



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Toscana



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione sulle Indagini

Regione Toscana
Comune di Palaia



Regione	Soggetto realizzatore	Data
Regione Toscana Comune di Fauglia (PI)	Dott. Geol. Claudio Nencini Dott. Geol. Tommaso Nencini Dott.ssa Geol. Melissa Brogi	Dicembre 2022

Presentazione e finalità del progetto

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Palaia (determina n°122 del 09/06/2022) è stato eseguito uno studio avente per oggetto **“Redazione di indagini e studi di microzonazione sismica di livello 2”** di alcune aree del territorio comunale. Nel corso dello studio, è stata eseguita, ad integrazione delle indagini esistenti, una campagna di indagine concordata con la Regione Toscana e riportata nella “Nota di adesione” al progetto.

Le aree coinvolte dallo studio comprendono gli abitati di **Palaia, Montefoscoli, Loc. Forcoli, Baccanella, Montanelli, Chiecinella.**

Nel corso dello studio, vista la disponibilità di dati, sono stati aggiunti gli abitati di **Toiano** e di **Villa Saletta.**

La nota di adesione prevede l'esecuzione delle seguenti indagini:

<i>Località</i>	<i>Tipologia di indagine</i>
Palaia	due Masw
Montefoscoli	due Masw
Forcoli	due Masw e due HVSR
Baccanella	una Masw
Chiecinella	una Masw

Gli stendimenti e le acquisizioni puntuali sono riportati nella tavola allegata. Nella presente relazione tecnica viene illustrato il metodo di acquisizione, l'elaborazione ed i risultati ottenuti.

1) Indagini sismiche MASW

Come previsto dalla “Nota di adesione” sono state eseguite otto indagini sismiche tipo MASW (due in località Palaia, due a Montefoscoli, due a Forcoli, una a Baccanella ed una a Chiecinella

Le indagini sono state eseguite dai professionisti dello studio GeoApp.

Le tecniche di indagine M.A.S.W. (Multichannel analysis of surfacewaves) derivano da sperimentazioni condotte, alla fine degli anni '90, da ricercatori del Kansas Geological Survey. Tali indagini risultano fra le più utilizzate nel mondo poiché consentono di determinare una classificazione del suolo in modo speditivo e non invasivo generando, mediante una sorgente artificiale (generalmente una mazza battente su piastra), onde che si propagano lungo un piano verticale. Come nella prospezione sismica a rifrazione, tali energizzazioni possono essere ripetute più volte nello stesso punto, sommando in modo aritmetico i segnali per ottenere un aumento del rapporto segnale/rumore.

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), vengono utilizzati geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz. Le acquisizioni sono eseguite con array lineari, in cui la distanza tra i geofoni è costante.

L'analisi delle onde “S”, indipendentemente dalla tecnica di acquisizione (attiva o passiva), viene eseguita attraverso la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier che restituisce lo spettro del segnale nel dominio trasformato. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda “S” si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa: questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

La curva di dispersione sperimentale viene confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente modificato in base alle differenze riscontrate tra le due curve. Ciò è finalizzato all'ottenimento di un modello sintetico che approssima nel miglior modo possibile la curva sperimentale a quella teorica. Questa delicata seconda fase di interpretazione è comunemente detta “fase di inversione”.

Metodo di Acquisizione

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano 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 (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde

superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo; onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

INDAGINE MASW

I metodi di utilizzo delle MASW sono di tipo attivo, il concetto cioè è quello di energizzare verticalmente con i metodi tradizionali e procedere ad un'analisi del segnale non più nel campo nel tempo, come si fa abitualmente con la rifrazione, ma nel dominio della frequenza. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5/10 Hz e 70/100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiali de suolo, generalmente compresa nei primi 20m-30m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

Strumentazione utilizzata

SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI

- N.1 sismografo a 24 canali ""ECHO 24 Seismic Unit" a 24 canali+1 Software di acquisizione dati "ECHO XE6_24

SISTEMA DI RICEZIONE

- 24 geofoni ad asse verticale con frequenza pari a 4,5 Hz, collegati al sistema di acquisizione tramite due cavi paralleli ognuno avente 12 connessioni spaziate 5 m.

SISTEMA DI ENERGIZZAZIONE E STARTER

- mazza da 8 Kg
- una piastra di battuta quadrata lato 20 cm.
- un geofono starter collegato al sismografo tramite un cavo elettrico.

Elaborazione dei dati sismici

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale velocity-frequency, che consente di analizzare l'energia di propagazione del rumore in un'unica direzione della linea sismica rappresentando poi lo spettro di frequenza su un grafico che mette in relazione la velocità e la frequenza dell'onda.

Dallo spettro così ottenuto viene eseguito un picking i cui valori sono poi riportati sul software Dinver per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

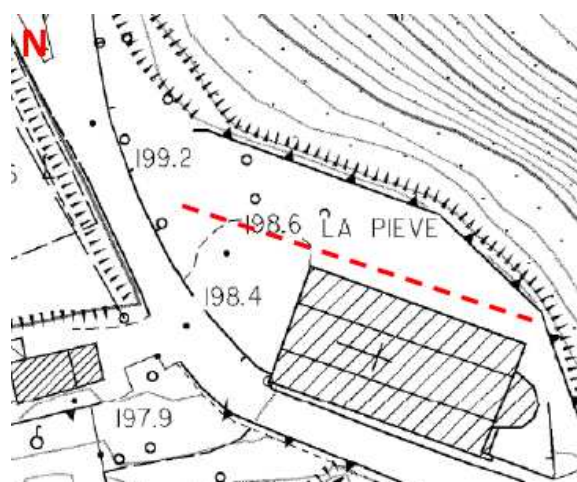
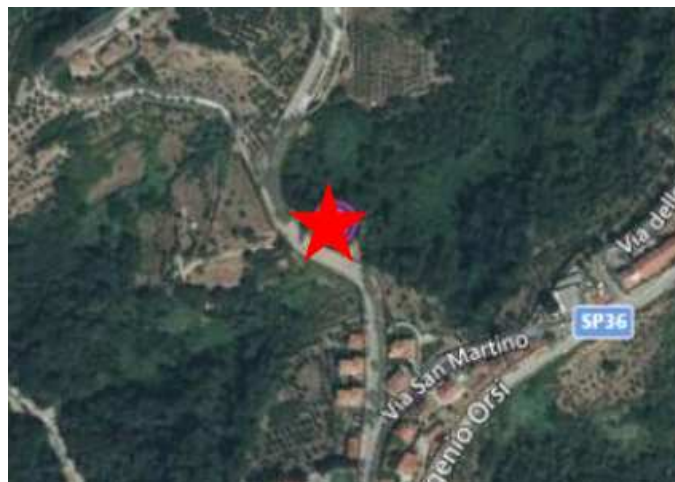
Variando la geometria del modello interpretativo ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva di dispersione calcolata in modo da ottenere un buon fitting (indicato dal valore di RMS, Root Mean Squared Error) con i valori sperimentali assumendo tale modello come interpretativo.

Al fine di ridurre i casi di equivalenza, quando possibile, si opera introducendo nell'interpretazione, come inamovibili, elementi quali: le densità dei litotipi dell'area indagata ed il numero degli strati con la loro rispettiva potenza. Lo studio dello spettro di potenza permette in definitiva la ricostruzione di un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, con le velocità delle onde di superficie S e la profondità.

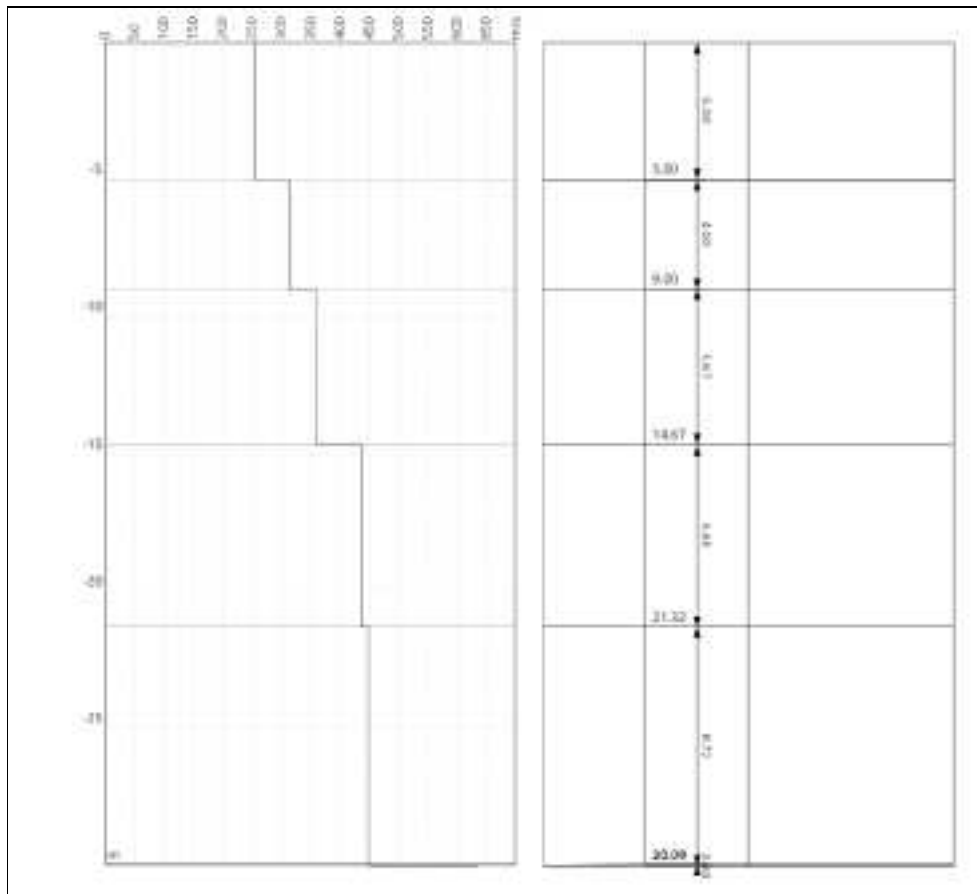
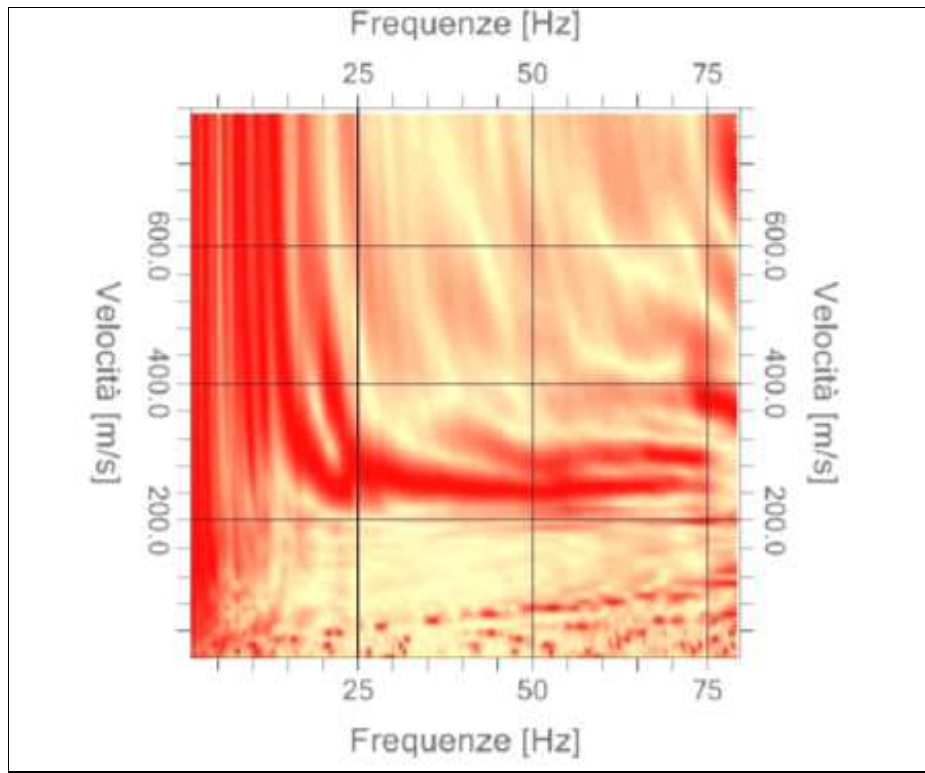
Per l'interpretazione dei dati acquisiti nel corso dell'indagine Masw è stato utilizzato il software di elaborazione *Easy MASW* della GEOSTRU.

MASW L25 LOCALITÀ PALAIA-LA PIEVE (GAUSS BOAGA 3003 1643200.46 , 46,4829951.81)

La Masw ha interessato l'area prospiciente la pieve di Palaia, posta in prossimità del crinale collinare ad una quota di 197.8 m). L'area è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti sabbiosi addensati riconducibili alla "formazione di Villamagna" databile al Pliocene Medio. Detti sedimenti sono attribuibili al "substarto geologico". Lo spessore dei sedimenti è stimabile nell'ordine dei 100-150m.



L'indagine ha evidenziato un progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Il valore della V_{seq} (piano campagna) è stato calcolato in circa **363 m/s**. *Categoria di suolo B*

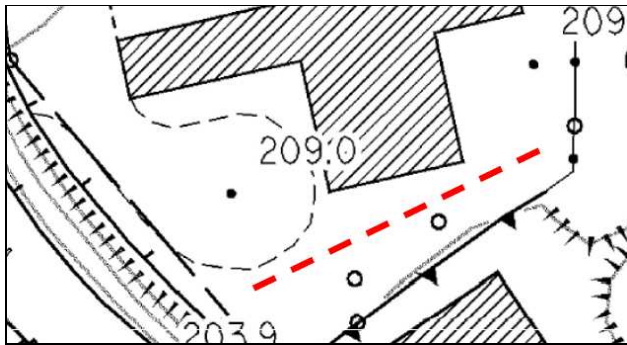


Ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo

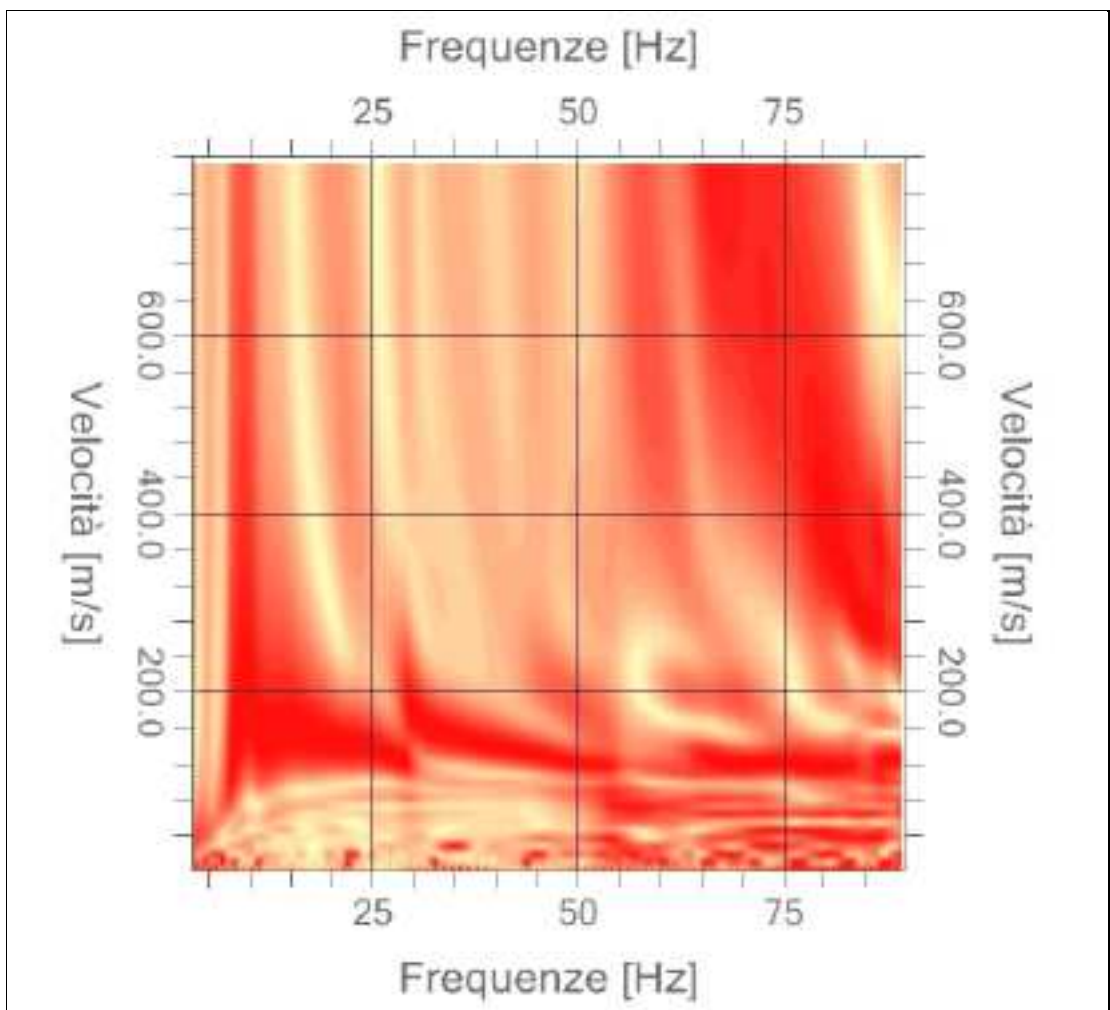
MASW, L 26 LOCALITÀ PALAIA – SCUOLA MEDIA (GAUSS BOAGA 3003 1643402.33 4829506.71)

La Masw ha interessato il resede della scuola media, posto alla sommità del rilievo collinare ad una quota di 209 m). L'area è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti sabbiosi addensati riconducibili alla "formazione di Villamagna" databile al Pliocene Medio. Detti sedimenti sono attribuibili al "substarto geologico". Lo spessore dei sedimenti è stimabile nell'ordine dei 100 – 150m.

La scelta di operare con 12 geofoni è stata determinata dalla presenza si spazi estremamente limitati.



L'indagine ha evidenziato un progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Il valore della V_{seq} (piano campagna) è stato calcolato in circa **323 m/s**. *Categoria di suolo C*



Spettro Velocità di fase -frequenze

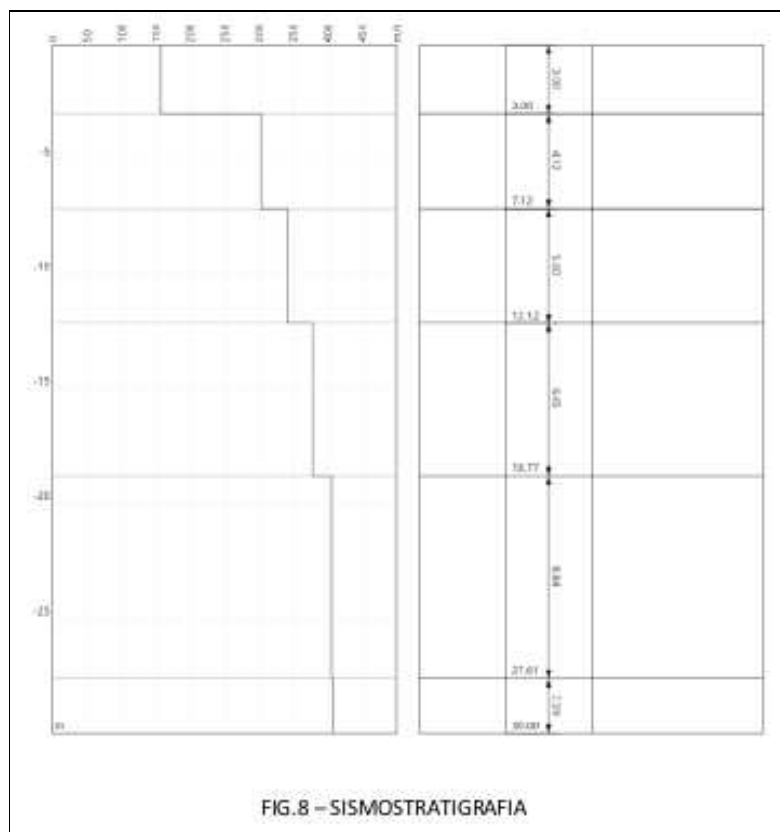
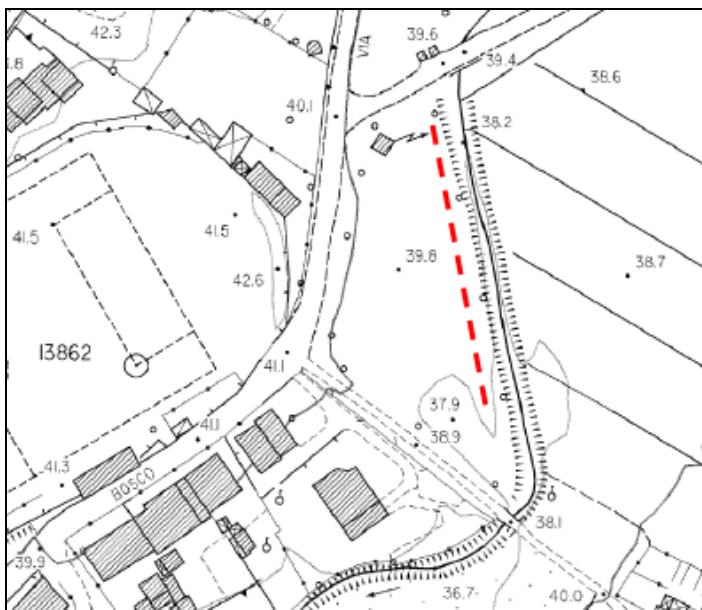


FIG.8 – SISMOSTRATIGRAFIA

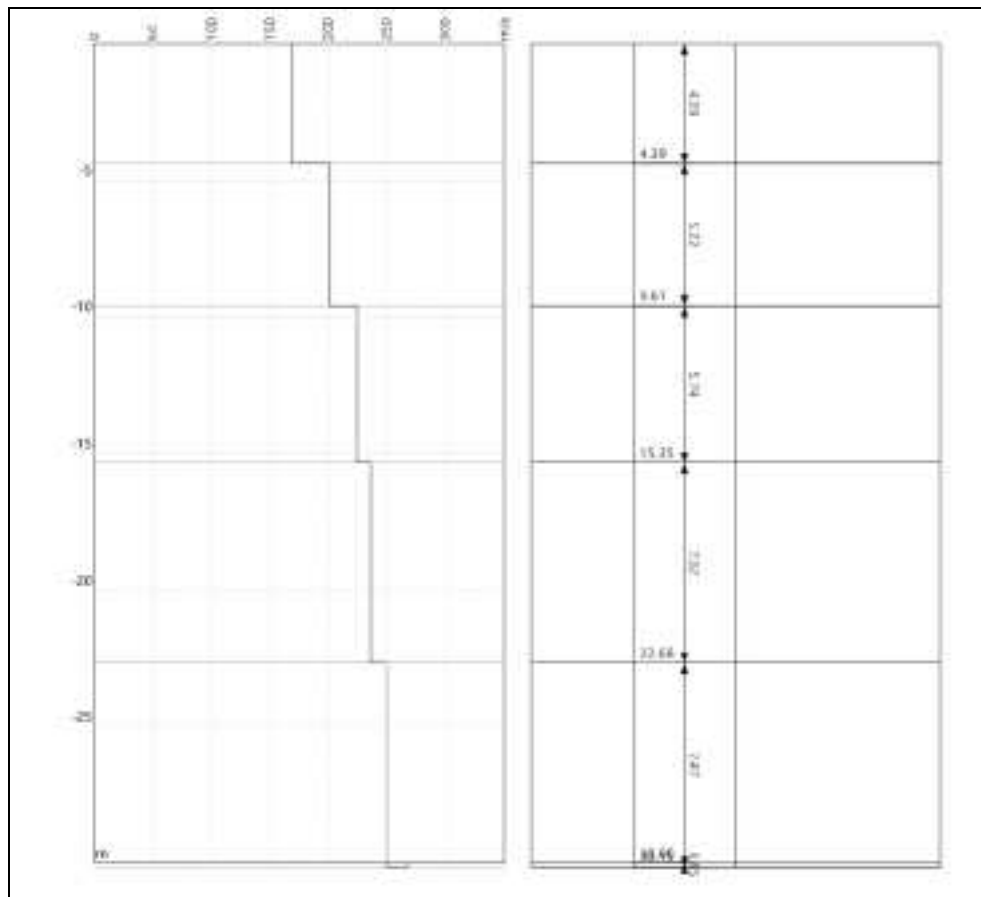
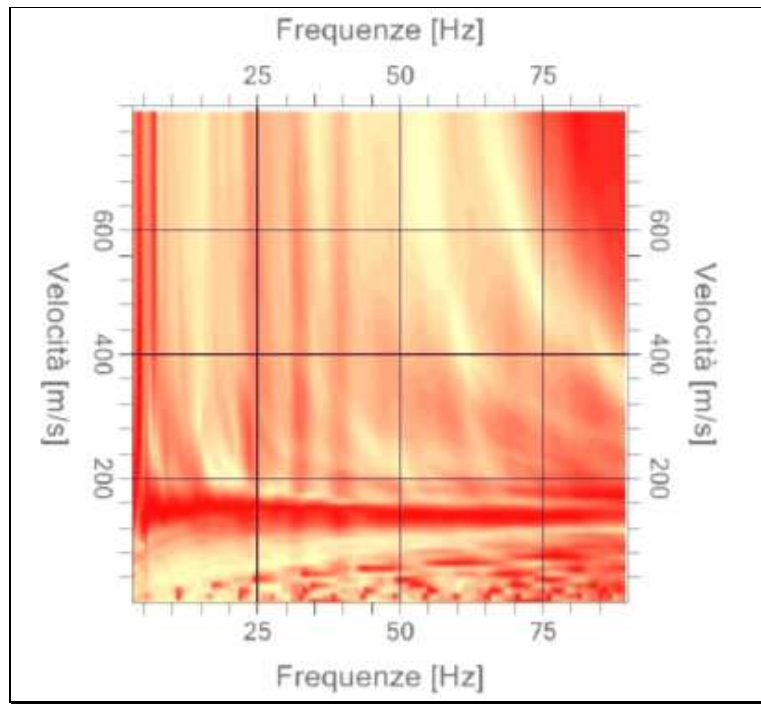
Ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo

MASW L30 LOCALITÀ FORCOLI – CAMPO SPORTIVO BRUNNER (GAUSS BOAGA 3003 1637929.31. 4829428.68)

La Masw ha interessato un'area adiacente al corso del Botro della Tosola posta ad una quota di 38.5 m slm). L'area è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti fini di origine fluviale riconducibili a "depositi di alluvionali recenti e attuali" la cui deposizione è riconducibile all'intervallo Olocene – Attuale. Detti sedimenti sono attribuibili ai "terreni della copertura". Lo spessore dei sedimenti è stimabile nell'ordine dei 10m, al di sotto si ritrovano sedimenti sabbiosi addensati attribuibili alla formazione dei Villamagna – Substrato geologico.



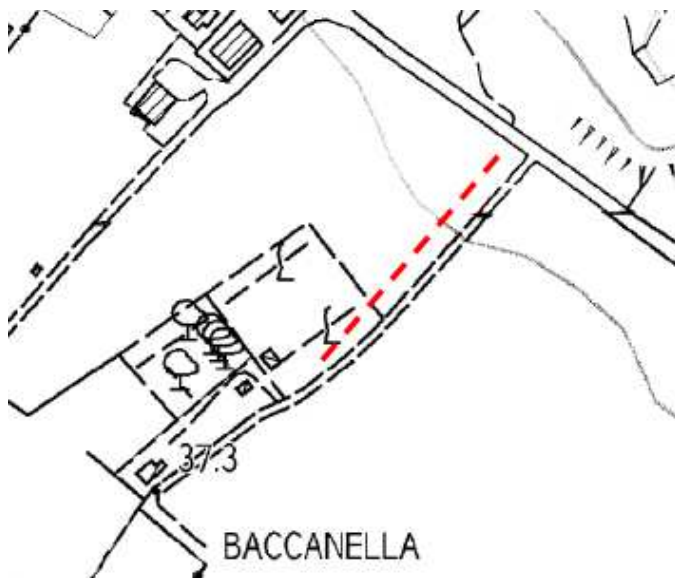
L'indagine ha evidenziato un progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Il valore della V_{seq} (piano campagna) è stato calcolato in circa **217 m/s**. **Categoria di suolo C**



Ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo

MASW L28 LOCALITÀ BACCANELLA—(GAUSS BOAGA 3003 1638163.46 4828753.05)

La Masw ha interessato un'area posta al raccordo tra la pianura alluvionale del Roglio e i rilievi collinari di Palaia ad una quota di 38.5 m slm). L'area è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti fini di origine fluviale riconducibili a "depositi terrazzati del primo ordine" la cui deposizione è riconducibile al Pleistocene Superiore. Detti sedimenti sono attribuibili ai "terreni della copertura". Lo spessore dei sedimenti è stimabile nell'ordine dei 10m, al di sotto si ritrovano sedimenti sabbiosi addensati attribuibili alla formazione di Villamagna – Substrato geologico.



