

COMUNE DI MONNO

PROVINCIA DI BRESCIA

REGIONE LOMBARDIA



**PIANO DI GOVERNO DEL
TERRITORIO**

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

| OGGETTO | | TAVOLA | |
|---|----------------|--|------------------------------------|
| RELAZIONE DI AGGIORNAMENTO DELLO STUDIO GEOLOGICO | | 1.2 | |
| DATA | | | |
| SETTEMBRE 2018 | | | |
| MODIFICHE | | | |
| N° | DATA | DESCRIZIONE | REDATTO |
| 1 | MAGGIO 2007 | STUDIO GEOLOGICO DI SUPPORTO AL P.R.G. | DOTT. GEOL. GILBERTO ZAINA |
| 2 | GENNAIO 2009 | STUDIO GEOLOGICO DI SUPPORTO AL P.G.T. | DOTT. GEOL. LUCA MAFFEO ALBERTELLI |
| 3 | SETTEMBRE 2018 | AGGIORNAMENTO COMPONENTE SISMICA | DOTT. GEOL. DEVID STAIN |

IL SINDACO:

IL SEGRETARIO:

ADOZIONE:

APPROVAZIONE:

SOMMARIO

| | |
|--|----|
| <i>1.0 PREMESSA</i> | 3 |
| <i>2.0 SISMICITÀ COMUNALE</i> | 4 |
| <i>3.0 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE</i> | 9 |
| <i>4.0 ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA 2 LIVELLO</i> | 11 |
| <i>4.1 EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA</i> | 11 |
| <i>4.1.1 Z3A: ZONA DI SCARPATA</i> | 11 |
| <i>4.1.2 ZONA DI CRESTRA ROCCIOSA E/O COCUZZOLO</i> | 19 |
| <i>4.2 EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA</i> | 22 |
| <i>4.2.1 METODO “MASW”</i> | 23 |
| <i>4.2.2 METODO “HVSr”</i> | 25 |
| <i>4.2.3 STENDIMENTO MASW E HVSr1</i> | 27 |
| <i>4.2.4 STENDIMENTO MASW E HVSr2</i> | 37 |
| <i>4.2.5 STENDIMENTO MASW E HVSr3</i> | 47 |
| <i>4.2.6 STENDIMENTO MASW E HVSr4</i> | 58 |
| <i>4.3 SINTESI ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA DI 2 LIVELLO</i> | 68 |

1.0 PREMESSA

Il Comune di Monno, nel percorso di gestione del PGT, intende proporre una variante al proprio strumento urbanistico comunale. In occasione di questo importante momento di revisione della pianificazione, si è colta l'occasione per adeguare anche la componente geologica, al fine di ottemperare agli obblighi normativi di settore e alle norme che nel frattempo, dall'ultima versione dello studio geologico comunale, sono sopraggiunte e ora vigenti, in materia di difesa del suolo e pianificazione.

L'aggiornamento ha pertanto riguardato:

- Adeguamento dello studio geologico comunale alle recenti modifiche degli aspetti sismici di cui alla revisione delle zone sismiche di Regione Lombardia (D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129 con differimento del termine al 10 aprile 2016 - D.G.R. 8 ottobre 2015 - n. X/4144).
- Recepimento delle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC) del DM 17 gennaio 2018, che aggiungono il concetto di Velocità delle onde S equivalente (VsE).
- Recepimento della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE - revisione 2015. Si sono riviste le problematiche idrauliche riferite al Fiume Oglio e alle aste minori a seguito della Direttiva Alluvioni, che impone una revisione critica delle zone potenzialmente esondabili.
- Adeguamento cartografico, con l'utilizzo dell'aerofotogrammetrico del database topografico aggiornato (DBT).

Di seguito lo schema dei contenuti e delle parti integrate o sostituite che hanno contraddistinto questo aggiornamento dello studio geologico comunale. Per comodità è stata mantenuta la stessa nomenclatura dello studio geologico comunale precedente.

| | | | | |
|---|---------------------------------------|----------|---|---|
| 1 | RELAZIONE | TAV 1.2 | Relazione aggiornamento PGT | Integrazione |
| 2 | COMPONENTE SISMICA | TAV 3.1 | Carta Pericolosità sismica Nord | Modifica base cartografica |
| | | TAV 3.2 | Carta Pericolosità sismica Sud | Modifica base cartografica |
| 3 | TAVOLE FATTIBILITÀ | TAV 5.1 | Carta Fattibilità sismica Nord | Modifica base cartografica |
| | | TAV 5.2 | Carta Fattibilità sismica Sud | Modifica base cartografica |
| | | TAV 5_a | Carta Fattibilità sismica Comunale | Modifica base cartografica |
| | | TAV 5_b1 | Carta Fattibilità sismica Mortirolo Sud | Modifica base cartografica |
| | | TAV 5_b2 | Carta Fattibilità sismica Mortirolo Nord | Modifica base cartografica |
| 4 | PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO | TAV 6.1 | Carta PAI Nord | Modifica base cartografica, recepimento direttiva alluvioni |
| | | TAV 6.2 | Carta PAI Sud | Modifica base cartografica, recepimento direttiva alluvioni |
| 5 | NORME | TAV 7 | Norme geologiche di Piano | Sostituzione |

Non sono state apportate modifiche alle altre cartografie dello studio geologico adottato e oggi vigente, fatto salvo quelle sopra elencate, in quanto non si è reso necessario integrare gli elaborati. Le nuove tavole oggetto del presente aggiornamento, sostituiscono pertanto integralmente i precedenti documenti. Nella fase temporanea di approvazione dello studio geologico, si farà riferimento alle presenti previsioni poiché più cautelative e a favore di sicurezza, rispetto alle precedenti.

2.0 SISMICITÀ COMUNALE

Il Comune di Monno prima del 2003 non era considerato comune sismico e non rientrava in alcuna classificazione. L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 introdusse le nuove classificazioni sismiche per tutto il territorio nazionale lasciando alle Regioni la facoltà di poter modificare i parametri del proprio territorio.

Tutto il territorio Nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche, con grado di rischio decrescente dalla zona 1 alla zona 4, secondo il seguente schema:

- Zona 1 (rischio alto), è la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.
- Zona 2 (rischio medio), in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- Zona 3 (rischio basso), in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- Zona 4 (rischio molto basso), è la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

La suddivisione in classi deriva dalla valutazione della pericolosità sismica su tutto il territorio nazionale, valutata come accelerazione orizzontale massima al suolo, dovuta al sisma, con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno del sisma di 475 anni), in base alla seguente distinzione:

| Zona Sismica | Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g) | Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag/g) |
|---------------------|---|--|
| 1 | > 0.25 | 0.35 |
| 2 | 0.15 – 0.25 | 0.25 |
| 3 | 0.05 – 0.15 | 0.15 |
| 4 | < 0.05 | 0.05 |

Con l'entrata in vigore dell'OPCM sopra riportata, tutto il territorio nazionale venne classificato sismico, con differenti livelli, ed anche il territorio di Monno entrò in questa classificazione in zona sismica 4, quella con il grado minore.

La Regione Lombardia con la D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129 ha approvato una nuova classificazione sismica del proprio territorio Regionale, entrata in vigore nel 10 aprile 2016. Dopo questo decreto regionale, il Comune di Monno passa da zona sismica 4 a zona sismica 3.

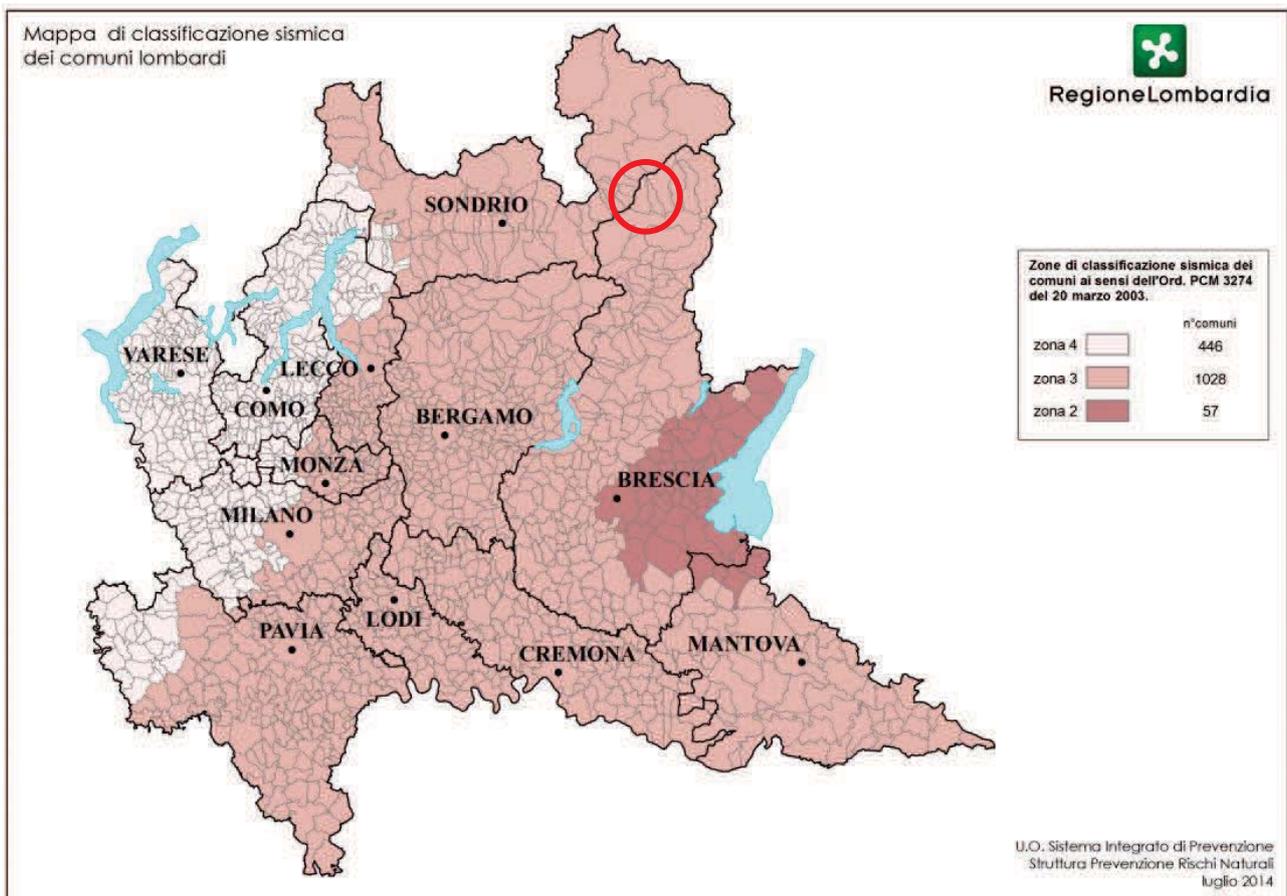


Figura 1: Mappa classificazione sismica in vigore dal 10 aprile 2016 (D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129)

La sismicità del nord Italia e della Lombardia in particolare è connessa, a grande scala, ai fenomeni attivi di convergenza tra la placca Adria e l'Europa (gli stessi che hanno generato la catena alpina), con fenomeni prevalentemente compressivi.

In questo contesto i terremoti avvengono tutti nella crosta superiore, con ipocentri a profondità variabili tra 5 e 15 km. In generale non si riscontra alcuna attività sismica nel mantello o nella crosta superiore.

In Lombardia la zona maggiormente sismica è al margine della Pianura Bresciana e nella zona del Lago di Garda, estremità sud del sistema di faglie delle Giudicarie.

La motivazione di tale sismicità è connessa alla struttura geologica: nella zona della pianura bresciana sono presenti nel sottosuolo numerose superfici di scorrimento delle falde, superfici connesse alla strutturazione delle Alpi Meridionali ed alla migrazione verso sud delle falde. Nella zona del Garda i terremoti sono connessi ai movimenti ed ai rilasci energetici lungo la linea delle Giudicarie.

Vediamo ora uno stralcio della zonazione sismogenetica ZS9, utilizzata per la valutazione della pericolosità sismica, come si vede l'attività sismica nella zona Lombarda si concentra nelle Alpi Occidentali (zona 903) e nel Subalpino Meridionale (zona 907).

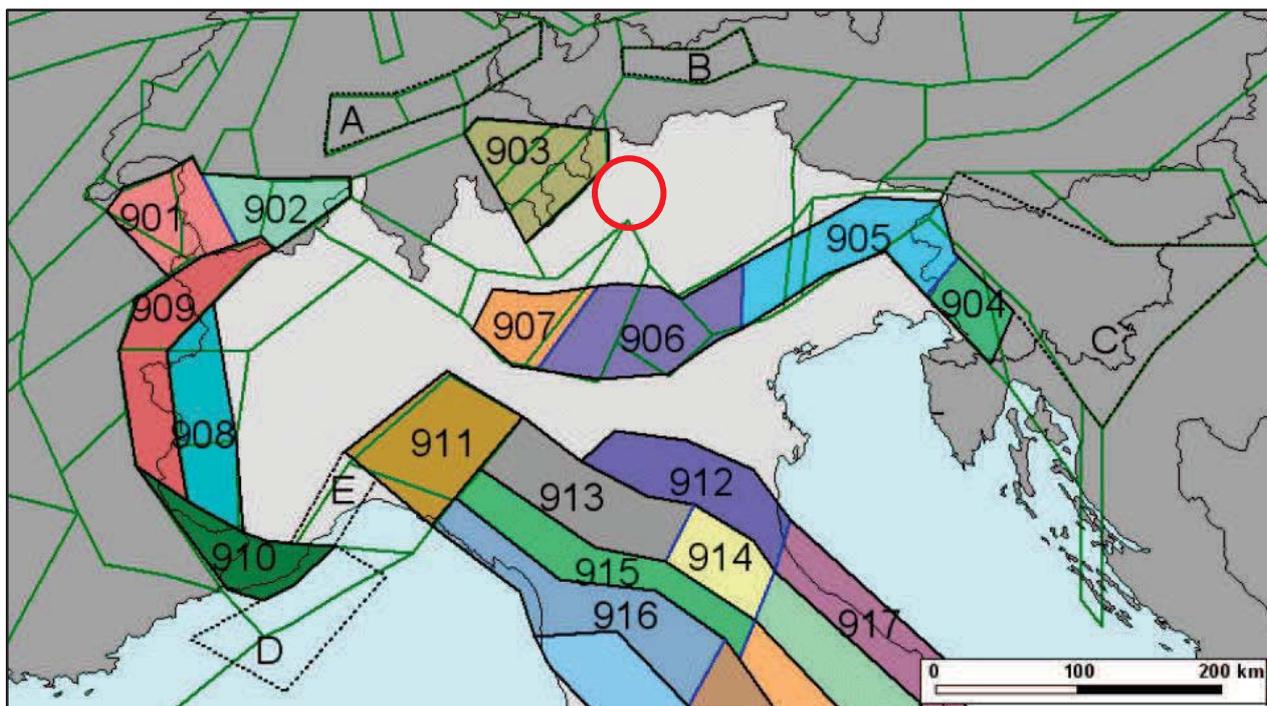


Figura 2: Stralcio della zonazione sismogenetica ZS9

Il Comune di Monno non è all'interno di nessuna zona sismogenetica, però come tutta l'Alta Valle Camonica è vicino alla zona 903 Grigioni-Valtellina. Le strutture sismogenetiche sono strutture in grado di produrre e generare terremoti. Dal "The European Database of Seismogenic Faults" (SHARE task 3.2) notiamo che la struttura sismogenetica più vicina al comune di Monno, è la ITCS010 "WesternS-Alps internal thrust".

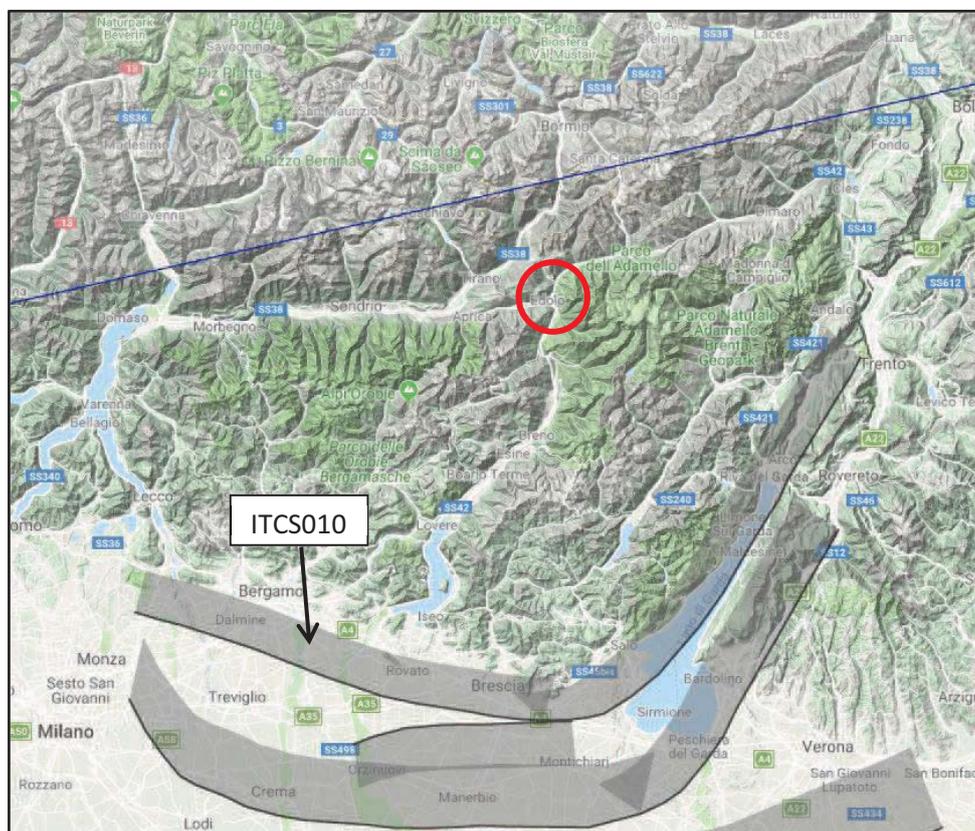


Figura 3: Stralcio The European Database of Seismogenic Faults" (SHARE task 3.2)

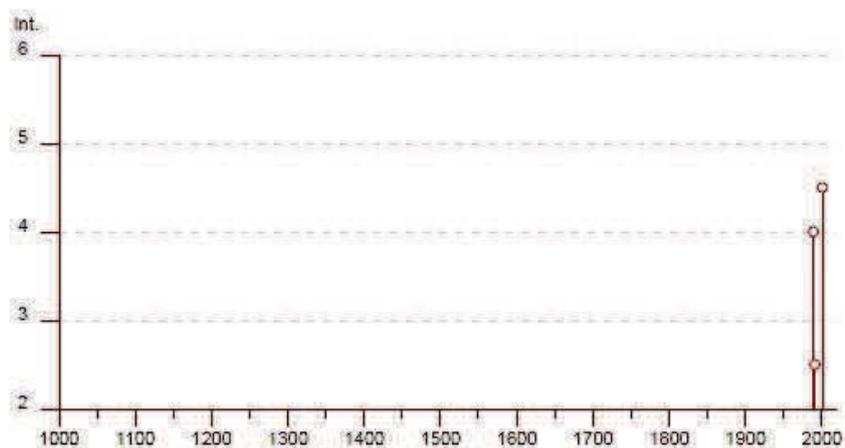
La struttura ITCS010, è una struttura geologica complessa, che si sviluppa da sopra Trento fino a dopo Bergamo. Questa struttura appartiene ad un fronte di accavallamento interno, in connessione con il fronte di accavallamento tettonico del Sud Alpino (Giudicarie thrust system), con una direzione di vergenza delle falde verso sud ed una tettonica prevalentemente compressiva.

Dal database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 (Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. 2016), individuiamo i terremoti con intensità massima ≥ 5 dal anno 1000 al 2014.

Monno

PlaceID IT_16430
 Coordinate (lat, lon) 46.211, 10.340
 Comune (ISTAT 2015) Monno
 Provincia Brescia
 Regione Lombardia
 Numero di eventi riportati 4

| Effetti | In occasione del terremoto del | | | | | | | | | |
|---------|--------------------------------|----|----|----|----|----|--------------------------------|------|-----|------|
| Int. | Anno | Me | Gi | Ho | Mi | Se | Area epicentrale | NMDP | Io | Mw |
| NF | 1908 | 05 | 24 | 03 | 37 | | Piemonte centro-settentrionale | 36 | 4 | 4.10 |
| 4 | 1989 | 09 | 13 | 21 | 54 | 0 | Prealpi Vicentine | 779 | 6-7 | 4.85 |
| 2-3 | 1991 | 11 | 20 | 01 | 54 | 1 | Grigion, Vaz | 463 | 6 | 4.70 |
| 4-5 | 2001 | 07 | 17 | 15 | 06 | 1 | Val Venosta | 637 | 5-6 | 4.78 |



▼ Personalizza il diagramma

Intensità minima 2 ▼
 Intensità massima 6 ▼
 Anno minimo 1000 ▼
 Anno massimo 2020 ▼
 Distanza tra le tacche degli anni 100 ▼

Figura 4: Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15

La ricerca effettuata per il Comune di Monno evidenzia la presenza di possibili effetti solo in 4 terremoti (Piemonte centro-settentrionale, Prealpi vicentine, Grigioni Vaz, Val Venosta), con un'intensità epicentrale $I_0 = 4-7$ ed una magnitudo momento $M_w = 4,10 - 4,85$.

La disaggregazione della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. Per ottenere ulteriori elementi di riferimento in merito al possibile sisma atteso di riferimento ed alle relative accelerazioni al suolo per il Comune di Monno, si è fatto riferimento agli studi di "Disaggregazione della pericolosità sismica intermini di M-R- ϵ " a cura di Spallarossa e Barani del 2007.

