

CITTA' DI MASSA MARITTIMA

## **PIANO OPERATIVO COMUNALE**

Articolo 95 L.R. n. 65/2014

### **Studio Geologico di Supporto**

D.P.G.R. 5/R/2020



<i>Sindaco/Assessore all'Urbanistica:</i>	<i>Marcello Giuntini</i>
<i>Responsabile del Procedimento:</i>	<i>Antonio Guerrini</i>
<i>Garante dell'Informazione e della Partecipazione:</i>	<i>Laura Rapezzi</i>
<i>Gruppo di Progettazione:</i>	<i>Stefano Giommoni Antonio Guerrini Alessandra Contino</i>
<i>Informatizzazione/G.I.S.:</i>	<i>Lorenzo Fanciulletti</i>
<i>Fattibilità geologica, sismica e idraulica:</i>	<i>Fabrizio Fanciulletti</i>

---

## **G01 RELAZIONE GEOLOGICA ILLUSTRATIVA**

**ai sensi del D.P.G.R. 5/R/2020**

Aprile 2023

---

Adozione:	Delib. C.C. n.
Controdeduzioni:	Delib. C.C. n.
Approvazione:	Delib. C.C. n.



## Sommario

1. Premessa.....	5
2. Definizione della pericolosità sismica di base dell'area.....	7
3. Inquadramento geologico strutturale.....	7
3.1 Inquadramento geologico regionale.....	8
3.2 Assetto geologico strutturale locale: la Toscana meridionale.....	9
4. Carte di pericolosità geologica ed idraulica.....	10
4.1 Aree ed elementi esposti a fenomeni geologici (Tav. G02).....	10
4.2 Aree ed elementi esposti a fenomeni alluvionali (Tav. G03).....	11
5. Dati di base per la Microzonazione Sismica (Tav. G04).....	12
6. Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT-MS) (Tav. G05) .....	14
7. Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS di 1° Livello) (Tav. G06).....	15
7.1 Considerazione sulla liquefazione dinamica.....	18
8. Microzonazione Sismica di 2° Livello (MS di 2° Livello) (Tav. G07).....	18
9. Pericolosità Sismica Locale (Tav. G08).....	20
10. Vulnerabilità Sismica di 1° Livello (VS di 1° Livello) (Tav. G09) .....	22
11. Esposizione Sismica di 1° Livello (ES di 1° Livello) (Tav. G10) .....	23
12. Rischio Sismico (RS) (Tav. G11) .....	24
13. Vulnerabilità della Falda (Tav. G12) .....	25
APPENDICI .....	27



## 1. Premessa

Il presente studio sintetizza i risultati delle indagini geologiche di supporto al Piano Operativo del Comune di Massa Marittima, in Provincia di Grosseto.

Lo studio è redatto in ottemperanza al D.P.G.R. 5/R/2020, allegato A (“*Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche*”) ed allegato 1 (“*Criteri per la valutazione dei fattori di rischio sismico*”). La presente relazione (elaborato G01) è parte integrante degli elaborati cartografici allegati al quadro conoscitivo di seguito elencati:

- Tav. G02 - Carta delle aree ed elementi esposti a fenomeni geologici;
- Tav. G03 - Carta delle aree ed elementi esposti a fenomeni alluvionali;
- Tav. G04 - Carta dei Dati di Base per la Microzonazione Sismica;
- Tav. G05 - Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT-MS);
- Tav. G06 - Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS 1° Liv.);
- Tav. G07 - Carta della Microzonazione Sismica di Secondo Livello (MS 2° Liv.);
- Tav. G08 - Carta della Pericolosità Sismica Locale;
- Tav. G09 - Carta della Vulnerabilità Sismica di Primo Livello (VS 1° Liv.);
- Tav. G10 - Carta della Esposizione Sismica di Primo Livello (ES 1° Liv.);
- Tav. G11 - Carta del Rischio Sismico (RS);
- Tav. G12 - Carta della Vulnerabilità della Falda con previsioni;

Il presente studio recepisce ed integra i dati disponibili per il territorio, ed in particolare si precisa quanto segue:

- La cartografia topografica di base, utilizzata per la redazione degli elaborati, è costituita dalla CTR alla scala 1:2000 e dalla CTR alla scala 1:10000 della Regione Toscana;
- Per quanto riguarda la cartografia di base (Carta Geologica, Geomorfologica, Litotecnica, Permeabilità e delle Pendenze) si fa riferimento agli elaborati geologici allegati al Piano Strutturale Intercomunale di Massa Marittima, Monterotondo Marittimo e Montieri;
- La definizione delle pericolosità tiene conto del quadro proposto dagli strumenti sovraordinati redatti dall’Autorità di Bacino Distrettuale - Distretto Appennino Settentrionale (PAI frane Toscana Costa - Valdarno Inferiore e Costa, PGRA), opportunamente integrato ed aggiornato. In particolare, il quadro di pericolosità geomorfologica di PAI è stato aggiornato con Det. Dir. N. 40 del 16.10.2020.

La cartografia relativa alla pericolosità geologica ed idraulica, nonché alla vulnerabilità delle falde, è stata recepita dagli elaborati allegati al Piano Strutturale Intercomunale di Massa Marittima, Monterotondo Marittimo e Montieri, depositati con n. 1375 in data 14/09/2020 presso il Genio Civile Toscana Sud e con n. 442 in data 21/09/2020 presso il Genio Civile Valdarno Inferiore e successivamente validati dagli stessi Enti: il PSI è stato adottato dal Comune di Massa Marittima con Del. C.C. n. 4 del 25.03.2021, approvato con Del. C.C. n. 69 del 14.12.2022 ed è entrato in vigore il 09.03.2023.

Tutte le tavole (ad eccezione di quelle necessarie alla definizione del Rischio Sismico), sono state redatte per i perimetri del territorio urbanizzato e per le aree di nuova previsione nel territorio rurale. Le mappe di Vulnerabilità, Esposizione e Rischio Sismico (TAV. G09, TAV.G10 e TAV.G11) sono state invece redatte soltanto all’interno del territorio urbanizzato, in ottemperanza a quanto previsto dal D.P.G.R. 5/R/2020.

Le condizioni di Fattibilità sono definite ed esplicitate, per tutte le previsioni urbanistiche fornite dall’Amministrazione, nelle norme di piano.

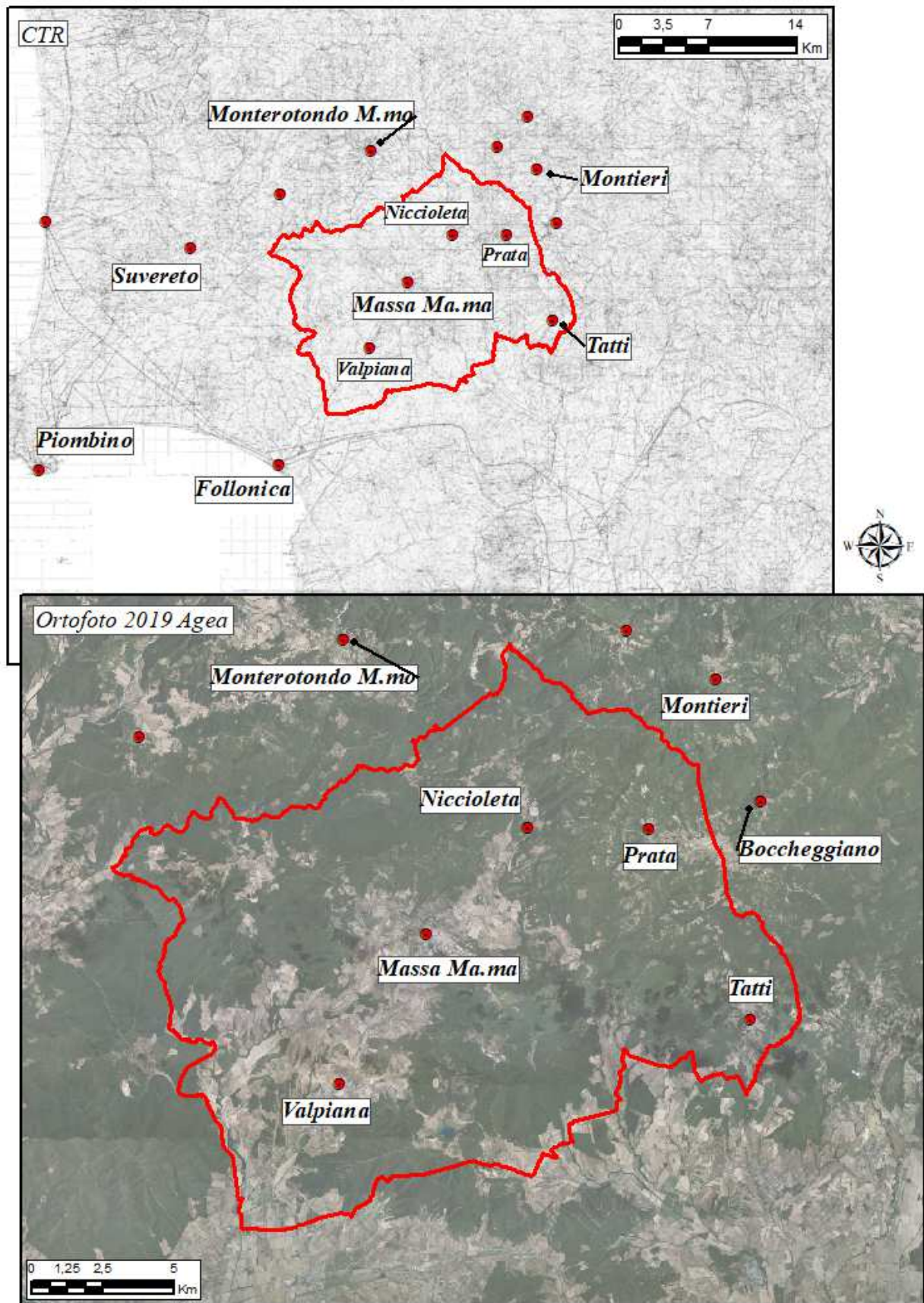


Figura 1 - Inquadramento area di indagine su CTR ed Ortofoto - Geoscopio/RT (in rosso il comune di Massa Marittima)

## 2. Definizione della pericolosità sismica di base dell'area

In ottemperanza alla riclassificazione sismica dei comuni della Regione Toscana operata dalla Del. G.R. n°421 del 26.05.2014, che recepisce ed applica quanto previsto dalla O.P.C.M. 3274/03, aggiornata dalla O.P.C.M. 3519/06, al comune di Massa Marittima viene assegnata una classe di sismicità media (Zona 3), a cui corrisponde una accelerazione massima al suolo di 0.15 g. Tale classificazione costituisce la pericolosità sismica di base, ovvero fornisce i valori di accelerazione massima al suolo, attesi con una eccedenza del 10% su un tempo di ritorno di 50 anni, riferita a substrato sismico ( $V_s \geq 800\text{m/s}$ ) affiorante in condizioni sub-orizzontali.

Per quanto riguarda la pericolosità sismica locale, questa rappresenta una misura dello scuotimento al sito, che può differire sensibilmente dallo scuotimento di base in relazione alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche locali. La pericolosità sismica locale viene ricavata sulla base dell'analisi dei fattori di amplificazione del moto sismico (fattori litologico-strutturali, sismo-stratigrafici e morfologici) e di liquefazione, attraverso studi dedicati.

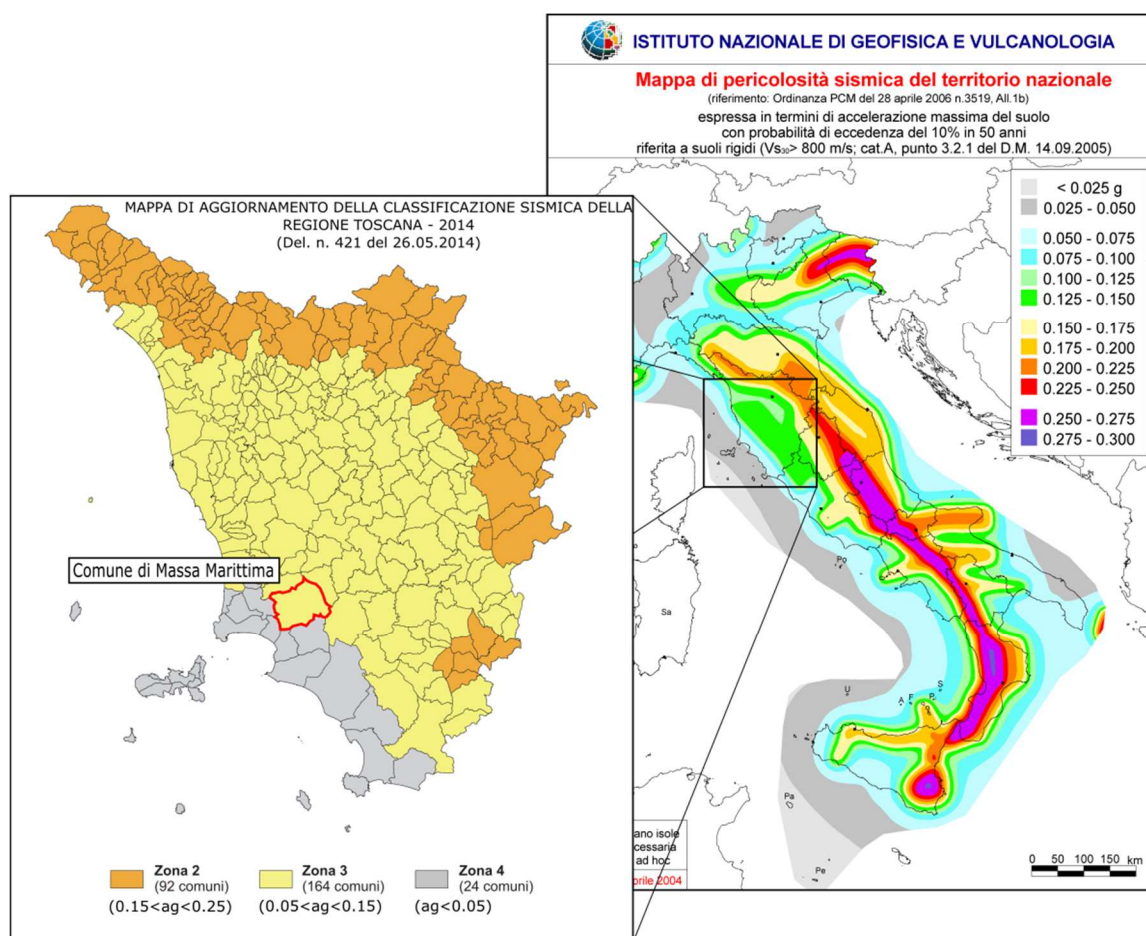


Figura 2 - Mappa della pericolosità sismica di base della Regione Toscana

## 3. Inquadramento geologico strutturale

Per quanto riguarda i dati geologico-strutturali del territorio in esame, si fa riferimento agli elaborati geologici allegati al Piano Strutturale Intercomunale di Massa Marittima, Monterotondo Marittimo e Montieri, depositati e validati dagli Enti preposti (Genio Civile Toscana Sud e Valdarno Inferiore), e successivamente adottati e approvati dallo stesso Comune secondo quanto descritto nel paragrafo 1.



### 3.2 Assetto geologico strutturale locale: la Toscana meridionale

L'assetto geologico e tettonico relativo alla Toscana meridionale, se pur molto ricco di dati e lavori dedicati, costituisce ancora ad oggi un argomento molto dibattuto. Il motivo delle difficoltà di convergenza tra i modelli geologici proposti dai vari autori, risiede nelle complicazioni strutturali relative a quest'area ed alle difficili (spesso pessime) condizioni di affioramento delle unità litostatigrafiche.

L'assetto strutturale attuale della Toscana Meridionale è dominato dalle deformazioni legate alla tettonica distensiva post-collisionale che nel Neogene e nel Quaternario ha determinato il collasso e lo smembramento di questo ampio settore della catena nord-appenninica. Recenti studi sul Tirreno settentrionale e sui depositi epiliguri della Toscana Meridionale pongono l'inizio degli eventi deformativi in regime di distensione alla fine del Miocene inferiore (Carmignani *et alii*, 1994; Elter & Sandrelli, 1995). A partire da questo momento sono stati distinti nella Toscana Meridionale due diversi eventi distensivi (Bertini *et alii*, 1991). Durante il primo evento, riferito ad un intervallo di tempo compreso fra il Miocene inferiore ed il Tortoniano superiore, si è verificata una delaminazione della crosta superiore ad opera di faglie dirette a basso angolo e a geometria complessa (Decandia *et alii*, 1993); ne è derivata una situazione geometrica molto caratteristica, nota con il nome di "serie ridotta", che consiste nella elisione di forti spessori di successione stratigrafica e nella diretta ed anomala sovrapposizione delle unità liguri sulla formazione anidritica triassica o addirittura sui termini superiori dell'Unità di Monticiano-Roccastrada. Durante il secondo evento, che è riferito ad un intervallo di tempo compreso fra il Tortoniano superiore ed il Pleistocene medio, si sono sviluppate faglie a geometria listrica che hanno dato origine ad un sistema di fosse tettoniche, subparallele, allungate in direzione NW-SE, la cui apertura non si è verificata contemporaneamente ma è proceduta gradualmente da occidente ad oriente (Costantini *et alii*, 1995 *cum bibl.*).

Nella Toscana Meridionale esiste un'ampia documentazione che attesta che l'evoluzione sedimentaria neogenico-quadernaria è stata in gran parte condizionata da movimenti verticali della crosta, indotti dalla tettonica distensiva postcollisionale, con conseguenti variazioni relative del livello del mare (Bossio *et alii*, 1993). In aggiunta a quanto sopra, occorre ricordare che, agli eventi estensionali registrati in Toscana meridionale, si associa anche la messa in posto di unità magmatiche. Queste unità comprendono rocce plutoniche, ipoabissali, subvulcaniche e vulcaniche di età decrescente da ovest verso est (Civetta *et al.* 1978).

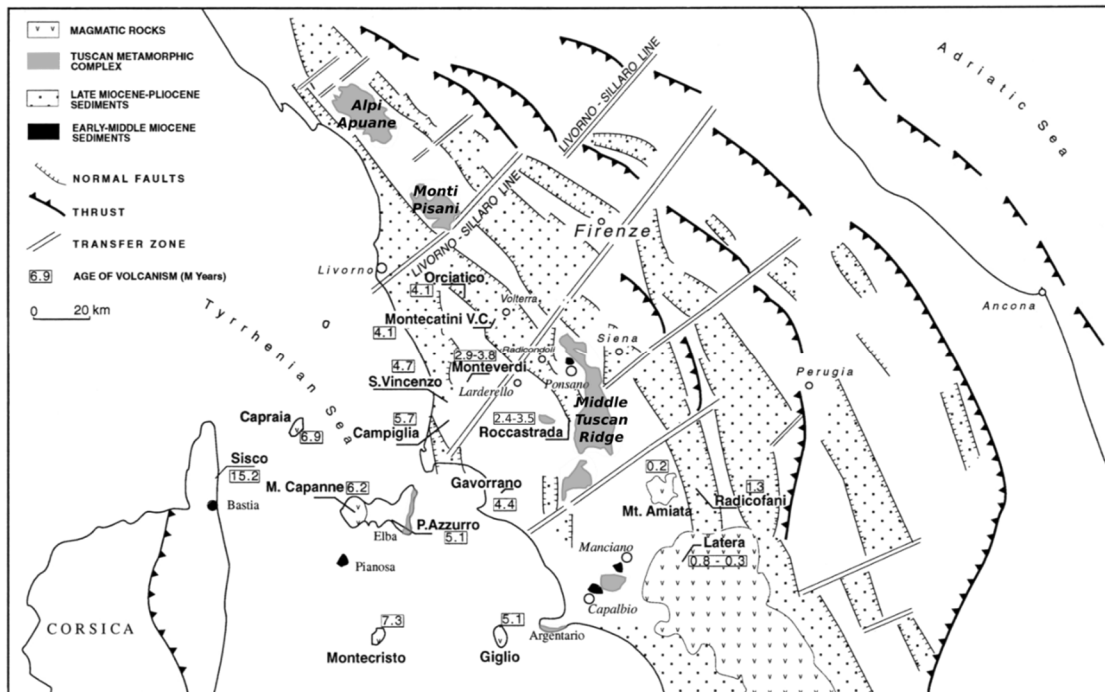


Figura 4 - Schema tettonico dell'appennino settentrionale (modificato da Decandia *et al.*, 2001)

## 4. Carte di pericolosità geologica ed idraulica

Le cartografie della pericolosità geologica ed idraulica sono state recepite, come già descritto nel paragrafo 1 della presente relazione, dagli elaborati geologici allegati al Piano Strutturale Intercomunale di Massa Marittima, Monterotondo Marittimo e Montieri validate a suo tempo dagli Enti Competenti.

### 4.1 Aree ed elementi esposti a fenomeni geologici (Tav. G02)

La carta delle “Aree ed elementi esposti a fenomeni geologici” è stata redatta conformemente a quanto previsto dall’allegato A al D.P.G.R. 5/R/2020, punto 3.1.2, mentre le classi di pericolosità sono state attribuite secondo le definizioni presenti al punto C.1 dello stesso Decreto:

#### **Pericolosità geologica bassa (G.1):**

- ✓ *aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.*

#### **Pericolosità geologica media (G.2):**

- ✓ *aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici inattivi;*
- ✓ *aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto;*
- ✓ *corpi detritici su versanti con pendenze inferiori a 15 gradi.*

#### **Pericolosità geologica elevata (G.3):**

- ✓ *aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione;*
- ✓ *aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico;*
- ✓ *aree interessate da fenomeni di soliflusso, fenomeni erosivi;*
- ✓ *aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche;*
- ✓ *corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15 gradi.*

#### **Pericolosità geologica molto elevata (G.4):**

- ✓ *aree in cui sono presenti fenomeni franosi attivi e relative aree di evoluzione, ed aree in cui sono presenti intensi fenomeni geomorfologici attivi di tipo erosivo.*

In legenda, alla voce “Pericolosità Geologica (D.P.G.R. 5/R/2020)”, sono riportati i tematismi utilizzati per la rappresentazione grafica: bianco e giallo chiaro rispettivamente per “G.1 bassa” e “G.2 media”, mentre con l’arancio viene indicata una “G.3 elevata”, ovvero “[...] instabilità di versante con stato di attività quiescente o indeterminato e corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15 gradi [...]”: le aree a pericolosità geologica “G.4 molto elevata - zone con instabilità attiva” invece, sono campite con il colore rosso.

Contestualmente alla classificazione di pericolosità prevista dal D.P.G.R. 5/R/2020, punto C.1, nel presente studio sono presenti anche i perimetri recepiti dalla cartografia pubblicata da “Distretto Appennino Settentrionale PAI Frane” (fig. 6 - Legenda della “Tav. G02- Aree ed elementi esposti a fenomeni geologici” - b), aggiornata con Decr. Dir. n. 40 del 16.10.2020.

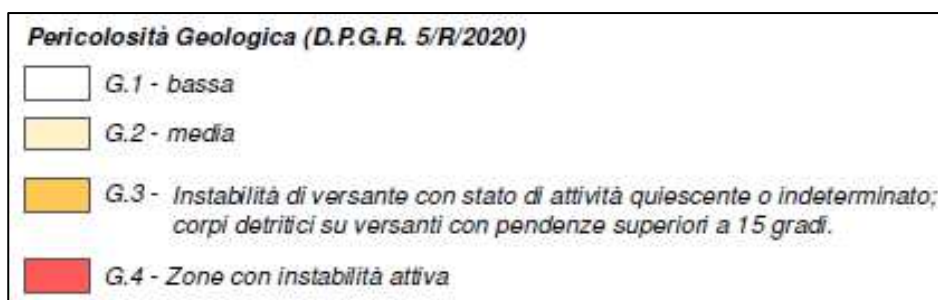


Figura 5 - Legenda della "Tav.G02- Aree ed elementi esposti a fenomeni geologici" (a)

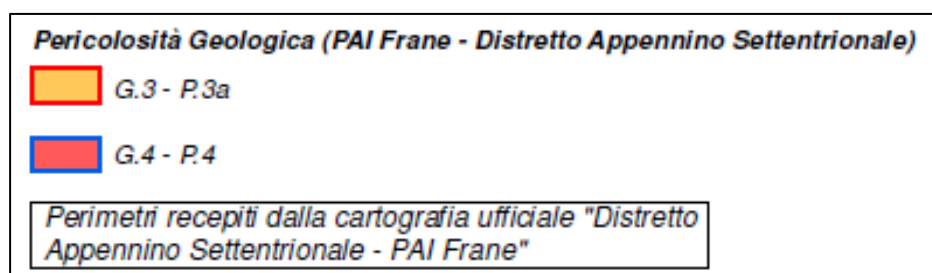


Figura 6 - Legenda della "Tav.POG-02- Aree ed elementi esposti a fenomeni geologici" (b)

Come specificato nella legenda della Tav. G02 di *Aree ed elementi esposti a fenomeni geologici*, e riproposto nelle fig. 5 e 6, il colore di riempimento dei poligoni indica il grado di Pericolosità, mentre il perimetro assegnato determina il tipo di fenomeno associato.

Come osservabile in fig. 6, anche i perimetri di Pericolosità Geologica recepiti dalla cartografia ufficiale "*Distretto Appennino Settentrionale PAI Frane*", sono stati classificati con la medesima colorazione dei poligoni della Pericolosità Geologica da D.P.G.R. 5/R/2020, ma perimetrati in maniera differente, ovvero in rosso la "G.3 - P.3a" ed in blu scuro la "G.4 - P.4".

Nella carta sono riportati ovviamente i perimetri delle aree di trasformazione, edifici strategici, infrastrutture di mobilità, perimetro del territorio urbanizzato quali elementi esposti.

#### 4.2 Aree ed elementi esposti a fenomeni alluvionali (Tav. G03)

La carta delle "*Aree ed elementi esposti a fenomeni alluvionali*" è stata redatta conformemente a quanto previsto dall'allegato A al D.P.G.R. 5/R/2020, punto 3.1.1.

Gli elaborati sono stati interamente recepiti da quelli del PSI di Massa Marittima, Montieri e Monterotondo M.mo validati dagli Uffici del Genio Civile Toscana Sud e Valdarno Inferiore e Costa.

La zonazione della pericolosità idraulica nell'area in esame, in accordo con quanto previsto dal PGRA e dal D.P.G.R. 5/R/2020, è la seguente:

<b>P.G.R.A.</b>	<b>D.P.G.R. 5/R/2020</b>	<b>Tr (Tempo di ritorno)</b>
P.1 (bassa)	P.1 (Aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità)	200 anni < Tr
P.2 (media)	P.2 (Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti)	30 anni < Tr ≤ 200 anni
P.3 (elevata)	P.3 (Aree a pericolosità per alluvioni frequenti)	Tr ≤ 30 anni

La cartografia di pericolosità idraulica è stata completata con il reticolo idrografico significativo aggiornato alla D.C.R. n. 103 del 06.12.2022.

Nella carta sono riportati ovviamente i perimetri delle aree di trasformazione, edifici strategici, infrastrutture di mobilità, perimetro del territorio urbanizzato quali elementi esposti.

## 5. Dati di base per la Microzonazione Sismica (Tav. G04)

Nella Tavola G04 sono ubicate sia le indagini geologico-tecniche (*puntuali*) che le indagini geofisiche (*puntuali e lineari*) eseguite nell'area in esame per la redazione della cartografia di Microzonazione Sismica riportata in Tav. G05, Tav. G06, Tav. G07 e Tav. G08.

Di seguito si riporta l'elenco delle indagini rappresentate in carta. Le indagini geofisiche eseguite, in supporto allo studio di microzonazione sismica, sono riportate in allegato alla presente; i sondaggi utilizzati per la redazione degli elaborati di microzonazione sono quelli in possesso della Pubblica Amministrazione e dei competenti organi di controllo.

### INDAGINI PUNTUALI

#### *Indagini di sismica passiva HVSR*

<i>Nome in Tav.G04</i>	<i>Descrizione - Località</i>	<i>Anno</i>
<i>HV22 - HV27</i>	<i>Variante Urbanistica - "Briar Pipes" - Massa M.ma</i>	<i>2017</i>
<i>HV28 - HV30</i>	<i>Lesioni fabbricato - Avellini - Massa Marittima</i>	<i>2018</i>
<i>HV38 - HV42</i>	<i>PSI Massa Marittima - Montieri - Monterotondo Marittimo</i>	<i>2018</i>
<i>HV94</i>	<i>PSI Massa Marittima - Montieri - Monterotondo Marittimo</i>	<i>2018</i>
<i>HV97 - HV98</i>	<i>PSI Massa Marittima - Montieri - Monterotondo Marittimo</i>	<i>2018</i>
<i>HV107</i>	<i>PSI Massa Marittima - Montieri - Monterotondo Marittimo</i>	<i>2018</i>
<i>HV109</i>	<i>PSI Massa Marittima - Montieri - Monterotondo Marittimo</i>	<i>2018</i>
<i>HV130</i>	<i>Integrazioni PSI Massa Ma.ma - Montieri - Monterotondo M.mo</i>	<i>2021</i>
<i>HV132 - HV134</i>	<i>Integrazioni PSI Massa Ma.ma - Montieri - Monterotondo M.mo</i>	<i>2021</i>
<i>HVMa1</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2022</i>
<i>HVGh1 - HVGh2</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2022</i>
<i>HVVa1 - HVVa3</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2022</i>
<i>HVPr1 - HVPr2</i>	<i>Variante Urbanistica - Scuole Prata</i>	<i>2022</i>
<i>HVM1</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2023</i>
<i>HVC1</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2023</i>

#### *Penetrometria dinamica media (M=30Kg)*

<i>Nome in Tav.G04</i>	<i>Descrizione - Località</i>	<i>Anno</i>
<i>DM16 - DM17</i>	<i>Passerella Mura storiche - Massa Marittima</i>	<i>2015</i>
<i>DM18 - DM19</i>	<i>Ampliamento immobile - Tatti</i>	<i>2017</i>
<i>DM4 - DM8</i>	<i>Ampliamento Cimitero - Massa Marittima</i>	<i>1997</i>
<i>DLGh1 - DLGh2</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2022</i>
<i>DLVa2 - DLVa3</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2022</i>

#### *Penetrometria dinamica superpesante (M=63.5Kg)*

<i>Nome in Tav.G04</i>	<i>Descrizione - Località</i>	<i>Anno</i>
<i>DPSH11 - DPSH12</i>	<i>Ampliamento Cimitero - Massa Marittima</i>	<i>2010</i>
<i>DPSH13</i>	<i>Dissesto versante mattatoio - CGT - Massa Marittima</i>	<i>2010</i>
<i>DPSH14 - DPSH15</i>	<i>Rete Gas "Toscana Energia" - Niccioleta</i>	<i>2010</i>
<i>DPSH25 - DPSH30</i>	<i>Ampliamento Cimitero - Massa Marittima</i>	<i>2016</i>

**Sondaggio meccanico con escavatore**

Nome in Tav.G04	Descrizione - Località	Anno
Sg8 - Sg9	Costruzione Tettoia - Niccioleta	2020

**Sondaggio a carotaggio continuo**

Nome in Tav.G04	Descrizione - Località	Anno
S11	Accessibilità mura Massa Ma.ma	2021

**Sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di campione**

Nome in Tav.G04	Descrizione - Località	Anno
Sc4	Ampliamento - Geol.Orlandini - Massa Marittima	2009

**Sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di campione, attrezzato con canna inclinometrica**

Nome in Tav.G04	Descrizione - Località	Anno
Scinc1 - Scinc2	Dissesto versante mattatoio - CGT - Massa Marittima	2004
Scinc3 - Scinc4	Verifica stabilità versante - via Massetana Nord 21 - Massa Ma.ma	2019
Scinc5 - Scinc7	Verifica stabilità versante NW - Massa Ma.ma	2019

**Sondaggio a distruzione di nucleo, attrezzato con canna inclinometrica**

Nome in Tav.G04	Descrizione - Località	Anno
Sninc1 - Sninc2	Dissesto versante mattatoio - CGT - Massa Marittima	2015
Sninc3	Verifica stabilità versante - via Massetana Nord 21 - Massa Ma.ma	2019
Sninc4	Verifica stabilità versante NW - Massa Ma.ma	2019

**Sondaggio a distruzione di nucleo, attrezzato a piezometro**

Nome in Tav.G04	Descrizione - Località	Anno
Snp3 - Snp4	Dissesto versante mattatoio - CGT - Massa Marittima	2004
Snp5 - Snp6	Verifica stabilità versante NW - Massa Ma.ma	2019

**Sondaggio a carotaggio continuo, attrezzato a piezometro**

Nome in Tav.G04	Descrizione - Località	Anno
Sp3 - Sp4	Dissesto versante mattatoio - CGT - Massa Marittima	2015
Sp9	Verifica stabilità versante NW - Massa Ma.ma	2019

**INDAGINI LINEARI****Elettrotomografia**

Nome in Tav.G04	Descrizione - Località	Anno
ERT1 - ERT3	Dive System - Valpiana	2005
ERT10 - ERT11	Studio per lesioni immobile sito in via Boito - Massa M.ma	2010
ERT27	Ampliamento Cimitero - Massa Marittima	2015

**Indagine sismica con metodologia MASW**

Nome in Tav.G04	Descrizione - Località	Anno
MW4	Ampliamento Cimitero - Massa Marittima	2010
MW10 - MW11	Dissesto versante mattatoio - CGT - Massa Marittima	2015
MW12	Rete Gas "Toscana Energia" - Niccioleta	2010
MW21	Passerella Mura storiche - Massa Marittima	2015
MW26	Ampliamento immobile - Tatti	2017
MW39	Integrazioni PSI Massa Ma.ma - Montieri - Monterotondo M.mo	2021
MW40	Costruzione Tettoia - Niccioleta	2020

<i>MW41</i>	<i>Integrazioni PSI Massa Ma.ma - Montieri - Monterotondo M.mo</i>	<i>2021</i>
<i>MW44</i>	<i>Accessibilità mura Massa Marittima</i>	<i>2021</i>
<i>MW46</i>	<i>Integrazioni PSI Massa Ma.ma - Montieri - Monterotondo M.mo</i>	<i>2021</i>
<i>MW50</i>	<i>Lesioni fabbricato - Avellini - Massa Marittima</i>	<i>2018</i>
<i>MW51</i>	<i>PSI Massa Marittima - Montieri - Monterotondo Marittimo</i>	<i>2018</i>
<i>MW52</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2022</i>
<i>MW53</i>	<i>PSI Massa Marittima - Montieri - Monterotondo Marittimo</i>	<i>2018</i>
<i>MWC1</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2023</i>
<i>MWM1</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2023</i>
<i>MWGh1</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2022</i>
<i>MWVa2 - MWVa3</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2022</i>
<i>MWMa1</i>	<i>PO Massa Marittima</i>	<i>2022</i>

### ***Sismica a rifrazione in onde P***

<i>Nome in Tav.G04</i>	<i>Descrizione - Località</i>	<i>Anno</i>
<i>SrP1 - SrP2</i>	<i>Dive System - Valpiana</i>	<i>2005</i>
<i>SrP21 - SrP24</i>	<i>Studio per lesioni immobile sito in via Verdi - Massa M.ma</i>	<i>2010</i>
<i>SrP27 - SrP28</i>	<i>Lesioni fabbricato - Avellini - Massa Marittima</i>	<i>2018</i>
<i>SrP39</i>	<i>PSI Massa Marittima - Montieri - Monterotondo Marittimo</i>	<i>2019</i>
<i>SrP41 - SrP42</i>	<i>PSI Massa Marittima - Montieri - Monterotondo Marittimo</i>	<i>2019</i>

## **6. Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT-MS) (Tav. G05)**

Sulla base di quanto riportato nelle linee guida ICMS (*Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*, redatto a cura della Protezione Civile nel 2008), nelle “Linee guida per la realizzazione della carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica” e negli “Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica” (versione 4.2, Dicembre 2020), è stata redatta la “Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica” (CGT-MS - Tav. G05).

La Carta Geologico-Tecnica (CGT-MS) è il prodotto che sintetizza l'insieme delle informazioni geologiche, geomorfologiche, strutturali e idrogeologiche, e permette la definizione del modello geologico di sottosuolo: in estrema sintesi, i dati riportati nella CGT-MS sono necessari alla definizione di un modello di sottosuolo funzionale, in una prima fase, alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, (Carta delle MOPS di 1° Livello - Tav. G06) ed alla ricostruzione della stratigrafia di ognuna delle “Zone stabili suscettibili di amplificazione locale”.

In seguito, lo stesso modello, sarà utilizzato per l'esecuzione delle analisi richieste per la stesura delle Carte di MS di 2° Livello (Tav. G07).

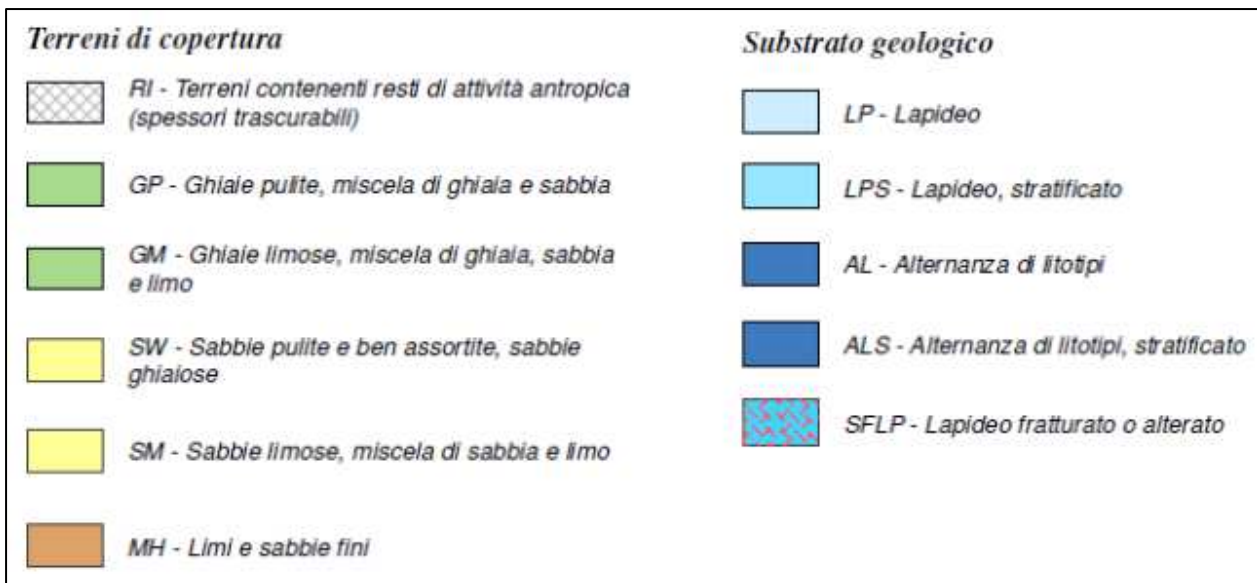


Figura 7 - Legenda della Tav.G05 delle CGT-MS; a sx la differenziazione dei “Terreni di copertura”, mentre a dx quella del “Substrato Geologico”

## 7. Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS di 1° Livello) (Tav. G06)

La carta MOPS individua le microzone ove è prevedibile l’occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall’azione sismica (amplificazioni, cedimenti differenziali, instabilità di versante, liquefazione, ecc.), sulla base di osservazioni geologiche, geomorfologiche, della valutazione di dati litostratigrafici pregressi e per mezzo della campagna geofisica effettuata.

La redazione è conforme alle linee guida fornite dalla Protezione Civile “*Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*” (ICMS, 2008) ed ai successivi aggiornamenti degli Standard di Rappresentazione ed Archiviazione informatica dei dati (versione 4.2 - Dicembre 2020), nonché alle “*Specifiche Tecniche regionali per l’elaborazione di indagini e studi di Microzonazione Sismica (agg. 02/10/2018) - Edizione n. 6 D.G.R.T. n. 1162/2018*”.

Il presente studio permette di classificare il territorio in tre tipi di zone per le quali si attende un comportamento omogeneo alle sollecitazioni di natura sismica:

- ✓ **Zone stabili:** zone in cui il moto sismico non viene amplificato rispetto alle condizioni di “roccia rigida o pianeggiante”. Comprendono quelle zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura ed aventi substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) affiorante o sub-affiorante.
- ✓ **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:** aree in cui sono attese amplificazioni rispetto al caso ideale (pericolosità di base), dovute a cause litostratigrafiche e/o geomorfologiche. All’interno di questa zona sono state definite delle sottozone con caratteristiche litologico-tecniche e sismo-stratigrafiche omogenee.
- ✓ **Zone di attenzione (ZA) per instabilità:** aree in cui sono presenti, o suscettibili di attivazione, fenomeni di deformazione permanente del territorio, indotti o innescati dal sisma. Sono comprese in questa zona, nell’area di interesse:
  - **cedimenti differenziali**, individuabili al contatto fra terreni con competenza diversa con un buffer di 10 metri a cavallo dei contatti stessi (**ZAcD**);

- fenomeni di *instabilità di versante*, ovvero tutte quelle aree che sono soggette a dissesti geomorfologici in atto o di cui non è definibile lo stato di attività (*ZAfr*);
- fenomeni di *liquefazione*, che interessano i depositi sabbiosi saturi per effetto di un rapido e significativo aumento della pressione interstiziale, che può essere indotto da fenomeni di filtrazione o da un evento sismico (*ZAlq*);
- *sovrapposizione di instabilità differenti* (*ZAid*).

Di seguito sono descritte le peculiarità riscontrate nell'area studiata, con riferimento alla cartografia riportata in Tav. G06.

### Zone Stabili e Zone Stabili suscettibili di amplificazione locale

Nel territorio in esame sono state individuate zone stabili con substrato rigido in affioramento (per substrato rigido si intende “substrato sismico” con  $V_s > 800$  m/s). Queste, nell'area di interesse della Microzonazione Sismica, si possono suddividere in “zone stabili con substrato lapideo” e “zone stabili con substrato formato da alternanza di litotipi”.

Di seguito sono elencate le unità litostratigrafiche che le compongono, e delle quali si può trovare una descrizione completa nel paragrafo “2.3 Assetto Stratigrafico” della “*Relazione Geologica Illustrativa*” allegata al Piano Strutturale Intercomunale di Massa Marittima, Monterotondo Marittimo e Montieri;

#### *Zone stabili con substrato lapideo:*

- ✓ Travertini e Calcari continentali (VILt)
- ✓ Macigno (MAC)
- ✓ Calcare Cavernoso (CCA)

#### *Zone stabili con substrato formato da alternanza di litotipi:*

- ✓ Argille a Palombini (APA - APAb)
- ✓ Scaglia Toscana (STO)

La profondità e la geometria del substrato sismico sono state definite sulla base delle risultanze della campagna geofisica eseguita ad hoc e descritta in appendice alla presente, delle indagini geognostiche e geofisiche già a disposizione degli scriventi e per mezzo dei dati di letteratura, come ad esempio le “*Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000 - Foglio 306 Massa Marittima*”.

Per quanto riguarda le “*zone stabili suscettibili di amplificazione locale*”, vi sono state inserite tutte le aree caratterizzate dalla presenza di *depositi alluvionali e depositi alluvionali terrazzati* (quaternario), nonché i *depositi continentali villafranchiani* (sabbie e limi) ed i *depositi lacustri e lagunari post-evaporitici messiniani*.

Sono stati inoltre inseriti in questa classe anche i litotipi che costituiscono il substrato rigido, ove, a causa del loro stato di alterazione/fratturazione o di instabilità superficiale (frane, sia attive che quiescenti, e falde detritiche), non risultano riconducibili a zone stabili.

## Zone di attenzione (ZA) per instabilità

Sono state individuate inoltre le zone di attenzione per le instabilità (ZA), già definite e di seguito brevemente descritte:

*Zone di attenzione per cedimenti differenziali (ZA<sub>cd</sub>):* riconducibili essenzialmente alle zone di contatto tra litotipi rocciosi stabili e depositi più o meno sciolti del *Quaternario* e del *Neogene*, zone contigue tra zone stabili e depositi di falda detritica e aree di contatto tra zone stabili e zone di attenzione per instabilità (aree in frana). Tale zona è definita da un buffer di 10 m a cavallo dei contatti stessi;

*Zone di attenzione per instabilità di versante (ZA<sub>fr</sub>):* riconducibili alle aree soggette a dissesti geomorfologici attivi e quiescenti, ed indicate in carta con un retino obliquo (vedi figura di seguito);

*Zone di attenzione per fenomeni di liquefazione (ZA<sub>lq</sub>):* nell'area di studio comprendono i depositi alluvionali potenzialmente saturi, liquefacibili a seguito di eventi sismici. Qui di seguito l'ubicazione delle aree che rientrano in questa descrizione: Zona Artigianale di Valpiana, Ghirlanda, Colombaina e Miserone;

*Zone di attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti (ZA<sub>id</sub>):* aree in cui si presenta una sovrapposizione tra due o più zone di attenzione per instabilità.

Oltre a queste zone, nelle tavole delle MOPS di 1° Livello, sono indicate anche le “*Falde Detritiche*” (vedi figura di seguito), ovvero forme dovute alla degradazione, più o meno superficiale, delle rocce e costituite da frammenti con spigoli vivi e con forma e dimensioni molto differenti, a seconda del tipo di alterazione che li ha generati.

Sono state inoltre evidenziate, con apposito sovrassegno (vedi figura di seguito), le aree con pendenza maggiore di 15°; sono indicate nelle tavole anche le ubicazioni delle indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSr), le cui frequenze fondamentali  $f_0$  sono riportate in “*Tav. G04 - Carta dei Dati di Base per la Microzonazione Sismica*”.



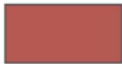


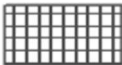

<b>Zone di Attenzione per instabilità</b>	<b>Altri Elementi</b>
 <i>ZA<sub>cd</sub> - Zona di Attenzione per cedimenti differenziali</i>	 <i>Punto di misura di rumore ambientale (valori di <math>f_0</math> osservabili nelle "Tav. G04")</i>
 <i>ZA<sub>id</sub> - Zona di Attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti</i>	 <i>Zone con pendenza maggiore di 15°</i>
 <i>ZA<sub>fr</sub> - Zona di Attenzione per instabilità di versante</i>	<b>Forme di Superficie</b>
 <i>ZA<sub>lq</sub> - Zona di Attenzione per Liquefazioni</i>	 <i>Falda detritica</i>

Figura 8 - Legenda della “*Tav. G06 - MOPS 1° Liv.*”, con i retini delle Zone di attenzione (ZA) per instabilità di versante e liquefazione, delle Forme di superficie e di altri elementi presenti nelle suddette tavole

In appendice si riportano le colonne sismo-stratigrafiche relative alle zone stabili suscettibili di amplificazione locale con cui è stata suddivisa l'area di studio, nelle quali si riportano litologie prevalenti

(dei Terreni di copertura e del Substrato sismico) e profondità del substrato sismico (gli spessori riportati devono essere considerati come indicativi poiché variabili in funzione del contesto geologico strutturale).

## 7.1 Considerazione sulla liquefazione dinamica

Per quanto riguarda le zone di attenzione per fenomeni di liquefazione dinamica dei terreni, situate all'interno dei perimetri urbanizzati "Valpiana - Zona Artigianale" e "Ghirlanda", e delle aree situate nel territorio rurale "Colombaina" e "Miserone", a seguito degli studi di cui al PSI, sono state eseguite indagini dirette (penetrometrie) finalizzate alla valutazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni. Tali indagini non permettono di escludere le zone sopra citate dall'attenzione alla liquefazione. Inoltre, a seguito di sopralluoghi e rilievi geologico-tecnici, è stata riscontrata una elevata variabilità laterale delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti di copertura. Alla luce di quanto sopra è stato scelto di mantenere tali zone di attenzione per la liquefazione dinamica dei terreni, rimandando ai casi sito-specifici, i necessari approfondimenti (determinazione del coefficiente di sicurezza Fs). Tali approfondimenti dovranno essere eseguiti in fase di piano attuativo, o, in assenza, di progettazione diretta.

Per quanto riguarda il centro abitato di Valpiana, sono state eseguite indagini di dettaglio finalizzate alla valutazione delle caratteristiche geologiche - tessiturali potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica.

In data 12.05.2022 è stata eseguita una penetrometria dinamica leggera DL30, la cui elaborazione è riportata in appendice alla presente relazione (DLVa3 - ubicazione in Tav. G04-C): questa indagine è stata eseguita per ricavare una parametrizzazione geotecnica di massima del terreno, finalizzata al calcolo del potenziale di liquefazione. Nell'area di Valpiana è stato anche prelevato un campione di terreno, sul quale è stata eseguita un'analisi granulometrica (analisi di laboratorio in appendice, ubicazione prelievo in Tav. G04-C, nei pressi della DLVa3).

Nel D.M. 17.01.2018, al paragrafo 7.11.3.4.2, vengono elencate le circostanze in cui può essere omessa la verifica a liquefazione:

[...]

1. accelerazioni massime attese al p.c. [...] minori di 0,1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal p.c., [...];
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(NI)_{60} > 30$ , oppure  $q_{cIN} > 180$  [...];
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con  $U_c < 3,5$  ed in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con  $U_c > 3,5$ .

Come indicato nell'elaborazione della DL30 riportato in appendice, il deposito costituito da sabbie ciottolose (ghiaiose) denominato *VILb*, ha un valore di  $(NI)_{60}$  ampiamente superiore a 30 (per la precisione 38,04): nella zona di studio quindi, secondo il punto 3 del paragrafo 7.11.3.4.2 del D.M. 17.01.2018, può essere omessa la verifica a liquefazione e pertanto tale area è stata esclusa dalle Zone di Attenzione per Liquefazione.

## 8. Microzonazione Sismica di 2° Livello (MS di 2° Livello) (Tav. G07)

Le zone "stabili suscettibili di amplificazione locale" ("Tav. G07 - MS 2° Liv." e figura seguente) sono state suddivise tramite i "fattori di amplificazione FA" calcolati con gli abachi messi a disposizione dalla Regione Toscana, consultabili al sito <https://www.regione.toscana.it/-/abachi-litostratigrafici-per-studi-di->

[microzonazione-sismica-di-livello-2](#) e nel “Aggiornamento degli abachi di amplificazione sismica per la redazione di studi di MS di livello 2” (Albarello et alii, Novembre 2019).

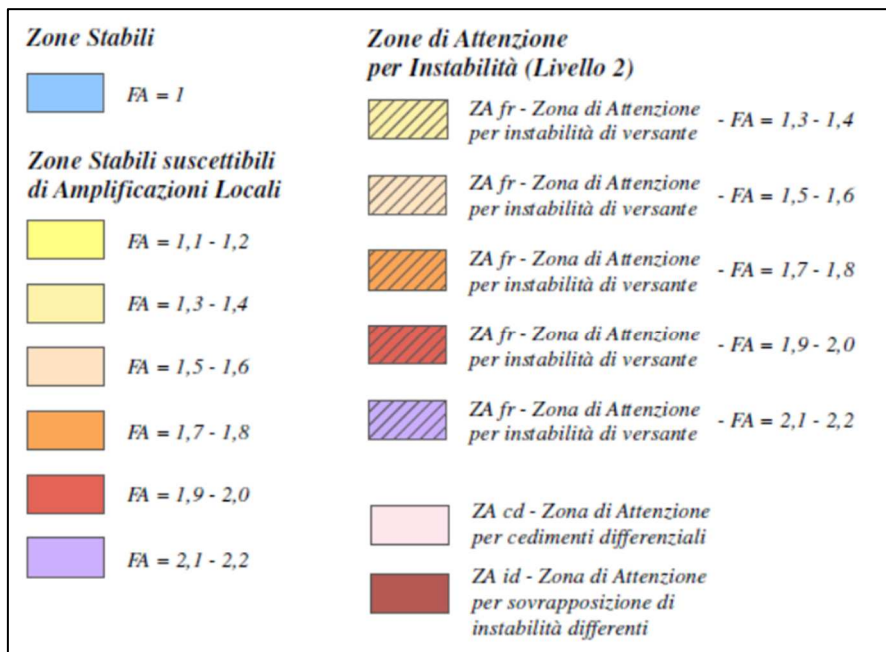


Figura 9 - Legenda della “Tav. G07 - MS 2° Liv.”

I Fattori di amplificazione FA sono ottenuti in funzione della Vs,eq e della f0, valori ottenuti per mezzo di indagine geofisica eseguita ad hoc e di indagini geofisiche eseguite a supporto della redazione del Piano Strutturale Intercomunale di Massa Marittima, Monterotondo Marittimo e Montieri; i suddetti studi sono riportati in appendice alla presente relazione.

Nel nostro caso, con le aree di indagine site nel comune di Massa Marittima, l’abaco da utilizzare come da Linee guida Regione Toscana per il calcolo di FA, sarebbe stato il “Toscana Costiera”: tuttavia, in base alle prescrizioni fornite dal Genio Civile Toscana Sud, in occasione della riunione tenutasi in data 18 Gennaio 2023, è stato utilizzato l’abaco “Toscana Interna - Centrale”.