L'indagine ha evidenziato un progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Il valore della V_{seq} (piano campagna) è stato calcolato in circa **2107m/s**. *Categoria di suolo C*

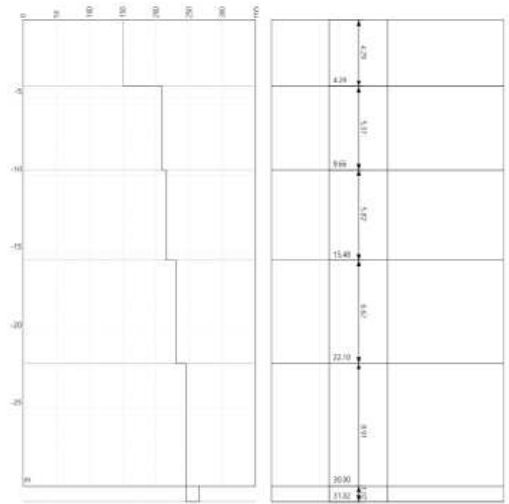
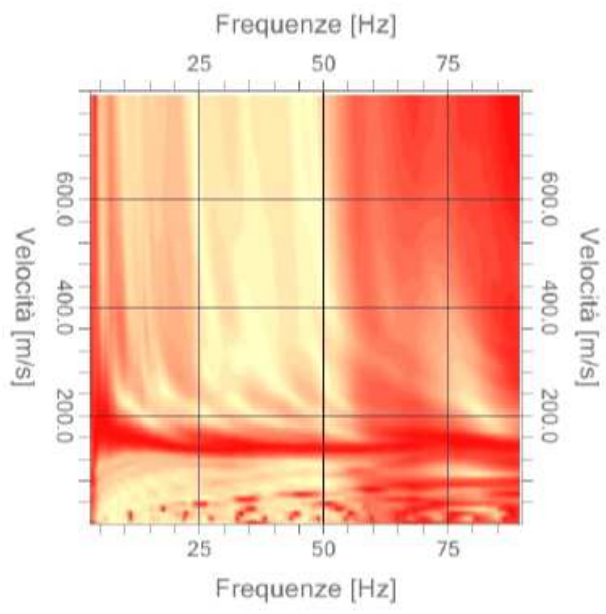


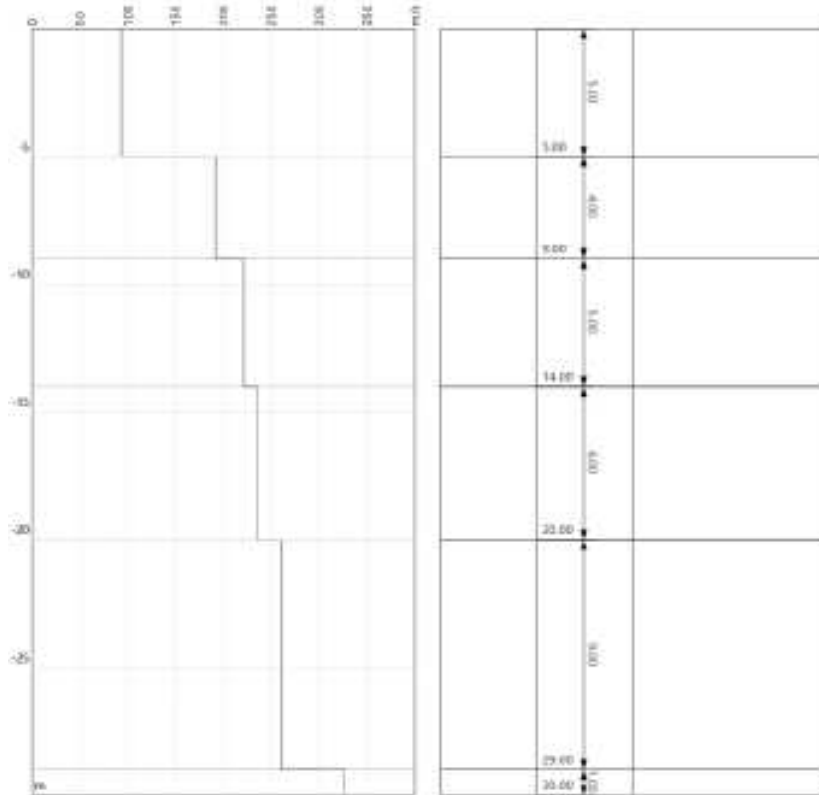
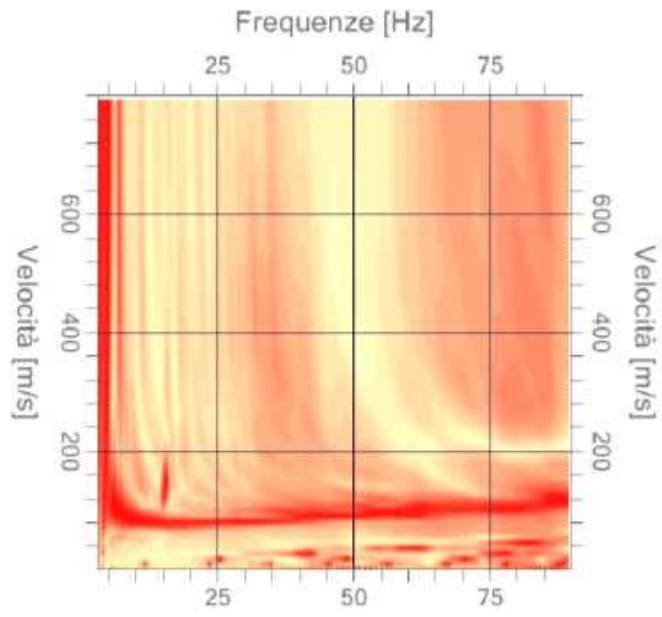
FIG.8 - SISMOSTRATIGRAFIA

MASW L27 LOCALITÀ MONTANELLI – (GAUSS BOAGA 3003 1638622.55 4828200.7)

La Masw ha interessato un'area posta al raccordo tra la pianura alluvionale del Roglio e i rilievi collinari di Palaia ad una quota di 38.9m slm). L'area è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti fini di origine fluviale riconducibili a "depositi terrazzati del primo ordine" la cui deposizione è riconducibile al Pleistocene Superiore. Detti sedimenti sono attribuibili ai "terreni della copertura". Lo spessore dei sedimenti è stimabile nell'ordine dei 10m, al di sotto si ritrovano sedimenti sabbiosi addensati attribuibili alla formazione di Villamagna – Substrato geologico.



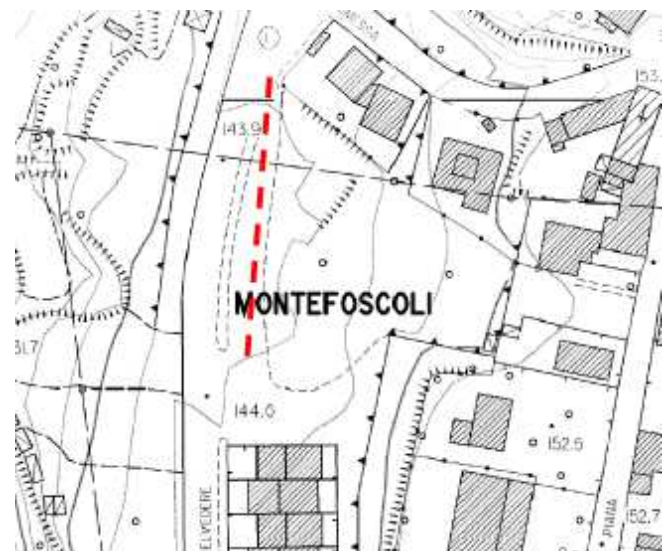
L'indagine ha evidenziato un progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Il valore della V_{seq} (piano campagna) è stato calcolato in circa **187 m/s**. *Categoria di suolo C*



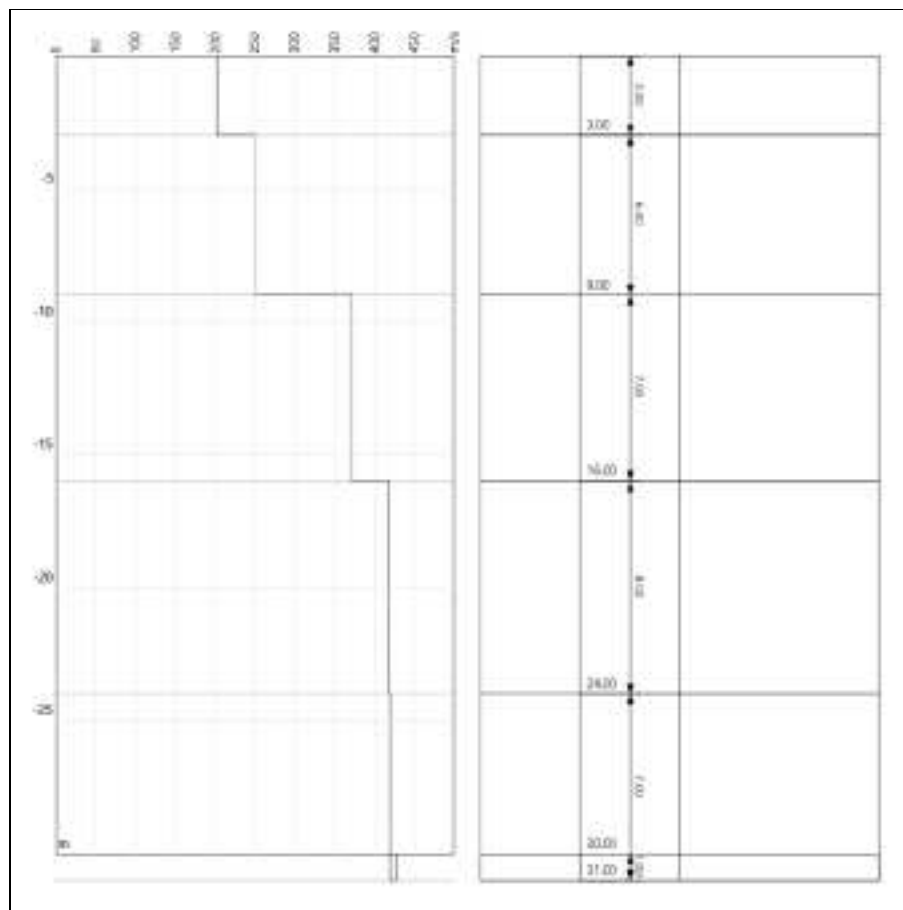
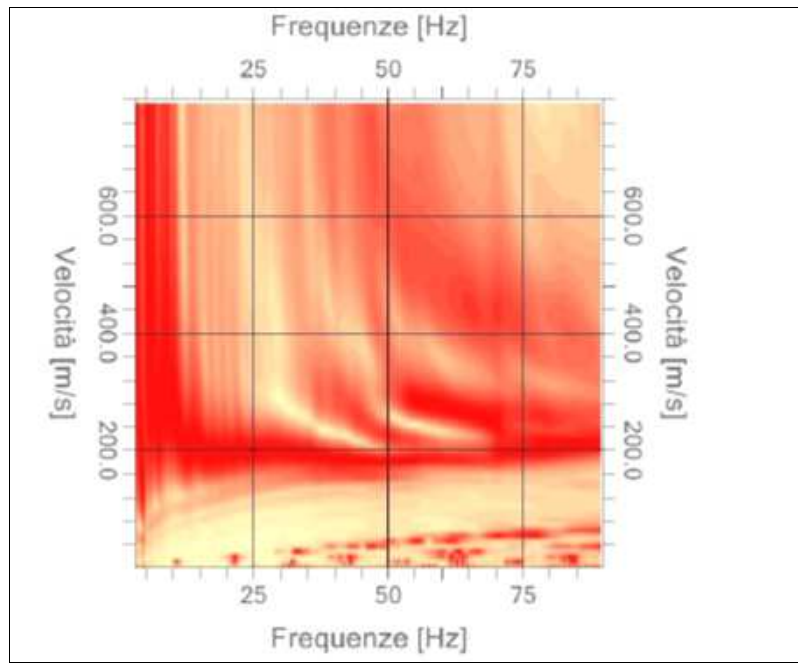
Ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo

MASW L 24 LOCALITÀ MONTEFOSCOLI VIA BELVEDERE (1641566.48 4826359.36)

La Masw ha interessato un'area posta pressochè pianeggiante alla sommità del rilievo ad una quota di circa 144m slm). L'area è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti sabbiosi, addensati, di origine marina riconducibili alla formazione di Villamagna databile al Pliocene Medio. Detta formazione è attribuita al substrato geologico.



L'indagine ha evidenziato un progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Il valore della V_{seq} (piano campagna) è stato calcolato in circa 329 *m/s*. **Categoria di suolo C**

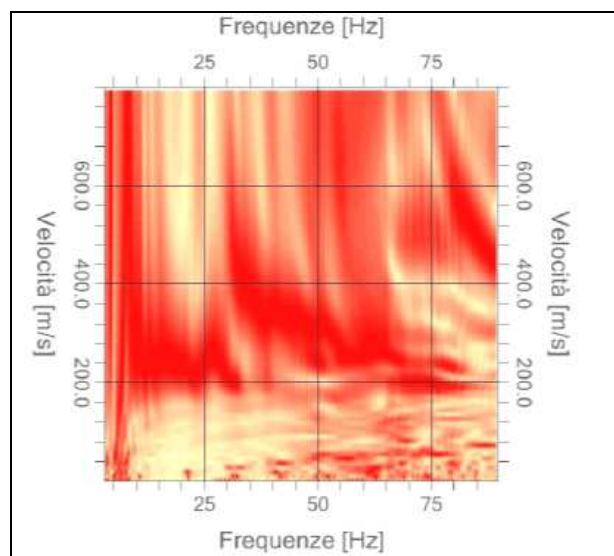


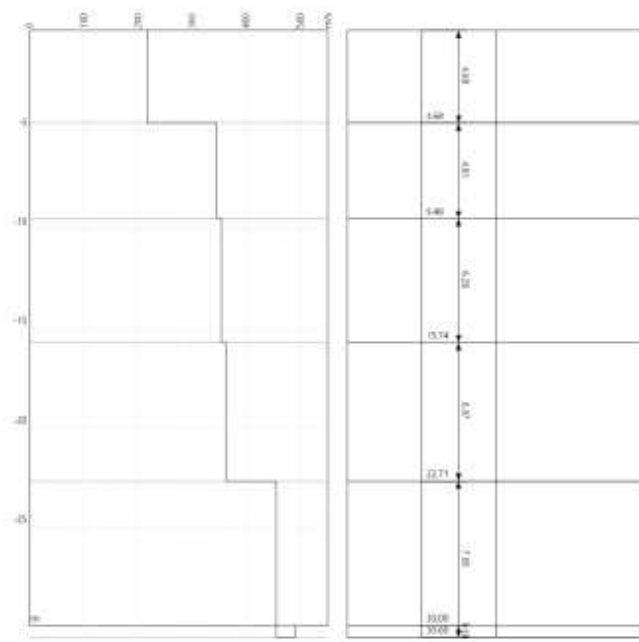
MASW L47 LOCALITÀ MONTEFOSCOLI VIA DEI FOSSI (1641821.8 4826573.68)

La Masw ha interessato un'area posta pressochè alla sommità del rilievo ad una quota di circa 170 m slm). L'area è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti sabbiosi, addensati, di origine marina riconducibili alla formazione di Villamagna databile al Pliocene Medio. Detta formazione è attribuita al substrato geologico.



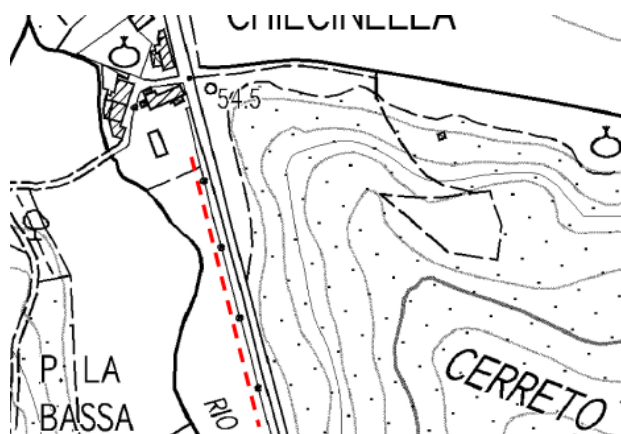
L'indagine ha evidenziato un progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Il valore della V_{seq} (piano campagna) è stato calcolato in circa **339 m/s**. *Categoria di suolo C*



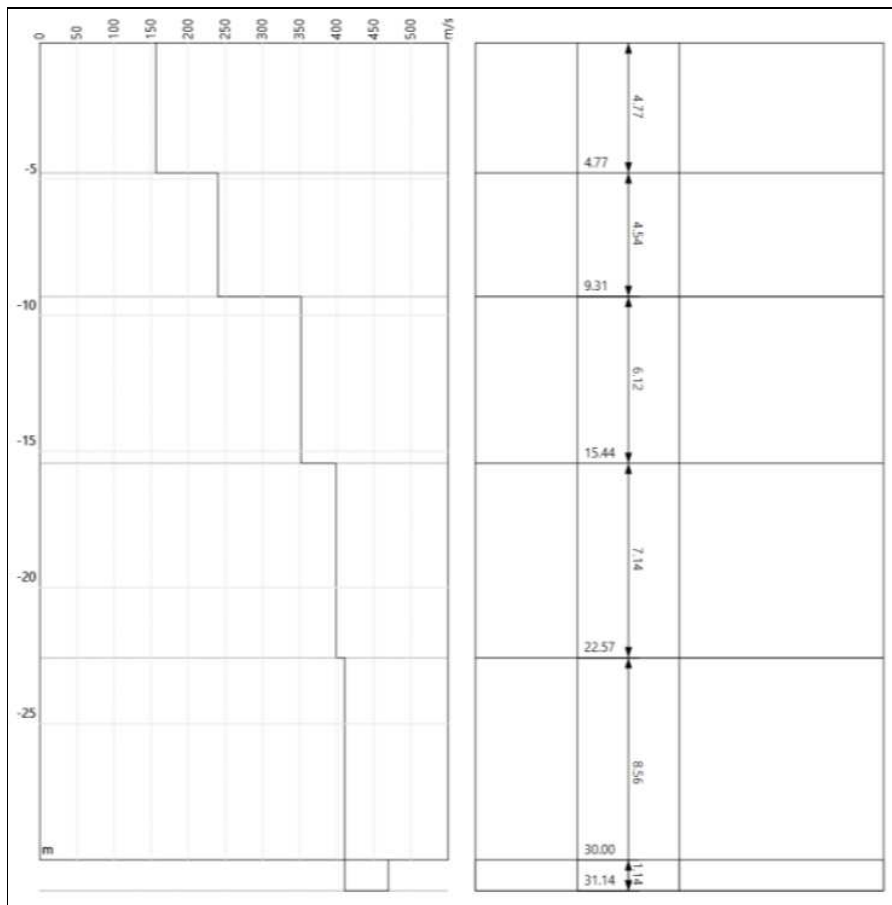
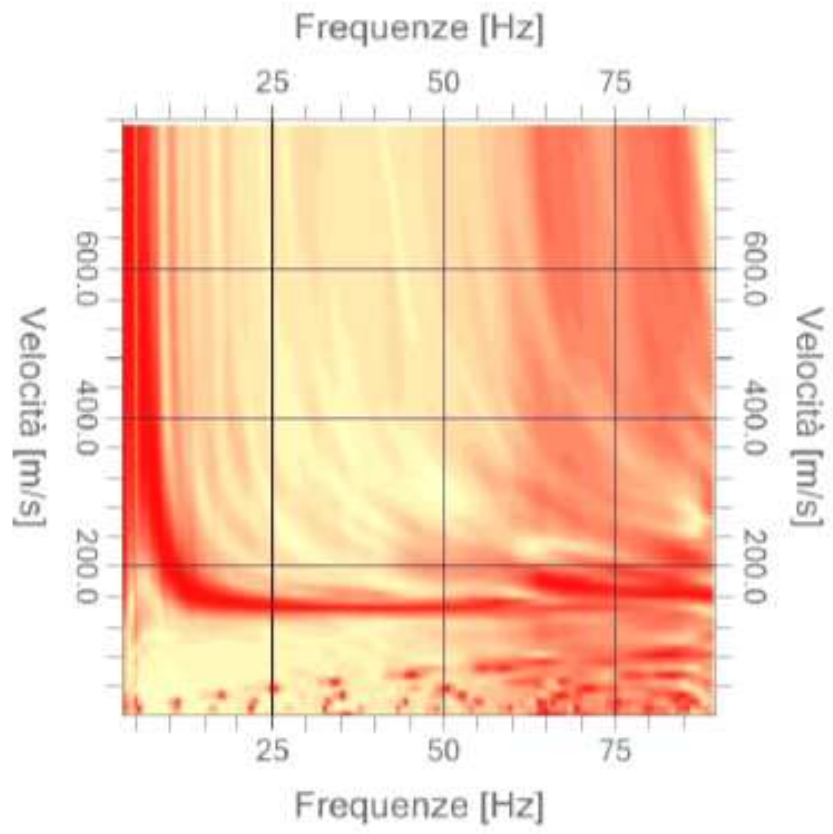


MASW L45 LOCALITÀ CHIECINELLA (10.4953557 43.5496858)

La Masw ha interessato un'area pianeggiante posta al margine della pianura alluvionale del Chiecìnella. Nell'area affiorano sedimenti fluviali lo spessore è stimabile nell'ordine dei 10m. La formazione è riconducibile ai terreni della copertura. Al di sotto si ritrovano sedimenti sabbiosi addensati attribuibili alla formazione di Villamagna databile al Pliocene Medio.



L'indagine ha evidenziato un progressivo aumento della velocità delle V_s con la profondità. Il valore della V_{seq} (piano campagna) è stato calcolato in circa **291 m/s**. *Categoria di suolo C*



2) Indagini sismiche HVSR

Rispetto alla “Nota di adesione” sono state apportate modifiche al numero ed alla distribuzione delle indagini. La modifica è stata dettata principalmente dall’acquisizione sul portale PORTOS di nuove indagini con il conseguente trasferimento delle indagini verso aree più scoperte. Le indagini sono state così distribuite due a Fauglia, 2 a Valtriano, 1 a Torretta, 1 a Vallicelle e tre a Luciana.

Metodo di Acquisizione

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso.

Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico o microtremore) sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm (Okada, 2003). L'origine del rumore dovuto alle perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti, mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche e si propagano come onde superficiali di Rayleigh. L'analisi delle misure di rumore sismico che sembra fornire i risultati migliori è proprio quello dei rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR.

L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismo–strato individuato. Tramite l'elaborazione di modi superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai modi superiori o da artefatti, al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato.

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima sia degli effetti di sito (funzione di amplificazione), sia degli effetti sulle costruzioni ed ottenere una stima della velocità delle onde di taglio V_{seq} per la definizione della categoria sismica dei terreni in ottemperanza alle nuove N.T.C. - D.M. 2018 integrato con la circ. 02/02/09 N° 617 C.S. LL.PP.

Sistema di acquisizione dati

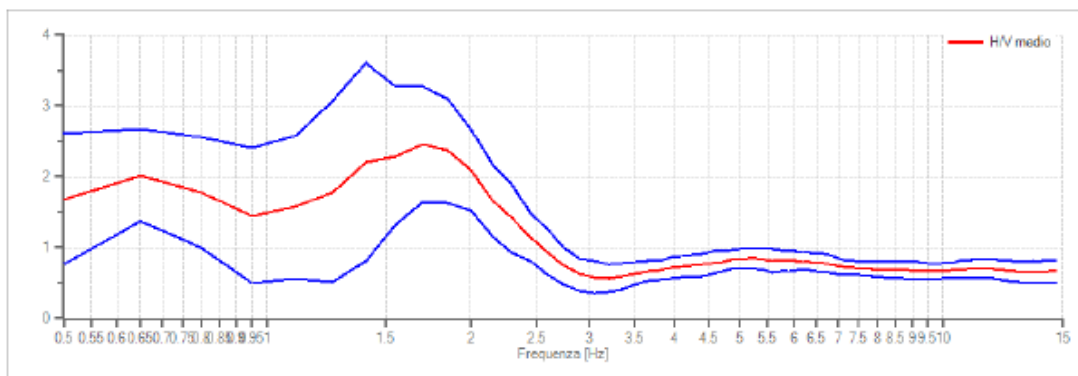
L’indagine è stata eseguita utilizzando un Tromografo digitale ECHO TROMO HVSR 3 SR04 a tre componenti con frequenza dei geofoni di 4,5 Hz. Lo strumento dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali. Il moto del terreno viene amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato.

Elaborazione dati

I dati registrati sono stati scaricati, organizzati, archiviati, visualizzati e analizzati utilizzando il software EasyHVSR. Il programma include procedure per l’analisi spettrale di base e per l’analisi HVSR, le direttive fornite dal progetto di ricerca europeo SESAME.

Risultati

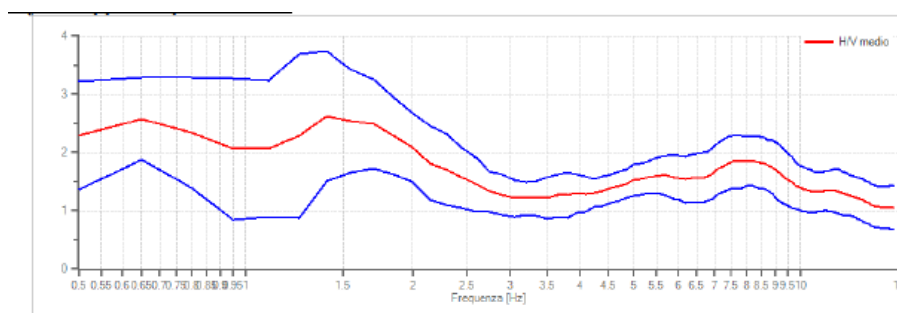
HVSR FORCOLI P87 (43,6009 N - 10,7055 E)



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.7 Hz \pm 0.33 Hz

HVSR P126 BACCANELLA (43,5991 N - 10,7118E)



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Frequenza del picco del rapporto H/V 1.4 Hz \pm 0.43 Hz

HVSR P86 MONTANELLI (43,5936 N - 10,7166 E)

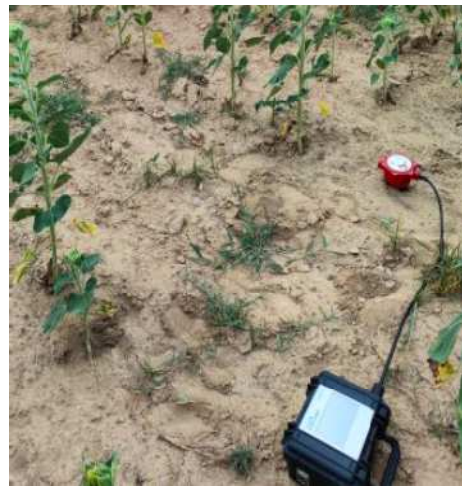
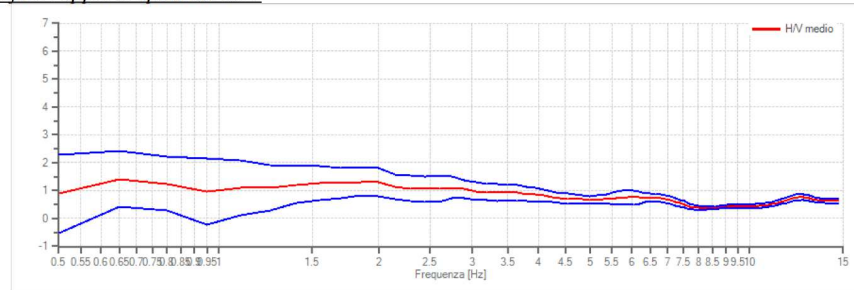


Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0.65 Hz \pm 0.71 Hz

Allegati Report singole indagini

Fauglia 29/07/2022

Dr.geol. Claudio Nencini

Dr. geol. Tommaso Nencini

Dr.ssa Melissa Brogi

STUDIO DI GEOLOGIA **GEOAPP**

Corso Repubblica 142
56043 Fauglia (PI)
Tel. e Fax 050/650797
Web www.geoappgeologia.com



Indagine sismica MASW

(Multichannel Analysis of Surface Waves)

COMMITTENTE: DR.GEOL. NENCINI CLAUDIO

LOCALITÀ: PALAIA (PI), LOC.BACCANELLA

DATA INDAGINE: 5/07/2022

DATA ELABORAZIONE: 26/07/2022

OGGETTO: STUDIO MICROZONAZIONE COMUNALE LIVELLO 2

Acquisizione ed elaborazione:

Dr. Geol. Tommaso Nencini

Timbro e firma:

Dr. Geol. Tommaso Nencini
Via Serragrande 87-Rosignano Solvay
P.IVA 01766710496 cell 3934610353
tommaso.nencini@gmail.com



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

PREMESSA

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati di un'indagine sismica effettuata, mediante il metodo MASW, nel Comune di Palaia (PI), all'interno dell'area pubblica ubicata nella Frazione di Baccanella

L'indagine MASW è stata effettuata per la caratterizzazione della velocità delle onde Sh dei terreni presenti, per determinare il parametro VSEQ, necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto, come richiesto dalle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/2018). L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare una sequenza sismostratigrafica relativamente all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali.

Generalità sul metodo 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.



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

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.



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

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.