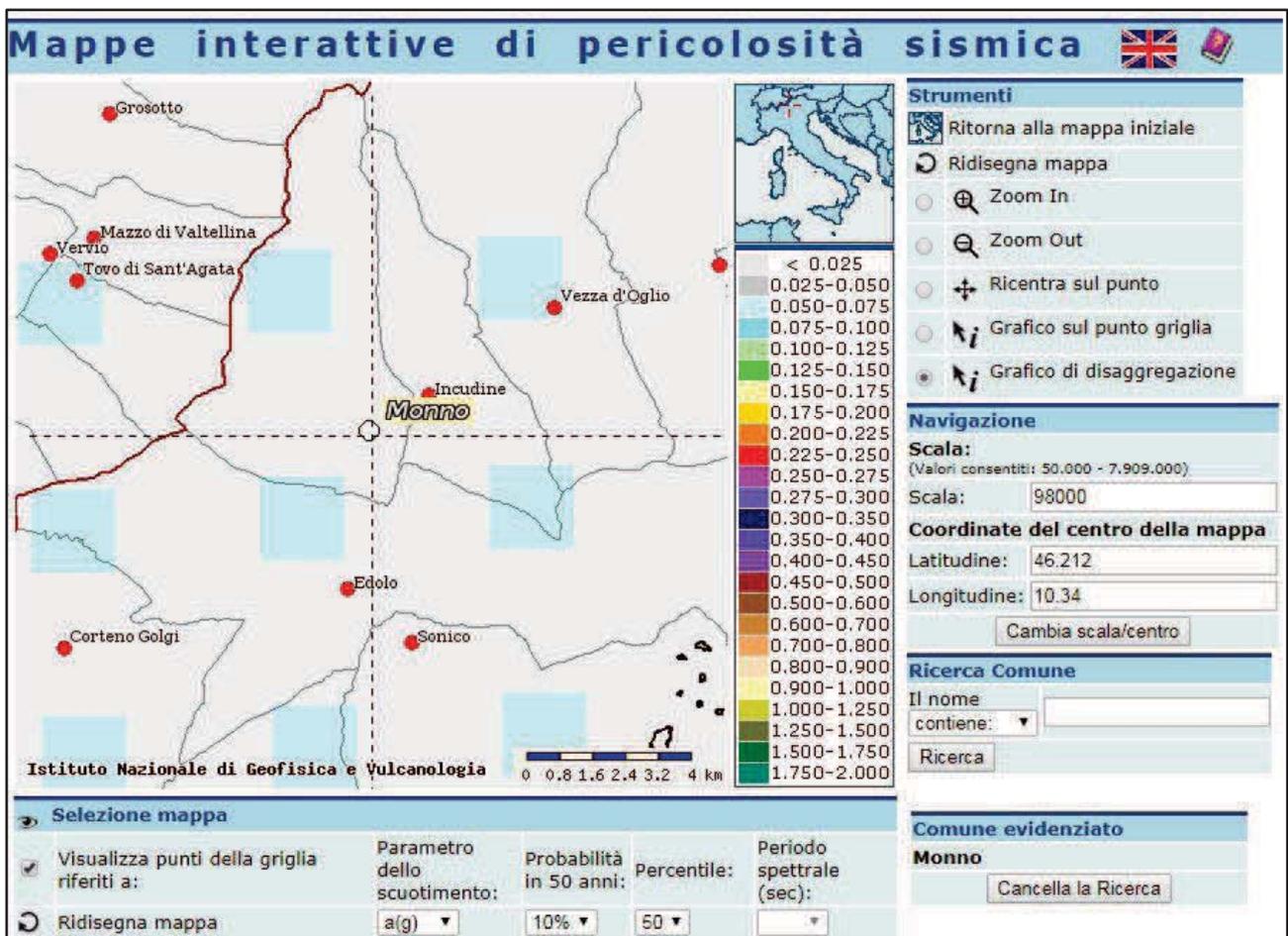


Figura 5: Mappa di pericolosità sismica

Per il territorio di Monno è possibile ricavare i seguenti valori statistici per un eventuale terremoto:

- il parametro dello scuotimento con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni è variabile tra 0,075 e 0,050.
- sisma: magnitudo = 5,10 – distanza = 41,00 Km.

3.0 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

La metodologia regionale per la valutazione della pericolosità sismica locale, prevede tre livelli di approfondimento.

I primi 2 livelli di approfondimento, per le zone sismiche 3 come il Comune di Monno, sono obbligatori in fase di pianificazione dopo avere recepito la D.g.r. 11 luglio 2014, mentre il 3° livello è richiesto in particolari casistiche.

I livelli previsti sono i seguenti:

- 1° livello: è una fase prettamente qualitativa che si basa sulle considerazioni dirette degli effetti dei terremoti e prevede l'individuazione partendo dalla carta geologica di una serie di zone possibilmente soggette di amplificazione sismica o in cui possono verificarsi particolari fenomeni in caso di sisma.
- 2° livello: si applica in base alle risultanze del livello 1° ed in relazione alla classificazione sismica del Comune e prevede un approccio semiquantitativo per valutare quali sono gli effetti di amplificazione attesi.
- 3° livello: è un approccio quantitativo e corrisponde ad un'analisi di risposta sismica locale, si effettua nelle seguenti situazioni:
 - per le aree suscettibili di amplificazioni sismiche (Z3 e Z4) che sono caratterizzate da un valore F_a (fattore di amplificazione) superiore al valore soglia corrispondente così come ricavato dall'applicazione del 2° livello.
 - per aree caratterizzate da effetti di instabilità (Z1b e Z1c)
 - per aree caratterizzate da cedimenti e/o liquefazione (Z2)
 - per aree caratterizzate da contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (Z5)
 - per la progettazione di edifici strategici-rilevanti

La norma prevede visto che il Comune di Monno è in classe sismica 3, in fase di pianificazione, l'obbligo del 1° livello con la redazione della carta della pericolosità sismica locale (effettuata già nel precedente aggiornamento del PGT), nonché il compito di questo aggiornamento assolvere l'obbligo delle analisi del 2° livello per gli scenari Z3 e Z4 per le aree edificate ed edificabili, con la sola esclusione delle aree già inedificabili per altri motivi.

Nel territorio del Comune di Monno sono stati individuati, con lo studio di 1° livello, alcuni scenari di possibile amplificazione sismica: è quindi necessario procedere agli approfondimenti di 2° livello, sulla base di quanto emerso. Si ricorda infatti che la carta della pericolosità sismica locale rappresenta, secondo le procedure da adottare, il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento che dovranno essere applicati in relazione all'utilizzo delle aree.

La carta della pericolosità sismica locale permette anche l'assegnazione diretta della classe di pericolosità e dei successivi livelli di approfondimento necessari:

| SIGLA | SCENARIO PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE | CLASSE DI PERICOLOSITÀ SISMICA |
|--------------|---|---------------------------------------|
| Z1a | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi | H3 |
| Z1b | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti | H2 – livello di approfondimento 3° |
| Z1c | Zona potenzialmente franosa esposta a rischio di frana | |
| Z2 | Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale) | H2 – livello di approfondimento 3° |
| Z3a | Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica) | H2 – livello di approfondimento 2° |
| Z3b | Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate | |
| Z4a | Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi | H2 – livello di approfondimento 2° |
| Z4b | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre | |
| Z4c | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche) | |
| Z4d | Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale | |
| Z5 | Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse | H2 – livello di approfondimento 3° |

Il 2° livello prevede la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3 e Z4), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici.

Per il Comune di Monno, che ricade in zona sismica 3, l'analisi di secondo livello è obbligatoria per gli scenari Z3 e Z4 per le aree edificate ed edificabili, con l'esclusione di quelle già inedificabili (classe di fattibilità geologica 4).

Gli approfondimenti da eseguire sono quindi di due differenti tipi: morfologici e litologici.

Per quanto riguarda le verifiche morfologiche (Z3a e Z3b) si valuteranno tramite il modello digitale del terreno a 5 metri di passo fornito da Regione Lombardia, riportando le sezioni ottenute alle tabelle ed ai grafici dalla procedura per verificare l'effetto di amplificazione atteso.

Per quanto riguarda gli aspetti litologici (Z4a), per poter effettuare le verifiche con le schede predisposte dalla Regione Lombardia è necessaria una conoscenza corretta del sottosuolo oltre che in termini litologici, anche in termini di Velocità delle onde di superficie (Vs) e di struttura geologica. Per

l'adeguamento alle norme, a supporto dell'analisi di 2° livello, sono state eseguite 4 indagini geofisiche specifiche, per ogni contesto geologico individuato, al fine di acquisire i dati ed i parametri necessari.

4.0 ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA DI 2° LIVELLO

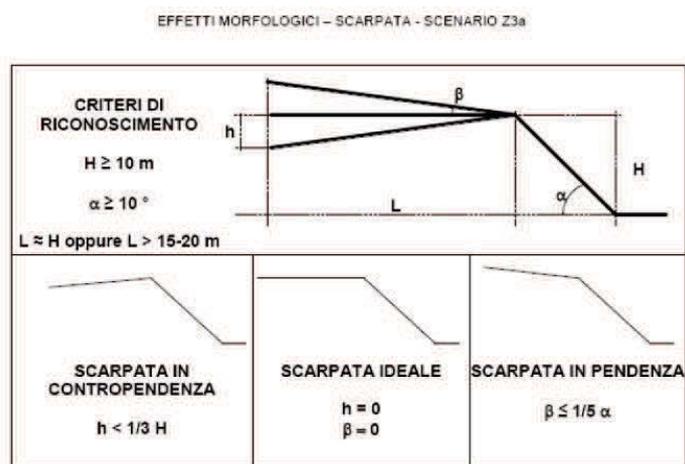
Per gli scenari Z3a, Z3b e Z4a, Z4b, Z4c evidenziati nel territorio di Monno, interferenti con l'edificato, la normativa prevede l'applicazione del 2° livello di approfondimento per le aree urbanizzate e di possibile espansione, con l'esclusione delle aree già inedificabili per altri motivi.

Di seguito si illustrano, in dettaglio, le analisi eseguite, le procedure adottate, le scelte effettuate ed i risultati delle stesse.

4.1 EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Gli approfondimenti di 2° livello sono stati effettuati solo nei siti caratterizzati da aree edificate. Rimangono nel territorio comunale, ampie aree potenzialmente soggette a questo tipo di amplificazione per la particolare conformazione morfologica del territorio comunale, che vede la presenza di ampie creste e scarpate soprattutto nelle zone montuose in quota. Di seguito si riportano i risultati ottenuti su 6 sezioni topografiche, attraverso le zone di scarpata e di cresta. I parametri di riferimento sono definiti dalle figure allegate in seguito, tratte dalla normativa regionale.

4.1.1 Z3A: ZONA DI SCARPATA



| Classe altimetrica | Classe di inclinazione | Valore di $F_{a,1.0s}$ | Area di influenza |
|---|--------------------------------------|------------------------|---------------------|
| $10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$ | $10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ | 1.1 | $A = H$ |
| $20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$ | $10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ | 1.2 | $A = \frac{3}{4} H$ |
| $H > 40 \text{ m}$ | $10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$ | 1.1 | $A = \frac{2}{3} H$ |
| | $20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$ | 1.2 | |
| | $40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$ | 1.3 | |
| | $60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$ | 1.2 | |
| | $\alpha > 70^\circ$ | 1.1 | |

Figura 6: Schema regionale per gli effetti morfologici dello scenario Z3a

Le aree individuate sono 5, di cui di seguito viene riportata la localizzazione. Si riportano i risultati ottenuti sulle sezioni topografiche attraverso le zone di scarpata.

I parametri di riferimento sono definiti dalla figura precedente n° 6, tratta dalla normativa regionale.

1) Sezione AA: Scarpata soprastante Albergo Iscla

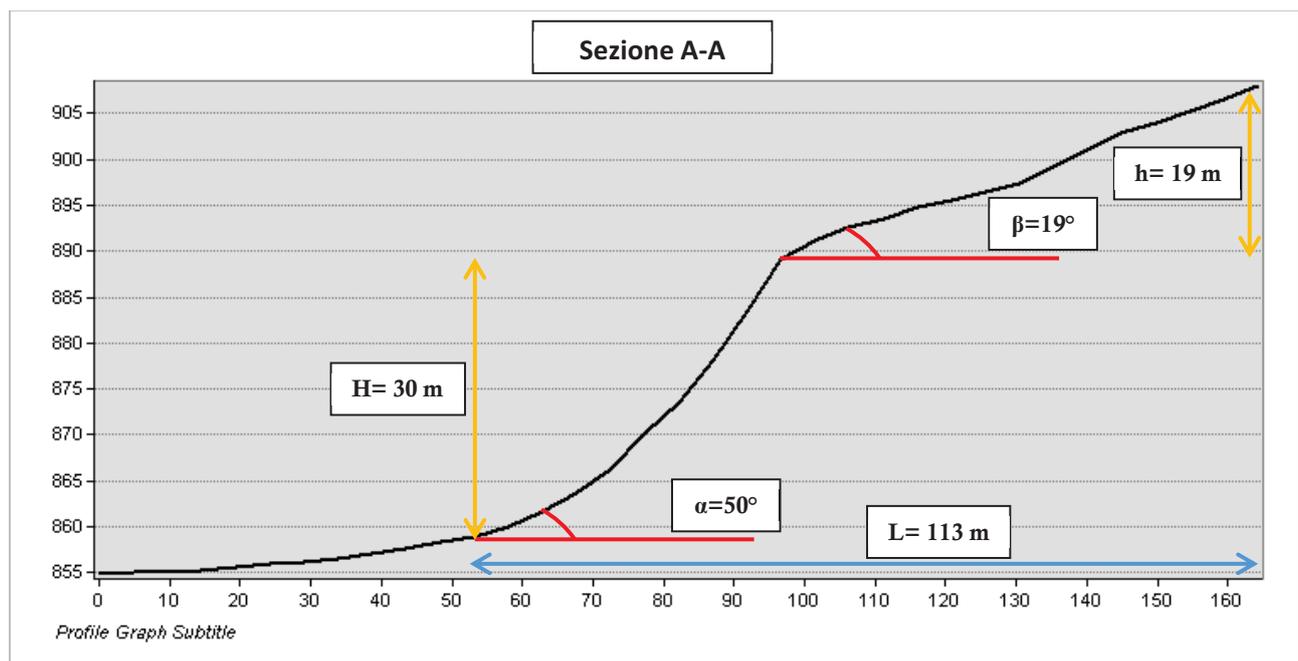
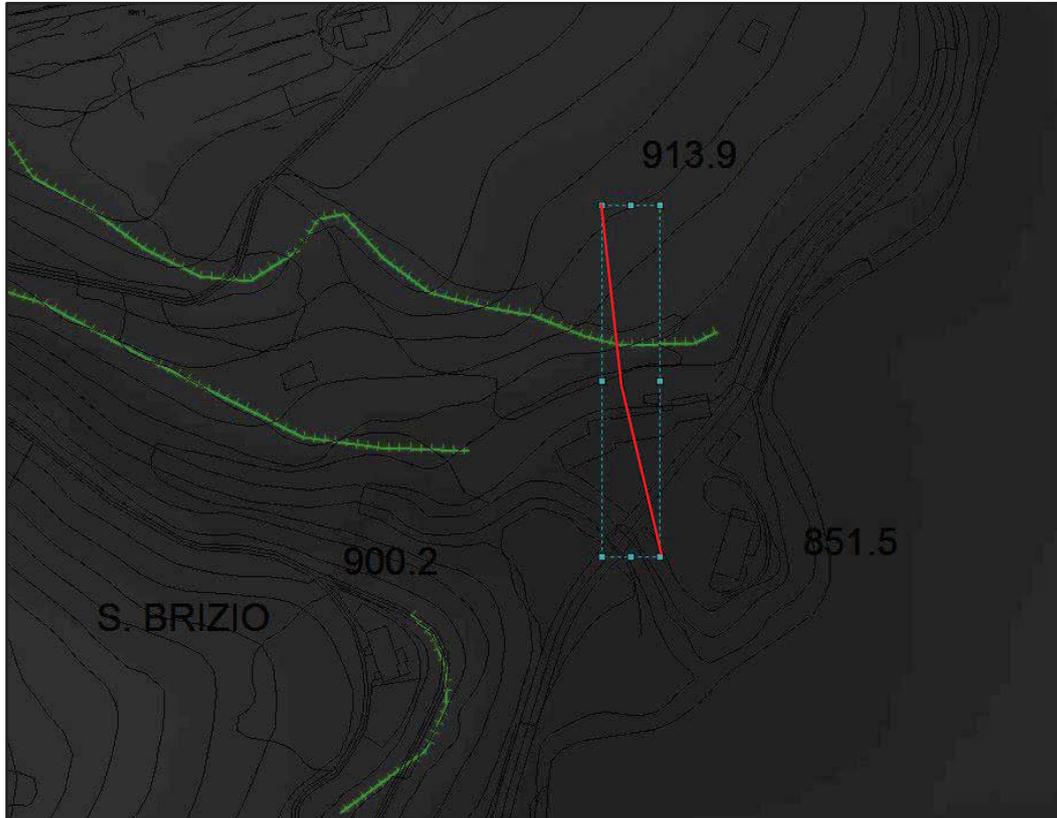


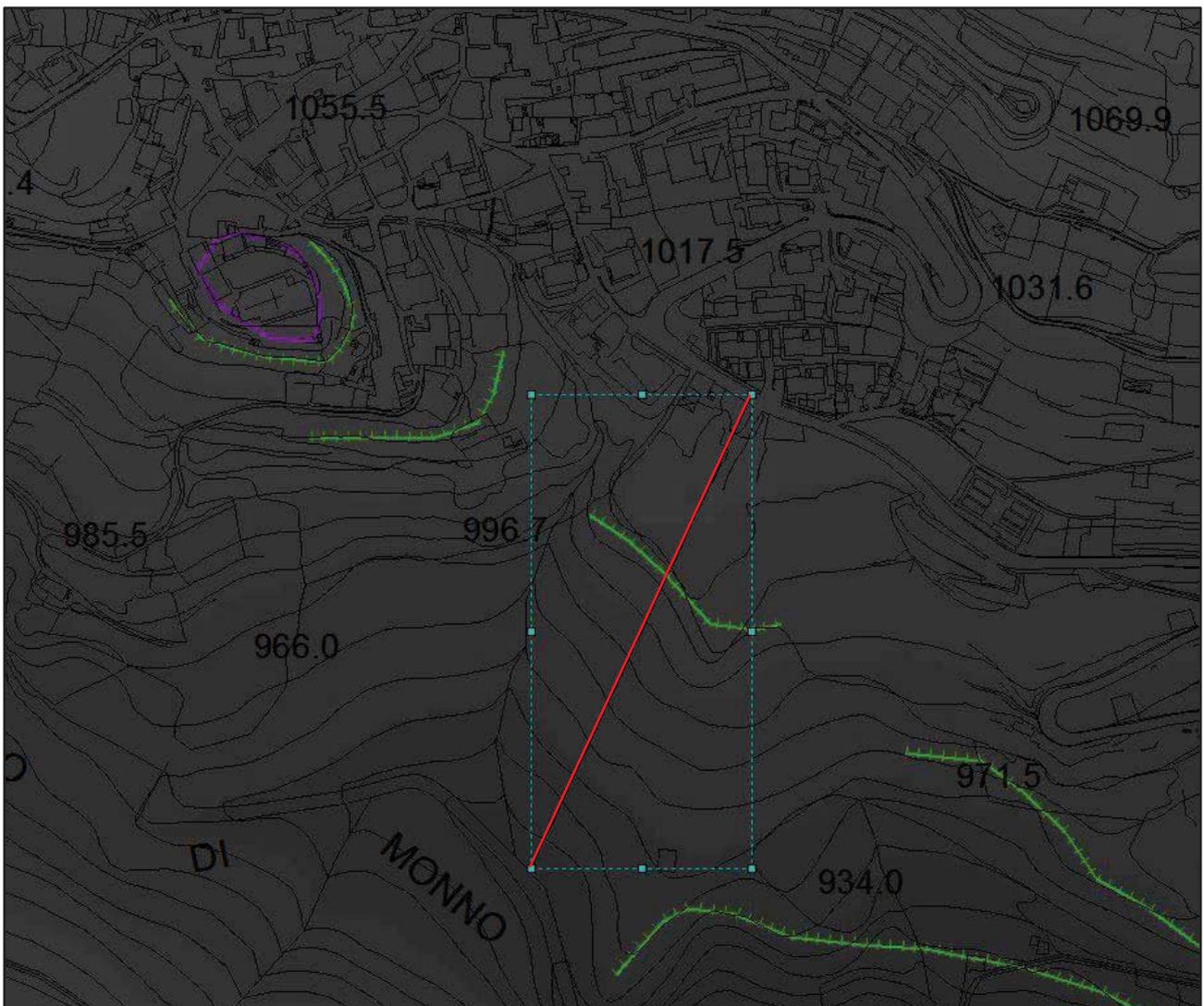
Figura 7: Ubicazione e sezione AA per scenario Z3a

| CRITERI DI RICONOSCIMENTO | | |
|---------------------------|------------------------|--|
| $H \geq 10 \text{ m}$ | $\alpha \geq 10^\circ$ | $L \approx H$ oppure $L > 15-20 \text{ m}$ |

| TIPOLOGIA DI SCARPATA | | |
|----------------------------|-----------------|----------------------|
| SCARPATA IN CONTROPENDENZA | SCARPATA IDEALE | SCARPATA IN PENDENZA |
| $h < 1/3 H$ | $h=0$ $\beta=0$ | $B \leq 1/5 \alpha$ |

La condizione $\beta \leq 1/5 \alpha$, necessaria per identificare una scarpata in pendenza soggetta ad amplificazione, non è verificata. Questo significa che la pendenza della scarpata è tale per cui non si crei il fenomeno di amplificazione sismica.

2) Sezione BB: Da Torrente Ogliolo a via Roma



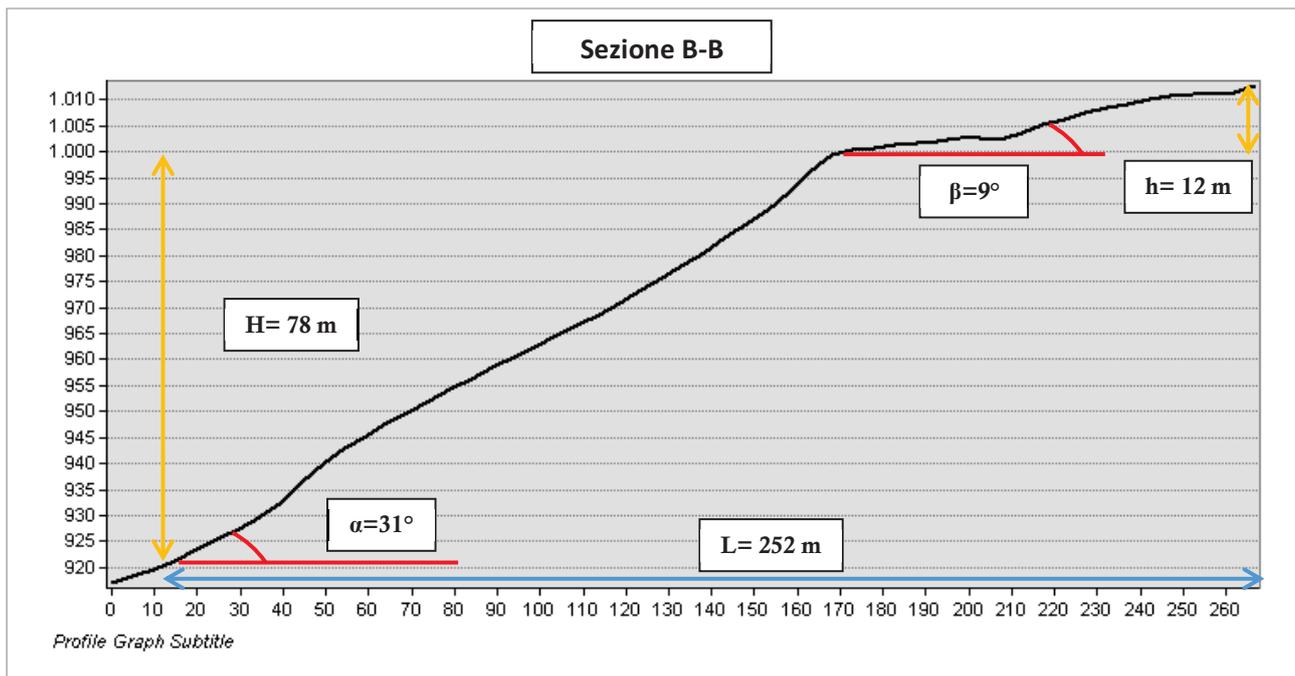


Figura 8: Ubicazione e sezione BB per scenario Z3a

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

| | | |
|-----------------------|------------------------|--|
| $H \geq 10 \text{ m}$ | $\alpha \geq 10^\circ$ | $L \approx H$ oppure $L > 15-20 \text{ m}$ |
|-----------------------|------------------------|--|

TIPOLOGIA DI SCARPATA

| SCARPATA IN CONTROPENDENZA | SCARPATA IDEALE | SCARPATA IN PENDENZA |
|----------------------------|-----------------|----------------------|
| $h < 1/3 H$ | $h=0$ $\beta=0$ | $B \leq 1/5 \alpha$ |

La condizione $\beta \leq 1/5 \alpha$, necessaria per identificare una scarpata in pendenza soggetta ad amplificazione, non è verificata. Questo significa che la pendenza della scarpata è tale per cui non si crei il fenomeno di amplificazione sismica.