Nelle zone in esame la profondità del substrato sismico è sempre  $\leq$  a 30 mt, tranne nell’area in cui si trova l’ambito di trasformazione nel territorio rurale “AT-R-02 Villaggio Glamping in loc. Colombaina”, dove per il calcolo del FA è stato utilizzato l’abaco per “Profondità basamento sismico  $>$  30 m”.

**Macroarea: TOSCANA CENTRALE**  $3\text{ m} < \text{Profondità basamento sismico} < 30\text{ m}$

**FA 0.1 < T < 0.5 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	$\geq 8$	
Vs (s/m) HsA	<200	1.1	1.5	1.9	2.5	2.1	2.1	2.0	2.0	1.5	1.9
	300	0.7	1.3	1.8	2.1	2.0	1.8	1.8	1.7	1.5	1.8
	500			1.5	1.7	1.7	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4
	700					1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	$\geq 800$										

Figura 10 - Abaco Toscana Centrale (FA - 0,1 < T < 0,5 s - Prof. Substrato < 30 mt)

Macroarea: TOSCANA CENTRALE		Profondità basamento sismico > 30 m										
		FA 0.1 < T < 0.5 s										
		f0 (Hz)									75° perc.	
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8		
Vs30 (m/s)	<200	1.0	1.3	2.0								1.2
	300	1.1	1.4	1.7	1.8	1.7	1.7	2.0	2.0	1.8		1.4
	500	1.1	1.3	1.5	1.7	1.6	1.5	1.5	1.7	1.6		1.4
	700	0.9	1.1	1.3	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3		1.2
	≥800	1.0	1.0	1.0					1.2	1.1		1.0

Figura 11 - Abaco Toscana Centrale (FA - 0,1 < T < 0,5 s - Prof. Substrato > 30 mt)

## 9. Pericolosità Sismica Locale (Tav. G08)

La carta di pericolosità sismica è stata redatta ad hoc per il presente studio, in base alle risultanze dello Studio di MS di I° e di II° livello.

Dall'analisi e dalla valutazione integrata di quanto emerge dall'acquisizione delle conoscenze relative agli elementi esistenti di tipo geologico, geomorfologico e delle indagini geofisiche, geotecniche e geognostiche, secondo quanto specificato al paragrafo C.3 (allegato A al D.P.G.R. 5/R/2020), sono evidenziate, sulla base del quadro conoscitivo desunto, le aree ove possono verificarsi effetti locali o di sito a seguito di eventi sismici.

La valutazione preliminare degli effetti locali o di sito ai fini della riduzione del rischio sismico consente di rappresentare:

- probabili fenomeni di amplificazione stratigrafica, topografica e per morfologie sepolte;
- la presenza di faglie e/o strutture tettoniche;
- i contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti;
- accentuazione della instabilità dei pendii;
- terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento;
- terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali.

La carta della pericolosità sismica locale è basata sullo studio delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS di 1° Livello) e della Microzonazione Sismica di 2° Livello (MS di 2° Livello), in ottemperanza al D.P.G.R. 5/R/2020, Allegato A§2, punto C.3. La redazione di questa carta, in base al D.P.G.R. 5/R/2020, prevede infatti di suddividere il territorio in quattro classi di pericolosità, definite in base alle previsioni di amplificazione del sisma e ricostruite nello studio di microzonazione sismica:

### **Pericolosità sismica locale bassa (S.1):**

- ✓ zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento, con morfologia pianeggiante o poco inclinata (< 15°) e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

### **Pericolosità sismica locale media (S.2):**

- ✓ zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1hz;
- ✓ zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (FA) < 1,4;

- ✓ zone stabili suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15°);
- ✓ zone stabili suscettibili di amplificazioni locali non rientranti tra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3.

**Pericolosità sismica locale elevata (S.3):**

- ✓ aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti;
- ✓ aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica;
- ✓ zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse;
- ✓ zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna. Si specifica che, per “alto contrasto di impedenza sismico”, sono da intendersi situazioni caratterizzate da rapporti tra le Vs del substrato sismico di riferimento e delle coperture sovrastanti, almeno pari a 2, come stimato nelle indagini simiche: in alternativa la medesima situazione è individuabile mediante il valore relativo dell’Ampiezza del picco di frequenza fondamentale delle misure HVSR, che deve essere almeno pari a 3. Si specifica inoltre che, per “alcune decine di metri”, sono da intendersi spessori indicativamente intorno ai 40 mt;
- ✓ zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (FA) > 1,4;
- ✓ aree interessate da instabilità di versante quiescente e relativa area di evoluzione.

**Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4):**

- ✓ aree interessate da instabilità di versante attive e relativa area di evoluzione, tali da subire un’accentuazione del movimento in occasione di eventi sismici;
- ✓ terreni suscettibili di liquefazione dinamica, accertati mediante indagini geognostiche.

Contestualmente alla classificazione di pericolosità prevista dal D.P.G.R. 5/R/2020 appena descritta, nelle tavole sono stati inseriti anche i perimetri recepiti dalla cartografia pubblicata da “Distretto Appennino Settentrionale PAI Frane” (fig. 13 - Legenda della “Tav. G08 - Carta della Pericolosità Sismica Locale” - b), inserendo in S.3 le aree interessate da instabilità di versante quiescente (P.3a) ed in S.4 le aree interessate da instabilità di versante attive (P.4).

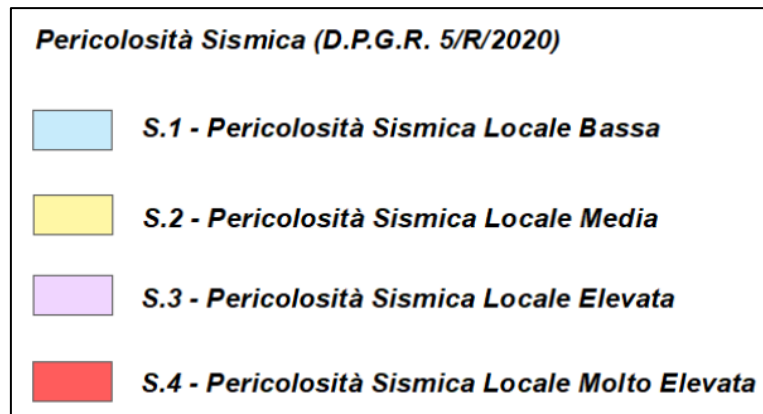


Figura 12 - Legenda della “Tav. G08 - Carta della Pericolosità Sismica Locale” (a)

Come specificato nella legenda della “Tav. G08 - Carta della Pericolosità Sismica Locale”, e riproposto nelle fig. 12 e 13, il colore di riempimento dei poligoni indica il grado di Pericolosità, mentre perimetro e tessitura assegnati indicano il tipo di fenomeno associato.

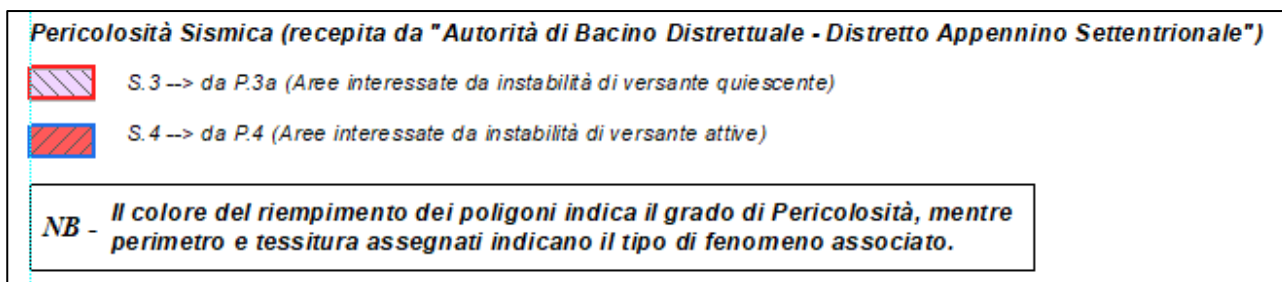


Figura 13 - Legenda della "Tav. G08 - Carta della Pericolosità Sismica Locale" (b)

In appendice alla presente relazione, si possono osservare i Rapporti di impedenza sismica tra la Vs del bedrock e la Vs della copertura sovrastante per ogni Zona Stabile suscettibile di amplificazione locale dell'area in esame, suddivisi per località.

Sulla base delle prescrizioni del *Genio Civile Toscana Sud* riguardanti il "Piano Strutturale Intercomunale di Massa Marittima, Monterotondo Marittimo e Montieri" (prot.n. 395096 del 13.11.2020 ricevuto dall' Unione di comuni montana Colline Metallifere con prot. n. 12413 del 13.11.2020), la zona indicata nella "Tav. G06-D - Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS 1°Liv.)" (Carta relativa al centro abitato di Prata) come "Zona 6 - zona stabile suscettibile di amplificazione locale" è stata classificata come zona "S.3 - zona a Pericolosità Sismica locale Elevata" nella Tavola di Pericolosità Sismica "Tav. G08-D" (Carta relativa al centro abitato di Prata).

Sulla base delle prescrizioni del *Genio Civile Toscana Sud* riguardanti la "Variante al R.U. del Comune di Massa Marittima per localizzazione aree destinate ad edifici scolastici nelle frazioni di Valpiana e Prata" (Deposito n. 1405 del 09.06.2022, ricevuto dall' Unione di Comuni montana Colline Metallifere con prot. n. 12307 del 15.07.2022), la zona indicata nella "Tav. G06-C - Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS 1°Liv.)" (Carta relativa al centro abitato di Valpiana) come "Zona 5 - zona stabile suscettibile di amplificazione locale" è stata classificata come zona "S.3 - zona a Pericolosità Sismica locale Elevata" nella Tavola di Pericolosità Sismica "Tav. G08-C".

## 10. Vulnerabilità Sismica di 1° Livello (VS di 1° Livello) (Tav. G09)

Sulla base di quanto riportato nel D.P.G.R. 5/R/2020, al punto 3.1.3 dell'allegato A ("Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche"), ed al punto 2 dell'allegato 1 ("Criteri per la valutazione dei fattori di rischio sismico"), è stata redatta la "Carta della Vulnerabilità Sismica di 1° Livello" (VS 1° Liv. - Tav.G09).

La Carta della Vulnerabilità Sismica è il prodotto che rappresenta la propensione a subire un danno da parte del patrimonio edilizio e dei centri urbani a fronte di un evento sismico: in estrema sintesi, la suddivisione del territorio urbanizzato nelle quattro classi di Vulnerabilità Sismica è necessaria per la definizione, con le modalità descritte al paragrafo 12, delle classi di Rischio Sismico (Tav. G11).

La Vulnerabilità Sismica è stata suddivisa in 4 classi e stimata, in forma qualitativa, sulla base dei dati statistici disponibili forniti dall'Istituto Nazionale di Statistica (Istat); partendo da un valore di vulnerabilità di base correlato all'epoca di costruzione degli edifici (*Ie*), si ricava un indice di Vulnerabilità complessivo (*Iv*) dato dalla seguente sommatoria:

$$Ie + It + Ia + Iu + Is + Ic = Iv$$

In cui;

- $I_e$  = Indice di epoca di costruzione
- $I_t$  = Indice di tipologia strutturale
- $I_a$  = Indice di altezza
- $I_u$  = Indice di vulnerabilità urbana
- $I_s$  = Indice di tipologia specialistica
- $I_c$  = Indice di classificazione sismica
- $I_v$  = Indice di Vulnerabilità Sismica complessivo

La Classe di Vulnerabilità Sismica VS (fig. 14), per ogni sezione di censimento, assume valori tra 1 e 4 in relazione al risultato della somma degli indici dei vari fattori di vulnerabilità.

<b>Vulnerabilità sismica</b>	<b>Valori di <math>I_v</math></b>	<b>Classe di Vulnerabilità sismica (V)</b>
alta	$I_v \geq 4$	4
medio-alta	$I_v = 3$	3
medio-bassa	$I_v = 2$	2
bassa	$I_v \leq 1$	1

Figura 14 - Classi di Vulnerabilità Sismica

La Regione Toscana mette a disposizione la documentazione utile alla redazione della cartografia di Vulnerabilità Sismica. In particolare è scaricabile lo shape file della classe di vulnerabilità per ciascuna sezione di censimento Istat della regione, attraverso il quale è possibile effettuare le valutazioni di rischio di Livello 1 del territorio oggetto di studio (<https://www.regione.toscana.it/-/rischio-sismico>).

## 11. Esposizione Sismica di 1° Livello (ES di 1° Livello) (Tav. G10)

Sulla base di quanto riportato nel D.P.G.R. 5/R/2020, al punto 3.1.3 dell'allegato A (“*Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche*”), ed al punto 3 dell'allegato 1 (“*Criteri per la valutazione dei fattori di rischio sismico*”), è stata redatta la “Carta della Esposizione Sismica di 1° Livello” (ES 1° Liv. - Tav. G10).

La Carta della Esposizione Sismica è il prodotto che rappresenta la connessione con la natura e la qualità dei beni esposti, ed esprime la possibilità di subire un danno economico, sociale ed in termini di perdite di vite umane: in estrema sintesi, la suddivisione del territorio urbanizzato nelle quattro classi di Esposizione Sismica è necessaria per la definizione, con le modalità descritte al paragrafo 12, delle classi di Rischio Sismico (Tav. G11).

L'Esposizione Sismica è stata suddivisa in 4 classi e stimata, in forma qualitativa, sulla base dei dati statistici disponibili forniti dall'Istituto Nazionale di Statistica (Istat): l'indice di Esposizione complessivo ( $I_{es}$ ) è stato calcolato sommando l'indice di densità abitativa (stimata tramite popolazione residente, n. edifici ed area della sezione del censimento) all'indice di destinazione produttiva (differenziato tra aree produttive ed aree abitative).

$$I_{densità} + I_{destinazione} = I_{es}$$

In cui;

- $I_{densità}$  = Indice di densità abitativa
- $I_{destinazione}$  = Indice di destinazione produttiva
- $I_{es}$  = Indice di Esposizione Sismica complessivo

La Classe di Esposizione Sismica ES (fig. 15), per ogni sezione di censimento, assume valori tra 1 e 4 in relazione al risultato della somma dei due indici di esposizione.

<b>Esposizione sismica</b>	<b>Valori di Ies</b>	<b>Classe di Esposizione (E)</b>
alta	$Ies \geq 4$	4
medio-alta	$Ies = 3$	3
medio-bassa	$Ies = 2$	2
bassa	$Ies = 1$	1

Figura 15 - Classi di Esposizione Sismica

La Regione Toscana mette a disposizione la documentazione utile alla redazione della cartografia di Esposizione Sismica. In particolare è scaricabile lo shape file della classe di esposizione per ciascuna sezione di censimento Istat della regione, attraverso il quale è possibile effettuare le valutazioni di rischio di Livello 1 del territorio oggetto di studio (<https://www.regione.toscana.it/-/rischio-sismico>).

## 12. Rischio Sismico (RS) (Tav. G11)

Per determinare la classe di “Rischio Sismico (RS)” dell’area in esame (D.P.G.R. 5/R/2020, punto 4 dell’allegato 1 “*Criteri per la valutazione dei fattori di rischio sismico*”), è calcolato il valore dell’Indicatore di Rischio  $I_r$  con la seguente formula:

$$P + V + E = I_r$$

Avendo già stimato le classi di Vulnerabilità sismica (V) e di Esposizione sismica (E), come spiegato nei paragrafi 10 ed 11, per ottenere l’Indicatore di Rischio  $I_r$  è necessario calcolare la classe di Pericolosità sismica (P).

Per la sua valutazione si farà riferimento alla combinazione tra la classe di pericolosità di 1° Livello ( $P^{1°Liv.}$ ), ovvero la pericolosità sismica di base, funzione dei valori di accelerazione orizzontale massima del terreno per tempi di ritorno pari a 475 anni (Ag), con l’Indice di Pericolosità Sismica locale ( $I_{ploc}$ ), definito con gli studi di Microzonazione Sismica descritti nella presente relazione e nello specifico al paragrafo 9 (Pericolosità Sismica Locale - Tav. G08).

$$P^{1°Liv.} + I_{ploc} = I_p$$

In cui;

- $P^{1°Liv.}$  = pericolosità di 1° Livello
- $I_{ploc}$  = Indice di Pericolosità locale
- $I_p$  = Indice di Pericolosità

La Classe di Pericolosità di 2° Livello (PS<sub>2</sub> - fig. 16) assume valori tra 1 e 4 in relazione al risultato della somma dei due indici di pericolosità.

<b>Pericolosità sismica</b>	<b>Valore di IP</b>	<b>Classe di Pericolosità (P<sub>2</sub>)</b>
alta	IP ≥ 6	4
medio-alta	IP = 5	3
medio-bassa	IP = 4	2
bassa	IP ≤ 3	1

Figura 16 - Classi di Pericolosità di 2° Livello

Di conseguenza, si può calcolare l'indicatore di rischio *Ir*, con la formula della pagina precedente: la Classe di Rischio Sismico RS (fig. 17) assume valori tra 1 e 4 in relazione al valore dell'Indicatore di Rischio *Ir*.

<b>Rischio sismico</b>	<b>Valore di IR</b>	<b>Classe di Rischio</b>
alta	IR ≥ 10	4
medio-alta	8 ≤ IR < 10	3
medio-bassa	6 ≤ IR < 8	2
bassa	IR < 6	1

Figura 17 - Classi di Rischio Sismico

Come è osservabile in “Tav. G11 - Rischio Sismico RS” e nella figura seguente, la rappresentazione grafica nelle tavole è quella richiesta al punto 5, dell'allegato 1 (“Criteri per la valutazione dei fattori di rischio sismico”) al D.P.G.R. 5/R/2020.

	<i>R.1 - Classe di Rischio Sismico bassa</i>
	<i>R.2 - Classe di Rischio Sismico medio - bassa</i>
	<i>R.3 - Classe di Rischio Sismico medio - alta</i>
	<i>R.4 - Classe di Rischio Sismico alta</i>

Figura 18 - Legenda della Tav. G11 del Rischio Sismico

### 13. Vulnerabilità della Falda (Tav. G12)

In relazione a quanto disposto dal punto B.5 delle Direttive per le Indagini Geologico Tecniche allegate al D.P.G.R. 5/R/2020, sono state redatte delle tavole nelle quali sono state evidenziate le aree che presentano situazioni sulle quali porre attenzione al fine di non creare squilibri idrogeologici.

La sensibilità/vulnerabilità delle falde è individuata, a seconda delle caratteristiche di permeabilità dei terreni, così come individuato nelle tavole della permeabilità del Piano Strutturale Intercomunale di Massa Marittima, Monterotondo Marittimo e Montieri (Tav. G05).

Ciò permette di avere una valutazione qualitativa immediata della vulnerabilità delle acque di falda rispetto alla possibilità di inquinamento/interferenza con le possibili attività antropiche esistenti e/o previste;

la maggiore o minore dispersione e diffusione di un inquinante dipende dal grado di permeabilità del terreno e dalla profondità della falda oltre che alla sua tipologia (freatica o artesianica).

In base alla litologia in affioramento nell'area in esame, sono state assegnate le classi di vulnerabilità di seguito descritte:

• <b>Vulnerabilità bassa (V.1):</b>	Argille a Palombini (APAA - APAB); Scaglia Toscana (STO1).
• <b>Vulnerabilità elevata (V.3):</b>	Depositi sciolti, più o meno consolidati, a comportamento coesivo (bna SG - bna,GS - bna,LS - bna,SL - bnb -); Depositi continentali rusciniiani-villafranchiani (VILb - VILt); Macigno (MAC); Calcere Cavernoso (CCA).
• <b>Vulnerabilità molto elevata (V.4):</b>	Depositi caotici, sciolti, non consolidati, a comportamento attritivo/coesivo (a1q - a3a - aa - b2a - h1); Depositi lacustri e lagunari post-evaporitici messiniani (MESa).

Nella Tavola sono inoltre riportati i punti d'acqua (atingimenti, captazioni superficiali non definite, derivazioni e pozzi) segnalati dalle fonti ufficiali (BDSRI Regione Toscana) e, con apposito tematismo, sono distinte anche le captazioni ad uso idropotabile (fonte SIRA - ARPAT), con la relativa zona di rispetto delimitata con un buffer circolare di 200 m (art. 94 D.lgs 152/2006 e ss.mm.ii.).

*Follonica, Aprile 2023*

*I Tecnici  
Dr. Geol. Fabrizio Fanciulletti  
Dr. Geol. Claudio Petroni*

## APPENDICI

- *n. 1 - Rapporti d'impedenza sismica  $RI (V_{Sbedrock} / V_{Scopertura})$  e Fattori di Amplificazione;*
- *n. 2 - Analisi granulometrica eseguita su "Zona 5 - Zona Stabile suscettibile di amplificazione locale", Valpiana (ubicazione in prossimità della penetrometria DLVa3 - "Tav. G04-C\_DatiBase-MS");*
- *n. 3 - Prova penetrometrica dinamica DL30 eseguita su "Zona 5 - Zona Stabile suscettibile di amplificazione locale", Valpiana (DLVa3 - ubicazione in "Tav. G04-C\_DatiBase-MS");*
- *n. 4 - Colonne sismo-stratigrafiche delle Zone Stabili suscettibili di amplificazione locale;*
- *n. 5 - Indagini MASW ed HVSR eseguite dagli scriventi per la redazione del "Piano Strutturale Intercomunale" di Monterotondo Marittimo, Montieri e Massa Marittima, ed utilizzate nel presente studio;*
- *n. 6 - Indagine Geofisica mediante metodologia sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) e sismica passiva a stazione singola HVSR, eseguita nel Comune di Massa Marittima (GR), a supporto del Piano Operativo comunale.*

*n. 1 - Rapporti d'impedenza sismica  $RI$  ( $V_{sbedrock} / V_{scopertura}$ ) e Fattori di Amplificazione*

## Impedenze Sismiche - Ampiezze picchi HVSR - Fattore Amplificazione

### Comune Massa Marittima

#### Massa Marittima

<i>Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali</i>	<i>Indagine</i>	<i>Località</i>	<i>Vs<sub>b</sub> (bedrock) m/s</i>	<i>Vs<sub>c,eq</sub> (copertura) m/s</i>	<i>RI (Rapporto di impedenza)</i>	<i>f0 (frequenza fondamentale)</i>	<i>A0 (Ampiezza picco di frequenza)</i>	<i>FA (Fattore di Amplificaz.)</i>
---	-----------------	-----------------	-------------------------------------	--	-----------------------------------	------------------------------------	---	------------------------------------

Zona 2	MWMA1	Camilletta	976.2	310.92	3.14			1.5
	HVMA1	Camilletta				11.60	1.62	

Zona 4	MW50	via Massetana Nord	1451.3	388.85	3.73			1.8
	HV28	via Massetana Nord				6.70	2.25	
	HV29	via Massetana Nord				4.15	2.15	2
	HV30	via Massetana Nord				4.50	2.00	

#### Ghirlanda

<i>Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali</i>	<i>Indagine</i>	<i>Località</i>	<i>Vs<sub>b</sub> (bedrock) m/s</i>	<i>Vs<sub>c,eq</sub> (copertura) m/s</i>	<i>RI (Rapporto di impedenza)</i>	<i>f0 (frequenza fondamentale)</i>	<i>A0 (Ampiezza picco di frequenza)</i>	<i>FA (Fattore di Amplificaz.)</i>
---	-----------------	-----------------	-------------------------------------	--	-----------------------------------	------------------------------------	---	------------------------------------

Zona 1	MW46	Ghirlanda	1247.9	278.44	4.48			2
	HVGH1	Ghirlanda				4.70	1.52	

Zona 5	MWGH1	Ghirlanda - via Massetana	1044	448.87	2.33			1.7
	HVGH2	Ghirlanda - via Massetana				3.95	1.50	

#### Valpiana Zona Industriale

<i>Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali</i>	<i>Indagine</i>	<i>Località</i>	<i>Vs<sub>b</sub> (bedrock) m/s</i>	<i>Vs<sub>c,eq</sub> (copertura) m/s</i>	<i>RI (Rapporto di impedenza)</i>	<i>f0 (frequenza fondamentale)</i>	<i>A0 (Ampiezza picco di frequenza)</i>	<i>FA (Fattore di Amplificaz.)</i>
---	-----------------	-----------------	-------------------------------------	--	-----------------------------------	------------------------------------	---	------------------------------------

Zona 1	MWVA2	Z.Ind. - via dei Chiodaioli	1266.7	327.04	3.87			1.8
	HVVA2	Z.Ind. - via dei Chiodaioli				2.90	3.65	

Zona 4	HVVA1	Z.Ind. - via dei Ferrinanti				4.40	1.37	1.7
	Inversione HVVA1	Z.Ind. - via dei Ferrinanti	979	440.76	2.22			

#### Valpiana

<i>Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali</i>	<i>Indagine</i>	<i>Località</i>	<i>Vs<sub>b</sub> (bedrock) m/s</i>	<i>Vs<sub>c,eq</sub> (copertura) m/s</i>	<i>RI (Rapporto di impedenza)</i>	<i>f0 (frequenza fondamentale)</i>	<i>A0 (Ampiezza picco di frequenza)</i>	<i>FA (Fattore di Amplificaz.)</i>
---	-----------------	-----------------	-------------------------------------	--	-----------------------------------	------------------------------------	---	------------------------------------

Zona 5	MWVA3	via del Minatore	1249.4	642.62	1.94			1.3
	HVVA3	via del Minatore				3.95	2.09	

Impedenze Sismiche - Ampiezze picchi HVSR - Fattore Amplificazione								
Comune Massa Marittima								
Prata								
Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali	Indagine	Località	$Vs_b$ (bedrock) m/s	$Vs_{c,eq}$ (copertura) m/s	RI (Rapporto di impedenza)	$f_0$ (frequenza fondamentale)	A0 (Ampiezza picco di frequenza)	FA (Fattore di Amplificaz.)
Zona 2	MW39	via Basilicata	1650.1	525.48	3.14			1.3
	HVPR1	via Basilicata				13.70	1.71	
	HVPR2	via Basilicata				18.95	1.47	
Zona 3	MW51	via Ispanto	1034	262.15	3.94			2.1
	HV38	via Ispanto				3.05	3.50	
	HV39	via Ispanto				3.05	2.90	
Zona 4	MW52	via Puglie	980.9	394.83	2.48			1.8
	HV130	via Puglie				5.00	1.71	
Zona 6	HV132	zona SW Prata				14.30	1.43	1.2
	Inversione HV132	zona SW Prata	1048	780	1.34			
Niccioleta								
Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali	Indagine	Località	$Vs_b$ (bedrock) m/s	$Vs_{c,eq}$ (copertura) m/s	RI (Rapporto di impedenza)	$f_0$ (frequenza fondamentale)	A0 (Ampiezza picco di frequenza)	FA (Fattore di Amplificaz.)
Zona 1	MW53	via Santa Barbara	1279.5	338.34	3.78			2
	HV40	via Santa Barbara				4.25	3.56	
	HV42	viale della Miniera				3.05	1.59	
Zona 6	MW40	viale della Miniera	1347.3	537.4	2.51			1.7
	HV41	via Santa Barbara				4.10	2.66	
Territorio Rurale; Miserone - Colombaina								
Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali	Indagine	Località	$Vs_b$ (bedrock) m/s	$Vs_{c,eq}$ (copertura) m/s	RI (Rapporto di impedenza)	$f_0$ (frequenza fondamentale)	A0 (Ampiezza picco di frequenza)	FA (Fattore di Amplificaz.)
Zona 1	MWM1	Miserone	859.4	279.91	3.07			1.8
	HVM1	Miserone				5.00	1.49	
Zona 1	MWC1	Colombaina	/	618.59	/			1.5
	HVC1	Colombaina				3.05	1.57	

*n. 2 - Analisi granulometrica eseguita su “Zona 5 - Zona Stabile suscettibile di amplificazione locale”,  
Valpiana (ubicazione in prossimità della penetrometria DLVA3 - “Tav. G04\_DatiBase-MS”)*



**Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**  
Settore A – Prove di laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 – ART. 59 DPR 380/2001 – Circolare 7618/STC 2010

# LABOTER Srl

## Lab. Geotecnico - C.S.LL.PP. Decr. 2436/13

**Committente :** Bierregi srl per Geol. Petroni  
**Cantiere :** Valpiana - Grosseto (GR)

**Verbale Accettazione n° :** 241 del 02/05/2022  
**Data Certificazione :** 06/05/2022  
**Campioni n°:** 1  
**Certificati da n° a n° :** 02033

**LABORATORIO GEOTECNICO**  
AUTORIZZAZIONE  
MINISTERO  
INFRASTRUTTURE  
E TRASPORTI  
DECR. N° 2436  
LABOTER - PISTOIA



**LABOTER S.r.l.**Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.itDNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

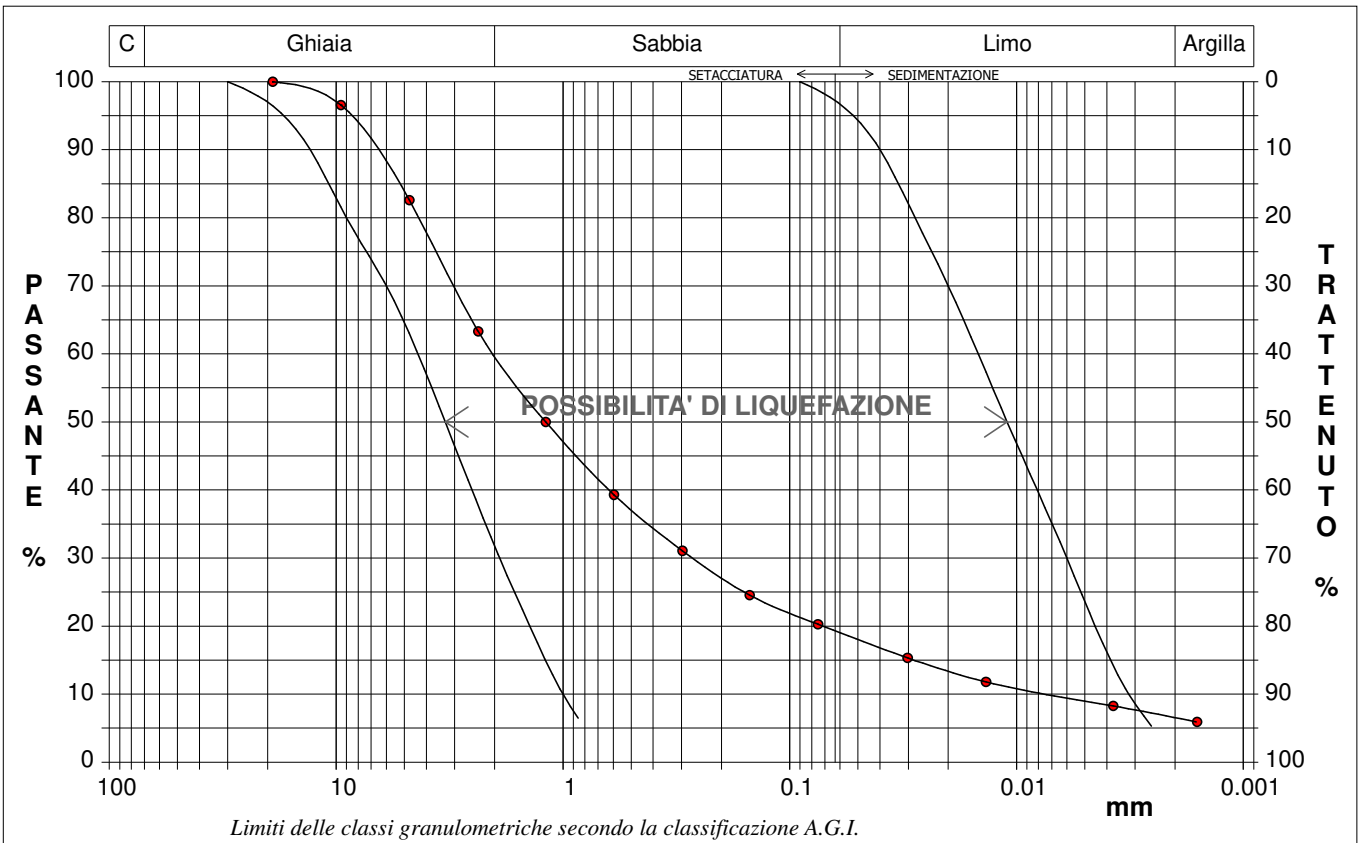
<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02033</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 06/05/22	Inizio analisi: 03/05/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 241 del 02/05/22		Apertura campione: 02/05/22	Fine analisi: 06/05/22

COMMITTENTE: Bierregi srl per Geol. Petroni
RIFERIMENTO: Valpiana - Grosseto (GR)
SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m

**ANALISI GRANULOMETRICA**

Modalità di prova: Norma A.G.I. 1977

Ghiaia	39,9 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	60,1 %	D <sub>10</sub>	0,00708 mm
Sabbia	41,0 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	35,2 %	D <sub>30</sub>	0,26600 mm
Limo	12,6 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	20,3 %	D <sub>50</sub>	1,19147 mm
Argilla	6,5 %			D <sub>60</sub>	1,99229 mm
Coefficiente di uniformità	281,23	Coefficiente di curvatura	5,01	D <sub>90</sub>	6,86895 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
19,0000	100,00	0,5950	39,29	0,0136	11,79				
9,5200	96,56	0,2970	31,05	0,0038	8,26				
4,7500	82,59	0,1500	24,54	0,0016	5,91				
2,3600	63,29	0,0750	20,27					Setacci	8
1,1900	49,98	0,0302	15,31					Punti sediment.	4

***n. 3 - Prova penetrometrica dinamica DL30 eseguita su “Zona 5 - Zona Stabile suscettibile di amplificazione locale”, Valpiana (DLVa3 - ubicazione in “Tav. G04-C\_DatiBase-MS”)***



*Figura 19 - Esecuzione penetrometria dinamica (M=30 kg) DLVa3*

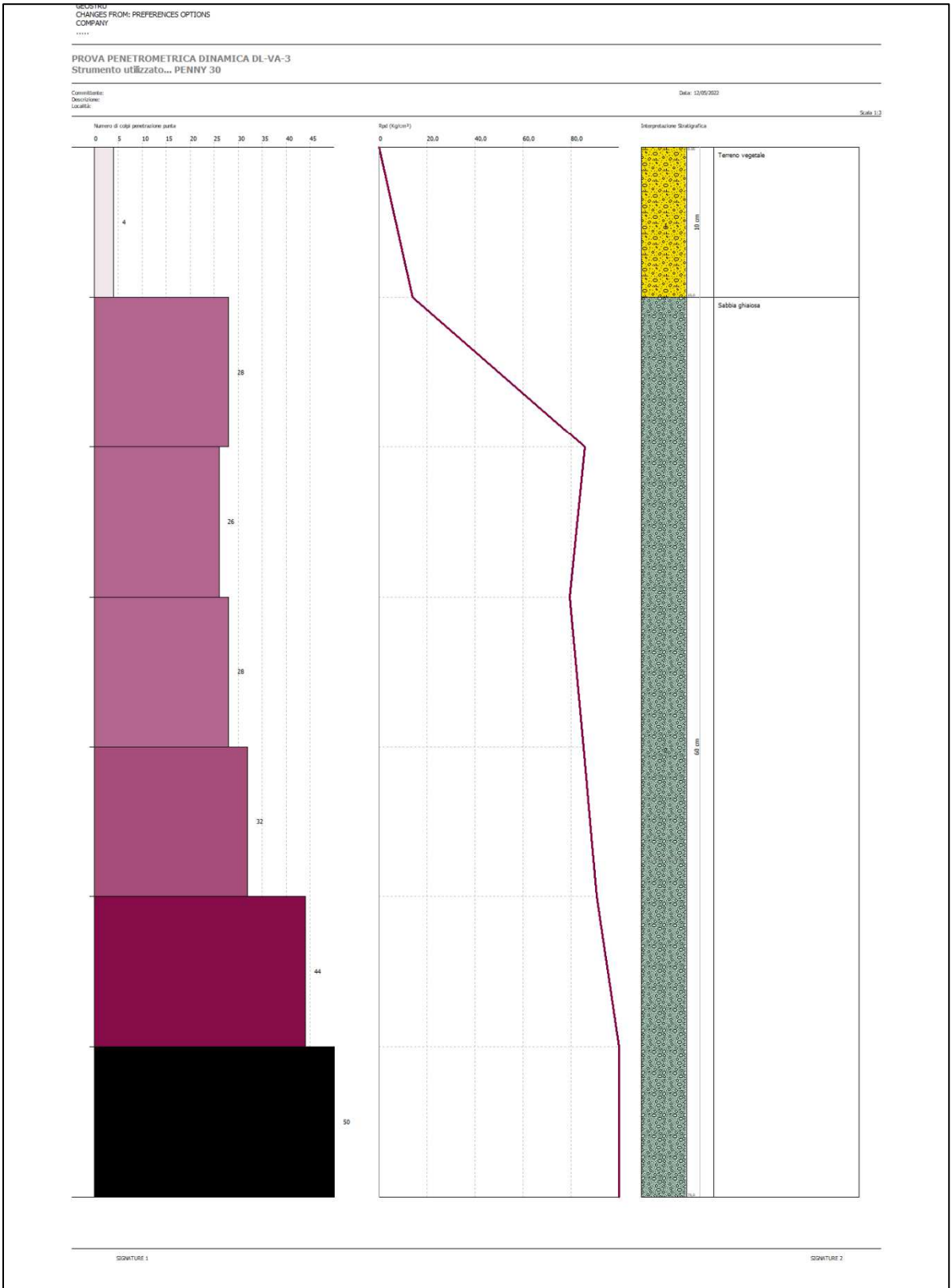


Figura 20 - Penetrometria dinamica (M=30 kg) DLVa3

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA MEDIA "DLVa3"

## Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: PENNY 30

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	12 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,90 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,783
Angolo di apertura punta	60 °

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA "DLVa3"

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Terreno vegetale	3,13	0.00-0,10	3,13	Meyerhof 1957	44,18
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	22,38	0,10-0,70	22,38	Meyerhof 1957	100

#### Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Terreno vegetale	3,13	0.00-0,10	N1,60=5,32	Wolff (1989) N160	28,68
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	22,38	0,10-0,70	N1,60=38,04	Wolff (1989) N160	37,75

#### Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Terreno vegetale	3,13	0.00-0,10	3,13	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	---
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	22,38	0,10-0,70	22,38	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	347,85

#### Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) Terreno vegetale	3,13	0.00-0,10	3,13	Menzenbach e Malcev	51,96
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	22,38	0,10-0,70	22,38	Menzenbach e Malcev	137,81

#### Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) Terreno vegetale	3,13	0.00-0,10	3,13	Meyerhof et al.	1,46
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	22,38	0,10-0,70	22,38	Meyerhof et al.	2,04

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (1) Terreno vegetale	3,13	0,00-0,10	3,13	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,88
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	22,38	0,10-0,70	22,38	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,99

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (1) Terreno vegetale	3,13	0,00-0,10	3,13	Ohsaki (Sabbie pulite)	189,99
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	22,38	0,10-0,70	22,38	Ohsaki (Sabbie pulite)	1207,21

Coefficiente spinta a Riposo  $K_0 = \sigma_H / P_0$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$K_0$
Strato (1) Terreno vegetale	3,13	0,00-0,10	3,13	Navfac 1971-1982	0,54
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	22,38	0,10-0,70	22,38	Navfac 1971-1982	4,45

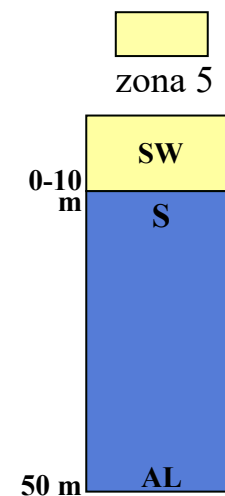
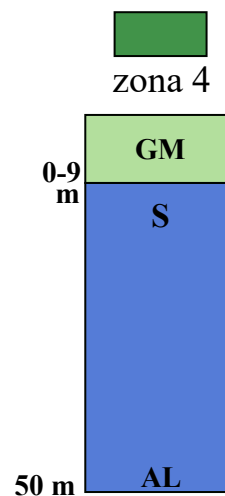
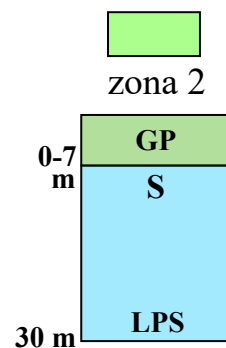
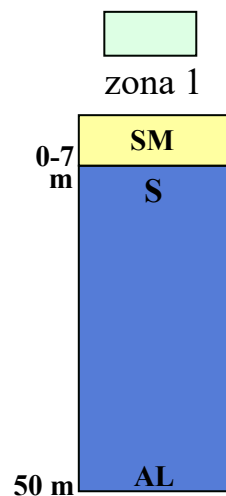
**Strato 2 - Sabbia Ghiaiosa (0,10 - 0,70 mt) -  $N_{L,60} = 38,04$**

*n. 4 - Colonne sismo-stratigrafiche delle Zone Stabili suscettibili di amplificazione locale*

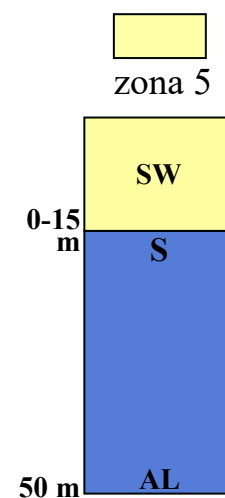
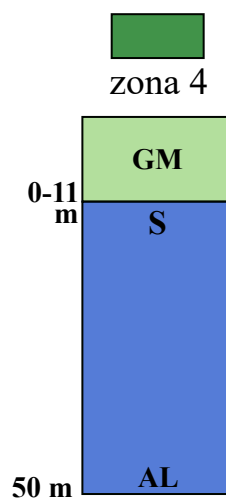
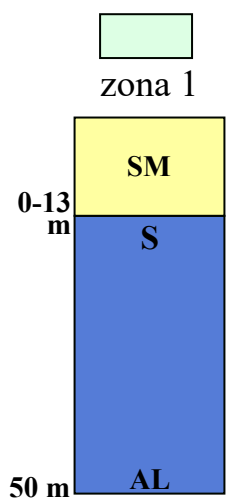
*Colonne sismo-stratigrafiche - Zone Stabili suscettibili di amplificazione locale*  
*Comune di Massa Marittima*

Scala 1:1000

*Massa Marittima - Ghirlanda*



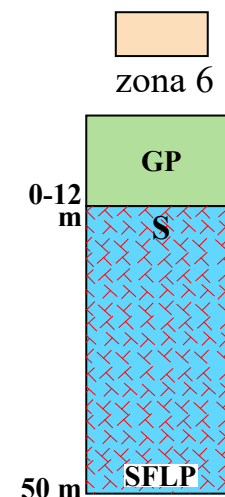
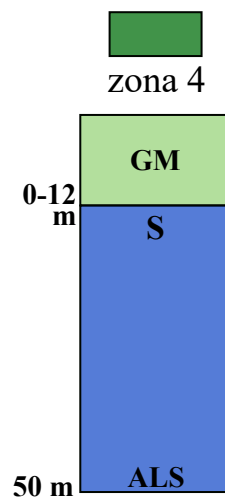
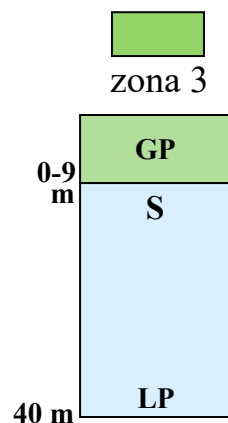
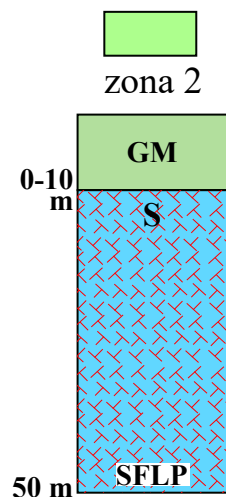
*Valpiana*



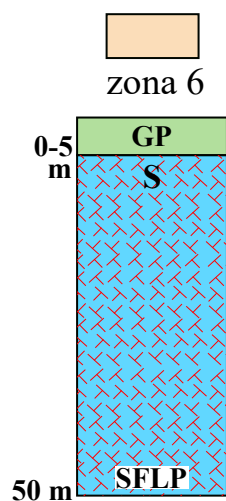
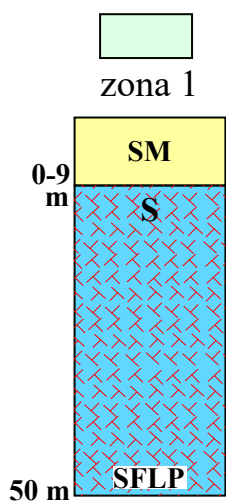
*Colonne sismo-stratigrafiche - Zone Stabili suscettibili di amplificazione locale  
Comune di Massa Marittima*

Scala 1:1000

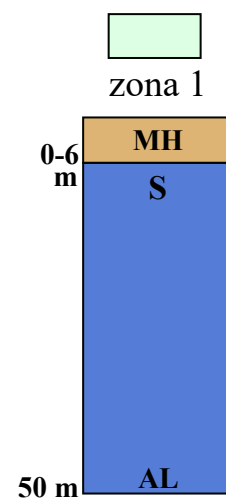
*Prata*



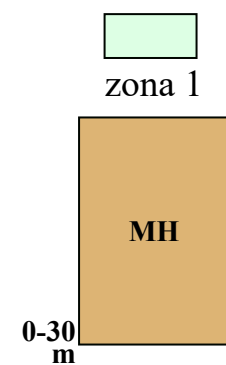
*Niccioleta*



*Miserone*








*Colombaina*








## *Legenda Colonne sismo-stratigrafiche*

### *Zone Stabili suscettibili di amplificazione locale*

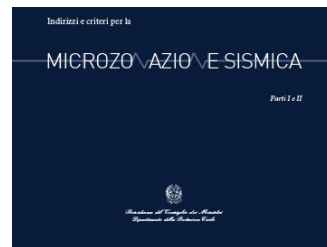
#### *Terreni di copertura*

-  **GP** *Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia*
-  **GM** *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo*
-  **SW** *Sabbie pulite e ben assortite sabbie ghiaiose*
-  **SM** *Sabbie limose, miscela di sabbia e limo*
-  **MH** *Limi inorganici, sabbie fini*

#### *Sustrato geologico*

-  **LP** *Lapideo*
-  **AL** *Alternanza di litotipi*
-  **LPS** *Lapideo, stratificato*
-  **ALS** *Alternanza di litotipi, stratificato*
-  **SFLP** *Lapideo fratturato o alterato*

**S** - Substrato



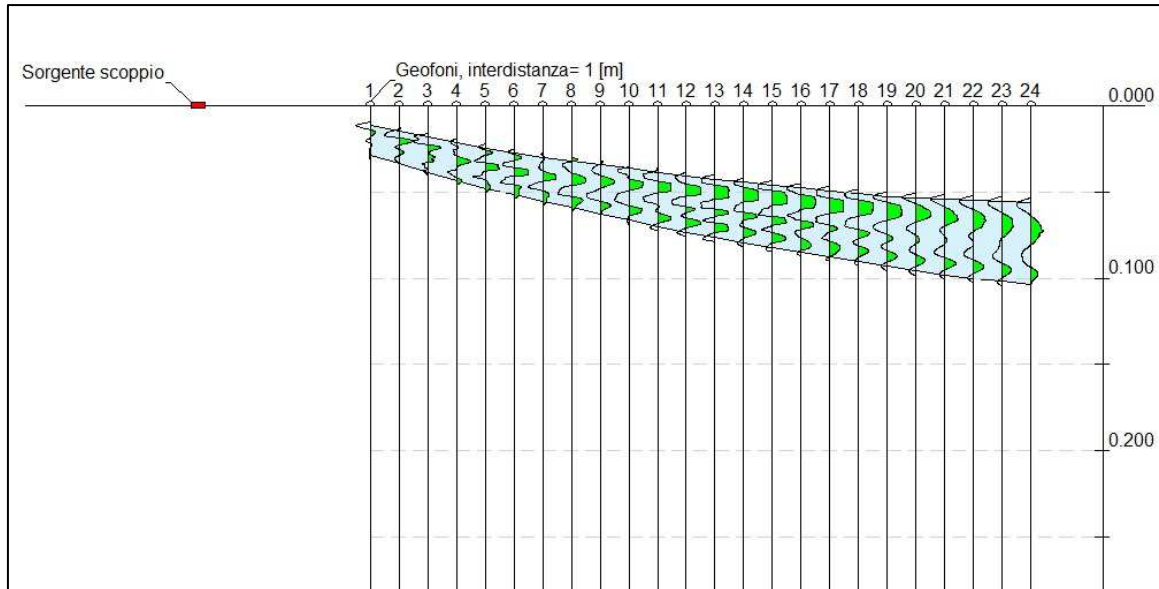
*"Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica di Microzonazione Sismica, Versione 4.2 (Dicembre 2020)"*

*"Specifiche Tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di Microzonazione Sismica" (agg. 02/10/2018)  
Edizione n.6 - D.G.R.T. n.1162/2018*

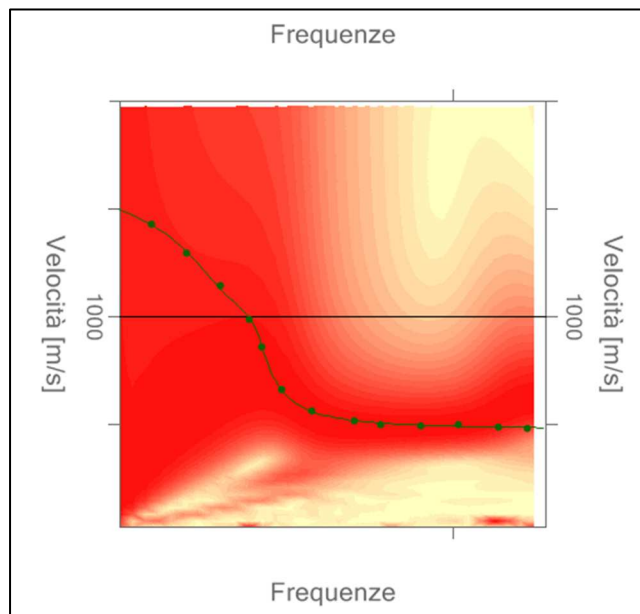
*n. 5 - Indagini MASW ed HVSR eseguite dagli scriventi per la redazione del “Piano Strutturale Intercomunale” di Monterotondo Marittimo, Montieri e Massa Marittima, ed utilizzate nel presente studio*

Di seguito si riportano le indagini MASW ed HVSr effettuate per la redazione del “Piano Strutturale Intercomunale” di Monterotondo Marittimo, Montieri e Massa Marittima (2020 - Fanciulletti et alii)” ed utilizzate nel presente studio: l’ubicazione delle stesse è riportata nelle “Tav. G04 - Carta dei Dati di Base per la Microzonazione Sismica”.

