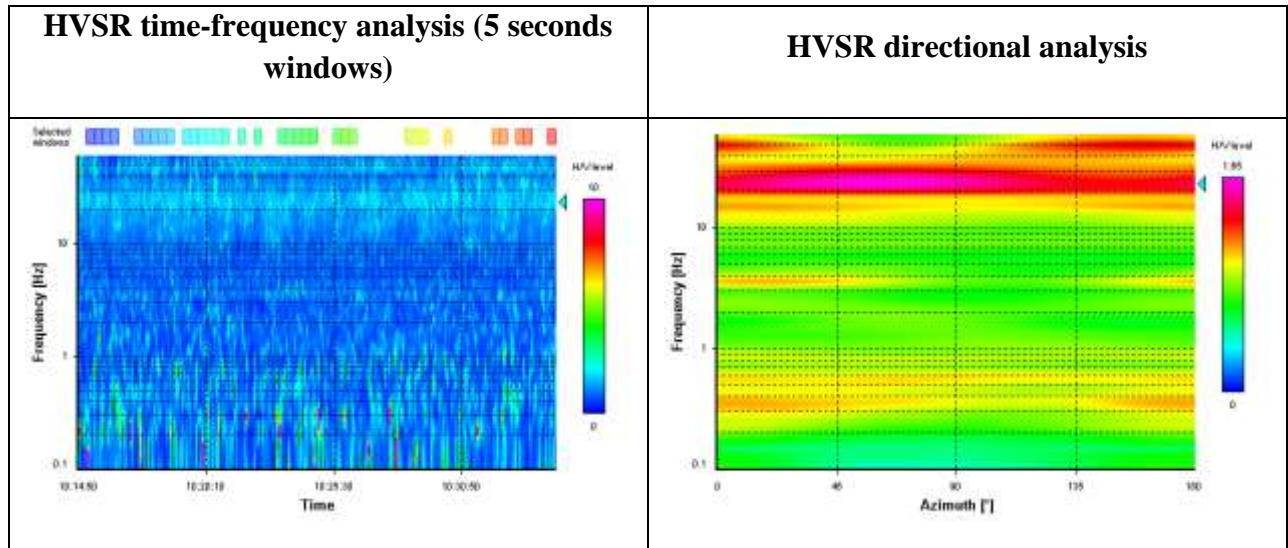
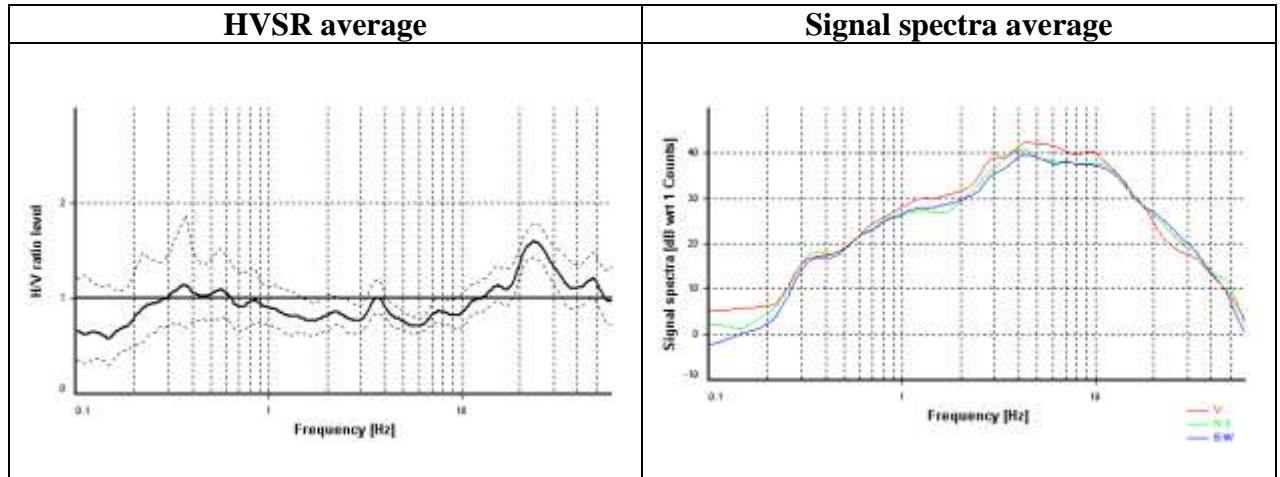
-22083 Counts

HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 10%)

Smoothing: Proportional triangular (Bandwidth coefficient = 15)