3) Sezione CC: Dalla Chiesa dei Santi Pietro e Paolo alla Valle

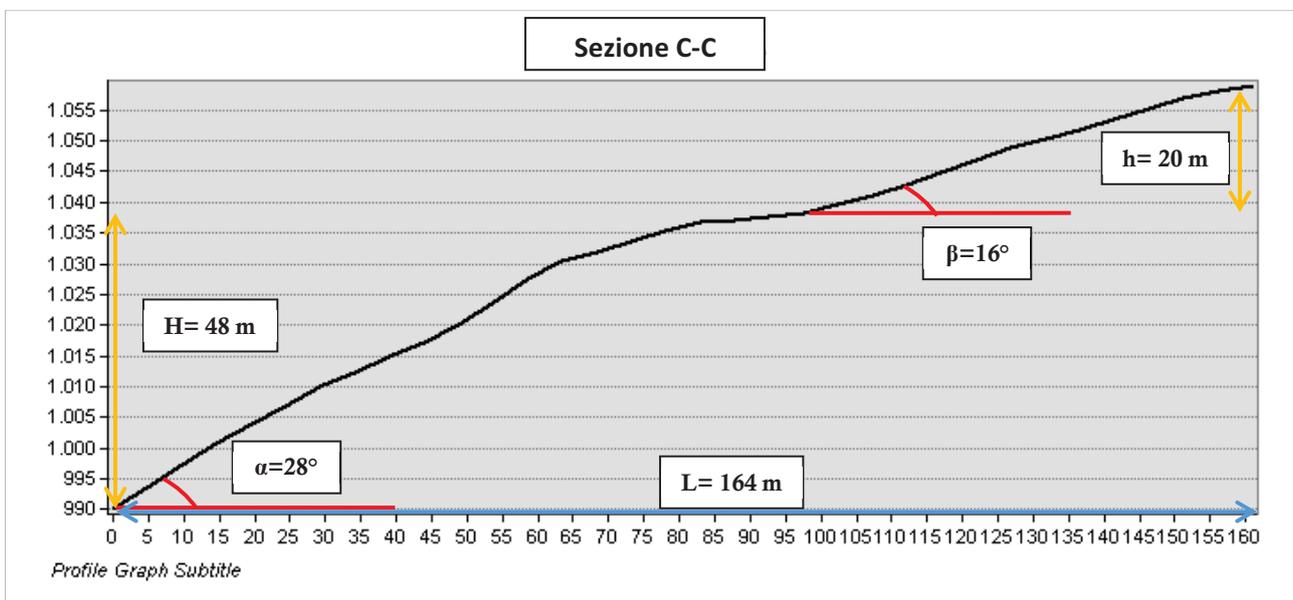
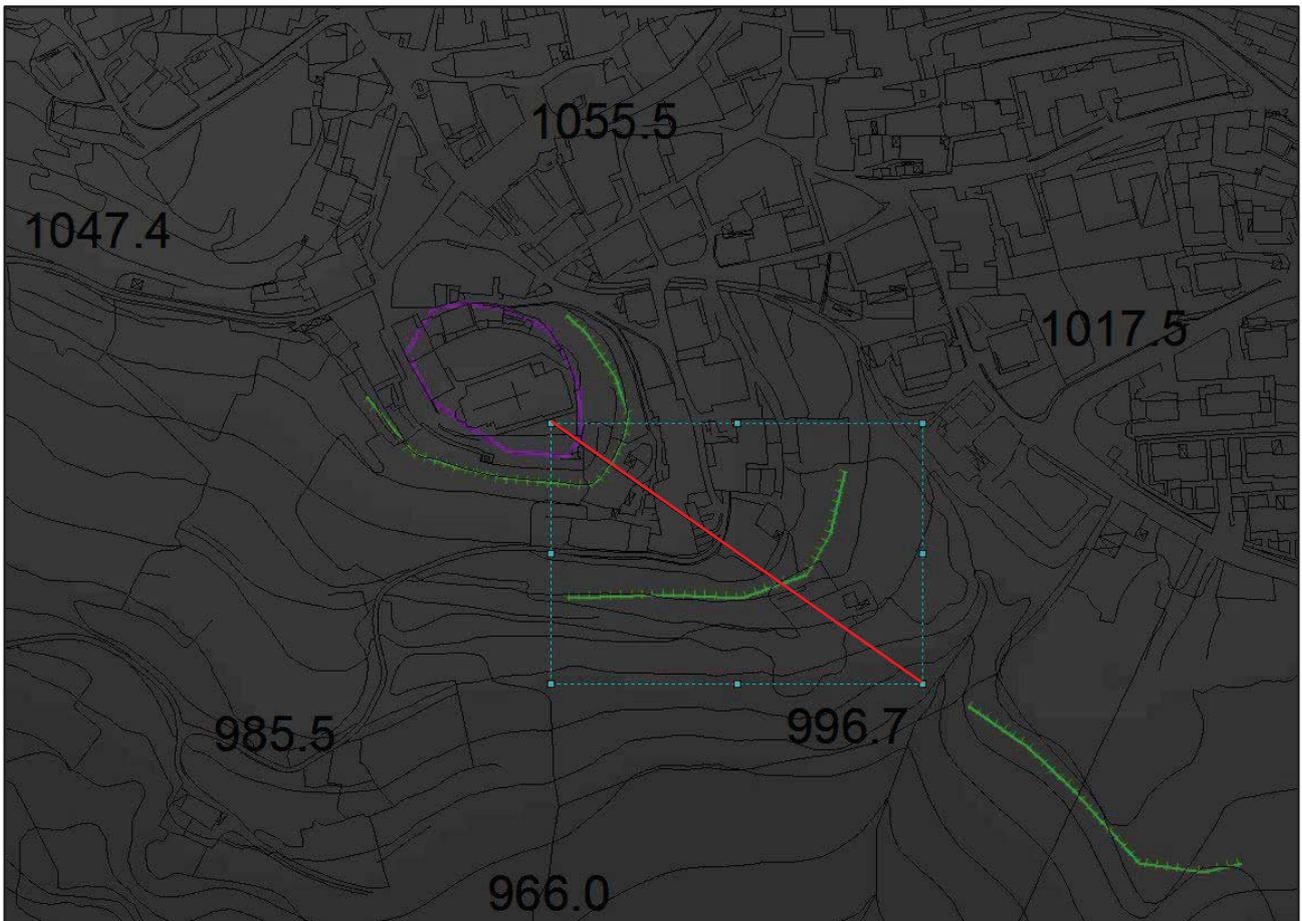


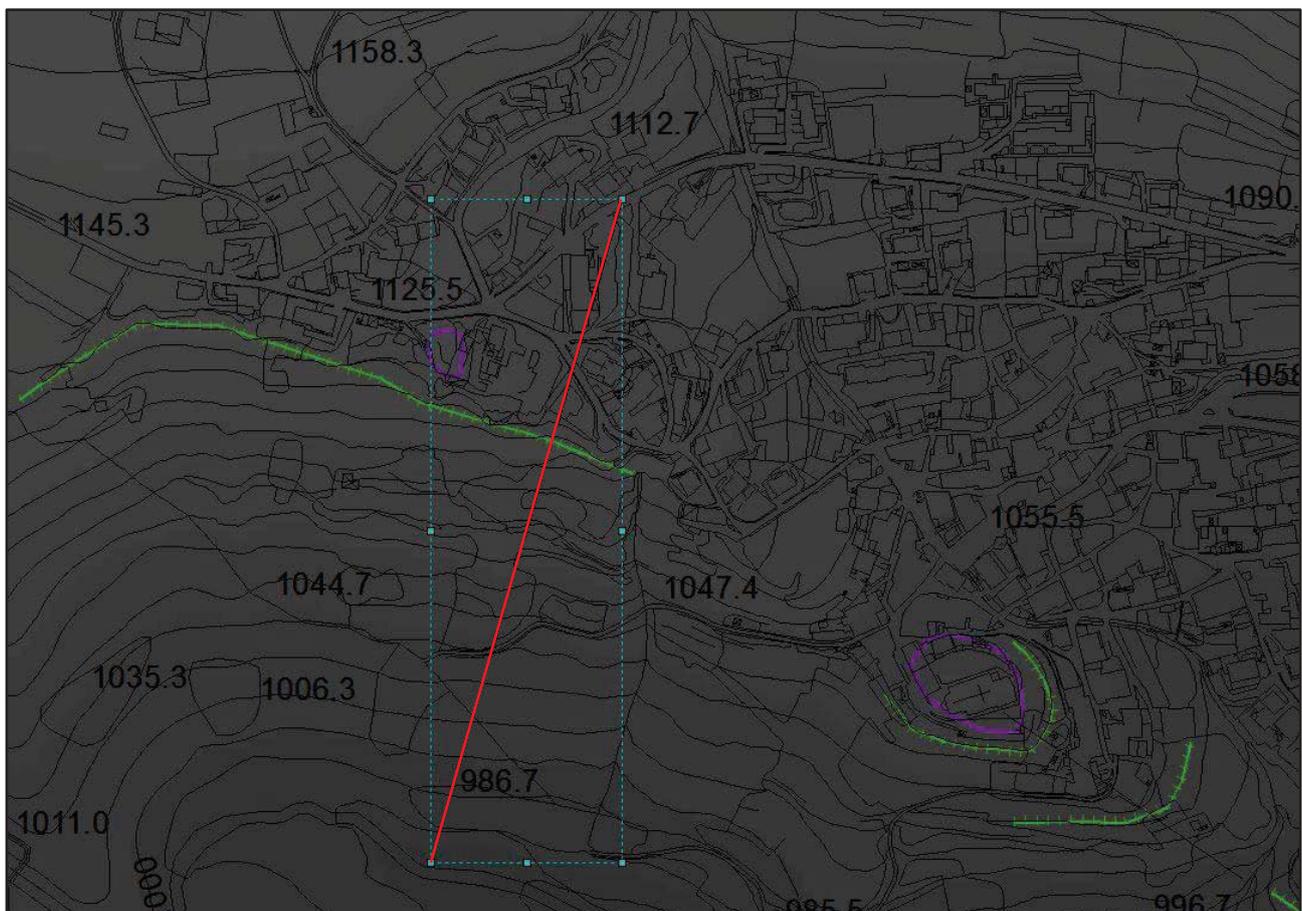
Figura 9: Ubicazione e sezione CC per scenario Z3a

| CRITERI DI RICONOSCIMENTO | | |
|----------------------------------|------------------------|--|
| $H \geq 10 \text{ m}$ | $\alpha \geq 10^\circ$ | $L \approx H$ oppure $L > 15-20 \text{ m}$ |

| TIPOLOGIA DI SCARPATA | | |
|----------------------------|-----------------|----------------------|
| SCARPATA IN CONTROPENDENZA | SCARPATA IDEALE | SCARPATA IN PENDENZA |
| $h < 1/3 H$ | $h=0$ $\beta=0$ | $B \leq 1/5 \alpha$ |

La condizione $\beta \leq 1/5 \alpha$, necessaria per identificare una scarpata in pendenza soggetta ad amplificazione, non è verificata. Questo significa che la pendenza della scarpata è tale per cui non si crei il fenomeno di amplificazione sismica.

4) Sezione DD: Dal Torrente Ogliolo alla Via Valtellina



| CRITERI DI RICONOSCIMENTO | | |
|---------------------------|------------------------|------------------------------------|
| $H \geq 10$ m | $\alpha \geq 10^\circ$ | $L \approx H$ oppure $L > 15-20$ m |

| TIPOLOGIA DI SCARPATA | | |
|----------------------------|-----------------|----------------------|
| SCARPATA IN CONTROPENDENZA | SCARPATA IDEALE | SCARPATA IN PENDENZA |
| $h < 1/3 H$ | $h=0$ $\beta=0$ | $B \leq 1/5 \alpha$ |

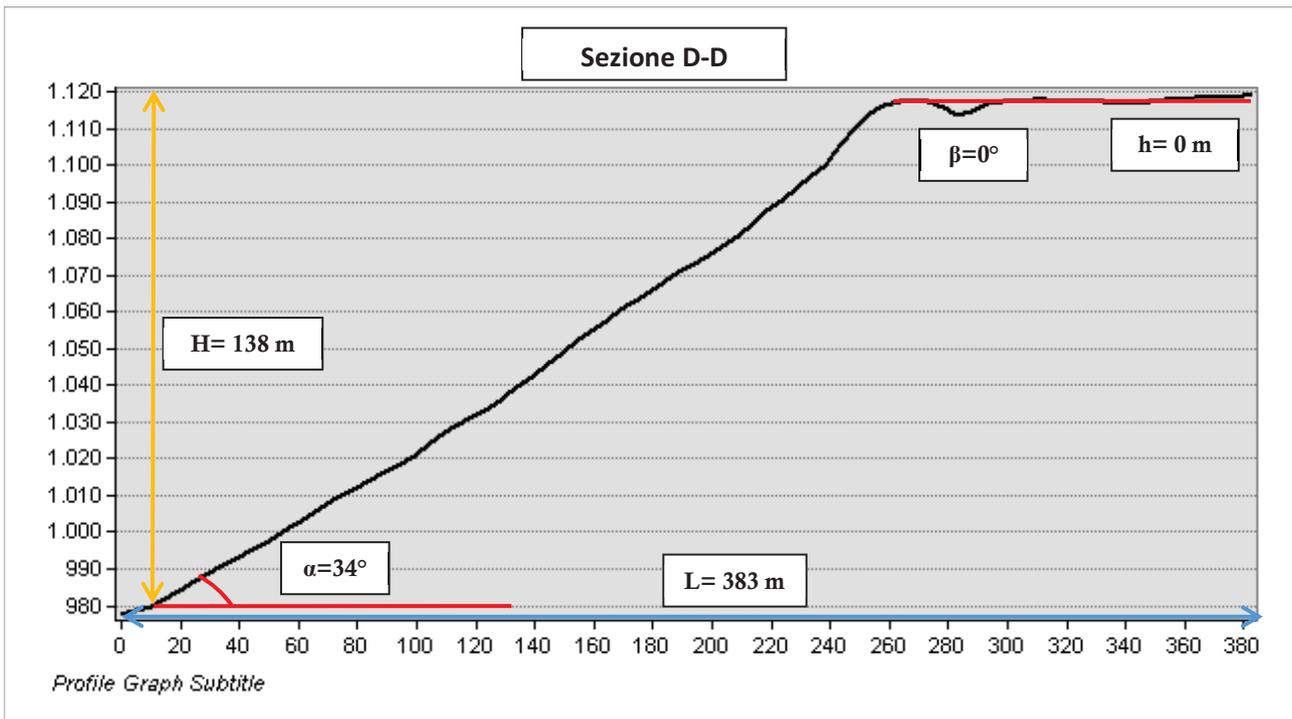


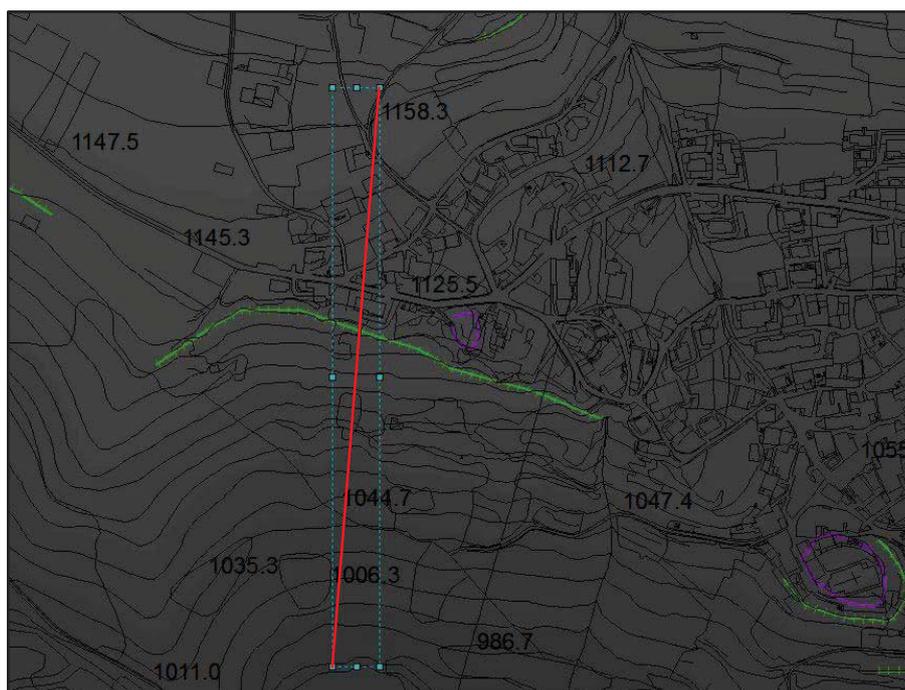
Figura 10: Ubicazione e sezione DD per scenario Z3a

Le condizioni $h=0$ e $\beta=0$, necessarie per identificare una scarpata ideale soggetta ad amplificazione sono verificate.

Dalla tabella regionale per gli effetti di amplificazione morfologica per questa tipologia di scarpata si ottengono i seguenti valori:

| Classe altimetrica | Classe di inclinazione | Valore di $Fa_{0.1-0.5}$ | Area di influenza |
|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| $H > 40$ m pari a 138 m | $20^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ | 1.2 | $A_i = 2/3 H$ pari a 92 |

5) Sezione EE: Dal Torrente Ogiolo alla Via Salina



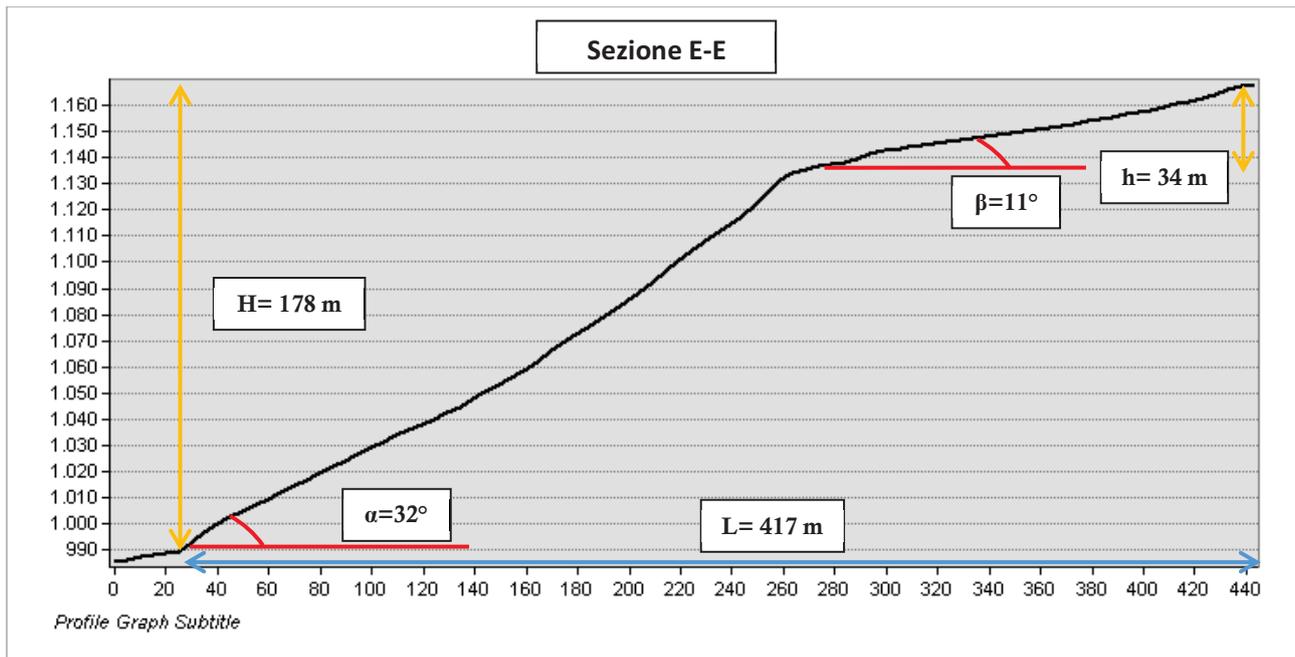


Figura 11: Ubicazione e sezione EE per scenario Z3a

| CRITERI DI RICONOSCIMENTO | | |
|---------------------------|------------------------|--|
| $H \geq 10 \text{ m}$ | $\alpha \geq 10^\circ$ | $L \approx H$ oppure $L > 15-20 \text{ m}$ |

| TIPOLOGIA DI SCARPATA | | |
|----------------------------|-----------------|----------------------|
| SCARPATA IN CONTROPENDENZA | SCARPATA IDEALE | SCARPATA IN PENDENZA |
| $h < 1/3 H$ | $h=0$ $\beta=0$ | $B \leq 1/5 \alpha$ |

La condizione $\beta \leq 1/5 \alpha$, necessaria per identificare una scarpata in pendenza soggetta ad amplificazione, non è verificata. Questo significa che la pendenza della scarpata è tale per cui non si crei il fenomeno di amplificazione sismica.

4.1.2 Z3B: ZONA DI CRESTA ROCCIOSA E/O COCUZZOLO

L'area individuata è stata 1, di cui di seguito viene riportata la localizzazione. Anche in questo caso la procedura regionale prevede una verifica di tipo prettamente morfologico.