Dati generali

Zona	Palaia, Baccanella
Data	26/07/2022
Latitudine	43.59891
Longitudine	10.71173



FIG.1 – UBICAZIONE AREA DI INDAGINE

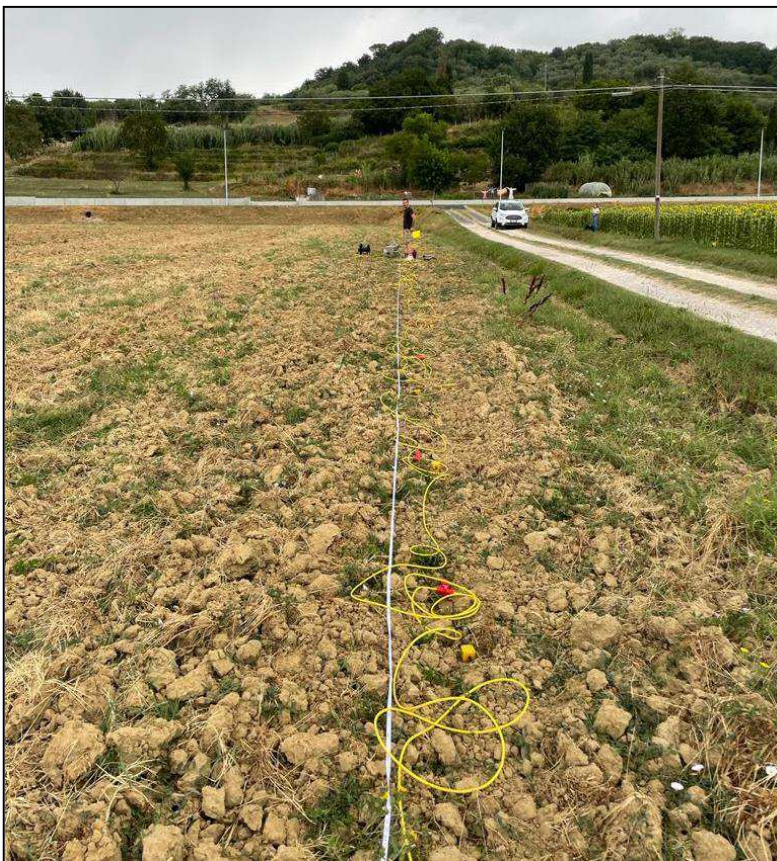
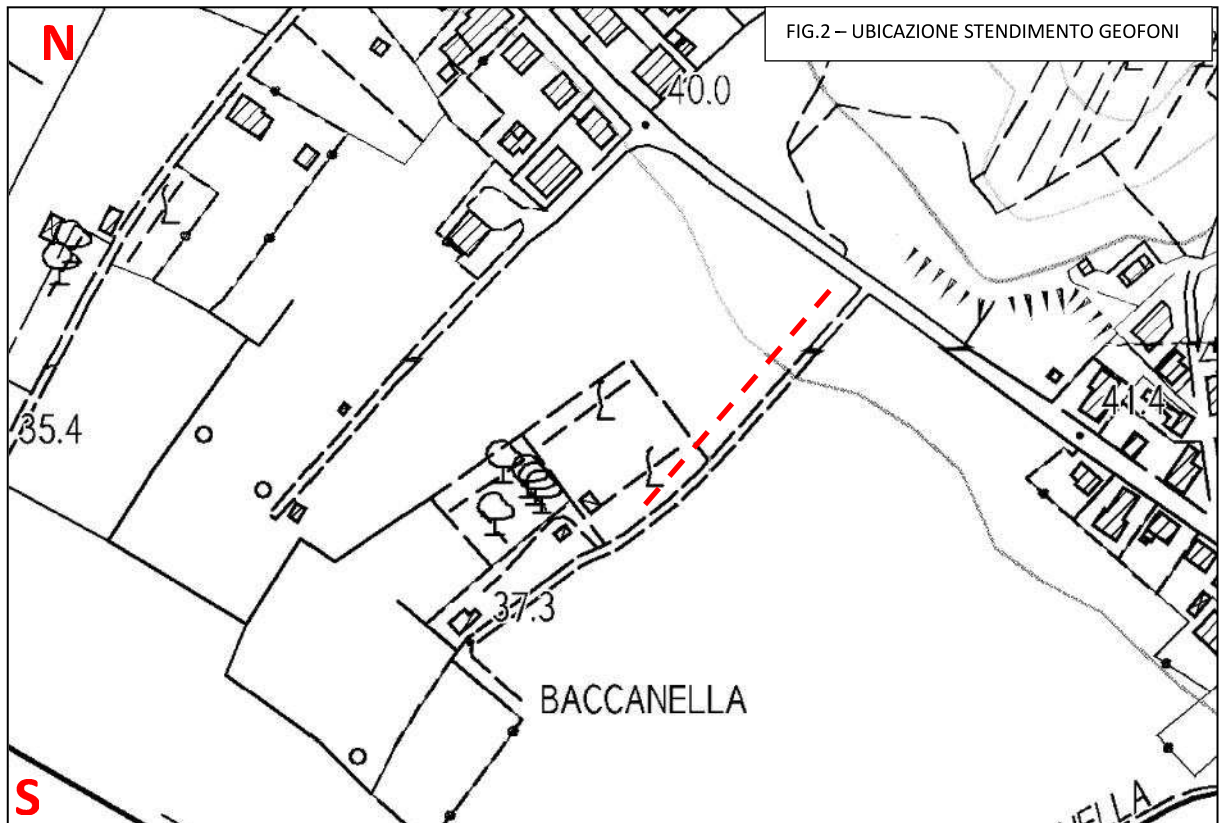


Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it





Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	999
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	0.478

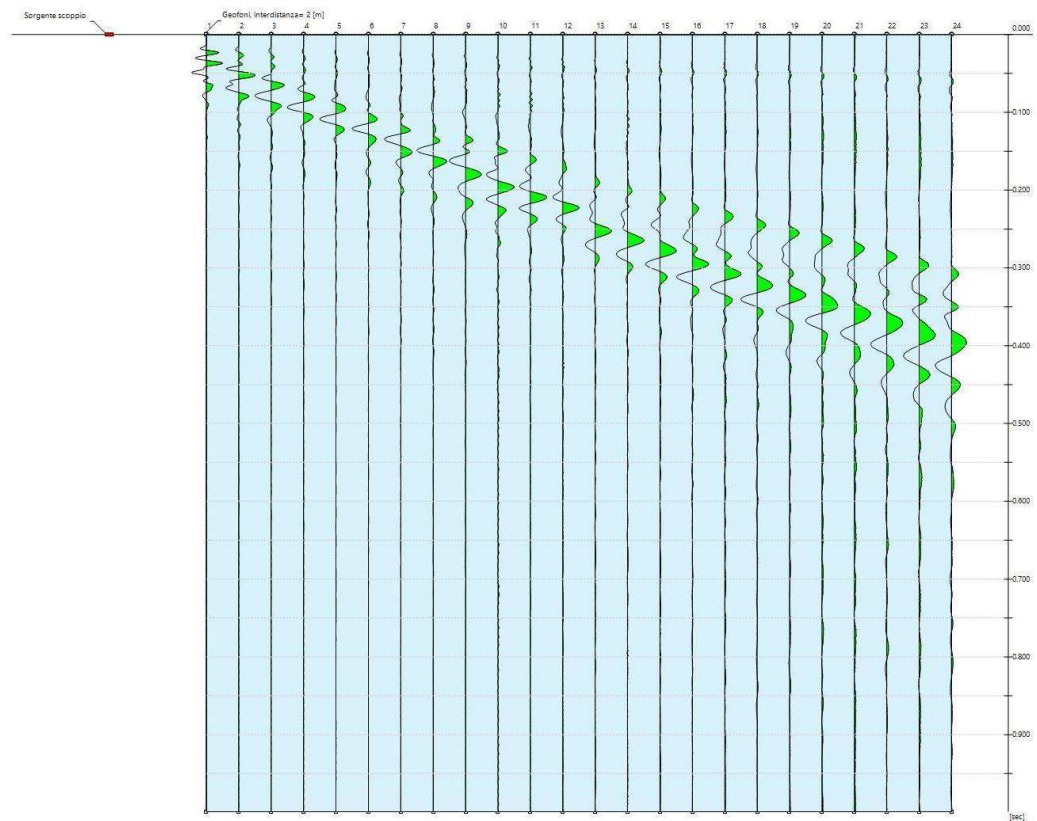


FIG.4 – TRACCE



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	3
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	90
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

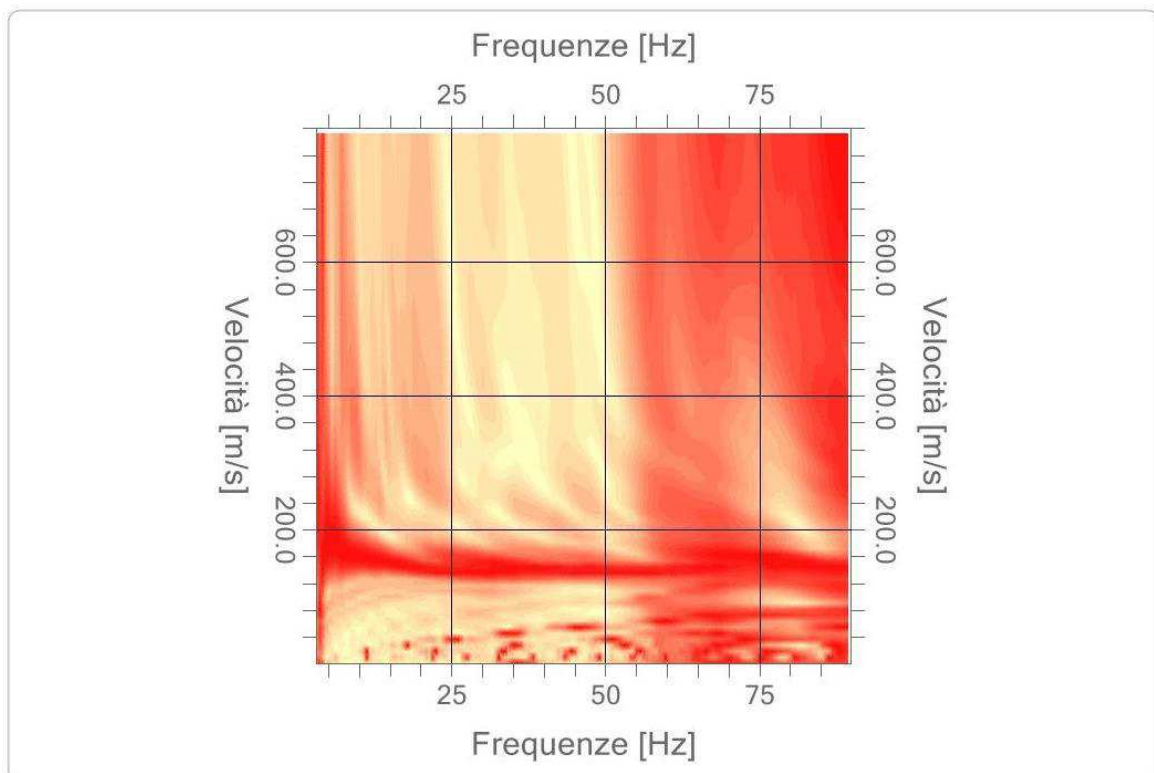


FIG.5 – SPETTRO VELOCITA' DI FASE - FREQUENZE



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

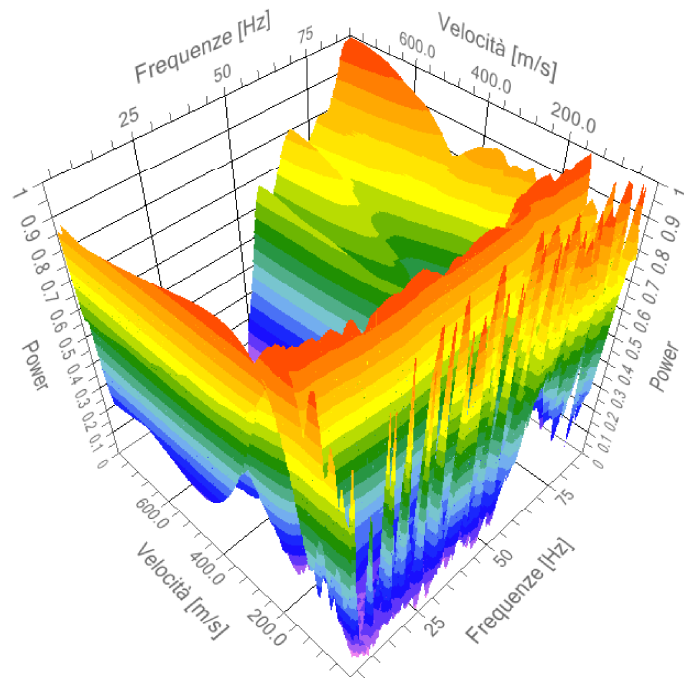


FIG.6 – VISTA 3D SPETTRO VELOCITA' DI FASE -

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]
1	5.9	183.0
2	7.8	173.0
3	9.1	168.1
4	11.4	163.1
5	14.3	154.8
6	15.9	151.5
7	19.3	140.0
8	20.2	136.6



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

9	23.6	140.0
10	26.1	136.6
11	28.5	140.0
12	32.4	141.6
13	35.1	135.0
14	37.3	133.3
15	40.7	133.3
16	43.0	133.3
17	47.1	133.3
18	50.7	133.3
19	55.6	136.6
20	58.1	136.6
21	62.2	135.0
22	63.6	140.0
23	67.2	141.6
24	70.1	143.3
25	72.1	136.6
26	76.7	133.3
27	79.4	140.0
28	83.4	138.3
29	87.1	140.0



Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	4.29	4.29	1800.0	0.20	244.8	149.9
2	9.66	5.37	1800.0	0.20	340.3	208.4
3	15.48	5.82	1800.0	0.20	352.3	215.7
4	22.10	6.62	1800.0	0.20	375.1	229.7
5	31.02	8.91	1800.0	0.20	400.5	245.3
6	∞	∞	1800.0	0.20	431.1	264.0

Percentuale di errore

0.045 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.022

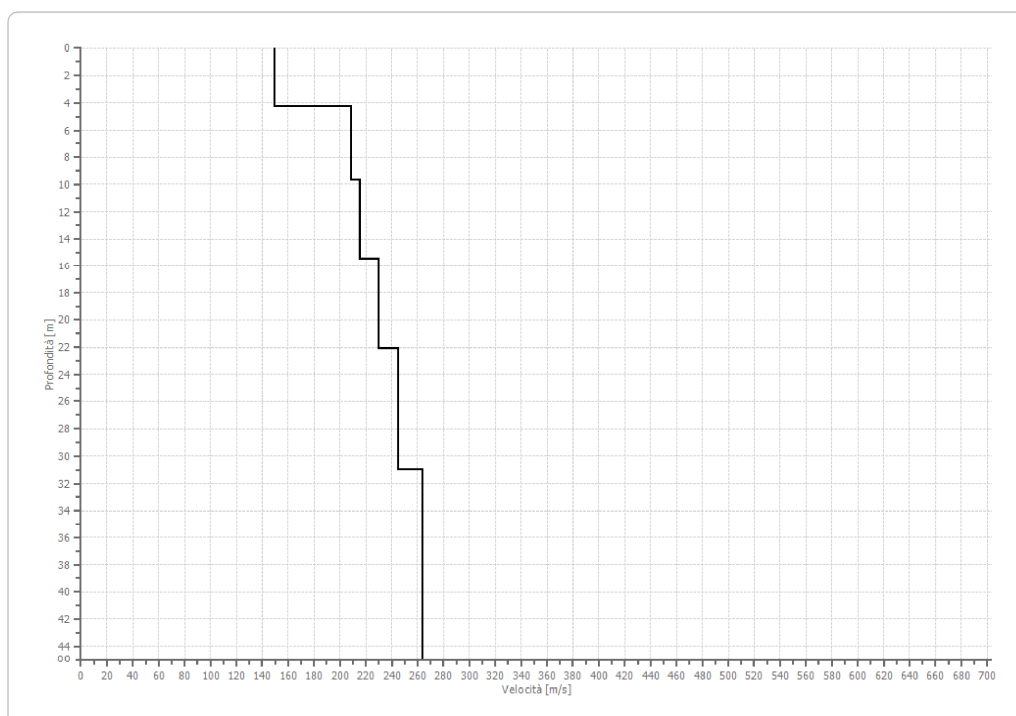


FIG.7 – PROFILO DI VELOCITA'

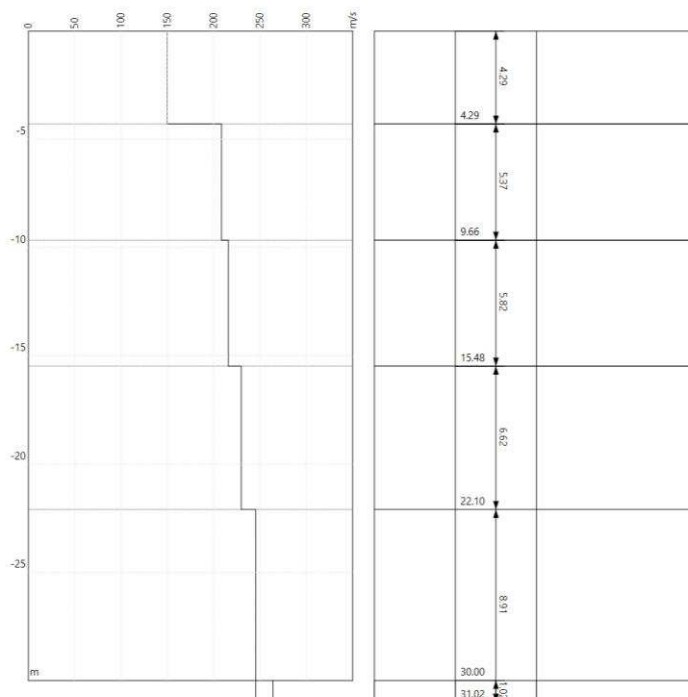


FIG.8 – SISMOSTRATIGRAFIA

Risultati

Profondità piano di posa | 0 m
[m]

Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m) | 210.66

Categoria del suolo | C

Suolo di tipo B: 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.

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	4.29	4.29	149.88	244.76	1800.00	0.20	40.44	107.83	53.92	97.05
2	9.66	5.37	208.39	340.30	1800.00	0.20	78.17	208.45	104.22	187.60
3	15.48	5.82	215.73	352.29	1800.00	0.20	83.77	223.40	111.70	201.06
4	22.10	6.62	229.67	375.06	1800.00	0.20	94.95	253.20	126.60	227.88
5	31.02	8.91	245.25	400.50	1800.00	0.20	108.27	288.72	144.36	259.85
6	∞	∞	263.98	431.07	1800.00	0.20	125.43	334.48	167.24	301.03



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Ai fini della classificazione nelle categorie di suolo di fondazione è stata effettuata una valutazione del parametro VsEQ utilizzando una media ponderata dei valori delle velocità delle onde di taglio, rispetto agli spessori degli orizzonti indagati. Il valore medio calcolato (210.66 m/sec) conduce ad inserire il sottosuolo indagato nel campo **C**.

FAUGLIA 26.07.2022

Dott. Geol. Tommaso Nencini

Ordine dei Geologi della Toscana n° 1744

Dr. Geol. Tommaso Nencini
Via Serragrande 87-Rosignano Solvay
P.IVA 01766780496 cell 3934610353
tommaso.nencini@gmail.com

STUDIO DI GEOLOGIA **GEOAPP**

Corso Repubblica 142
56043 Fauglia (PI)
Tel. e Fax 050/650797
Web www.geoappgeologia.com



Indagine sismica MASW

(Multichannel Analysis of Surface Waves)

COMMITTENTE: DR.GEOL. NENCINI CLAUDIO

LOCALITÀ: PALAIA (PI), MONTANELLI, VIA A.VOLTA

DATA INDAGINE: 5/07/2022

DATA ELABORAZIONE: 26/07/2022

OGGETTO: STUDIO MICROZONAZIONE COMUNALE LIVELLO 2

Acquisizione ed elaborazione:

Dr. Geol. Tommaso Nencini

Timbro e firma:

Dr. Geol. Tommaso Nencini
Via Serragrande 87-Rosignano Solvay
P.IVA 01766710496 cell 3934610353
tommaso.nencini@gmail.com



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

PREMESSA

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati di un'indagine sismica effettuata, mediante il metodo MASW, nel Comune di Palaia (PI), all'interno dell'area pubblica ubicata nella Frazione di Montanelli in Via A.Volta.

L'indagine MASW è stata effettuata per la caratterizzazione della velocità delle onde Sh dei terreni presenti, per determinare il parametro VSEQ, necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto, come richiesto dalle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/2018). L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare una sequenza sismostratigrafica relativamente all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali.

Generalità sul metodo 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 rigidezza.



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

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.



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

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.

Dati generali

Zona	Palaia, Baccanella
Data	26/07/2022
Latitudine	43.5936
Longitudine	10.7173

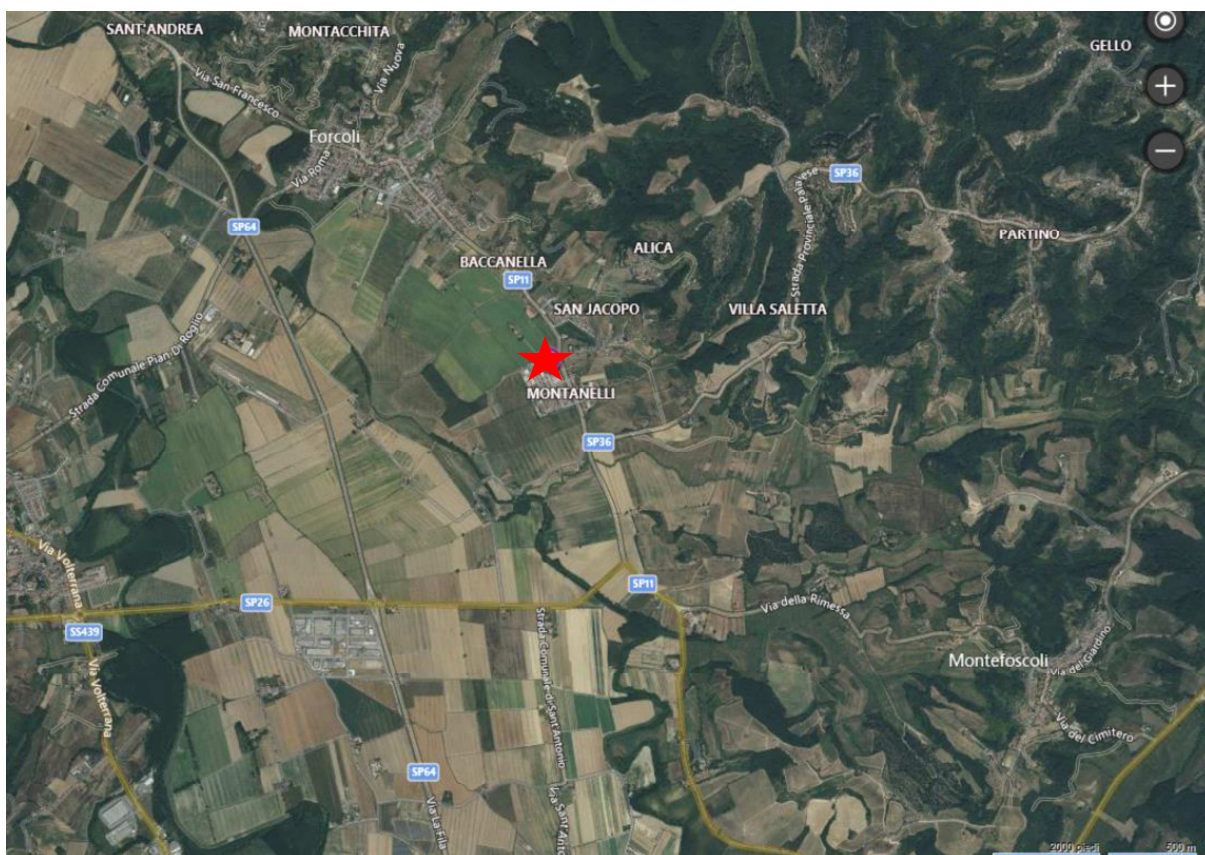
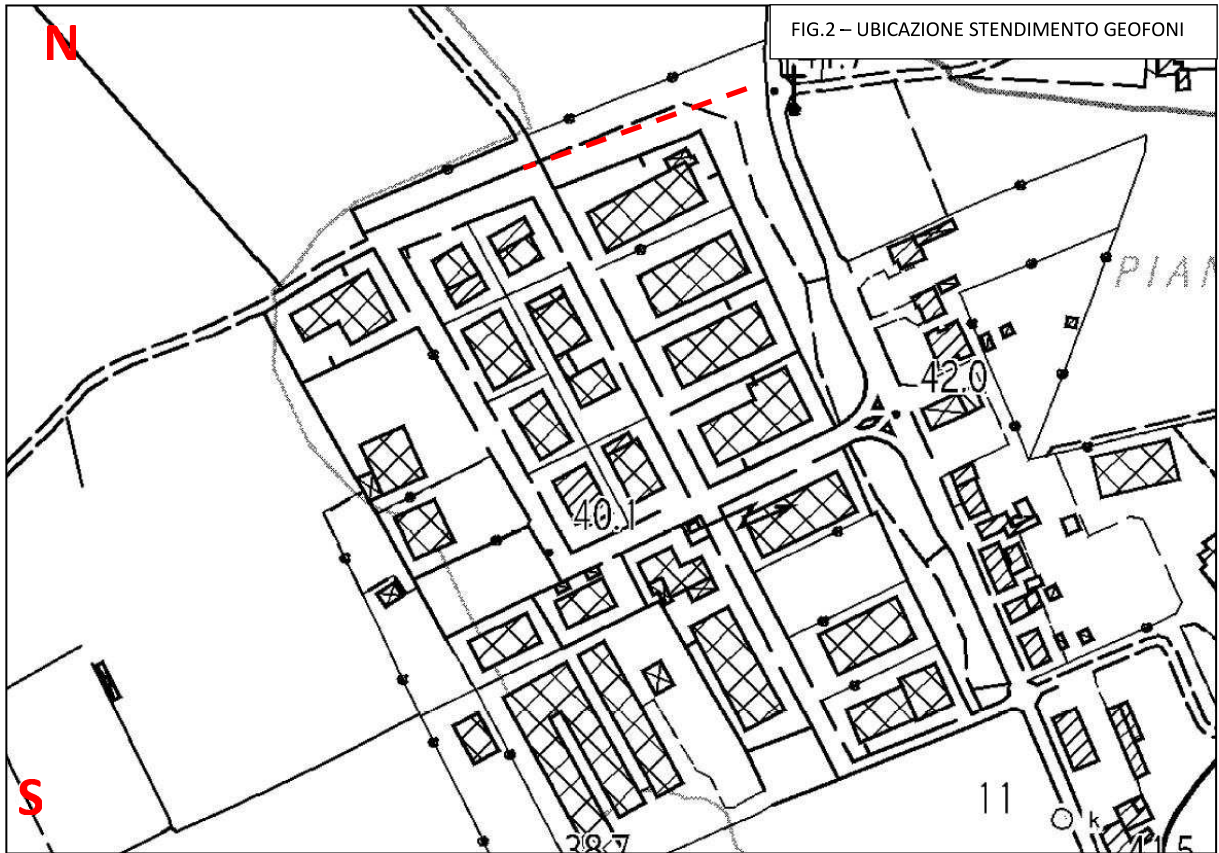


FIG.1 – UBICAZIONE AREA DI INDAGINE





Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	999
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	0.478

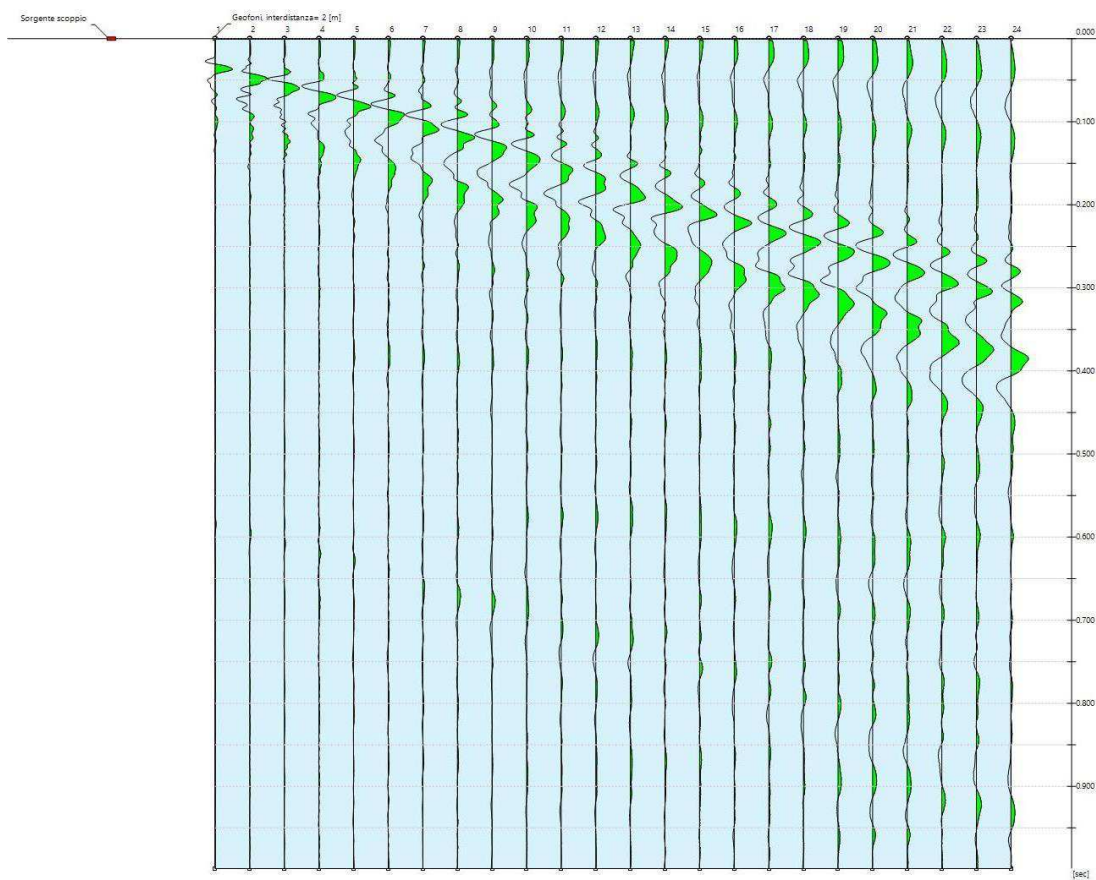


FIG.4 – TRACCE



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	3
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	90
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