Instrumental correction: Disabled



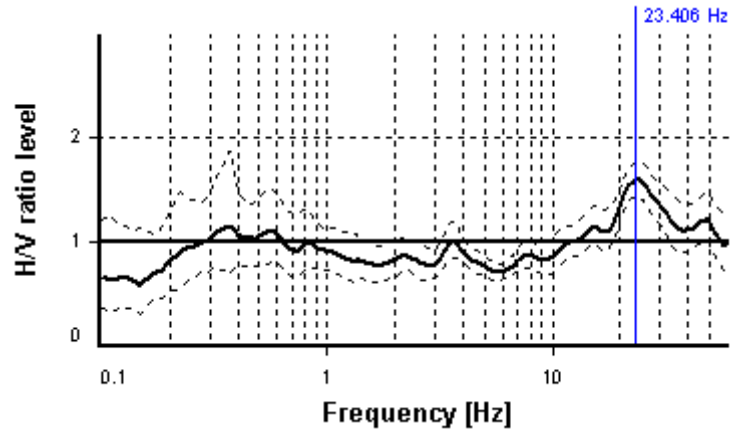
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

23.406 Hz

A_0 amplitude = 1.591

Average f_0 = 24.241 \pm 2.997



HVSR curve reliability criteria

$f_0 > 10 / L_w$	34 valid windows (length > 0.43 s) out of 34	OK
$n_c(f_0) > 200$	15916.05 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 65	OK

HVSR peak clarity criteria

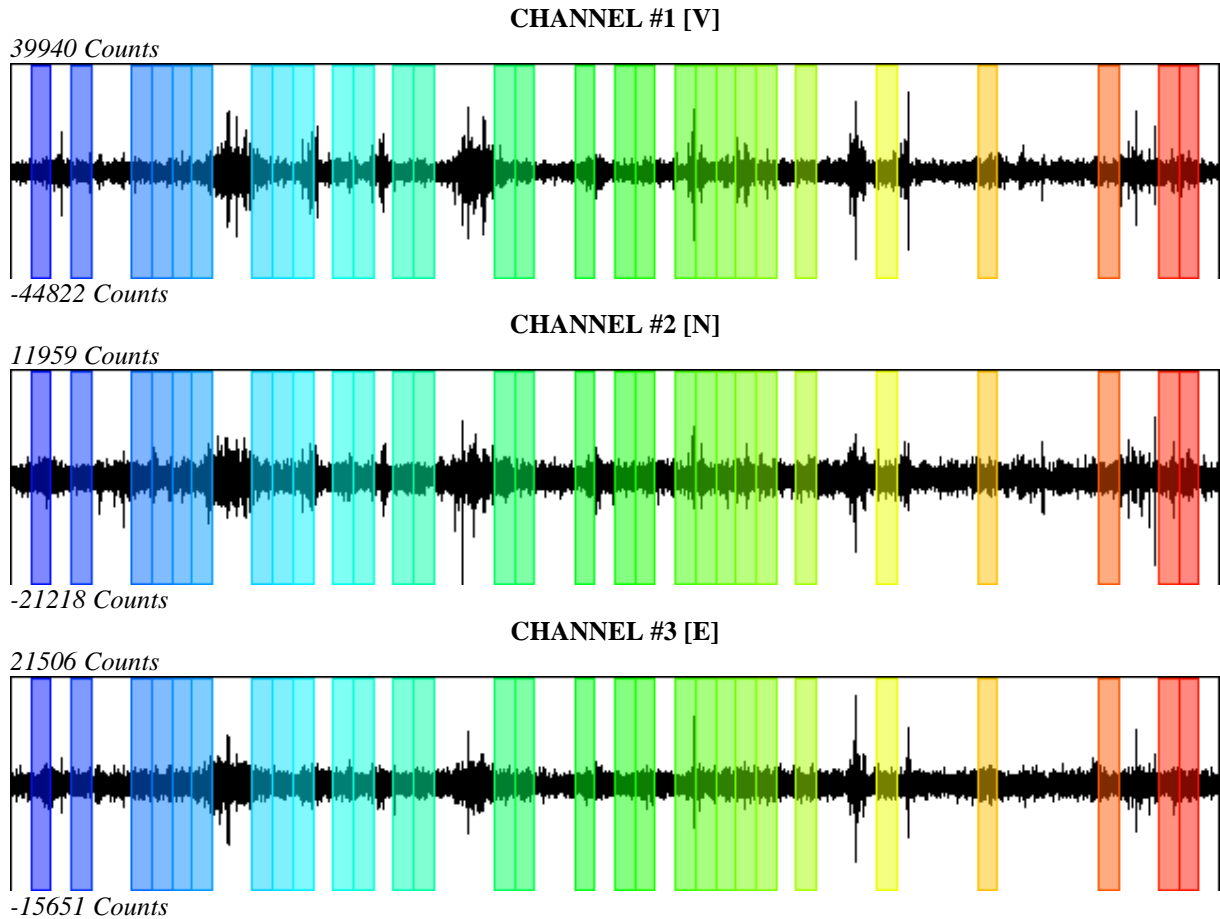
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	6.76738 Hz	OK
$\exists f' \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	0 Hz	NO
$A_0 > 2$	1.59 \leq 2	NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	2.16% \leq 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.99654 \geq 1.1703	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.11287 < 1.58	OK