I parametri di riferimento sono definiti dalla figura 12 seguente, tratta dalla normativa regionale.

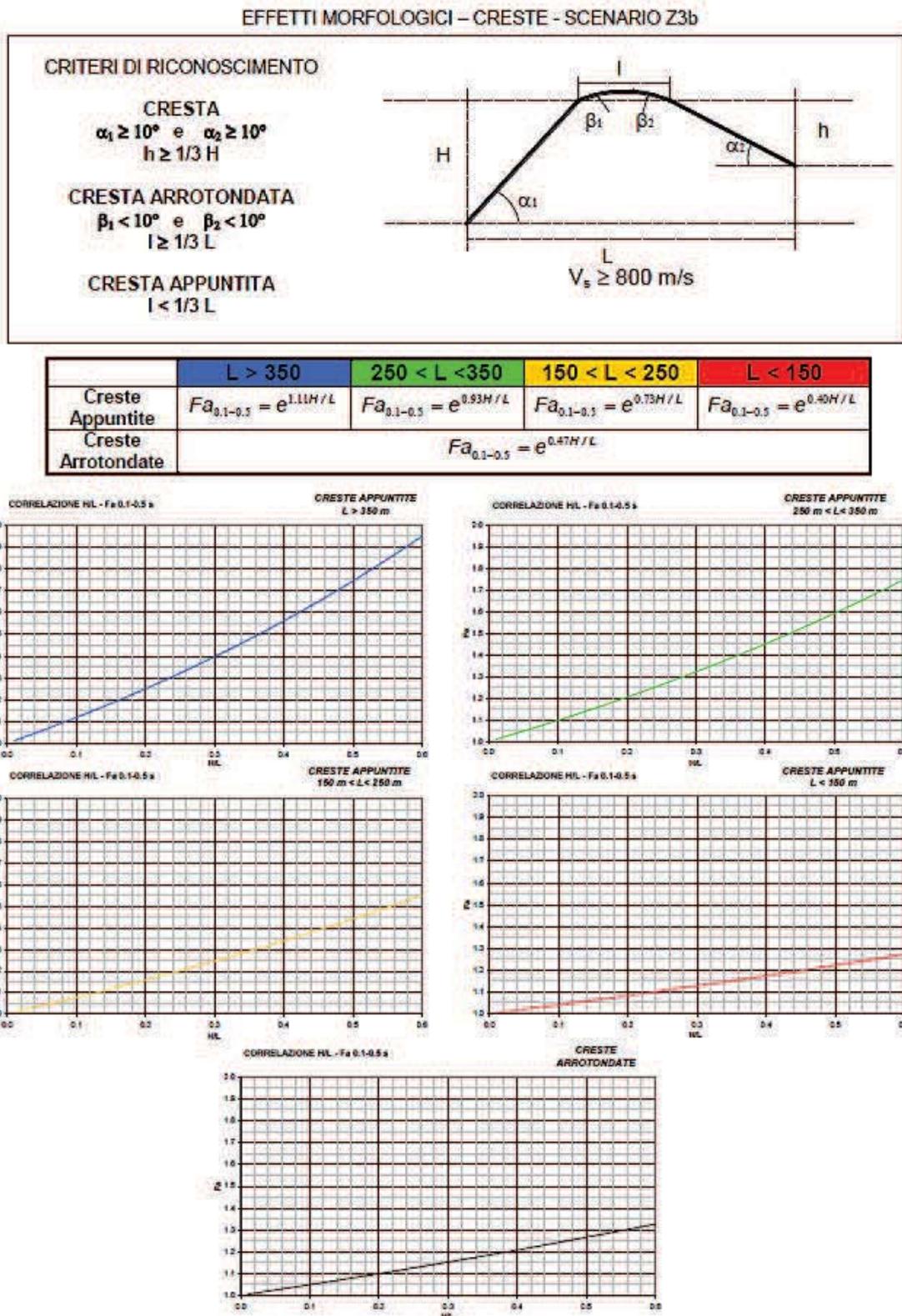


Figura 12: Schema regionale per gli effetti morfologici dello scenario Z3b

6) Sezione FF: Cresta della Chiesa dei Santi Pietro e Paolo

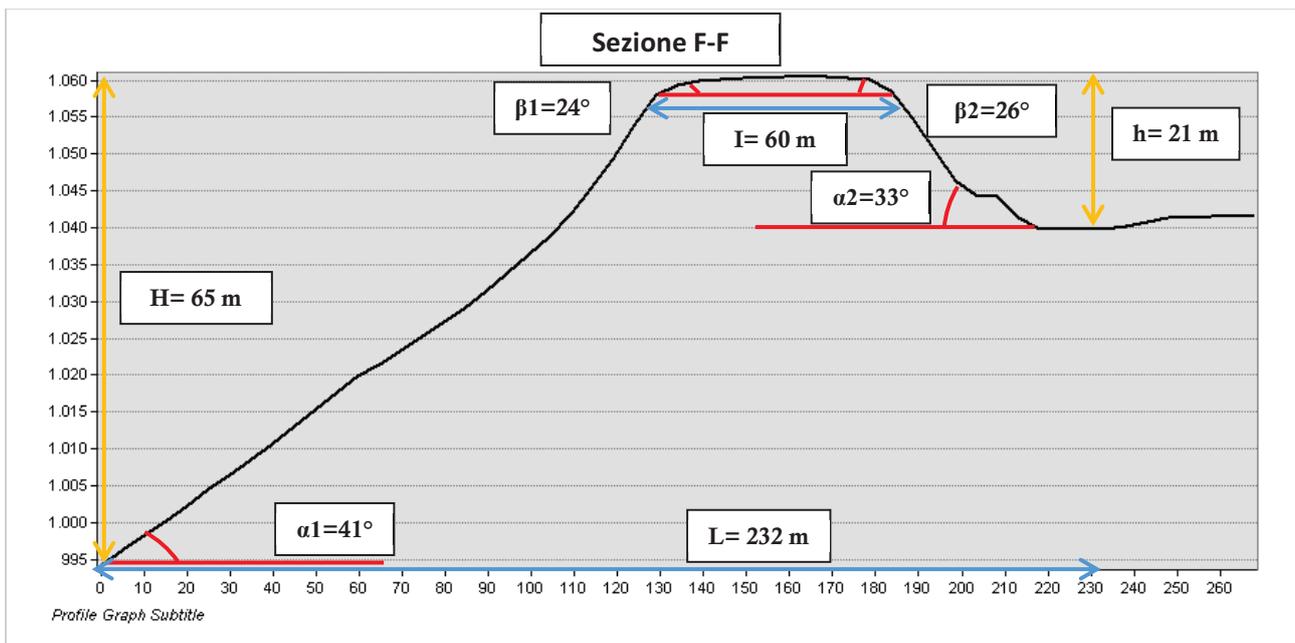
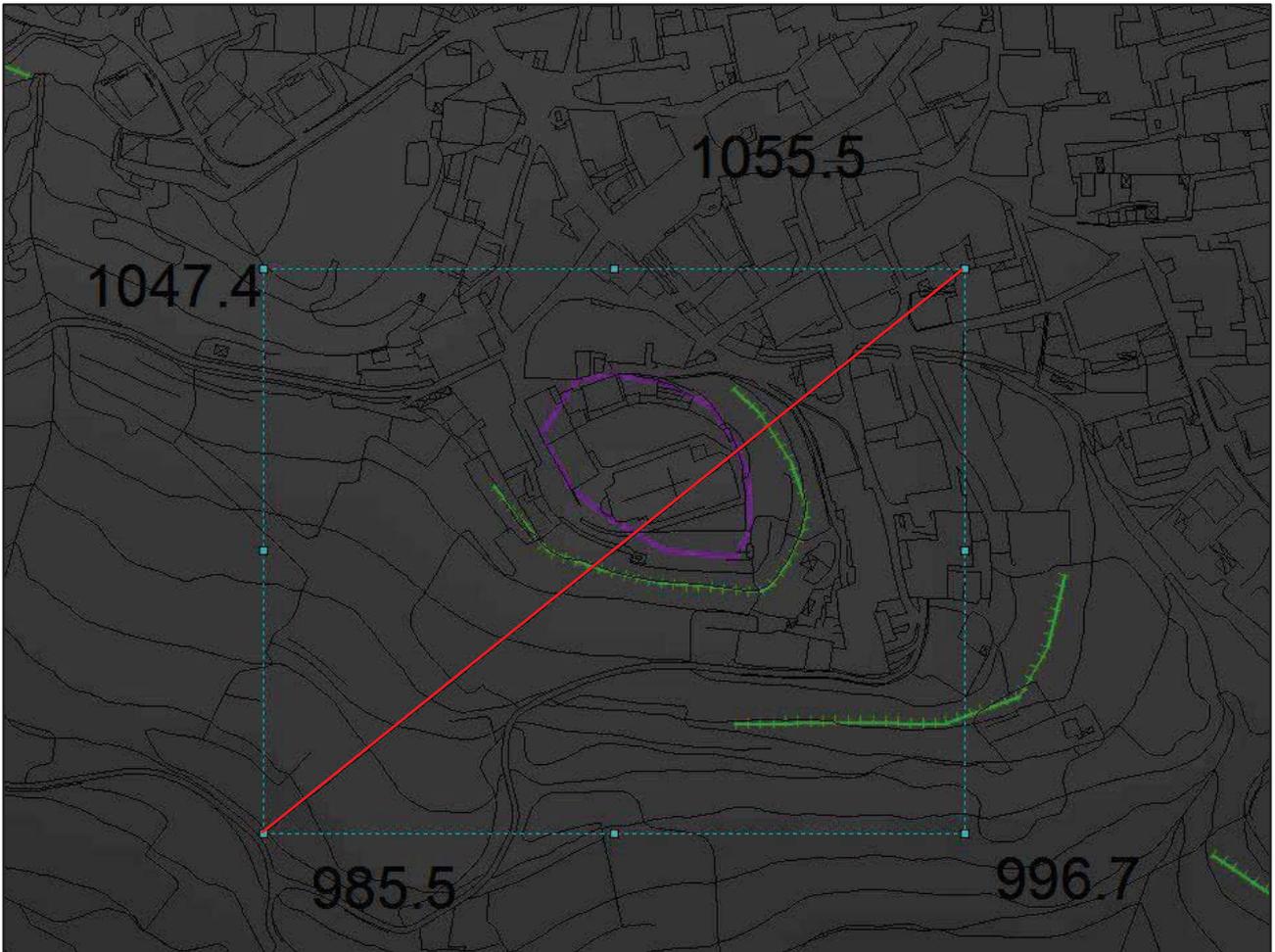


Figura 13: Ubicazione e sezione EE per scenario Z3b

| CRITERI DI RICONOSCIMENTO | | |
|---|---|------------------|
| CRESTA | CRESTA ARROTONDATA | CRESTA APPUNTITA |
| $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$ | $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$ | I < 1/3 L |
| | I \geq 1/3 L | |

| | L > 350 | 250 < L < 350 | 150 < L < 250 | L < 150 |
|--------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Creste Appuntite | $Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$ | $Fa_{0.1-0.5} = e^{0.93H/L}$ | $Fa_{0.1-0.5} = e^{0.73H/L}$ | $Fa_{0.1-0.5} = e^{0.40H/L}$ |
| Creste Arrotondate | $Fa_{0.1-0.5} = e^{0.47H/L}$ | | | |

Rapporto H/L = 65 m/ 232 m=0.28

Fa = 1,23

La procedura prevede il confronto tra i valori di Fa calcolati ed i valori di St delle Norme Tecniche delle Costruzioni. Il valore St rappresenta il valore soglia oltre al quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere conto della reale amplificazione del sito. Di seguito i valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica dalle N.T.C. 2018:

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

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera e dell'intervento | St |
|-----------------------|--|-----|
| T1 | | 1,0 |
| T2 | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2 |
| T3 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30° | 1,2 |
| T4 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30° | 1,4 |

Figura 14: Tabella 3.2.III e Tabella 3.2 V delle NTC 2018

Il valore di Fa calcolato è pari ad 1.23, quindi risulta contenuto entro lo spettro coperto dalla normativa nazionale pari a 1.4.

4.2 EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

Gli effetti di amplificazione litologica avvengono in presenza dei depositi quaternari, nello specifico vediamo con quali depositi:

| | | |
|-----|--|--|
| Z4a | Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi | Amplificazioni litologiche e geometriche |
| Z4b | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre | |
| Z4c | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche) | |
| Z4d | Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale | |

Figura 15: Tabella di scenario pericolosità sismica locale

Nel territorio di Monno, in accordo con l'amministrazione comunale sono state effettuate 4 analisi sismiche per l'individuazione delle onde di superficie (Vs) e sono state distribuite in modo da avere la maggior rappresentatività del Comune.

Le indagini sismiche realizzate sono state MASW e HVSR, le ubicazioni sono state le più consone per garantire lunghi stendimenti senza variazioni altimetriche significative, avendo le condizioni ottimali per la ricerca di risultati accurati.

Nell'immagine sottostante possiamo notare le aree di Monno dove sono state effettuate le indagini sismiche, mentre in successione si dettaglierà ogni singola analisi.

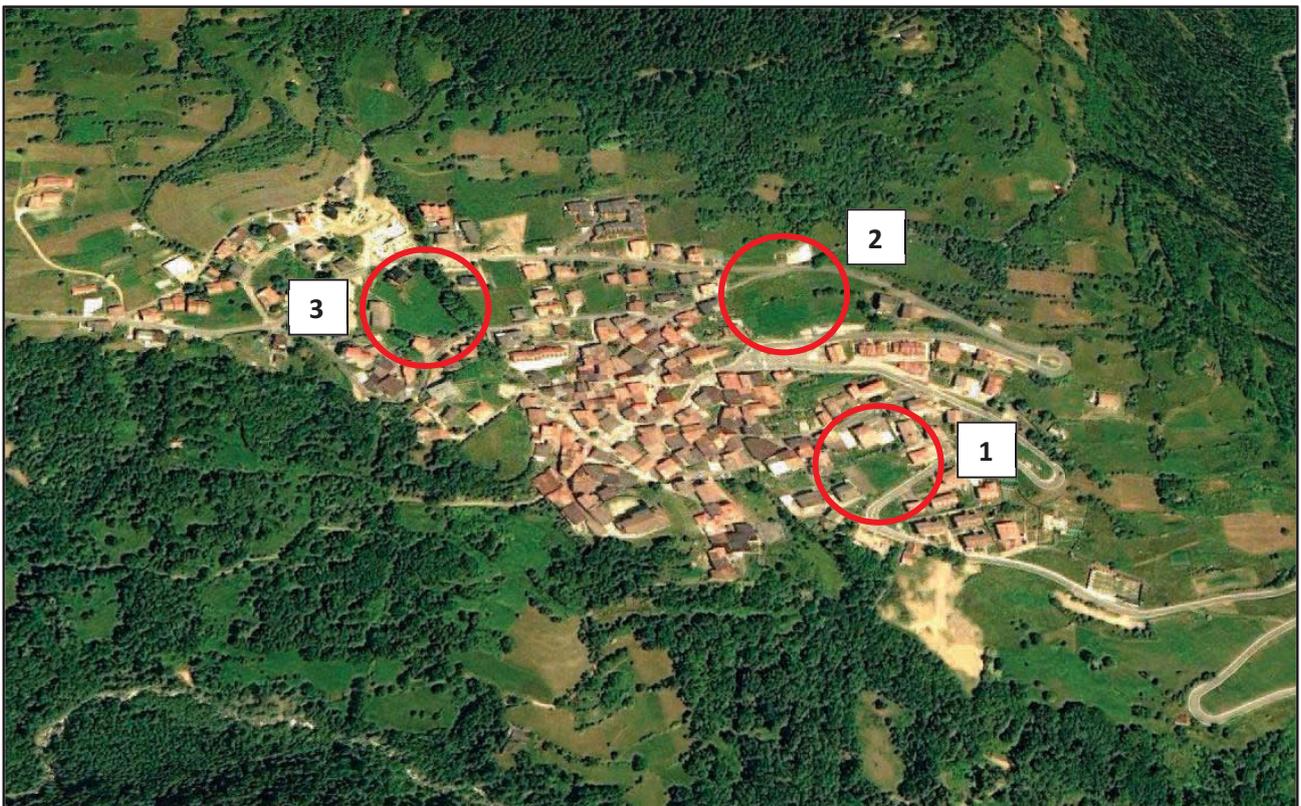


Figura 16: Ubicazione delle aree dove sono state eseguite MASW e HVSR nel Comune di Monno



Figura 17: Ubicazione area in Mortirolo dove è stata eseguita la MASW e HVSR

4.2.1 METODO “MASW”

Il metodo MASW “Multichannel Analysis of Surface Waves” è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori, geofoni posti sulla superficie del suolo. Le onde di superficie sono due: quelle di Rayleigh e quelle di Love, sono dette superficiali perché la loro ampiezza decrementa in modo esponenziale con la profondità e la loro propagazione interessa quindi un limitato spessore di superficie, rispetto le onde di corpo la loro ampiezza è notevolmente maggiore e per questo motivo tipicamente dominano qualsiasi dataset sismico.

Le onde di Rayleigh si muovono su un piano radiale secondo un moto detto retrogrado, l’andamento del moto indica che queste onde hanno sia una componente verticale che una componente orizzontale radiale.

Le onde di Love si muovono solamente sul piano orizzontale con un’oscillazione la cui direzione è perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell’onda

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d’onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere uno spettro delle velocità di fase sperimentale, che fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

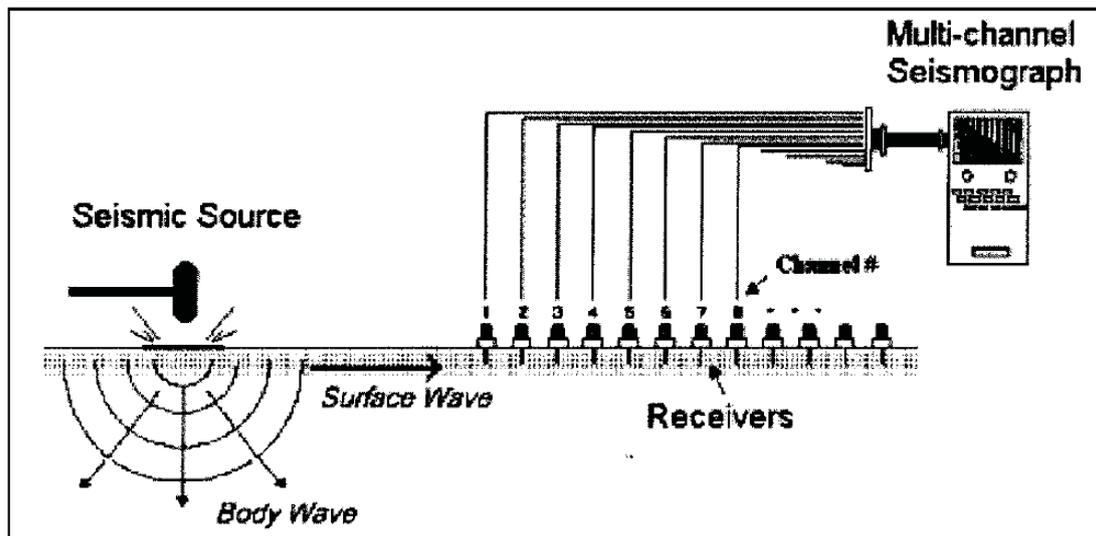


Figura 18: Schema stendimento sismico MASW

La Normativa antisismica (Ordinanza n° 3274 e N.T.C. 2008) ha introdotto la classificazione dei terreni secondo la velocità delle Onde di taglio “Onde S” con precisione il fattore discriminante è il V_{s30} . Il parametro V_{s30} rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S nei primi 30 metri di profondità ed è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove h_i è lo spessore dello strato i -esimo

V_i è la velocità dello strato i -esimo

Attualmente con le nuove N.T.C. 2018 è stato introdotto il concetto di V_s equivalente (V_{sE}):

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

in cui la profondità H è quella a cui la velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (bedrock sismico).

Si tratta in pratica di una variazione sul tema rispetto al parametro V_{s30} , in quel caso il valore di H era ed è fissato a 30 m. Di fatto se il bedrock sismico è più profondo di 30 m dal piano di fondazione la V_s equivalente è uguale alla V_{s30} .

4.2.2 METODO “HVSr”

Le vibrazioni ambientali (o rumore sismico ambientale o microtremori) sono movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm. Queste vibrazioni sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti agenti a diverse frequenze: onde marine e perturbazioni atmosferiche, ad esempio, contribuiscono al campo d'onda prevalentemente a frequenze inferiori a 0.5 Hz mentre vento, traffico veicolare e attività industriali contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 0.5 Hz. L'indipendenza dinamica delle sorgenti e la molteplicità dei percorsi delle onde da esse generate spiega la mancanza di regolarità nell'andamento temporale del campo del microtremore. Se da un lato il carattere stocastico del fenomeno presenta difficoltà di tipo teorico, dall'altro consente, mediante operazioni di tipo statistico, di ridurre la complessità dell'analisi. Dato che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, le tecniche di sismica passiva trovano una ideale applicazione negli studi della risposta sismica locale. In particolare, esse permettono di individuare situazioni sismo stratigrafiche potenzialmente responsabili di fenomeni di risonanza sismica, valutandone qualitativamente l'entità, la determinazione dei periodi di risonanza delle coperture sedimentarie e la determinazione del profilo di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri. Esistono sostanzialmente due configurazioni sperimentali per lo studio del rumore sismico: la configurazione a stazione singola e quella ad antenna sismica (array). La prima è basata sull'analisi dell'ampiezza delle componenti spettrali del campo di vibrazioni ambientali misurato nelle tre direzioni dello, mentre nella seconda vengono analizzati i rapporti di fase tra i treni d'onda che attraversano un'antenna sismica (array) ovvero una distribuzione di sensori disposti con geometrie variabili sulla superficie del terreno.

Le prove effettuate sono a stazione singola, note anche come prova Nakamura (1989) o HVSr, il risultato di questa 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 alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), consiste nella 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. Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

La determinazione della curva HVSr in sito prevede i seguenti steps:

- Misura delle tre componenti x, y, z del moto in un punto sulla superficie libera del suolo per una durata dai 10 ai 20 min.
- Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi transitori non conformi al rumore ambientale
- Definizione degli N intervalli o finestre temporali stazionari entro cui calcolare le curve HVSR
- Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto
- Operazione di smoothing degli spettri di Fourier
- Somma delle due componenti orizzontali x e y
- Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari
- Calcolo della curva HVSR media tra le N curve HVSR

Infine, i risultati ottenuti vengono verificati secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME. Il significato dei criteri di ammissibilità dei risultati è riportato di seguito.