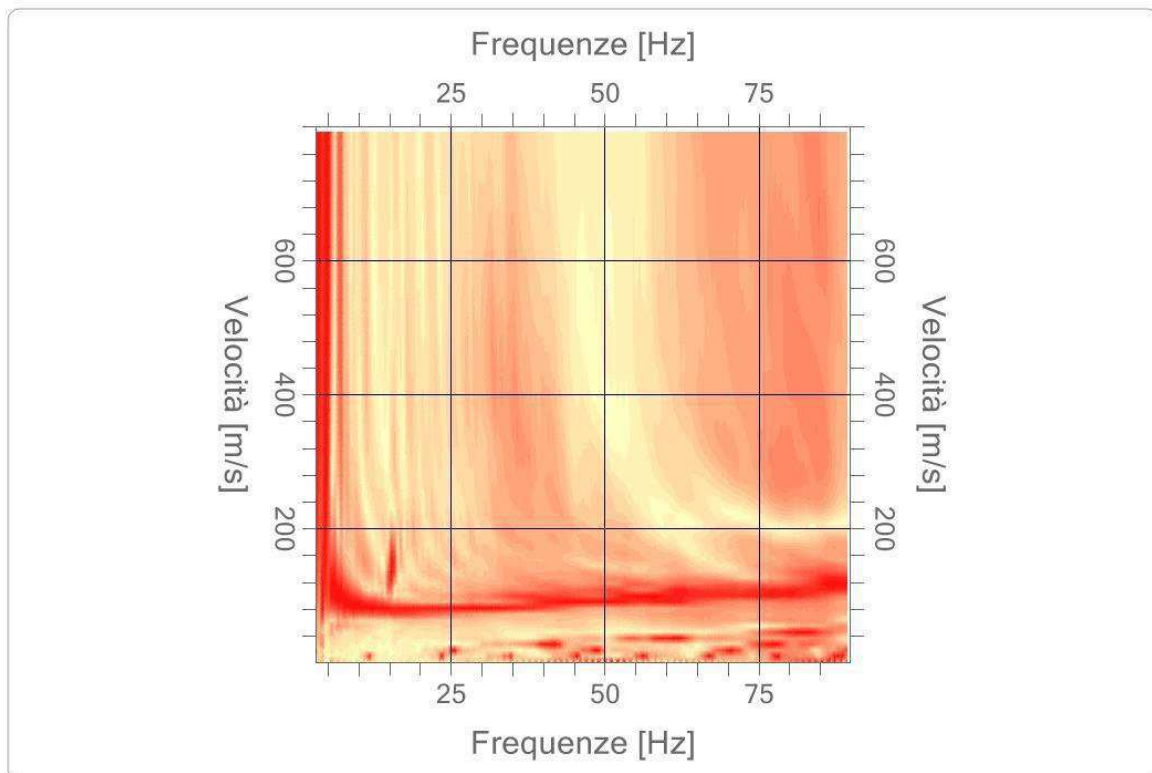


FIG.5 – SPETTRO VELOCITA' DI FASE - FREQUENZE



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

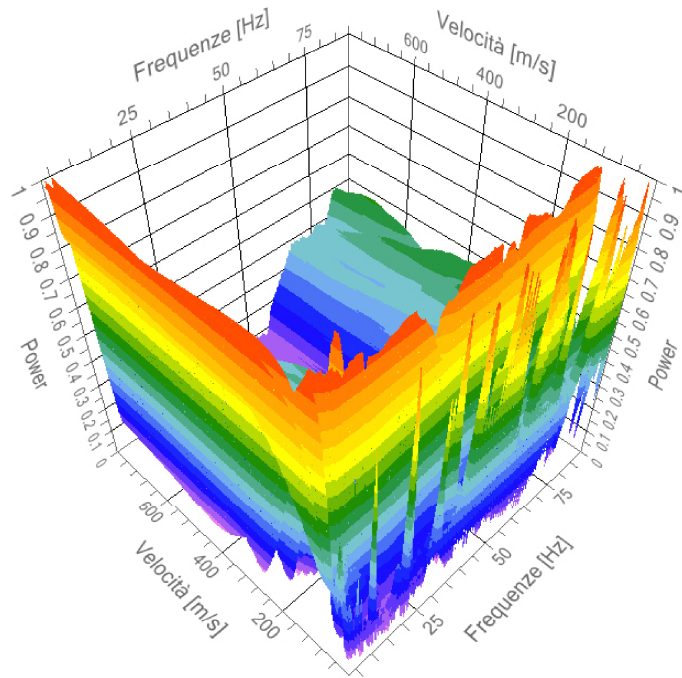


FIG.6 – VISTA 3D SPETTRO VELOCITA' DI FASE -

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]
1	3.4	174.7
2	3.7	260.7
3	3.9	235.9
4	4.3	158.2
5	4.4	201.2
6	4.6	179.7
7	4.8	166.4
8	4.8	149.9



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

9	5.3	135.0
10	5.5	153.2
11	6.2	116.8
12	7.3	103.6
13	8.0	96.9
14	10.4	87.0
15	11.3	83.7
16	14.3	82.1
17	16.5	77.1
18	19.9	75.4
19	23.3	73.8
20	26.7	77.1
21	30.4	72.1
22	33.7	82.1
23	38.3	82.1
24	40.7	85.4
25	44.6	83.7
26	51.1	90.3
27	54.5	93.6
28	57.4	96.9
29	59.5	96.9



Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	5.00	5.00	1800.0	0.20	152.0	93.1
2	9.00	4.00	1800.0	0.20	312.5	191.4
3	14.00	5.00	1800.0	0.20	360.9	221.0
4	20.00	6.00	1800.0	0.20	384.8	235.6
5	29.00	9.00	1800.0	0.20	425.0	260.3
6	∞	∞	1800.0	0.20	533.8	326.9

Percentuale di errore

0.037 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.024

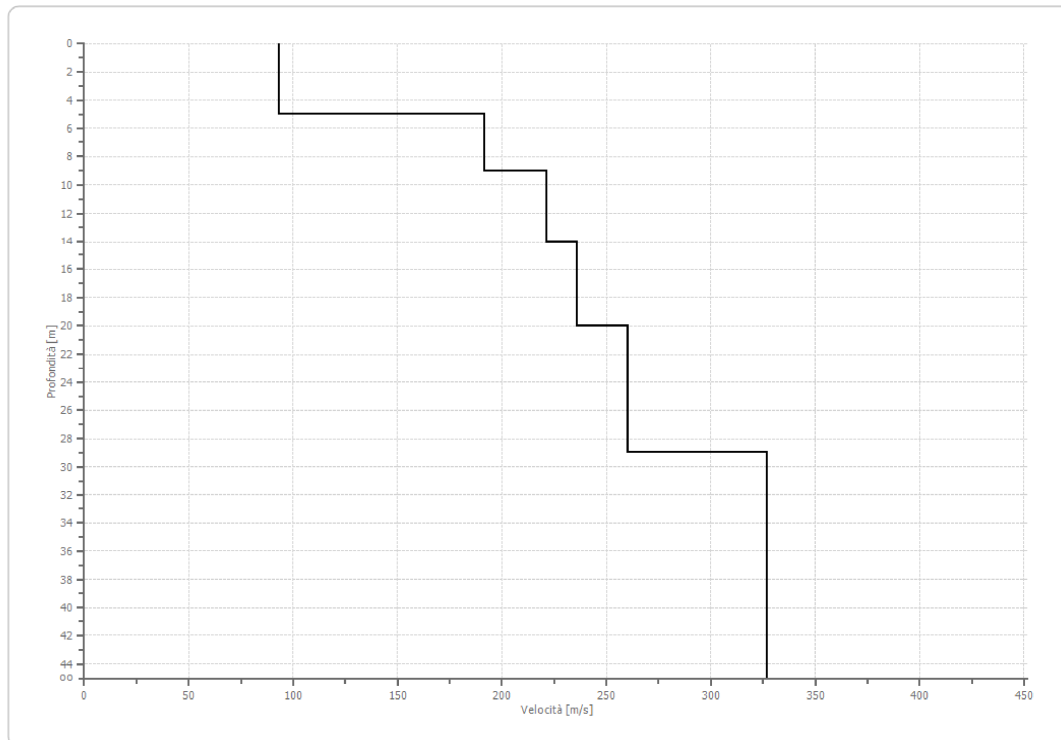


FIG.7 – PROFILO DI VELOCITA'



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

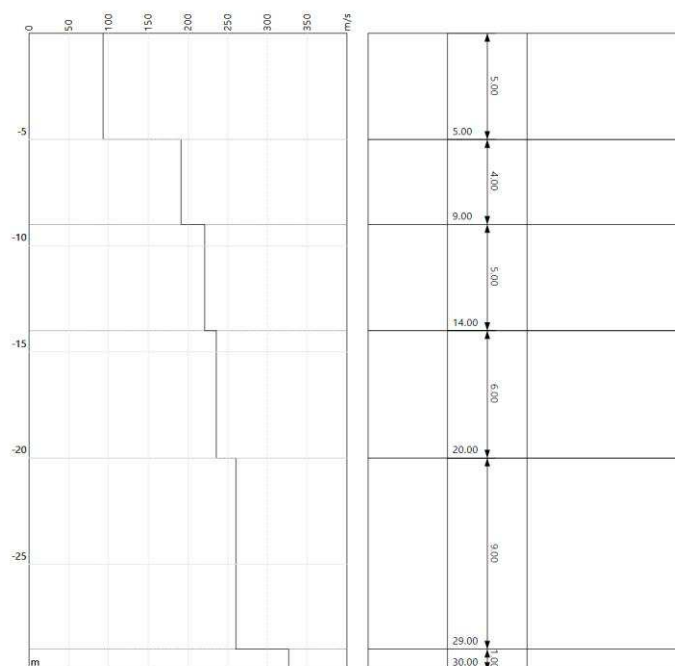


FIG.8 – SISMOSTRATIGRAFIA

Risultati

Profondità piano di posa [m]	0 m
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	187.09
Categoria del suolo	C

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

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	5.00	5.00	93.07	151.98	1800.00	0.20	15.59	41.58	20.79	37.42
2	9.00	4.00	191.38	312.53	1800.00	0.20	65.93	175.81	87.91	158.23
3	14.00	5.00	221.03	360.94	1800.00	0.20	87.94	234.49	117.25	211.05
4	20.00	6.00	235.62	384.77	1800.00	0.20	99.93	266.48	133.24	239.83
5	29.00	9.00	260.25	424.99	1800.00	0.20	121.92	325.11	162.55	292.60
6	oo	oo	326.86	533.76	1800.00	0.20	192.31	512.82	256.41	461.54



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Ai fini della classificazione nelle categorie di suolo di fondazione è stata effettuata una valutazione del parametro VsEQ utilizzando una media ponderata dei valori delle velocità delle onde di taglio, rispetto agli spessori degli orizzonti indagati. Il valore medio calcolato (187.09 m/sec) conduce ad inserire il sottosuolo indagato nel campo **C**.

FAUGLIA 26.07.2022

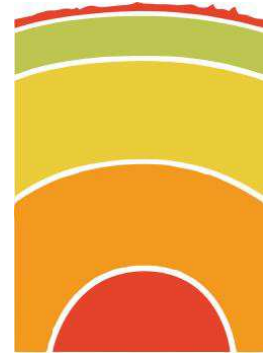
Dott. Geol. Tommaso Nencini

Ordine dei Geologi della Toscana n° 1744

Dr. Geol. Tommaso Nencini
Via Serragrande 87-Rosignano Solvay
P.IVA 01766780496 cell 3934610353
tommaso.nencini@gmail.com

STUDIO DI GEOLOGIA **GEOAPP**

Corso Repubblica 142
56043 Fauglia (PI)
Tel. e Fax 050/650797
Web www.geoappgeologia.com



INDAGINE SISMICA MASW

(MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

COMMITTENTE: DR.GEOL. NENCINI CLAUDIO

LOCALITÀ: PALAIA (PI), MONTEFOSCOLI, VIA BELVEDERE

DATA INDAGINE: 05/07/2022

DATA ELABORAZIONE: 27/07/2022

OGGETTO: STUDIO MICROZONAZIONE COMUNALE LIVELLO 2

Acquisizione ed elaborazione:

Dr. Geol. Tommaso Nencini

Timbro e firma:

Dr. Geol. Tommaso Nencini
Via Serragrande 87-Rosignano Solvay
P.IVA 01766710496 cell 3934610353
tommaso.nencini@gmail.com



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

PREMESSA

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati di un'indagine sismica effettuata, mediante il metodo MASW, nel Comune di Palaia (PI), all'interno dell'area pubblica ubicata nella Frazione di Montefoscoli in Via Belvedere. L'indagine MASW è stata effettuata per la caratterizzazione della velocità delle onde Sh dei terreni presenti, per determinare il parametro VSEQ, necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto, come richiesto dalle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/2018). L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare una sequenza sismostratigrafica relativamente all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali.

Generalità sul metodo 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.



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

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.



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

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.

Dati generali

Zona	Montefoscoli, Via Belvedere.
Data	05/07/2022
Latitudine	43.5768
Longitudine	10.7529

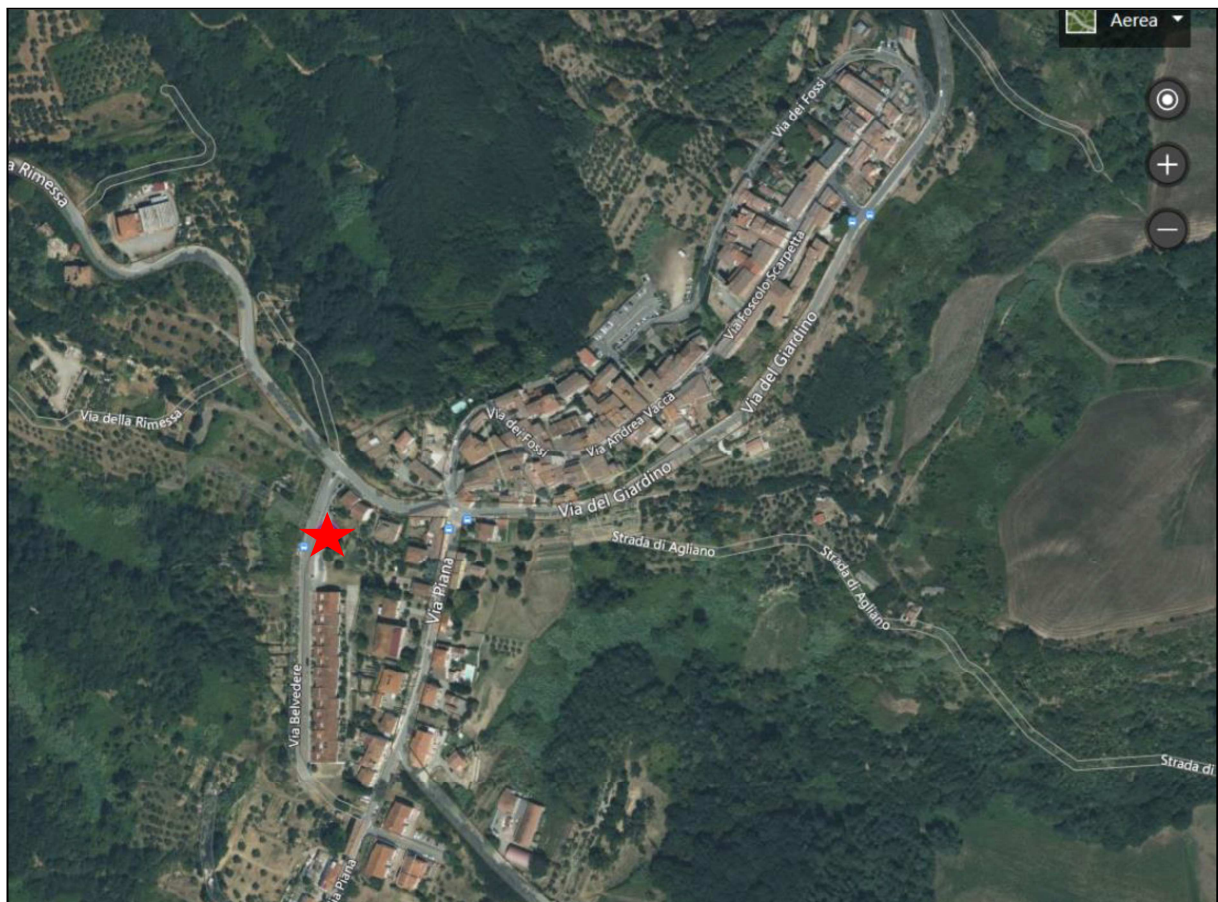


FIG.1 – UBICAZIONE AREA DI INDAGINE



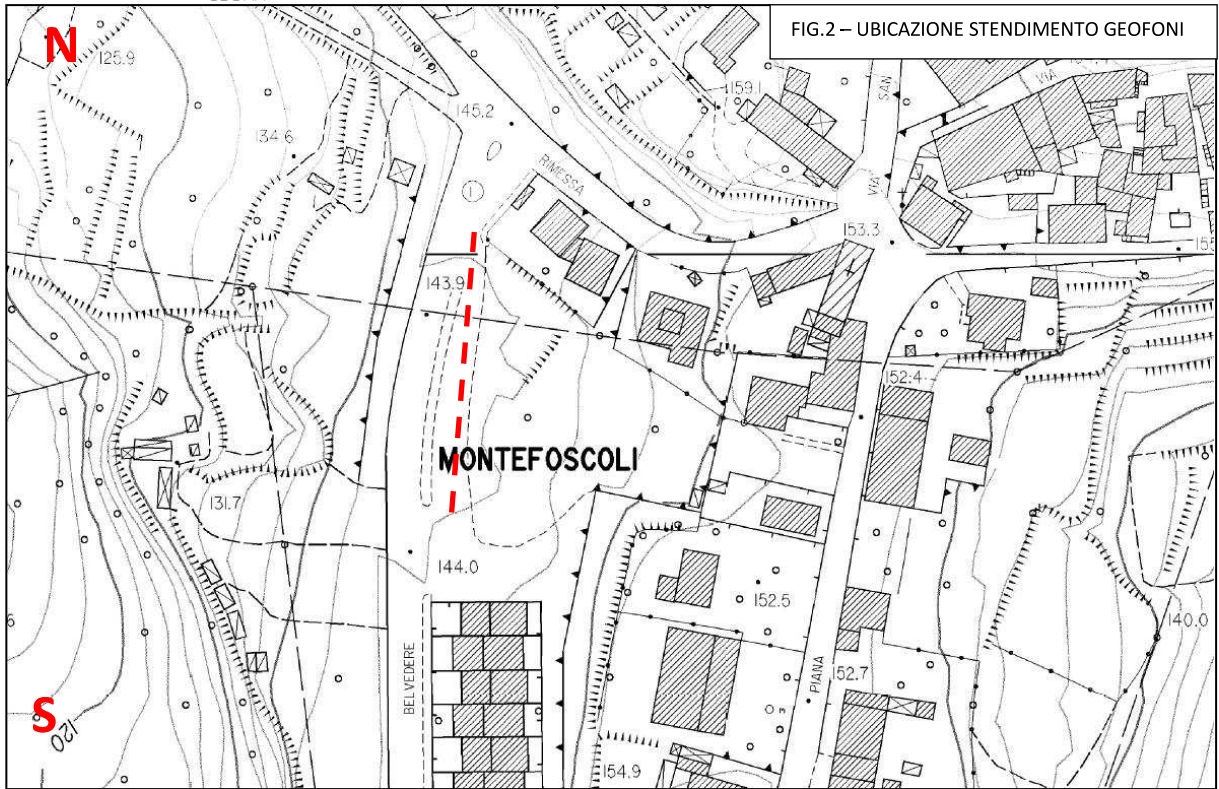
Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

GEOAPP





Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	999
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	0.478

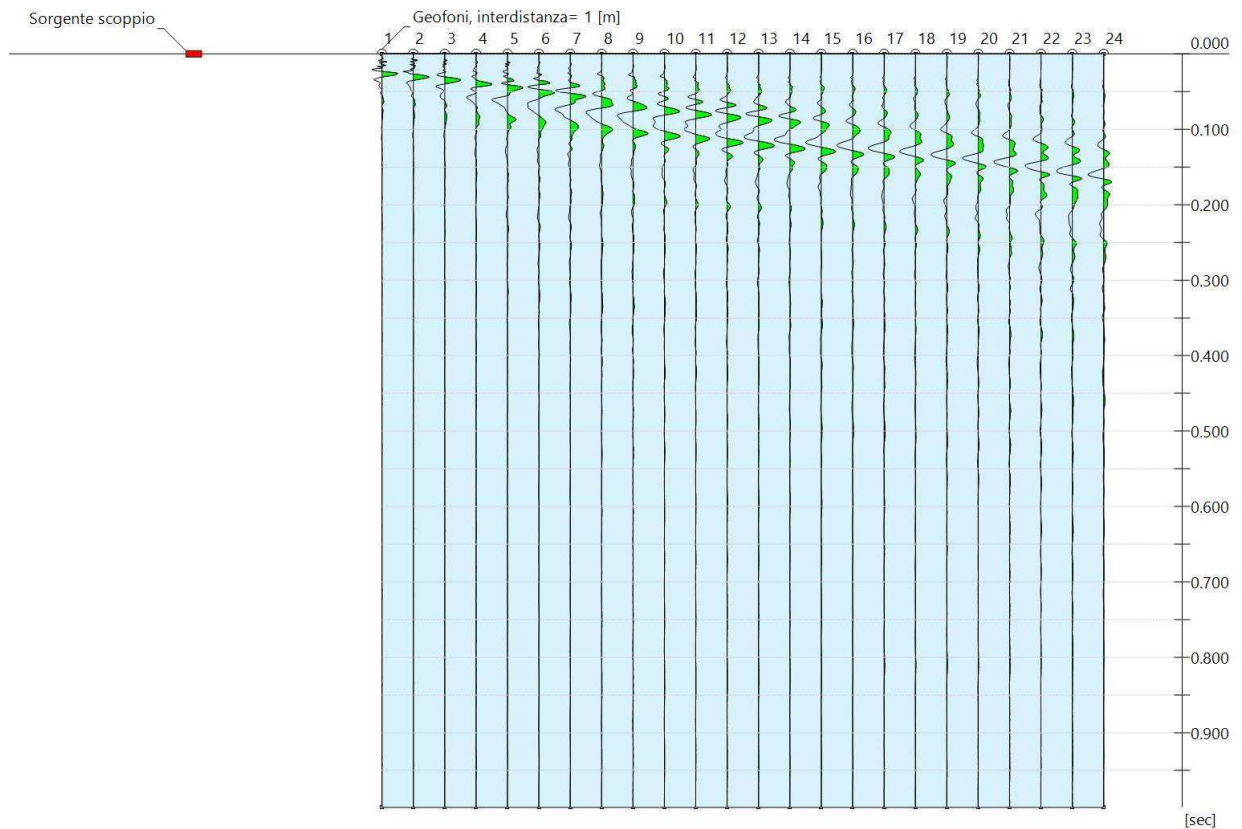


FIG.4 – TRACCE



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	3
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	90
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

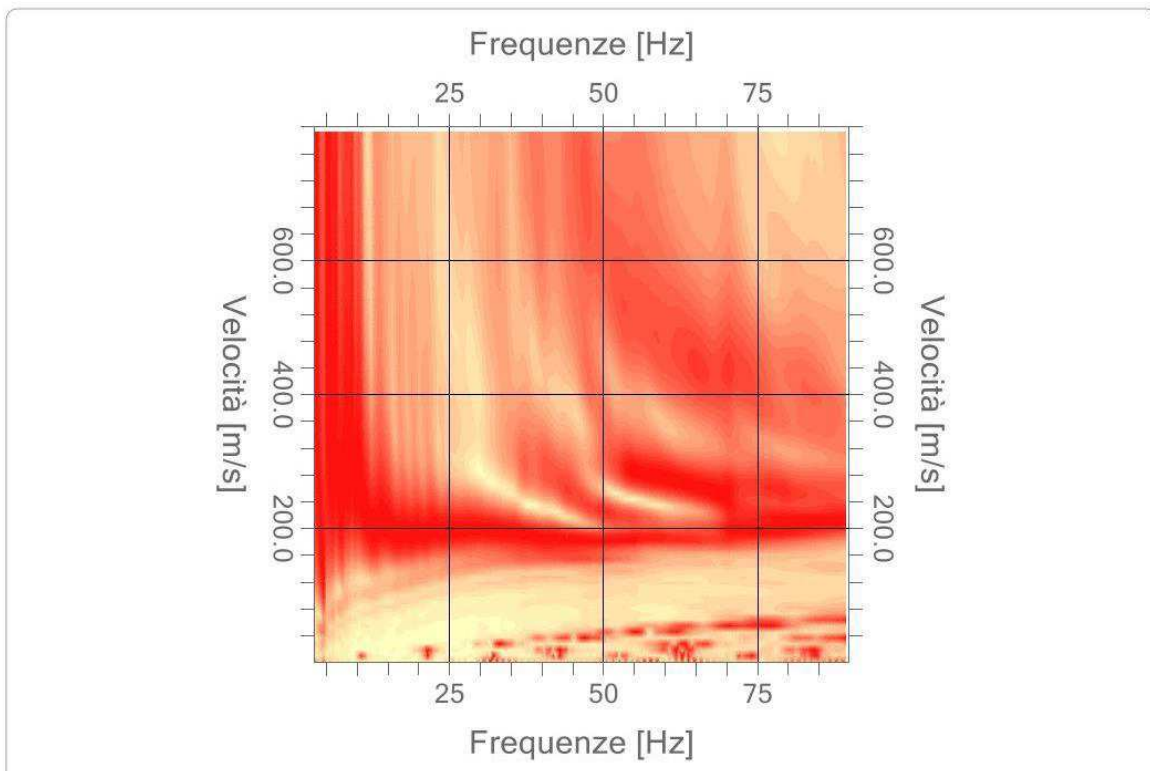


FIG.5 – SPETTRO VELOCITA' DI FASE - FREQUENZE



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

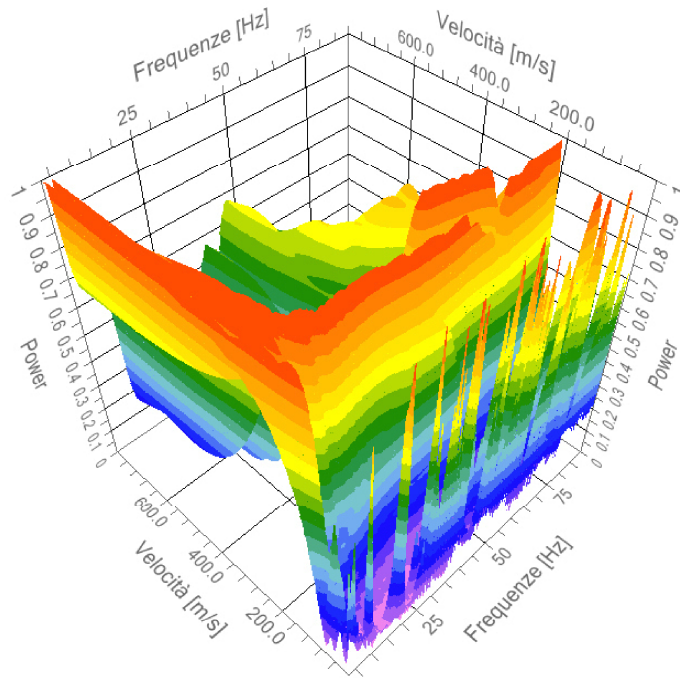


FIG.6 – VISTA 3D SPETTRO VELOCITA' DI FASE -

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]
1	9.8	264.0
2	10.7	252.4
3	11.4	239.2
4	13.4	226.0
5	16.5	209.4
6	19.5	206.1
7	23.3	206.1
8	26.1	204.5



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

9	28.7	204.5
10	32.8	196.2
11	36.9	189.6
12	41.2	187.9
13	44.4	184.6
14	48.4	186.3
15	53.6	179.7
16	56.8	181.3
17	60.2	179.7
18	64.0	183.0
19	66.1	178.0
20	69.6	179.7
21	71.9	184.6
22	75.5	183.0
23	76.9	187.9
24	81.8	189.6
25	85.9	191.2



Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	3.00	3.00	1800.0	0.20	328.7	201.3
2	9.00	6.00	1800.0	0.20	407.6	249.6
3	16.00	7.00	1800.0	0.20	607.3	371.9
4	24.00	8.00	1800.0	0.20	684.0	418.9
5	31.00	7.00	1800.0	0.20	685.7	419.9
6	∞	∞	1800.0	0.20	698.0	427.5

Percentuale di errore

0.046 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.022

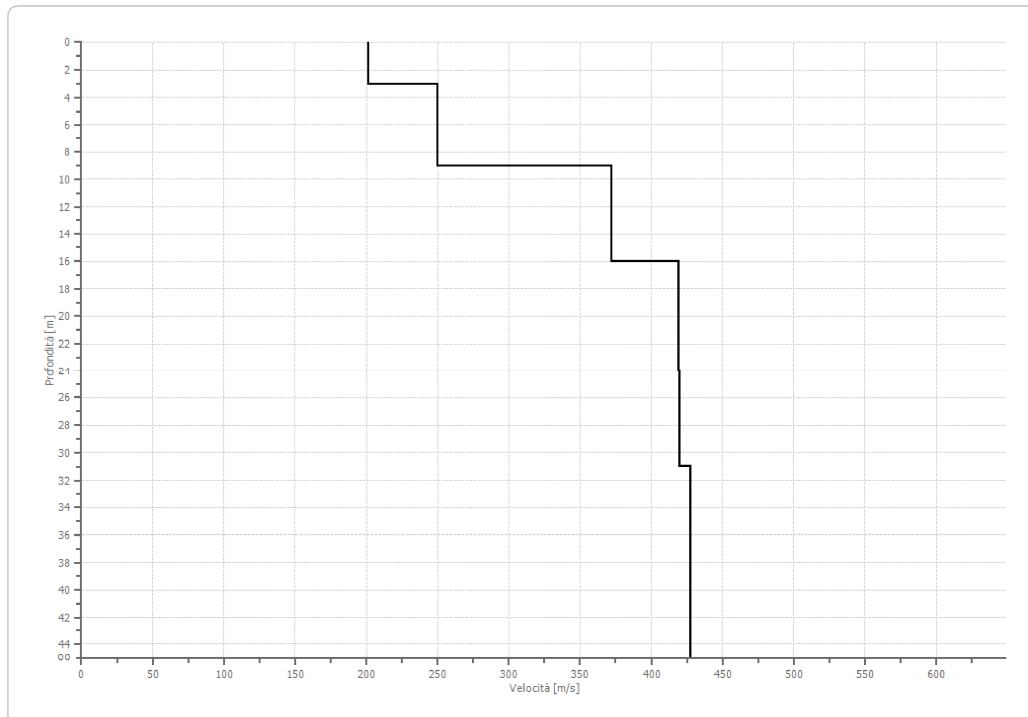


FIG.7 – PROFILO DI VELOCITA'

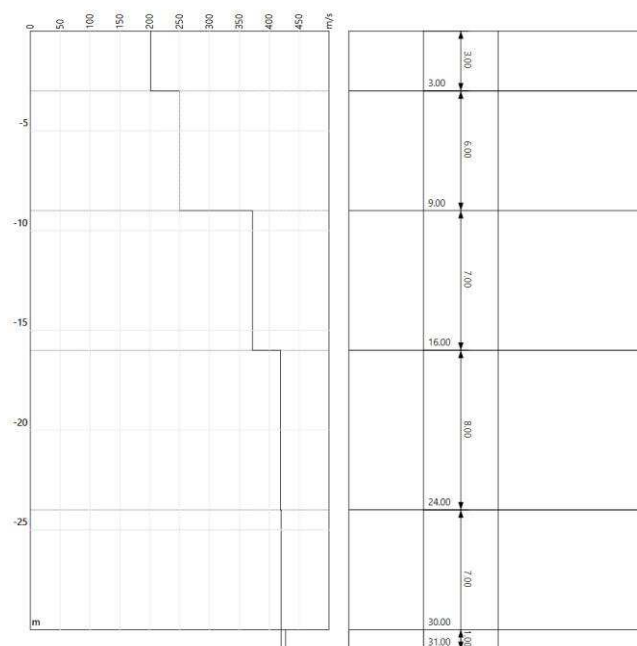


Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it



Risultati

FIG.8 – SISMOSTRATIGRAFIA

Profondità piano di posa	0 m
[m]	
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	329.13
Categoria del suolo	C

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

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	3.00	3.00	201.28	328.70	1800.00	0.20	72.93	194.47	97.24	175.03
2	9.00	6.00	249.62	407.64	1800.00	0.20	112.16	299.10	149.55	269.19
3	16.00	7.00	371.90	607.31	1800.00	0.20	248.96	663.89	331.94	597.50
4	24.00	8.00	418.88	684.03	1800.00	0.20	315.83	842.22	421.11	758.00
5	31.00	7.00	419.90	685.70	1800.00	0.20	317.37	846.32	423.16	761.69
6	∞	∞	427.45	698.03	1800.00	0.20	328.89	877.04	438.52	789.33



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Ai fini della classificazione nelle categorie di suolo di fondazione è stata effettuata una valutazione del parametro VsEQ utilizzando una media ponderata dei valori delle velocità delle onde di taglio, rispetto agli spessori degli orizzonti indagati. Il valore medio calcolato (329.13 m/sec) conduce ad inserire il sottosuolo indagato nel campo **C**.