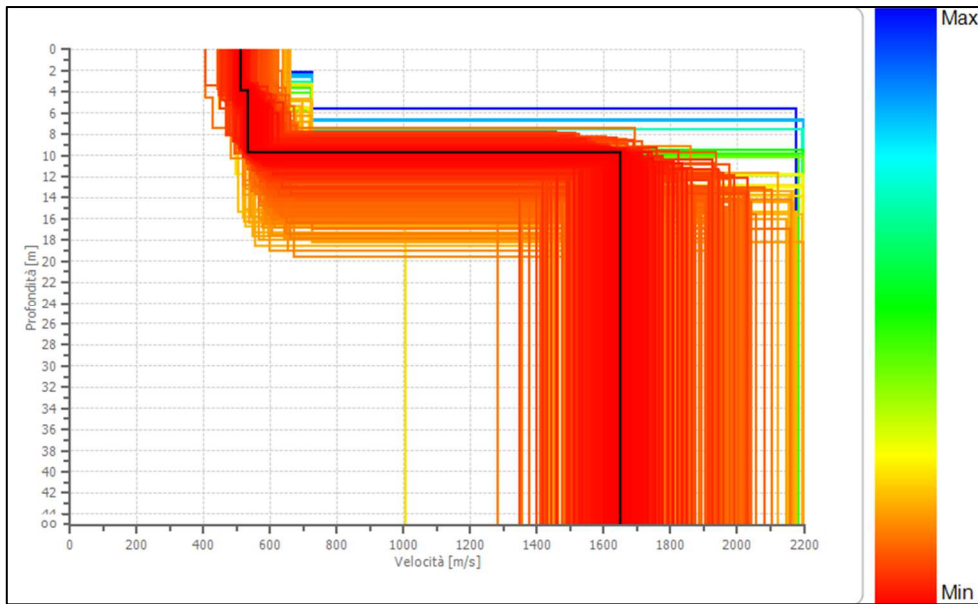
**Stendimento MASW; “MW39” (Prata)**



Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MW39



Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MW39

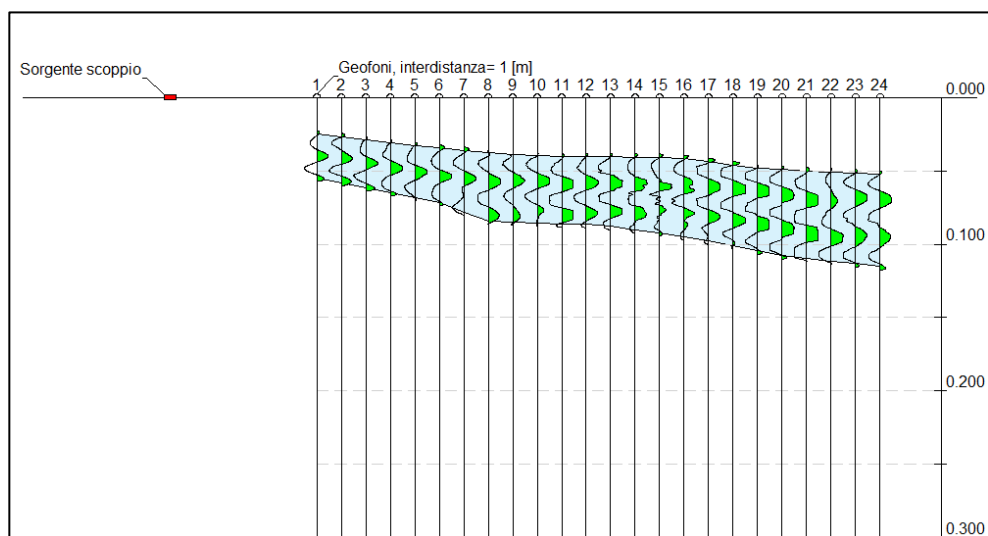


Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MW39

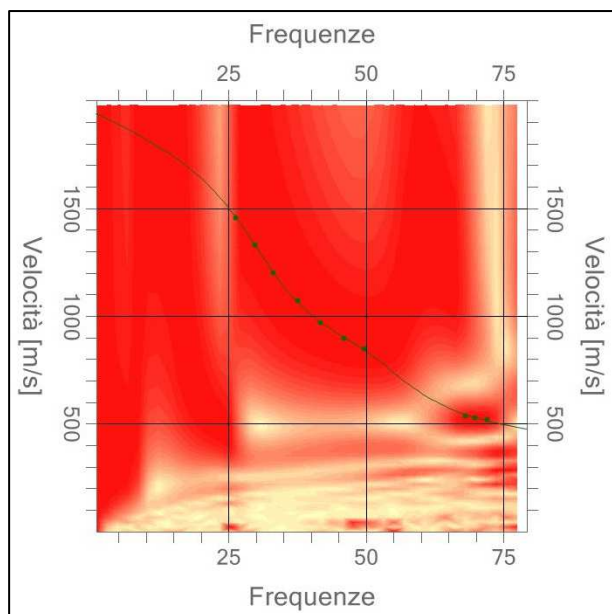
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.91	3.91	512.7
2	9.80	5.89	534.3
3	∞	∞	1650.1

Percentuale di errore	0.007 %	$V_{s,eq} [m/sec] (H=9.80) = 525.48$
-----		
Fattore di disadattamento della soluzione	0.009	Categoria del suolo; B

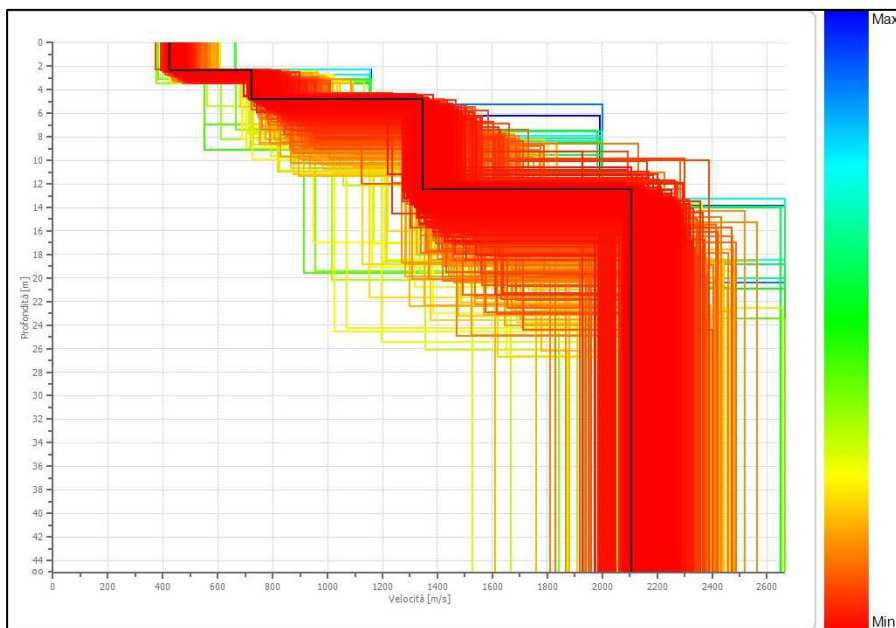
### Stendimento MASW; "MW40" (Niccioleta)



Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MW40



Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MW40

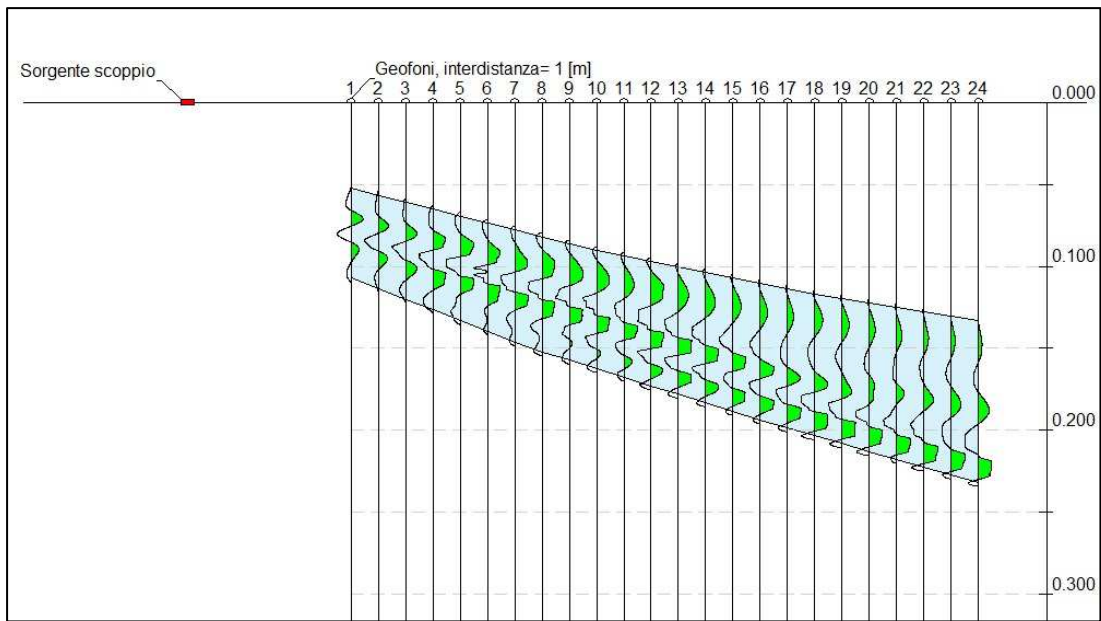


Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MW40

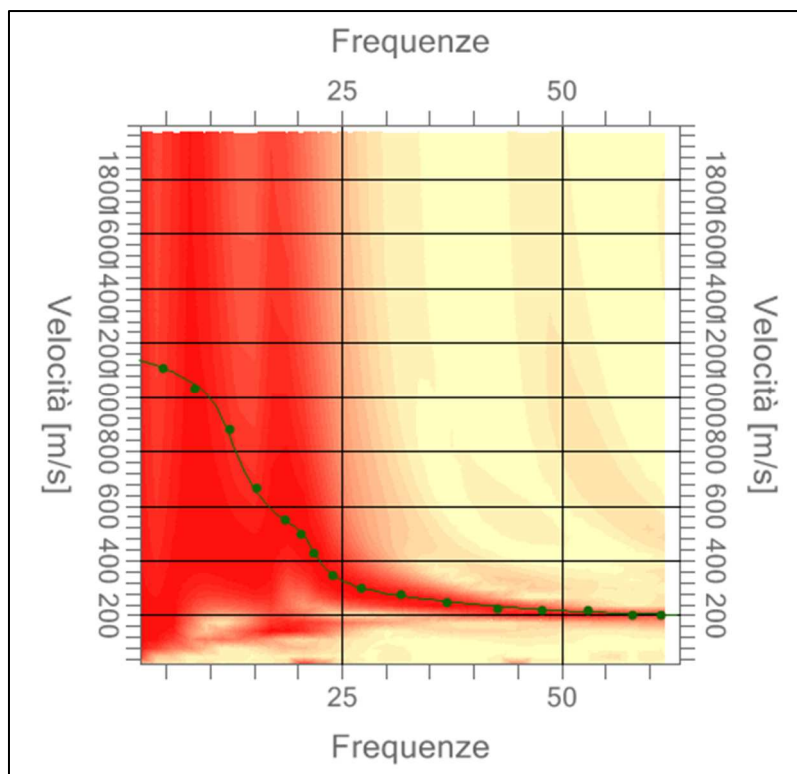
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	2.36	2.36	423.2
2	4.84	2.48	723.3
3	12.45	7.61	1347.3
4	oo	oo	2104.8

Percentuale di errore	0.002 %	$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=4.84)= <b>537.40</b>
Fattore di disadattamento della soluzione	0.007	
		<i>Categoria del suolo; B</i>

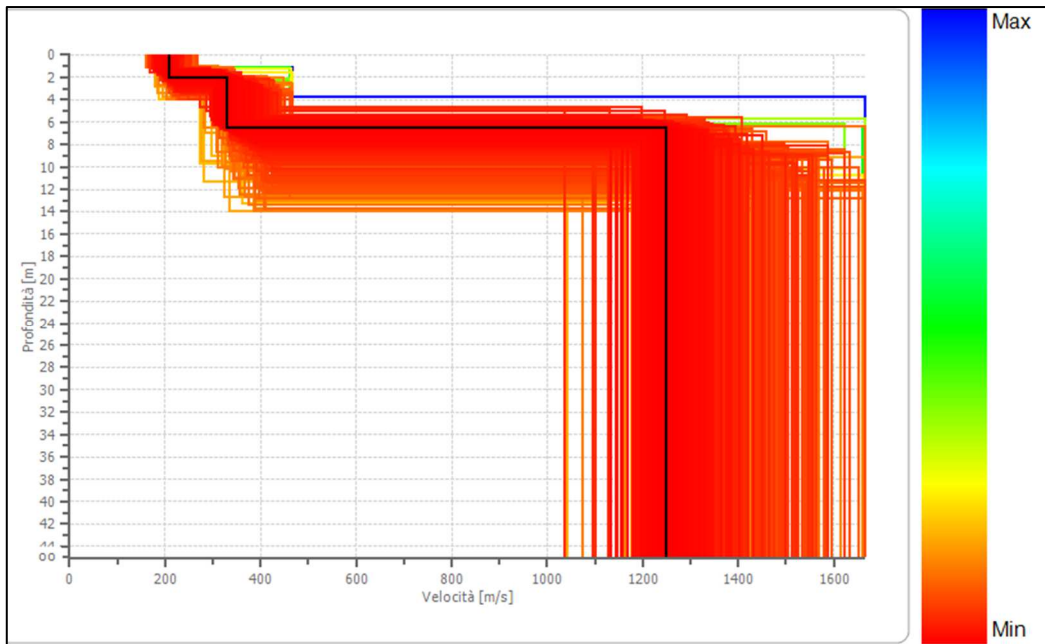
**Stendimento MASW; "MW46" (Ghirlanda)**



*Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MW46*



*Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MW46*

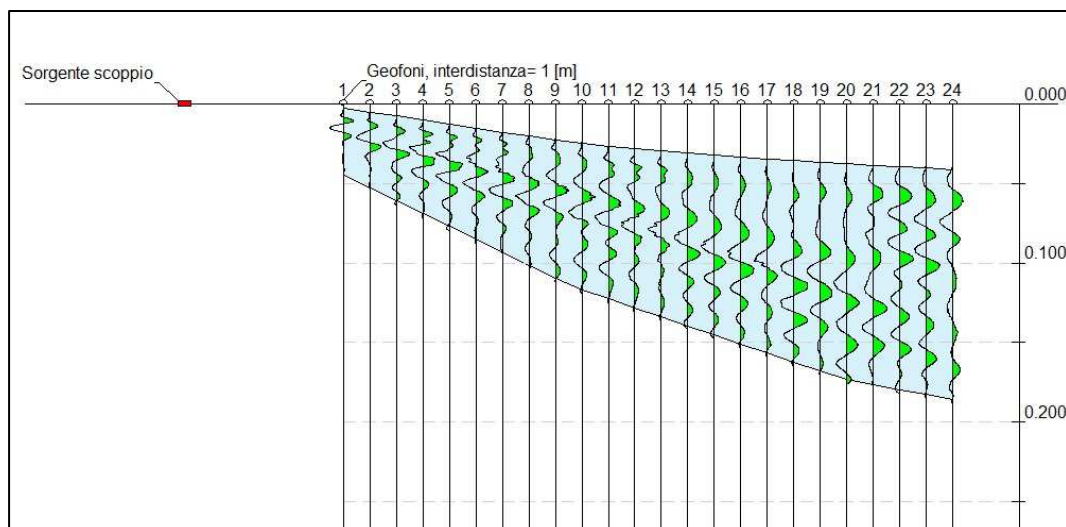


Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MW46

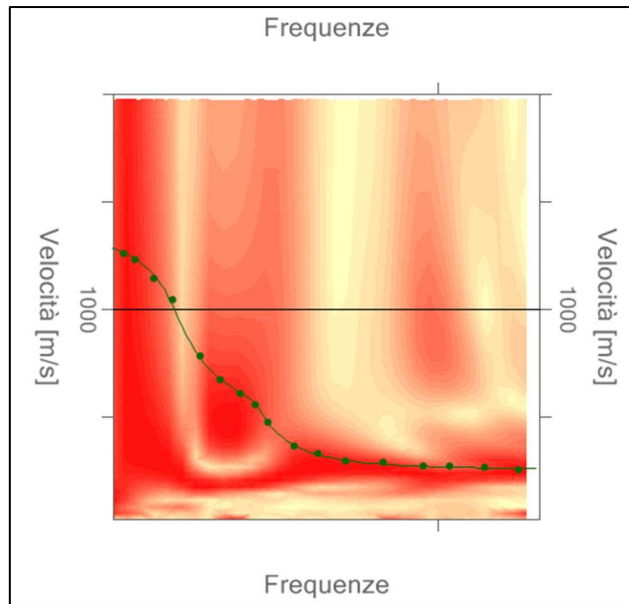
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	2.07	2.07	207.4
2	6.58	4.51	330.4
3	oo	oo	1247.9

Percentuale di errore	0.020 %	$V_{s,eq} [m/sec] (H=6.58) = 278.44$
Fattore di disadattamento della soluzione	0.016	
		Categoria del suolo; E

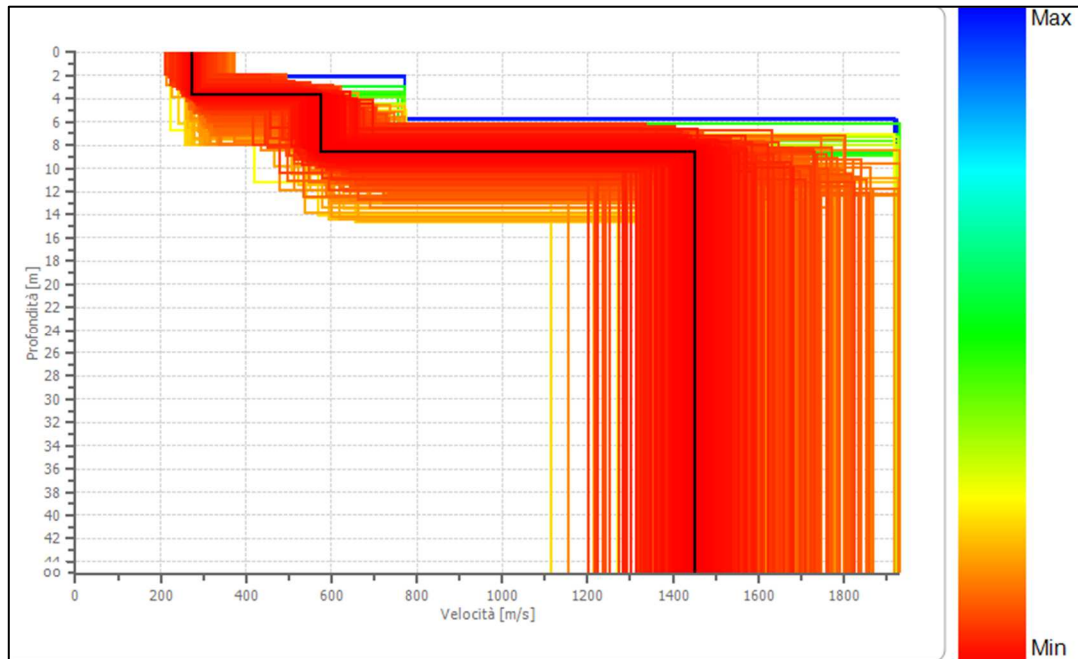
### Stendimento MASW; "MW50" (Massa Marittima)



Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MW50



Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MW50

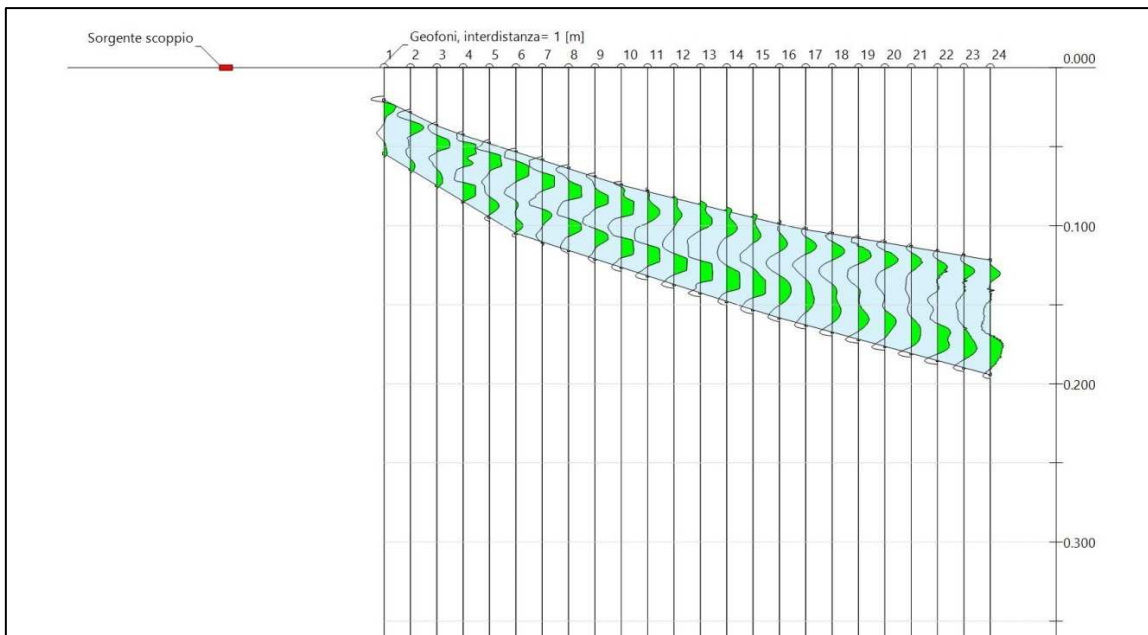


Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MW50

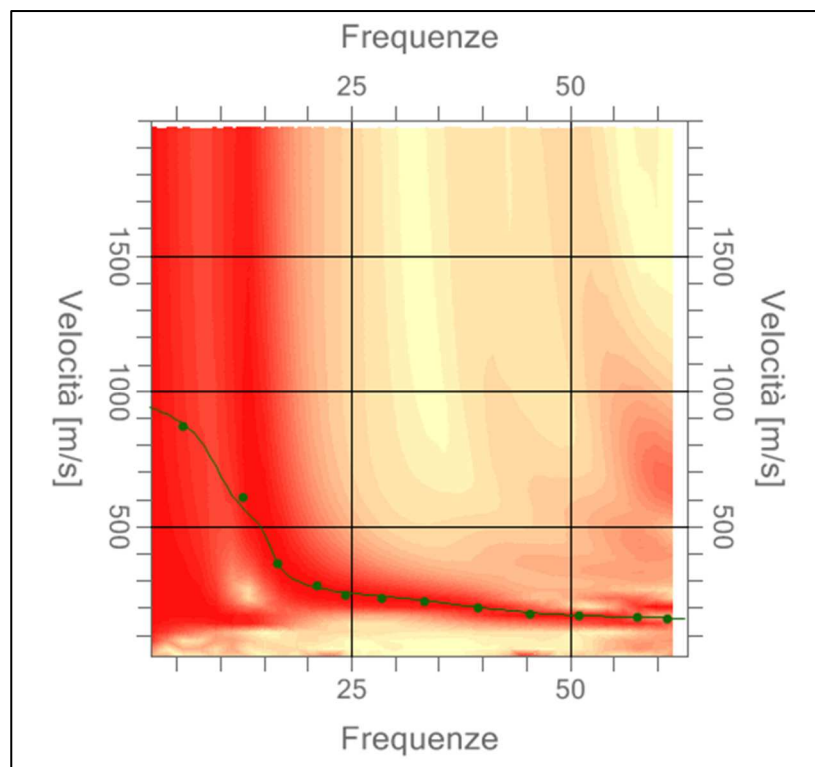
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.70	3.70	273.3
2	8.56	4.86	573.7
3	oo	oo	1451.3

Percentuale di errore	0.011 %	$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=8.56)= <b>388.85</b>
Fattore di disadattamento della soluzione	0.012	

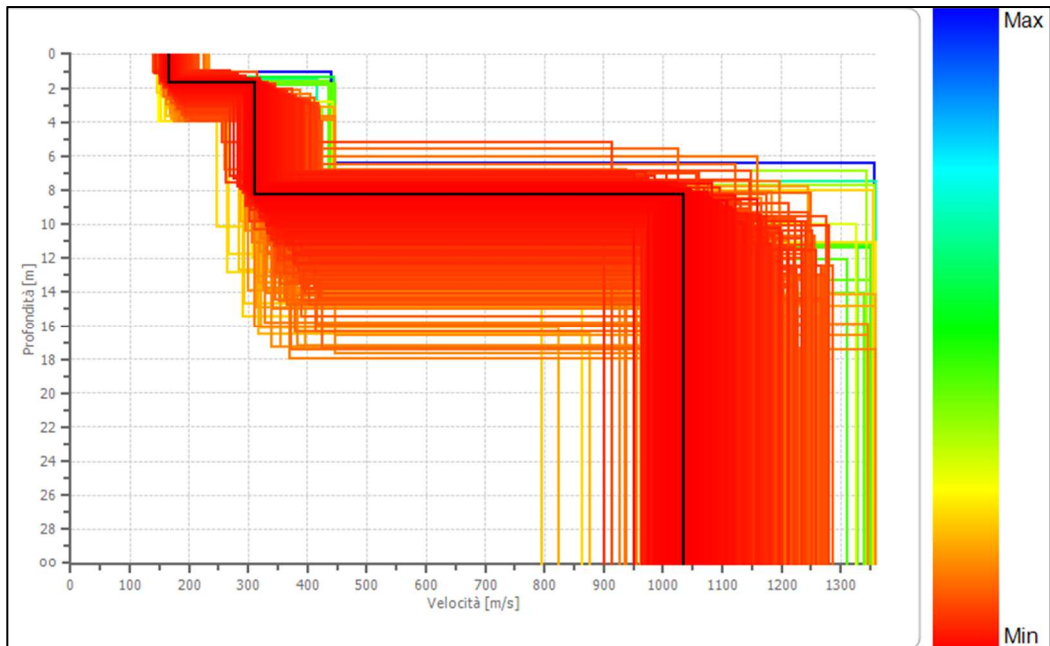
## Stendimento MASW; "MW51 (Prata)



Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MW51



Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MW51

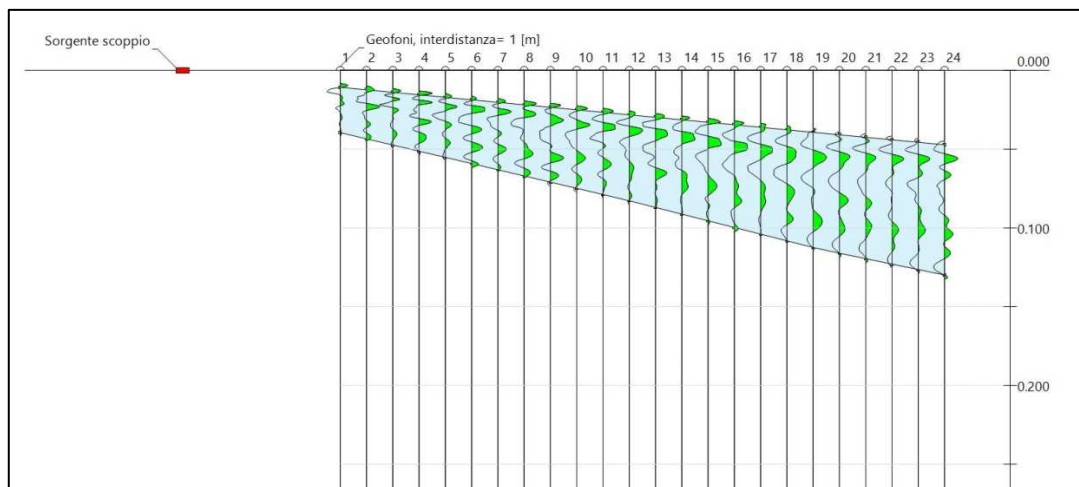


Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MW51

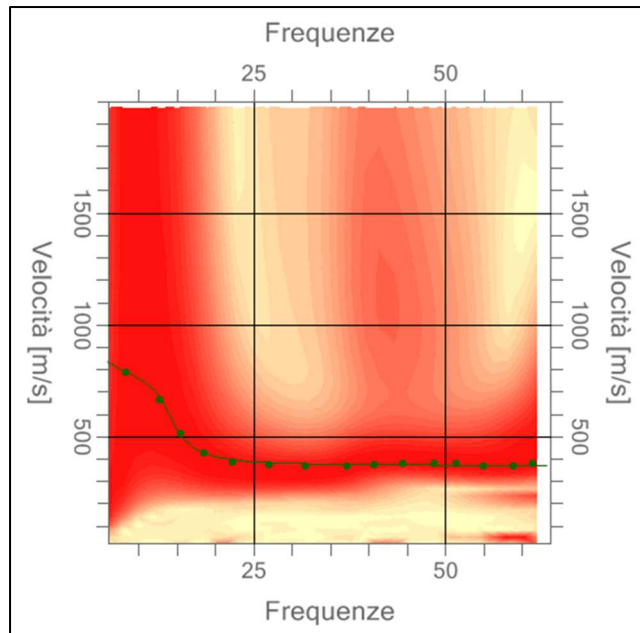
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	1.71	1.71	165.4
2	8.24	6.52	309.8
3	∞	∞	1034.0

Percentuale di errore	0.109 %	$V_{s,eq}$ [m/sec] ( $H=8.24$ )= <b>262.15</b>
Fattore di disadattamento della soluzione	0.024	
		<i>Categoria del suolo; E</i>

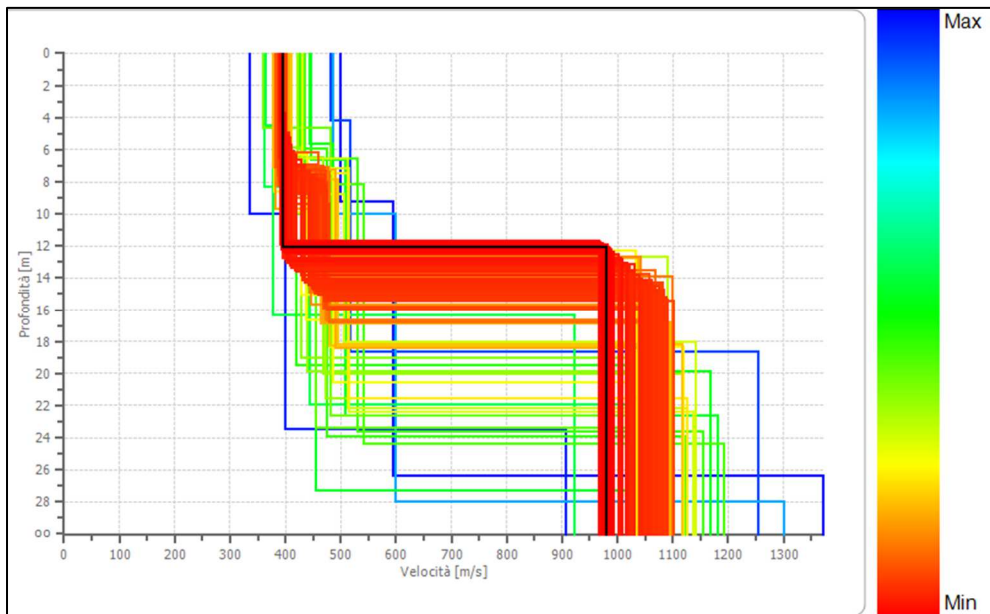
### Stendimento MASW; "MW52" (Prata)



Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MW52



Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MW52

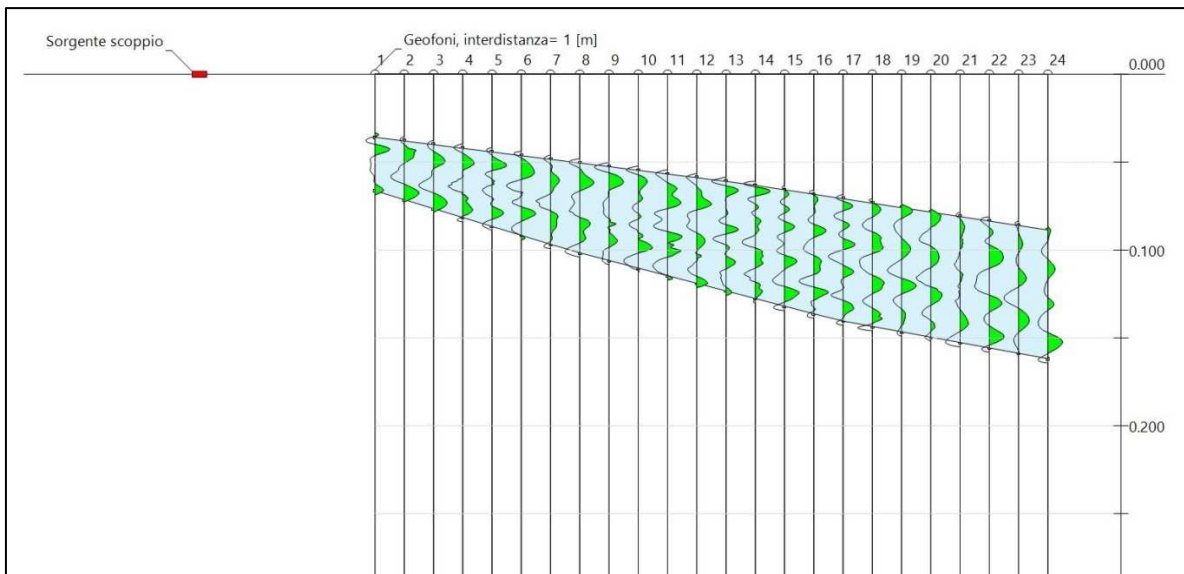


Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MW52

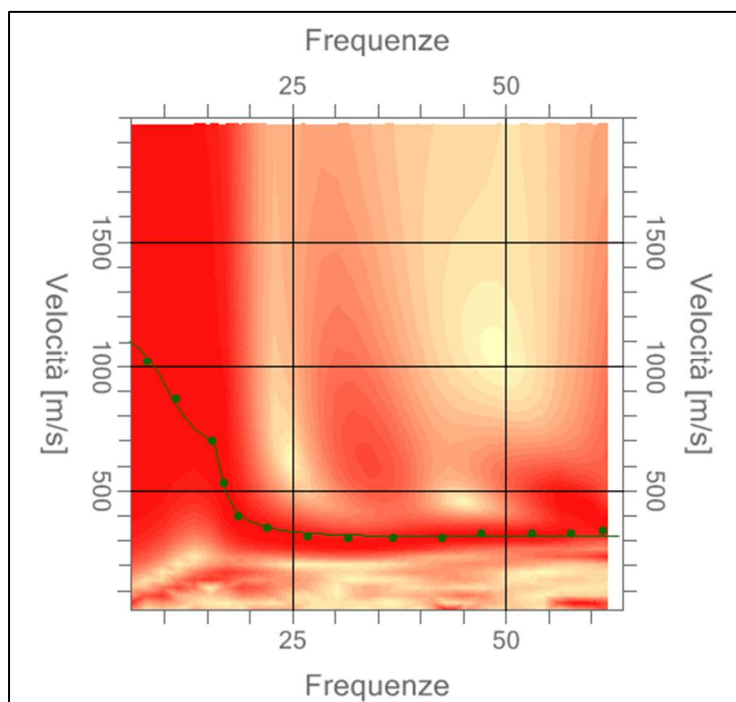
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.50	3.50	395.2
2	12.07	8.57	394.7
3	oo	oo	980.9

Percentuale di errore	0.026 %	$V_{s,eq} [m/sec] (H=12.07) = 394.83$
Fattore di disadattamento della soluzione	0.018	
		<i>Categoria del suolo; B</i>

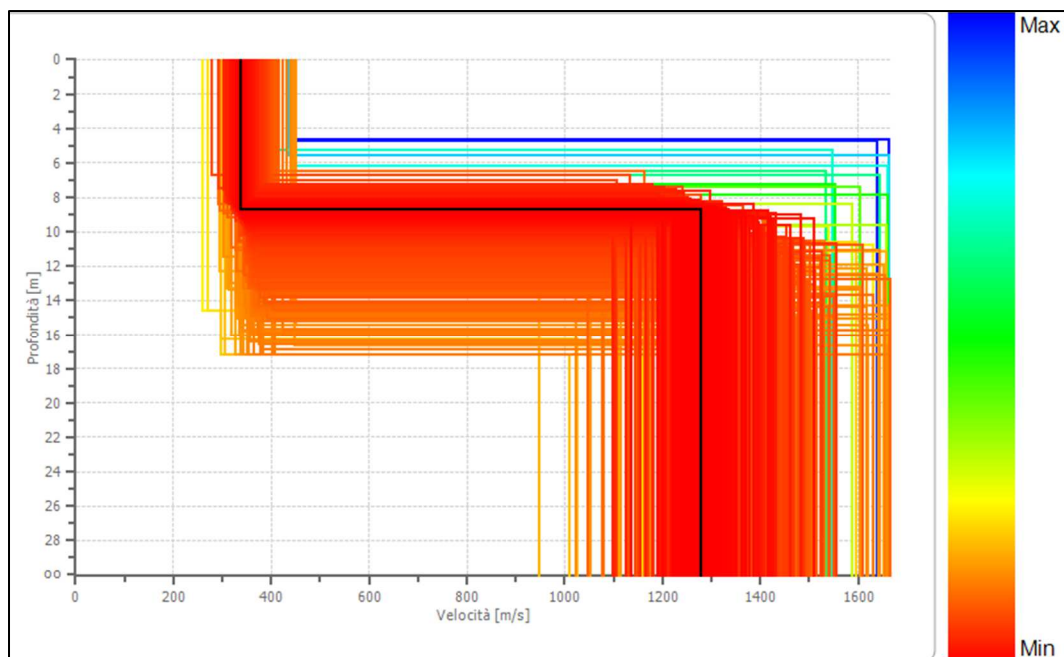
**Stendimento MASW; “MW53” (Niccioleta)**



*Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MW53*



*Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MW53*



Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MW53

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	8.75	8.75	338.3
2	oo	oo	1279.5

Percentuale di errore	0.076 %	$V_{s,eq} [m/sec] (H=8.75) = 338.34$
Fattore di disadattamento della soluzione	0.035	
		Categoria del suolo; E

Misura HVSR; "HV28" (Massa Marittima)

## Dati generali

Data: 03/05/2018 - 11:45

Coordinata x: 1653777 m Est "Gauss-Boaga Roma40"

Coordinata y: 4768567 m Nord

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

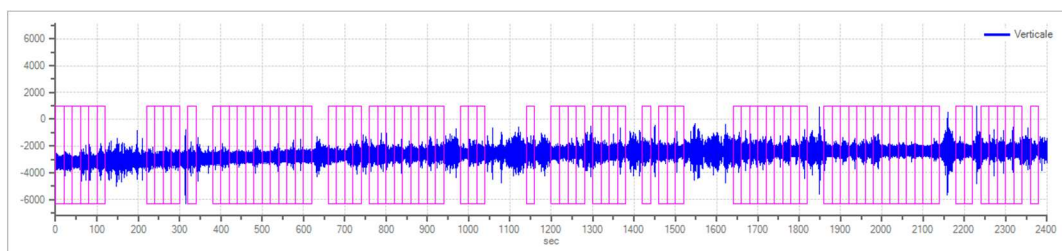
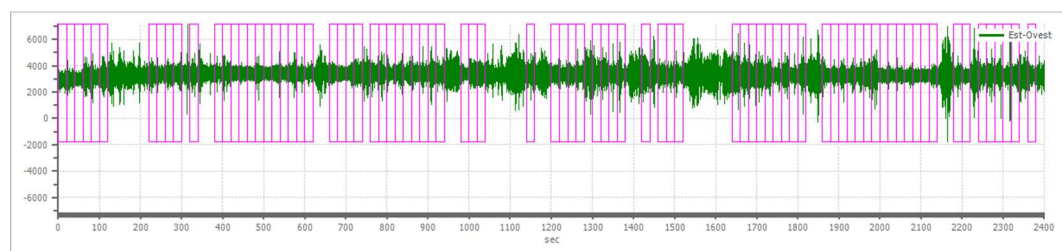
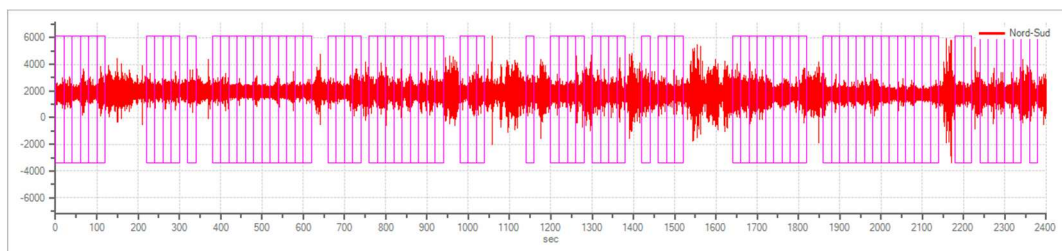
Numero tracce: 3  
 Durata registrazione: 2400 s  
 Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
 Numero campioni: 376800  
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

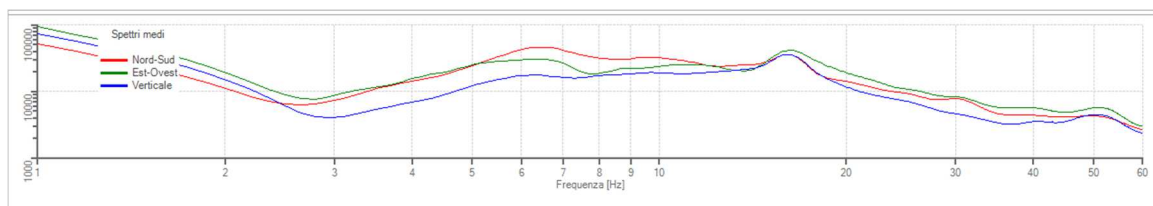
### Dati riepilogativi:

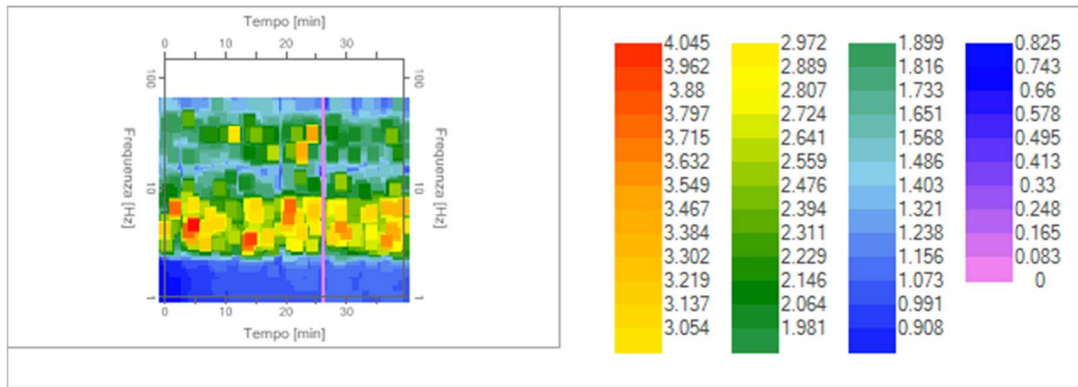
Numero totale finestre selezionate: 83  
Numero finestre incluse nel calcolo: 83  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamento: 22.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

### Grafici tracce con finestre selezionate:

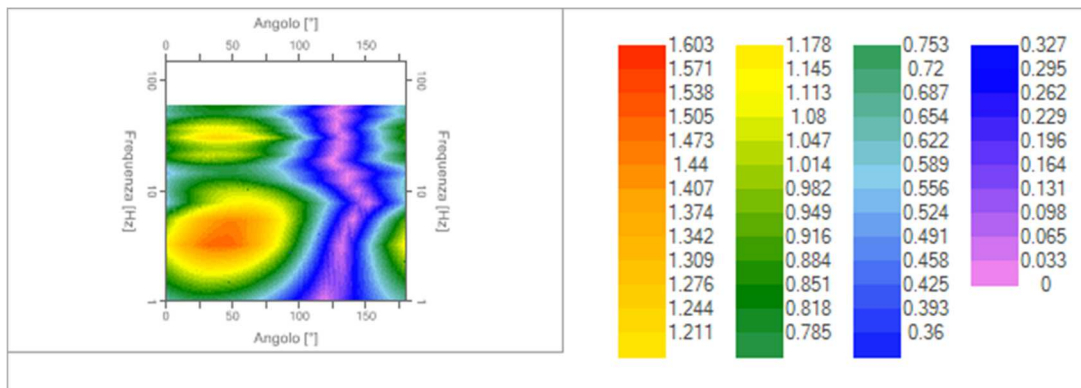


### Grafici degli spettri





Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

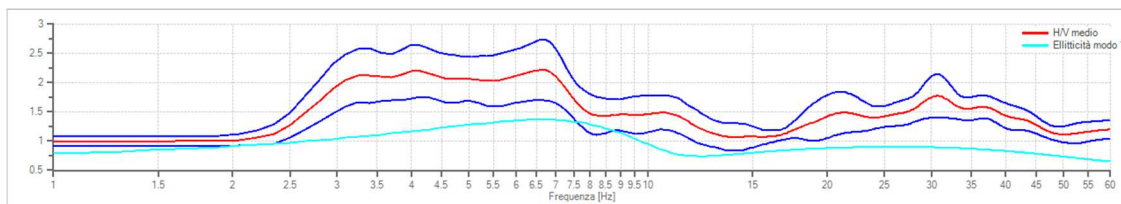
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 60.00 Hz  
 Frequenza minima: 1.00 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamento:: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 22.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 6.70 Hz  $\pm$  0.23 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

## CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 3 Criteri verificati su 6

**Misura HVSR; "HV29" (Massa Marittima)**

## **Dati generali**

Data:03/05/2018 - 12:55

Coordinata x:1653777 m Est "Gauss-Boaga Roma40"

Coordinata y:4768540 m Nord

## **Tracce in input**

### Dati riepilogativi:

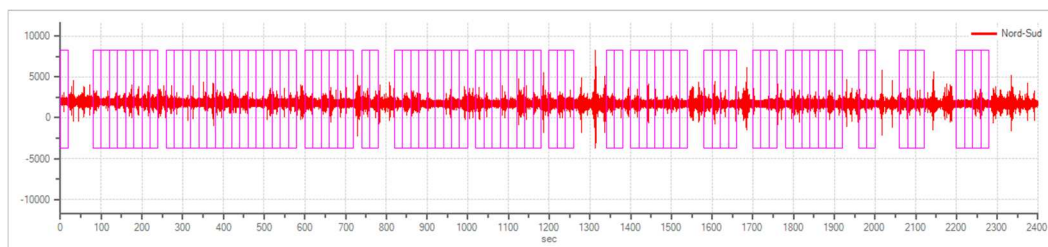
Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 2400 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 376800  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## **Finestre selezionate**

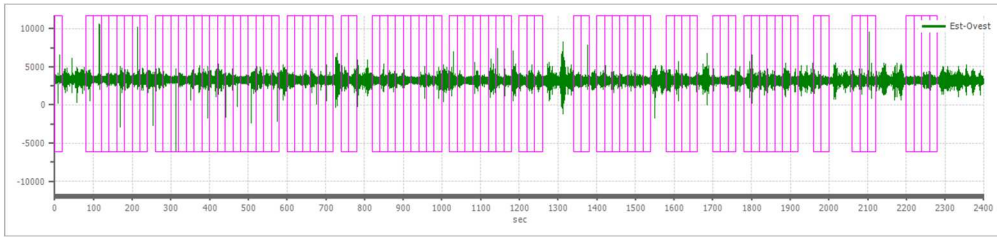
### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 85  
Numero finestre incluse nel calcolo: 85  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamiento: 25.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

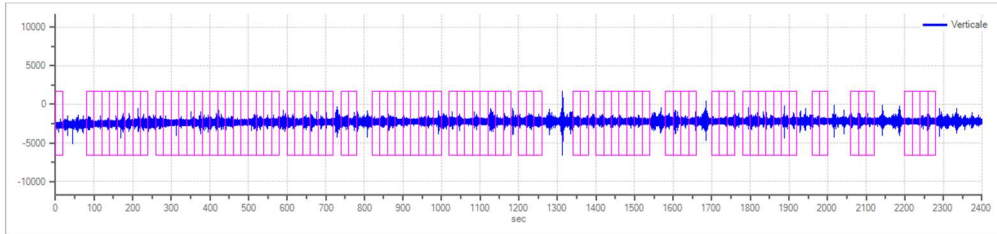
### Grafici tracce con finestre selezionate:



*Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud*

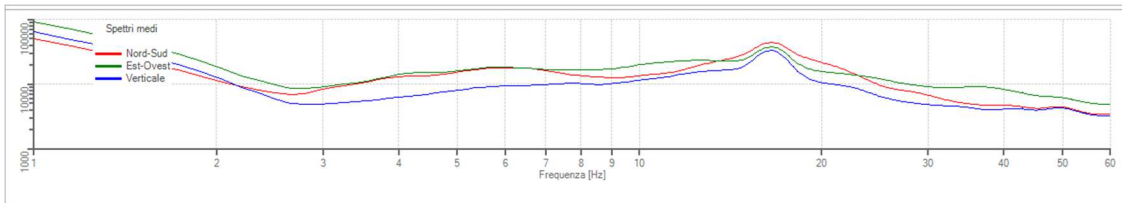


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

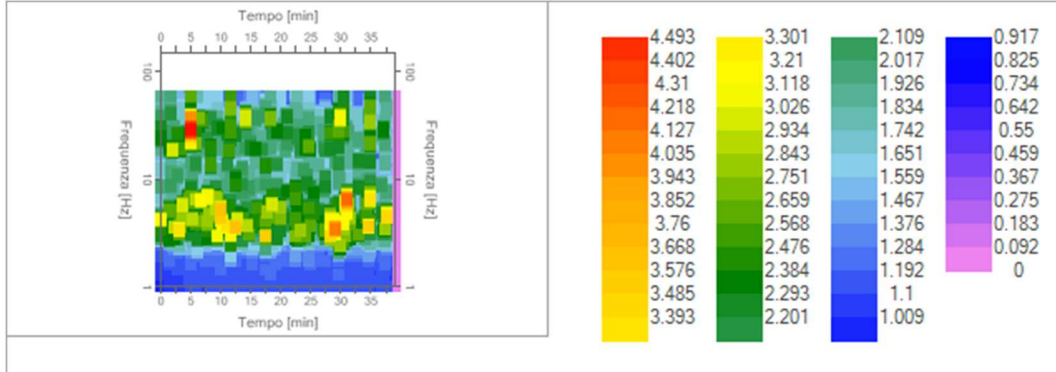


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

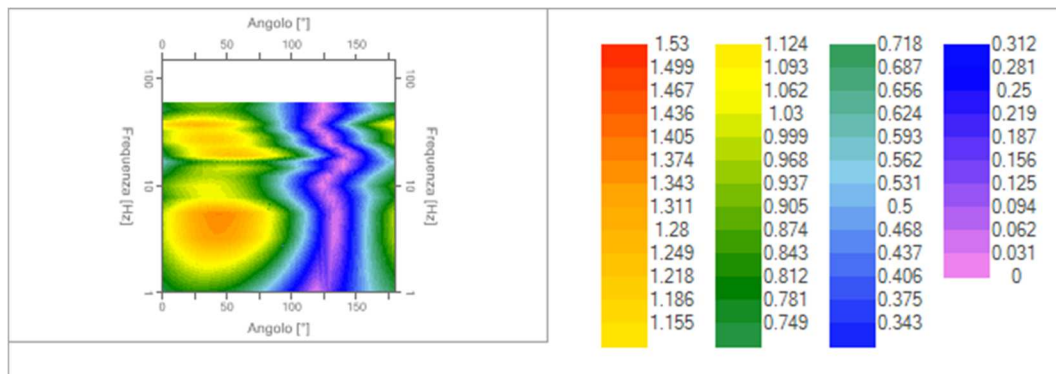
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

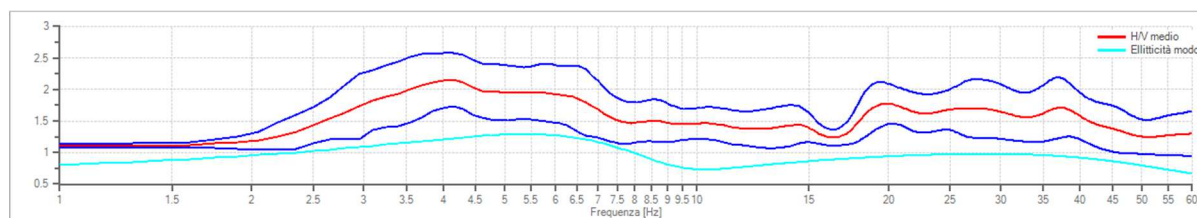
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 60.00 Hz  
Frequenza minima: 1.00 Hz  
Passo frequenze: 0.15 Hz  
Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamento: 25.00 %  
Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V (f0): 4.15 Hz ± 0.20 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V



*Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia*

### CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile: 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro: 4 Criteri verificati su 6

### *Misura HVSR; "HV30" (Massa Marittima)*

## Dati generali

Data: 03/05/2018 - 14:02  
Coordinata x: 1653727 m Est "Gauss-Boaga Roma40"  
Coordinata y: 4768499 m Nord

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

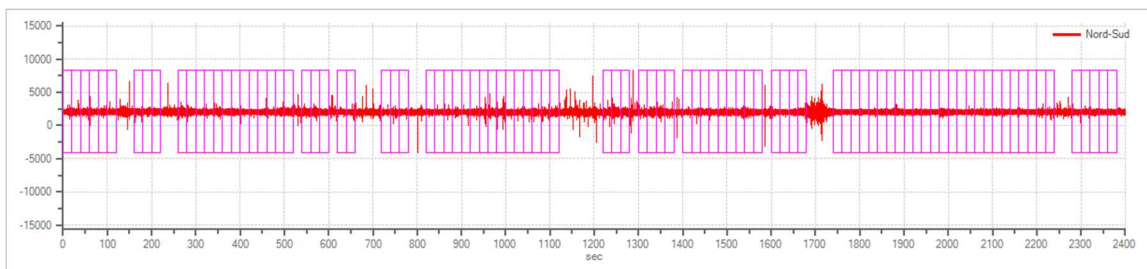
Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 2400 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 376800  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

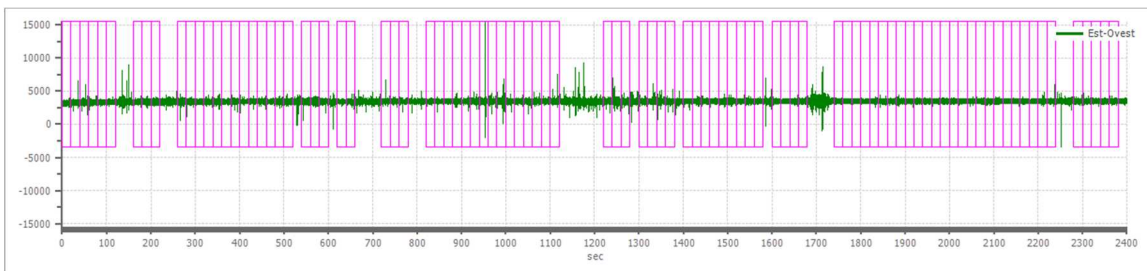
### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 95  
Numero finestre incluse nel calcolo: 95  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamento: 25.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