Condizioni di Reliability della curva HVSR

- 1) In corrispondenza della frequenza del picco di interesse, vi siano almeno 10 cicli significativi in ogni finestra temporale individuata nel segnale registrato
- 2) È necessario utilizzare un grande numero di finestre temporali e di cicli, almeno 200 cicli
- 3) Il livello di scattering, cioè di dispersione delle curve HVSR ottenute nelle diverse finestre temporali deve essere moderato, altrimenti potrebbe essere un sintomo di un rumore ambientale fortemente non-stazionario, che influenza la forma della curva HVSR in maniera non ripetibile.

Le condizioni 1) e 2) confermano che la durata del segnale registrato sia sufficientemente estesa, la condizione 3) assicura che la curva HVSR misurata sia di buona qualità e poco dispersa.

Condizioni di Clarity del picco massimo

- Condizioni sull'Ampiezza:

- 1) Esiste una frequenza f^- , compresa tra $f^0 / 4$ e f^0 , tale che $A^0 / A_{H/V}(f^-) > 2$
- 2) Esiste un'altra frequenza f^+ , compresa tra f^0 e $4 \cdot f^0$, tale che $A^0 / A_{H/V}(f^+) > 2$
- 3) Deve essere $A^0 > 2$

Le condizioni 1) e 2) confermano che il picco sia sufficientemente isolato sia a sinistra (condizione 1), sia a destra (condizione 2) del picco. La condizione 3) assicura che il picco sia sufficientemente elevato e questo dipende dall'entità del contrasto di rigidità tra gli strati.

- Condizioni sulla Stabilità della curva HVSR:

- 4) Il picco dovrebbe comparire alla stessa frequenza (entro il $\pm 5\%$) nelle curve H/V corrispondenti alla media + e- lo standard deviation.

5) Lo scarto quadratico medio σ_f deve essere inferiore ad un valore limite f dipendente dalla frequenza come riportato nella tabella dei criteri Sesame.

6) Deve essere $\sigma_A(f_0)$ inferiore ad un valore limite $\theta(f)$ dipendente dalla frequenza come riportato in tabella dei criteri Sesame.

Le condizioni 4), 5) e 6) confermano che la curva HVSR misurata sia stabile, cioè di buona qualità e poco dispersa.

4.2.3 STENDIMENTO MASW e HVSR 1



Figura 19: Ubicazione stendimento MASW e HVSR 1

L'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi 16S24-U, con geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz spaziati di 3,5 m con offset a 8 m, l'energizzazione è costituita da una mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), sono stati acquisiti 3 dataset differenti, tramite altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
 - 12 geofoni verticali da 4,5 Hz
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

- Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento
 - Energizzazione orizzontale su traversina in legno

Per quanto riguarda la HVSr è stato utilizzato un geofono 3d da 2 Hz collegato al sismografo Pasi 16S24-U e sono state effettuate due misurazioni, una da 15 minuti e una da 10 minuti.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 2018 Academy.

Nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF), per le Onde di Love (THF) e HVSr. Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset, a questo punto dopo svariate elaborazioni si è scelta l'analisi congiunta migliore tra le combinazioni (ZVF-THF) o (RVF-THF) o (ZVF/RVF/THF-HVSr). Scelta la combinazione per l'elaborazione da utilizzare è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzata come modello per lanciare l'inversione con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati. La combinazione utilizzata è stata (**THF-HVSr1**).

MASW 1

Stendimento: 46,5 metri Offset 8 metri Durata acquisizione 1024 ms Campionamento 1 ms

SPETTRI DI VELOCITÀ

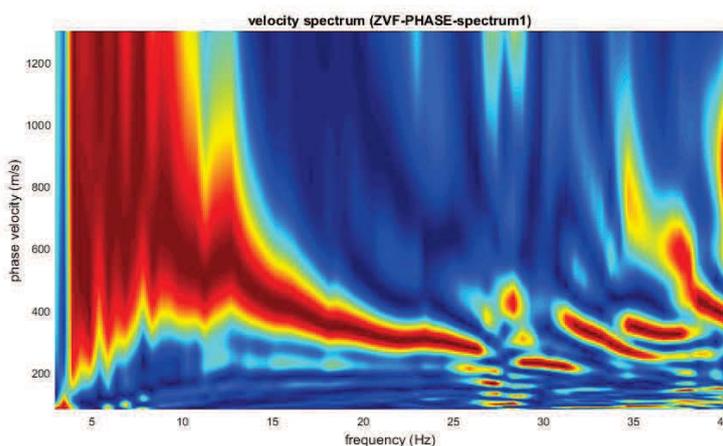


Figura 20: Spetto di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)

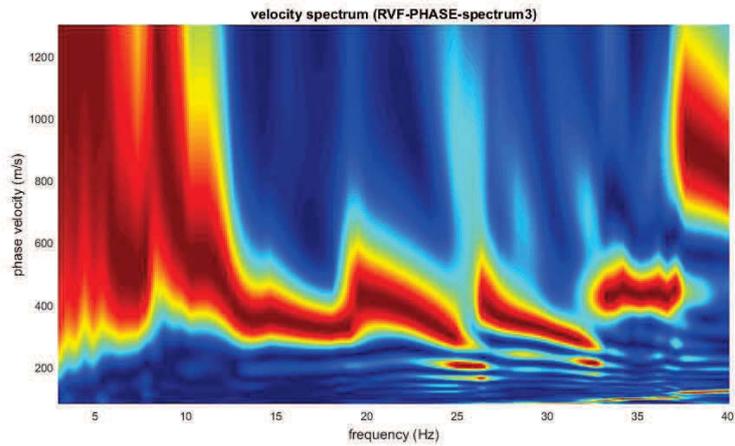


Figura 21: Spetto di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)

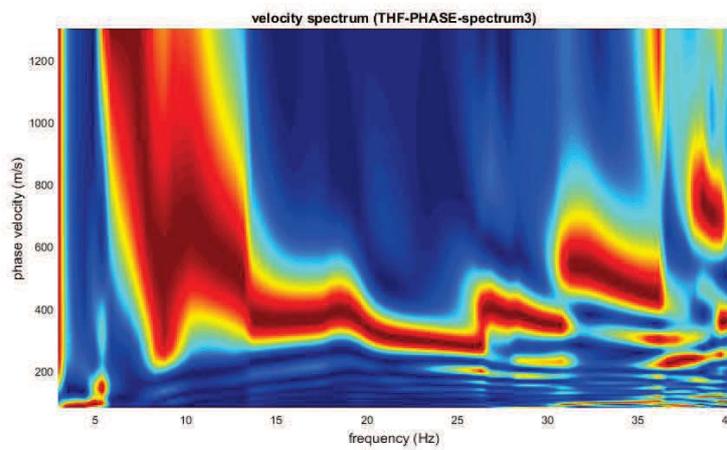
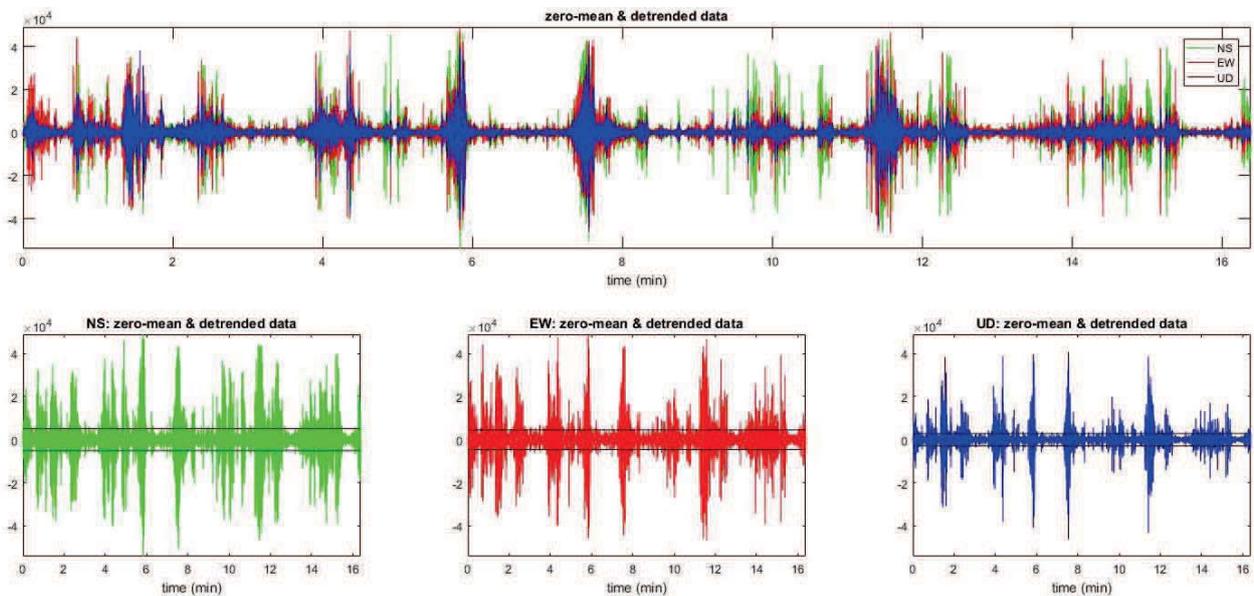


Figura 22: Spetto di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)

HVSR 1

Misura 1



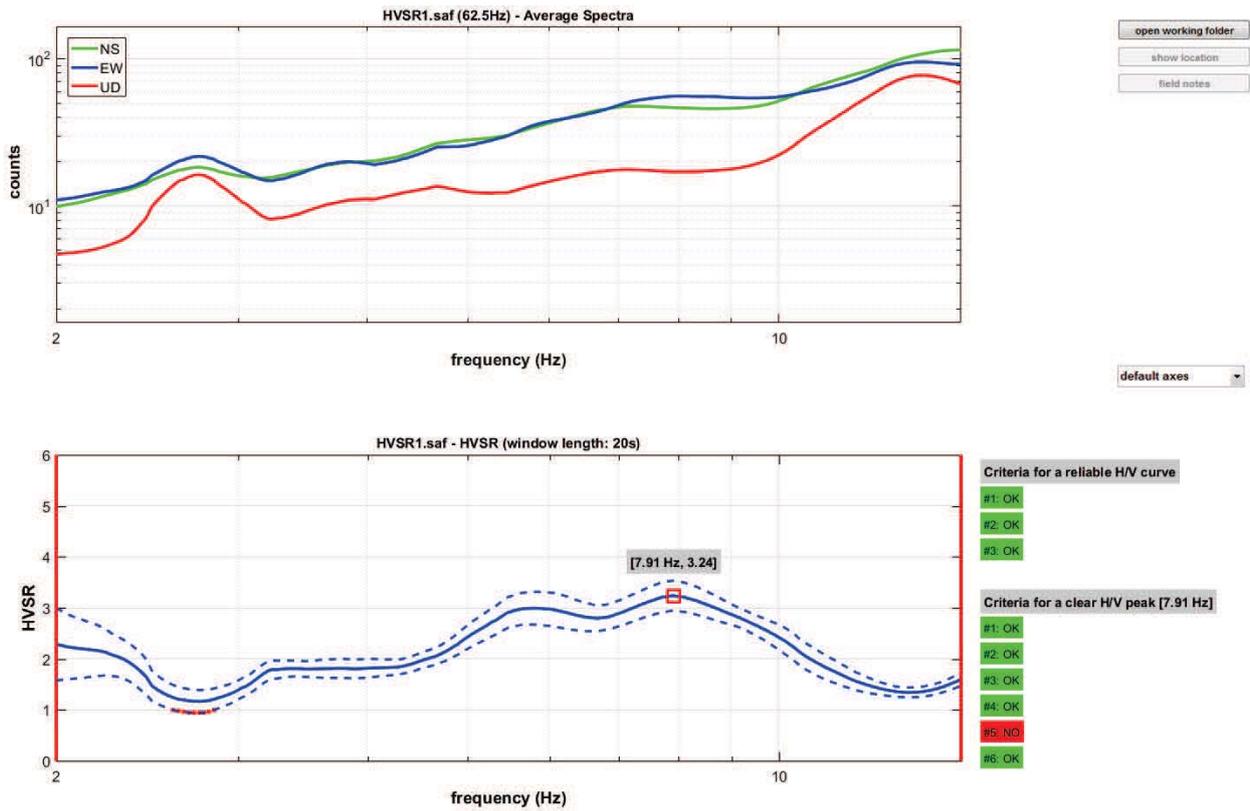
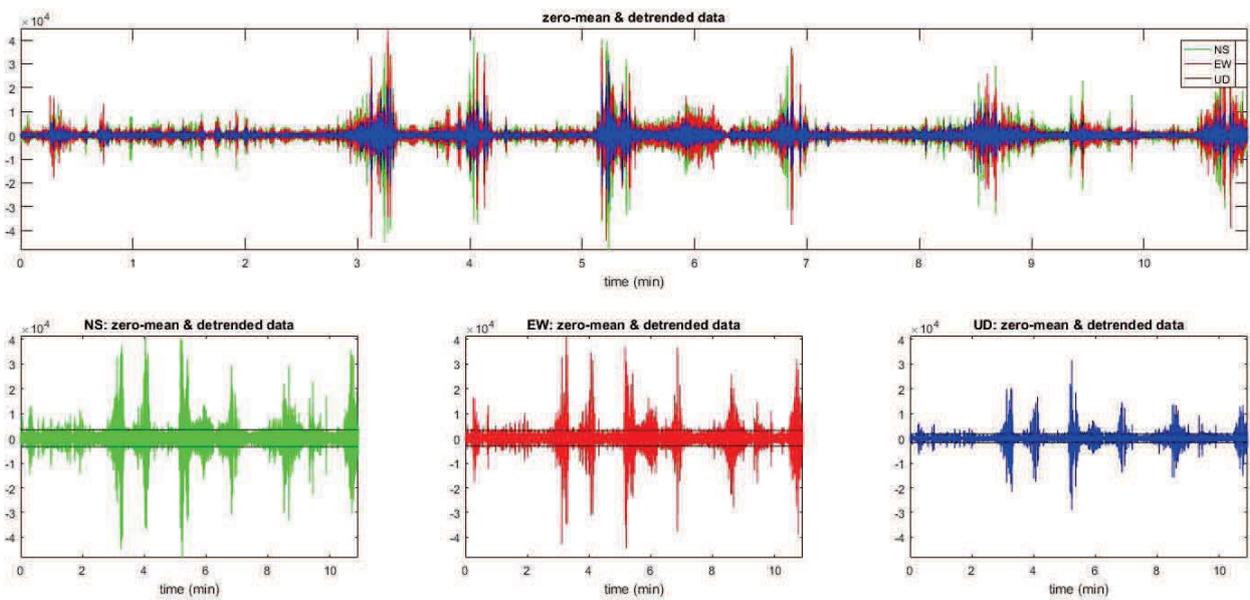


Figura 23: Dati HVSr, nella misura 1 a 7.91 Hz è stato individuato un picco di 3.24
 Nella colonna di destra possiamo vedere la verifica dei criteri di ammissibilità del progetto SESAME

Misura 2



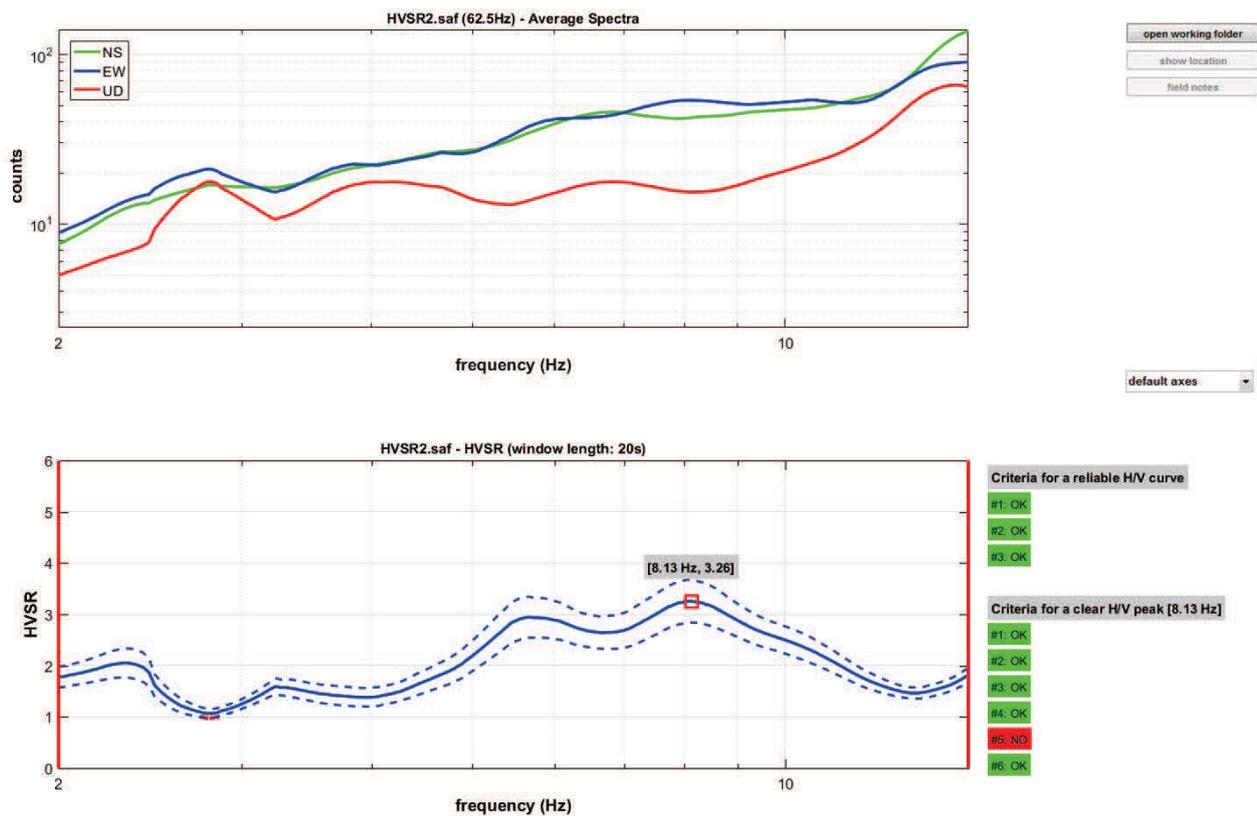


Figura 24: Dati HVSR, nella misura 2 a 8.13 Hz è stato individuato un picco di 3.26
Nella colonna di destra possiamo vedere la verifica dei criteri di ammissibilità del progetto SESAME