FAUGLIA 27.07.2022

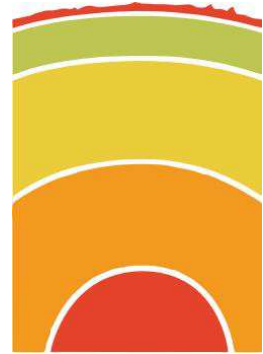
Dott. Geol. Tommaso Nencini

Ordine dei Geologi della Toscana n° 1744

Dr. Geol. Tommaso Nencini
Via Serragrande 87-Rosignano Solvay
P.IVA 01766780496 cell 3934610353
tommaso.nencini@gmail.com

STUDIO DI GEOLOGIA **GEOAPP**

Corso Repubblica 142
56043 Fauglia (PI)
Tel. e Fax 050/650797
Web www.geoappgeologia.com



INDAGINE SISMICA MASW

(MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

COMMITTENTE: DR.GEOL. NENCINI CLAUDIO

LOCALITÀ: PALAIA (PI), MONTEFOSCOLI, VIA DEI FOSSI

DATA INDAGINE: 05/07/2022

DATA ELABORAZIONE: 27/07/2022

OGGETTO: STUDIO MICROZONAZIONE COMUNALE LIVELLO 2

Acquisizione ed elaborazione:

Dr. Geol. Tommaso Nencini

Timbro e firma:

Dr. Geol. Tommaso Nencini
Via Serragrande 87-Rosignano Solvay
P.IVA 01766710496 cell 3934610353
tommaso.nencini@gmail.com



PREMESSA

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati di un'indagine sismica effettuata, mediante il metodo MASW, nel Comune di Palaia (PI), all'interno dell'area pubblica ubicata nella Frazione di Montefoscoli in Via dei Fossi. L'indagine MASW è stata effettuata per la caratterizzazione della velocità delle onde Sh dei terreni presenti, per determinare il parametro VSEQ, necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto, come richiesto dalle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/2018). L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare una sequenza sismostratigrafica relativamente all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali.

Generalità sul metodo 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.



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

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.



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

GEOAPP

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.

Dati generali

Zona	Montefoscoli, Via dei Fossi.
Data	05/07/2022
Latitudine	43.5768
Longitudine	10.7561

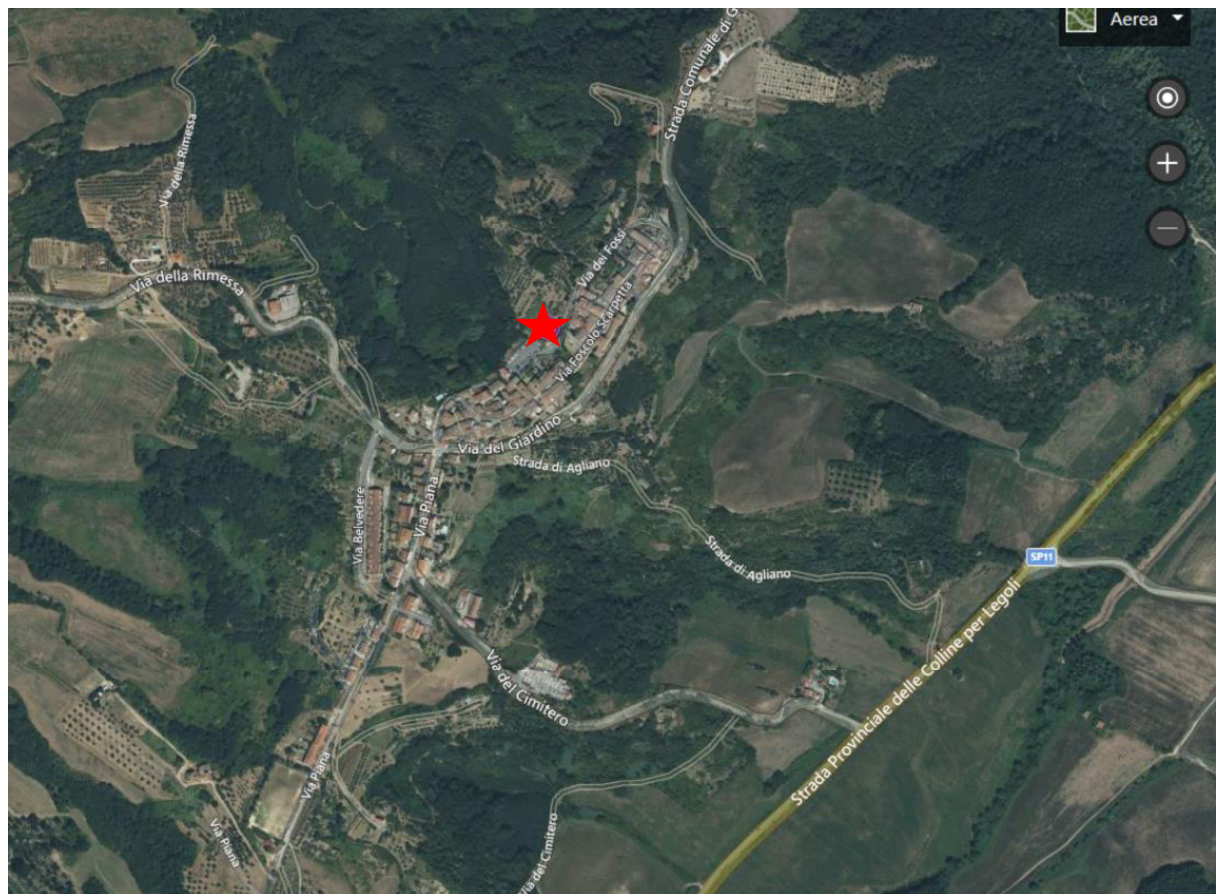


FIG.1 – UBICAZIONE AREA DI INDAGINE



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

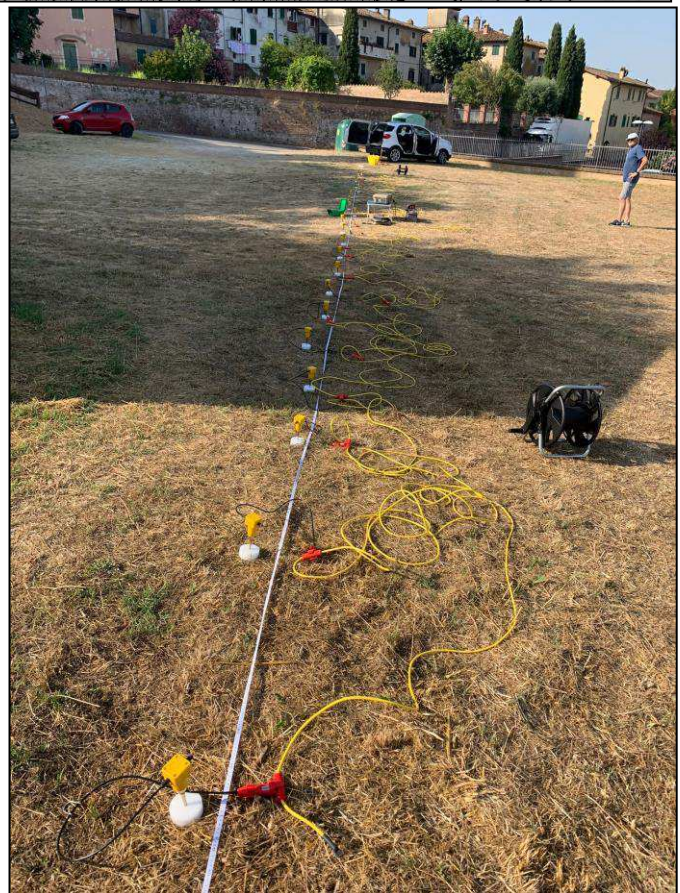
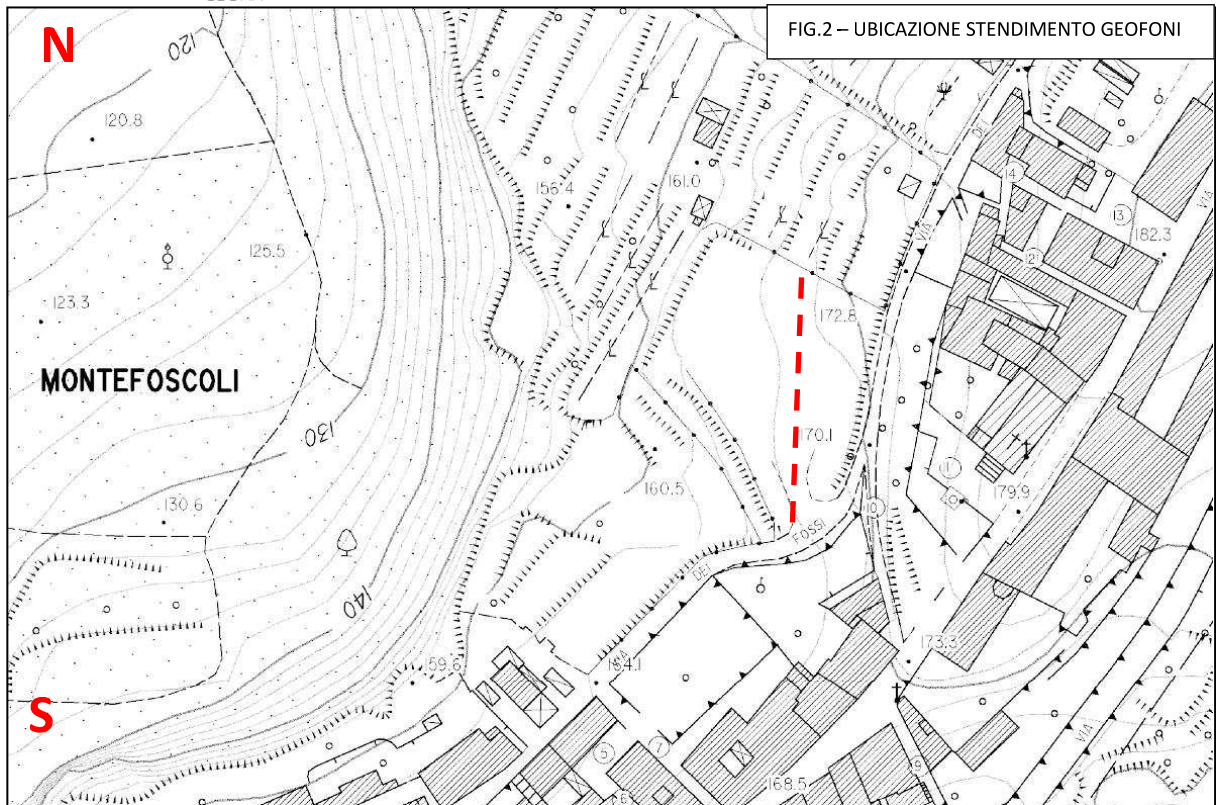


FIG.3 – REALIZZAZIONE INDAGINE MASW



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	999
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	0.478

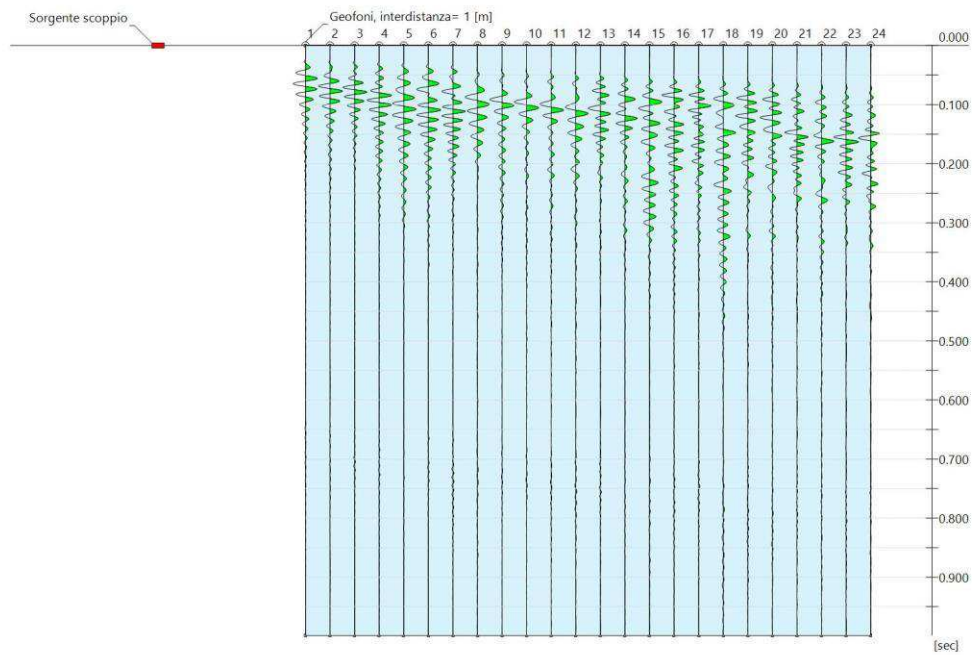


FIG.4 – TRACCE



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	3
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	90
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

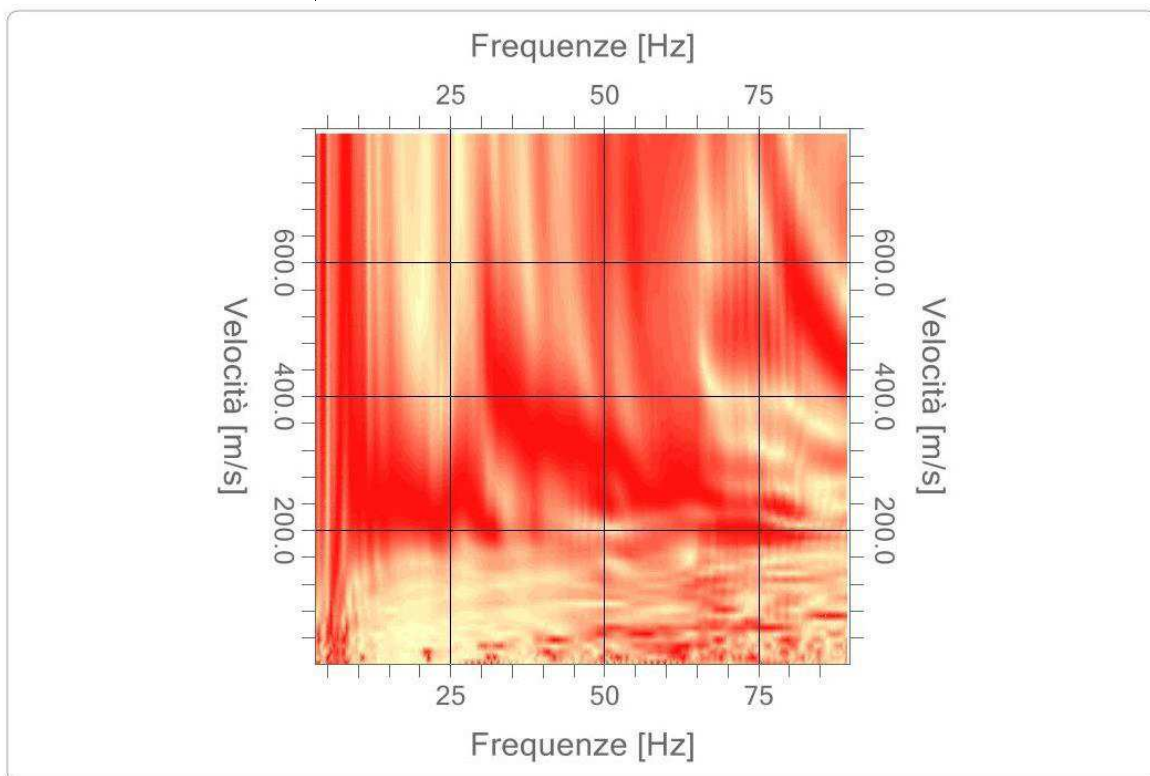


FIG.5 – SPETTRO VELOCITA' DI FASE - FREQUENZE



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

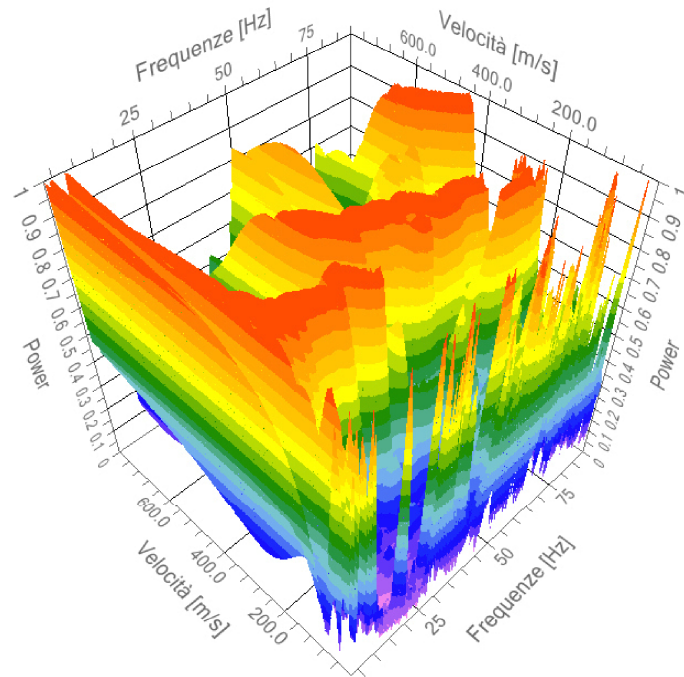


FIG.6 – VISTA 3D SPETTRO VELOCITA' DI FASE -

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]
1	6.8	317.0
2	8.7	288.8
3	10.9	277.3
4	12.3	267.3
5	15.0	257.4
6	17.5	240.9
7	19.5	230.9
8	22.0	217.7



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

9	26.5	207.8
10	30.1	201.2
11	33.5	199.5
12	35.7	199.5
13	37.4	202.8
14	39.8	206.1
15	42.1	199.5
16	45.2	204.5
17	47.7	201.2
18	55.0	201.2
19	59.7	204.5
20	62.2	204.5
21	63.8	196.2
22	67.2	204.5
23	69.0	196.2
24	73.5	199.5
25	76.6	192.9
26	79.1	192.9
27	81.9	194.5
28	84.1	191.2
29	85.7	191.2



Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	4.68	4.68	1800.0	0.20	355.3	217.6
2	9.48	4.81	1800.0	0.20	565.1	346.0
3	15.74	6.26	1800.0	0.20	578.7	354.4
4	22.71	6.97	1800.0	0.20	591.9	362.4
5	30.60	7.89	1800.0	0.20	743.6	455.3
6	∞	∞	1800.0	0.20	801.7	490.9

Percentuale di errore

0.032 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.019

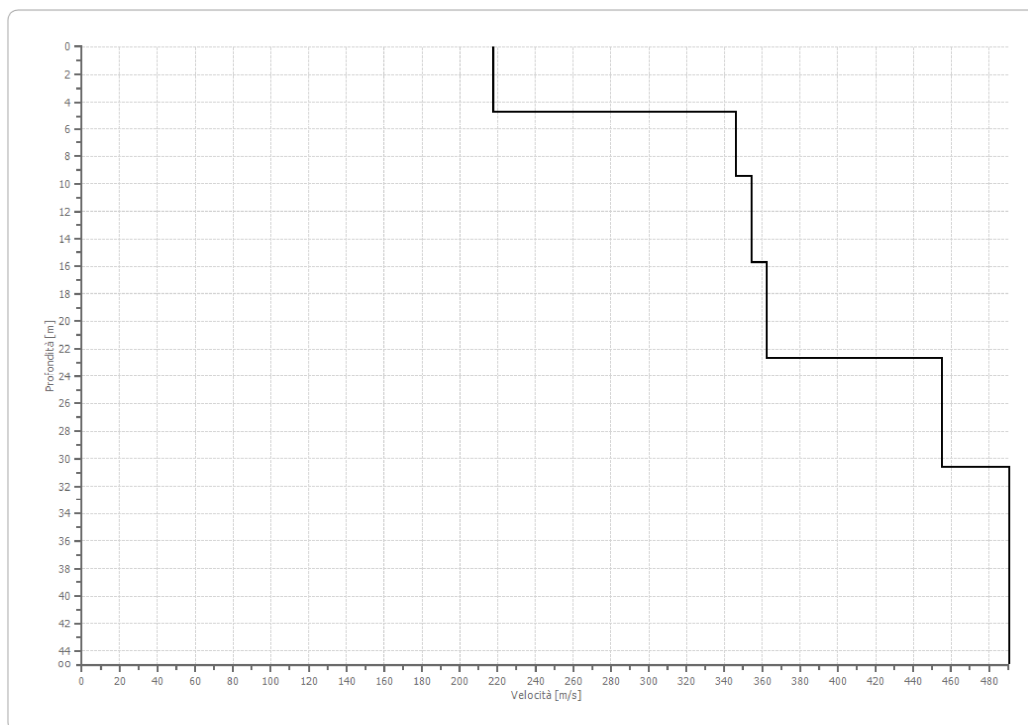


FIG.7 – PROFILO DI VELOCITA'

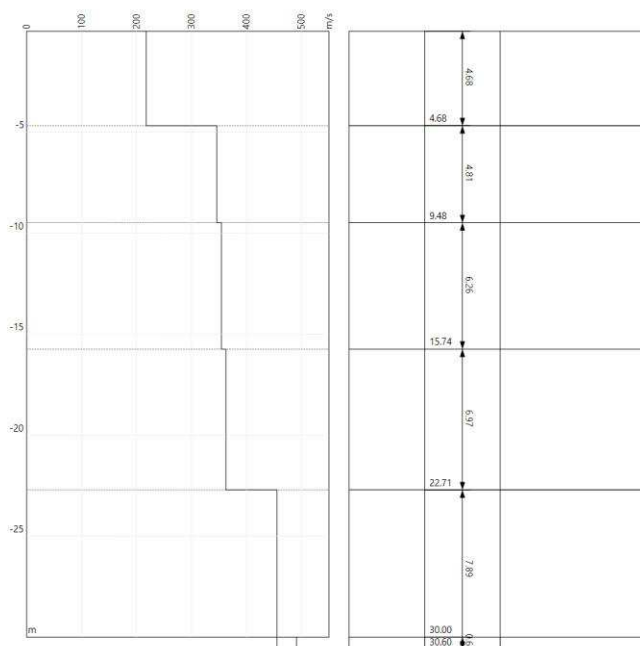


FIG.8 – SISMOSTRATIGRAFIA

Risultati

Profondità piano di posa	0 m
[m]	
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	339.82
Categoria del suolo	C

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

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	4.68	4.68	217.56	355.28	1800.00	0.20	85.20	227.20	113.60	204.48
2	9.48	4.81	346.04	565.07	1800.00	0.20	215.53	574.75	287.38	517.28
3	15.74	6.26	354.36	578.66	1800.00	0.20	226.03	602.74	301.37	542.46
4	22.71	6.97	362.45	591.87	1800.00	0.20	236.46	630.56	315.28	567.50
5	30.60	7.89	455.35	743.58	1800.00	0.20	373.21	995.24	497.62	895.72
6	∞	∞	490.91	801.65	1800.00	0.20	433.79	1156.77	578.39	1041.09



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Ai fini della classificazione nelle categorie di suolo di fondazione è stata effettuata una valutazione del parametro VsEQ utilizzando una media ponderata dei valori delle velocità delle onde di taglio, rispetto agli spessori degli orizzonti indagati. Il valore medio calcolato (339.82 m/sec) conduce ad inserire il sottosuolo indagato nel campo **C**.

FAUGLIA 27.07.2022

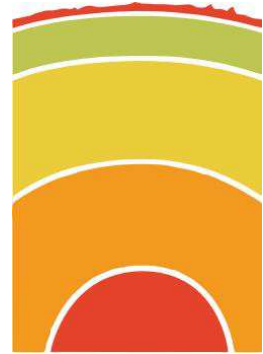
Dott. Geol. Tommaso Nencini

Ordine dei Geologi della Toscana n° 1744

Dr. Geol. Tommaso Nencini
Via Serragrande 87-Rosignano Solvay
P.IVA 01766780496 cell 3934610353
tommaso.nencini@gmail.com

STUDIO DI GEOLOGIA **GEOAPP**

Corso Repubblica 142
56043 Fauglia (PI)
Tel. e Fax 050/650797
Web www.geoappgeologia.com



Indagine sismica MASW

(Multichannel Analysis of Surface Waves)

COMMITTENTE: DR.GEOL. NENCINI CLAUDIO

LOCALITÀ: PALAIA (PI), CHIECINELLA, VIA S.CHIARA

DATA INDAGINE: 5/07/2022

DATA ELABORAZIONE: 26/07/2022

OGGETTO: STUDIO MICROZONAZIONE COMUNALE LIVELLO 2

Acquisizione ed elaborazione:

Dr. Geol. Tommaso Nencini

Timbro e firma:

Dr. Geol. Tommaso Nencini
Via Serragrande 87-Rosignano Solvay
P.IVA 01766710496 cell 3934610353
tommaso.nencini@gmail.com



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

PREMESSA

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati di un'indagine sismica effettuata, mediante il metodo MASW, nel Comune di Palaia (PI), all'interno dell'area pubblica ubicata nella Frazione di Chiecinella in Via Santa Chiara.

L'indagine MASW è stata effettuata per la caratterizzazione della velocità delle onde Sh dei terreni presenti, per determinare il parametro VSEQ, necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto, come richiesto dalle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/2018). L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare una sequenza sismostratigrafica relativamente all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali.

Generalità sul metodo 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.



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

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.



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

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.