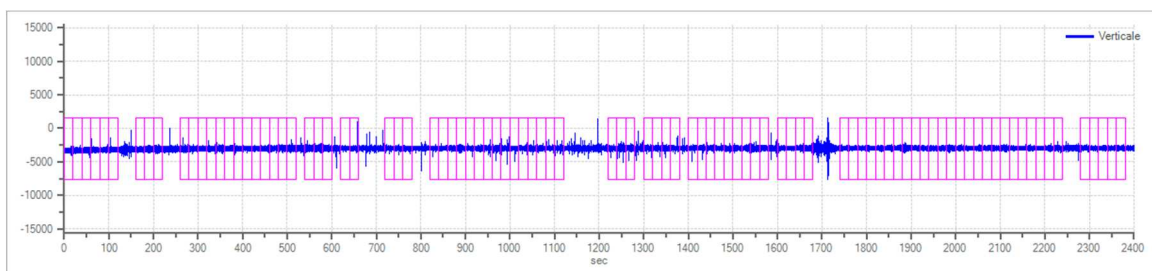
### Grafici tracce con finestre selezionate:



*Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud*

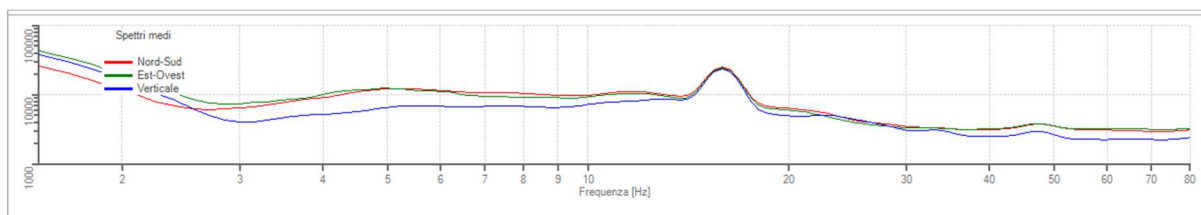


*Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest*

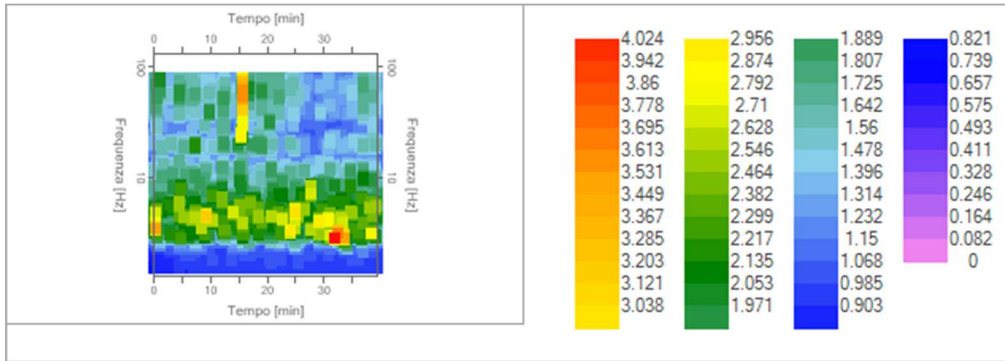


*Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale*

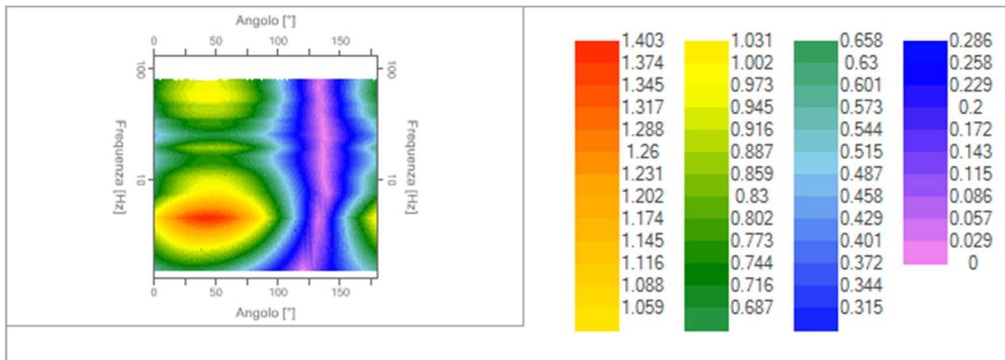
### Grafici degli spettri



*Spettri medi nelle tre direzioni*



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

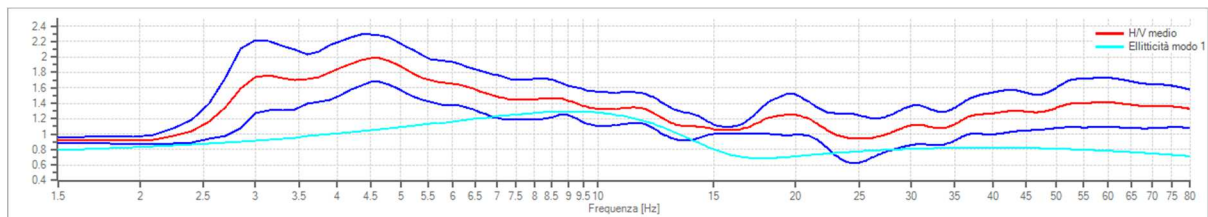
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 80.00 Hz  
 Frequenza minima: 1.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 25.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 4.50 Hz  $\pm$  0.16 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

## CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 3 Criteri verificati su 6

Misura HVSR; "HV38" (Prata)

## Dati generali

Data: 28/11/2018 - 13:25

Coordinata x: 1661357 m Est "Gauss-Boaga Roma40"

Coordinata y: 4772153 m Nord

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

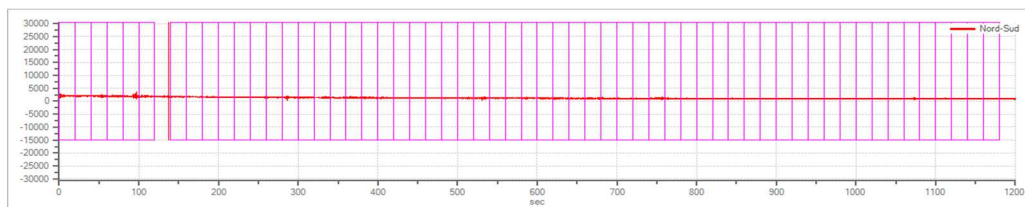
Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

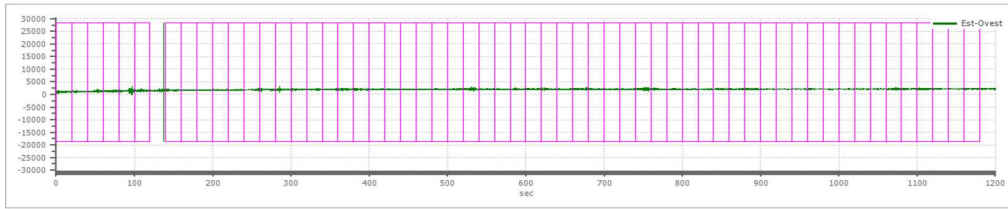
### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 58  
Numero finestre incluse nel calcolo: 58  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamiento: 40.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

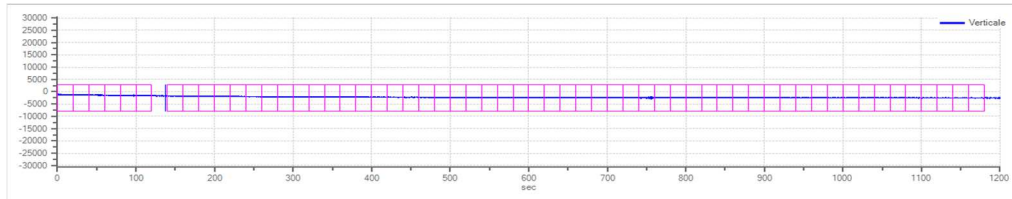
### Grafici tracce con finestre selezionate:



*Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud*

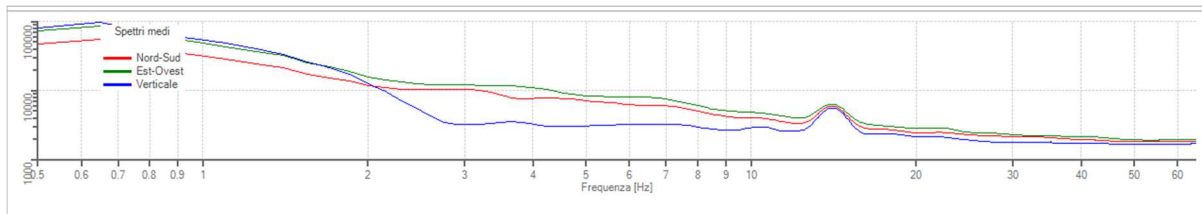


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

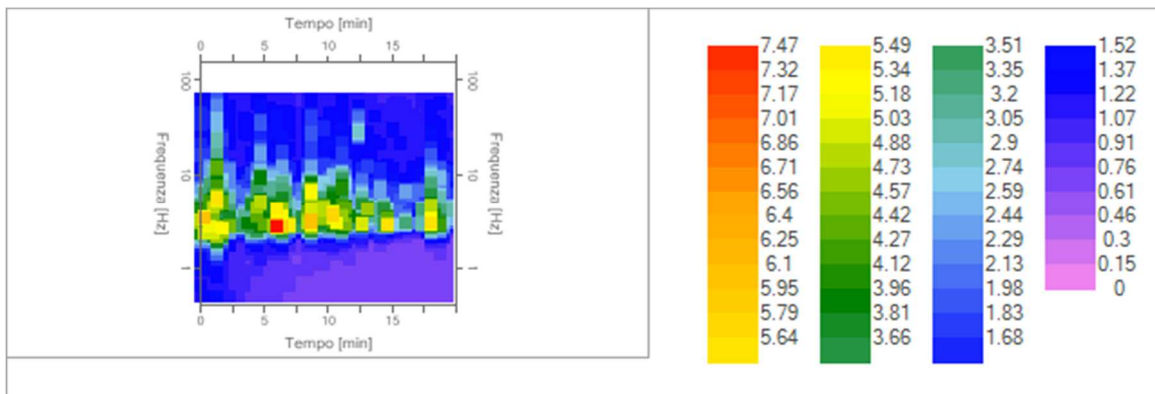


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

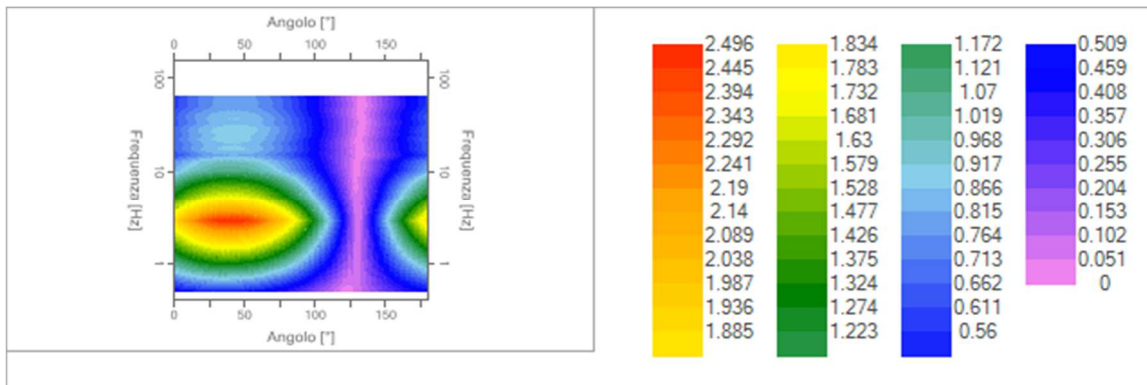
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

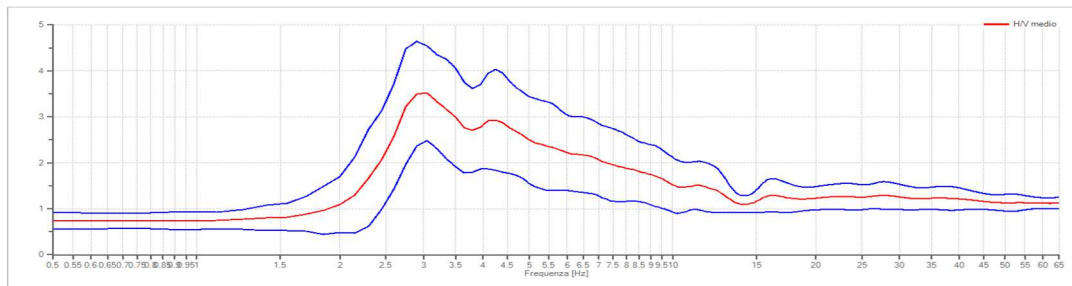
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 65.00 Hz  
Frequenza minima: 0.50 Hz  
Passo frequenze: 0.15 Hz  
Tipo lisciamento:: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamento: 40.00 %  
Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V (f0): 3.05 Hz ± 0.29 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V



*Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia*

### CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile: 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro: 6 Criteri verificati su 6

### *Misura HVSR; "HV39" (Prata)*

## Dati generali

Data: 28/11/2018 - 13:56  
Coordinata x: 1661328 m Est "Gauss-Boaga Roma40"  
Coordinata y: 4772254 m Nord

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz

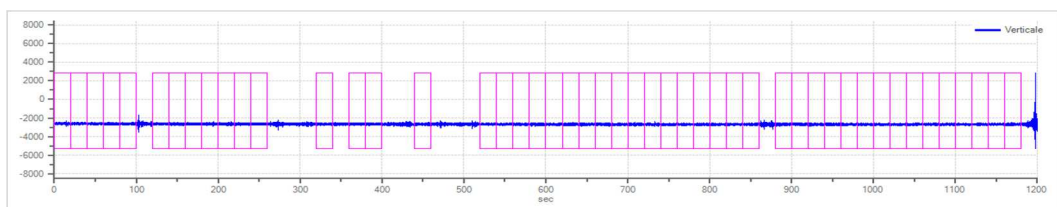
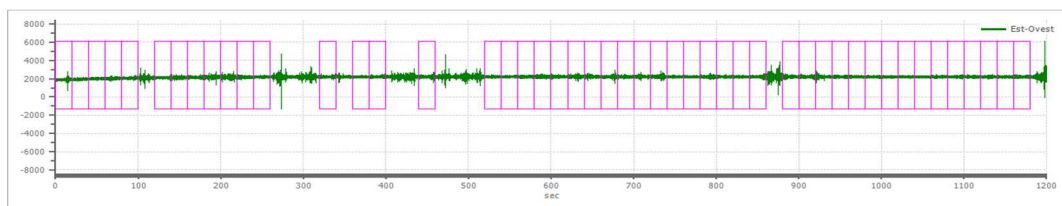
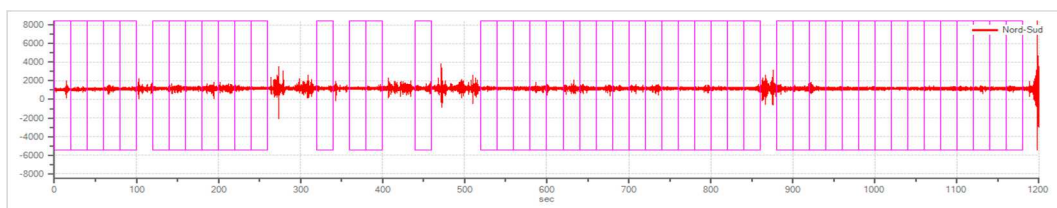
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

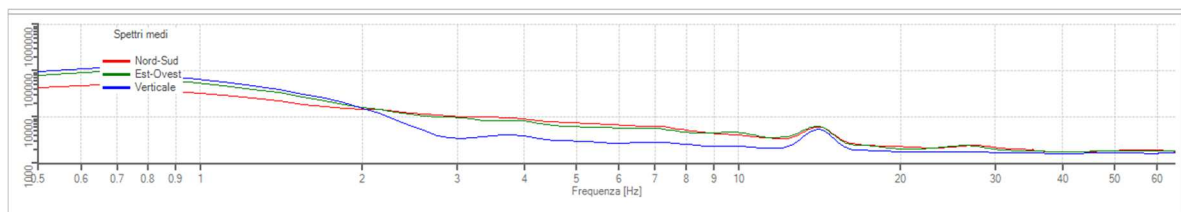
### Dati riepilogativi:

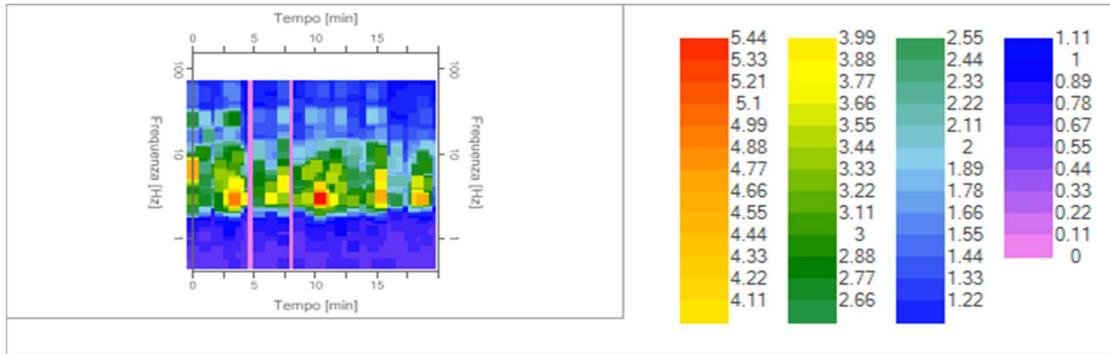
Numero totale finestre selezionate: 48  
Numero finestre incluse nel calcolo: 48  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamo: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamo: 40.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

### Grafici tracce con finestre selezionate:

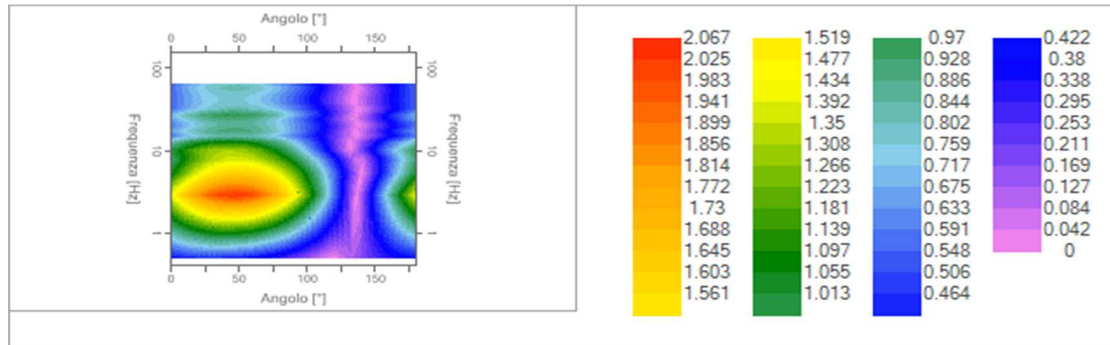


### Grafici degli spettri





Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

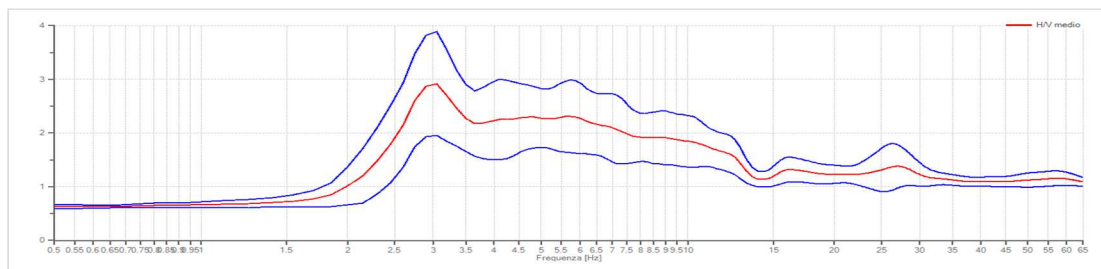
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	65.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenza:	0.15 Hz
Tipo lisciamo::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamo:	40.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 3.05 Hz ± 0.33 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

## CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 6 Criteri verificati su 6

Misura HVSR; "HV40" (Niccioleta)

## Dati generali

Data:28/11/2018 - 16:09

Coordinata x:1657392 m Est "Gauss-Boaga Roma40"

Coordinata y:4771944 m Nord

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

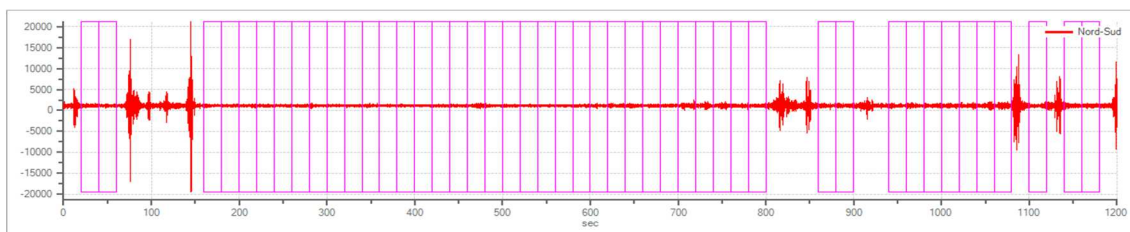
Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

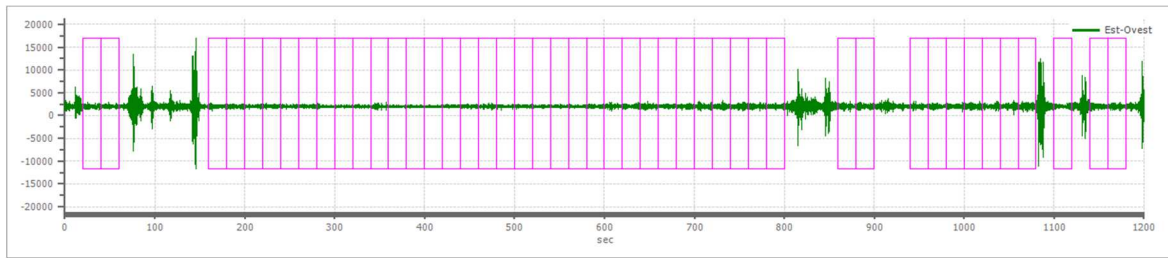
### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 46  
Numero finestre incluse nel calcolo: 46  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamto: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamto: 40.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

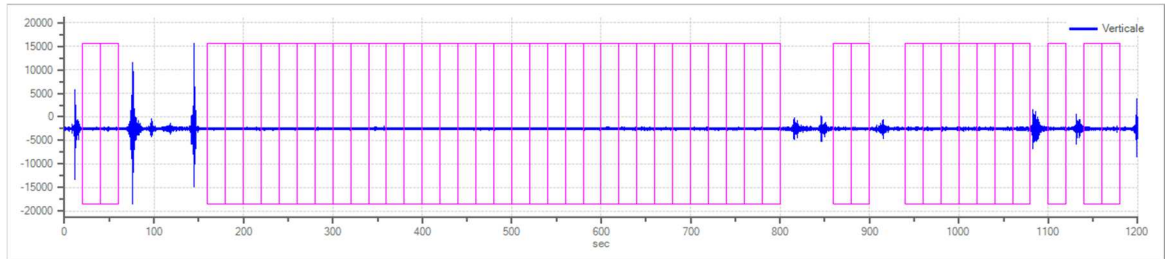
### Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

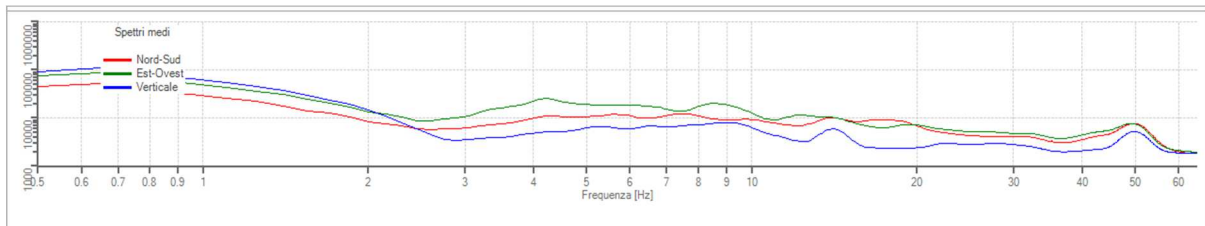


*Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest*

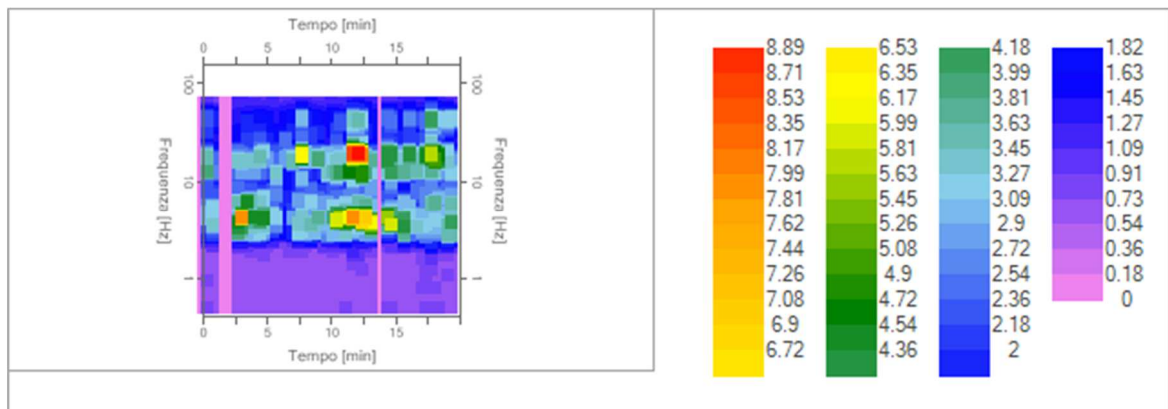


*Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale*

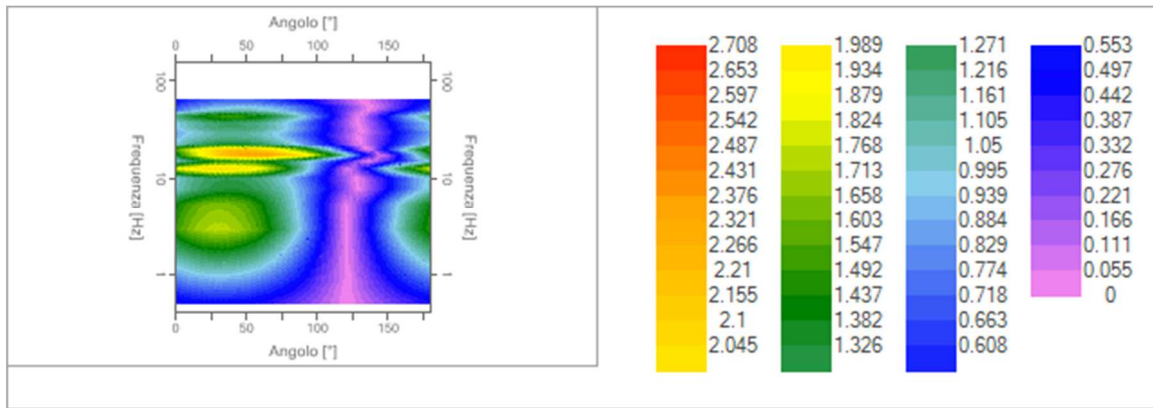
Grafici degli spettri



*Spettri medi nelle tre direzioni*



*Mapa della stazionarietà degli spettri*



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

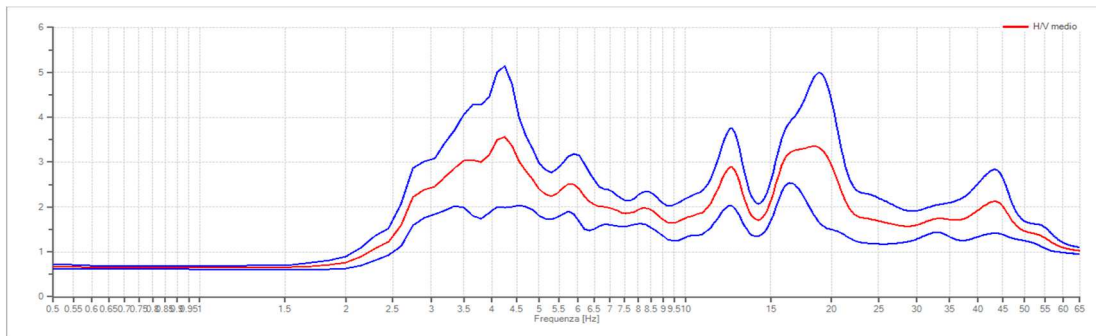
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 65.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 40.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V (f0): 4.25 Hz ± 0.44 HZ**

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile: 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro: 6 Criteri verificati su 6

Misura HVSR; "HV41" (Niccioleta)

## Dati generali

Data: 28/11/2018 - 16:34

Coordinata x: 1657452 m Est "Gauss-Boaga Roma40"

Coordinata y: 4772103 m Nord

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3

Durata registrazione: 1200 s

Frequenza di campionamento: 157.00 Hz

Numero campioni: 188400

Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 54

Numero finestre incluse nel calcolo: 54

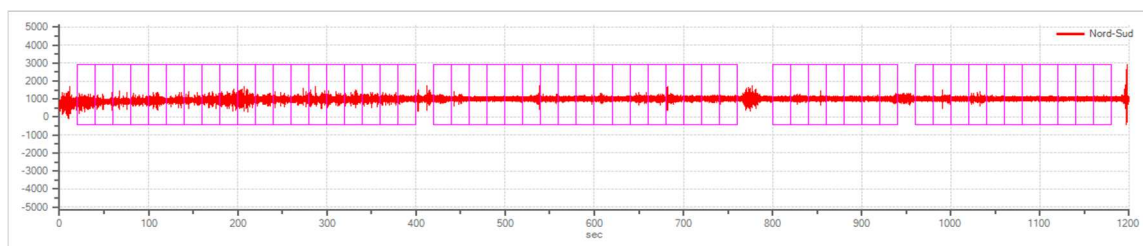
Dimensione temporale finestre: 20.000 s

Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

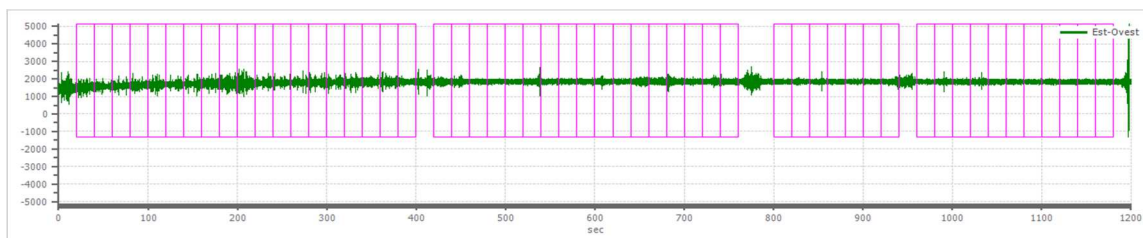
Percentuale di lisciamento: 40.00 %

Coefficiente di banda: 40.00

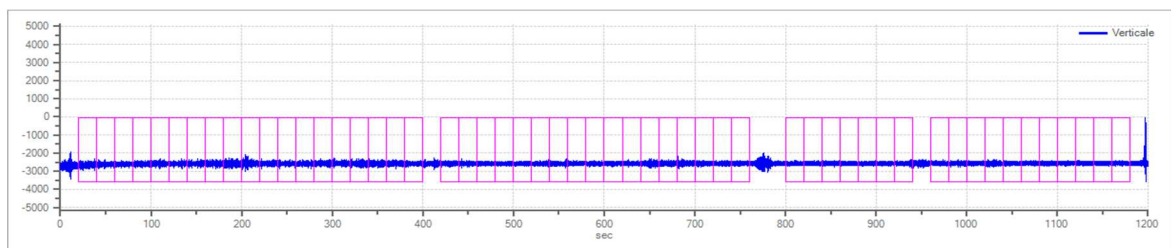
### Grafici tracce con finestre selezionate:



*Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud*

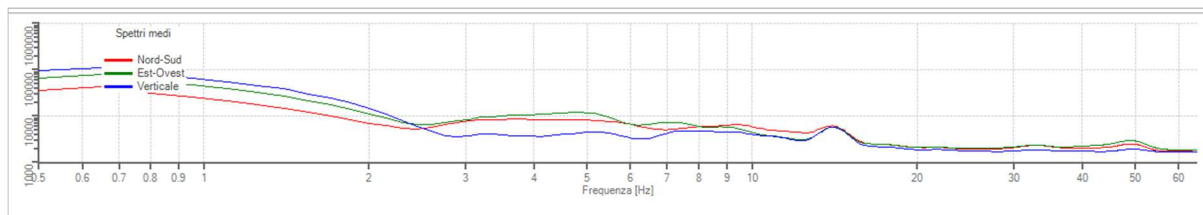


*Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest*

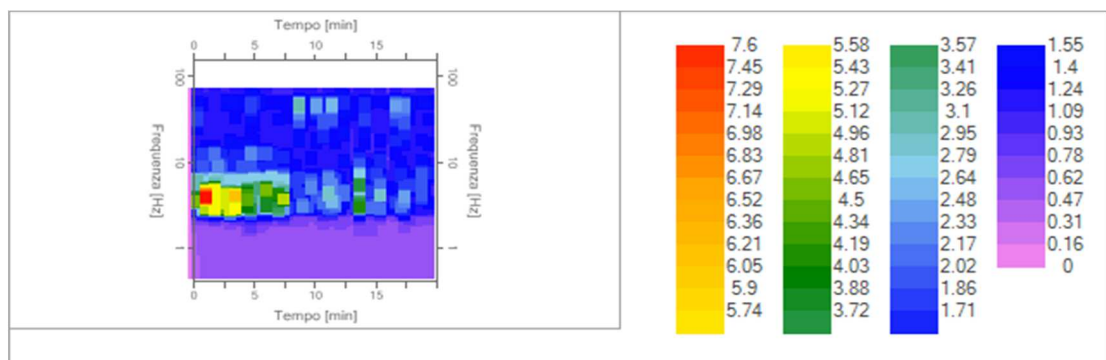


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

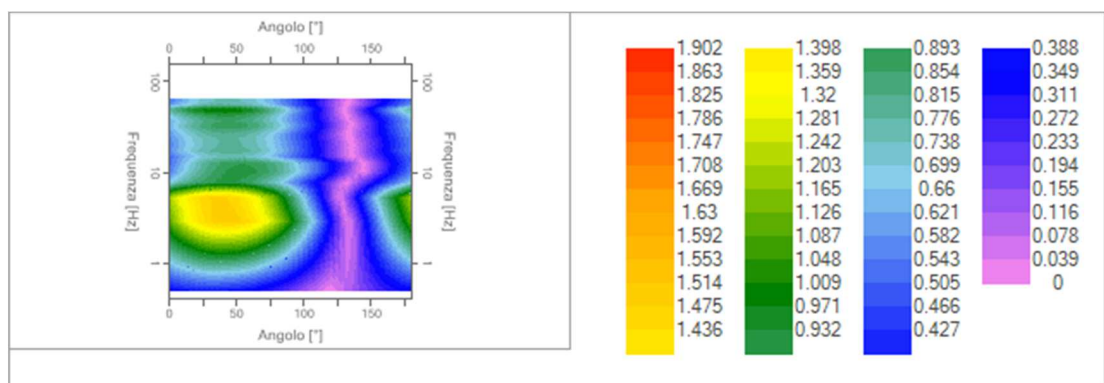
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

### Dati riepilogativi:

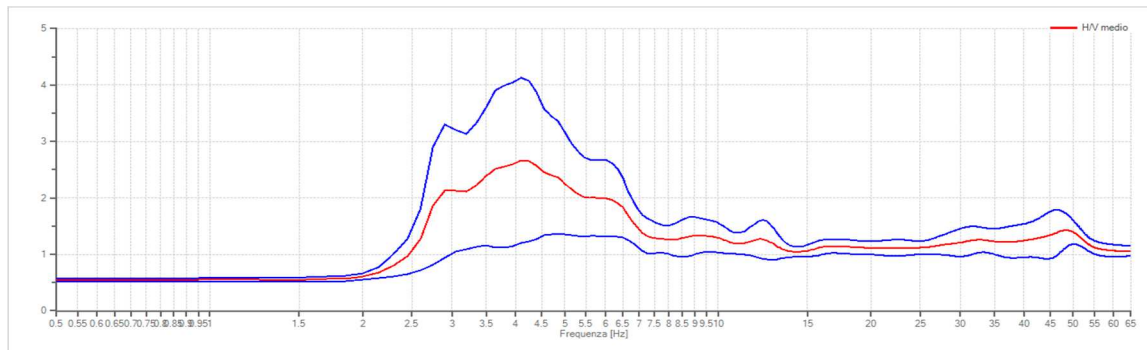
Frequenza massima: 65.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz

Passo frequenze: 0.15 Hz  
Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamento: 40.00 %  
Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V (f0): 4.10 Hz ± 0.55 Hz**

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 6 Criteri verificati su 6

Misura HVSR; "HV42" (Niccioleta)

**Dati generali**

Data: 28/11/2018 - 17:05  
Coordinata x: 1657470 m Est "Gauss-Boaga Roma40"  
Coordinata y: 4772176 m Nord

**Tracce in input**

Dati riepilogativi:

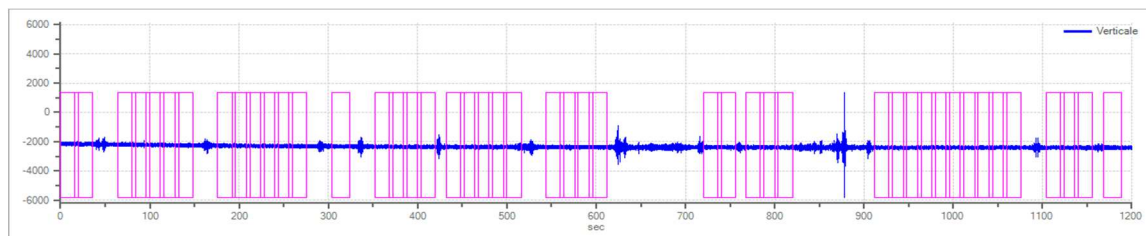
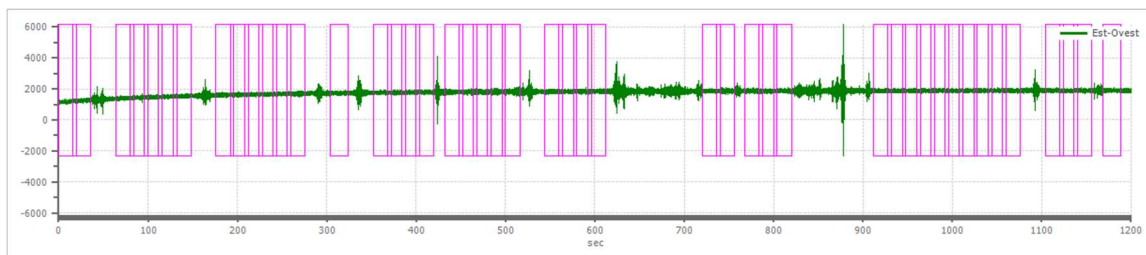
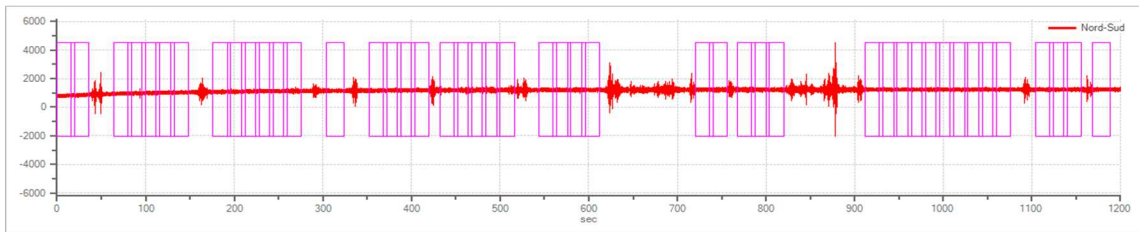
Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

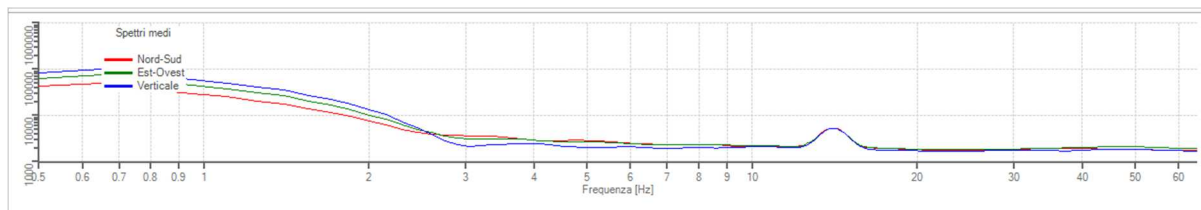
### Dati riepilogativi:

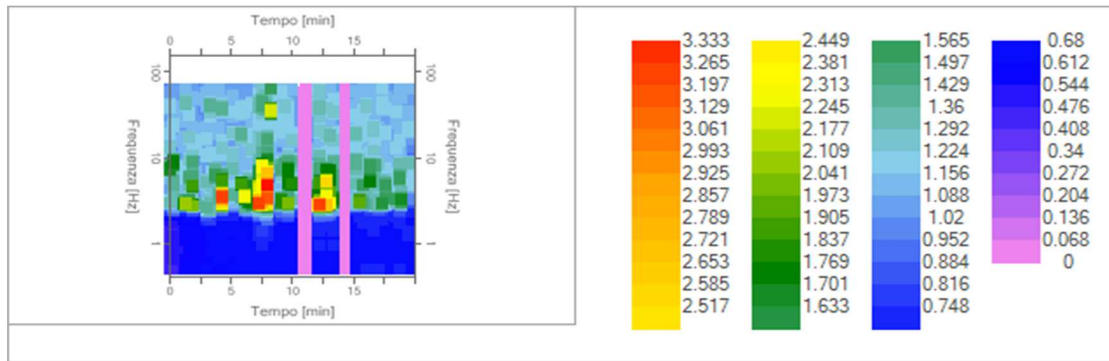
Numero totale finestre selezionate: 46  
Numero finestre incluse nel calcolo: 46  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamento: 40.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

### Grafici tracce con finestre selezionate:

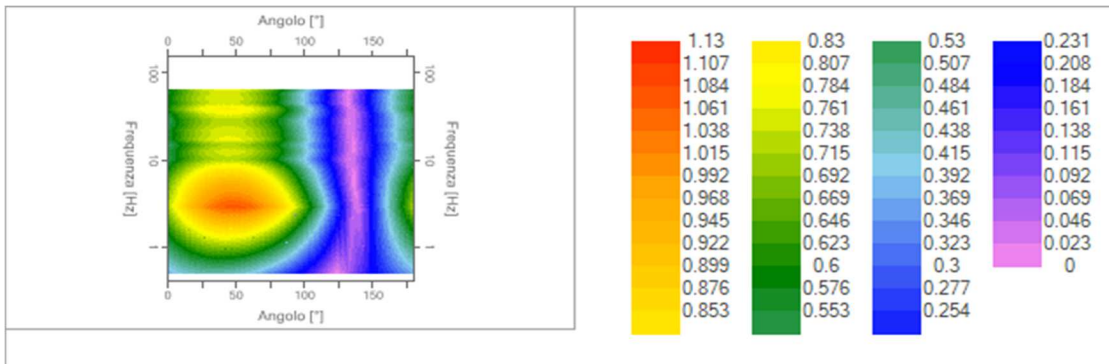


### Grafici degli spettri





Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

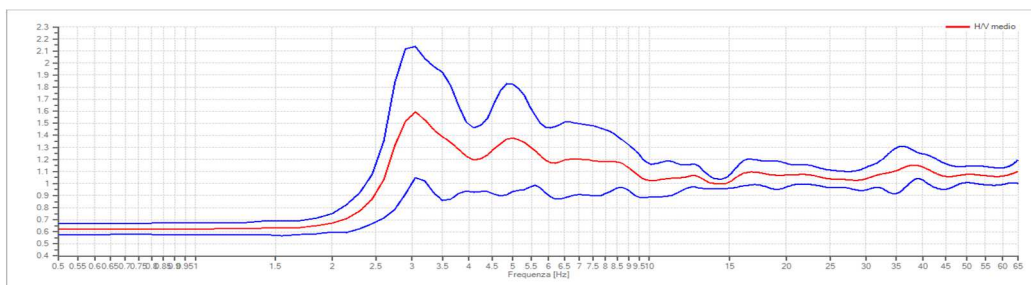
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 65.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamo:: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamo: 40.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V (f0): 3.05 Hz ± 0.34 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

## CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 4 Criteri verificati su 6

Misura HVSR; "HV130" (Prata)

## Dati generali

Data: 09/04/2021 - 12:53

Coordinata x: 1661631 m Est "Gauss-Boaga Roma40"

Coordinata y: 4772211 m Nord

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

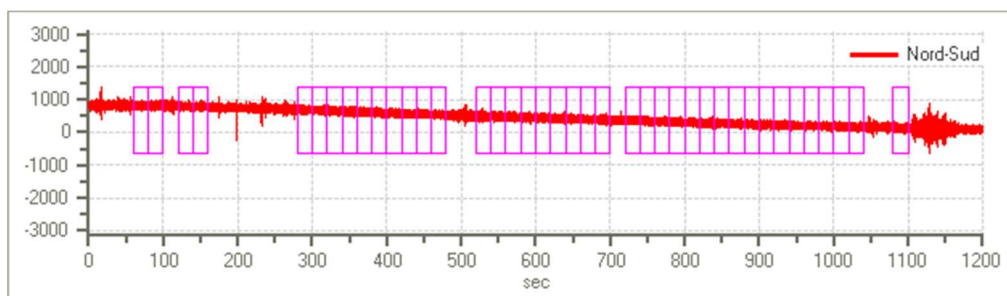
Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

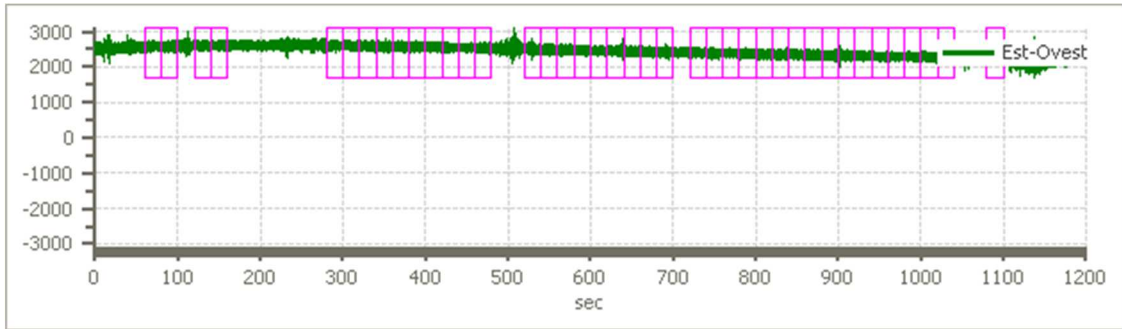
### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 40  
Numero finestre incluse nel calcolo: 40  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamiento: 30.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

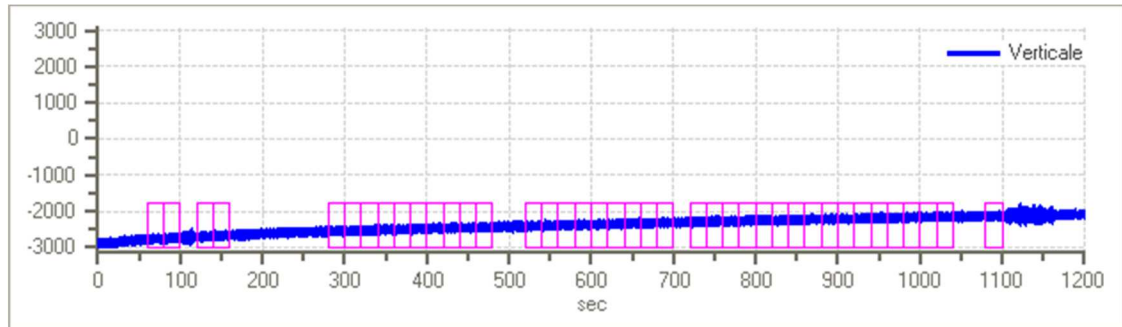
### Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

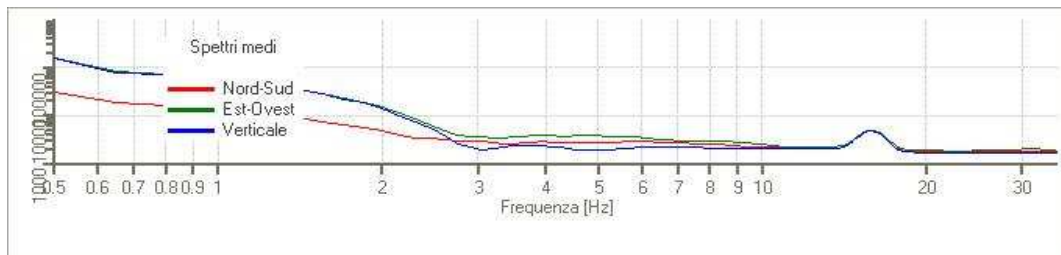


*Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest*

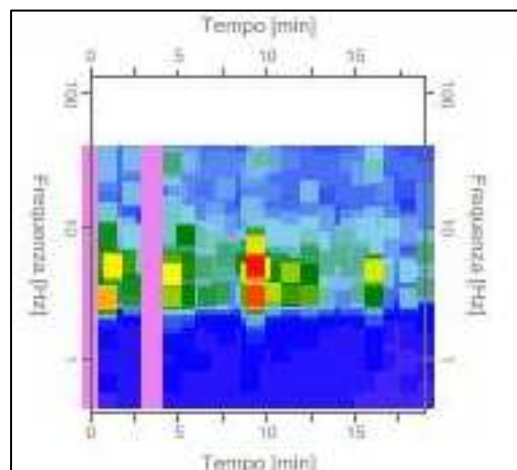


*Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale*

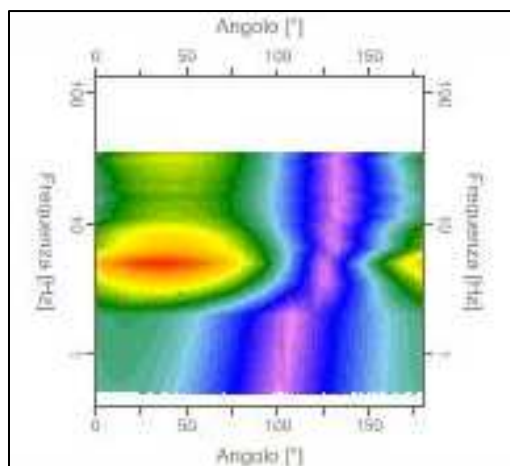
Grafici degli spettri



*Spettri medi nelle tre direzioni*



*Mappa della stazionarietà degli spettri*



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

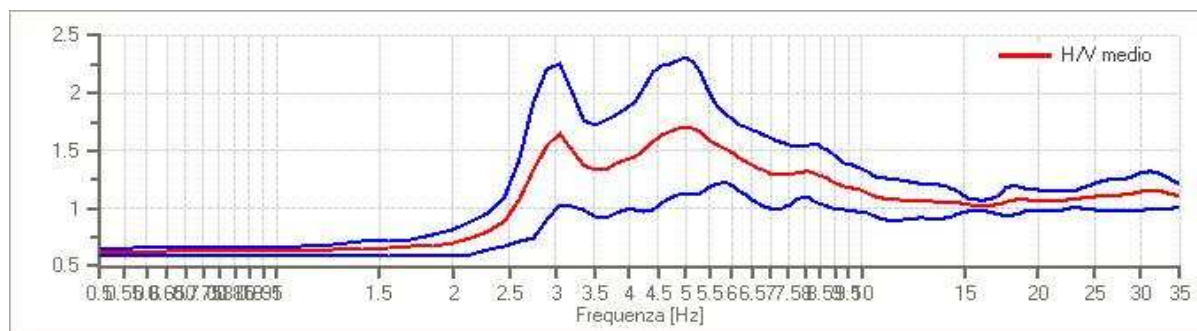
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	35.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	30.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 5.00 Hz  $\pm$  0.35 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 4 Criteri verificati su 6

## Misura HVSR; "HV1232" (Prata)

### Dati generali

Data: 09/04/2021 - 15:07  
Coordinata x: 1661380 m Est "Gauss-Boaga Roma40"  
Coordinata y: 4771800 m Nord

### Tracce in input

#### Dati riepilogativi:

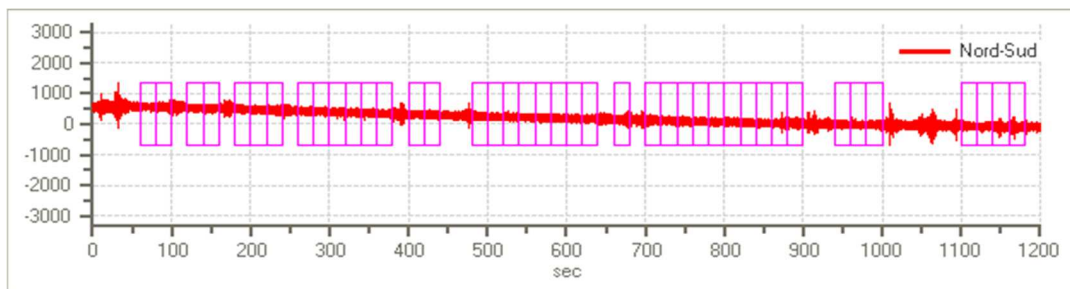
Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