ANALISI CONGIUNTA ONDE LOVE E HVSR

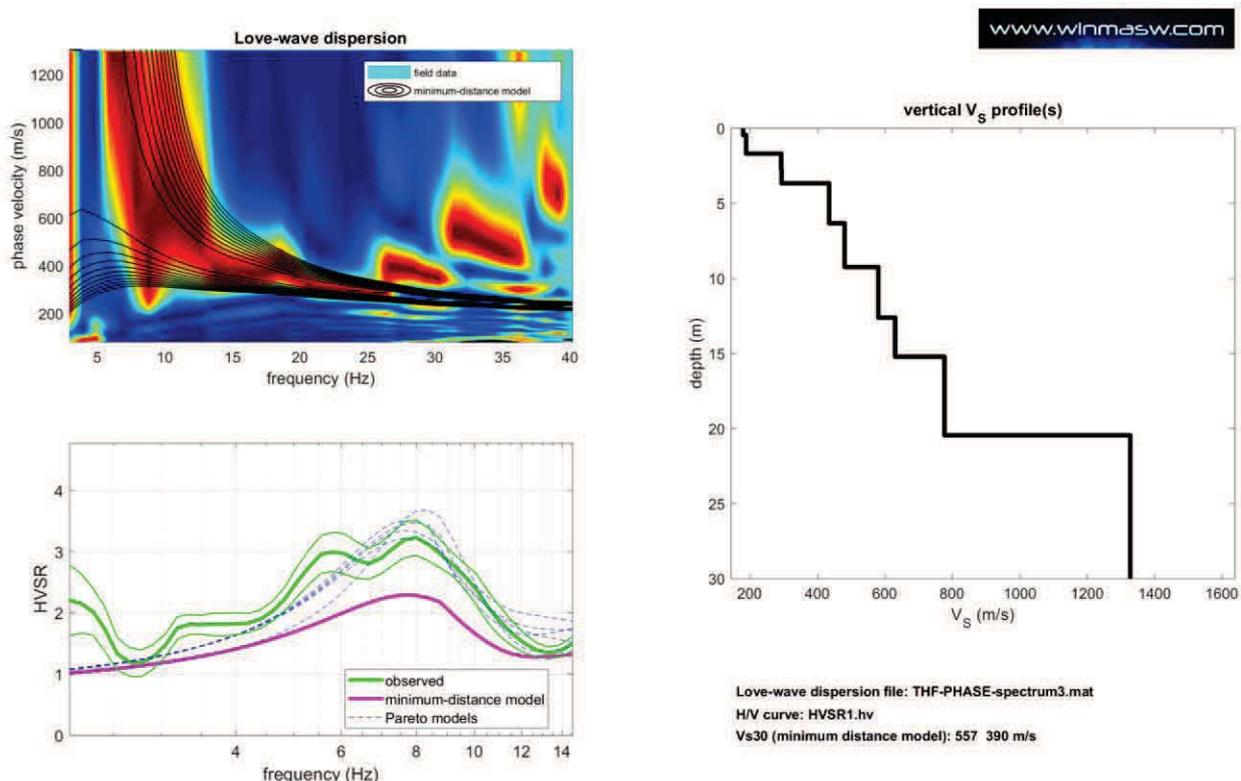


Figura 25: Analisi congiunta onde Love e HVSR 1

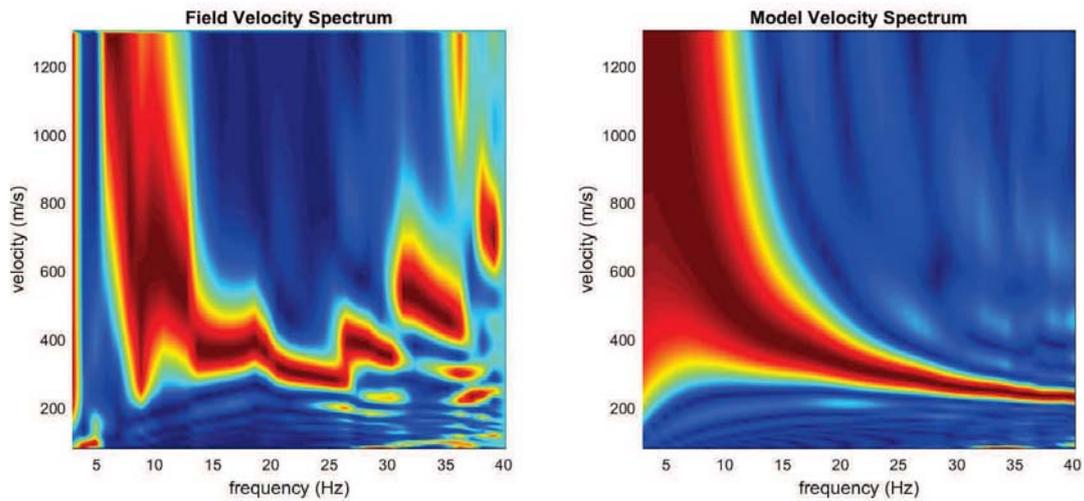


Figura 26: Modello di campo e modello sintetico

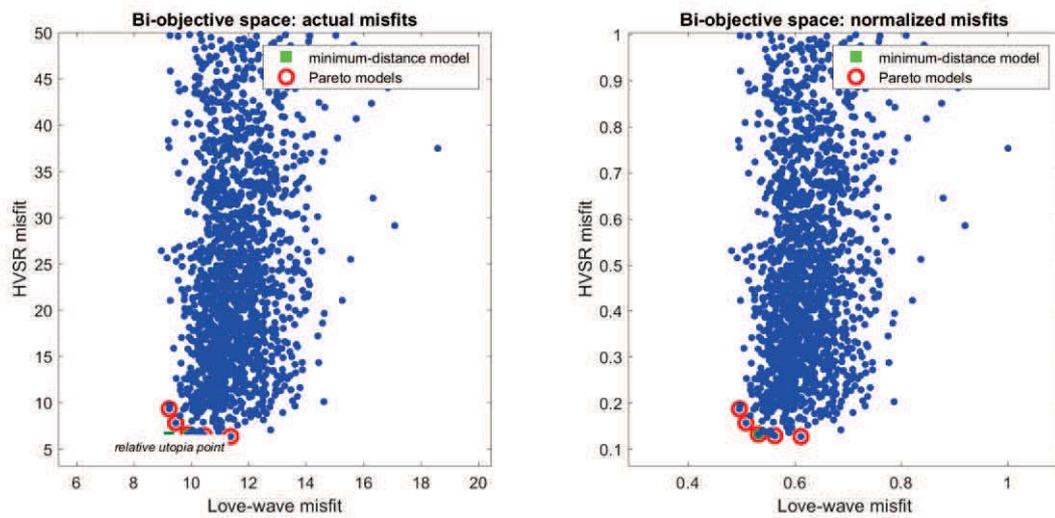


Figura 27: Grafico tra errore HVSR e Love, attuale e normalizzato

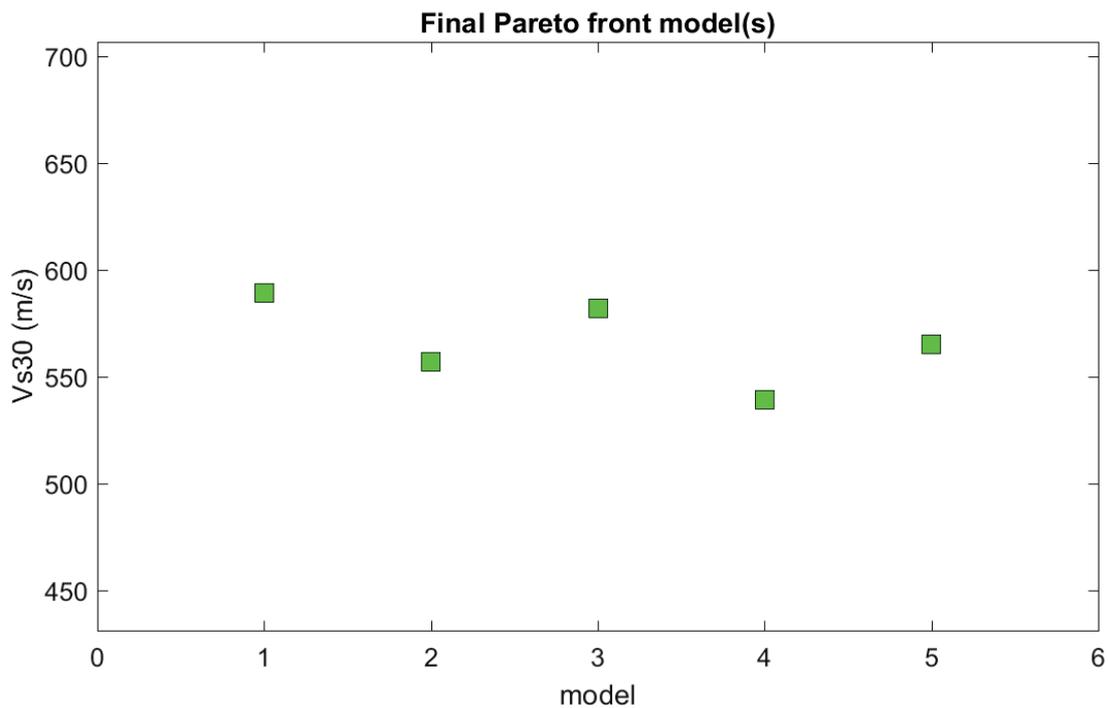


Figura 28: Distribuzione pareto Vs 30

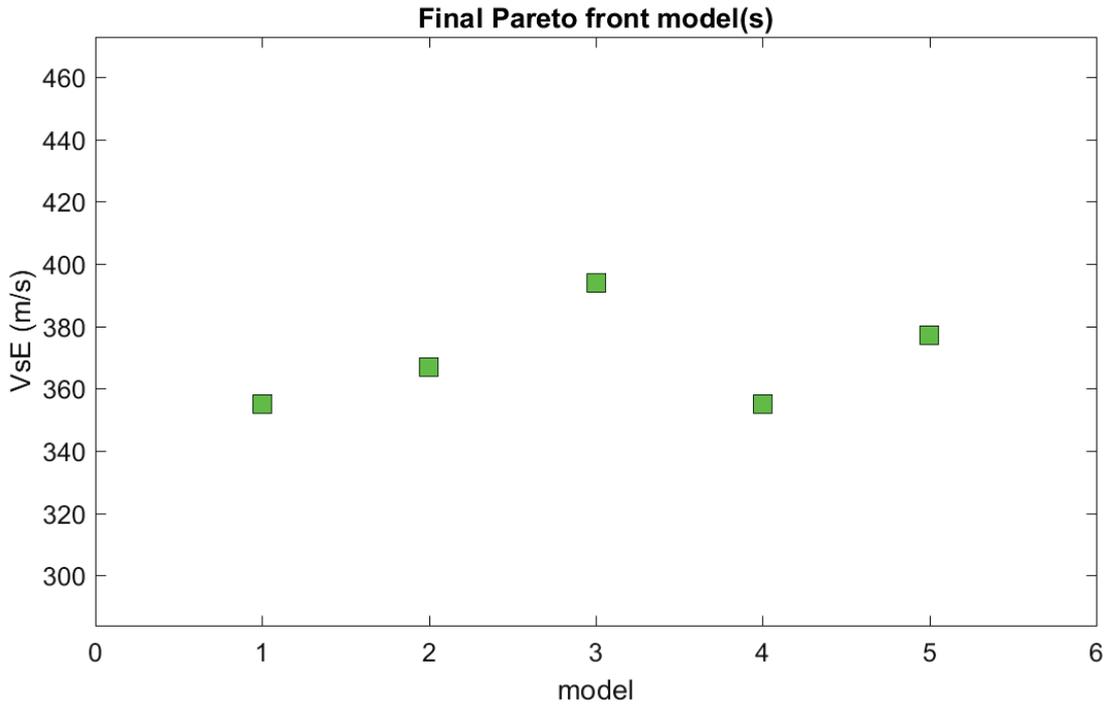


Figura 29: Distribuzione pareto VsE

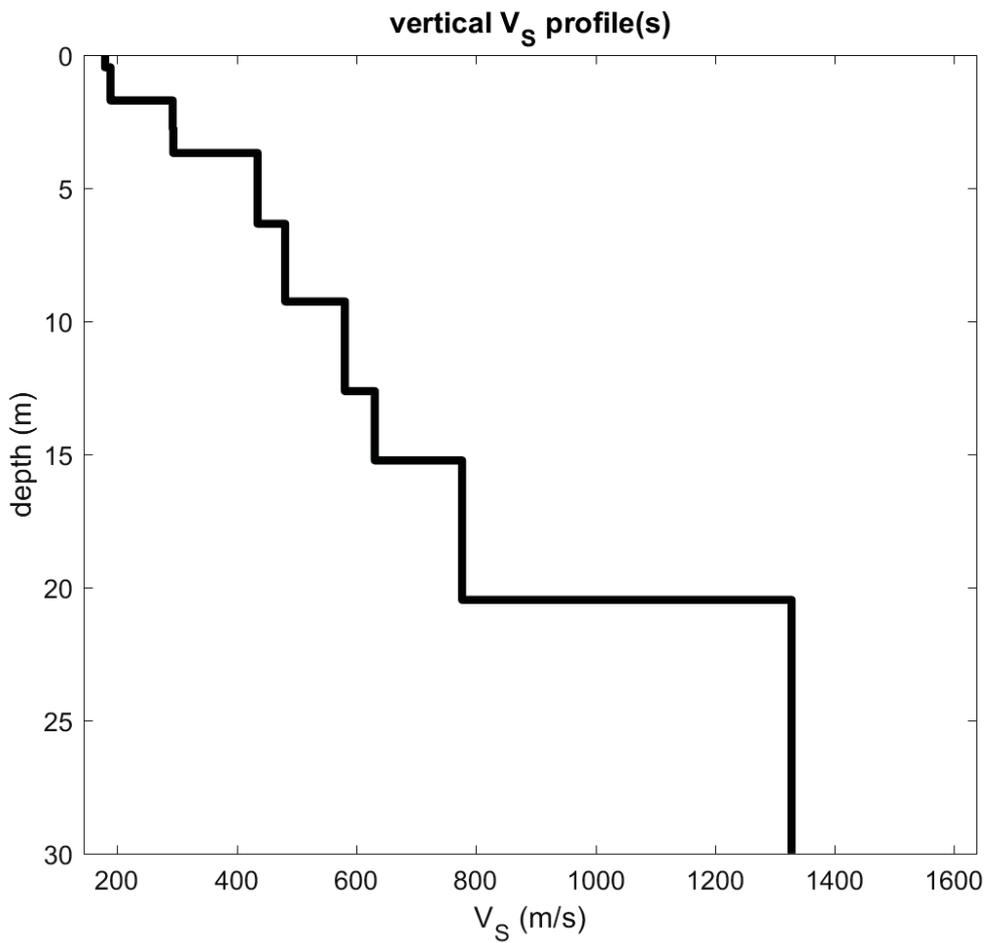


Figura 30: Profilo VS

Dati Mean Model

| | | |
|------|-----|------|
| 180 | 0.5 | 0.5 |
| 189 | 1.2 | 1.7 |
| 293 | 1.1 | 2.8 |
| 294 | 0.9 | 3.7 |
| 435 | 2.7 | 6.4 |
| 481 | 2.9 | 9.3 |
| 581 | 3.4 | 12.7 |
| 631 | 2.6 | 15.3 |
| 777 | 5.2 | 20.6 |
| 1328 | | |

Dati Best Model

| | | |
|------|-----|------|
| 145 | 0.6 | 0.6 |
| 216 | 1.2 | 1.8 |
| 284 | 0.9 | 2.7 |
| 350 | 0.7 | 3.4 |
| 419 | 2.4 | 5.8 |
| 417 | 3.3 | 9.1 |
| 560 | 2.4 | 11.5 |
| 537 | 4.5 | 16.0 |
| 872 | 3.1 | 19.1 |
| 1180 | | |

Figura 31: Dati modello medio e modello migliori

Minimum Vs30 (m/s): 539**Minimum VsE (m/s): 355****Maximum Vs30 (m/s): 589****Maximum VsE (m/s): 394****Best model:** (Modello utilizzato per il II livello sismico)

Vs (m/s): 145, 216, 284, 350, 419, 417, 560, 537, 872, 1180

Vs30 (m/s): 557**VsE (m/s): 390**

Thickness (m): 0.6, 1.2, 0.9, 0.7, 2.4, 3.3, 2.4, 4.5, 3.1

Mean model:

Vs (m/s): 180, 189, 293, 294, 435, 481, 581, 631, 777, 1328

Vs30 (m/s): 578**VsE (m/s): 458**

Thickness (m): 0.5, 1.2, 1.1, 0.9, 2.7, 2.9, 3.4, 2.6, 5.2

VERIFICA ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO

La verifica di secondo livello è stata effettuata considerando sia l'intervallo di periodo tra 0.1-0.5 s per strutture relativamente basse e regolari, che per l'intervallo di periodo tra 0.5-1.5 s per strutture alte e strette.

Adesso verificheremo il fattore di amplificazione (Fa) in base al modello migliore "best" individuato con la MASW nel paragrafo precedente. Prima di tutto calcoliamo il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)} = \boxed{T = 0,15 \text{ s}}$$

ove h_i e Vs_i sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello.

Per trovare il fattore di amplificazione (Fa) è stata scelta la scheda litologia ghiaiosa, in base alle condizioni geologiche locali, che si può vedere nella figura sottostante.

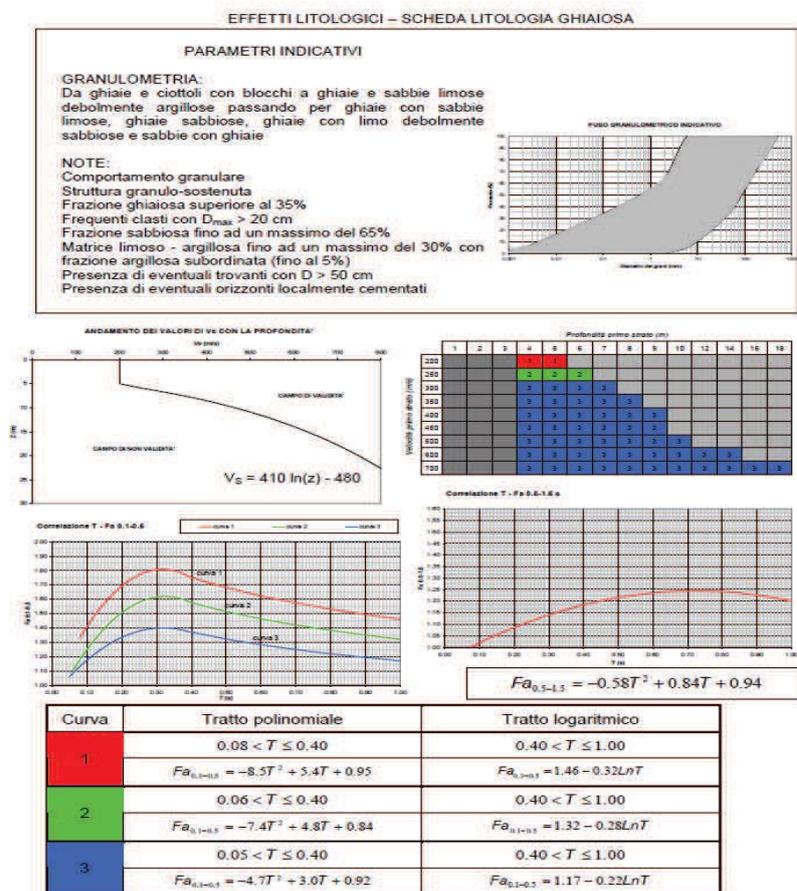


Figura 32: Scheda litologia ghiaiosa

Nella scheda litologia ghiaiosa sono stati considerati i primi 5 sismostrati come un unico strato di 5,8 metri ~ 6 metri con una velocità media di 250 m/s. Per l'intervallo di periodo 0.1 - 0.5 è stata utilizzata la formula della curva 2 verde mentre per l'intervallo di periodo 0.5 - 1.5 l'unica formula disponibile.

Fa $0.1-0.5 = 1,3935 \leq 1.4$ (soglia B)

Fa $0.5-1.5 = 1,0529 < 1.7$ (soglia B)

| Valori Soglia Comunali | Intervallo di periodo | Categoria di Suolo B | Categoria di Suolo C | Categoria di Suolo D | Categoria di Suolo E |
|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Monno | 0.1 – 0.5 | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 1.9 |
| Monno | 0.5 – 1.5 | 1.7 | 2.4 | 4.1 | 3.0 |

La **velocità delle onde equivalente (VsE)** è uguale a **390 m/s**. Valutando le amplificazione litologiche di sito e il fattore di amplificazione otteniamo che sia **per l'intervallo di periodo 0.1-0.5 che per l'intervallo di periodo 0.5-1.5** la classe di suolo è **corrispondente alla categoria B**.

Dal Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018, le nuove categorie di sottosuolo sono:

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s**

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

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

4.2.4 STENDIMENTO MASW e HVSr 2



Figura 33: Ubicazione stendimento MASW e HVSr 2

L'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi 16S24-U, con geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz spazati di 5 m con offset a 10 m, l'energizzazione è costituita da una mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), sono stati acquisiti 3 dataset differenti, tramite altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
 - 12 geofoni verticali da 4,5 Hz
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

- Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento
 - Energizzazione orizzontale su traversina in legno

Per quanto riguarda la HVSr è stato utilizzato un geofono 3d da 2 Hz collegato al sismografo Pasi 16S24-U e sono state effettuate due misurazioni, una da 15 minuti e una da 10 minuti.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 2018 Academy.

Nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF), per le Onde di Love (THF) e HVSR. Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset, a questo punto dopo svariate elaborazioni si è scelta l'analisi congiunta migliore tra le combinazioni (ZVF-THF) o (RVF-THF) o (ZVF/RVF/THF-HVSR). Scelta la combinazione per l'elaborazione da utilizzare è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzata come modello per lanciare l'inversione con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati. La combinazione utilizzata è stata (ZVF-THF).

MASW 2

Stendimento: 65 metri Offset 10 metri Durata acquisizione 1024 ms Campionamento 1 ms

SPETTRI DI VELOCITÀ

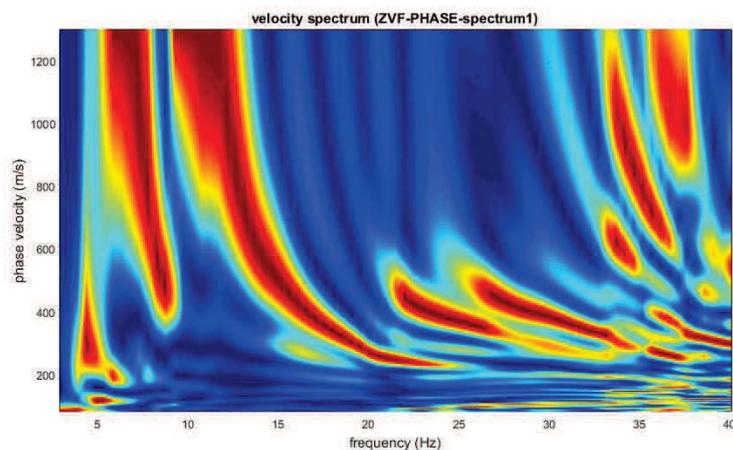


Figura 34: Spetto di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)

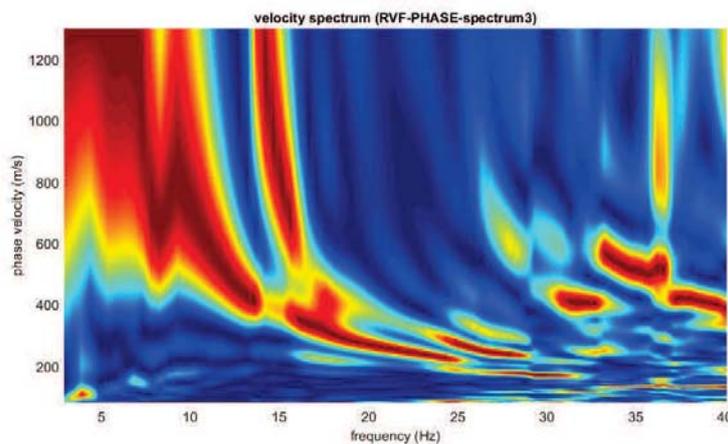


Figura 35: Spetto di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)

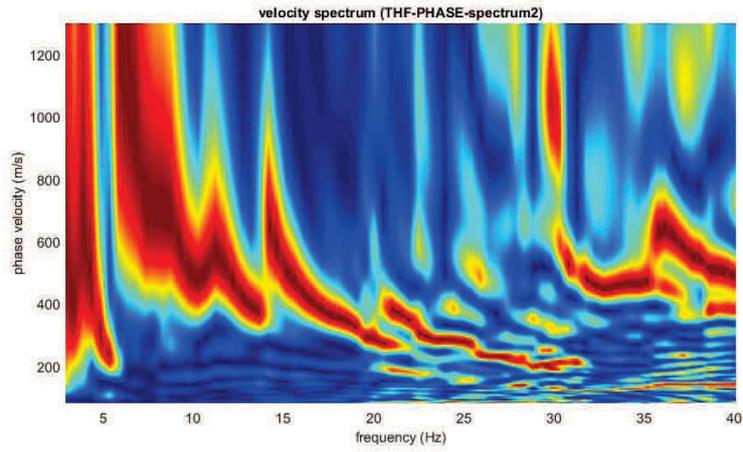
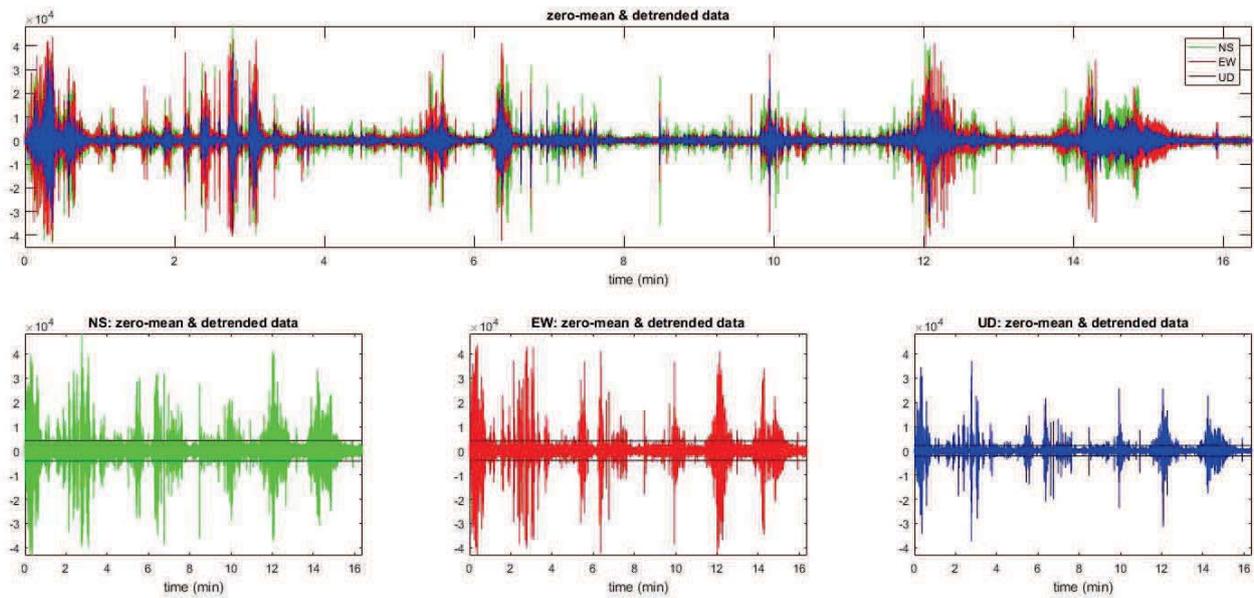