Dati generali

Zona	Palaia, Chiecinnella.
Data	12/07/2022
Latitudine	43.6310
Longitudine	10.7735

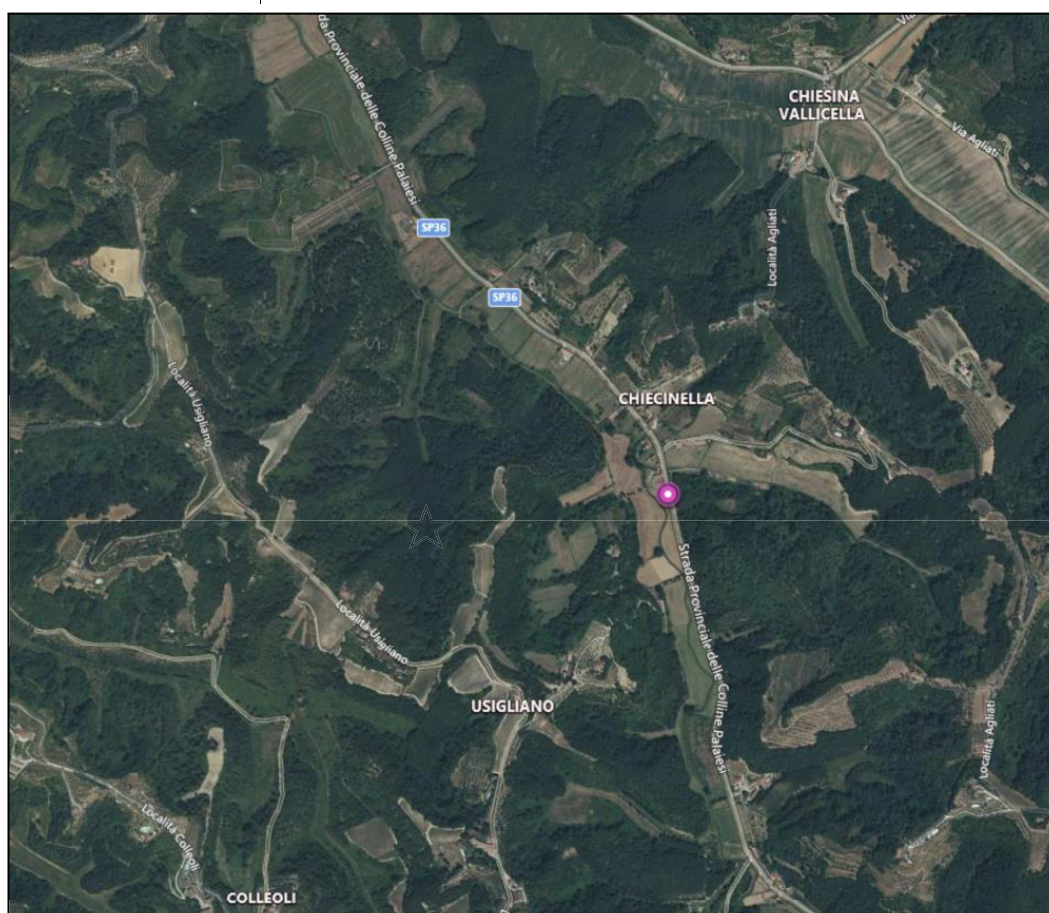


FIG.1 – UBICAZIONE AREA DI INDAGINE



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

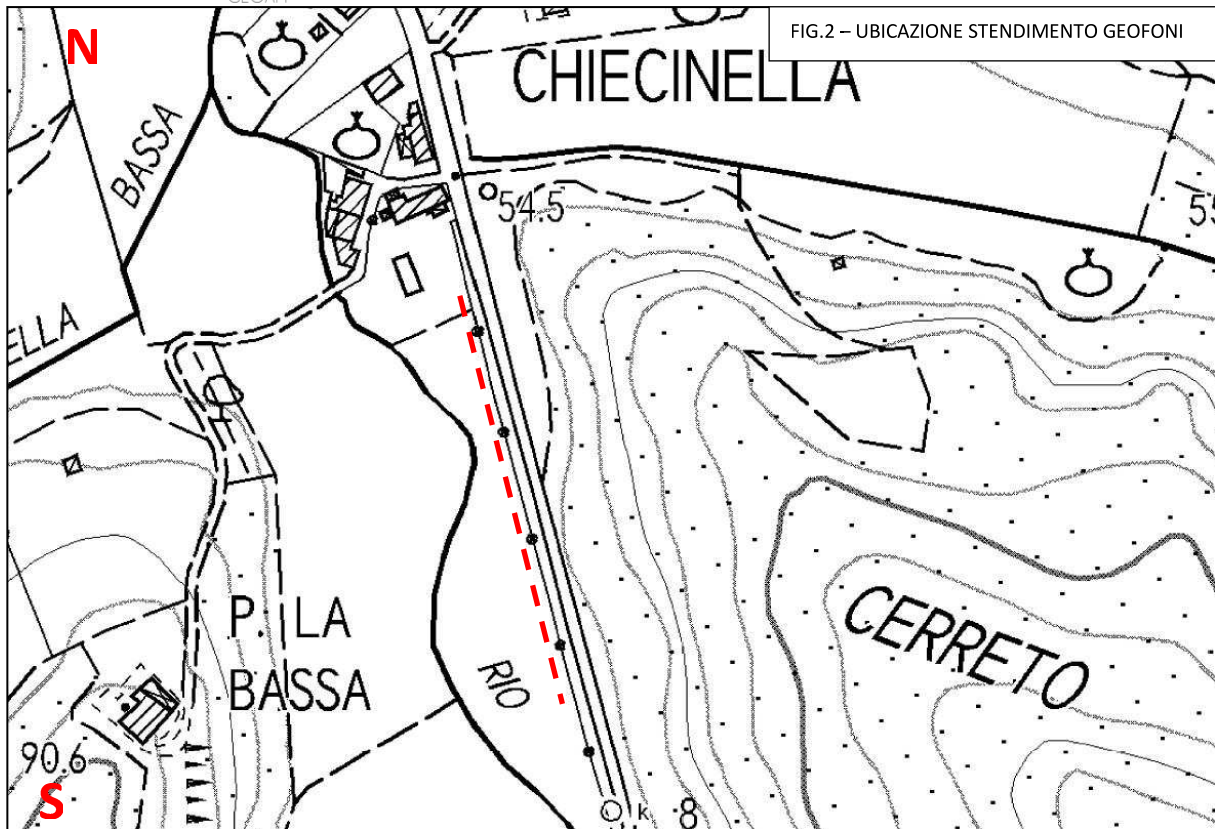


FIG.3 – REALIZZAZIONE INDAGINE MASW





Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	999
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	0.478

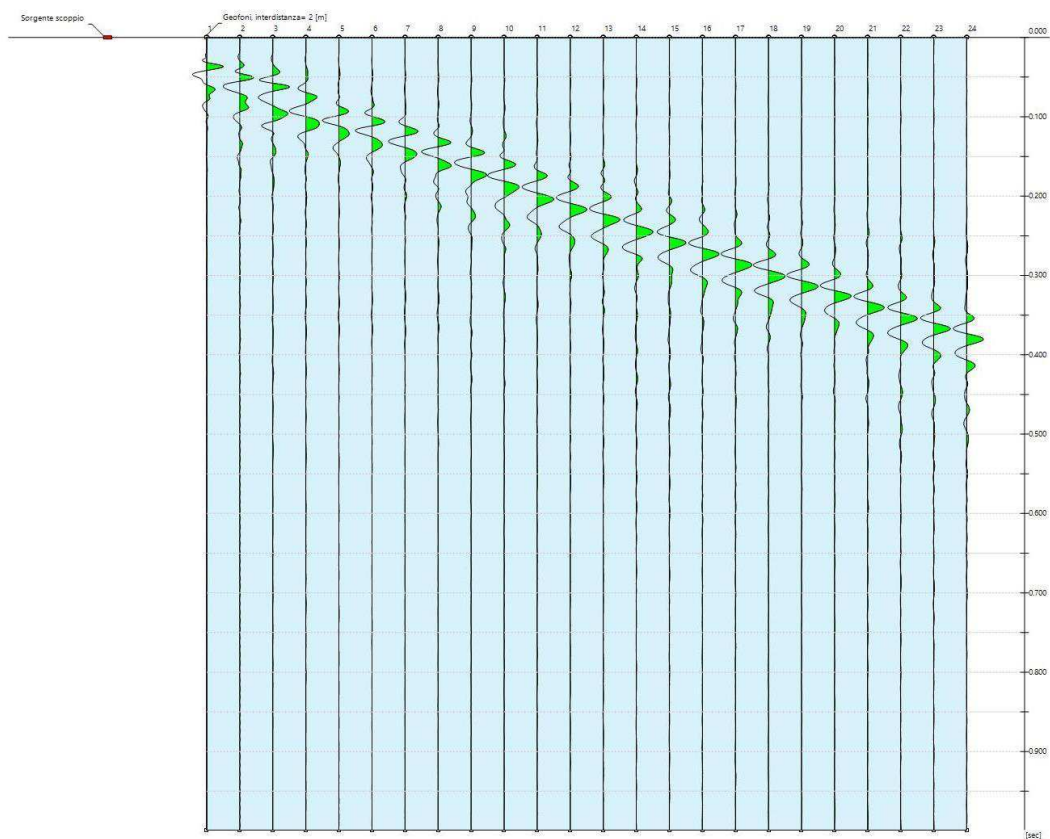


FIG.4 – TRACCE



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	3
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	90
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

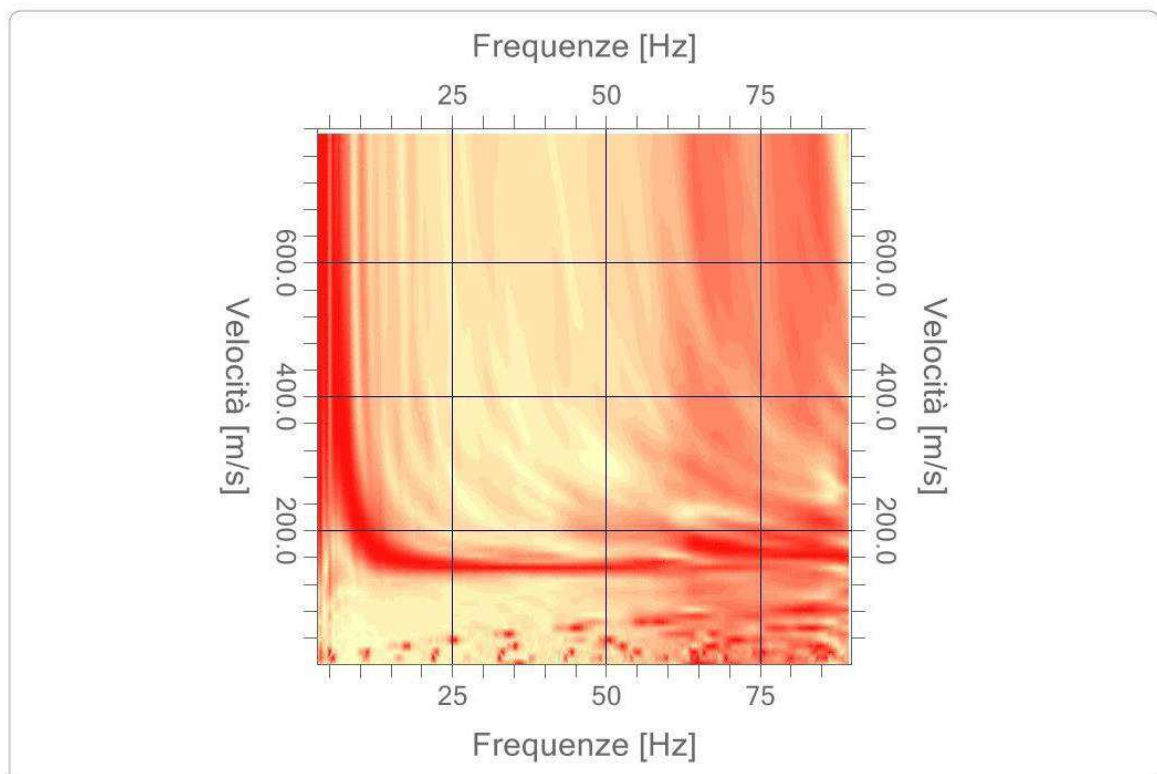


FIG.5 – SPETTRO VELOCITA' DI FASE - FREQUENZE



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

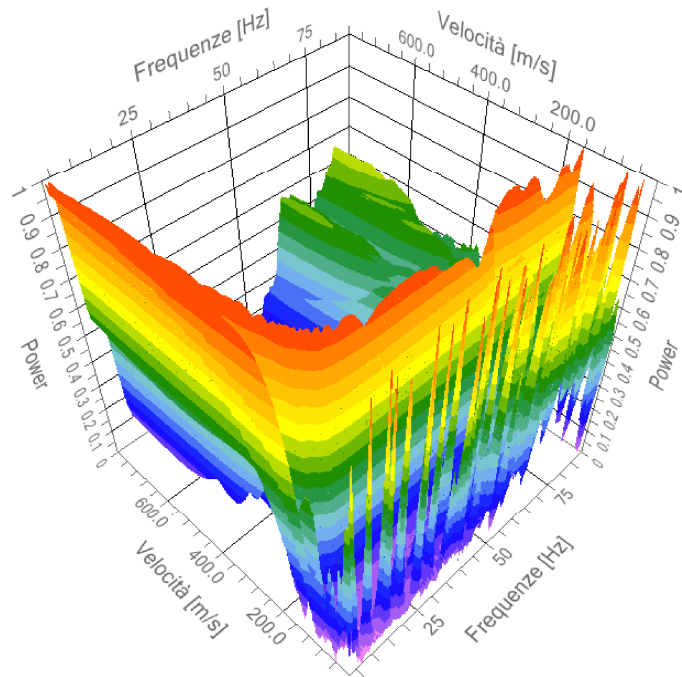


FIG.6 – VISTA 3D SPETTRO VELOCITA' DI FASE -

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]
1	11.4	181.3
2	13.6	166.4
3	15.7	154.8
4	17.0	148.2
5	19.9	149.9
6	22.6	149.9
7	25.6	148.2
8	27.4	144.9



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

9	30.3	144.9
10	33.1	143.3
11	35.7	146.6
12	38.7	144.9
13	40.3	141.6
14	43.9	141.6
15	46.4	143.3
16	50.0	141.6
17	52.5	143.3
18	54.5	140.0
19	57.9	141.6
20	60.2	144.9
21	63.1	140.0
22	65.1	138.3
23	68.8	143.3
24	69.2	146.6
25	72.8	146.6
26	76.0	136.6
27	81.8	138.3



Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	4.77	4.77	1800.0	0.20	255.7	156.6
2	9.31	4.54	1800.0	0.20	391.5	239.8
3	15.44	6.12	1800.0	0.20	575.1	352.1
4	22.57	7.14	1800.0	0.20	651.6	399.0
5	31.14	8.56	1800.0	0.20	670.5	410.6
6	∞	∞	1800.0	0.20	766.7	469.5

Percentuale di errore

0.036 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.019

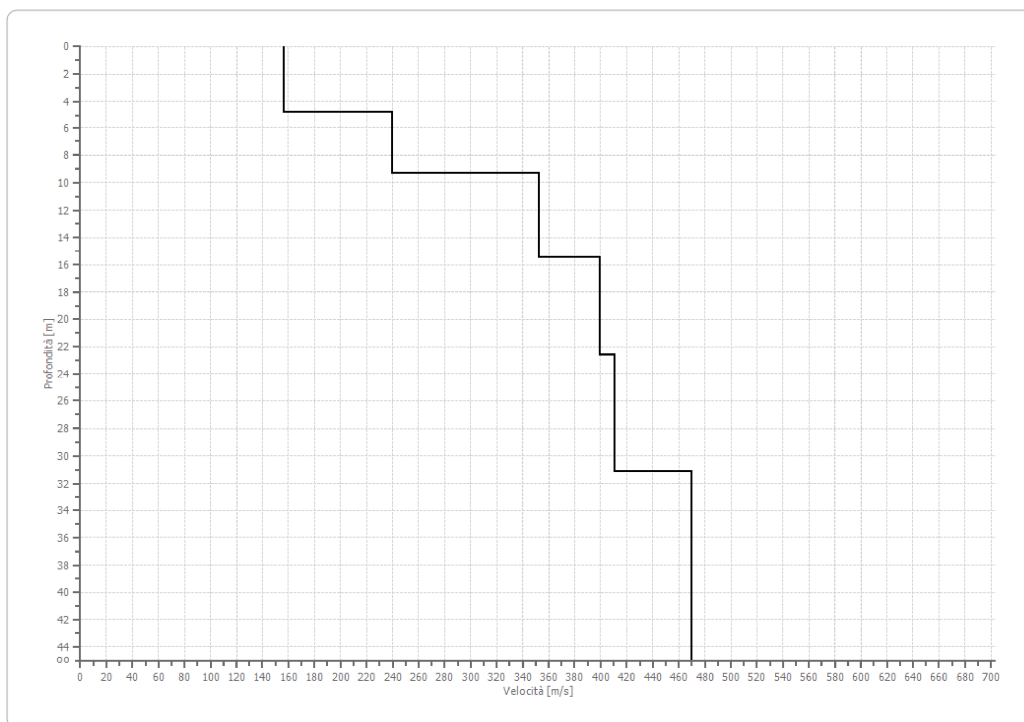
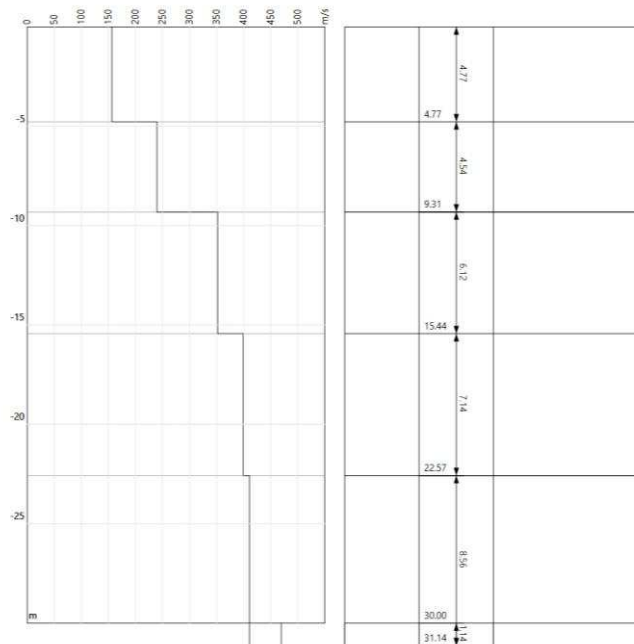


FIG.7 – PROFILO DI VELOCITA'



Risultati

FIG.8 – SISMOSTRATIGRAFIA

Profondità piano di posa	0 m
[m]	
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	291.87
Categoria del suolo	C

Suolo di tipo B: 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.

n.	Profondità à [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	4.77	4.77	156.58	255.69	1800.00	0.20	44.13	117.68	58.84	105.91
2	9.31	4.54	239.77	391.54	1800.00	0.20	103.48	275.95	137.97	248.35
3	15.44	6.12	352.15	575.06	1800.00	0.20	223.22	595.24	297.62	535.72
4	22.57	7.14	399.02	651.59	1800.00	0.20	286.59	764.24	382.12	687.81
5	31.14	8.56	410.57	670.46	1800.00	0.20	303.43	809.14	404.57	728.22
6	oo	oo	469.53	766.74	1800.00	0.20	396.83	1058.21	529.11	952.39



Studio di Geologia Dr. Geol Tommaso Nencini

Corso Repubblica, 142 - 56043 - Fauglia (PI) - P.IVA:01766780496

Cell:3934610353 -Tel. 050650797

Mail: tommaso.nencini@gmail.com Web: www.geoappgeologia.it

Ai fini della classificazione nelle categorie di suolo di fondazione è stata effettuata una valutazione del parametro VsEQ utilizzando una media ponderata dei valori delle velocità delle onde di taglio, rispetto agli spessori degli orizzonti indagati. Il valore medio calcolato (291.87 m/sec) conduce ad inserire il sottosuolo indagato nel campo **C**.

FAUGLIA 26.07.2022

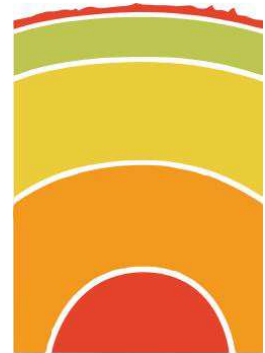
Dott. Geol. Tommaso Nencini

Ordine dei Geologi della Toscana n° 1744

Dr. Geol. Tommaso Nencini
Via Serragrande 87-Rosignano Solvay
P.IVA 01766780496 cell 3934610353
tommaso.nencini@gmail.com

STUDIO DI GEOLOGIA **GEOAPP**

Corso Repubblica 142
56043 Fauglia (PI)
Tel. e Fax 050/650797
Web www.geoappgeologia.com



Microzonazione Sismica di 2° Livello – Comune di Palaia (PI)

Indagine sismica HVSR

(Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

COMMITTENTE: COMUNE DI PALAIA (PI)

LOCALITÀ: PALAIA (PI)

DATA INDAGINE: 12 LUGLIO

DATA ELABORAZIONE: 14 LUGLIO

Acquisizione ed elaborazione:

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Timbro e firma:



Melissa Brogi

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate. Nel caso specifico, per effettuare la misura di rumore è stata utilizzata la strumentazione "Echo Tromo 3" di AMBROGEO. Tale strumentazione è costituita da uno strumento tridimensionale munito di tre punte da infiggere nel terreno (ciascuna delle punte è riferita a 3 direzioni diverse: N-S, E-W, profondità), e da un sismografo di registrazione ad esso collegato in cui si misurano e archiviano i dati registrati. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti. In fase di elaborazione, è stato utilizzato il *software* di GEOSTRU "Easy HVSR" per l'analisi dei dati raccolti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguito per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di

confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .

Dati generali

Ubicazione del sito: Palaia (PI) – loc. Forcoli, via A Meucci.

- 43,6009 N.
- 10,7055 E.



Tracce in input

Dati riepilogativi:

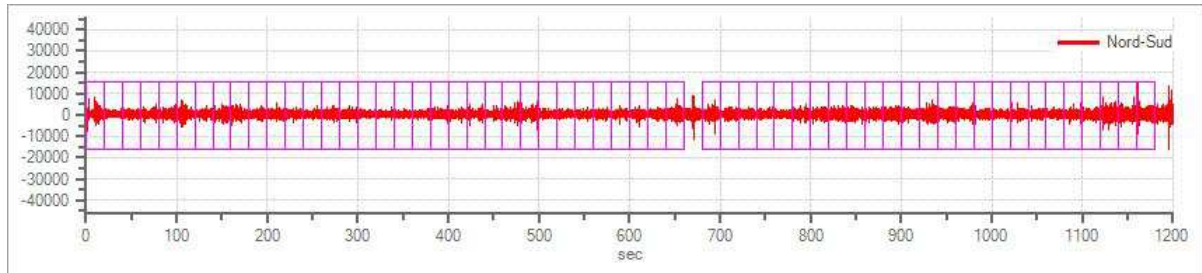
Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	172.00 Hz
Numero campioni:	206400
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Tracce in input

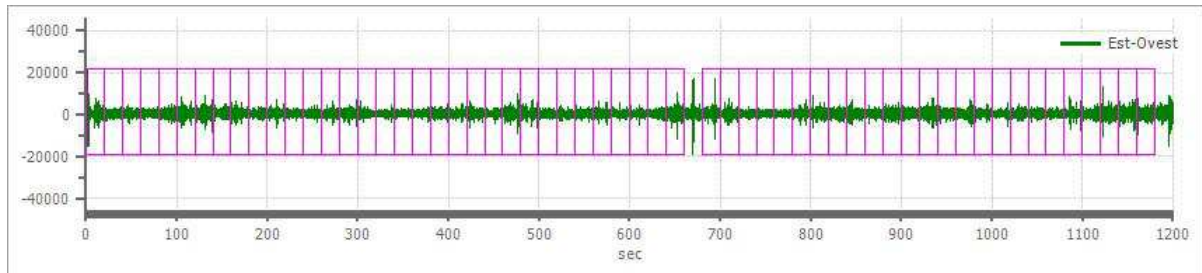
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	172.00 Hz
Numero campioni:	206400
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

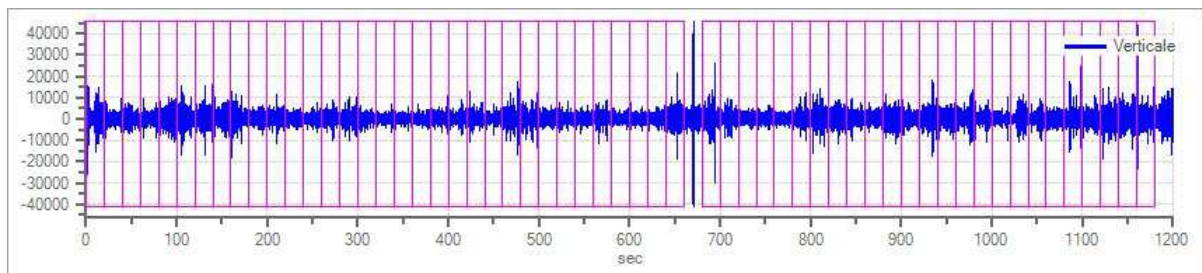
Grafici tracce:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

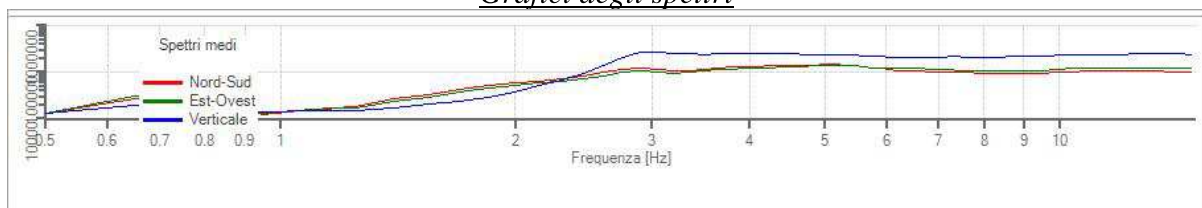


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

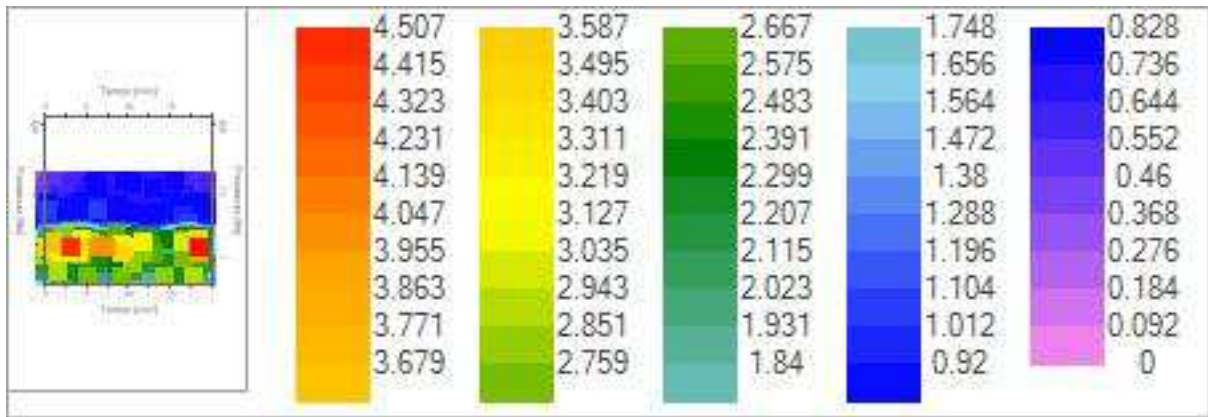


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

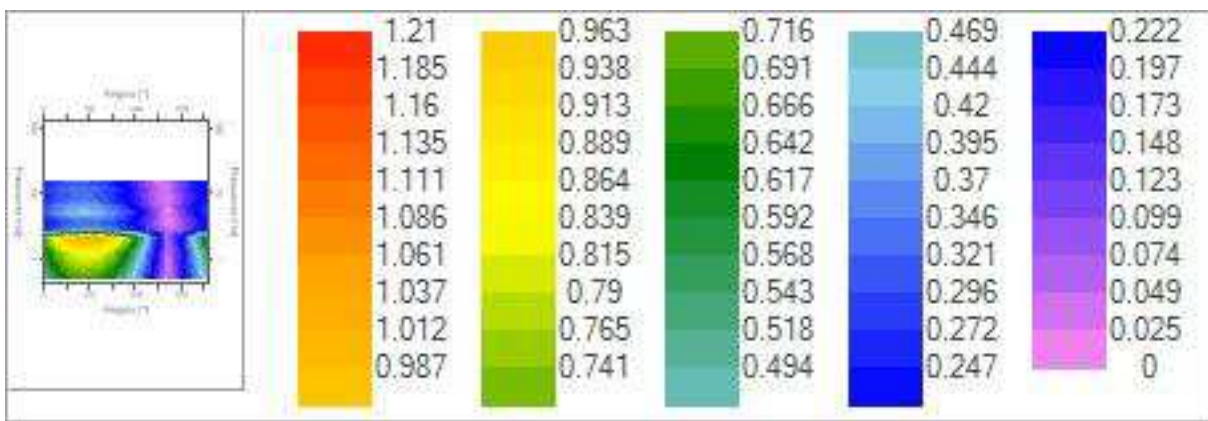
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

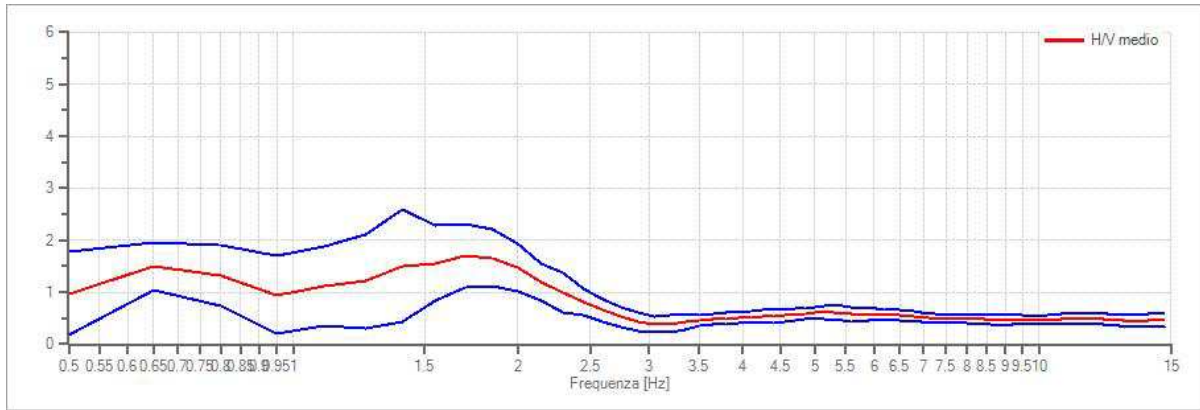
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenze: 0.15 Hz
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.70 Hz \pm 0.36 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



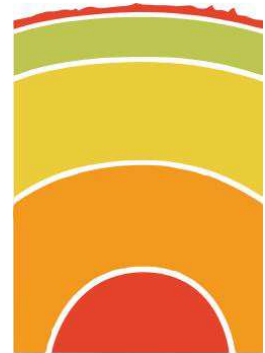
Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Non superato
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

STUDIO DI GEOLOGIA **GEOAPP**

Corso Repubblica 142
56043 Fauglia (PI)
Tel. e Fax 050/650797
Web www.geoappgeologia.com



Microzonazione Sismica di 2° Livello – Comune di Palaia (PI)

Indagine sismica HVSR

(Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

COMMITTENTE: COMUNE DI PALAIA (PI)

LOCALITÀ: PALAIA (PI)

DATA INDAGINE: 12 LUGLIO

DATA ELABORAZIONE: 14 LUGLIO

Acquisizione ed elaborazione:

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Timbro e firma:



Melissa Brogi

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate. Nel caso specifico, per effettuare la misura di rumore è stata utilizzata la strumentazione "Echo Tromo 3" di AMBROGEO. Tale strumentazione è costituita da uno strumento tridimensionale munito di tre punte da infiggere nel terreno (ciascuna delle punte è riferita a 3 direzioni diverse: N-S, E-W, profondità), e da un sismografo di registrazione ad esso collegato in cui si misurano e archiviano i dati registrati. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti. In fase di elaborazione, è stato utilizzato il *software* di GEOSTRU "Easy HVSR" per l'analisi dei dati raccolti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura,

detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .

Dati generali

Ubicazione del sito: Palaia (PI) – loc. Baccanella.

- 43,5991 N.
- 10,7118 E.