### Finestre selezionate

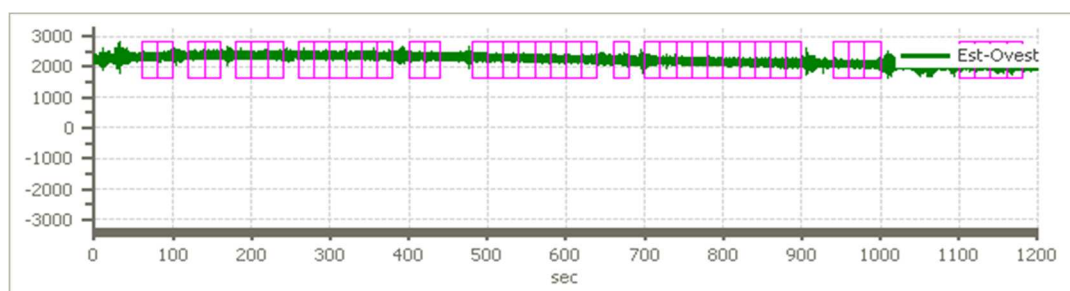
#### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 41  
Numero finestre incluse nel calcolo: 41  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamiento: 40.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

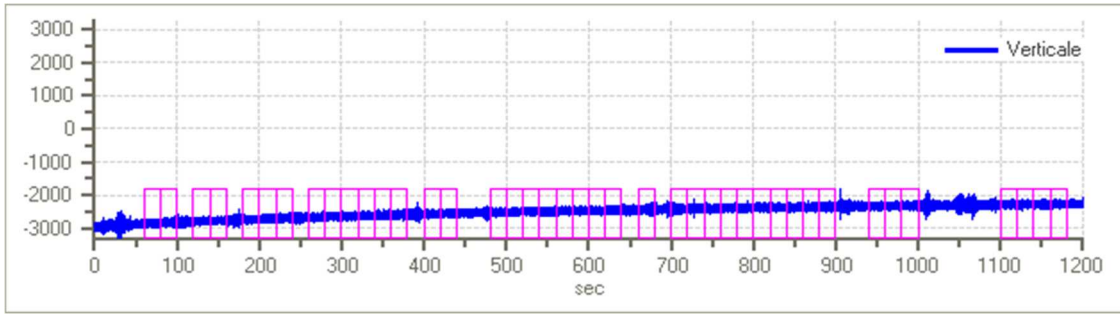
#### Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

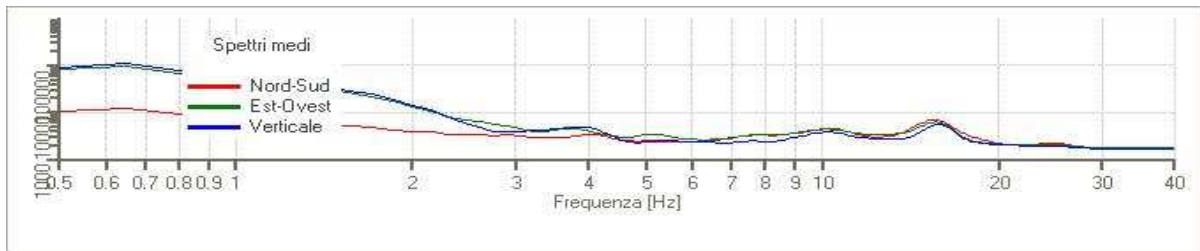


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

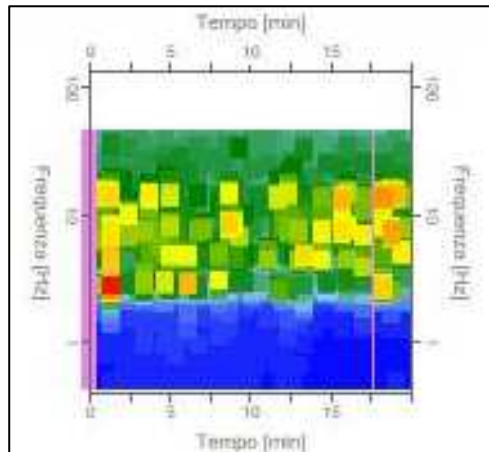


*Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale*

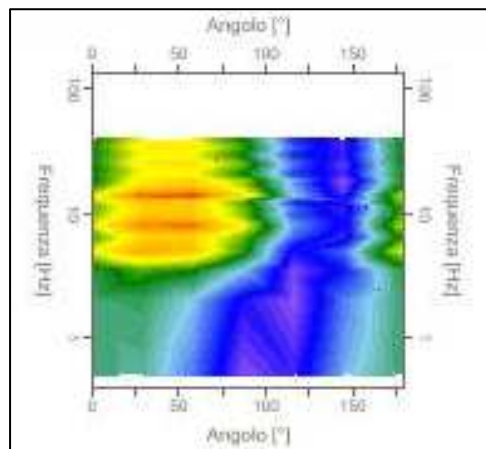
Grafici degli spettri



*Spettri medi nelle tre direzioni*



*Mappa della stazionarietà degli spettri*



*Mappa della direzionalità degli spettri*

## Rapporto spettrale H/V

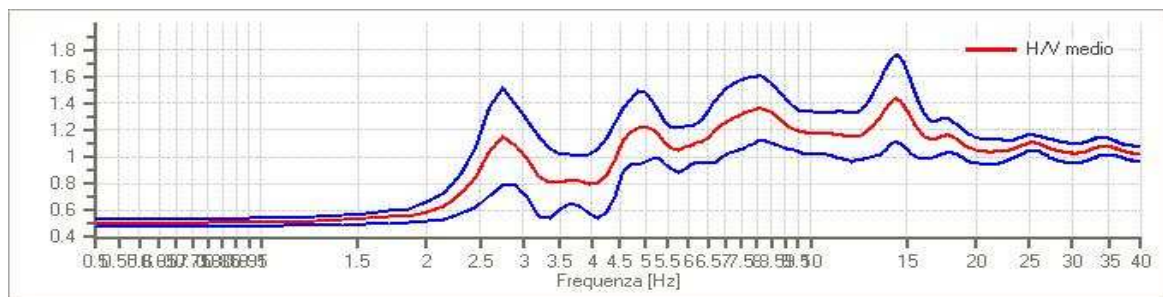
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	40.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	40.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V (f0): 14.30 Hz ± 0.23 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V



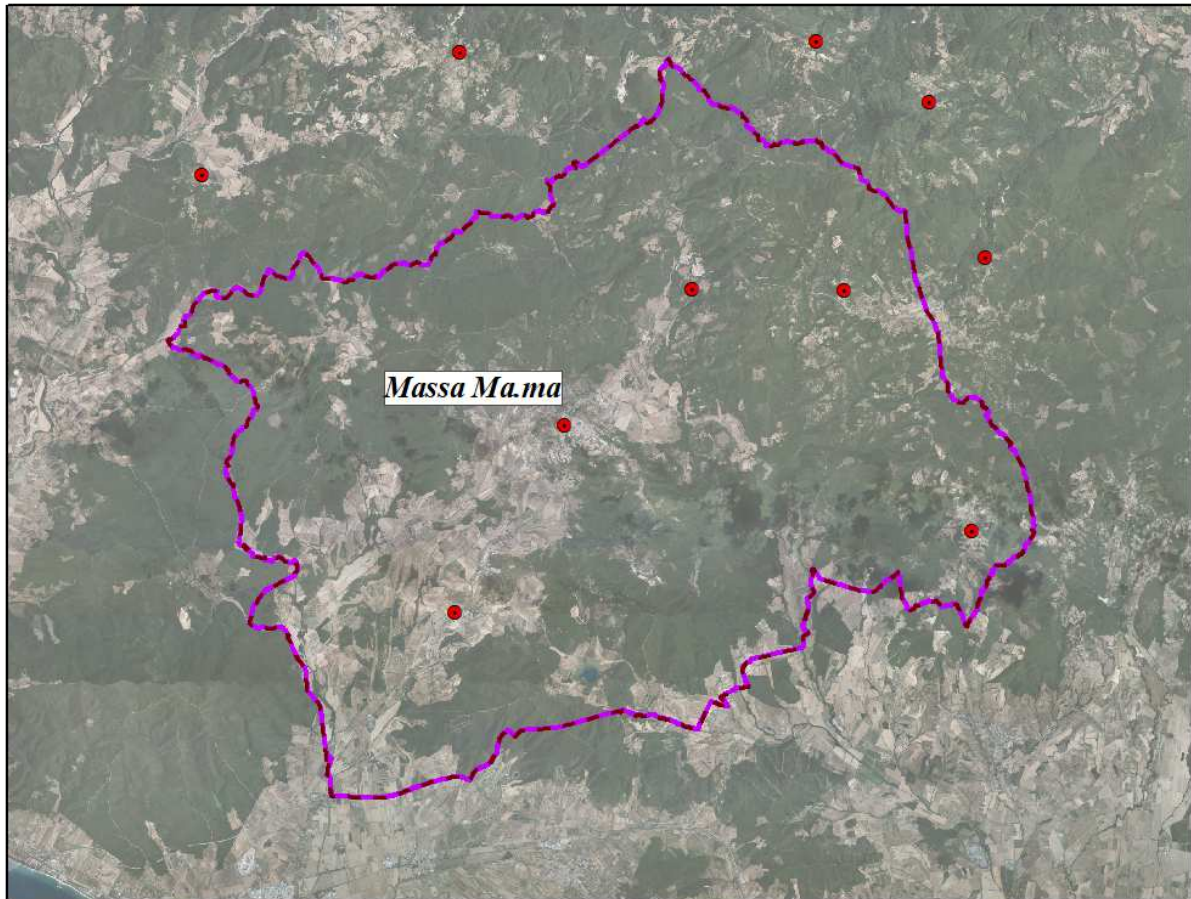
Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 3 Criteri verificati su 6

***n. 6 - Indagine Geofisica mediante metodologia sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) e sismica passiva a stazione singola HVSR, eseguita nel Comune di Massa Marittima (GR), a supporto del Piano Operativo comunale***

**INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE METODOLOGIA  
SISMICA MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF  
SURFACE WAVES) E SISMICA PASSIVA A STAZIONE  
SINGOLA HVSR, ESEGUITA NEL COMUNE DI MASSA  
MARITTIMA (GR), A SUPPORTO DEL PIANO OPERATIVO  
COMUNALE**



***Relazione Illustrativa***

**I Geologi:**

*Dr. Geol. Fabrizio Fanciulletti*

*Dr. Geol. Claudio Petroni*

*Aprile 2023*



*Dr. Geol. F. Fanciulletti*  
*Dr. ssa Arch. L. Macii*

Via Meucci 4 - 58022 - Follonica (GR)  
Tel. 0566 090075 - Cell. 3386281063  
studiostalf@gmail.com - www.studiostalf.net



## Sommario

1.0 Premessa.....	5
2.0 Ubicazione studio geofisico.....	5
3.0 Cenni teorici sui metodi utilizzati .....	15
3.1 Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) .....	15
3.2 Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR).....	16
4.0 Strumentazione ed acquisizione.....	18
4.1 Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) .....	18
4.1.1 Stendimento MASW; “MWMa1” (Camilletta - Massa Marittima).....	22
4.1.2 Stendimento MASW; “MWGh1” (Ghirlanda - Massa Marittima).....	23
4.1.3 Stendimento MASW; “MWVa2” (Zona Industriale - Valpiana) .....	25
4.1.4 Stendimento MASW; “MWVa3” (Via del Minatore - Valpiana) .....	26
4.1.5 Stendimento MASW; “MWM1” (Miserone - Massa Marittima).....	28
4.1.6 Stendimento MASW; “MWC1” (Colombaina - Massa Marittima) .....	29
4.2 Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR).....	31
4.2.1 Misura HVSR; “HVMa1” (Camilletta - Massa Marittima) .....	34
4.2.2 Misura HVSR; “HVGh1” (Ghirlanda - Massa Marittima) .....	37
4.2.3 Misura HVSR; “HVGh2” (Ghirlanda - Massa Marittima) .....	39
4.2.4 Misura HVSR; “HVVa1” (Zona Ind. Valpiana) .....	41
4.2.5 Misura HVSR; “HVVa2” (Zona Ind. Valpiana) .....	44
4.2.6 Misura HVSR; “HVVa3” (Via del Minatore - Valpiana).....	46
4.2.7 Misura HVSR; “HVPr1” (Prata) .....	48
4.2.8 Misura HVSR; “HVPr2” (Prata) .....	51
4.2.9 Misura HVSR; “HVM1” (Miserone - Massa Marittima).....	53
4.2.10 Misura HVSR; “HVC1” (Colombaina - Massa Marittima) .....	55
4.3 Valutazione della qualità delle misure HVSR .....	58
5.0 Sintesi dei risultati.....	59
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA .....	61



## 1.0 Premessa

Il presente elaborato illustra i risultati relativi ad una campagna di indagini geofisiche con metodologie sismiche (metodologia *MASW* “*Multichannel Analysis of Surface Waves*” e sismica passiva a stazione singola *HVSR*), eseguita a supporto del Piano Operativo del Comune di Massa Marittima, in Provincia di Grosseto.

## 2.0 Ubicazione studio geofisico

I siti di indagine sono ubicati in Provincia di Grosseto, nel comune di *Massa Marittima* (Stendimenti *MASW* “*MW*Ma1 - *MW*Gh1 - *MW*Va2 - *MW*Va3 - *MW*M1 - *MW*C1” e *HVSR* “*HV*Ma1 - *HV*Gh1 - *HV*Gh2 - *HV*Va1 - *HV*Va2 - *HV*Va3 - *HV*Pr1 - *HV*Pr2 - *HV*M1 - *HV*C1”).

Di seguito se ne riporta l’ubicazione su immagine tratta da Google Earth e sulle Carte Tecniche Regionali disponibili sul sito Cartoteca – Regione Toscana.



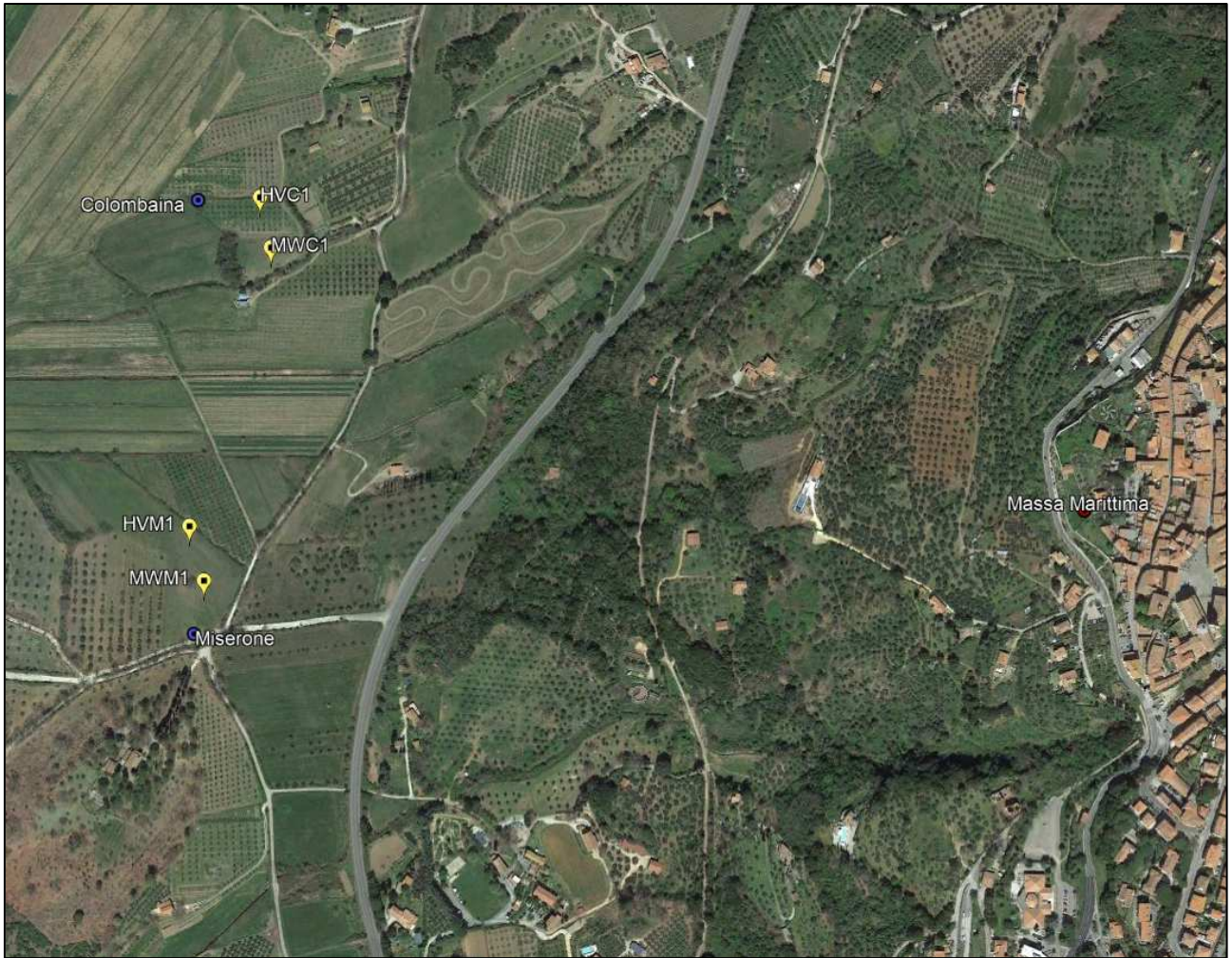
Figura 1 - Ubicazione di *MASW* e *HVSR* in area Massa Marittima - Ghirlanda: immagine tratta da Google Earth



Figura 2 - Ubicazione di MASW e HVSR in area Valpiana: immagine tratta da Google Earth



*Figura 3 - Ubicazione delle HVSR in area Prata: immagine tratta da Google Earth*



*Figura 4 - Ubicazione di MASW e HVSR nel Territorio Rurale (Miserone - Colombaina): immagine tratta da Google Earth*

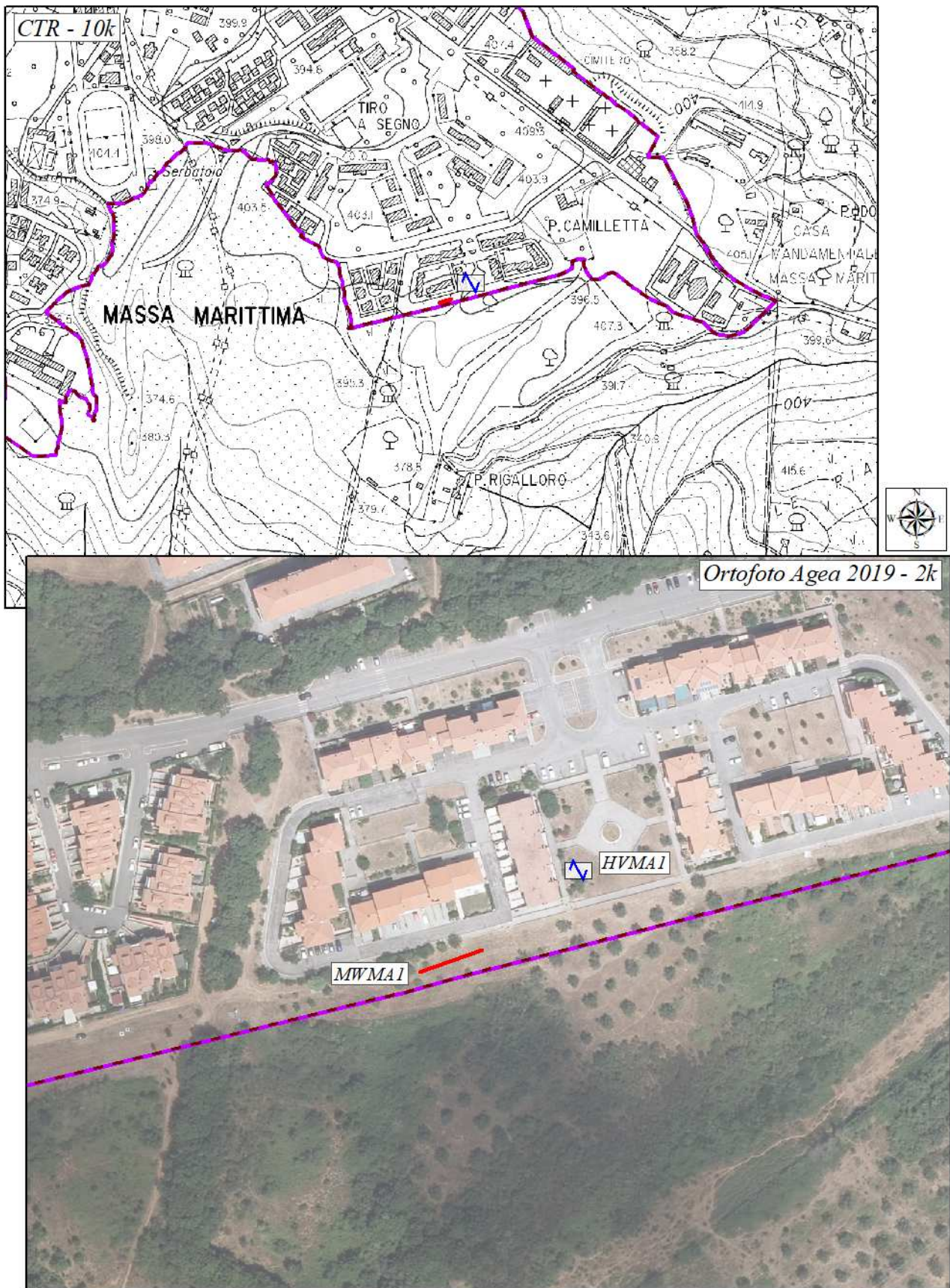


Figura 5 - Ubicazione dello stendimento MASW e dell' indagine HVSr in area Massa Marittima, sulla CTR e sulla Ortofoto disponibili sul sito Regione Toscana/Cartoteca (in viola il limite del territorio urbanizzato, area Sud di Massa Marittima).

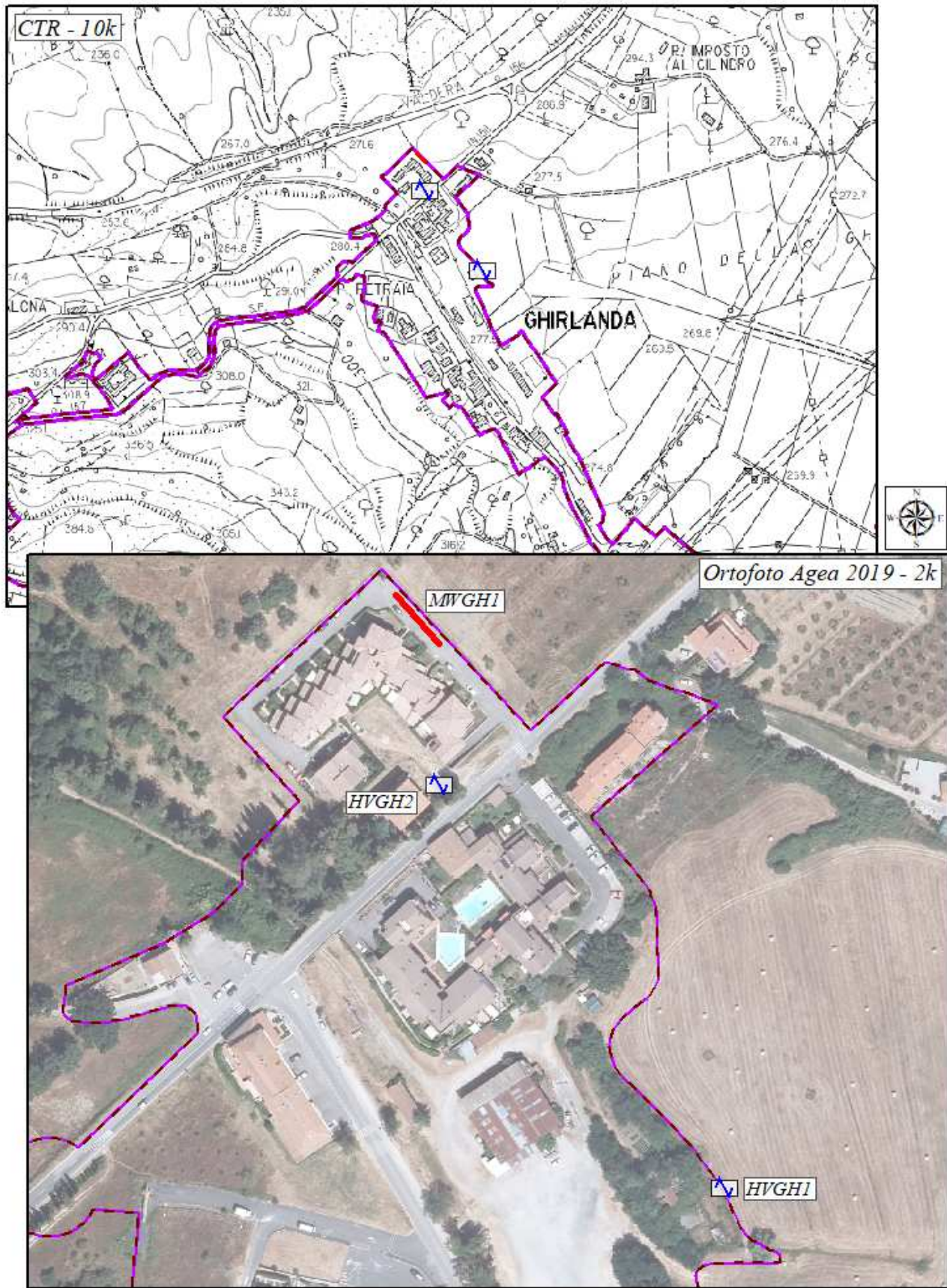


Figura 6 - Ubicazione dello standimento MASW e delle indagini HVSR in area Ghirlanda, sulla CTR e sulla Ortofoto disponibili sul sito Regione Toscana/Cartoteca (in viola il limite del territorio urbanizzato, area di Ghirlanda)

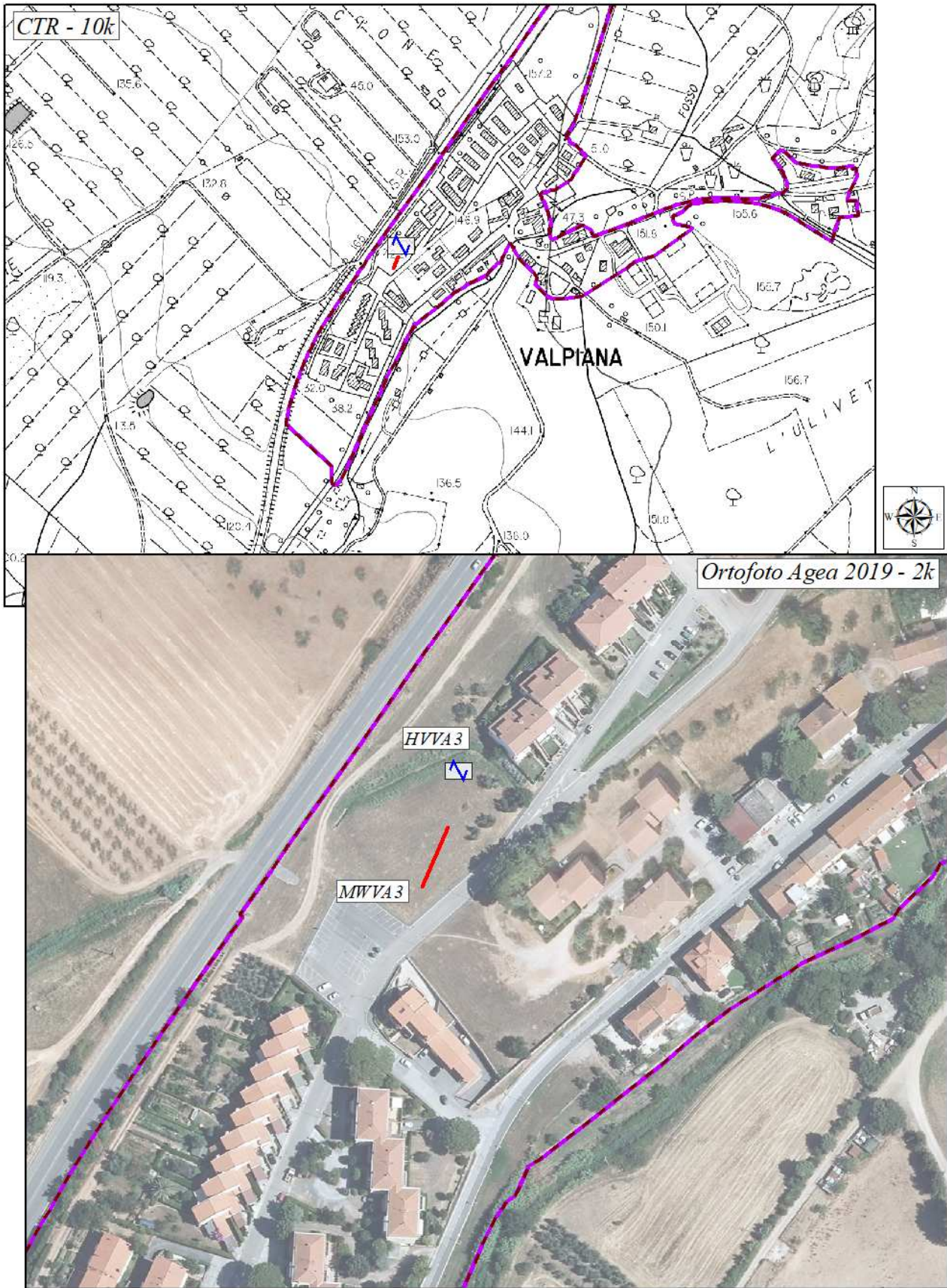


Figura 7 - Ubicazione dello stendimento MASW e dell'indagine HVSR in area Valpiana, sulla CTR e sulla Ortofoto disponibili sul sito Regione Toscana/Cartoteca (in viola il limite del territorio urbanizzato, area di Valpiana)

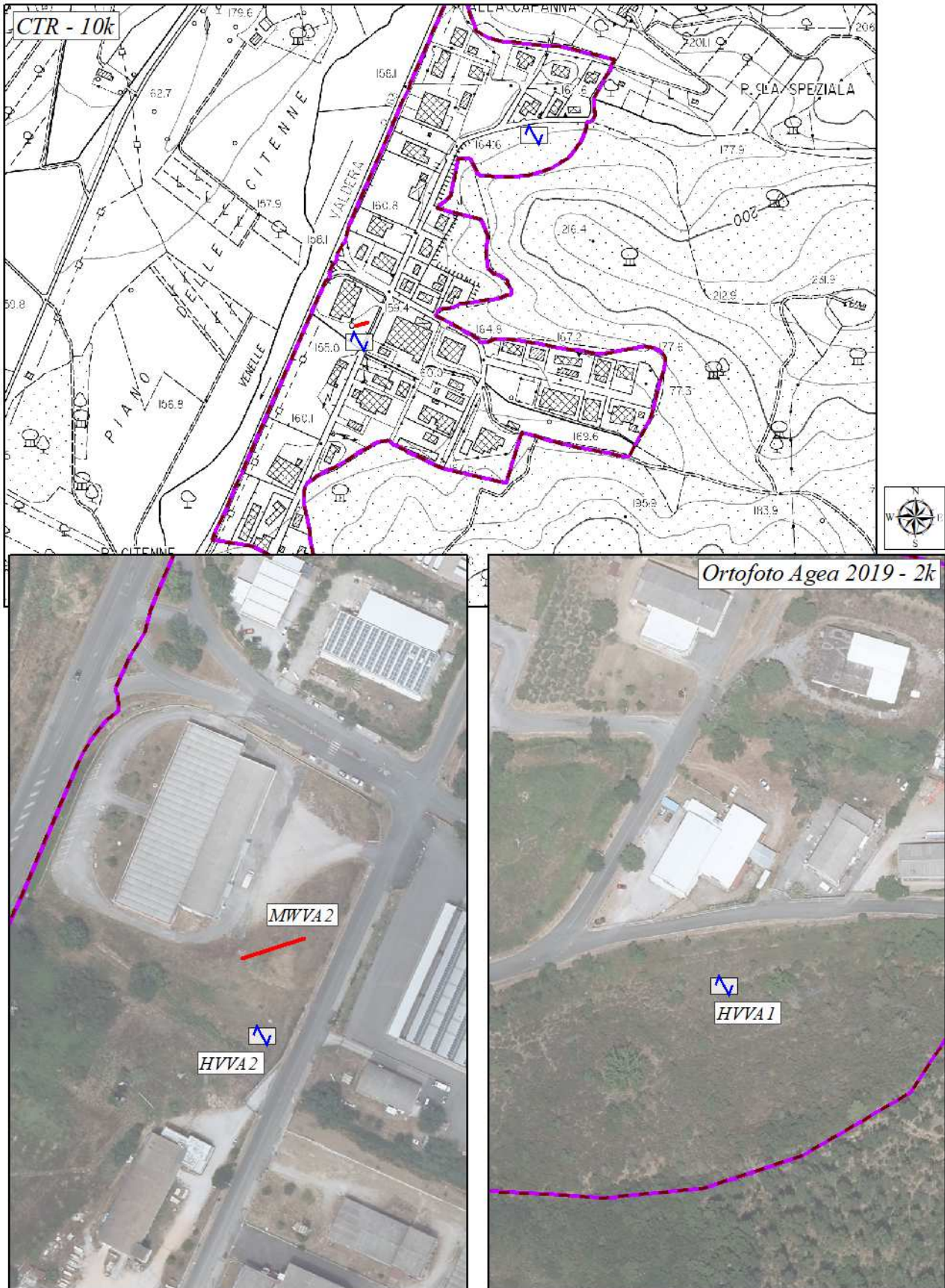


Figura 8 - Ubicazione dello stendimento MASW e delle indagini HVSR in area Z. Ind. Valpiana, sulla CTR e sulla Ortofoto disponibili sul sito Regione Toscana/Cartoteca (in viola il limite del territorio urbanizzato, area della Zona Industriale di Valpiana)

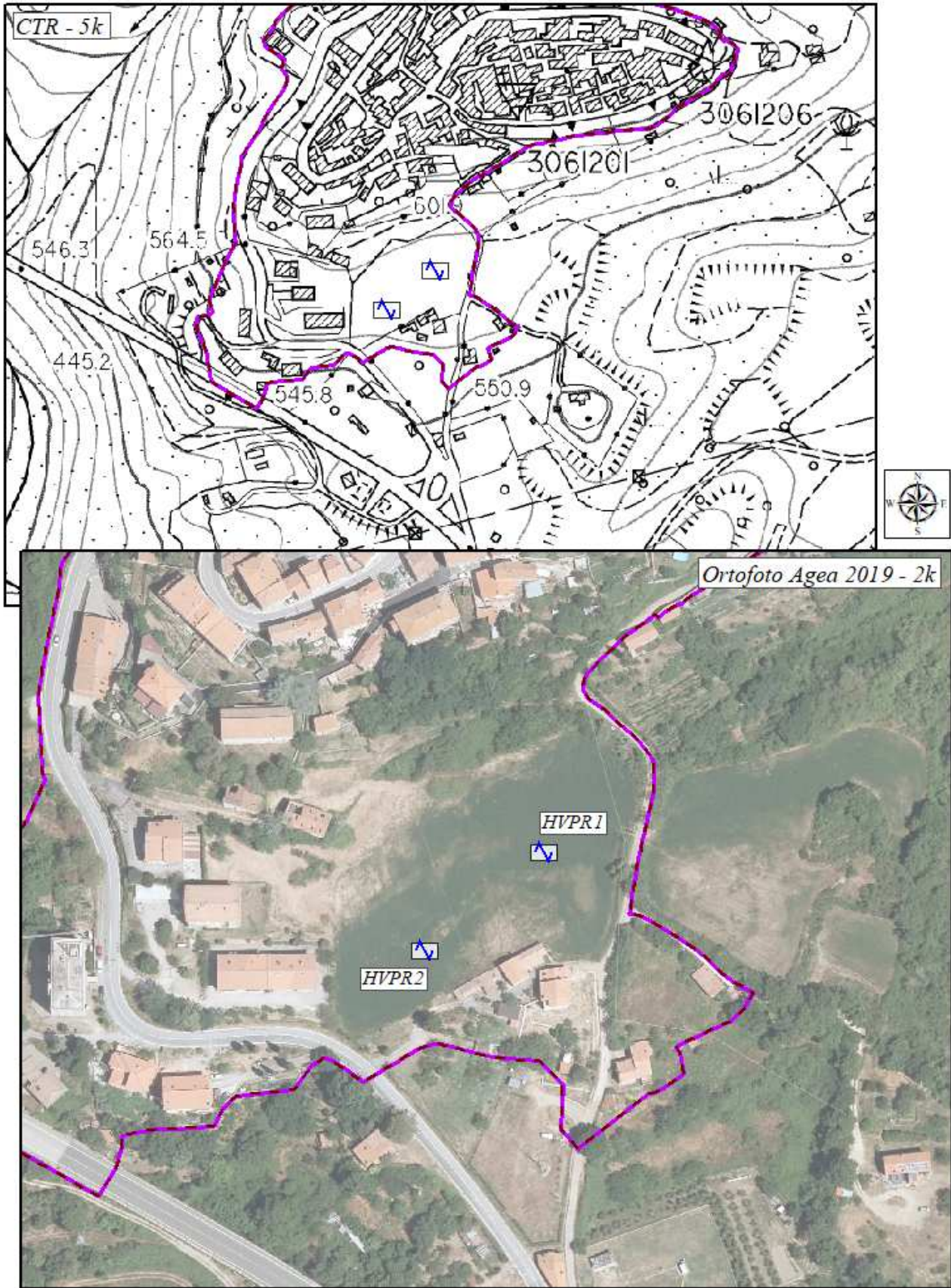


Figura 9 - Ubicazione delle indagini HVSR in area Prata, sulla CTR e sulla Ortofoto disponibili sul sito Regione Toscana/Cartoteca (in viola il limite del territorio urbanizzato, area di Prata)

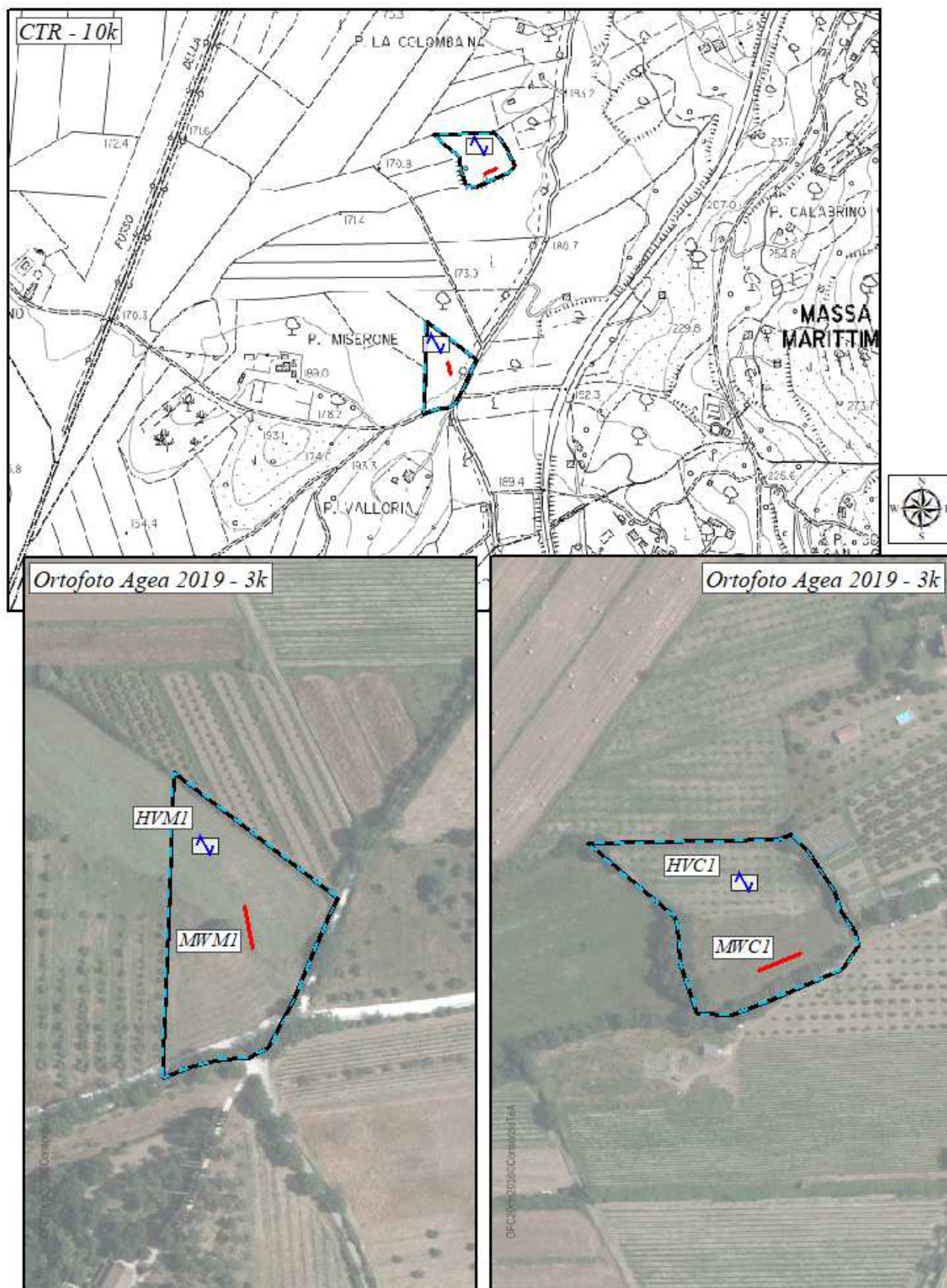


Figura 10 - Ubicazione degli stendimenti MASW e delle indagini HVSR in area Miserone e Colombaina, sulla CTR e sulla Ortofoto disponibili sul sito Regione Toscana/Cartoteca (in celeste il limite degli ambiti di trasformazione)

### 3.0 Cenni teorici sui metodi utilizzati

La geofisica studia, attraverso tecniche non invasive, l'interazione di segnali fisici con il semispazio, al fine di ricavare informazioni sulla distribuzione dei valori di grandezze fisiche nel semispazio stesso.

La campagna di indagini geofisiche ha compreso sia tecniche di natura attiva (MASW), sia tecniche di natura passiva (HVSr).

#### 3.1 Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)

Il metodo sismico, come altri, può essere applicato sia con sorgenti passive che attive. Nel caso di indagini attive, la sorgente utilizzata può essere costituita da una massa battente, dalla caduta di gravi, da un fucile sismico fino all'esplosivo. Il metodo consiste nell'energizzazione del sottosuolo con onde meccaniche (sismiche) e nello studio dei percorsi e delle caratteristiche fisiche ottiche delle onde registrate da sensori in superficie (geofoni), al fine di ricavare un modello di variazione unidimensionale della velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

Il metodo MASW è una tecnica di indagine sismica di recente introduzione (Parker, Miller e Xia - 1999) che, attraverso l'analisi di onde superficiali di tipo Rayleigh registrate contemporaneamente da diversi sensori (geofoni o accelerometri), mira ad ottenere profili Vs-Z (velocità delle onde di taglio – profondità).

Le tecniche d'indagine geofisica basate sulla registrazione ed elaborazione degli spostamenti indotti nel terreno dal passaggio delle onde di superficie (Rayleigh e Love) ne sfruttano in generale alcune caratteristiche particolari che le differenziano dalle onde di volume (P e S) (ProgramGEO, 2001).

1. Le onde di superficie tendono a subire un'attenuazione del loro contenuto energetico minore rispetto alle onde di volume e quindi si propagano a distanze maggiori.
2. In un mezzo elastico omogeneo la profondità massima in cui il terreno risente del passaggio delle onde di Rayleigh è circa uguale a  $\lambda R$ . In un mezzo eterogeneo questa profondità è compresa normalmente fra  $0,5\lambda R$  e  $1,0\lambda R$ . Questo significa che le lunghezze d'onda maggiori (frequenze minori) trasportano informazioni relative agli strati di terreno più profondi, mentre quelle minori (frequenze maggiori) coinvolgono solo i livelli più superficiali.

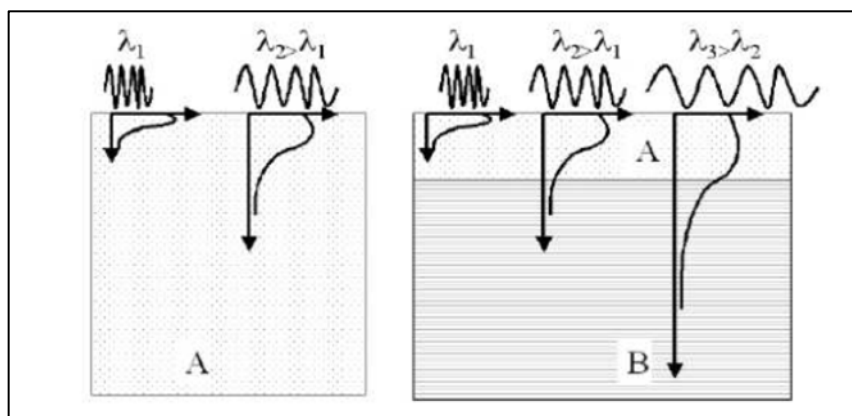


Figura 11 – Propagazione di onde a diversa lunghezza d'onda in mezzo omogeneo (a sx) ed in mezzo stratificato (a dx). Tratto da Claudio Strobbia (2001).

3. La velocità con cui si propaga un'onda di superficie di una data frequenza  $f$  (o lunghezza d'onda  $\lambda$ ) viene detta velocità di fase. In un mezzo omogeneo la velocità di fase delle onde di superficie ( $V_A$ ) non cambia al variare della frequenza d'onda. Al contrario in un mezzo stratificato, in presenza cioè di terreni sovrapposti con differenti caratteristiche meccaniche, la velocità di fase ( $V_B$ ) dipende dal valore di  $f$  (o di  $\lambda$ ).

La tecnica d'indagine MASW sfrutta queste tre caratteristiche delle onde di superficie, e in particolare di quelle di Rayleigh, per ottenere un profilo dell'andamento della velocità di fase in funzione della frequenza, da correlare con la velocità delle onde di taglio S.

La caratteristica (1) consente in pratica l'effettuazione di registrazioni delle onde generate dalla sorgente senza dover subire un disturbo significativo da parte delle onde di volume. La caratteristica (2) permette di associare a ogni frequenza del segnale, o lunghezza d'onda, una profondità d'indagine differente: le frequenze più basse sono collegate alle profondità maggiori e viceversa. La caratteristica (3) consente infine di vincolare ogni frequenza a una velocità di fase precisa.

L'obiettivo dell'elaborazione di un segnale acquisito con la tecnica MASW è essenzialmente quello di ricavare la curva di dispersione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh. Il termine 'curva di dispersione' sta a indicare che le velocità di fase tendono a disperdersi, in un mezzo eterogeneo, in funzione della frequenza.

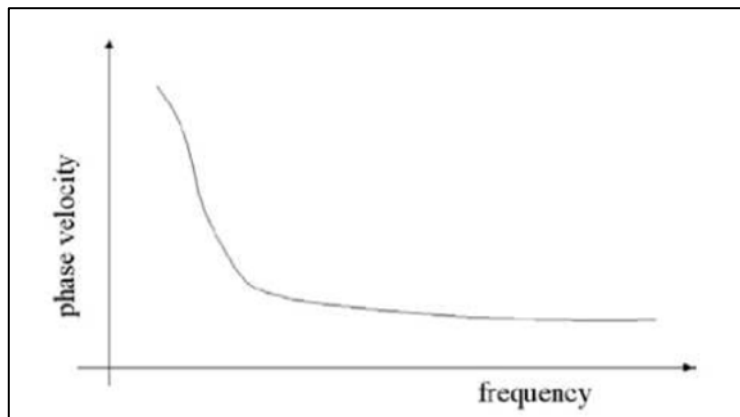


Figura 12 - Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza. Tratto da Claudio Strobbia (2001).

Nei terreni omogenei la curva di dispersione non si crea, in quanto in questi casi la velocità di fase non cambia al variare della frequenza. Questo è il motivo per cui la tecnica MASW non è indicata per l'investigazione di depositi sciolti o roccia omogenei fino a grandi profondità. Una complicazione importante nasce dal fatto che, sempre in un mezzo eterogeneo, il terreno può vibrare in modi differenti e a ognuno di questi modi è associabile una curva di dispersione differente.

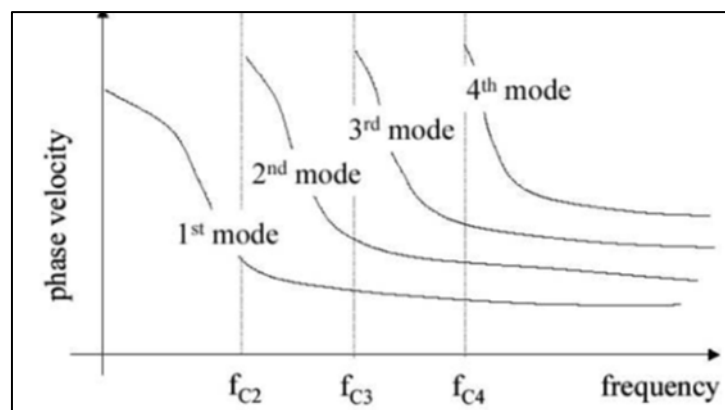


Figura 13 - Differenti modi di vibrare e relative curve di dispersione. Tratto da Claudio Strobbia (2001).

### 3.2 Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)

La prova, comunemente nota con il termine H/V, fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989). Si tratta di una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti: per questo motivo la prova assume anche la denominazione di prova **HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

Nel campo delle vibrazioni ambientali sono presenti sia onde di volume (P e S) che onde di superficie (Love e Rayleigh): la frazione di energia associata alla componenti di onde di volume rispetto a quelle di onde superficiali varia da caso a caso e dipende dall'intervallo di frequenze considerato.

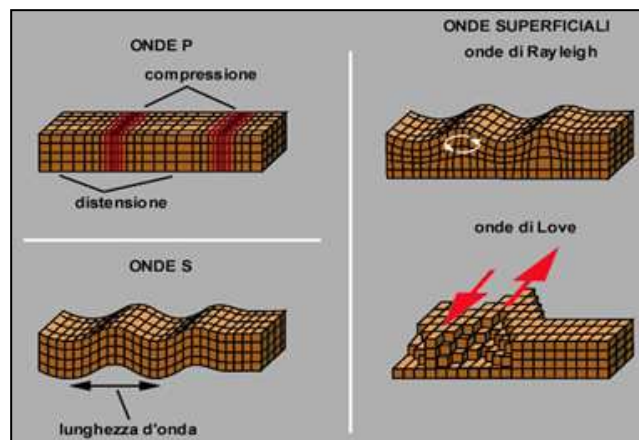


Figura 14 - Onde P, onde S, onde di Rayleigh, onde di Love

Indipendentemente dalla natura del campo d'onde, la funzione H/V sarà sempre caratterizzata da valori massimi in corrispondenza della frequenza di risonanza delle onde S. In assenza di contrasti di impedenza alla base della copertura, il rapporto H/V sarà all'incirca unitario, sia nel caso di rumore ambientale dominato da onde di volume, che da onde di superficie. Studi teorici e osservazioni sperimentali mostrano che esiste una relazione non lineare tra l'ampiezza dei massimi della curva H/V e l'entità del contrasto di impedenza sismica alla base della copertura. Altri fattori che influenzano l'ampiezza dei massimi H/V sono il contributo delle diverse fasi sismiche, lo smorzamento, il rapporto di Poisson nelle coperture e la distribuzione delle sorgenti attorno al ricevitore (*"Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola-D. Albarello, S. Castellaro-2011"*).

La forma di un'onda registrata in un sito oggetto di indagine è funzione:

1. della forma dell'onda prodotta dall'insieme delle sorgenti "s" dei microtremori;
2. della modalità di acquisizione dello strumento in funzione dei parametri e delle caratteristiche strumentali;
3. del percorso dell'onda dalle sorgenti "s" fino alla posizione "x" del sito oggetto di indagine e dei processi di attenuazione, riflessione, rifrazione e canalizzazione di guida d'onda.

Proprio in considerazione di quest'ultimo punto, si denota l'importanza della scelta del posizionamento dello strumento.

L'esito della prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alle quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura; in generale, la stima della frequenza di risonanza sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del fenomeno (*"Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola-D. Albarello, S. Castellaro-2011"*).