Figura 36: Spetto di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)

HVSR 2

Misura 1



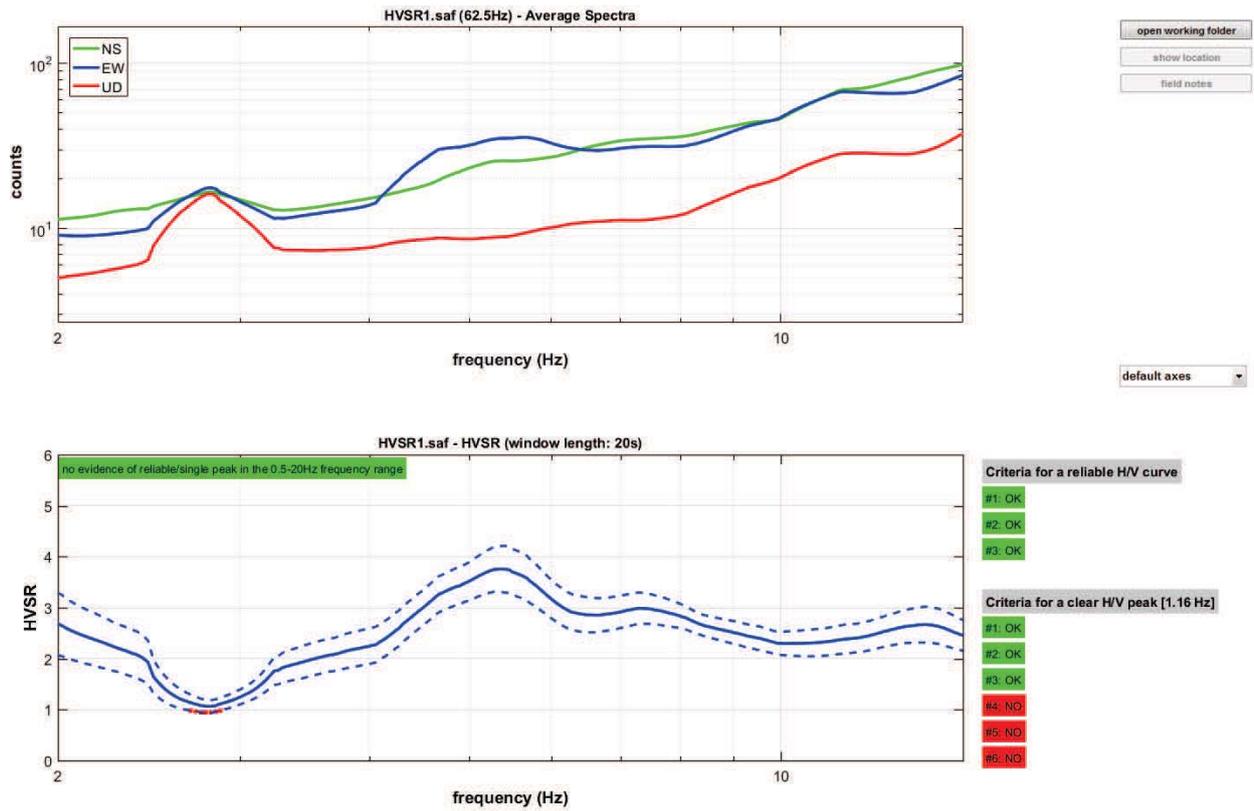
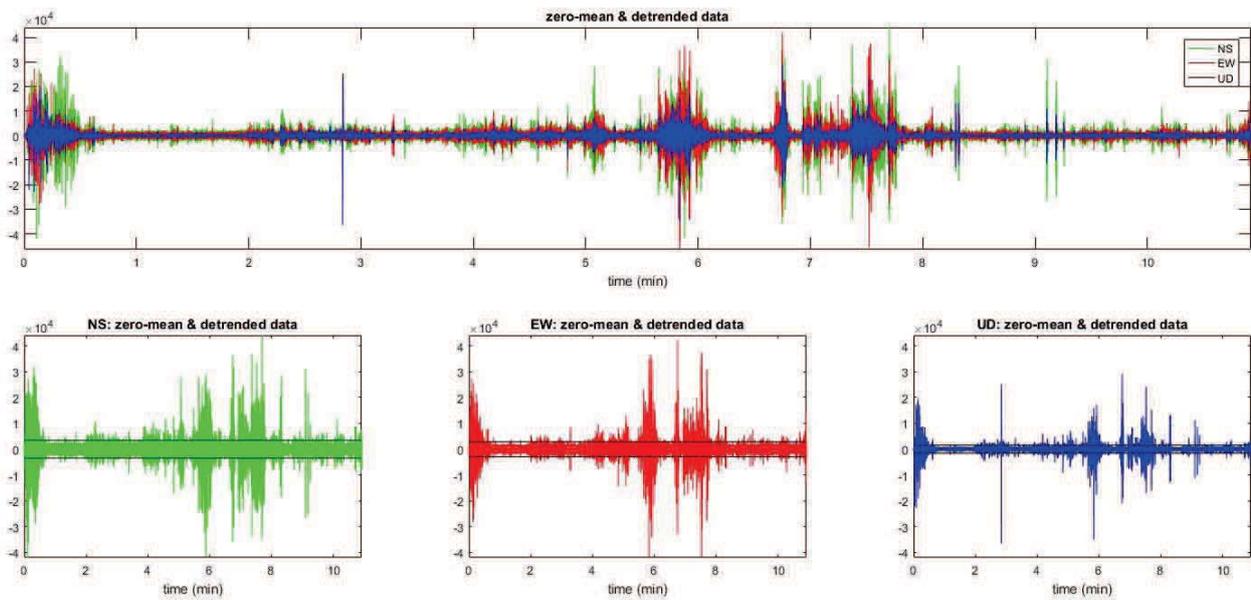


Figura 37: Dati HVSr, nella misura 1 non sono stati evidenziati picchi rappresentativi. Nella colonna di destra possiamo vedere la verifica dei criteri di ammissibilità del progetto SESAME

Misura 2



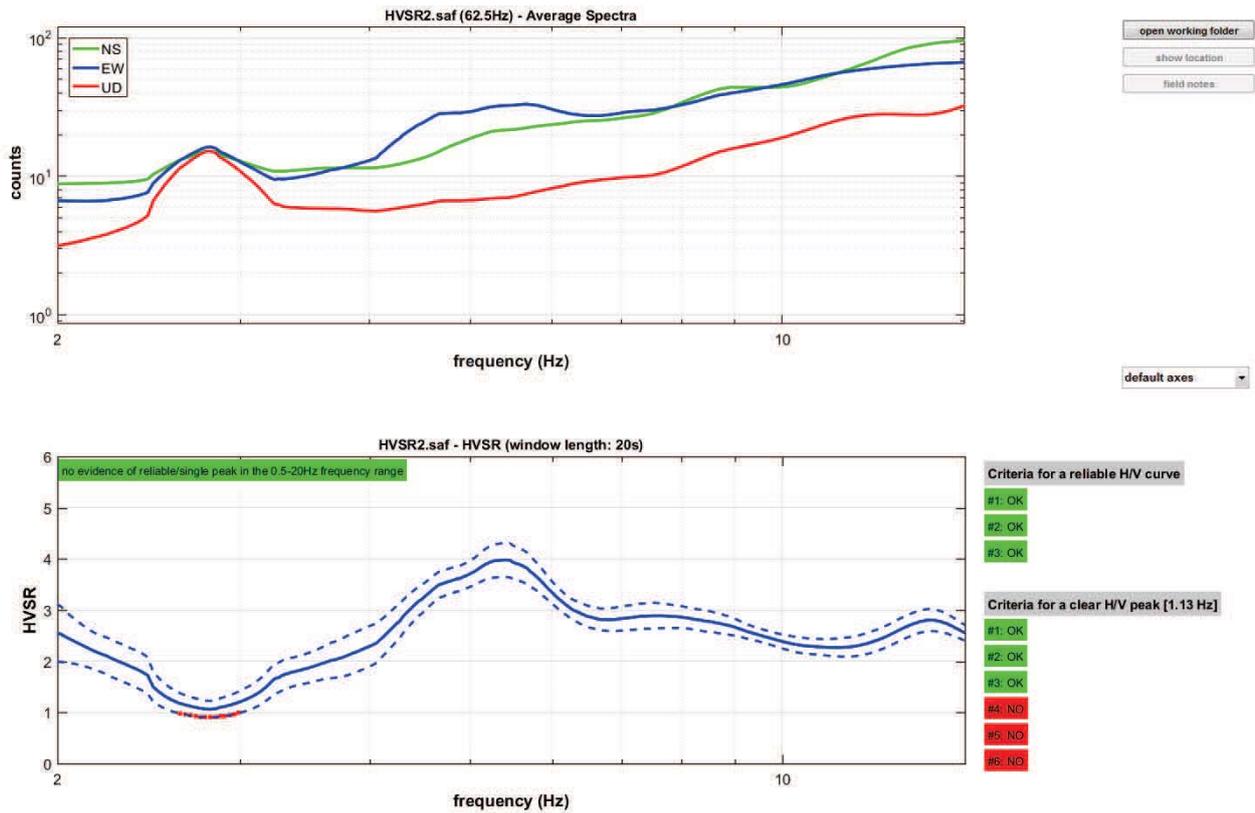


Figura 38: Dati HVS2, nella misura 2 non sono stati evidenziati picchi rappresentativi. Nella colonna di destra possiamo vedere la verifica dei criteri di ammissibilità del progetto SESAME

ANALISI CONGIUNTA ONDE RAYLEIGH E LOVE

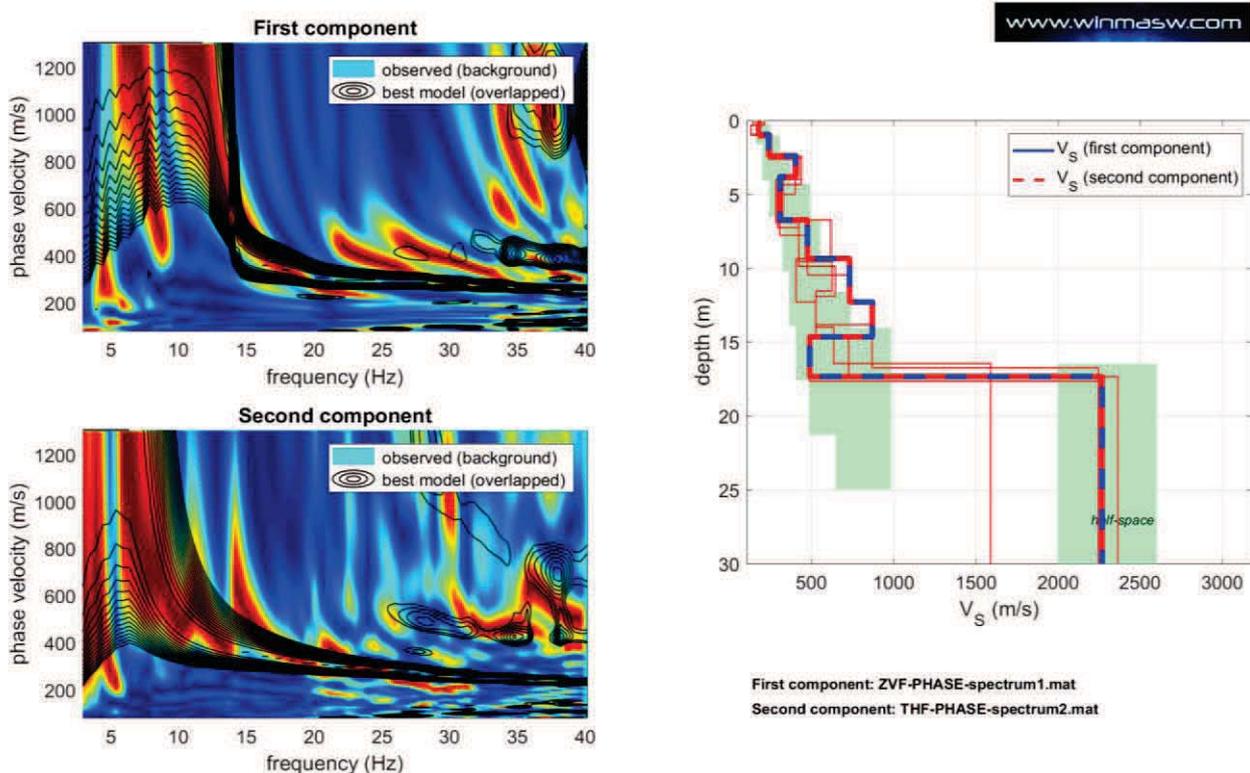


Figura 39: Inversione congiunta Full velocity spectral Rayleigh e Love

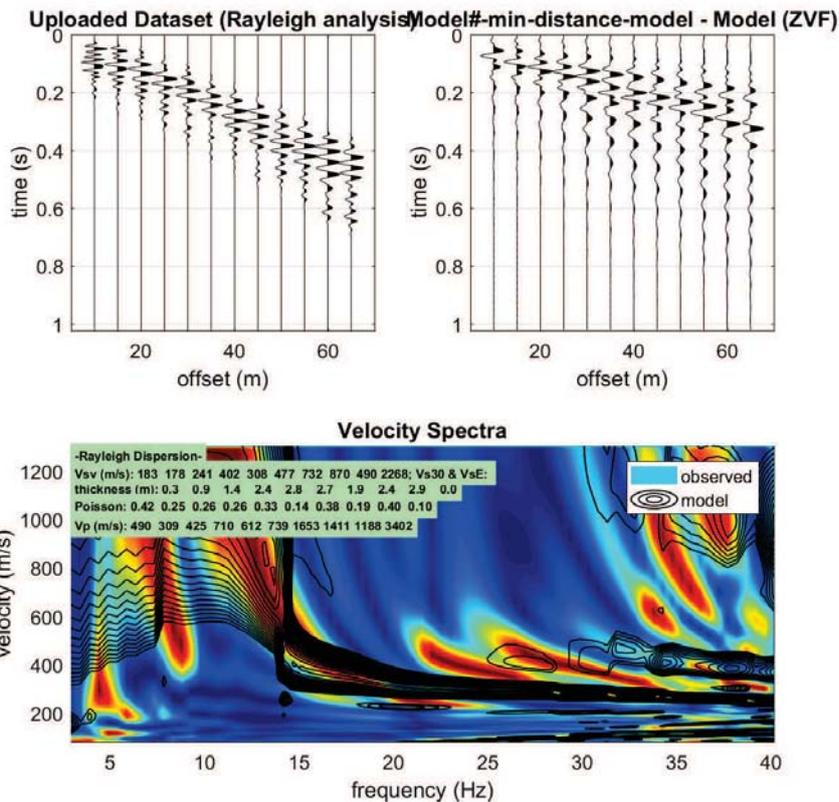


Figura 40: Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Rayleigh

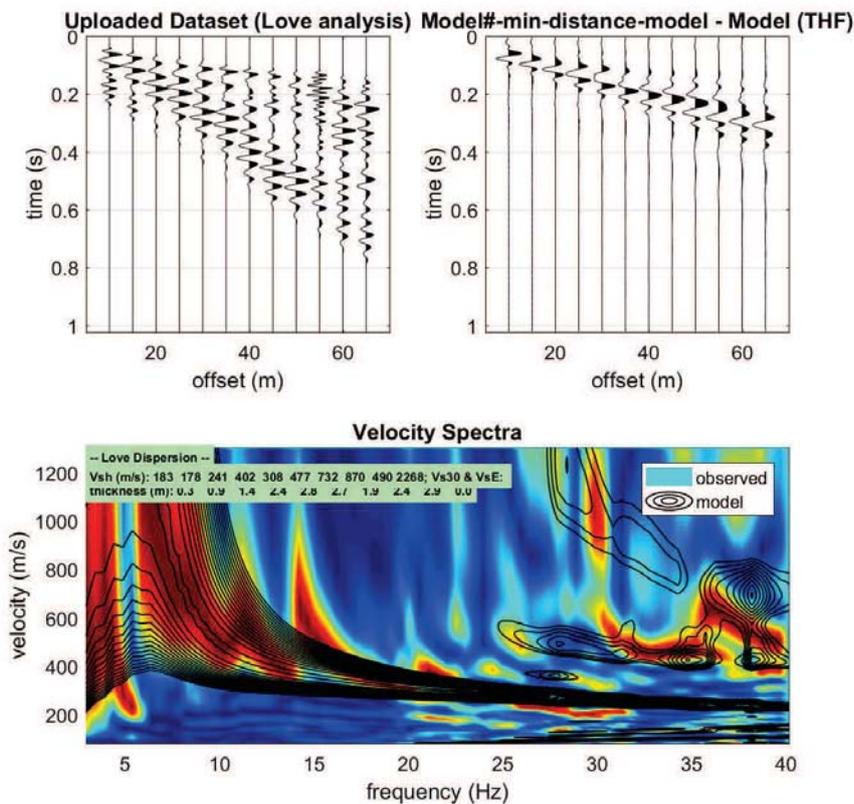


Figura 41: Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Love

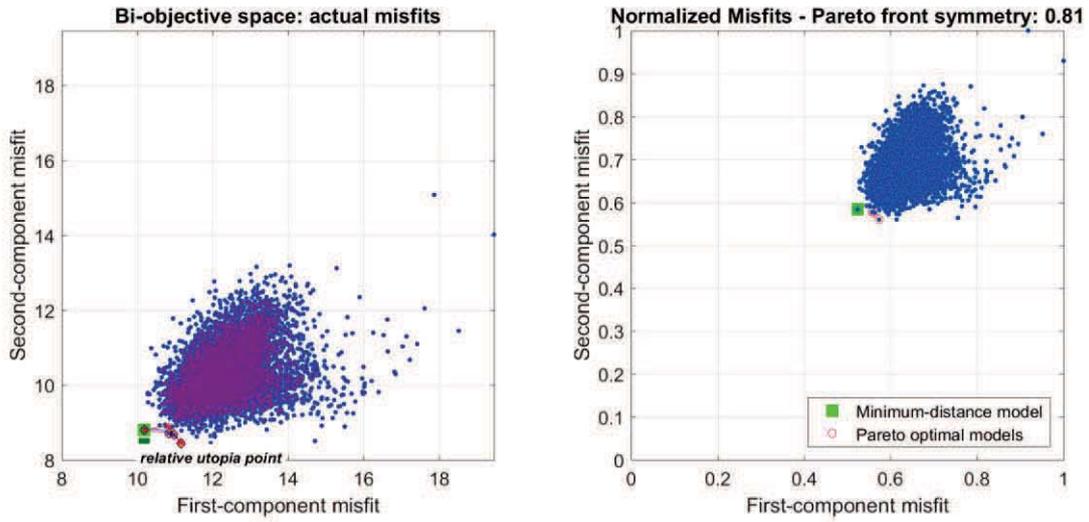


Figura 42: Diagramma distribuzione pareto ed errori attuale

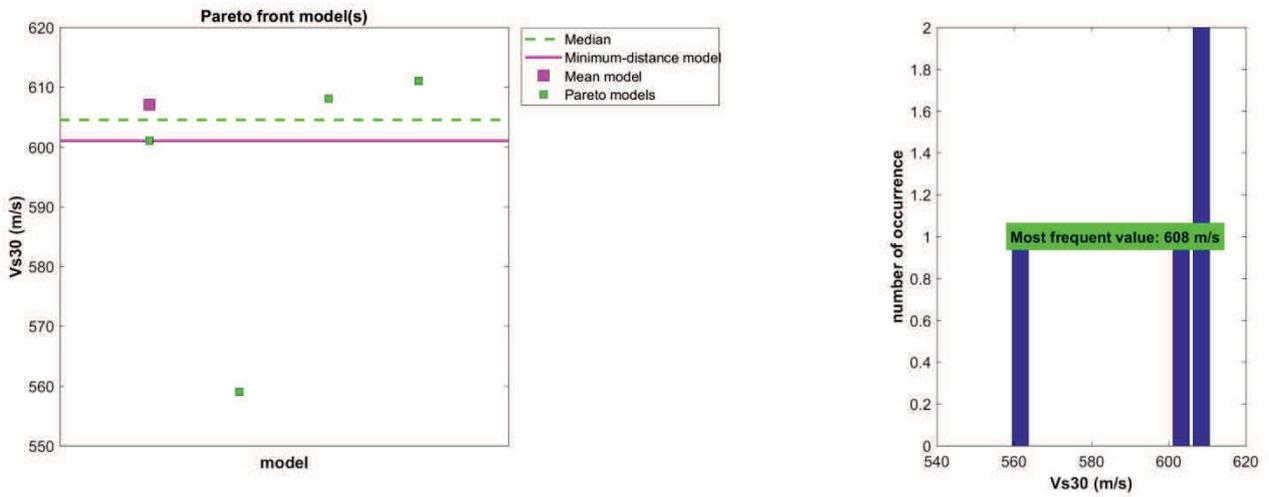


Figura 43: Correlazione Vs30 median, minimum-distance model, mean model, pareto models

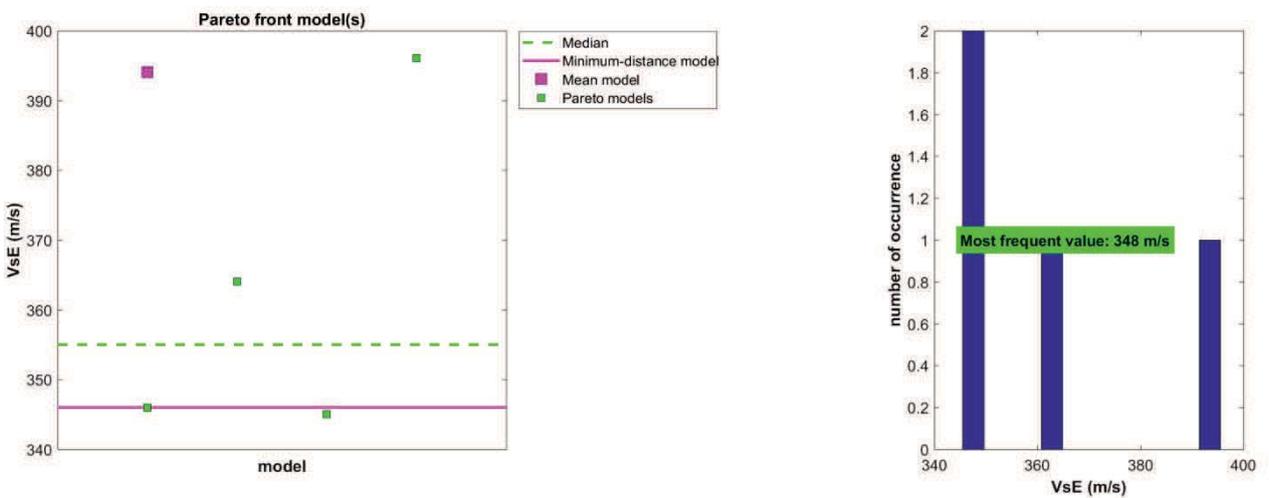


Figura 44: Correlazione VsE median, minimum-distance model, mean model, pareto models