Overall criteria fulfillment

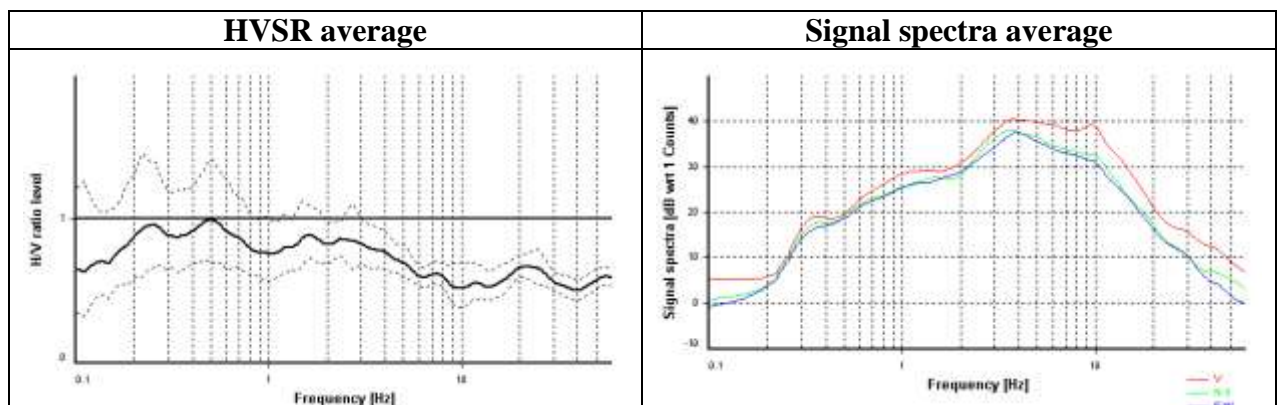
NO

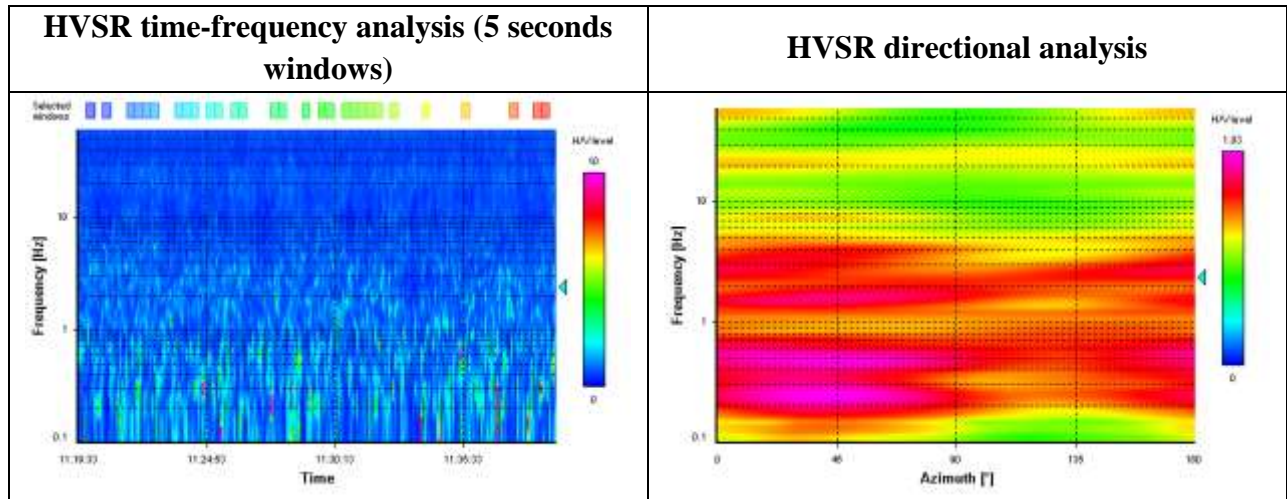
REPORT INDAGINE HVSR – TR2 SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz
 Recording start time: 2019/03/27 11:19:33
 Recording length: 20 min
 Windows count: 29
 Average windows length: 20
 Signal coverage: 48.33%



Tapering: Enabled (Bandwidth = 10%)
 Smoothing: Proportional triangular (Bandwidth coefficient = 15)
 Instrumental correction: Disabled





SESAME CRITERIA		
<p>Selected f_0 frequency 2.372 Hz</p> <p>A_0 amplitude = 0.858 Average f_0 = 2.265 ± 0.626</p>		
HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	29 valid windows (length > 4.22 s) out of 29	OK
$n_c(f_0) > 200$	1375.84 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 65	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f' \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	0 Hz	NO
$A_0 > 2$	$0.86 \leq 2$	NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$16.16\% > 5\%$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.62635 \geq 0.11861$	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.15484 < 1.58$	OK
Overall criteria fulfillment		NO

ALL. B – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Esecuzione Indagine Geofisica **MASW** (MASW 1)



Foto 2: Esecuzione Indagine Geofisica **HVSR** (HVSR 1)



Foto 3: Esecuzione Indagine Geofisica **MASW** (MASW 2)



Foto 4: Esecuzione Indagine Geofisica **HVSR** (HVSR 2)