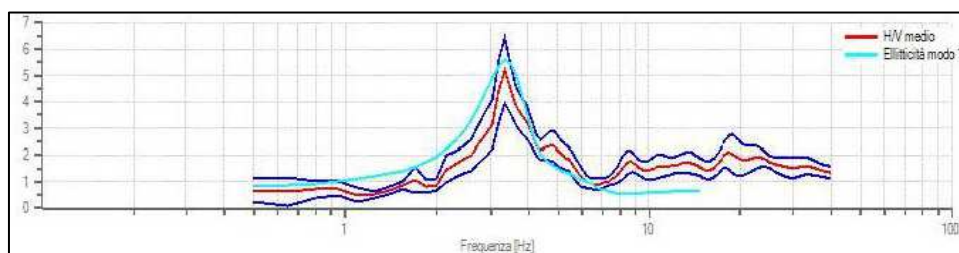


Figura 15 - Esempio di rapporto spettrale H/V

Le conoscenze e le informazioni che si possono ottenere dall'analisi ed interpretazione di una indagine HVSR sono i seguenti:

- frequenza caratteristica di risonanza del sito ( $f_0$ ), che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici. La  $f_0$  è necessaria per la redazione della carta di Microzonazione sismica (MS) e per quella delle MOPS di 1° livello ("Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica"), elaborati di supporto alla pianificazione urbanistica;
- frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso.
- sismo-stratigrafia (comprendente il parametro  $V_{seq}$ ) con un ampio range di profondità di indagine. Tale interpretazione deriva dall'inversione del dato HVSR e quindi necessita di conoscenze approfondite dell'assetto geologico locale.

La conoscenza delle frequenze fondamentali di risonanza dei terreni di fondazione e delle strutture antropiche che vi si trovano, è di cruciale importanza in quanto, se questi due parametri dovessero coincidere, in caso di sisma, si creerebbe il cosiddetto fenomeno della "doppia risonanza".

Le frequenze fondamentali di risonanza di terreni e strutture possono essere misurate direttamente (tramite l'impiego della tecnica HVSR), oppure ricavati, in modo approssimato, attraverso relazioni empiriche:

- In casi semplici (coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido), è possibile stabilire una relazione fra la profondità  $H$  del substrato sismico, la velocità media delle onde  $S$  all'interno dello strato superficiale ( $V_s$ ) e la frequenza di risonanza fondamentale  $f_0$ :

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

- Grossolanamente, la frequenza fondamentale di un edificio può essere ricavata come di seguito ("*Effetti di sito e  $V_{s30}$ : una risposta alla normativa antisismica-Francesco Mulargia, Silvia Castellaro e Piermaria Luigi Rossi*"):

$$f_0 = \frac{10 \text{ Hz}}{n}$$

Dove  $n = n^\circ$  piani dell'edificio.

## 4.0 Strumentazione ed acquisizione

### 4.1 Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)

**Sensori:** n. 24 geofoni verticali da 4,5 Hz dotati di basette in polietilene per superfici rigide; cavo multicanale a 24 take-outs.

**Unità di acquisizione:** Sismografo Ambrogeo ECHO 12-24/2002 (alimentazione DC 12V) + laptop + Software 7.0 SEG Y.

**Unità di elaborazione:** Desktop PC + Software EasyMASW (GeoSTRU).

**Array ed energizzazione:** In base alle finalità dello studio ed alle condizioni logistiche dei siti in esame, sono stati utilizzati array lineari di lunghezza complessiva 23 m, disponendo sul terreno 24 geofoni, con distanza inter-geofonica pari a 1,0 m. L'energizzazione è stata eseguita colpendo una piastra di battuta in duralluminio con mazza da 8 Kg (con trigger incorporato). Sono state effettuate battute da diverse posizioni esterne allo stendimento (rispettivamente 10 m, 5 m e 1 m dal G1 e dal G24), sia con battuta singola, sia in modalità stacking (somma algebrica del segnale derivante da due battute al fine di aumentare il fattore SNR).

– Signal to Noise Ratio). Le varie registrazioni sono state elaborate e confrontate al fine di verificare la coerenza tra di esse. Infine sono state scelte le elaborazioni con il segnale in input più pulito, la cui curva di dispersione risultasse più netta.

Le coordinate dei vertici degli stendimenti sono le seguenti (sistema di riferimento EPSG 3003):

<p><b>Stend. MWMa1 (Camilletta - Massa Marittima)</b>                      geofono 1: 1654720 - 4767435 m                      geofono 24: 1654698 - 4767427 m</p>	<p><b>Stend. MWGh1 (Ghirlanda - Massa Marittima)</b>                      geofono 1: 1654820 - 4769233 m                      geofono 24: 1654835 - 4769216 m</p>
<p><b>Stend. MWVa2 (Zona Industriale - Valpiana)</b>                      geofono 1: 1651582 - 4764286 m                      geofono 24: 1651560 - 4764279 m</p>	<p><b>Stend. MWVa3 (Via del Minatore - Valpiana)</b>                      geofono 1: 1650705 - 4762981 m                      geofono 24: 1650696 - 4762960 m</p>
<p><b>Stend. MWMI (Miserone - Massa Marittima)</b>                      geofono 1: 1652733 - 4768072 m                      geofono 24: 1652729 - 4768094 m</p>	<p><b>Stend. MWCI (Colombaina - Massa Marittima)</b>                      geofono 1: 1652815 - 4768436 m                      geofono 24: 1652793 - 4768427 m</p>

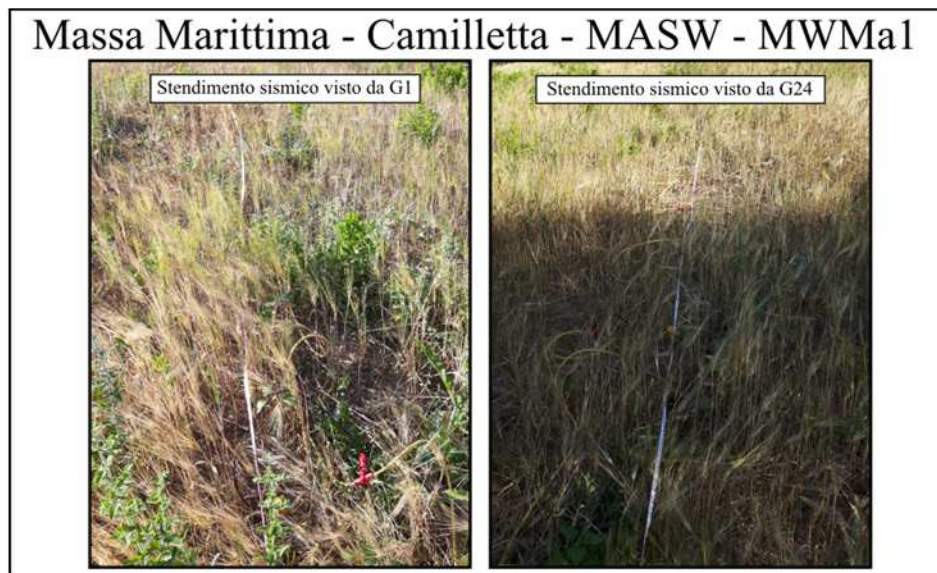


Figura 16 – Documentazione fotografica relativa all’esecuzione dello stendimento MWMa1



Figura 17 – Documentazione fotografica relativa all’esecuzione dello stendimento MWGh1

### Valpiana - Z. Industriale - MASW - MWVa2

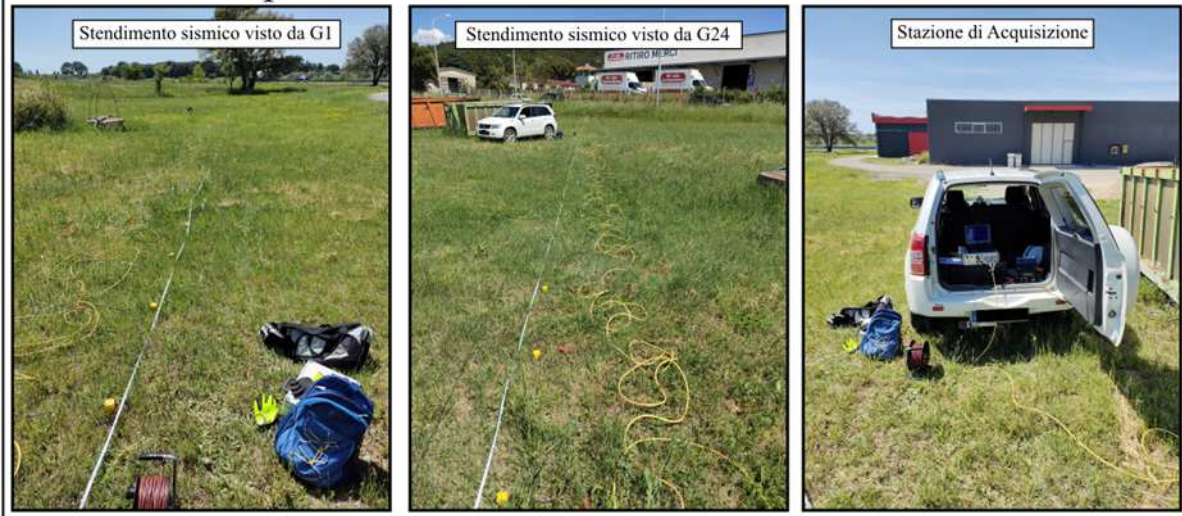


Figura 18 – Documentazione fotografica relativa all'esecuzione dello stendimento MWVa2

### Valpiana - Via del Minatore - MASW - MWVa3

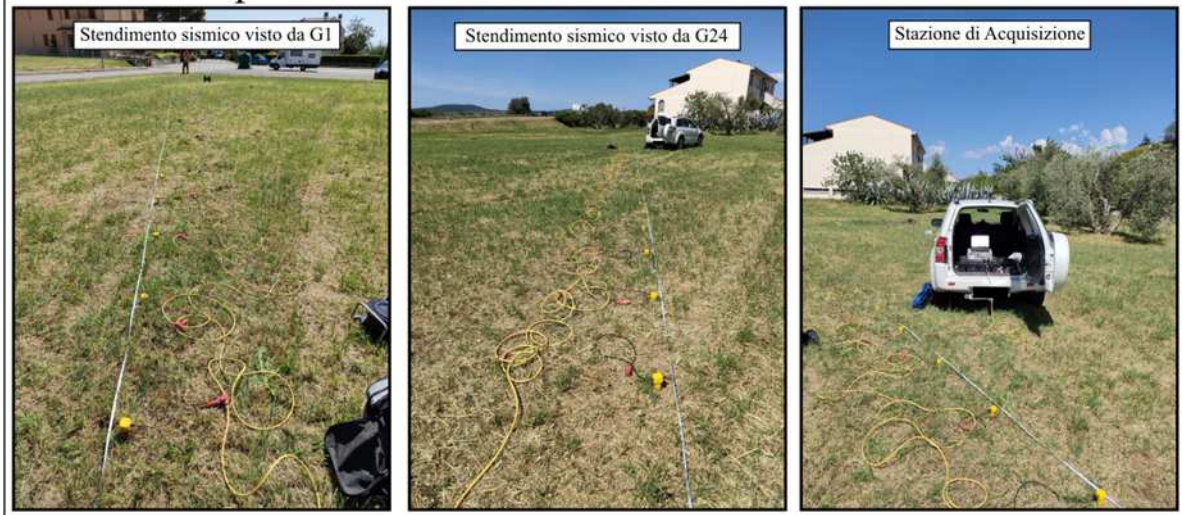


Figura 19 – Documentazione fotografica relativa all'esecuzione dello stendimento MWVa3

### Massa Marittima - Miserone - MASW - MWM1

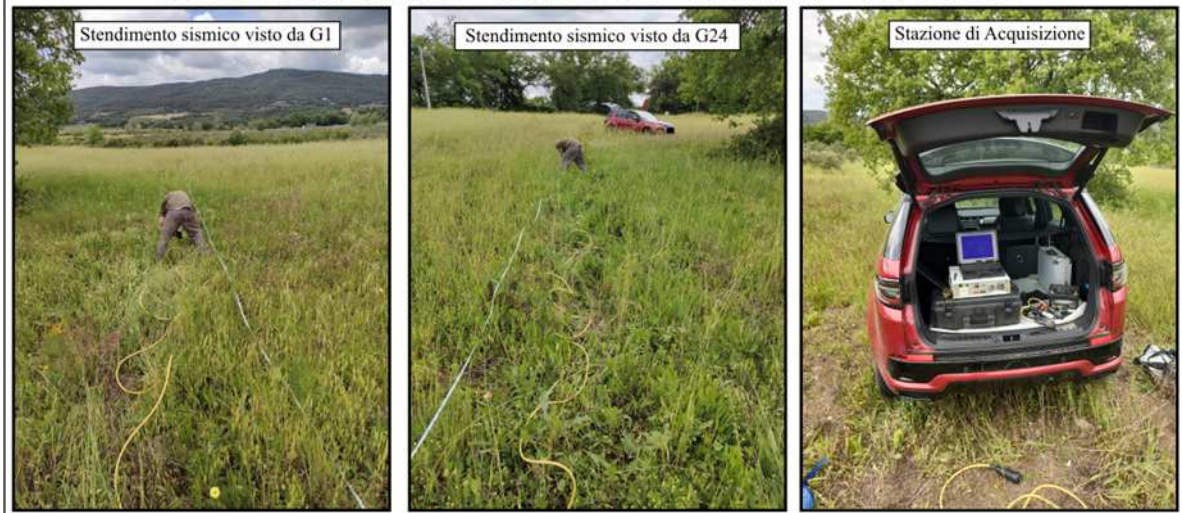
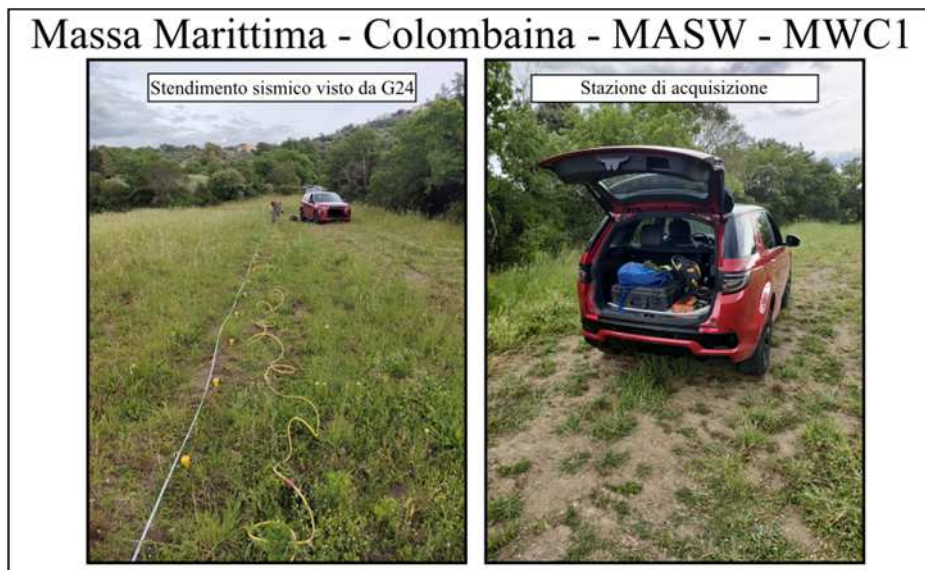


Figura 20 – Documentazione fotografica relativa all'esecuzione dello stendimento MWM1



*aFigura 21 – Documentazione fotografica relativa all’esecuzione dello stendimento MWC1*

La prima operazione di processing eseguita è stata l’analisi del sismogramma. In questa fase, le tracce registrate dai geofoni in campagna, vengono analizzate, editate e ritagliate secondo una finestra (windowing) entro cui il segnale risulta significativo rispetto all’energizzazione indotta dallo scoppio.

Una volta selezionati i sismogrammi (accelerogrammi) di interesse, il software esegue una FFT (Fast Fourier Transform) del segnale, al fine di ottenere uno spettro relativo alla Velocità di Fase delle onde (asse Y) in funzione delle frequenze (asse x). L’intensità spettrale viene rappresentata sul grafico con gradazioni di colore al fine di meglio effettuare l’interpretazione.

Una volta ottenuto lo spettro, si procede all’operazione di “picking”, attraverso la quale vengono individuati manualmente i punti di massima intensità spettrale, corrispondenti ai punti della “curva di dispersione sperimentale”.

Una volta terminata la fase di interpretazione (determinazione della curva di dispersione sperimentale), si passa alla fase di inversione, attraverso la quale un processo iterativo consente la determinazione della “curva di dispersione sintetica” che meglio approssima quella sperimentale. Il software esegue un certo numero di iterazioni modificando un modello fisico di partenza (fornito dall’utente sulla base delle conoscenze geologiche pregresse), per restituire infine il modello che meglio approssima la curva di dispersione sperimentale.

Il risultato finale del processo di inversione è costituito dal modello sismo-stratigrafico di sottosuolo, relativo alla variazione unidimensionale del valore di  $V_s$  lungo la verticale di indagine.

#### 4.1.1 Stendimento MASW; "MWMa1" (Camilletta - Massa Marittima)

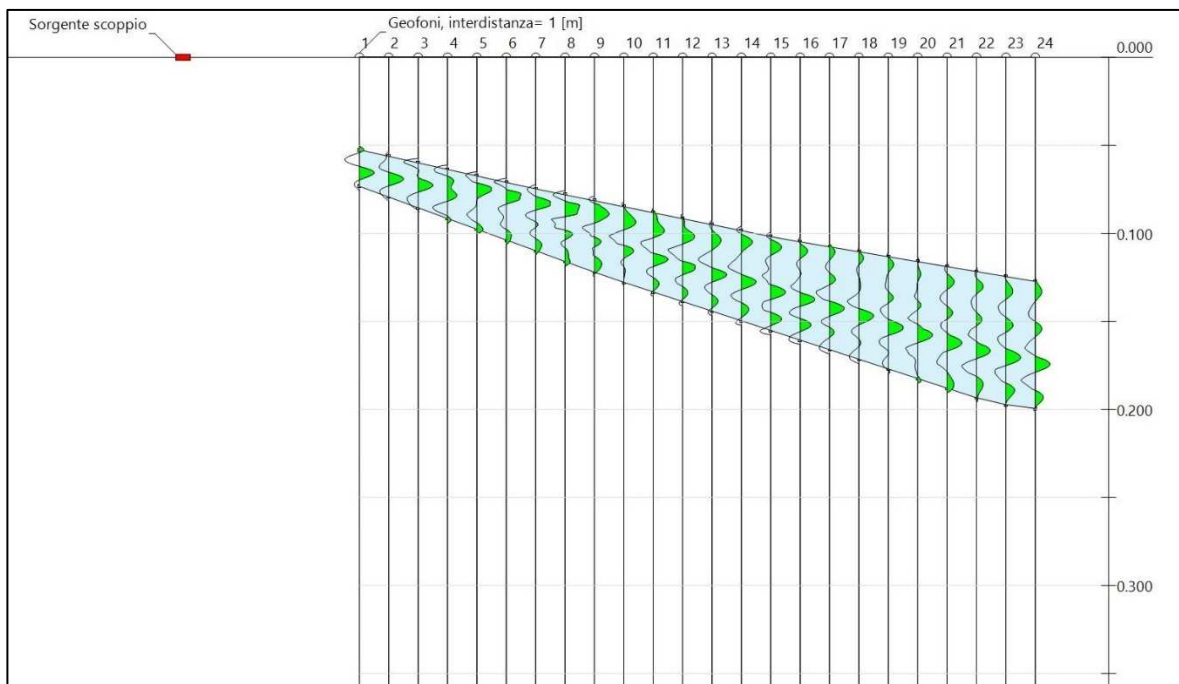


Figura 22 - Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MWMa1

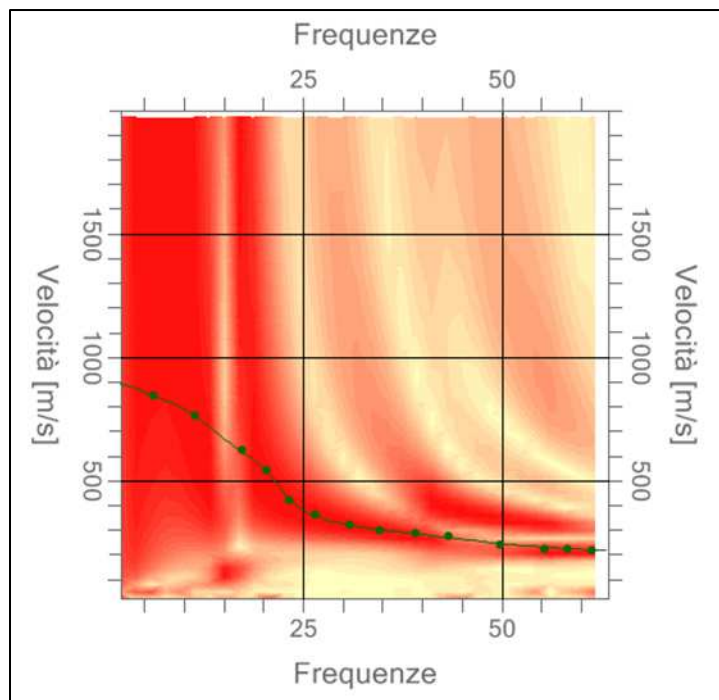


Figura 23 - Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MWMa1

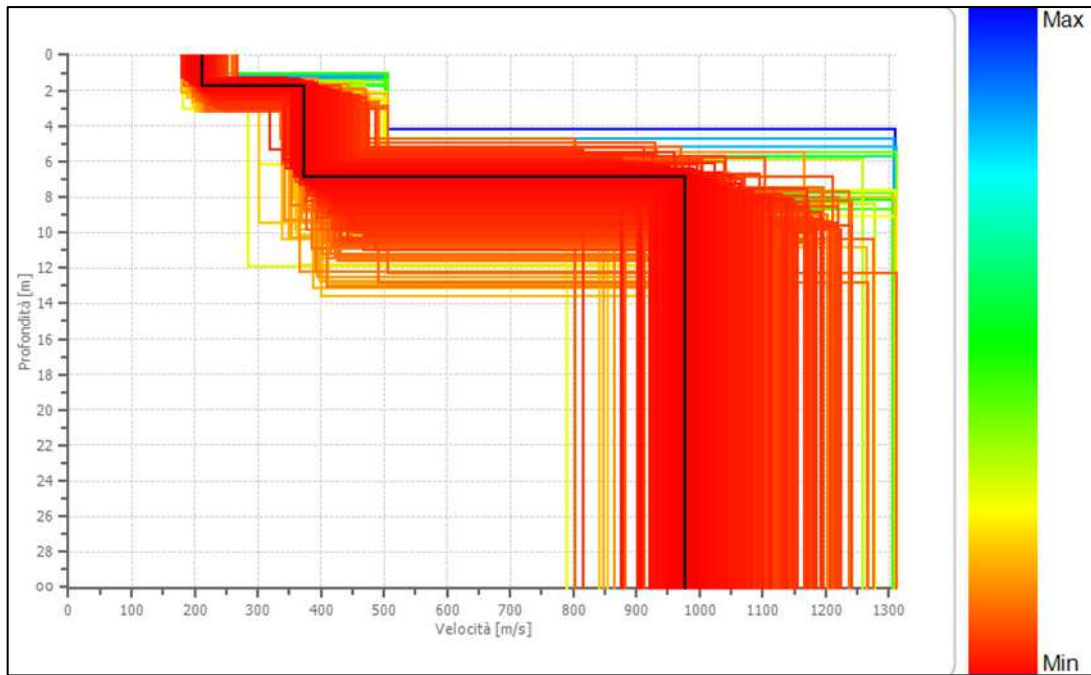


Figura 24 - Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MWMa1

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	1.78	1.78	210.7
2	6.85	5.07	373.4
3	oo	oo	976.2

Percentuale di errore	0.007 %	$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=6.85)= <b>310.92</b>
-----		
Fattore di disadattamento della soluzione	0.010	Categoria del suolo; E

#### 4.1.2 Stendimento MASW; "MWGh1" (Ghirlanda - Massa Marittima)

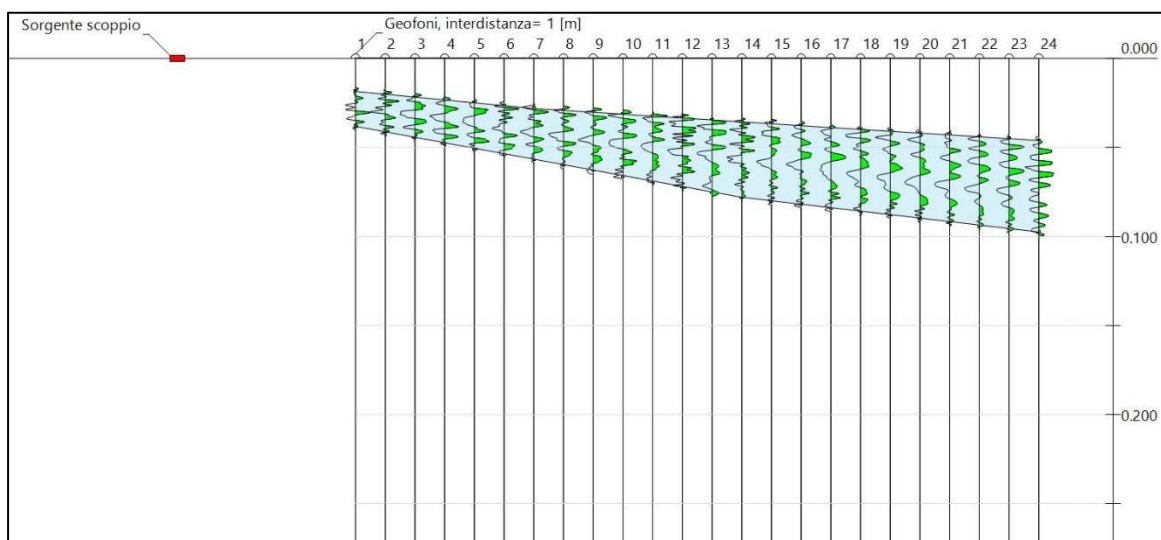


Figura 25 - Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MWGh1

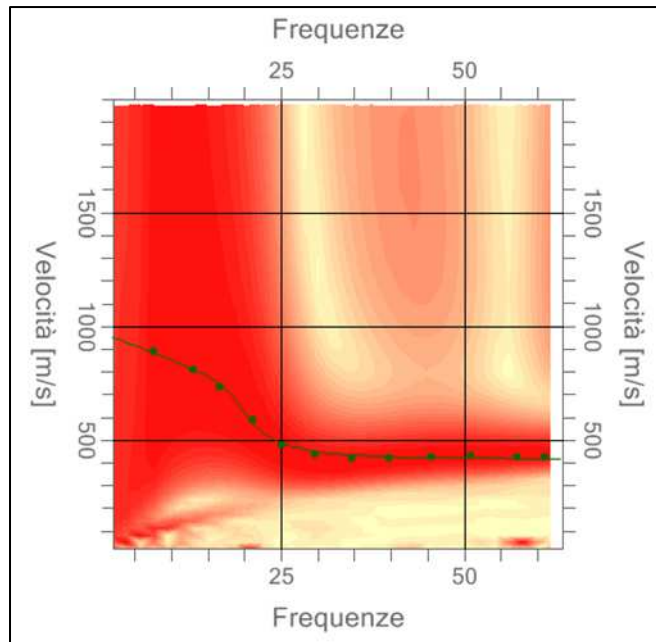


Figura 26 - Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MWGhI

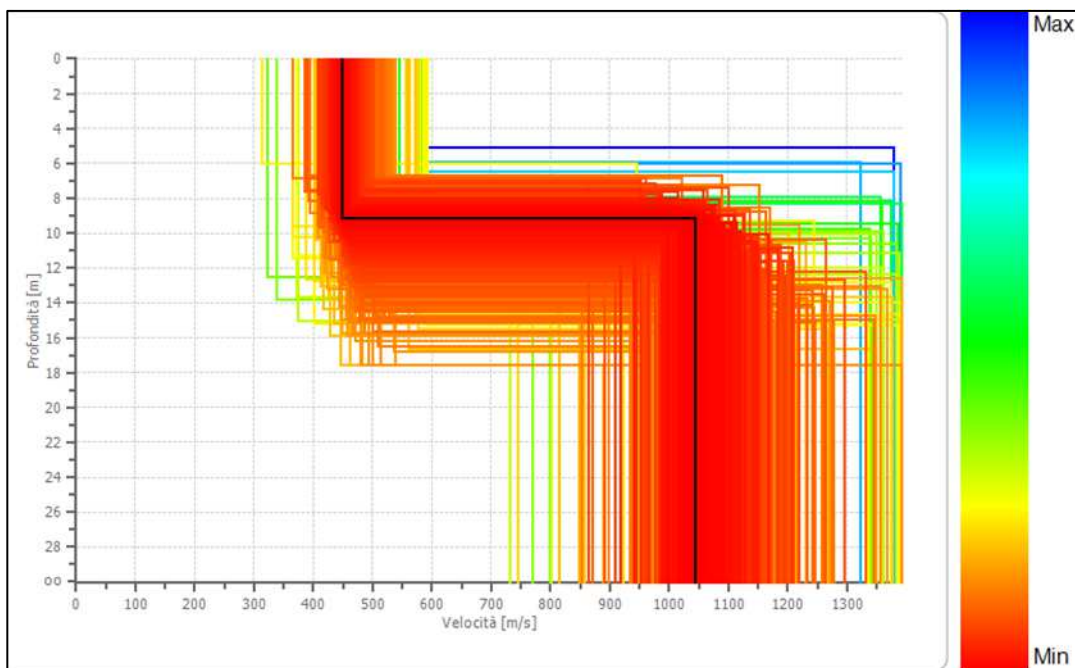


Figura 27 - Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MWGhI

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	9.18	9.18	448.9
2	oo	oo	1044.0

Percentuale di errore	0.030 %	$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=9.18)= <b>448.87</b>
Fattore di disadattamento della soluzione	0.020	Categoria del suolo; <b>B</b>

#### 4.1.3 Stendimento MASW; "MWVa2" (Zona Industriale - Valpiana)

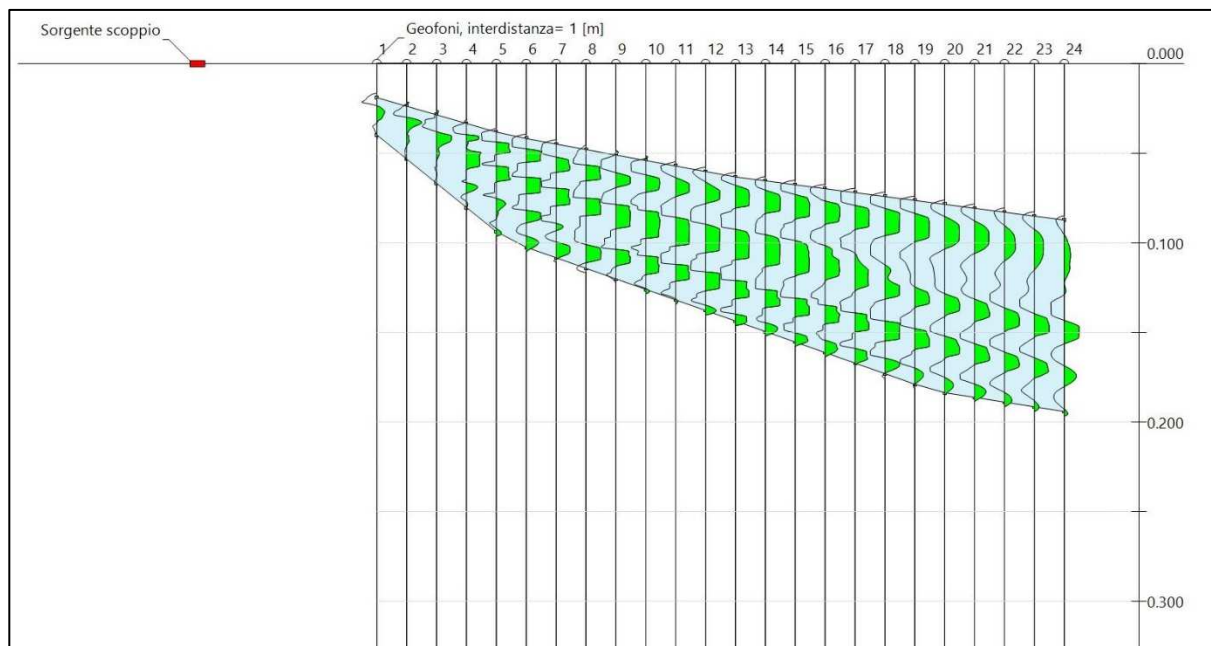


Figura 28 - Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MWVa2

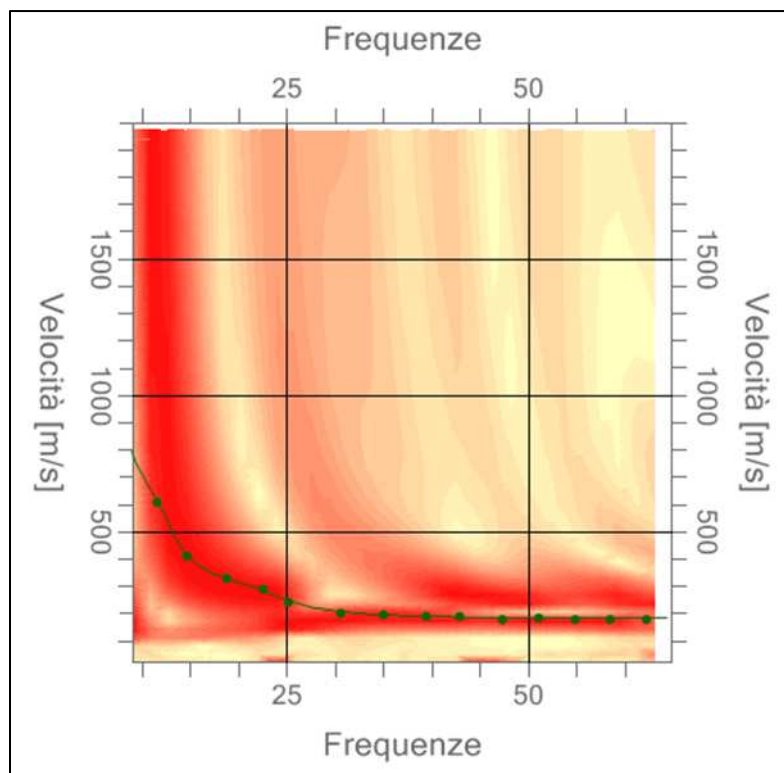


Figura 29 - Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MWVa2

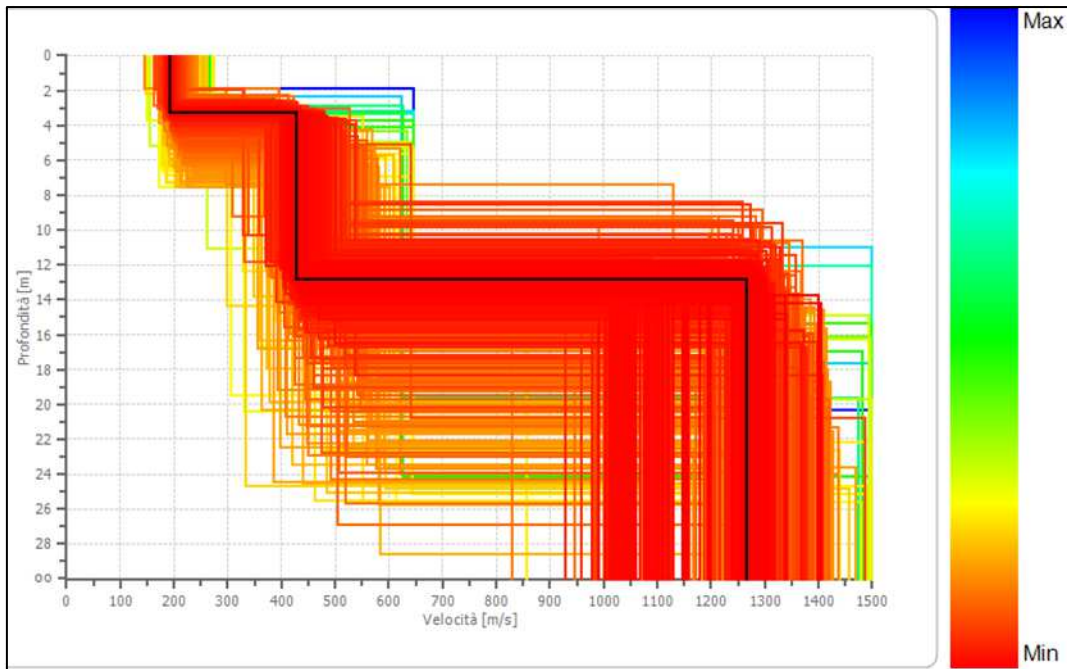


Figura 30 - Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MWVa2

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.28	3.28	193.1
2	12.88	9.59	428.8
3	∞	∞	1266.7

Percentuale di errore	0.011 %	$V_{s,eq} [m/sec] (H=12.88) = 327.04$
Fattore di disadattamento della soluzione	0.015	Categoria del suolo; E

#### 4.1.4 Stendimento MASW; "MWVa3" (Via del Minatore - Valpiana)

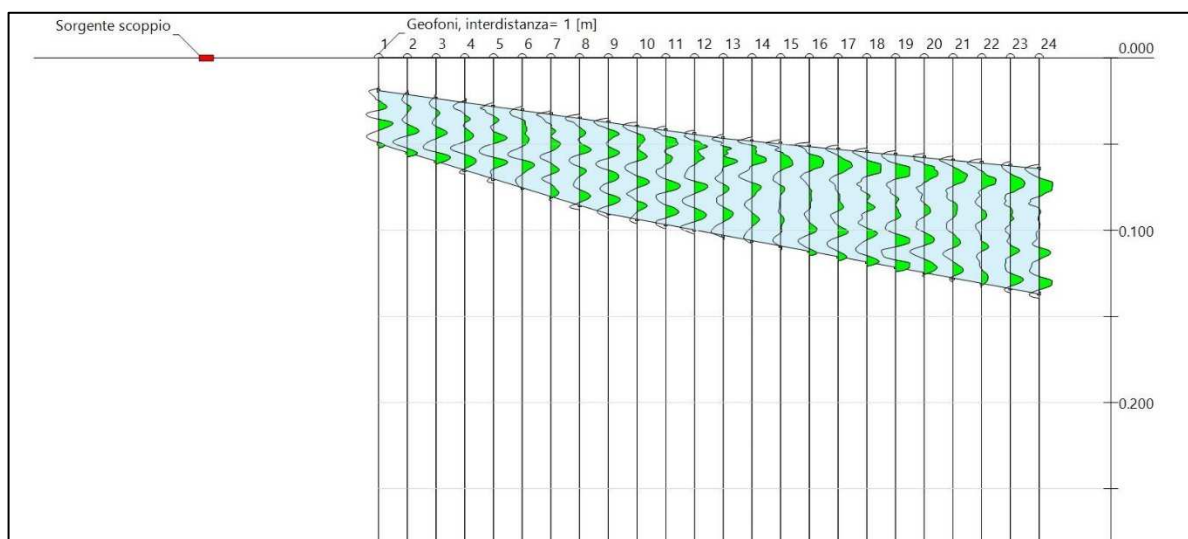


Figura 31 - Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MWVa3

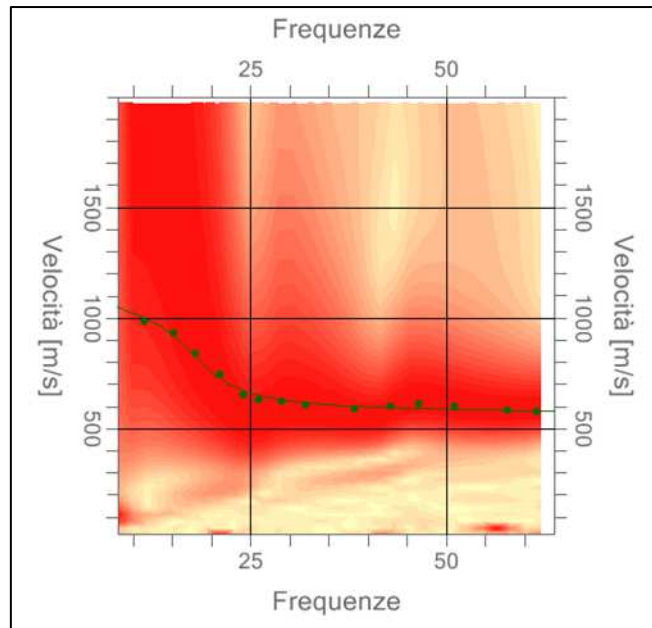


Figura 32 - Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MWVa3

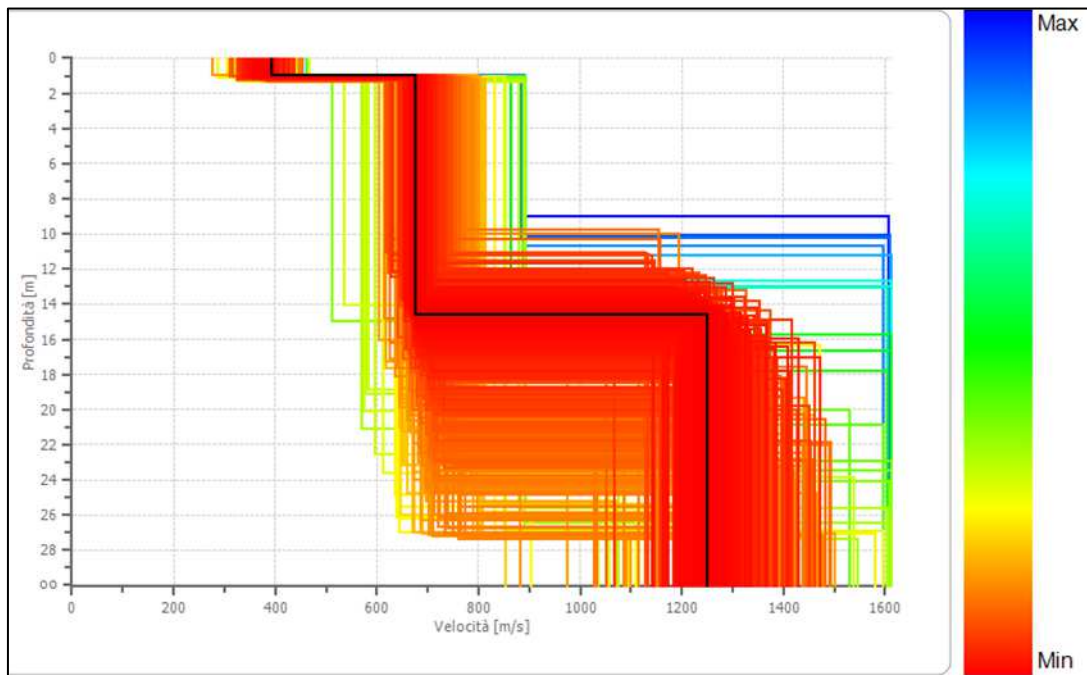


Figura 33 - Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MWVa3

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	1.03	1.03	392.7
2	14.59	13.57	675.1
3	oo	oo	1249.4

Percentuale di errore	0.038 %	$V_{s,eq} [m/sec] (H=14.59) = 642.62$
Fattore di disadattamento della soluzione	0.020	

#### 4.1.5 Stendimento MASW; "MWM1" (Miserone - Massa Marittima)

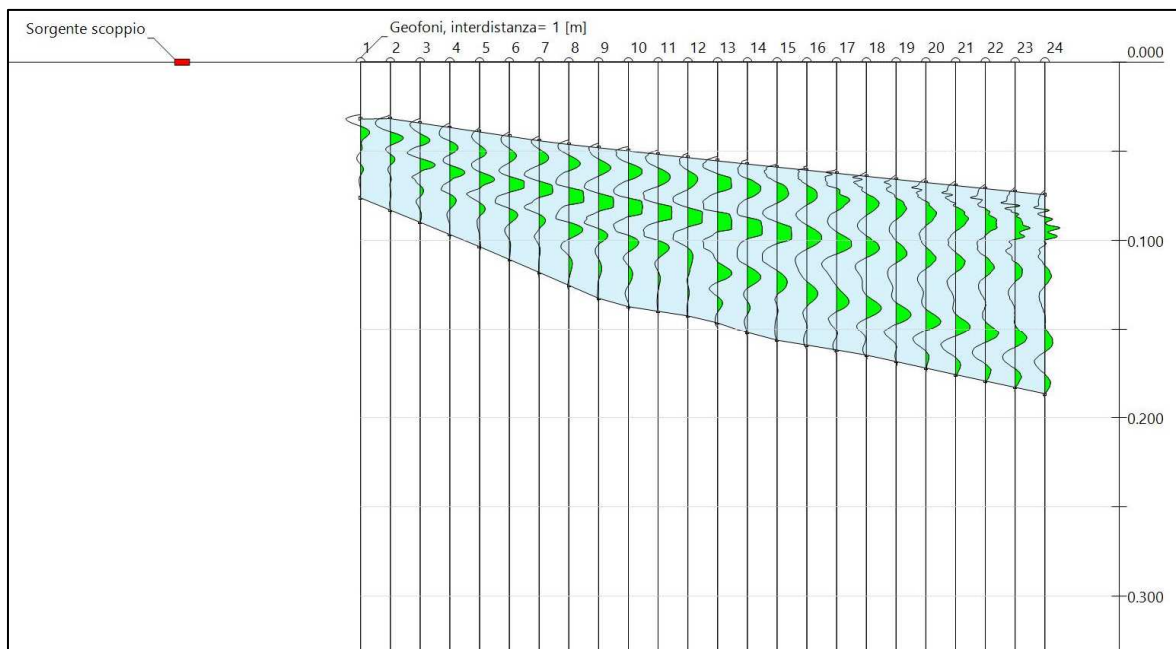


Figura 34 - Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MWM1

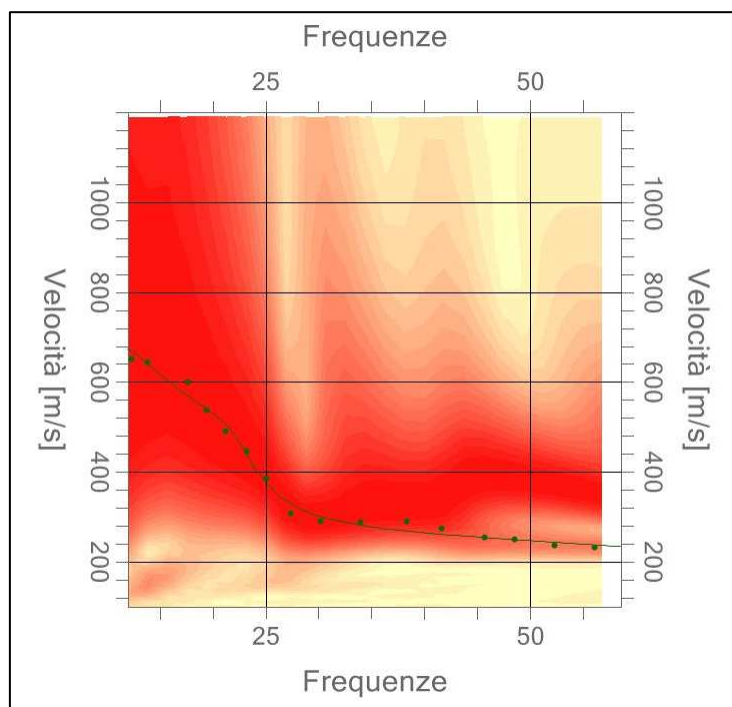


Figura 35 - Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MWM1

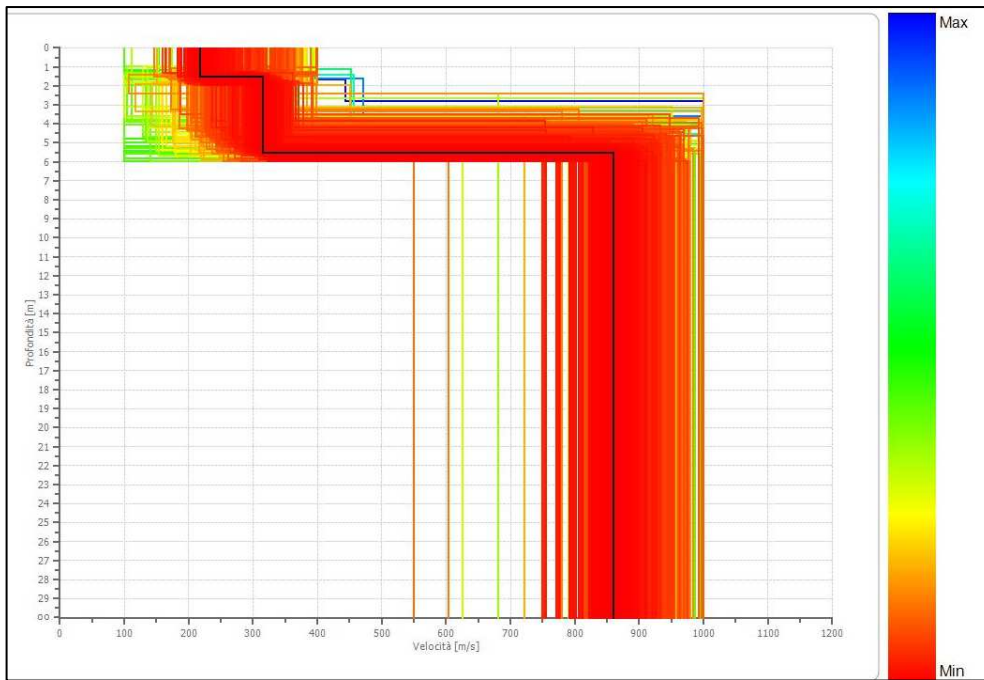


Figura 36 - Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MWM1

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	1.53	1.53	217.4
2	5.53	4.00	314.6
3	∞	∞	859.4

Percentuale di errore -----	0.103 %	$V_{s,eq} [m/sec] (H=5.53) = 279.91$  Categoria del suolo; E
Fattore di disadattamento della soluzione	0.036	

#### 4.1.6 Stendimento MASW; "MWC1" (Colombaina - Massa Marittima)

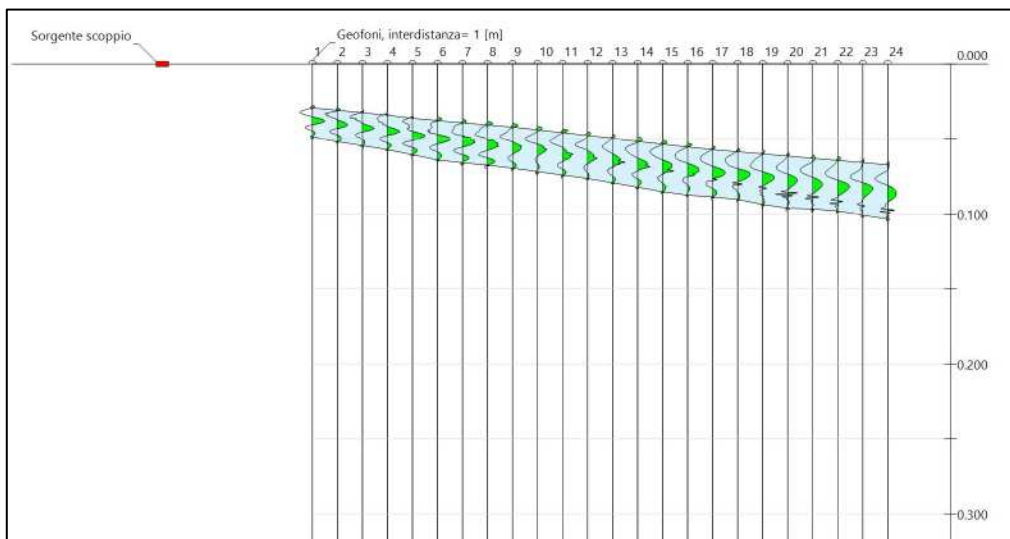


Figura 37 - Operazione di Windowing delle tracce - Stendimento MWC1

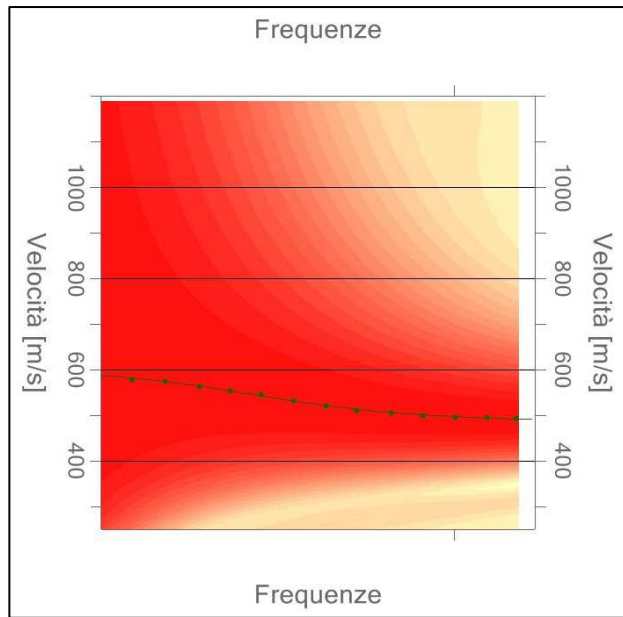


Figura 38 - Spettro relativo all'elaborazione con punti di picking e curva di dispersione sintetica - Stendimento MWC1

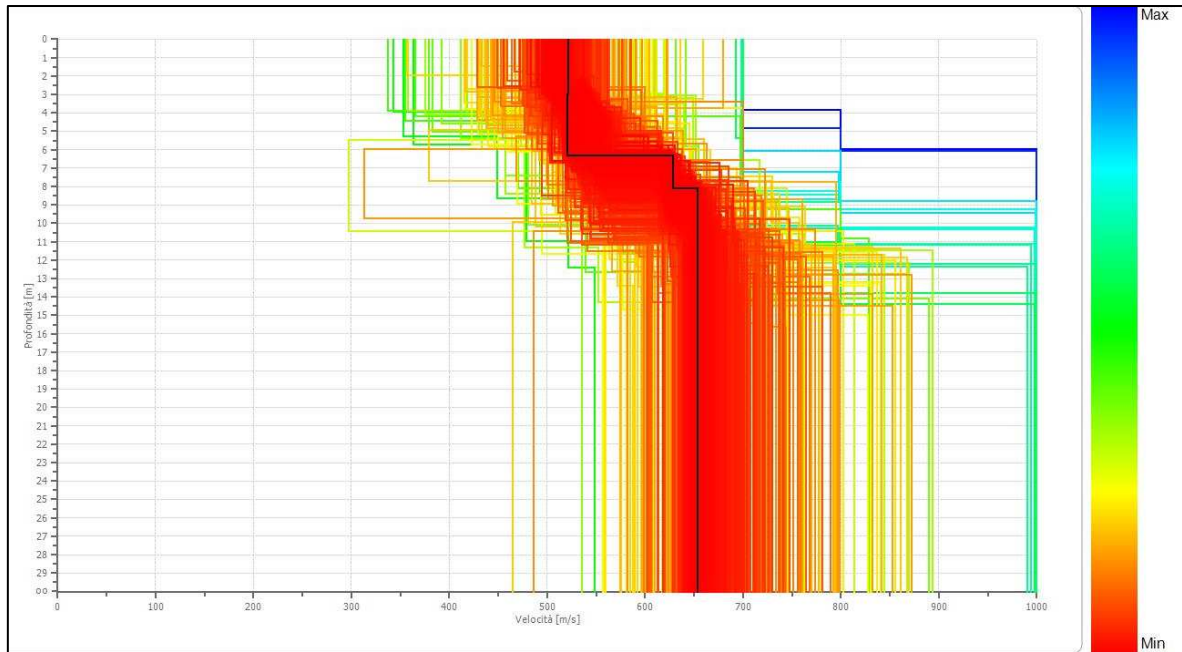


Figura 39 - Modello di inversione derivante dall'elaborazione della prova - Stendimento MWC1

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.01	3.01	521.0
2	6.34	3.33	520.4
3	8.14	1.80	628.4
4	oo	oo	653.4

Percentuale di errore	0.001 %	$V_{s,eq} [m/sec] (H=30.00) = 618.59$
-----		
Fattore di disadattamento della soluzione	0.003	Categoria del suolo; B

#### 4.2 Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)

Lo strumento utilizzato è un “*EchoTromo HVSr 3*” della AMBROGEO, un sismografo a 3 canali per la registrazione passiva (H/V) ed attiva (MASW a 3 canali). I dati acquisiti in campagna sono stati processati attraverso l’utilizzo del software “*Easy HVSr*” della GEOSTRU.