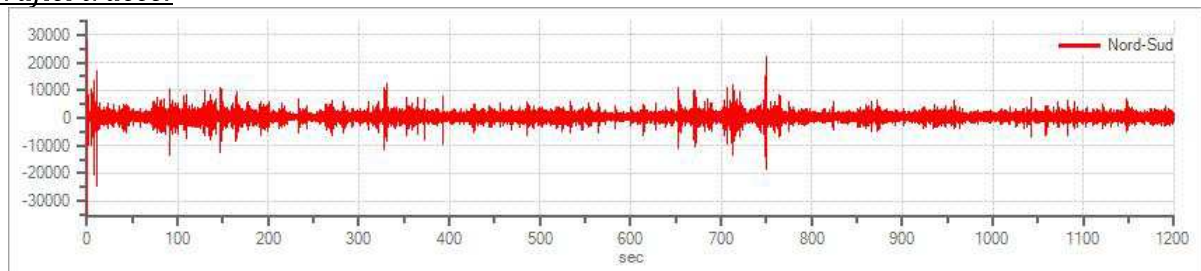


Tracce in input

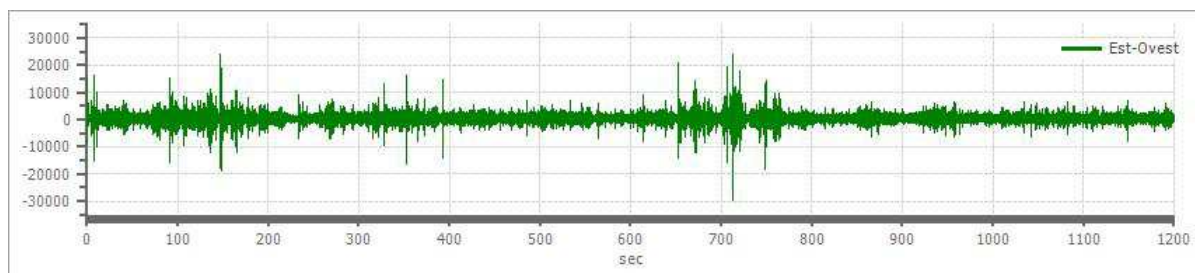
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	172.00 Hz
Numero campioni:	206400
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

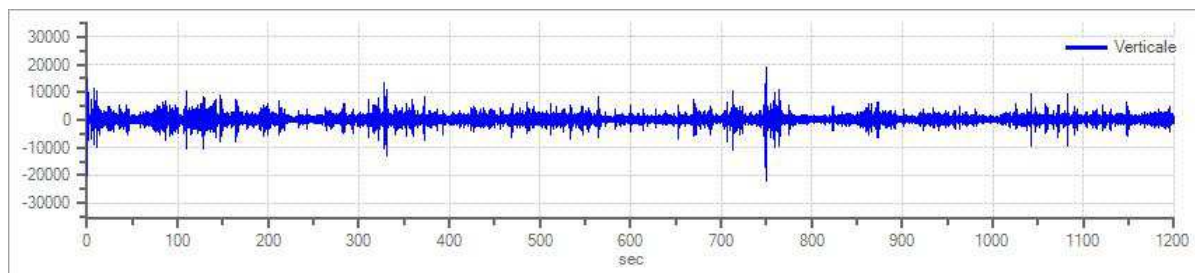
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

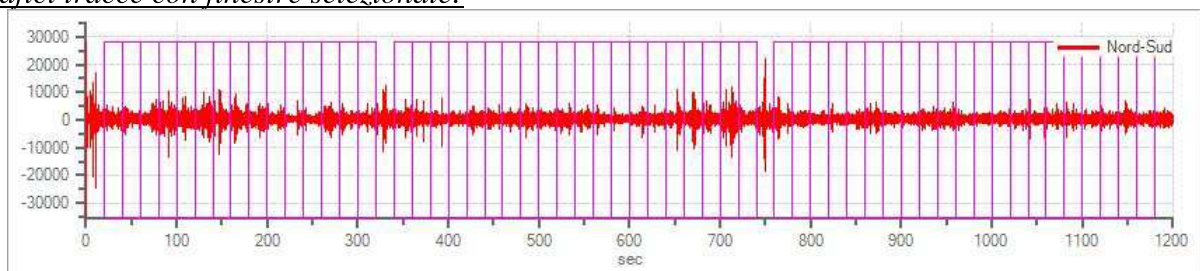
Numero totale finestre selezionate: 56
 Numero finestre incluse nel calcolo: 55
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s
 Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %
 Coefficiente di banda: 40.00

Tabella finestre:

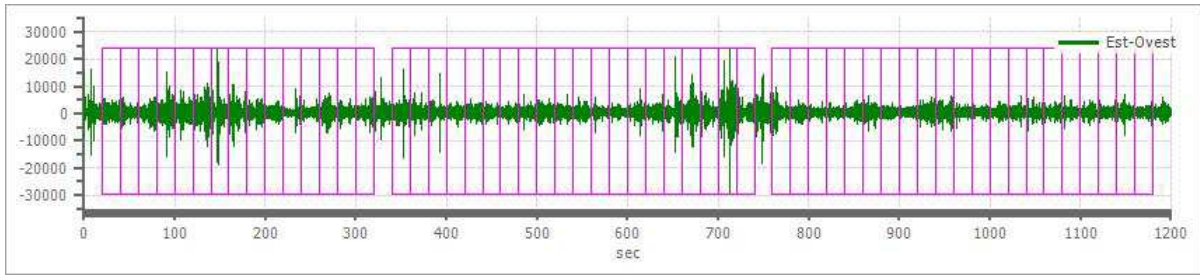
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	20	40	Inclusa
2	40	60	Inclusa
3	60	80	Inclusa
4	80	100	Inclusa
5	100	120	Inclusa
6	120	140	Inclusa
7	140	160	Inclusa
8	160	180	Inclusa
9	180	200	Inclusa
10	200	220	Inclusa
11	220	240	Inclusa
12	240	260	Inclusa
13	260	280	Inclusa
14	280	300	Inclusa
15	300	320	Inclusa
16	340	360	Inclusa

17	360	380	Inclusa
18	380	400	Inclusa
19	400	420	Inclusa
20	420	440	Inclusa
21	440	460	Inclusa
22	460	480	Inclusa
23	480	500	Inclusa
24	500	520	Inclusa
25	520	540	Esclusa
26	540	560	Inclusa
27	560	580	Inclusa
28	580	600	Inclusa
29	600	620	Inclusa
30	620	640	Inclusa
31	640	660	Inclusa
32	660	680	Inclusa
33	680	700	Inclusa
34	700	720	Inclusa
35	720	740	Inclusa
36	760	780	Inclusa
37	780	800	Inclusa
38	800	820	Inclusa
39	820	840	Inclusa
40	840	860	Inclusa
41	860	880	Inclusa
42	880	900	Inclusa
43	900	920	Inclusa
44	920	940	Inclusa
45	940	960	Inclusa
46	960	980	Inclusa
47	980	1000	Inclusa
48	1000	1020	Inclusa
49	1020	1040	Inclusa
50	1040	1060	Inclusa
51	1060	1080	Inclusa
52	1080	1100	Inclusa
53	1100	1120	Inclusa
54	1120	1140	Inclusa
55	1140	1160	Inclusa
56	1160	1180	Inclusa

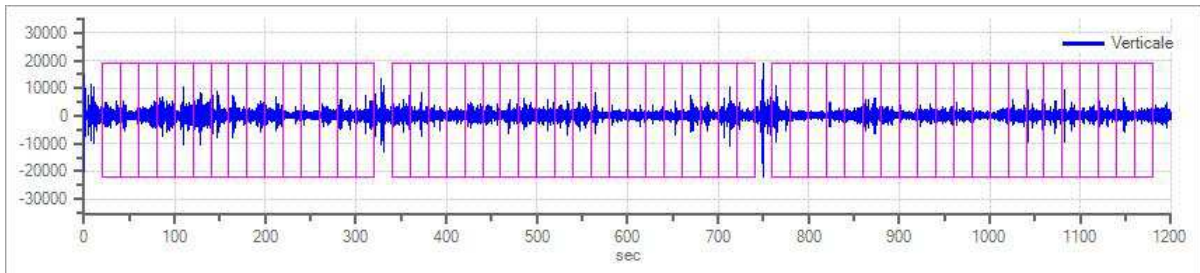
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

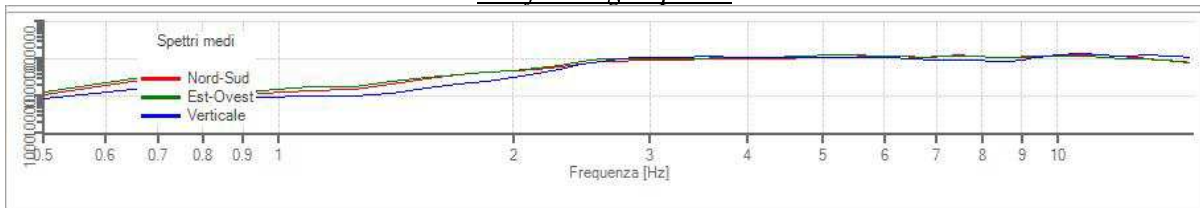


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

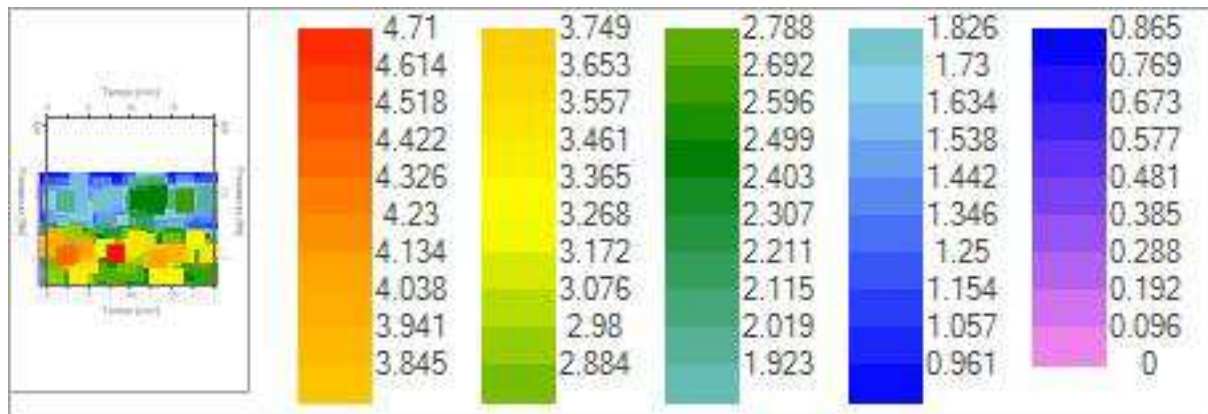


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

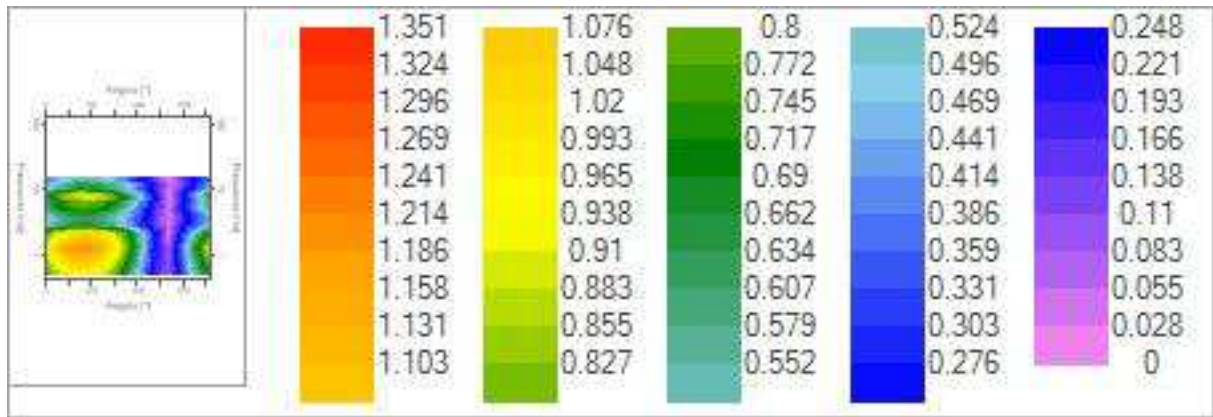
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mapa della stazionarietà degli spettri



Mapa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

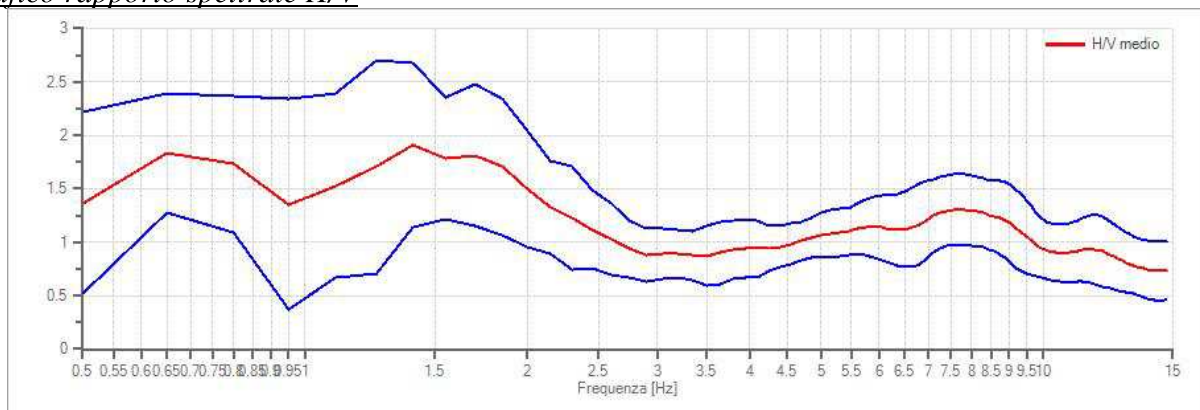
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenze: 0.15 Hz
 Tipo lisciamento:: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.40 Hz \pm 0.40 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok

$$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$$

$$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$$

$$A_0 > 2$$

$$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$$

$$\sigma_f < \varepsilon(f)$$

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

Non superato

Ok

Non superato

Non superato

Non superato

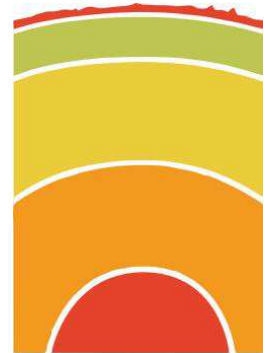
Ok

Indice

Cenni tecnica HVSR	.2
Dati generali	.3
Tracce in input	.3
Grafici tracce	.3
Finestre selezionate	.4
Tabella finestre	.4
Grafici tracce con finestre selezionate	.5
Grafici degli spettri	.6
Mappa stazionarietà	.6
Mappa direzionalità	.6
Rapporto spettrale H/V	.7
Grafico H/V	.7
Verifiche SESAME	.7
Indice	.9

STUDIO DI GEOLOGIA **GEOAPP**

Corso Repubblica 142
56043 Fauglia (PI)
Tel. e Fax 050/650797
Web www.geoappgeologia.com



Microzonazione Sismica di 2° Livello – Comune di Palaia (PI)

Indagine sismica HVSR

(Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

COMMITTENTE: COMUNE DI PALAIA (PI)

LOCALITÀ: PALAIA (PI)

DATA INDAGINE: 12 LUGLIO

DATA ELABORAZIONE: 14 LUGLIO

Acquisizione ed elaborazione:

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Timbro e firma:



Melissa Brogi

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate. Nel caso specifico, per effettuare la misura di rumore è stata utilizzata la strumentazione "Echo Tromo 3" di AMBROGEO. Tale strumentazione è costituita da uno strumento tridimensionale munito di tre punte da infiggere nel terreno (ciascuna delle punte è riferita a 3 direzioni diverse: N-S, E-W, profondità), e da un sismografo di registrazione ad esso collegato in cui si misurano e archiviano i dati registrati. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti. In fase di elaborazione, è stato utilizzato il *software* di GEOSTRU "Easy HVSR" per l'analisi dei dati raccolti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura,

detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .

Dati generali

Ubicazione del sito: Palaia (PI) – loc. Montanelli, via A Meucci.

- 43,5936 N.
- 10,7166 E.

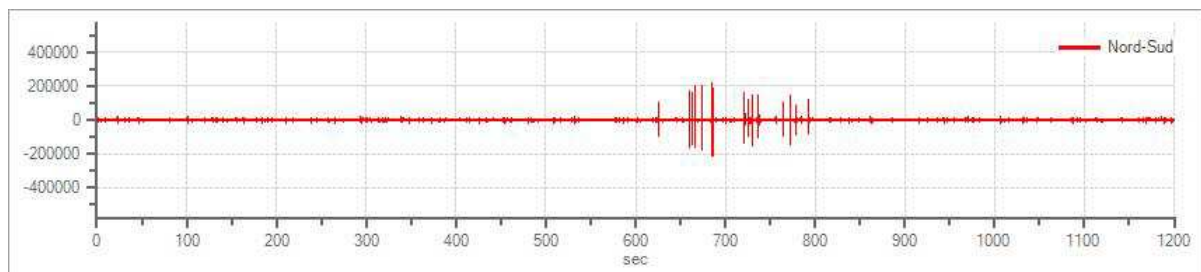


Tracce in input

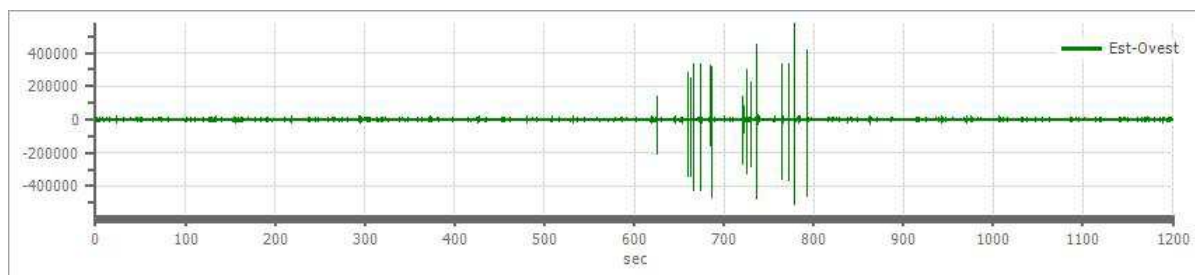
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	172.00 Hz
Numero campioni:	206400
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

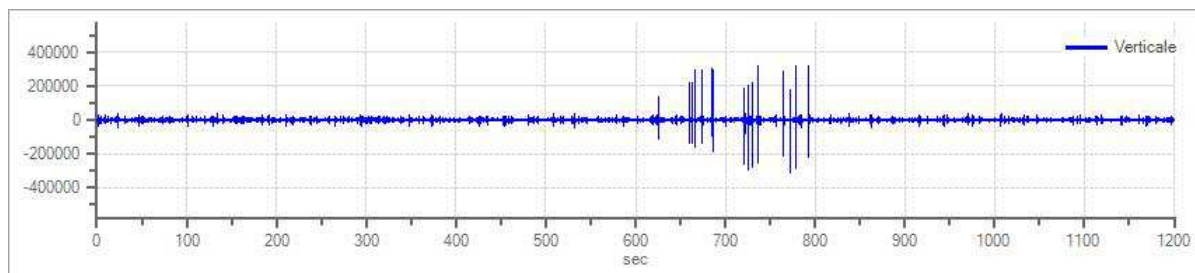
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

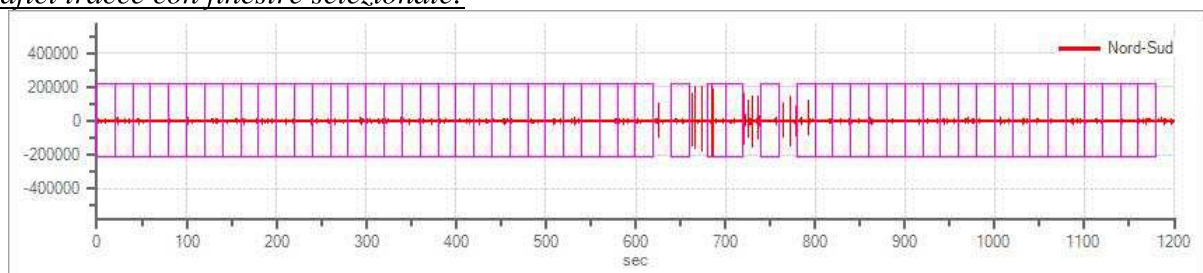
Numero totale finestre selezionate: 55
 Numero finestre incluse nel calcolo: 55
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s
 Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %
 Coefficiente di banda: 40.00

Tabella finestre:

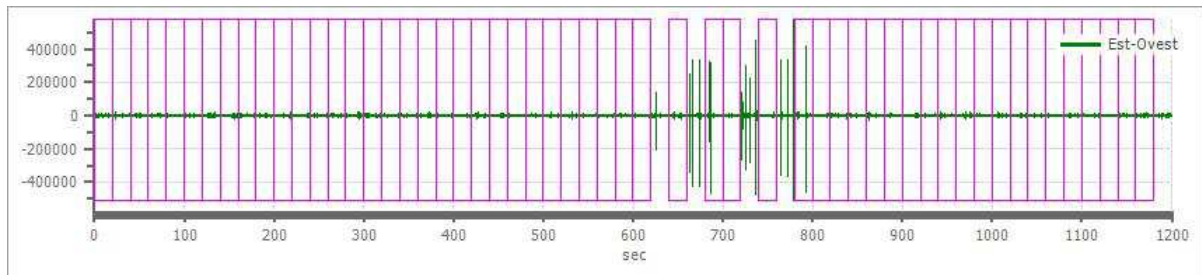
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Inclusa
12	220	240	Inclusa
13	240	260	Inclusa
14	260	280	Inclusa
15	280	300	Inclusa
16	300	320	Inclusa

17	320	340	Inclusa
18	340	360	Inclusa
19	360	380	Inclusa
20	380	400	Inclusa
21	400	420	Inclusa
22	420	440	Inclusa
23	440	460	Inclusa
24	460	480	Inclusa
25	480	500	Inclusa
26	500	520	Inclusa
27	520	540	Inclusa
28	540	560	Inclusa
29	560	580	Inclusa
30	580	600	Inclusa
31	600	620	Inclusa
32	640	660	Inclusa
33	680	700	Inclusa
34	700	720	Inclusa
35	740	760	Inclusa
36	780	800	Inclusa
37	800	820	Inclusa
38	820	840	Inclusa
39	840	860	Inclusa
40	860	880	Inclusa
41	880	900	Inclusa
42	900	920	Inclusa
43	920	940	Inclusa
44	940	960	Inclusa
45	960	980	Inclusa
46	980	1000	Inclusa
47	1000	1020	Inclusa
48	1020	1040	Inclusa
49	1040	1060	Inclusa
50	1060	1080	Inclusa
51	1080	1100	Inclusa
52	1100	1120	Inclusa
53	1120	1140	Inclusa
54	1140	1160	Inclusa
55	1160	1180	Inclusa

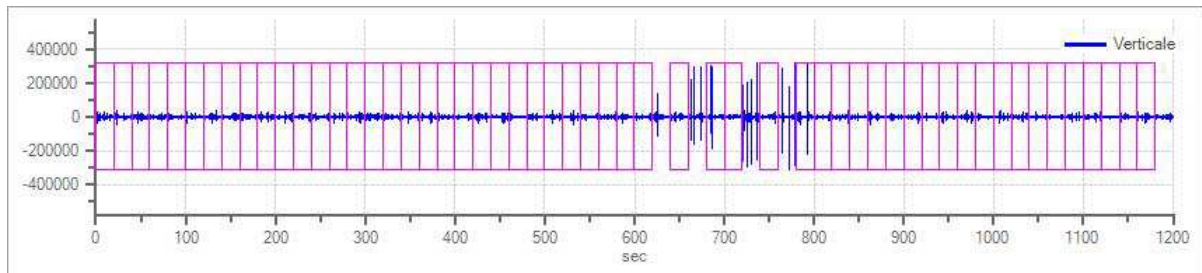
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

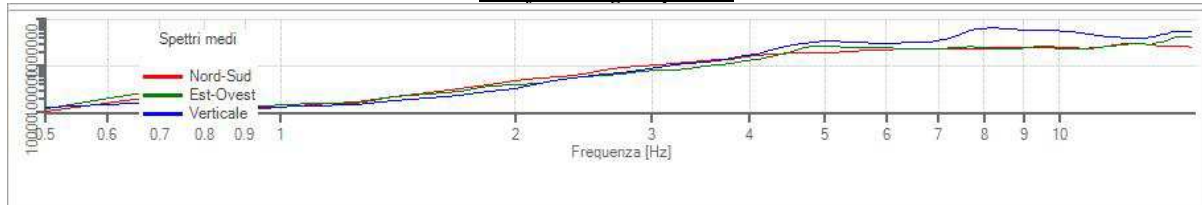


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

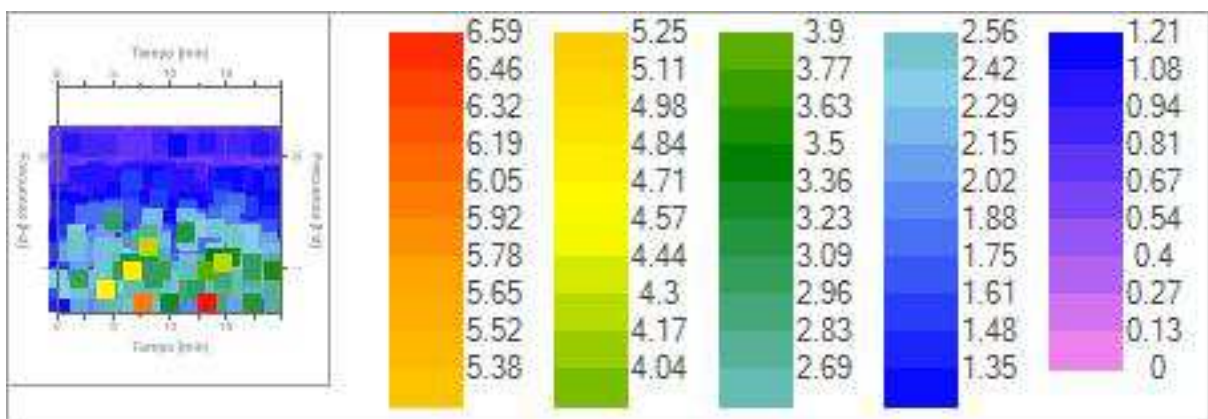


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

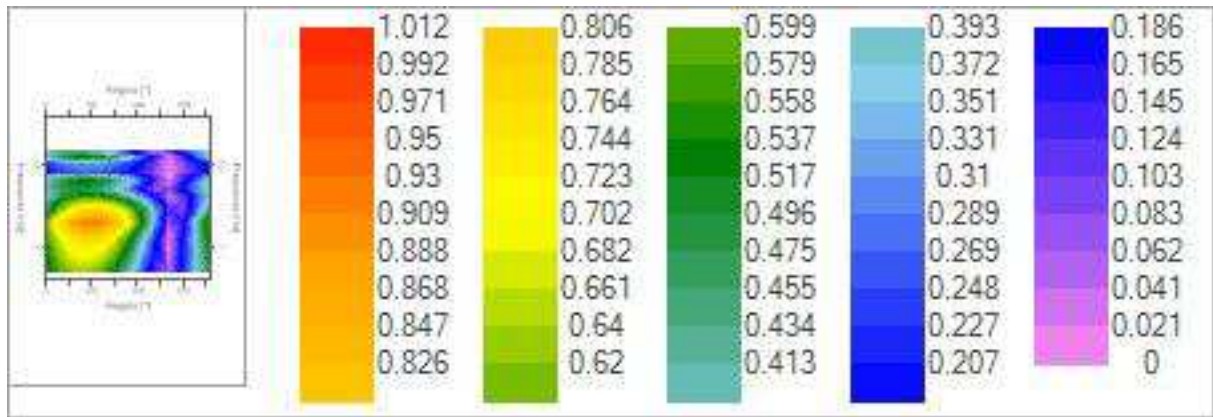
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

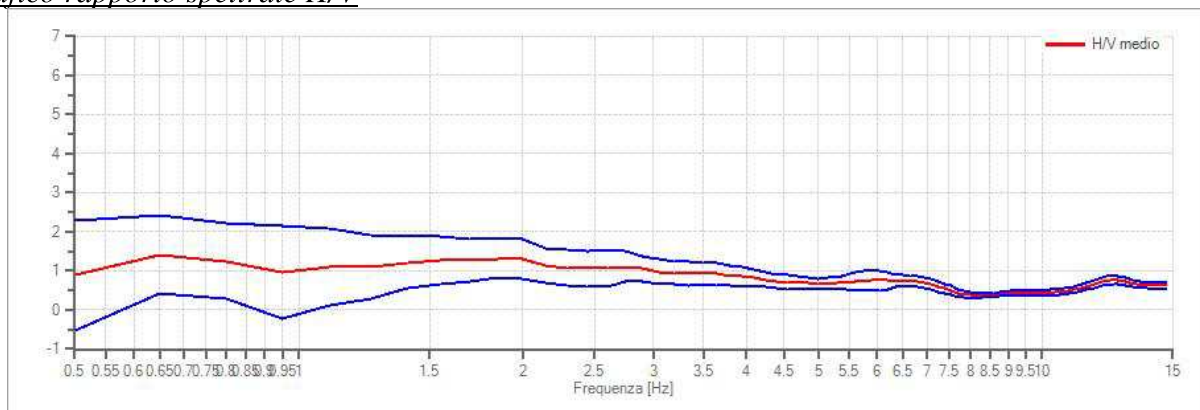
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenze: 0.15 Hz
 Tipo lisciamiento:: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0.65 Hz \pm 0.71 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok

$$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$$

$$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$$

$$A_0 > 2$$

$$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$$

$$\sigma_f < \varepsilon(f)$$

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

Non superato

Non superato

Non superato

Non superato

Non superato

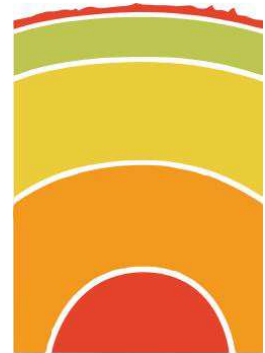
Ok

Indice

Cenni tecnica HVSR	.2
Dati generali	.3
Tracce in input	.3
Grafici tracce	.3
Finestre selezionate	.4
Tabella finestre	.4
Grafici tracce con finestre selezionate	.5
Grafici degli spettri	.6
Mappa stazionarietà	.6
Mappa direzionalità	.6
Rapporto spettrale H/V	.7
Grafico H/V	.7
Verifiche SESAME	.7
Indice	.9

STUDIO DI GEOLOGIA **GEOAPP**

Corso Repubblica 142
56043 Fauglia (PI)
Tel. e Fax 050/650797
Web www.geoappgeologia.com



Microzonazione Sismica di 2° Livello – Comune di Palaia (PI)

Indagine sismica HVSR

(Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

COMMITTENTE: COMUNE DI PALAIA (PI)

LOCALITÀ: PALAIA (PI)

DATA INDAGINE: 12 LUGLIO

DATA ELABORAZIONE: 14 LUGLIO

Acquisizione ed elaborazione:

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Timbro e firma:



Melissa Brogi

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate. Nel caso specifico, per effettuare la misura di rumore è stata utilizzata la strumentazione "Echo Tromo 3" di AMBROGEO. Tale strumentazione è costituita da uno strumento tridimensionale munito di tre punte da infiggere nel terreno (ciascuna delle punte è riferita a 3 direzioni diverse: N-S, E-W, profondità), e da un sismografo di registrazione ad esso collegato in cui si misurano e archiviano i dati registrati. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti. In fase di elaborazione, è stato utilizzato il *software* di GEOSTRU "Easy HVSR" per l'analisi dei dati raccolti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura,

detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .

Dati generali

Ubicazione del sito: Palaia (PI) – loc. Baccanella.

- 43,5991 N.
- 10,7118 E.

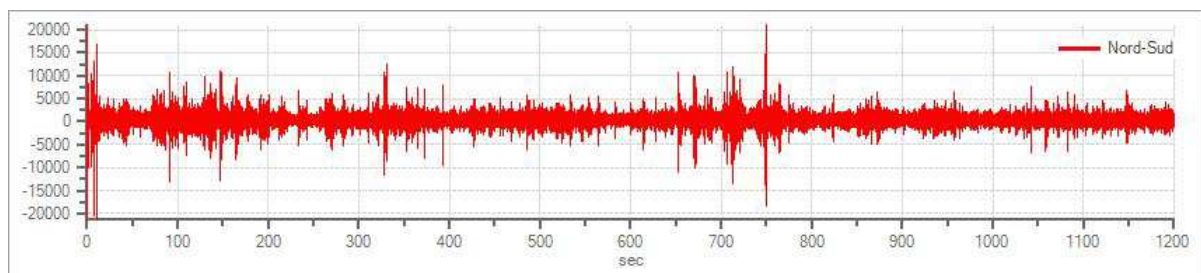


Tracce in input

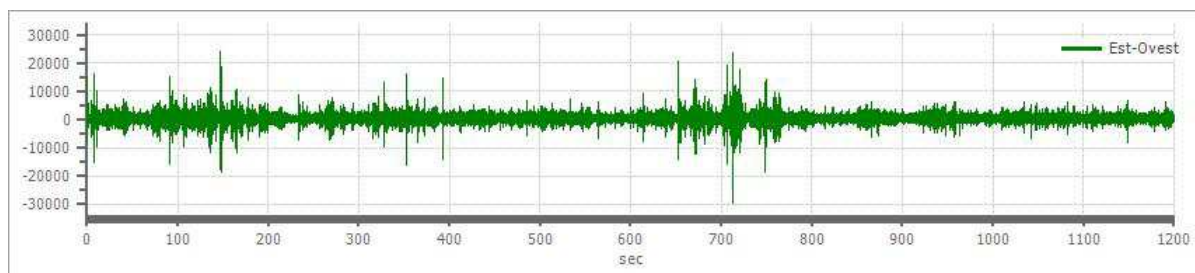
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	172.00 Hz
Numero campioni:	206400
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

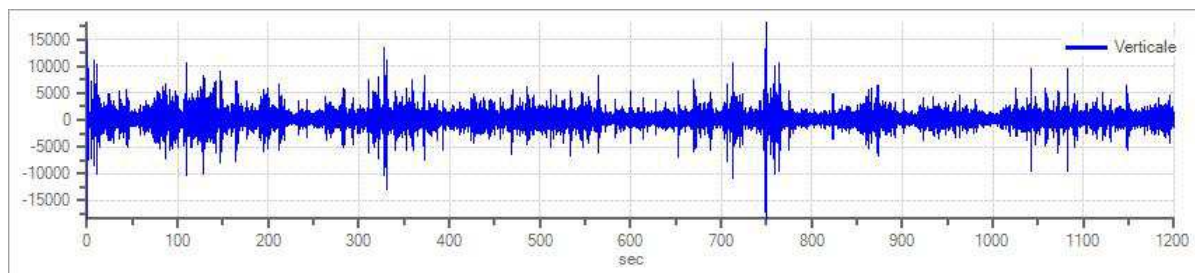
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

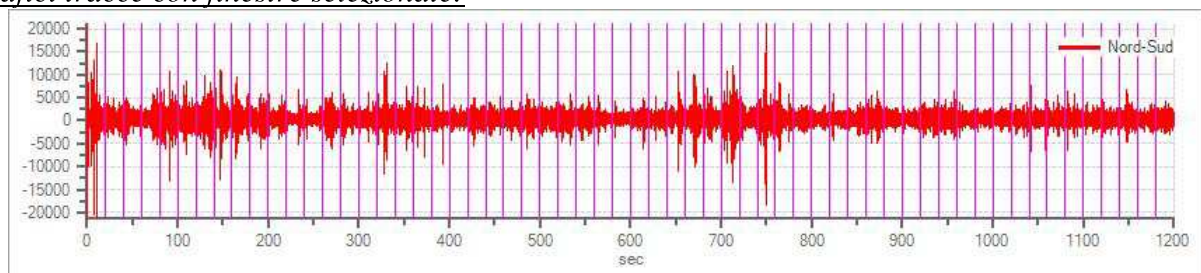
Numero totale finestre selezionate: 53
 Numero finestre incluse nel calcolo: 44
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s
 Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %
 Coefficiente di banda: 20.00

Tabella finestre:

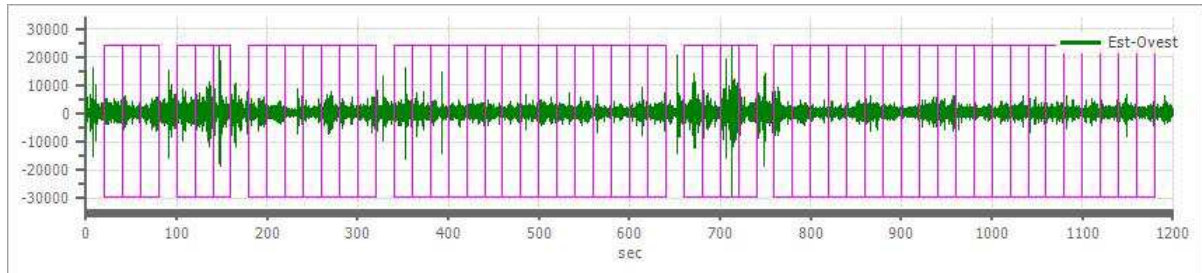
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	20	40	Inclusa
2	40	60	Inclusa
3	60	80	Esclusa
4	100	120	Esclusa
5	120	140	Esclusa
6	140	160	Esclusa
7	180	200	Inclusa
8	200	220	Inclusa
9	220	240	Inclusa
10	240	260	Inclusa
11	260	280	Inclusa
12	280	300	Inclusa
13	300	320	Inclusa
14	340	360	Inclusa
15	360	380	Inclusa
16	380	400	Inclusa

17	400	420	Inclusa
18	420	440	Inclusa
19	440	460	Inclusa
20	460	480	Inclusa
21	480	500	Inclusa
22	500	520	Inclusa
23	520	540	Esclusa
24	540	560	Inclusa
25	560	580	Inclusa
26	580	600	Inclusa
27	600	620	Inclusa
28	620	640	Inclusa
29	660	680	Inclusa
30	680	700	Inclusa
31	700	720	Inclusa
32	720	740	Inclusa
33	760	780	Esclusa
34	780	800	Esclusa
35	800	820	Inclusa
36	820	840	Esclusa
37	840	860	Inclusa
38	860	880	Inclusa
39	880	900	Inclusa
40	900	920	Inclusa
41	920	940	Inclusa
42	940	960	Inclusa
43	960	980	Inclusa
44	980	1000	Inclusa
45	1000	1020	Inclusa
46	1020	1040	Inclusa
47	1040	1060	Esclusa
48	1060	1080	Inclusa
49	1080	1100	Inclusa
50	1100	1120	Inclusa
51	1120	1140	Inclusa
52	1140	1160	Inclusa
53	1160	1180	Inclusa

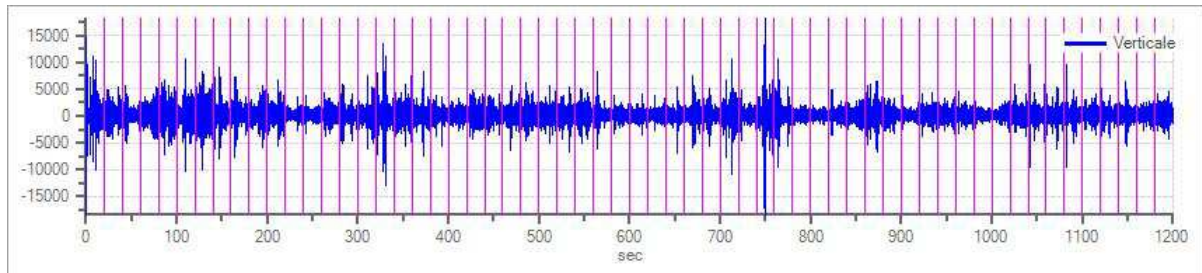
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

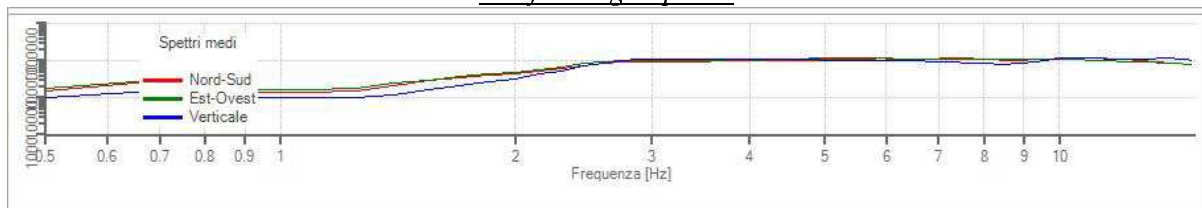


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

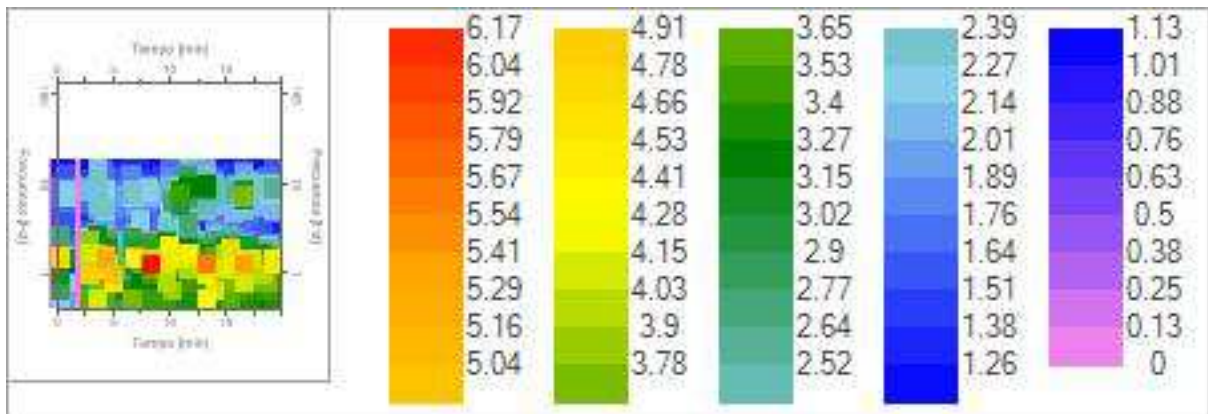


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

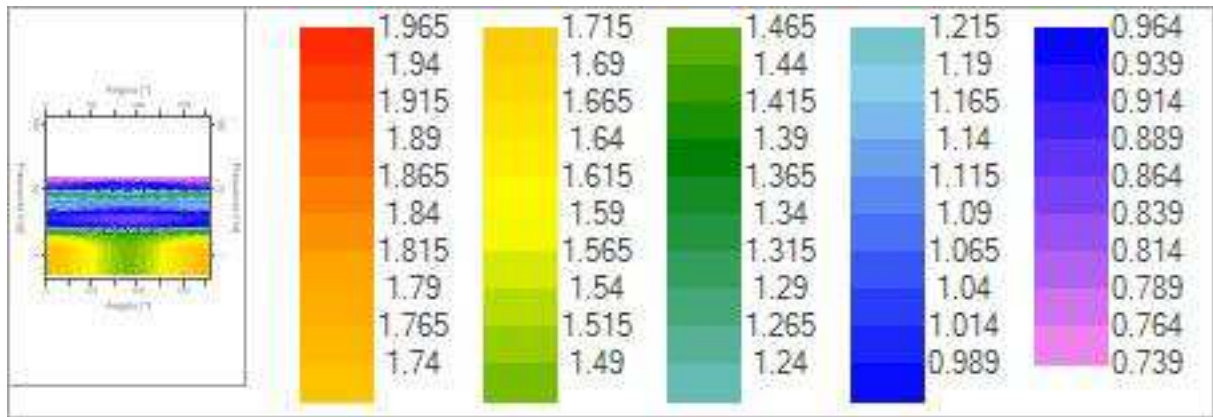
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mapa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

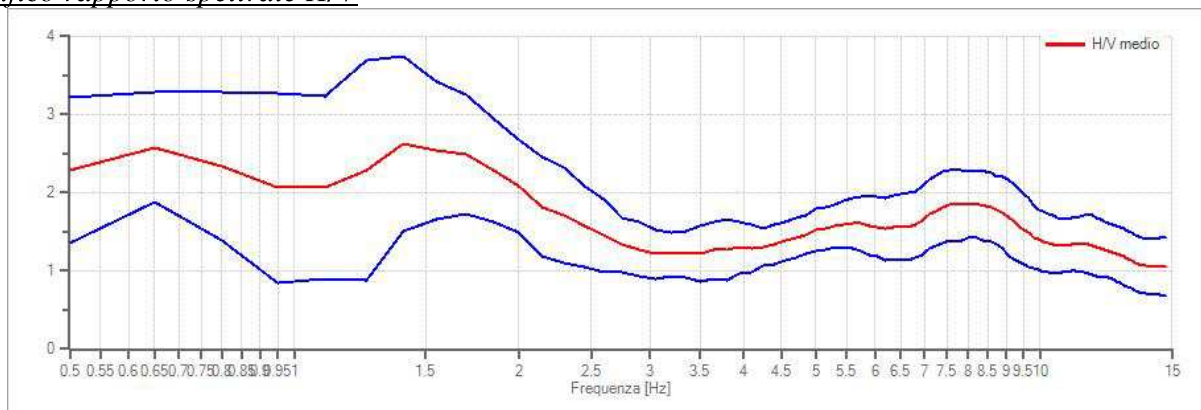
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenze: 0.15 Hz
 Tipo lisciamento:: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.40 Hz \pm 0.43 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok

$$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$$

$$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$$

$$A_0 > 2$$

$$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$$

$$\sigma_f < \varepsilon(f)$$

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

Non superato

Ok

Ok

Non superato

Non superato

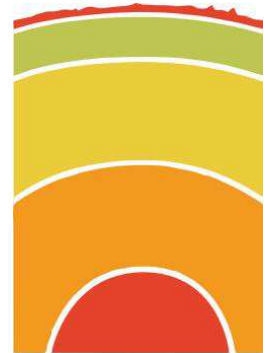
Ok

Indice

Cenni tecnica HVSR	.2
Dati generali	.3
Tracce in input	.3
Grafici tracce	.3
Finestre selezionate	.4
Tabella finestre	.4
Grafici tracce con finestre selezionate	.5
Grafici degli spettri	.6
Mappa stazionarietà	.6
Mappa direzionalità	.6
Rapporto spettrale H/V	.7
Grafico H/V	.7
Verifiche SESAME	.7
Indice	.8

STUDIO DI GEOLOGIA **GEOAPP**

Corso Repubblica 142
56043 Fauglia (PI)
Tel. e Fax 050/650797
Web www.geoappgeologia.com



Microzonazione Sismica di 2° Livello – Comune di Palaia (PI)

Indagine sismica HVSR

(Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

COMMITTENTE: COMUNE DI PALAIA (PI)

LOCALITÀ: PALAIA (PI)

DATA INDAGINE: 12 LUGLIO

DATA ELABORAZIONE: 14 LUGLIO

Acquisizione ed elaborazione:

Dott.ssa Geol. Melissa Brogi

Timbro e firma:



Melissa Brogi

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate. Nel caso specifico, per effettuare la misura di rumore è stata utilizzata la strumentazione "Echo Tromo 3" di AMBROGEO. Tale strumentazione è costituita da uno strumento tridimensionale munito di tre punte da infiggere nel terreno (ciascuna delle punte è riferita a 3 direzioni diverse: N-S, E-W, profondità), e da un sismografo di registrazione ad esso collegato in cui si misurano e archiviano i dati registrati. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti. In fase di elaborazione, è stato utilizzato il *software* di GEOSTRU "Easy HVSR" per l'analisi dei dati raccolti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamiento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di

confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .

Dati generali

Ubicazione del sito: Palaia (PI) – loc. Forcoli, via A Meucci.

- 43,6009 N.
- 10,7055 E.

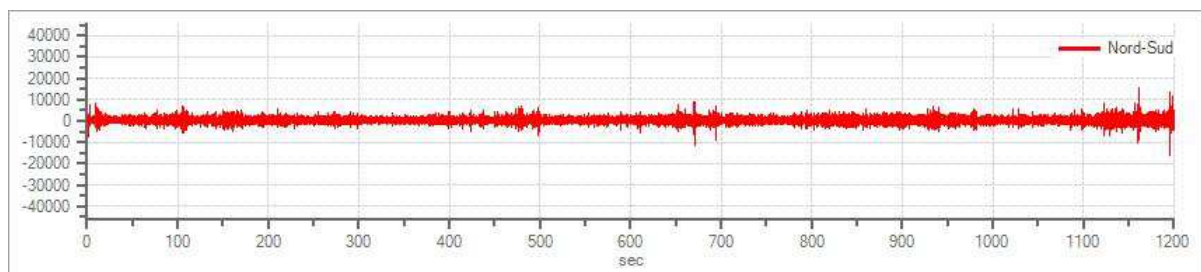


Tracce in input

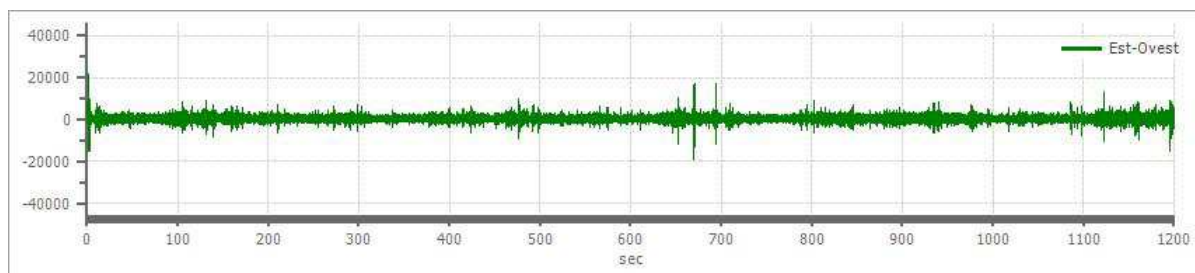
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	172.00 Hz
Numero campioni:	206400
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

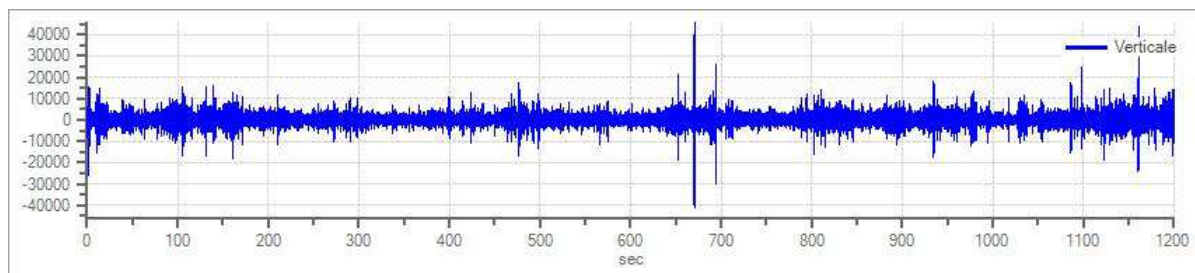
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

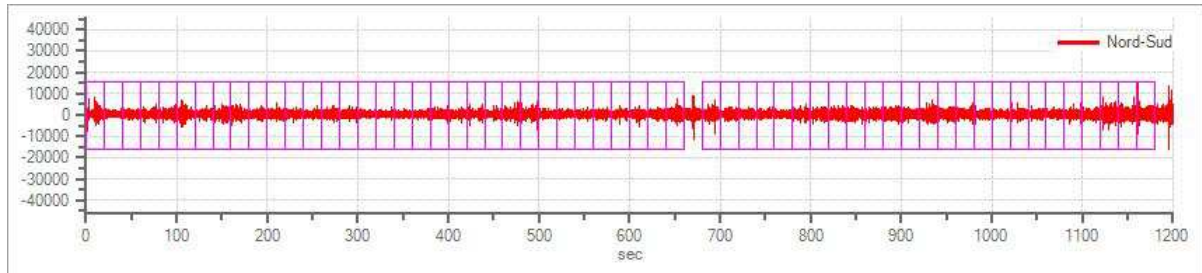
Numero totale finestre selezionate: 58
 Numero finestre incluse nel calcolo: 50
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s
 Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %
 Coefficiente di banda: 20.00

Tabella finestre:

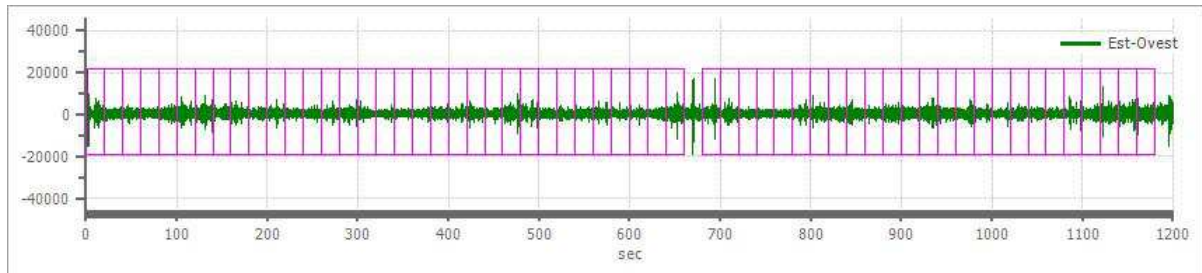
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Esclusa
2	20	40	Esclusa
3	40	60	Esclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Inclusa
12	220	240	Inclusa
13	240	260	Inclusa
14	260	280	Inclusa
15	280	300	Inclusa
16	300	320	Inclusa

17	320	340	Inclusa
18	340	360	Inclusa
19	360	380	Inclusa
20	380	400	Inclusa
21	400	420	Inclusa
22	420	440	Inclusa
23	440	460	Inclusa
24	460	480	Inclusa
25	480	500	Esclusa
26	500	520	Esclusa
27	520	540	Inclusa
28	540	560	Inclusa
29	560	580	Inclusa
30	580	600	Inclusa
31	600	620	Inclusa
32	620	640	Inclusa
33	640	660	Inclusa
34	680	700	Inclusa
35	700	720	Inclusa
36	720	740	Inclusa
37	740	760	Inclusa
38	760	780	Inclusa
39	780	800	Inclusa
40	800	820	Inclusa
41	820	840	Inclusa
42	840	860	Inclusa
43	860	880	Inclusa
44	880	900	Inclusa
45	900	920	Inclusa
46	920	940	Inclusa
47	940	960	Inclusa
48	960	980	Esclusa
49	980	1000	Inclusa
50	1000	1020	Inclusa
51	1020	1040	Inclusa
52	1040	1060	Inclusa
53	1060	1080	Inclusa
54	1080	1100	Inclusa
55	1100	1120	Inclusa
56	1120	1140	Esclusa
57	1140	1160	Esclusa
58	1160	1180	Inclusa

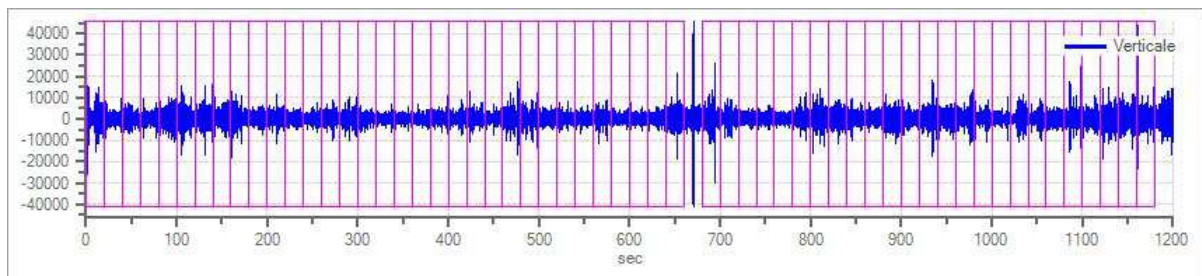
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

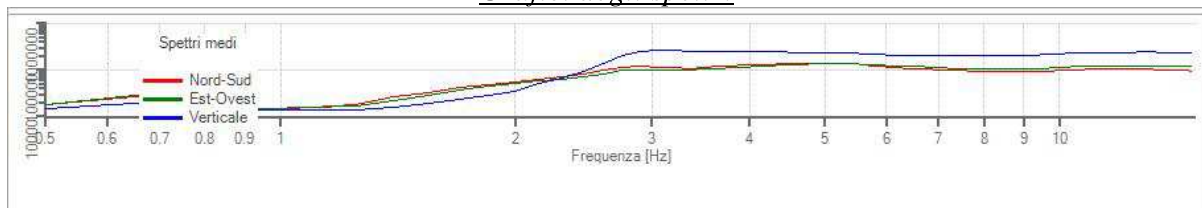


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

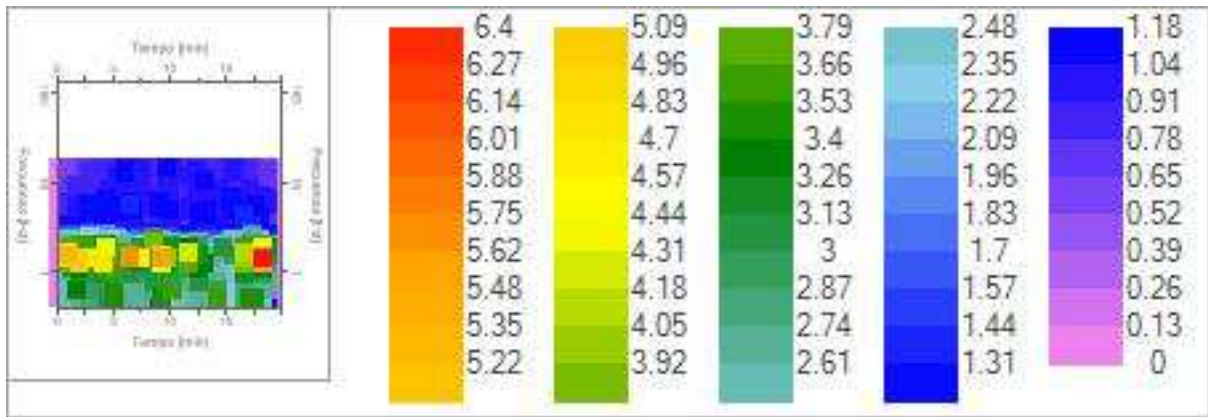


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

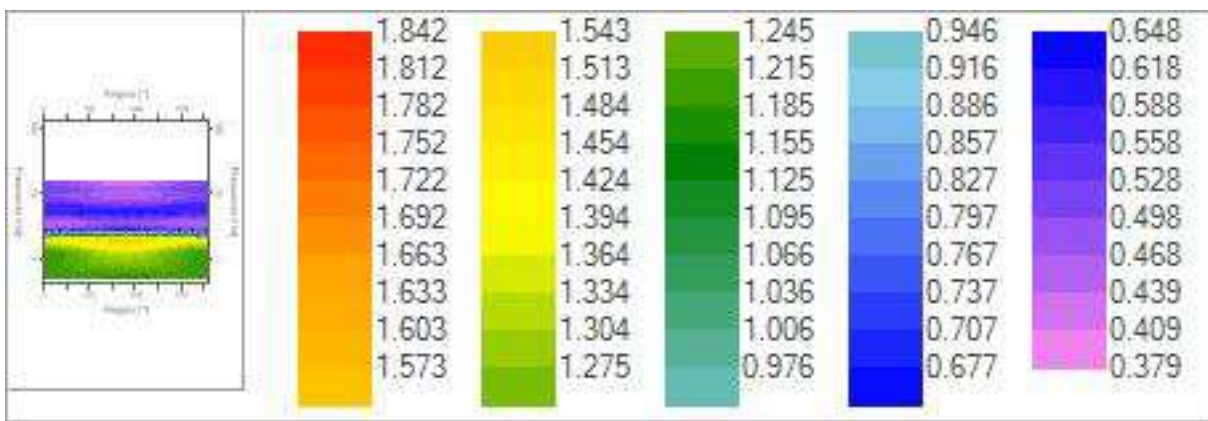
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

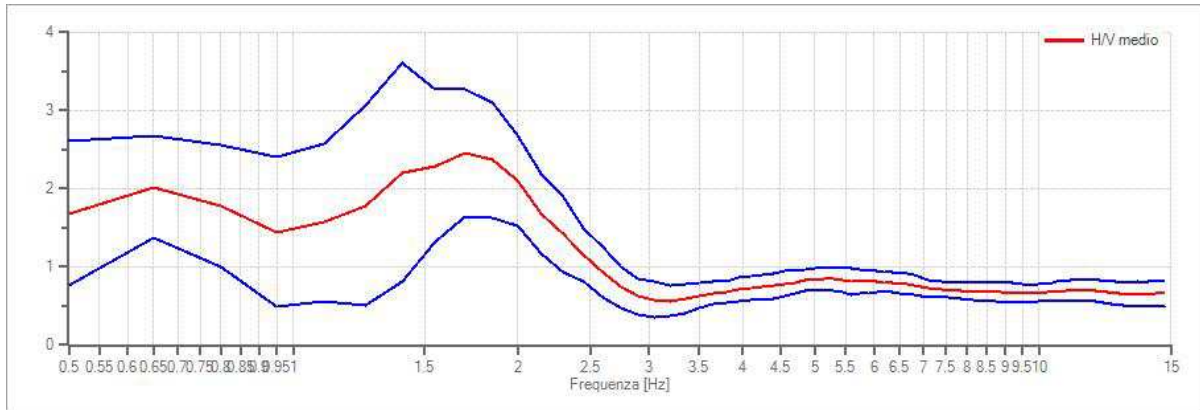
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	15.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.70 Hz \pm 0.33 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