Di seguito si riportano le principali caratteristiche tecniche del sismografo:

- Numero di canali - 3 con input differente;
- Conversione AD - 24 bit;
- Range dinamico - 130 dB @ 1 ms PG>0 dB / 120 dB @ 1 ms PG>18 dB;
- Cross Talk > 90 dB;
- Preamplificazione Gain - 1-2-4-8-16-32;
- Frequenza di lavoro MASW - da 0 a 400 Hz (1KSPS);
- Frequenza di lavoro HVSr - selezionabile / 78-157-311-415-622-1244 Hz;
- Intervallo campionamento - 12.8-6.4-3.2-2.4-1.6-0.8 ms;
- Record Length - dipende dalla capacità della SD Card;
- Distorsione (THD) - 0.0004 %;
- Segnale Max di Input - 1 Vpp, 0 dB;
- CMR - 110 dB (fCM-60 Hz / fDATA – 30 kSPS);
- Noise - 0.25 uV, 2 ms / 36 dB;
- Delay dell’inizio registrazione - da 0 a 100 sec;
- Range di Temperatura - da -30 °C a + 70°C;
- Power - 9.6 Volt;
- Formato Output - SEG Y / SAF (Sesame ASCII Format).



Figura 40 - EchoTromo HVSr 3” AMBROGEO, con geofono da 2 Hz

Per l’acquisizione è stato utilizzato un geofono tridirezionale da 2 Hz.

Le misure sono state eseguite secondo i dettami delle linee guida del progetto SESAME (progetto europeo, *Site Effects Assessment Using Ambient Excitations*). Tale progetto, che ha coinvolto 14 istituti di ricerca e 85 ricercatori, costituisce attualmente uno dei riferimenti tecnici più seguiti in ambito europeo per il metodo HVSr.

Le acquisizioni sono state effettuate mediante registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) su singola stazione. Tali registrazioni sono state eseguite, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

E' stata poi eseguita un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate sono state 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 è ottenuto così un insieme di finestre "long", sincronizzate fra le tracce. Queste finestre sono state 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, è stato ricavato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo è stato sottoposto a tapering e lisciamento secondo delle tecniche note in letteratura e ritenute idonee.

Successivamente sono stati presi 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 è stata 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 è stato usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo ha permesso quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui è stata suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si è ottenuto il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco  $f_0$  (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito: per quanto riguarda invece l'ampiezza del picco H/V ( $A_0$ ) questo al momento non sembra essere direttamente relazionabile all'amplificazione sismica in senso assoluto, ma debba essere interpretato per distinguere quali siti amplificano più di altri.

Di seguito sono riportate le misure effettuate; durante tale campagna sono state eseguite dieci misure, di cui si riportano in tabella le coordinate metriche (sistema di riferimento "Gauss-Boaga Roma40", EPSG 3003):

HVSR ID	Coordinata x	Coordinata y
"HVMa1" (Camilletta - Massa Marittima)	1654754	4767463
"HVGH1" (Ghirlanda - Massa Marittima)	1654936	4769024
"HVGH2" (Ghirlanda - Massa Marittima)	1654835	4769167
"HVVa1" (Zona Ind. Valpiana)	1651875	4764616
"HVVa2" (Zona Ind. Valpiana)	1651567	4764252
"HVVa3" (Via del Minatore - Valpiana)	1650709	4763001
"HVPr1" (Prata)	1661651	4771818
"HVPr2" (Prata)	1661609	4771783

“HVM1” (Miserone - Massa Marittima)	1652708	4768126
“HVCI” (Colombaina - Massa Marittima)	1652785	4768474

Tabella 1 - Coordinate metriche misure HVSR



Figura 41 - Documentazione fotografica indagine HVSR (HVMa1-HVGh1-HVGh2; Camilletta e Ghirlanda - Massa Marittima)



Figura 42 - Documentazione fotografica indagine HVSR (HVVa1-HVVa2-HVVa3; Zona Ind. Valpiana e Valpiana)

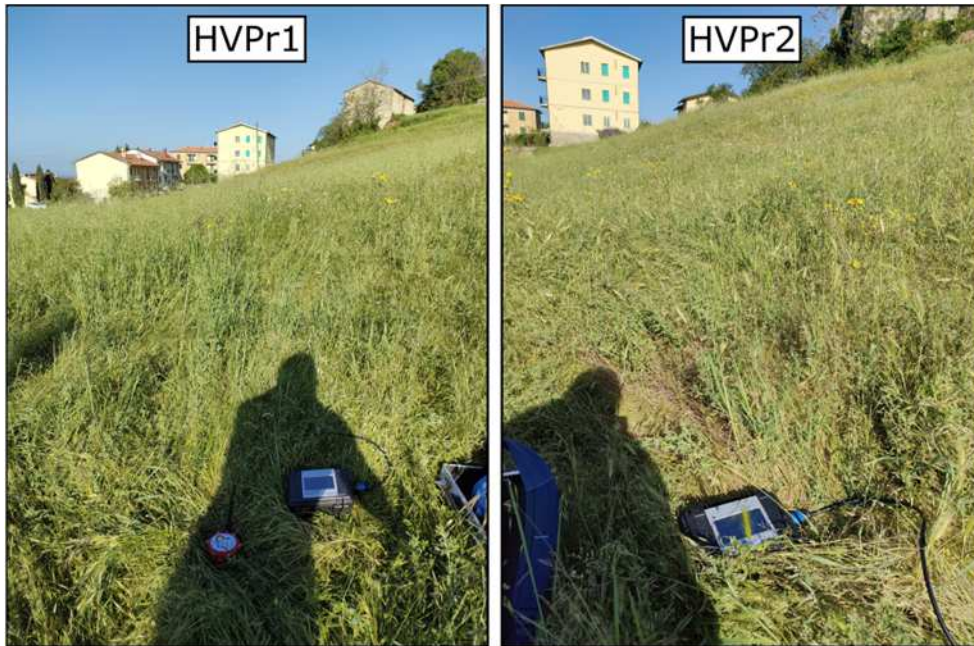


Figura 43 - Documentazione fotografica indagine HVSr (HVPr1-HVPr2; Prata)



Figura 44 - Documentazione fotografica indagine HVSr (HVM1-HVC1; Miserone e Colombaina - Massa Marittima)

#### 4.2.1 Misura HVSr; “HVMa1” (Camilletta - Massa Marittima)

Coordinata x: 1654754 m Est “Gauss-Boaga Roma40”

Coordinata y: 4767463 m Nord

### Tracce in input

#### Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	157.00 Hz
Numero campioni:	188400
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 46  
Numero finestre incluse nel calcolo: 46  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di liscio: Konno & Ohmachi  
Percentuale di liscio: 35.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

### Grafici tracce con finestre selezionate:

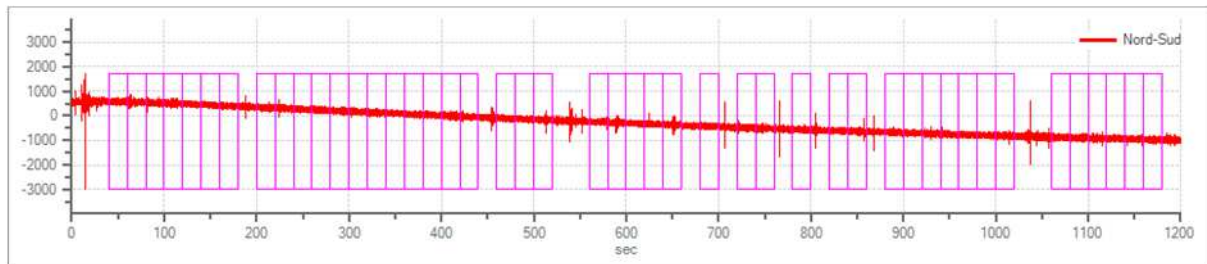


Figura 45 - Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

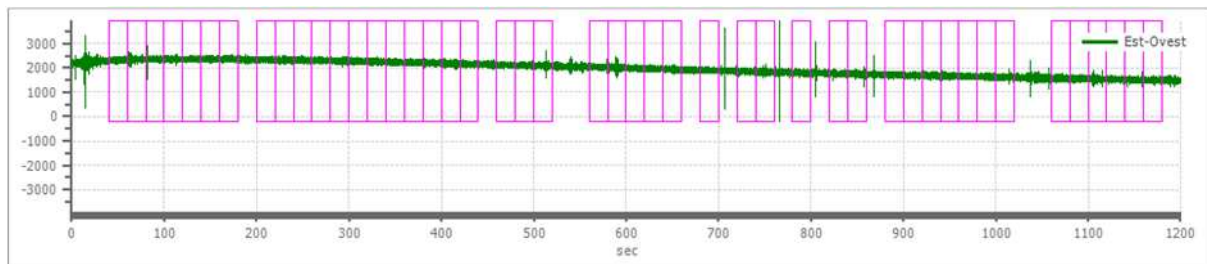


Figura 46 - Traccia e finestre selezionate in direzione Est - Ovest

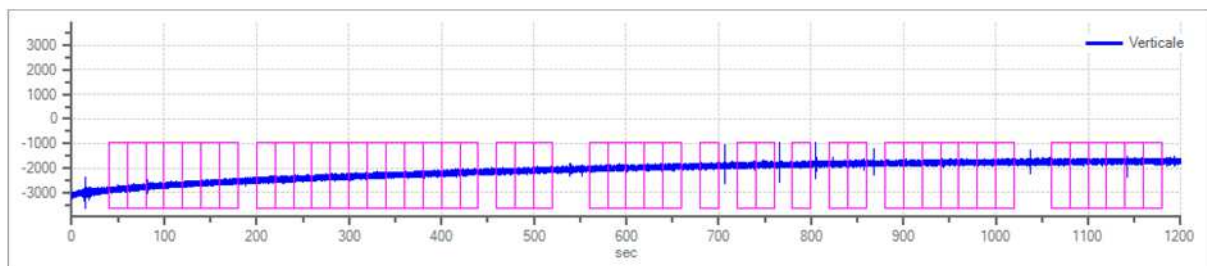


Figura 47 - Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

### Grafici degli spettri

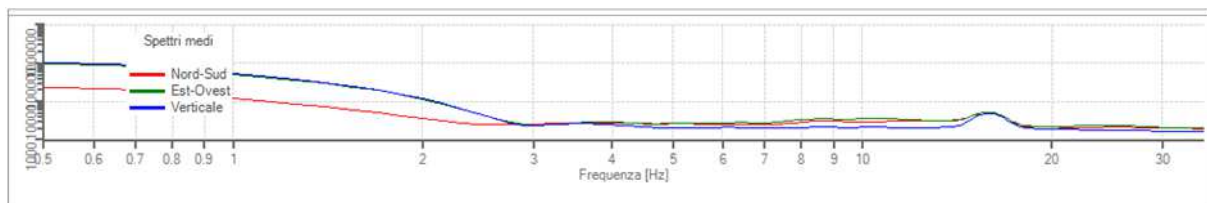


Figura 48 - Spettri medi nelle tre direzioni

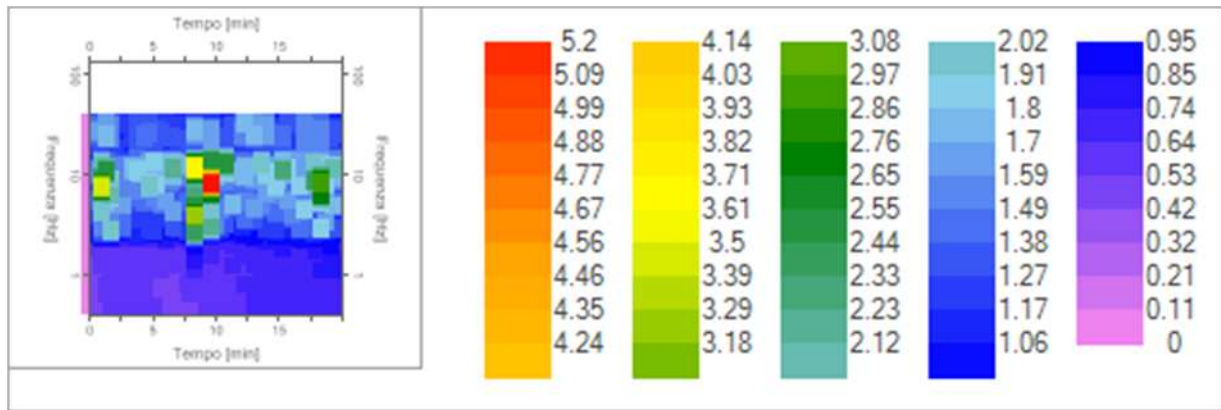


Figura 49 - Mappa della stazionarietà degli spettri

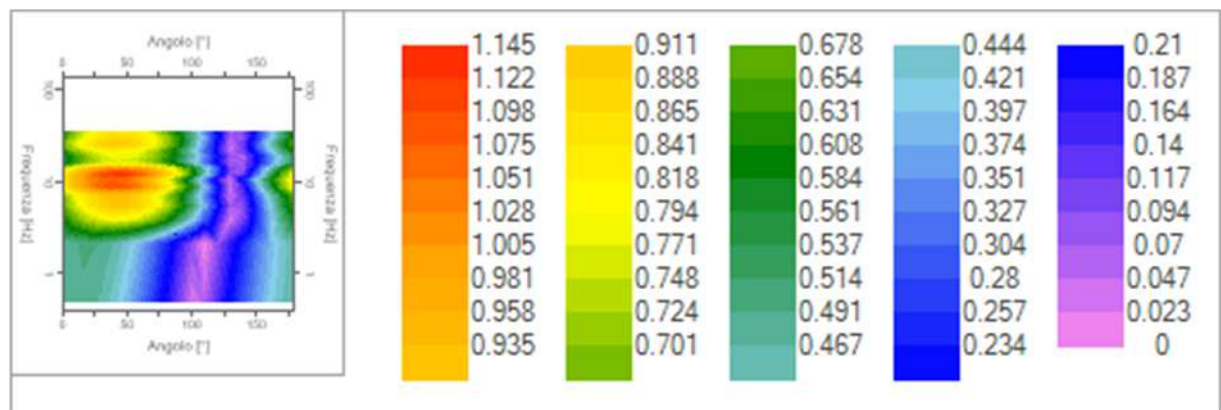


Figura 50 - Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 35.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamo: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamo: 35.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 11.60 Hz  $\pm$  0.26 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V

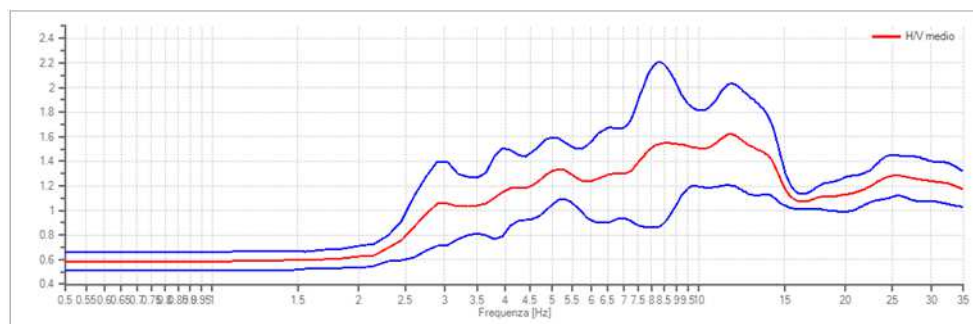


Figura 51 - Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

## CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 1 Criterio verificato su 6

### 4.2.2 Misura HVSR; "HVGH1" (Ghirlanda - Massa Marittima)

Coordinata x: 1654936 m Est "Gauss-Boaga Roma40"

Coordinata y: 4769024 m Nord

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 52  
Numero finestre incluse nel calcolo: 52  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamo: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamo: 40.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

### Grafici tracce con finestre selezionate:

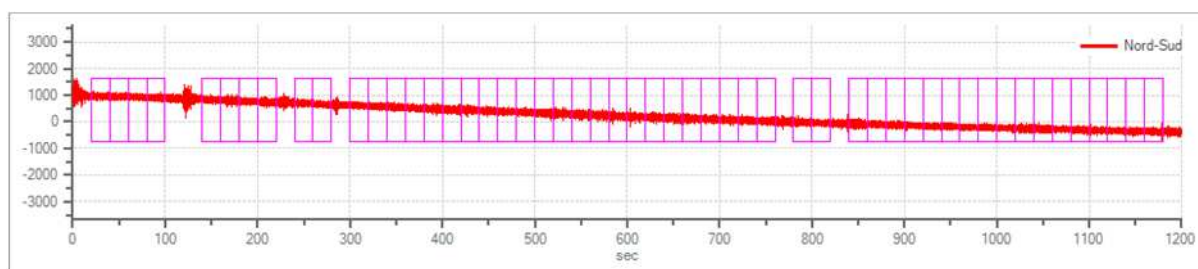


Figura 52 - Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

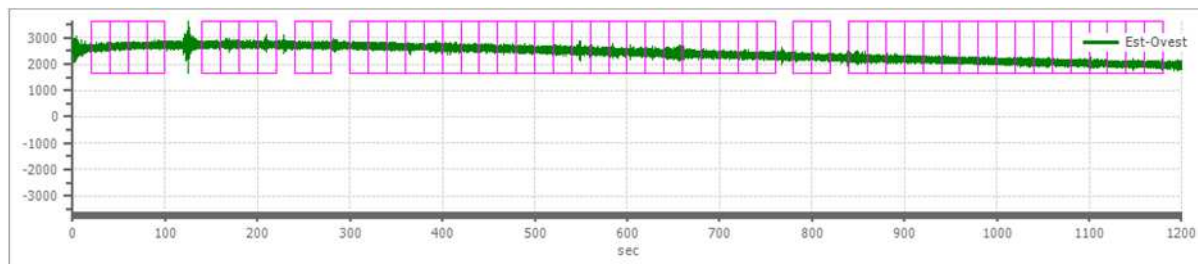


Figura 53 - Traccia e finestre selezionate in direzione Est - Ovest

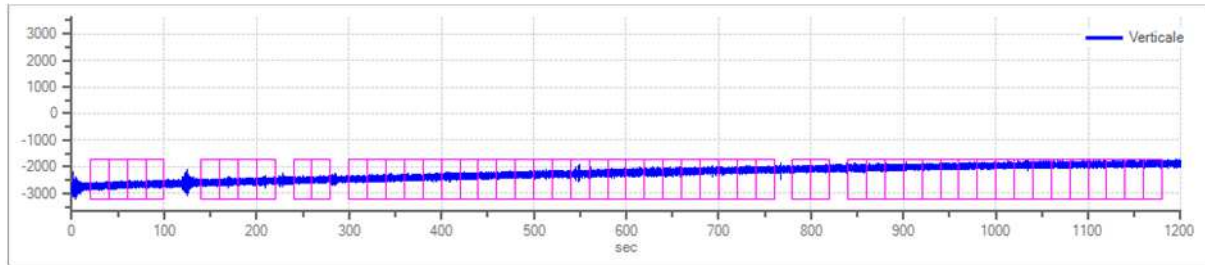


Figura 54 - Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

### Grafici degli spettri

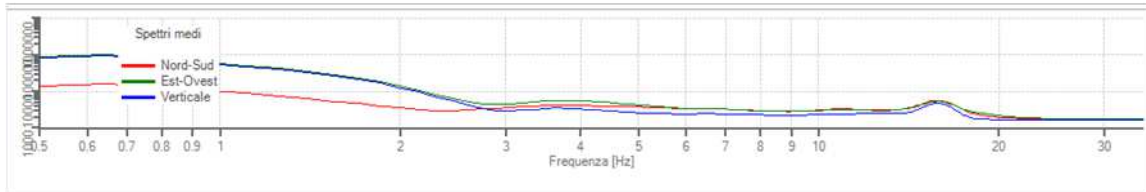


Figura 55 - Spettri medi nelle tre direzioni

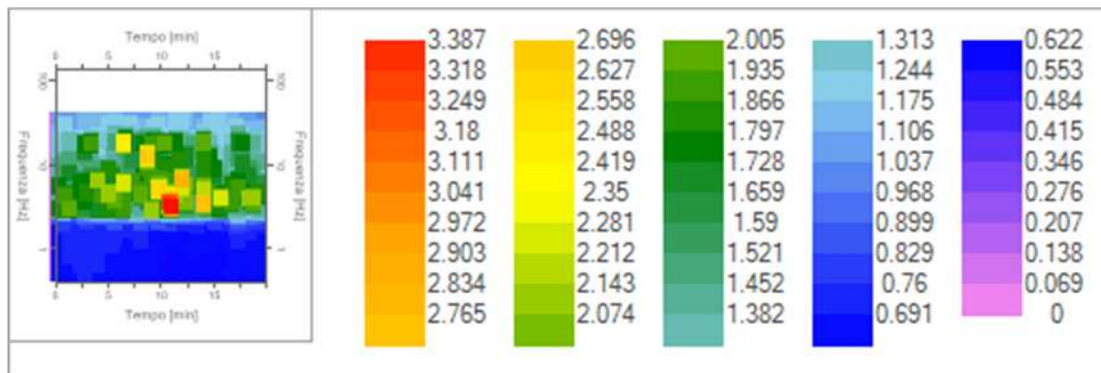


Figura 56 - Mappa della stazionarietà degli spettri

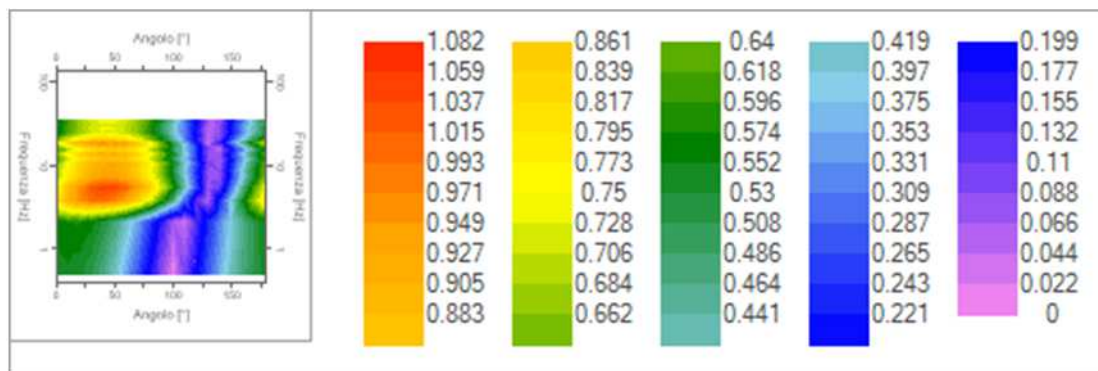


Figura 57 - Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

### Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	35.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamo::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamo:	40.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

## Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 4.70 Hz  $\pm$  0.19 Hz**

## Grafico rapporto spettrale H/V

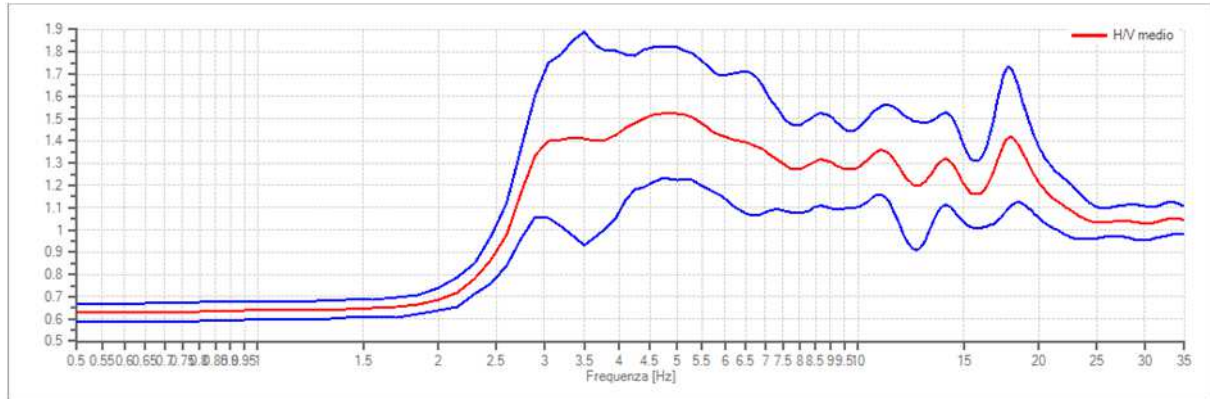


Figura 58 - Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

## CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 2 Criteri verificati su 6

### **4.2.3 Misura HVSR; "HVGh2" (Ghirlanda - Massa Marittima)**

Coordinata x: 1654835 m Est "Gauss-Boaga Roma40"

Coordinata y: 4769167 m Nord

## **Tracce in input**

### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## **Finestre selezionate**

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 44  
Numero finestre incluse nel calcolo: 44  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamiento: 40.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

### Grafici tracce con finestre selezionate:

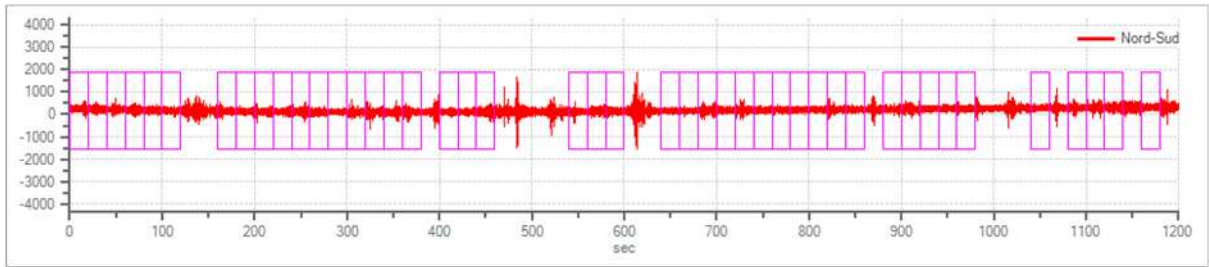


Figura 59 - Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

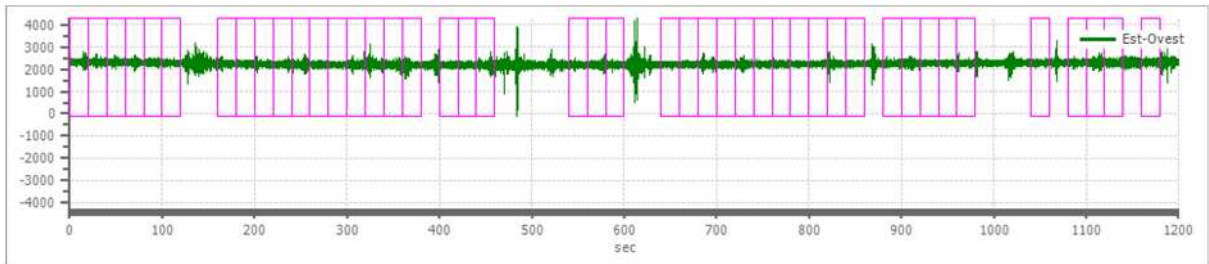


Figura 60 - Traccia e finestre selezionate in direzione Est - Ovest

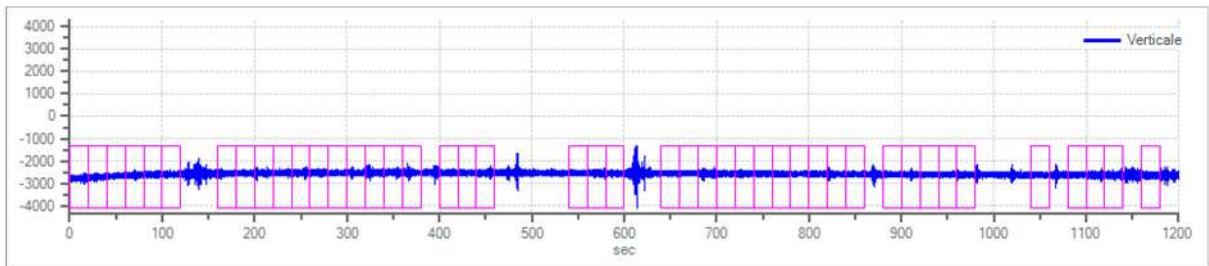


Figura 61 - Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

### Grafici degli spettri

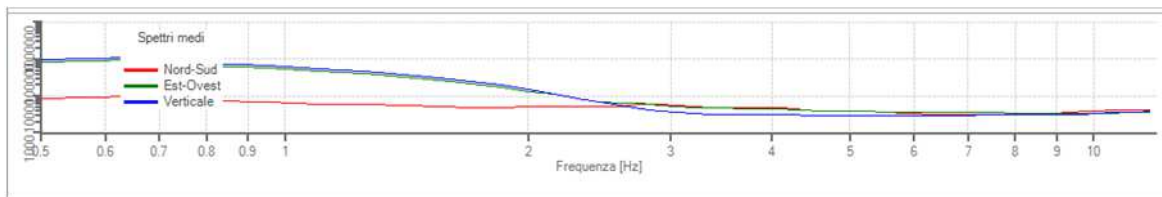


Figura 62 - Spettri medi nelle tre direzioni

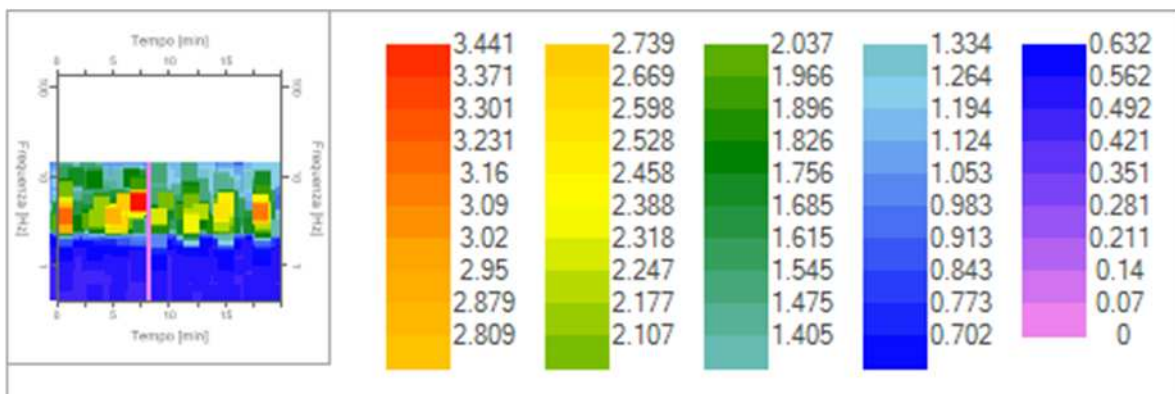


Figura 63 - Mappa della stazionarietà degli spettri

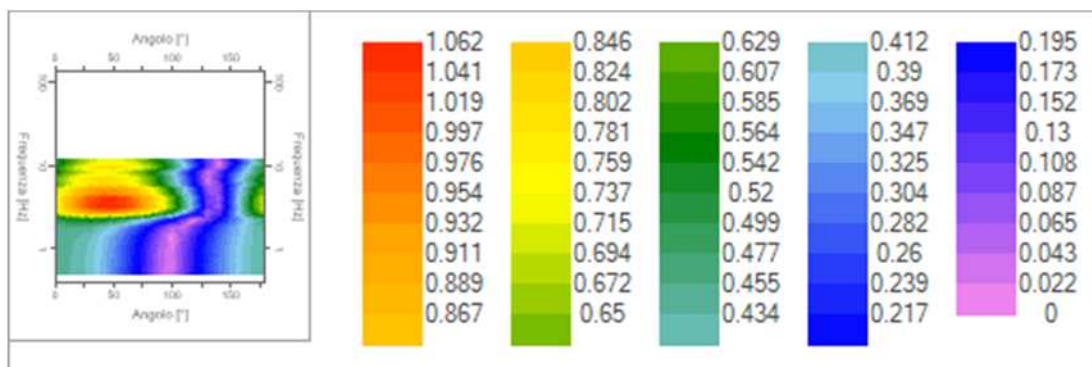


Figura 64 - Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamo: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamo: 40.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 3.95 Hz  $\pm$  0.26 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V

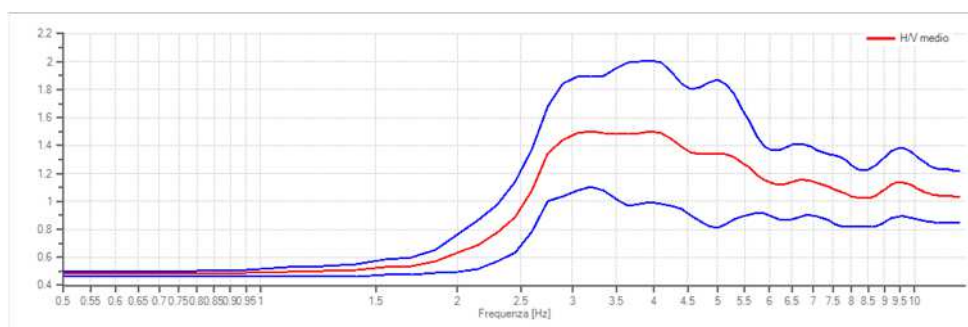


Figura 65 - Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteria verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 2 Criteria verificati su 6

#### 4.2.4 Misura HVSR; "HVVa1" (Zona Ind. Valpiana)

Coordinata x: 1651875 m Est "Gauss-Boaga Roma40"  
 Coordinata y: 4764616 m Nord

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 50  
Numero finestre incluse nel calcolo: 50  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamento: 35.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

### Grafici tracce con finestre selezionate:

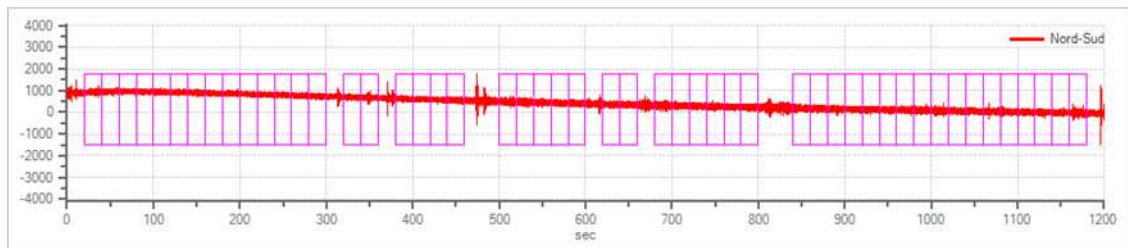


Figura 66 - Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

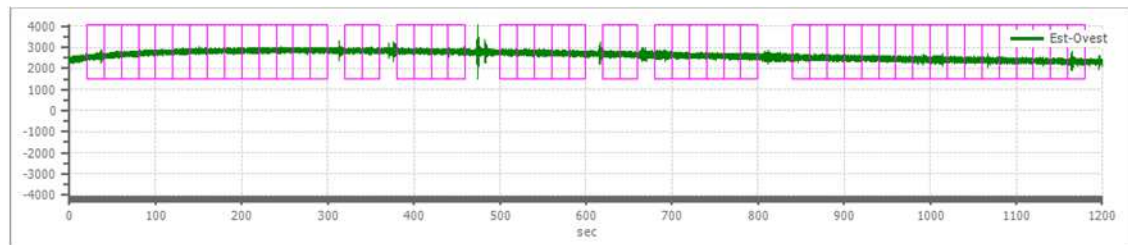


Figura 67 - Traccia e finestre selezionate in direzione Est - Ovest

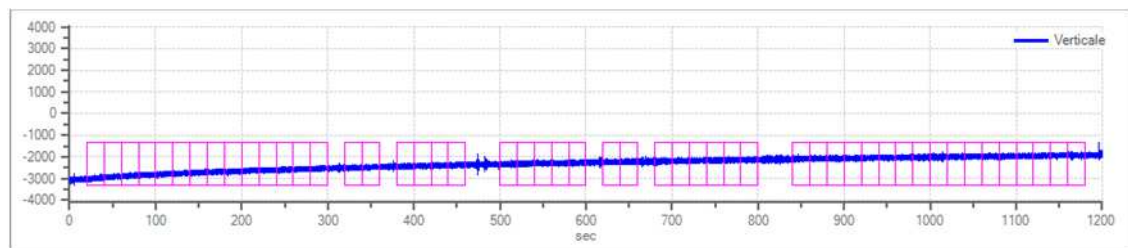


Figura 68 - Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

### Grafici degli spettri

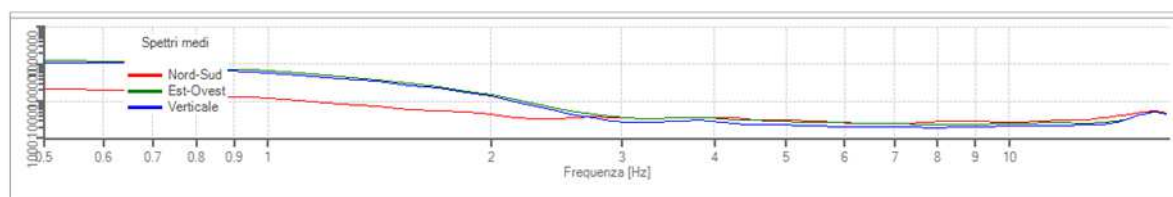


Figura 69 - Spettri medi nelle tre direzioni

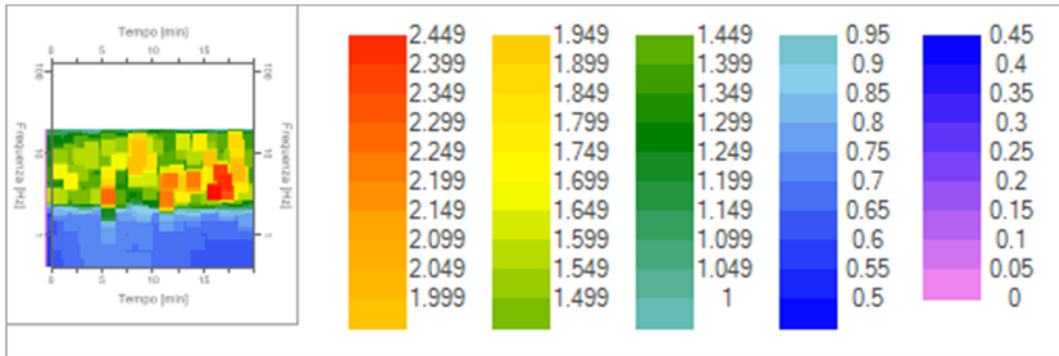


Figura 70 - Mappa della stazionarietà degli spettri

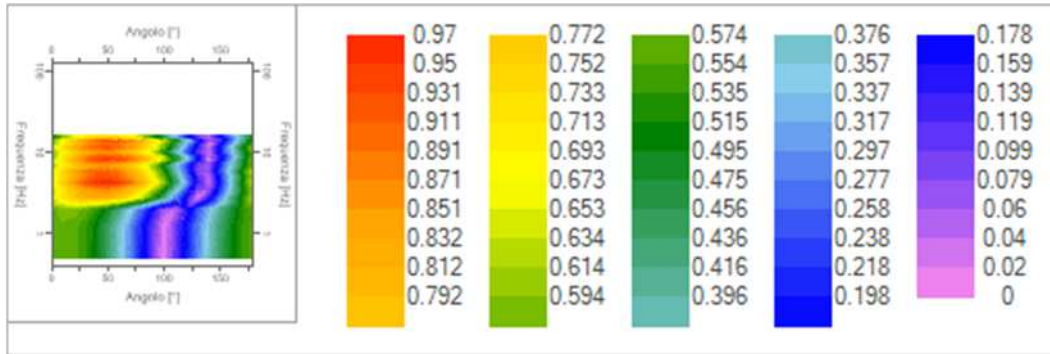


Figura 71 - Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 16.50 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 35.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 4.40 Hz  $\pm$  0.26 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V

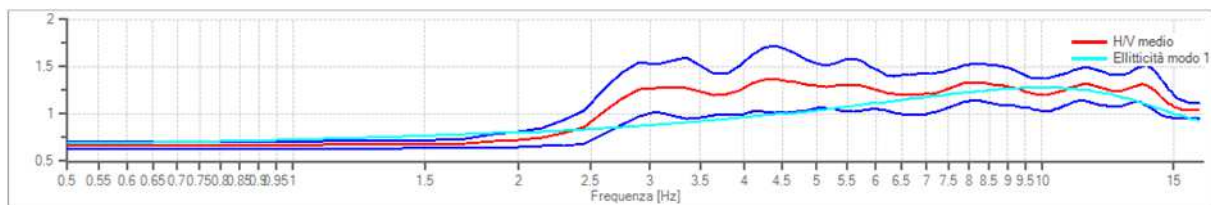


Figura 72 - Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 1 Criterio verificato su 6

#### 4.2.5 Misura HVSR; “HVVa2” (Zona Ind. Valpiana)

Coordinata x: 1651567 m Est “Gauss-Boaga Roma40”

Coordinata y: 4764252 m Nord

### Tracce in input

#### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

### Finestre selezionate

#### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 47  
Numero finestre incluse nel calcolo: 47  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamo: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamo: 25.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

#### Grafici tracce con finestre selezionate:

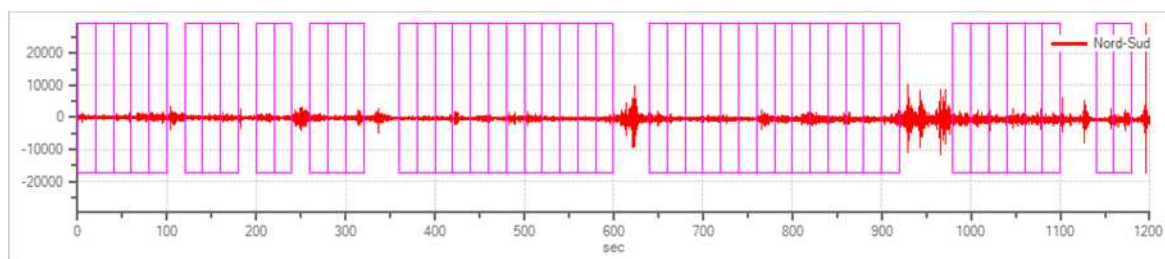


Figura 73 - Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

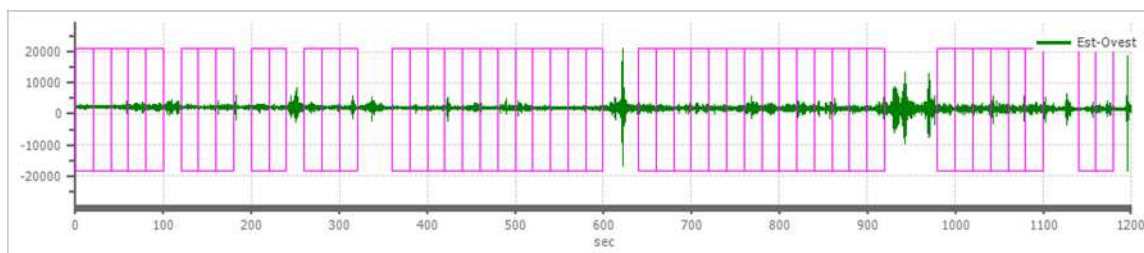


Figura 74 - Traccia e finestre selezionate in direzione Est - Ovest

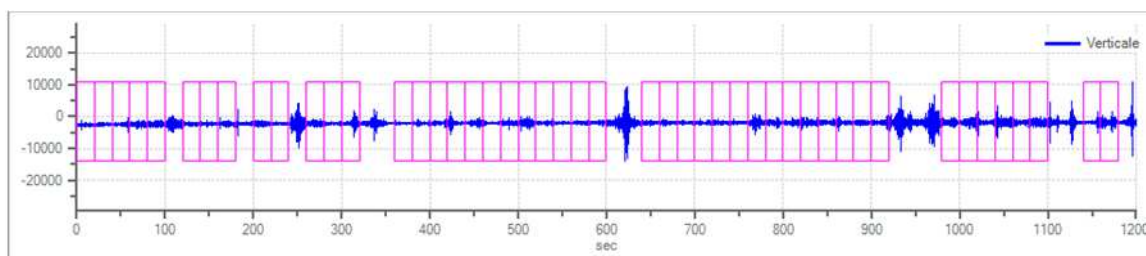


Figura 75 - Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

## Grafici degli spettri

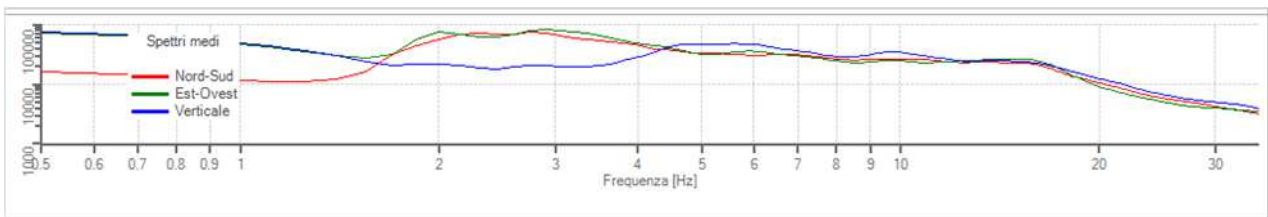


Figura 76 - Spettri medi nelle tre direzioni

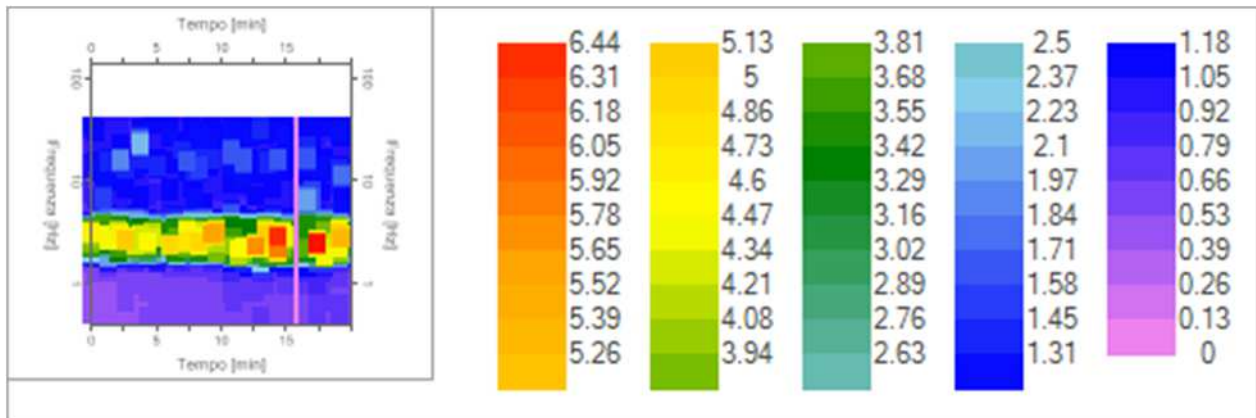


Figura 77 - Mappa della stazionarietà degli spettri

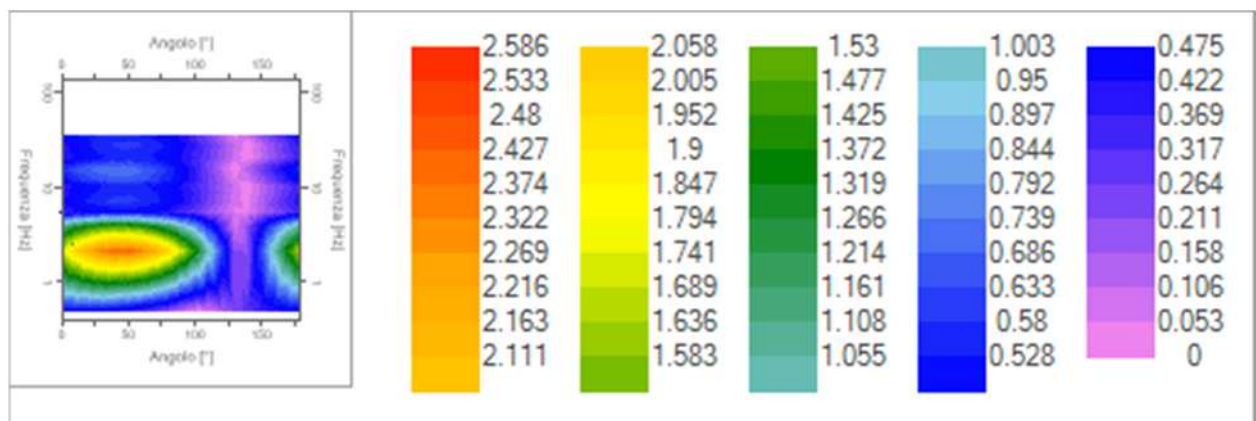


Figura 78 - Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

### Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	35.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo liscioamento::	Konno & Ohmachi
Percentuale di liscioamento:	25.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 2.90 Hz  $\pm$  0.21 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V

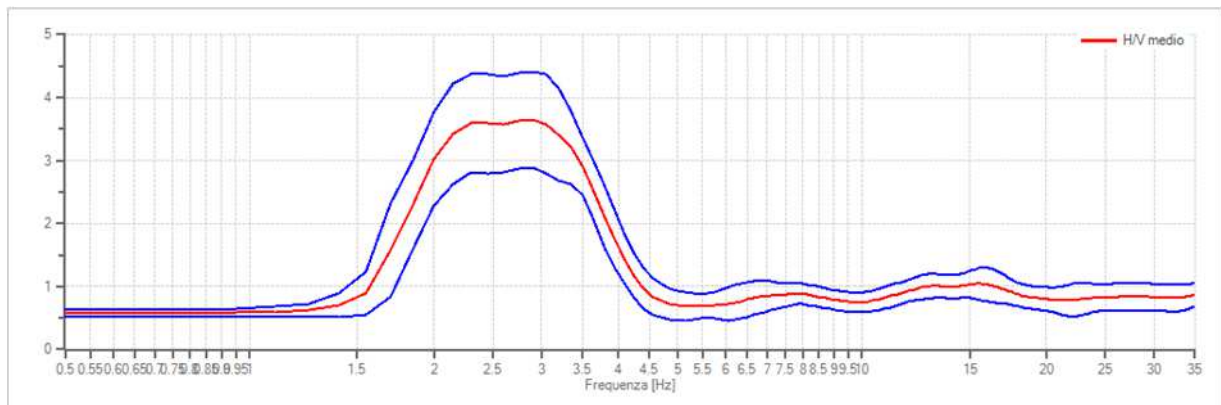


Figura 79 - Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 6 Criteri verificati su 6

#### **4.2.6 Misura HVSR; "HVVa3" (Via del Minatore - Valpiana)**

Coordinata x: 1650709 m Est "Gauss-Boaga Roma40"

Coordinata y: 4763001 m Nord

### **Tracce in input**

#### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

### **Finestre selezionate**

#### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 47  
Numero finestre incluse nel calcolo: 47  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamto: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamto: 35.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

Grafici tracce con finestre selezionate:

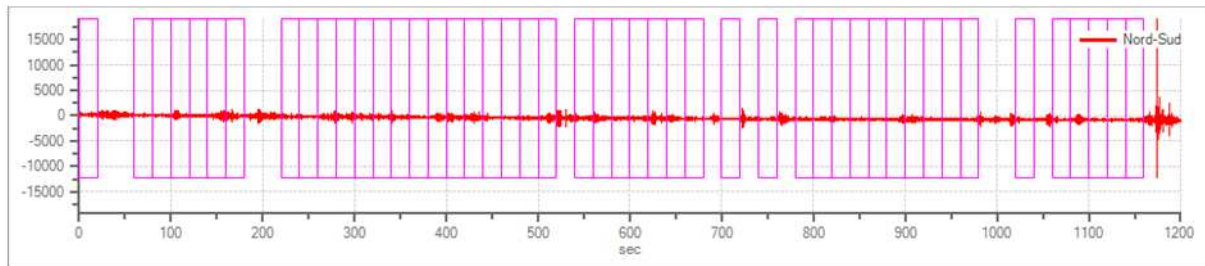


Figura 80 - Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

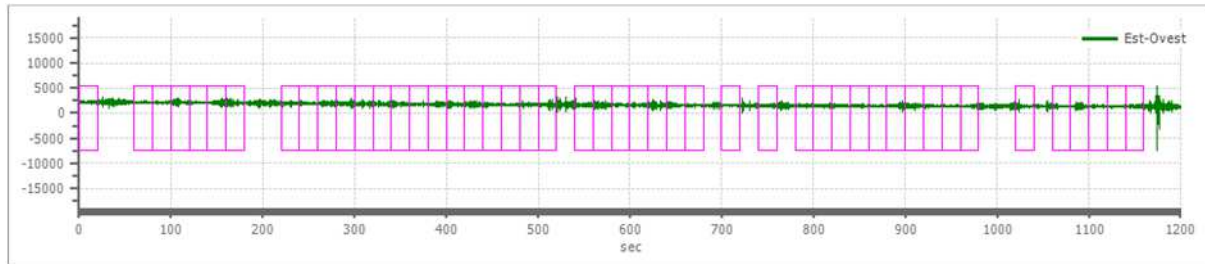


Figura 81 - Traccia e finestre selezionate in direzione Est - Ovest

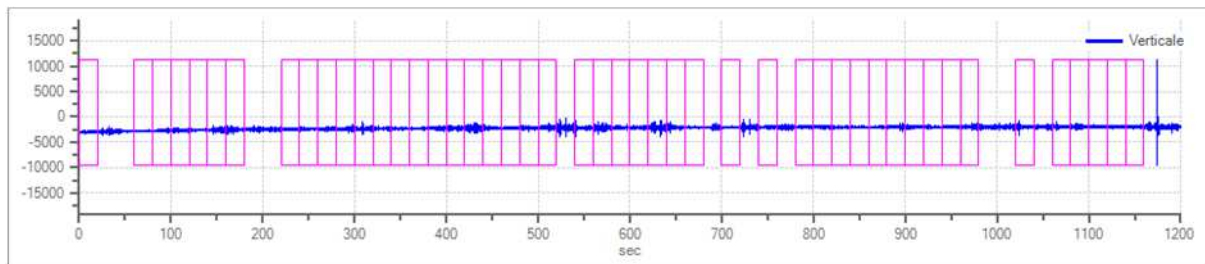


Figura 82 - Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

Grafici degli spettri

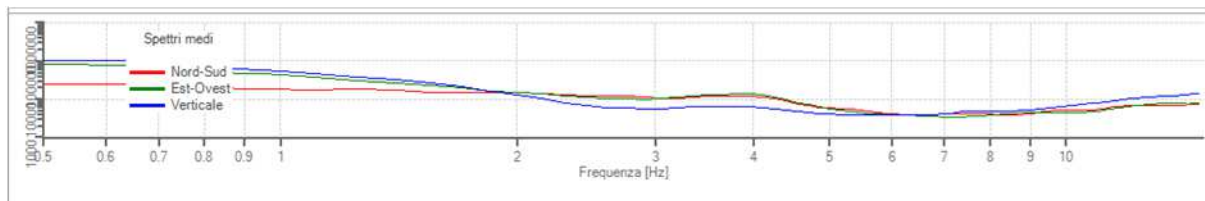


Figura 83 - Spettri medi nelle tre direzioni

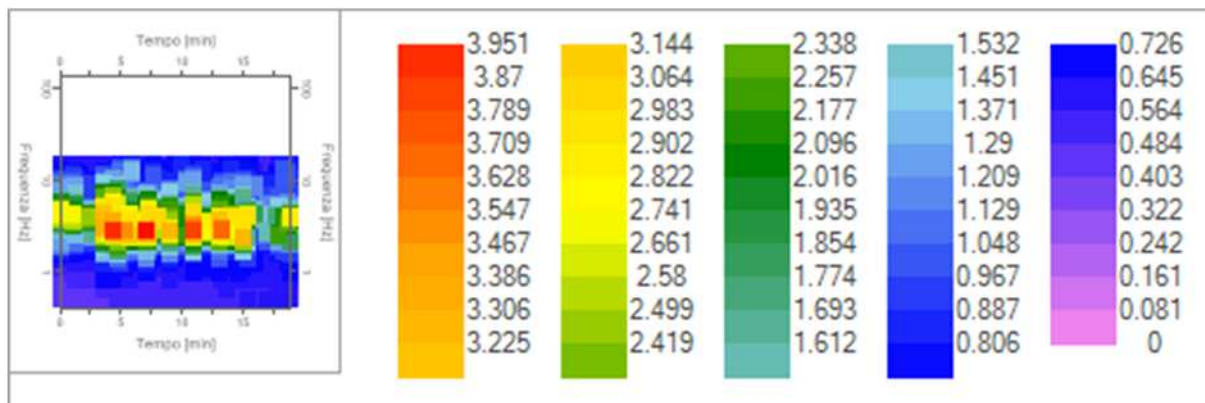


Figura 84 - Mappa della stazionarietà degli spettri

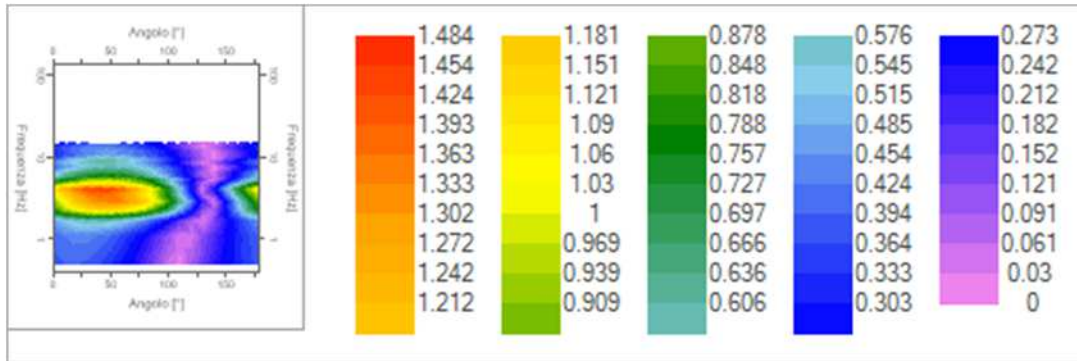


Figura 85 - Mappa della direzionalità degli spettri

## 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: 35.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 3.95 Hz  $\pm$  0.31 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V

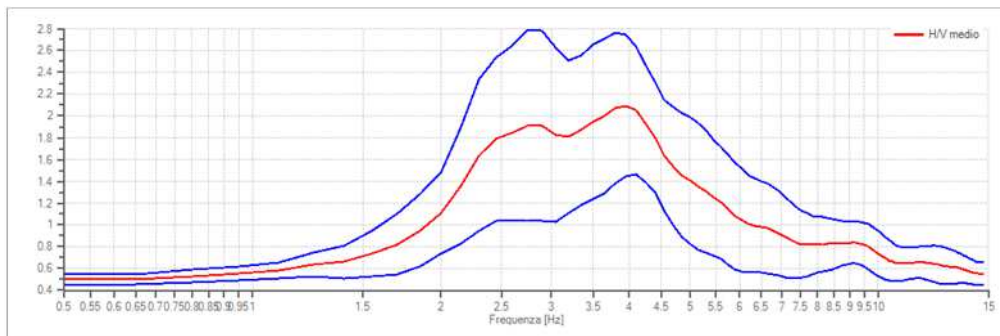


Figura 86 - Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 6 Criteri verificati su 6

### 4.2.7 Misura HVSR; "HVPr1" (Prata)

Coordinata x: 1661651 m Est "Gauss-Boaga Roma40"  
 Coordinata y: 4771818 m Nord

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 47  
Numero finestre incluse nel calcolo: 47  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamento: 40.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

### Grafici tracce con finestre selezionate:

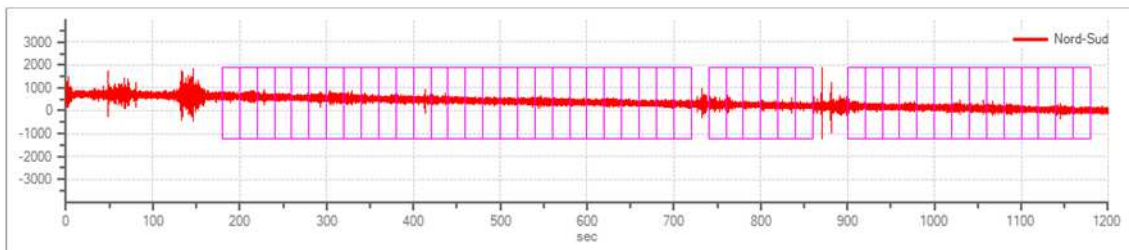


Figura 87 - Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

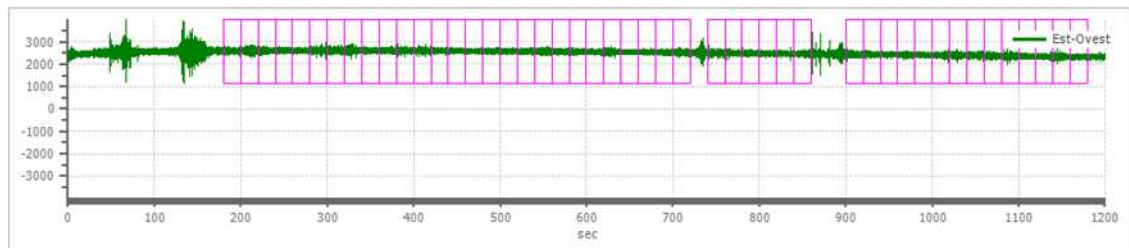


Figura 88 - Traccia e finestre selezionate in direzione Est - Ovest

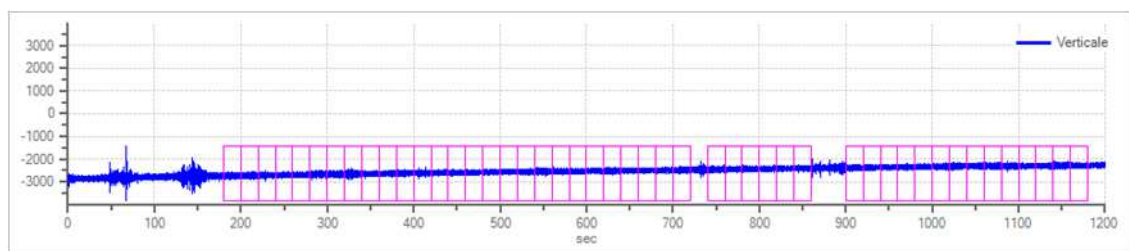


Figura 89 - Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

### Grafici degli spettri

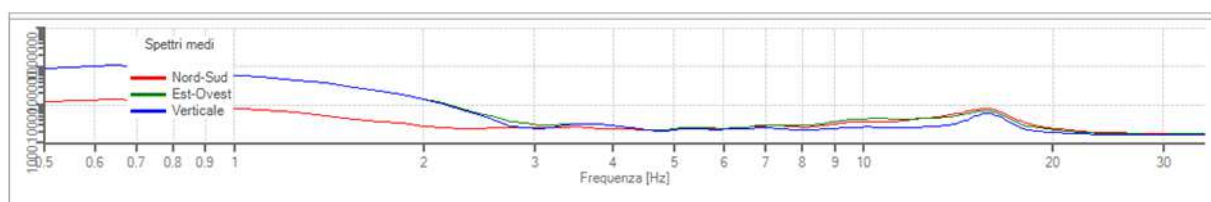


Figura 90 - Spettri medi nelle tre direzioni

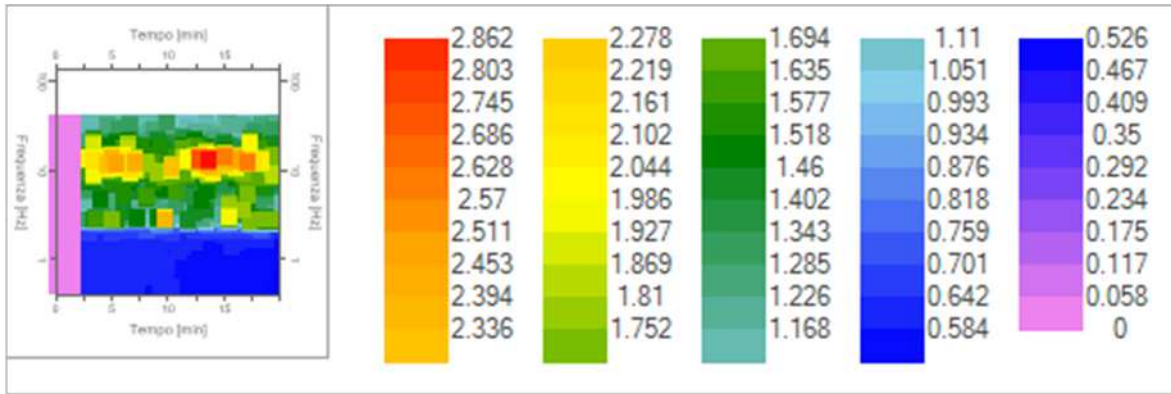


Figura 91 - Mappa della stazionarietà degli spettri

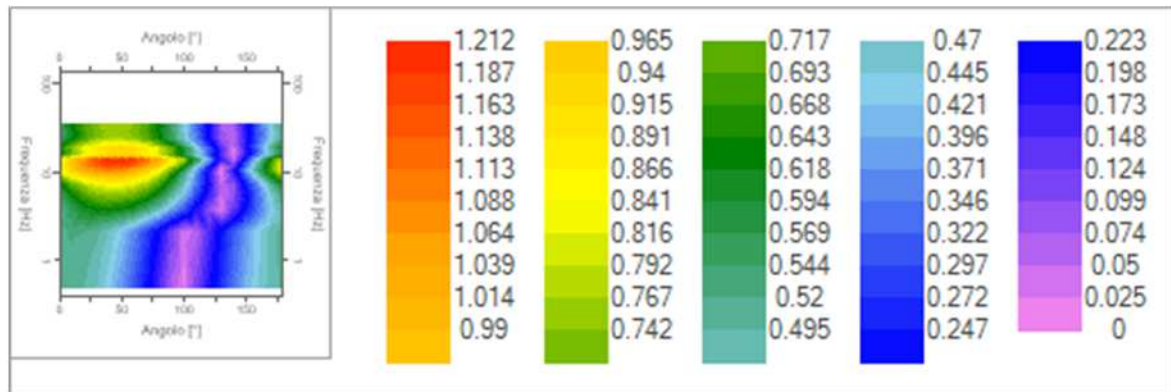


Figura 92 - Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 35.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamo: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamo: 40.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 13.70 Hz  $\pm$  0.22 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V

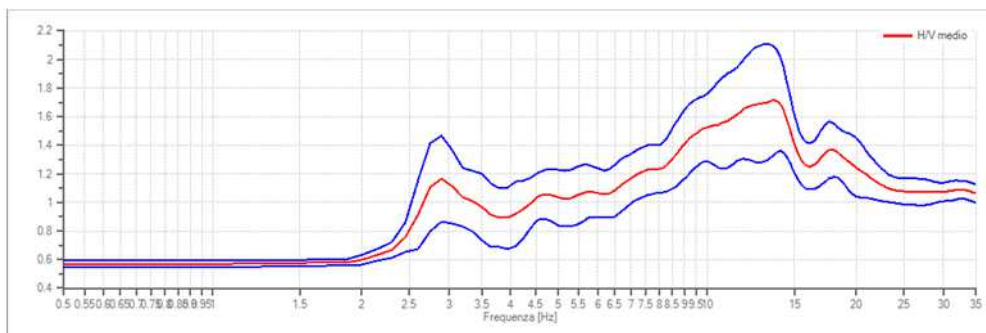


Figura 93 - Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

## CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 3 Criteri verificati su 6

### 4.2.8 Misura HVSR; "HVPr2" (Prata)

Coordinata x: 1661609 m Est "Gauss-Boaga Roma40"

Coordinata y: 4771783 m Nord

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 51  
Numero finestre incluse nel calcolo: 51  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamento: 40.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

### Grafici tracce con finestre selezionate:

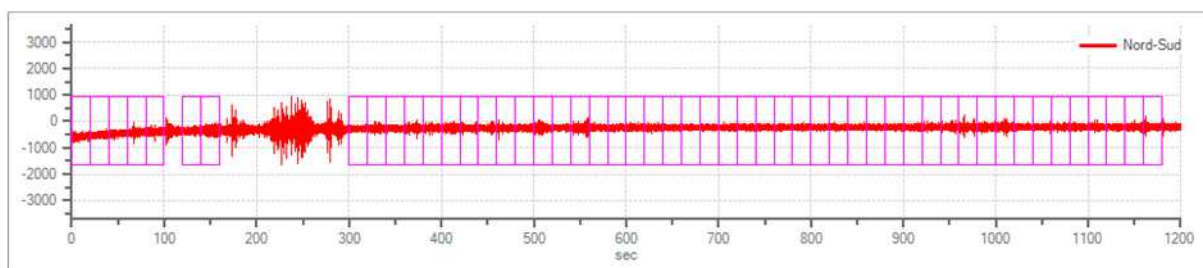


Figura 94 - Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

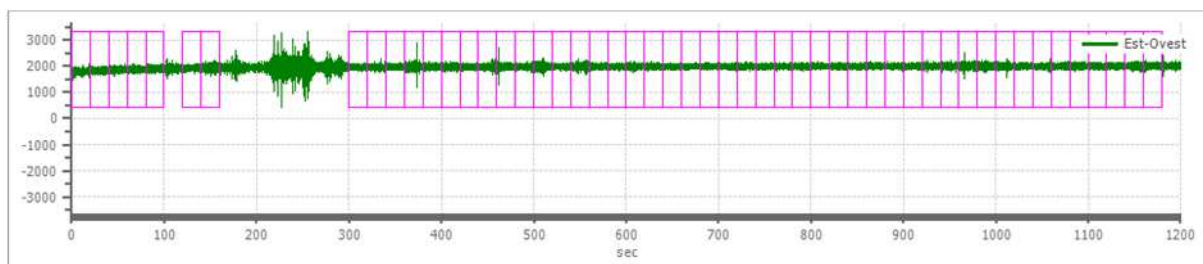


Figura 95 - Traccia e finestre selezionate in direzione Est - Ovest

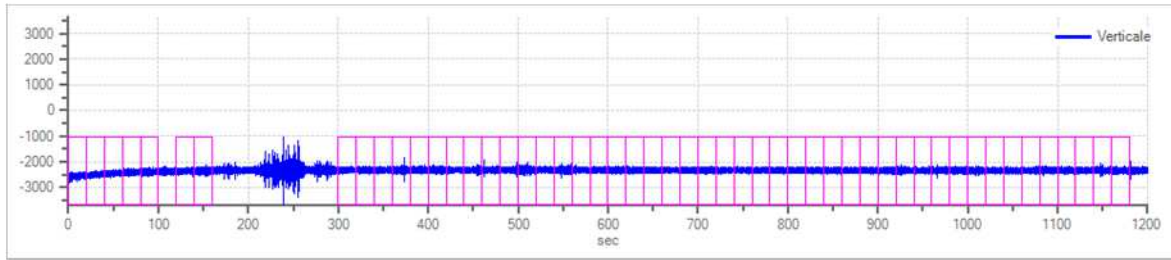


Figura 96 - Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

### Grafici degli spettri

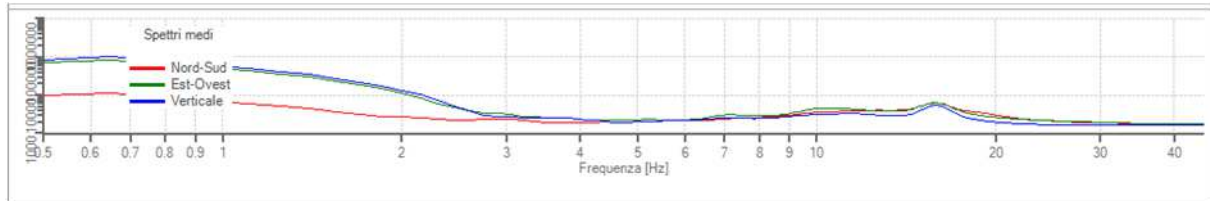


Figura 97 - Spettri medi nelle tre direzioni

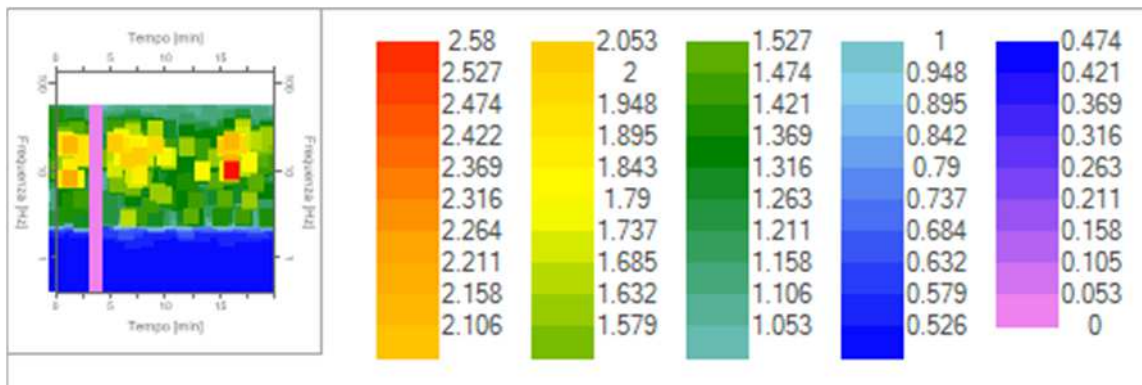


Figura 98 - Mappa della stazionarietà degli spettri

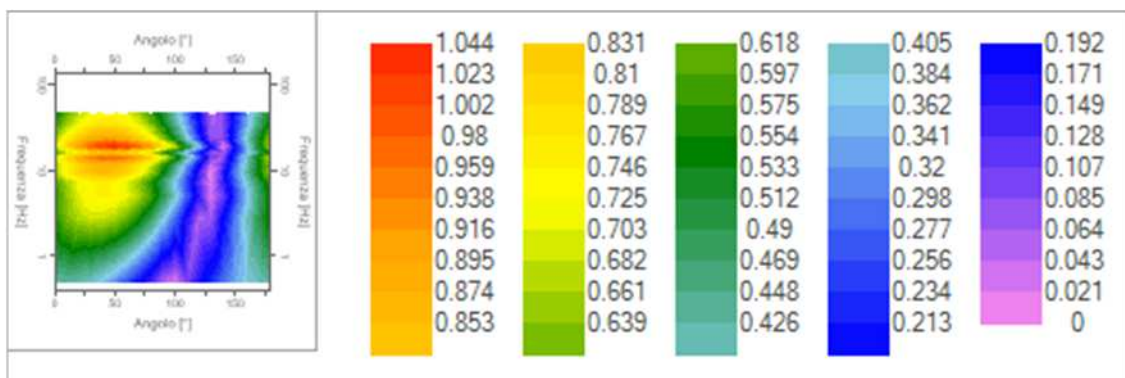


Figura 99 - Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

### Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	45.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	40.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 18.95 Hz  $\pm$  0.18 Hz**

Grafico rapporto spettrale H/V

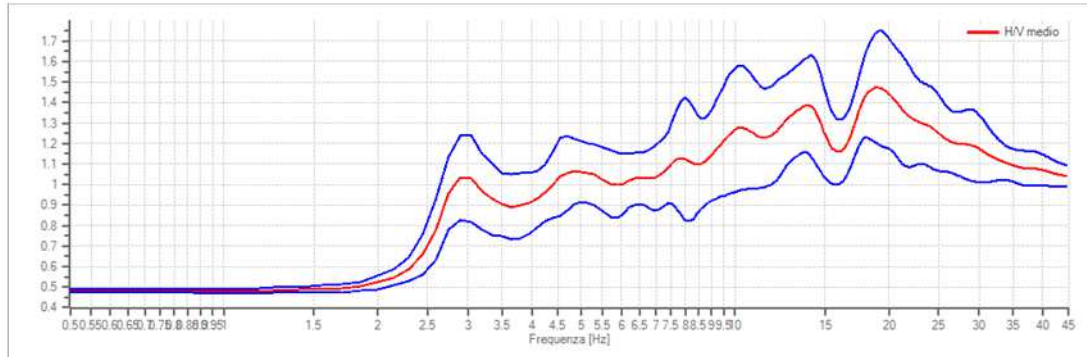


Figura 100 - Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 3 Criteri verificati su 6

**4.2.9 Misura HVSR; "HVM1" (Miserone - Massa Marittima)**

Coordinata x: 1652708 m Est "Gauss-Boaga Roma40"  
Coordinata y: 4768126 m Nord

**Tracce in input**

Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

**Finestre selezionate**

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 59  
Numero finestre incluse nel calcolo: 59  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamto: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamto: 10.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

Grafici tracce con finestre selezionate:

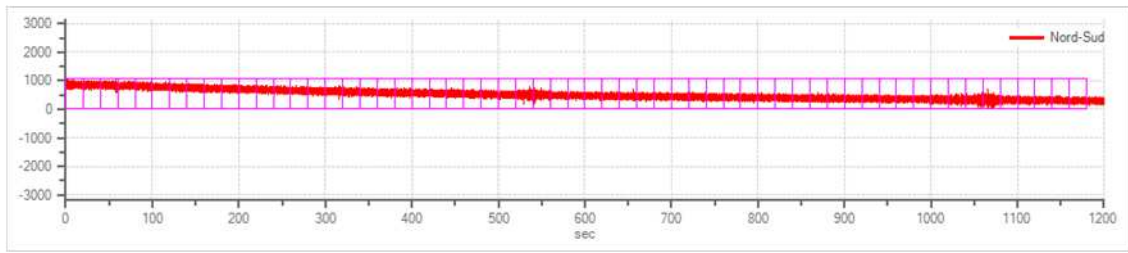


Figura 101 - Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

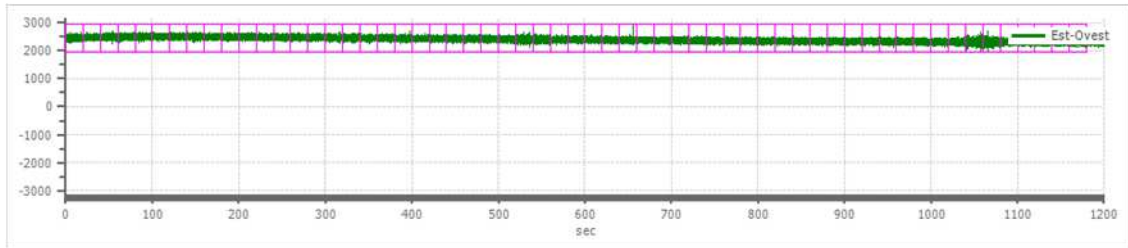


Figura 102 - Traccia e finestre selezionate in direzione Est - Ovest

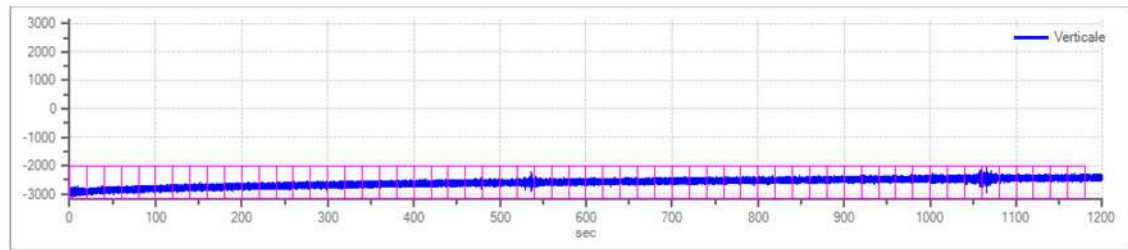


Figura 103 - Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

Grafici degli spettri

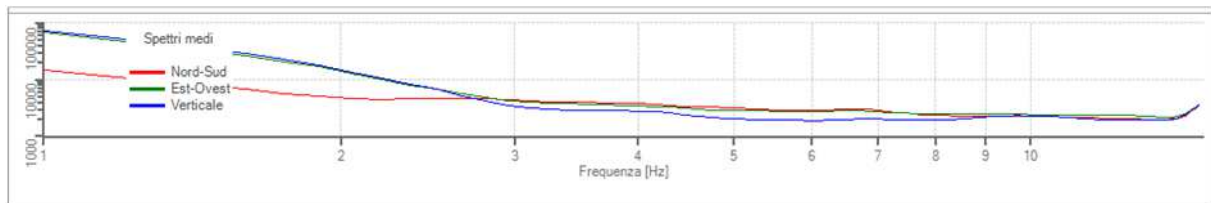


Figura 104 - Spettri medi nelle tre direzioni

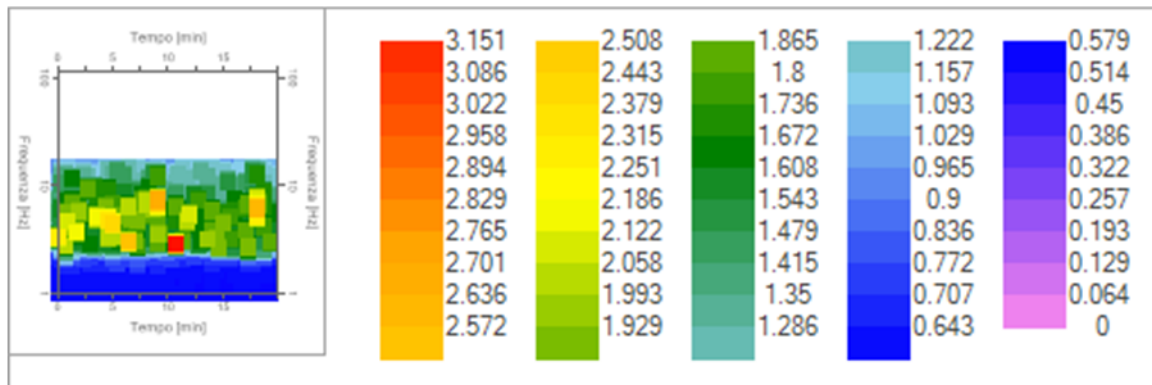


Figura 105 - Mappa della stazionarietà degli spettri

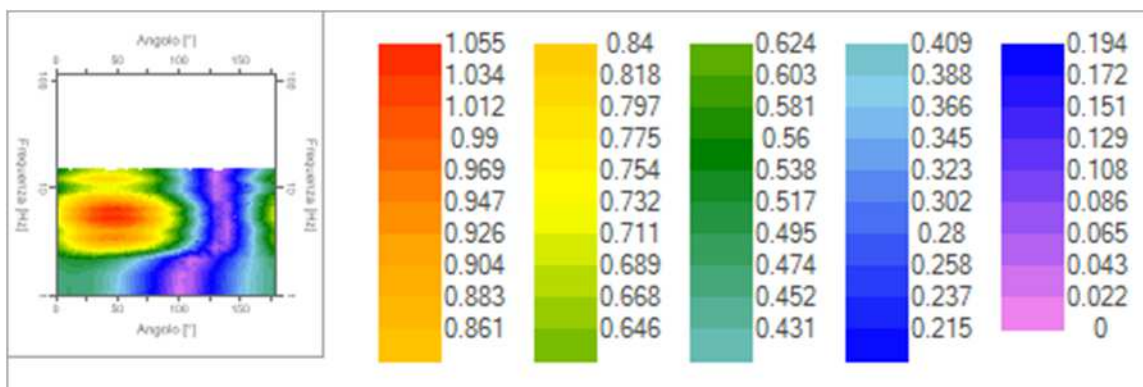


Figura 106 - Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

### Dati riepilogativi:

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

### Risultati:

**FREQUENZA DEL PICCO FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 5.0 HZ  $\pm$  0.18 HZ**

### Grafico rapporto spettrale H/V

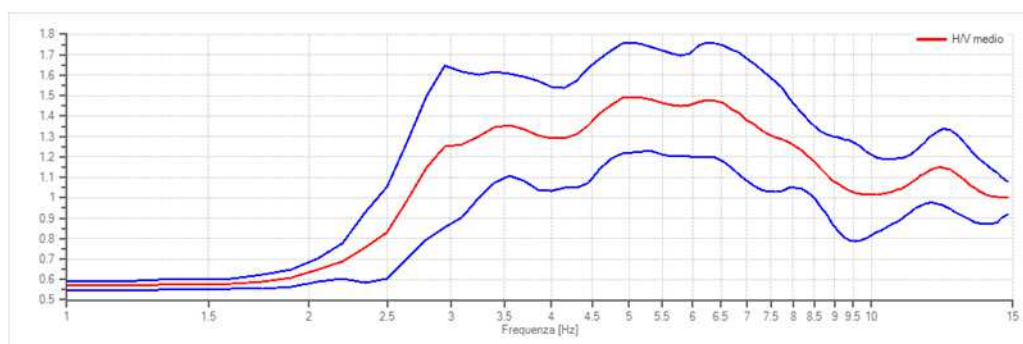


Figura 107 - Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 2 Criteri verificati su 6

#### 4.2.10 Misura HVSR; "HVC1" (Colombaina - Massa Marittima)

Coordinata x: 1652785 m Est "Gauss-Boaga Roma40"  
 Coordinata y: 4768474 m Nord

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 157.00 Hz  
Numero campioni: 188400  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 58  
Numero finestre incluse nel calcolo: 58  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

### Grafici tracce con finestre selezionate:

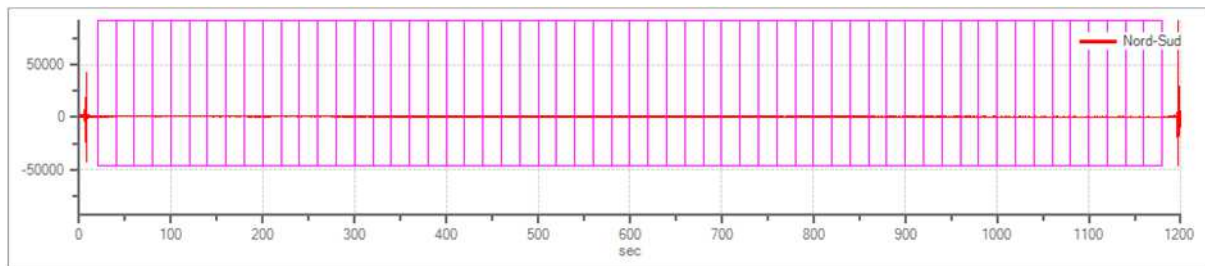


Figura 108 - Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

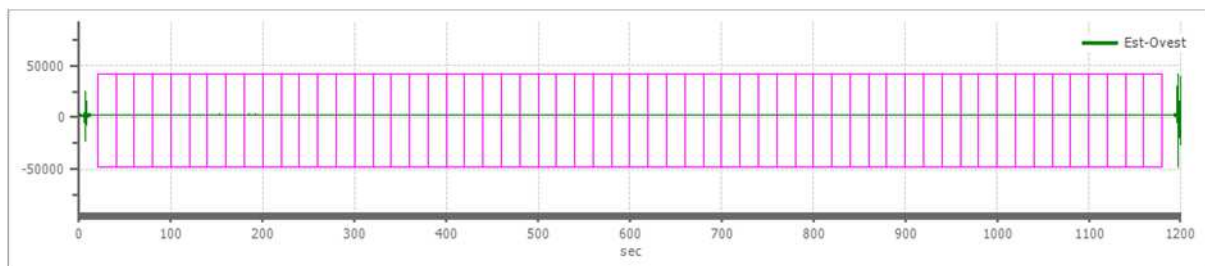


Figura 109 - Traccia e finestre selezionate in direzione Est - Ovest

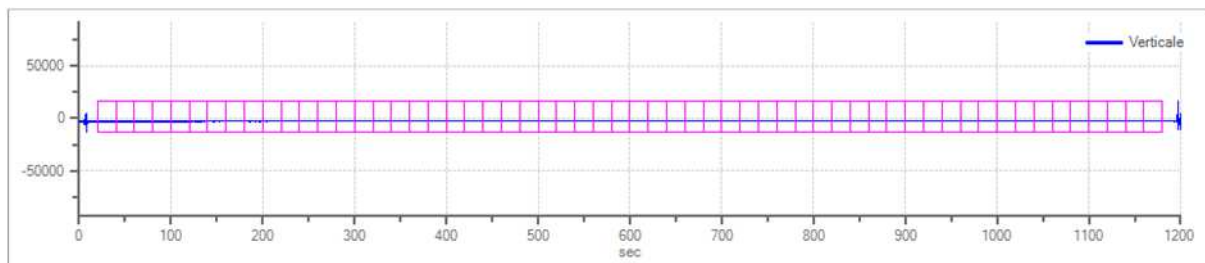


Figura 110 - Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

## Grafici degli spettri

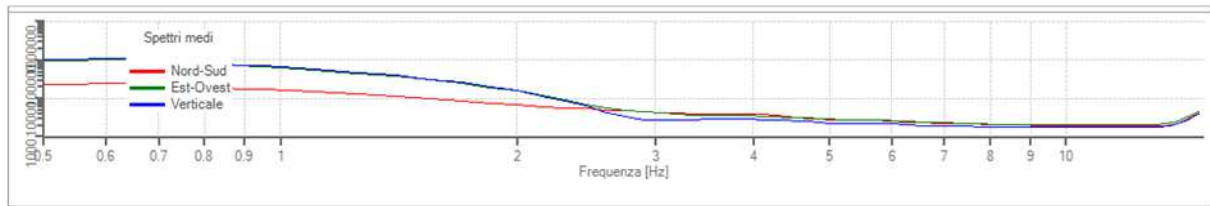


Figura 111 - Spettri medi nelle tre direzioni

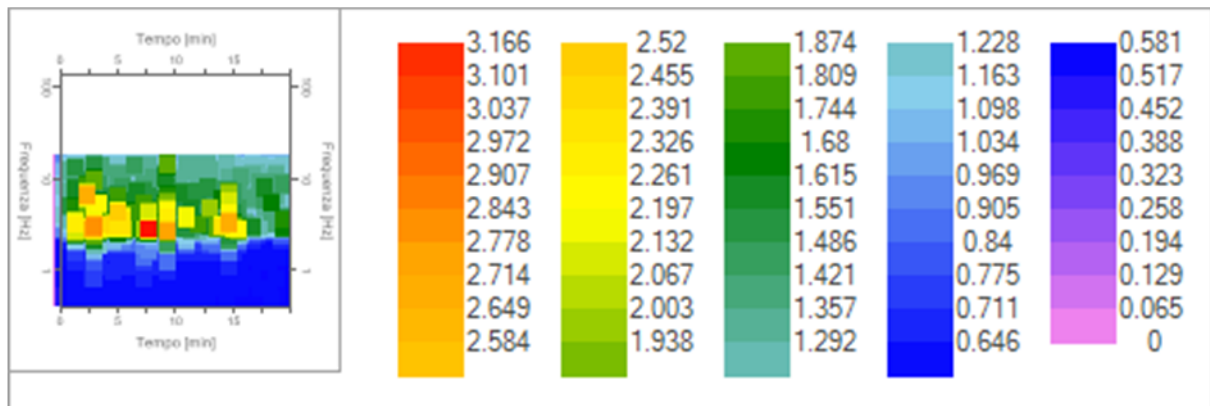


Figura 112 - Mappa della stazionarietà degli spettri

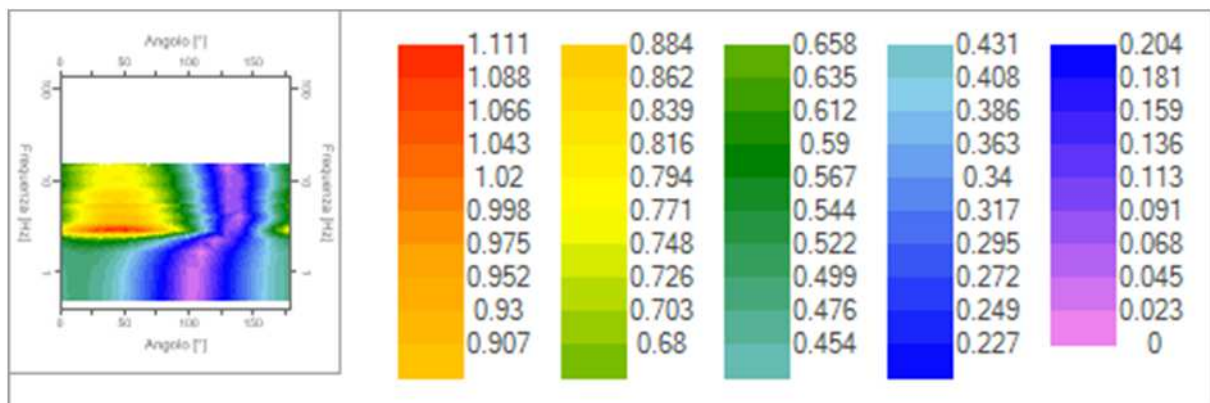


Figura 113 - Mappa della direzionalità degli spettri

## 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 FONDAMENTALE DEL RAPPORTO H/V ( $f_0$ ): 3.05 HZ  $\pm$  0.30 HZ**

### Grafico rapporto spettrale H/V

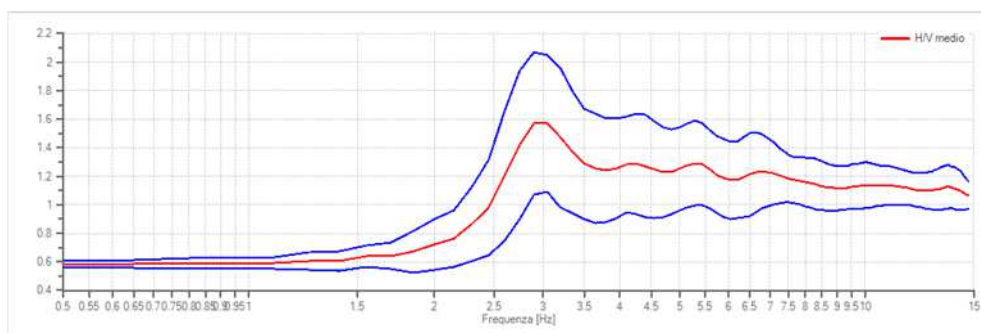


Figura 114 - Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### CRITERI DI AFFIDABILITA' SESAME

- Criteria per una curva H/V affidabile; 3 Criteri verificati su 3
- Criteria per un picco H/V chiaro; 4 Criteri verificati su 6

### 4.3 Valutazione della qualità delle misure HVSR

Per la valutazione della qualità delle misure HVSR eseguite, si utilizza la classificazione proposta da Albarello et alii, 2010: l'obiettivo è quello di fornire una indicazione immediata circa la qualità delle singole misure, con lo scopo di aiutare gli operatori nella fase interpretativa e di elaborazione dei dati. Questa classificazione prevede 3 classi principali: **Classe A**, **Classe B** e **Classe C**.

**Classe A:** curva H/V affidabile e interpretabile: può essere utilizzata anche da sola.

1. la forma della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura (*stazionarietà*).
2. le variazioni azimuthali di ampiezza non superano il 30% del massimo (isotropia)
3. non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse (assenza di disturbi).
4. i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (plausibilità fisica).
5. i criteri di SESAME per una curva H/V attendibile (primi 3 criteri) sono verificati (robustezza statistica).
6. la misura è durata almeno 15/20 minuti (durata).

**ECCEZIONE** per la **Classe A**: misure effettuate su roccia integra affiorante o in zone alluvionali fini con basamento sismico molto profondo (tipicamente > 1 km) possono non mostrare alcun picco statisticamente significativo della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, a causa dell'assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati. In questi casi, in cui la curva H/V apparirà piatta e con ampiezza circa pari a 1, il criterio 5 risulterà non verificato anche se la misura è di fatto attendibile.

**Classe B:** curva H/V sospetta (da "interpretare"): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze.

1. almeno una delle condizioni della classe A non è soddisfatta, a condizione che non si rientri nell'ECCEZIONE per la Classe A.

**Classe C:** curva H/V scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata.

1. misura di tipo B nella quale la curva H/V mostra una ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva), indice di un movimento dello strumento durante la misura.

2. misura di tipo B nella quale si evidenzia la presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di potenziale interesse.

Per le sole **Classi A e B** si possono pertanto definire due sottoclassi, ossia:

**Tipo 1.** Presenta almeno un picco “chiaro” secondo i criteri di SESAME: possibile risonanza.

**Tipo 2.** Non presenta picchi “chiari” nell'intervallo di frequenze di interesse: assenza di risonanza.

La principale informazione fornita dai rapporti spettrali H/V, quindi, è rappresentata dalla frequenza naturale di oscillazione del sottosuolo ( $f_0$ ), data dal picco della curva H/V, la cui variabilità aumenta con la larghezza della sua base.

Non sempre però la curva H/V mostra dei picchi netti, talora sono poco chiari o allargati, e non soddisfano le condizioni SESAME; 2 dei 6 criteri per la verifica di attendibilità del picco di frequenza SESAME, riguardano proprio la deviazione standard massima che possono avere un picco di  $f_0$  e la sua ampiezza  $A_0(f_0)$  e sono i seguenti:

1. la deviazione standard del picco in frequenza  $f_0$ , deve essere inferiore ad una soglia massima  $\varepsilon(f_0)$ ;
2. la deviazione standard del picco in ampiezza  $A_0(f_0)$ , deve essere inferiore ad una soglia massima  $\theta(f_0)$ ;

Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $A_0(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Tabella 2: valori massimi accettabili per la deviazione standard a diversi range di frequenza del picco (“SESAME HVSR User Guidelines”)

I casi in cui lo spettro H/V non mostra un picco netto di frequenza, e quindi con deviazioni standard maggiori, sono imputabili a diversi fattori quali: un contrasto di impedenza moderato, condizioni meteo ventose e/o perturbate, disaccoppiamento suolo-sensore, disturbi a bassa frequenza (camion, macchine a grande distanza), parametri di “lisciamiento” inadeguati.

## 5.0 Sintesi dei risultati

L'indagine geofisica eseguita nel Comune di Massa Marittima (GR), ha permesso di ricostruire l'assetto sismo-stratigrafico delle aree in esame, nonché di ricavarne le frequenze di risonanza fondamentale.

L'analisi della curva di dispersione sintetica descritta al paragrafo 4.1 e del modello di inversione che ne deriva, permette di descrivere la seguente sismo-stratigrafia di sottosuolo, relativa alla variazione unidimensionale del valore di Vs lungo la verticale di indagine.

Stendimento MASW; “MWMa1” (Camilletta - Massa Marittima)

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	1.78	1.78	210.7
2	6.85	5.07	373.4
3	oo	oo	976.2

Percentuale di errore --- --- --- ---	0.007 %	$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=6.85)= <b>310.92</b>  Categoria del suolo; E
Fattore di disadattamento della soluzione	0.010	

Stendimento MASW; “MWGh1” (Ghirlanda - Massa Marittima)

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	9.18	9.18	448.9
2	oo	oo	1044.0

Percentuale di errore -----	0.030 %	$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=9.18)= <b>448.87</b>
Fattore di disadattamento della soluzione	0.020	Categoria del suolo; B

Stendimento MASW; “MWVa2” (Zona Industriale - Valpiana)

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.28	3.28	193.1
2	12.88	9.59	428.8
3	oo	oo	1266.7

Percentuale di errore -----	0.011 %	$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=12.88)= <b>327.04</b>
Fattore di disadattamento della soluzione	0.015	Categoria del suolo; E

Stendimento MASW; “MWVa3” (Via del Minatore - Valpiana)

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	1.03	1.03	392.7
2	14.59	13.57	675.1
3	oo	oo	1249.4

Percentuale di errore -----	0.038 %	$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=14.59)= <b>642.62</b>
Fattore di disadattamento della soluzione	0.020	Categoria del suolo; B

Stendimento MASW; “MWMI” (Miserone - Massa Marittima)

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	1.53	1.53	217.4
2	5.53	4.00	314.6
3	oo	oo	859.4

Percentuale di errore -----	0.103 %	$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=5.53)= <b>279.91</b>
Fattore di disadattamento della soluzione	0.036	Categoria del suolo; E

Stendimento MASW; “MWCI” (Colombaina - Massa Marittima)

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.01	3.01	521.0
2	6.34	3.33	520.4
3	8.14	1.80	628.4
4	oo	oo	653.4

Percentuale di errore --- --- --- ---	0.001 %	<i>V<sub>s,eq</sub> [m/sec] (H=30.00)= 618.59</i>  <i>Categoria del suolo; B</i>
Fattore di disadattamento della soluzione	0.003	

La tabella seguente contiene il sunto dei dati ottenuti nel punto di misurazione con l'indagine passiva a stazione singola HVSR, nonché la classificazione della qualità delle misure secondo *Albarello et alii* (2010).

<i>HVSR ID</i>	<i>Coord. x</i>	<i>Coord. y</i>	<i>f<sub>0</sub> - frequenza caratteristica(Hz)</i>	<i>A<sub>0</sub> - Ampiezza caratteristica</i>	<i>Classe (Albarello et alii. 2010)</i>
“HVMa1” (Massa Ma.ma)	1654754	4767463	11.6 ± 0.26	1.62	<b>B2</b>
“HVGH1” (Ghirlanda)	1654936	4769024	4.7 ± 0.19	1.52	<b>B2</b>
“HVGH2” (Ghirlanda)	1654835	4769167	3.95 ± 0.26	1.5	<b>B2</b>
“HVVa1” (Z.Ind. Valpiana)	1651875	4764616	4.4 ± 0.26	1.37	<b>B2</b>
“HVVa2” (Z.Ind. Valpiana)	1651567	4764252	2.9 ± 0.21	3.65	<b>A1</b>
“HVVa3” (Valpiana)	1650709	4763001	3.95 ± 0.31	2.09	<b>A1</b>
“HVPr1” (Prata)	1661651	4771818	13.7 ± 0.22	1.71	<b>B2</b>
“HVPr2” (Prata)	1661609	4771783	18.95 ± 0.18	1.47	<b>B2</b>
“HVMI” (Miserone)	1652708	4768126	5.0 ± 0.18	1.49	<b>B2</b>
“HVCI” (Colombaina)	1652785	4768474	3.05 ± 0.3	1.57	<b>A2</b>

Tabella 3: indagini HVSR con relativa *f* caratteristica di risonanza dei siti (*f*<sub>0</sub>), l'Ampiezza caratteristica e la “Classificazione delle misure HVSR secondo *Albarello et alii.2010*”. *X* e *Y* in coordinate metriche Gauss-Boaga Roma40 (EPSG 3003).

Follonica, Aprile 2023

Dr. Geol. Fabrizio Fanciulletti  
Dr. Geol. Claudio Petroni

## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Albarello D., Cesi C., Eulilli V. et alii (2010) - *The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzonning: an example from the area damaged by the 26th April, 2009 L'Aquila (Italy) earthquake*. Boll. Geofis.Teor. Appl., 52 (3).
- Albarello D. & Castellaro S. (2011) - *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*. INGEGNERIA SISMICA; vol. 28, 2; pp. 32-62.

- Nakamura Y., (1989) - *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst., vol. 30.1, pp. 25-30.
- Nogoshi M. & Igarashi T., (1970) - *On the propagation characteristics of microtremors*. J. Seism. Soc. Japan vol. 23, pp. 264-280.
- SESAME Working Group (2004) - *Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation*. <ftp://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/SOFTWARE/SESAME/USER-GUIDELINES/SESAME-HV-User-Guidelines.pdf>
- Strobbia C. (2001) – *Surface Waves Methods, acquisition, processing and inversion*. Tesi di dottorato di ricerca in Geingegneria Ambientale. Politecnico di Torino.