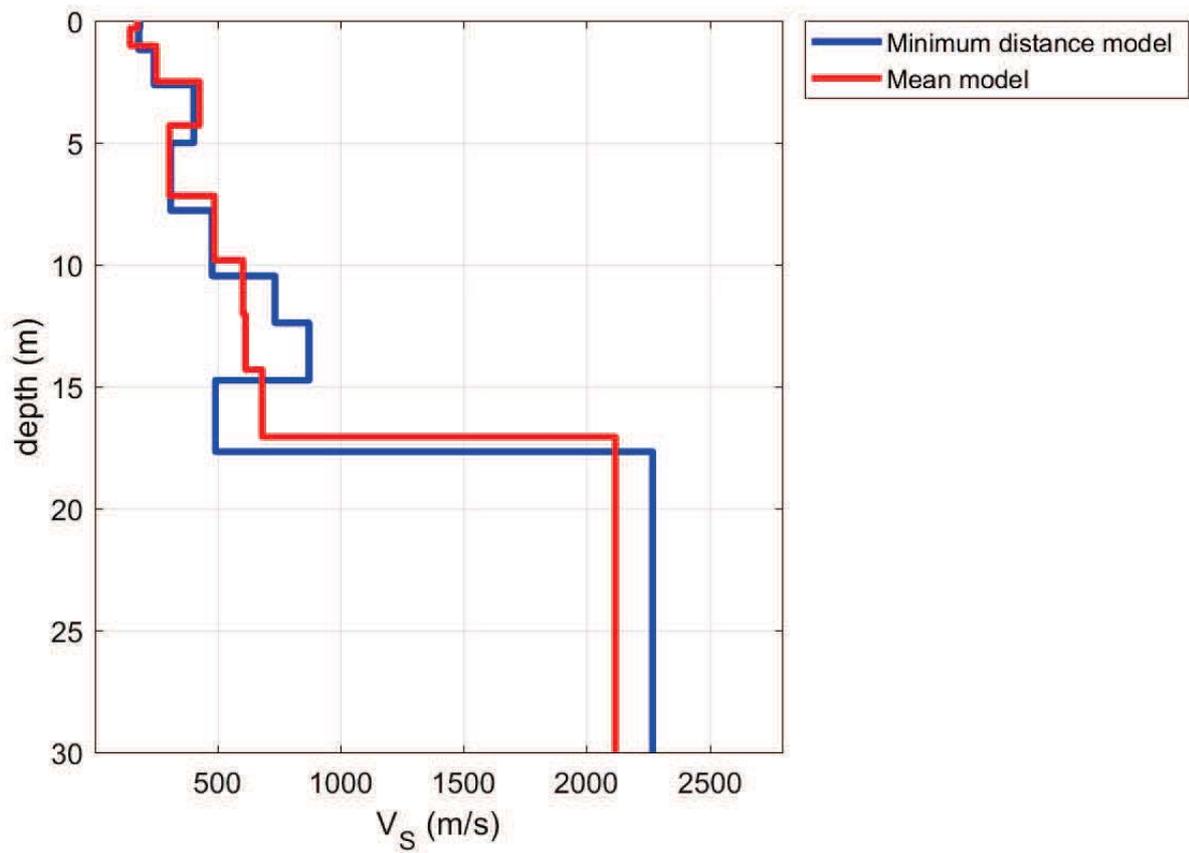


Figura 45: Profilo VS

Dati Mean Model

| | | |
|------|-----|------|
| 173 | 0.3 | 0.3 |
| 144 | 0.7 | 1.0 |
| 249 | 1.5 | 2.5 |
| 426 | 1.8 | 4.3 |
| 303 | 2.9 | 7.2 |
| 485 | 2.6 | 9.8 |
| 602 | 2.2 | 12.0 |
| 613 | 2.3 | 14.3 |
| 680 | 2.8 | 17.1 |
| 2117 | | |

Dati Best Model

| | | |
|------|-----|------|
| 183 | 0.3 | 0.3 |
| 178 | 0.9 | 1.2 |
| 241 | 1.4 | 2.6 |
| 402 | 2.4 | 5.0 |
| 308 | 2.8 | 7.8 |
| 477 | 2.7 | 10.5 |
| 732 | 1.9 | 12.4 |
| 870 | 2.4 | 14.8 |
| 490 | 2.9 | 17.7 |
| 2268 | | |

Figura 46: Dati modello medio e modello migliori

Minimum Vs30 (m/s): 559

Maximum Vs30 (m/s): 611

Minimum VsE (m/s): 345

Maximum VsE (m/s): 396

Best model:

Vs (m/s): 183, 178, 241, 402, 308, 477, 732, 870, 490, 2268

Vs30 (m/s): 601

VsE (m/s): 346

Thickness (m): 0.3, 0.9, 1.4, 2.4, 2.8, 2.7, 1.9, 2.4, 2.9

Mean model: (Modello utilizzato per il II livello sismico)

Vs (m/s): 173, 144, 249, 426, 303, 485, 602, 613, 680, 2117

Vs30 (m/s): 608

VsE (m/s): 348

Thickness (m): 0.3, 0.7, 1.5, 1.8, 2.9, 2.6, 2.2, 2.3, 2.8

VERIFICA ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO

La verifica di secondo livello è stata effettuata considerando sia l'intervallo di periodo tra 0.1-0.5 s per strutture relativamente basse e regolari, che per l'intervallo di periodo tra 0.5-1.5 s per strutture alte e strette.

Adesso verificheremo il fattore di amplificazione (Fa) in base al modello medio "mean" individuato con la MASW nel paragrafo precedente. Prima di tutto calcoliamo il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)} = \boxed{T = 0,14 \text{ s}}$$

ove h_i e Vs_i sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello.

Per trovare il fattore di amplificazione (Fa) è stata scelta la scheda litologia ghiaiosa, in base alle condizioni geologiche locali, che si può vedere nella figura sottostante.

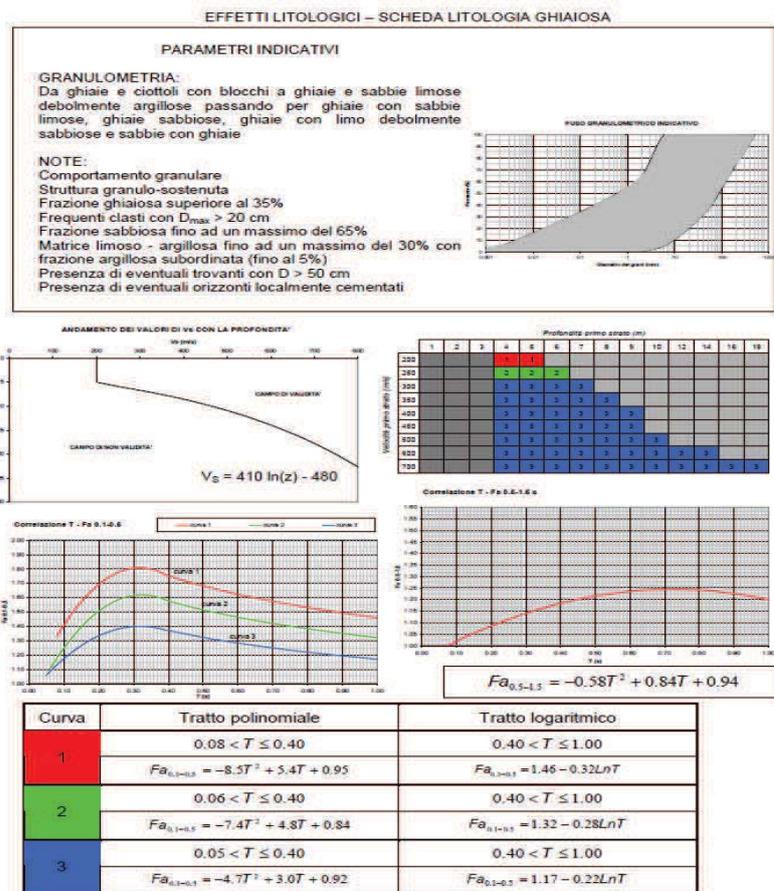


Figura 47: Scheda litologia ghiaiosa

Nella scheda litologia ghiaiosa sono stati considerati i primi 4 sismostrati come un unico strato di 4,3 metri ~ 4 metri con una velocità media di 250 m/s. Per l'intervallo di periodo 0.1 - 0.5 è stata utilizzata la formula della curva 2 verde mentre per l'intervallo di periodo 0.5 - 1.5 l'unica formula disponibile.

Fa 0.1-0.5 = 1,3669 ≤ 1.8 (soglia C) e 1,3669 ≤ 1.9 (soglia E)

Fa 0.5-1.5 = 1,0462 < 2.4 (soglia C) e 1,0462 < 3.0 (soglia E)

| Valori Soglia Comunali | Intervallo di periodo | Categoria di Suolo B | Categoria di Suolo C | Categoria di Suolo D | Categoria di Suolo E |
|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Monno | 0.1 – 0.5 | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 1.9 |
| Monno | 0.5 – 1.5 | 1.7 | 2.4 | 4.1 | 3.0 |

La **velocità delle onde equivalente (VsE)** è uguale a **348 m/s**. Valutando le amplificazione litologiche di sito e il fattore di amplificazione otteniamo che sia **per l'intervallo di periodo 0.1-0.5 che per l'intervallo di periodo 0.5-1.5** la classe di suolo è **corrispondente alla categoria C**. Essendo però il substrato inferiore ai 30 metri **la categoria di suolo corretta è la E**.

Dal Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018, le nuove categorie di sottosuolo sono:

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

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

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

4.2.5 STENDIMENTO MASW e HVSR 3



Figura 48: Ubicazione stendimento MASW e HVSR 3

L'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi 16S24-U, con geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz spaziati di 5 m con offset a 10 m, l'energizzazione è costituita da una mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), sono stati acquisiti 3 dataset differenti, tramite altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
 - 12 geofoni verticali da 4,5 Hz
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

- Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento
 - Energizzazione orizzontale su traversina in legno

Per quanto riguarda la HVSR è stato utilizzato un geofono 3d da 2 Hz collegato al sismografo Pasi 16S24-U e sono state effettuate due misurazioni, una da 15 minuti e una da 10 minuti.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 2018 Academy.

Nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF), per le Onde di Love (THF) e HVSR. Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset, a questo punto dopo svariate elaborazioni si è scelta l'analisi congiunta migliore tra le combinazioni (ZVF-THF) o (RVF-THF) o (ZVF/RVF/THF-HVSR). Scelta la combinazione per l'elaborazione da utilizzare è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzata come modello per lanciare l'inversione con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati. La combinazione utilizzata è stata (**RVF-THF**).

MASW 3

Stendimento: 65 metri Offset 10 metri Durata acquisizione 1024 ms Campionamento 1 ms

SPETTRI DI VELOCITÀ

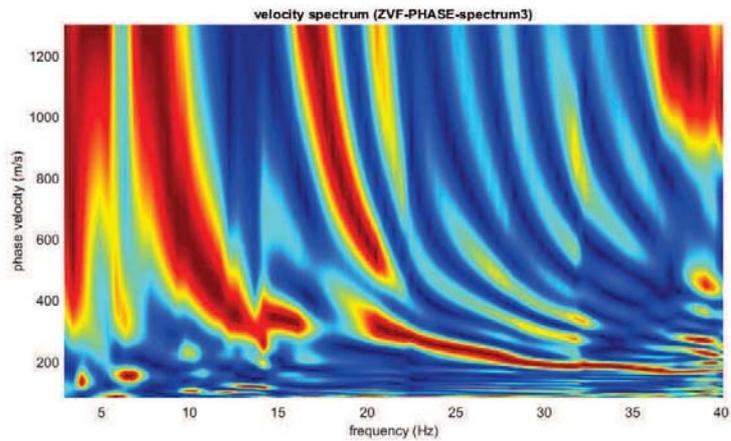


Figura 49: Spetto di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)

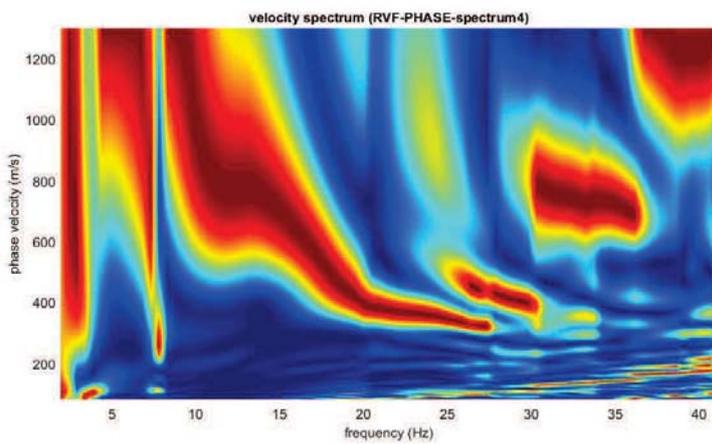


Figura 50: Spetto di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)

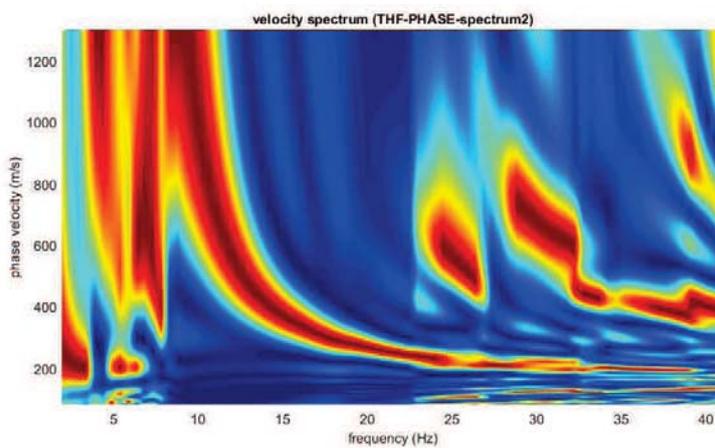


Figura 51: Spetto di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)

HVSR 3

Misura 1

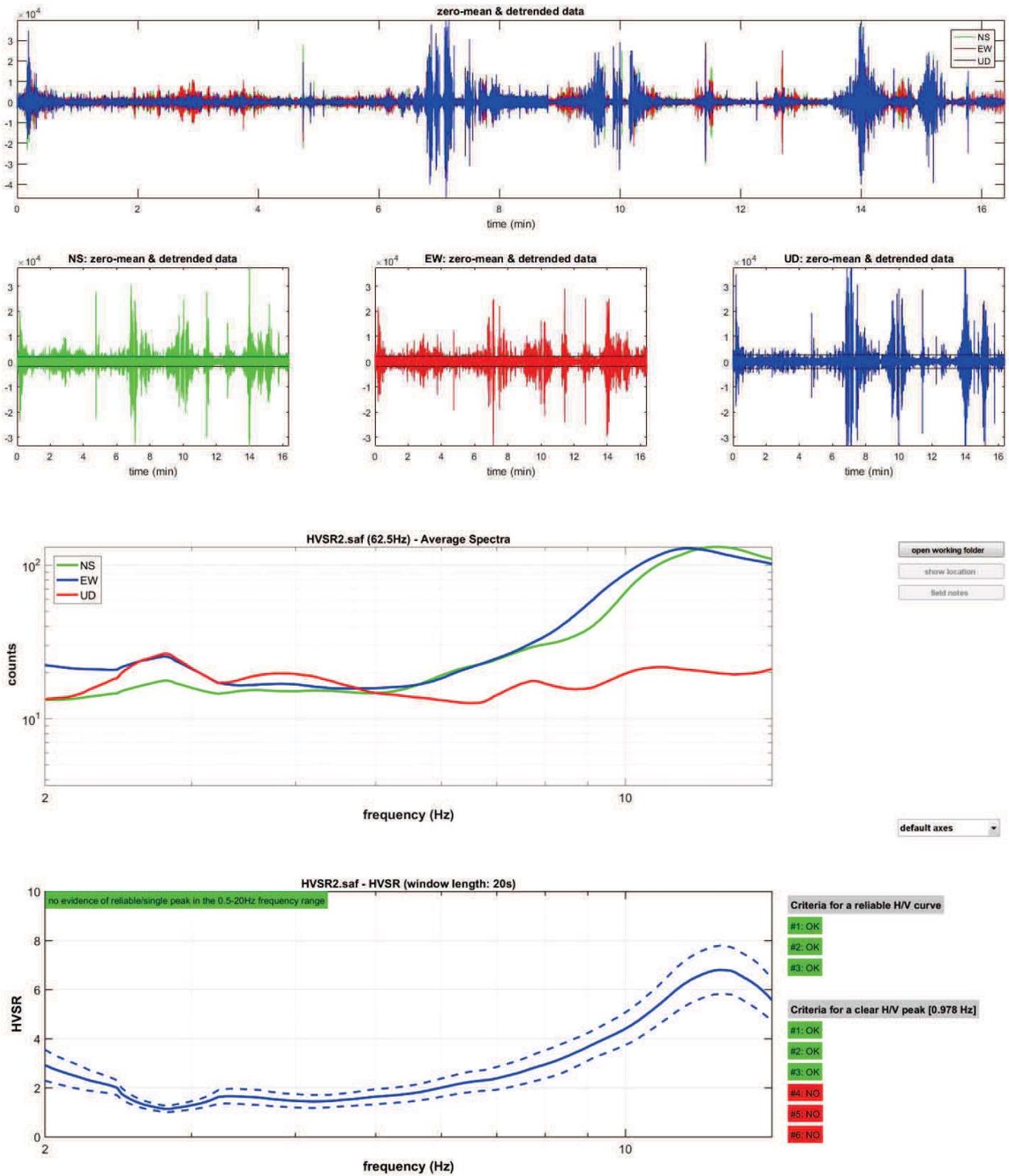


Figura 52: Dati HVSR, nella misura 1 non sono stati evidenziati picchi rappresentativi. Nella colonna di destra possiamo vedere la verifica dei criteri di ammissibilità del progetto SESAME

Misura 2

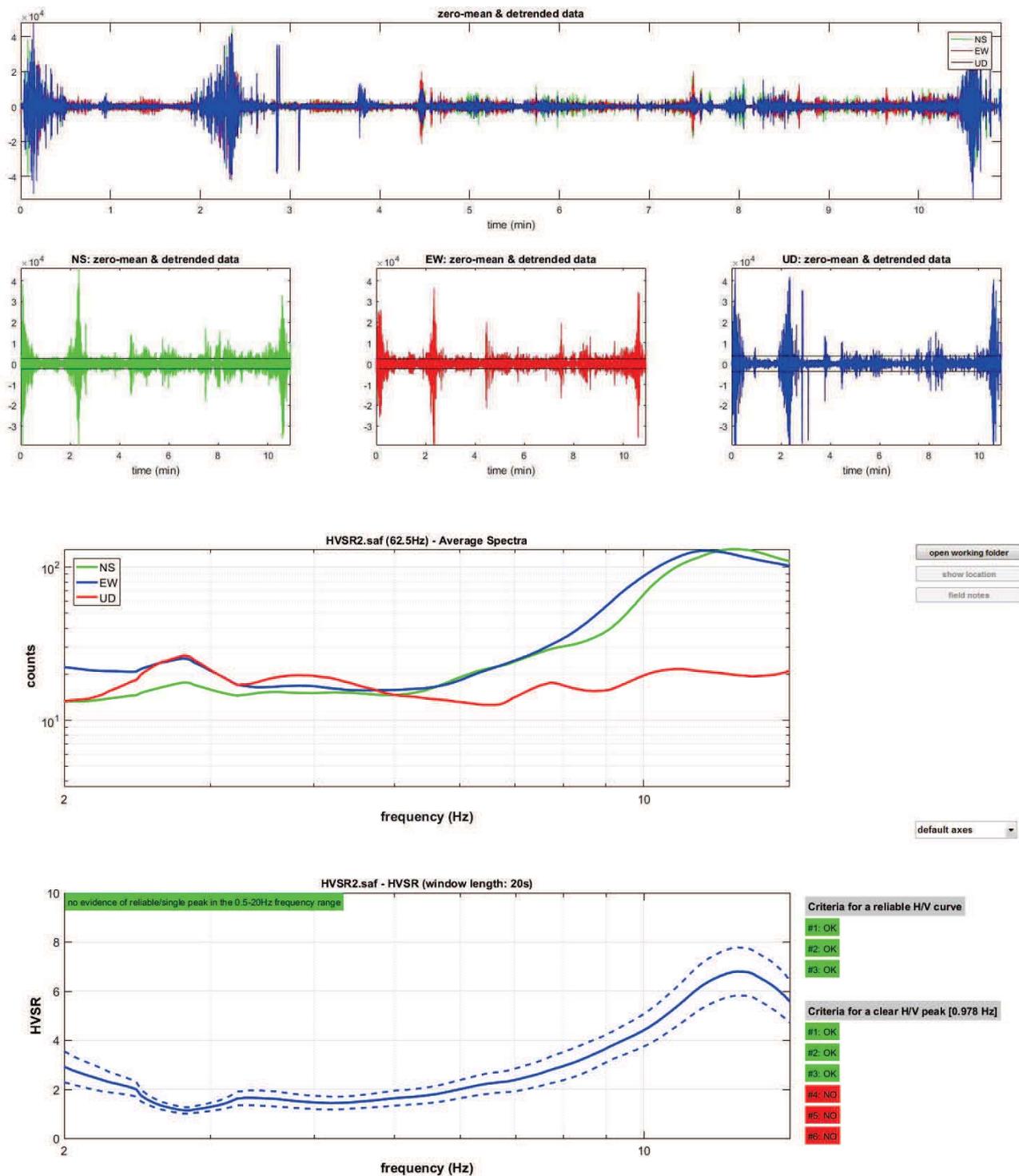


Figura 53: Dati HVSr, nella misura 2 non sono stati evidenziati picchi rappresentativi. Nella colonna di destra possiamo vedere la verifica dei criteri di ammissibilità del progetto SESAME

ANALISI CONGIUNTA ONDE RAYLEIGH E LOVE

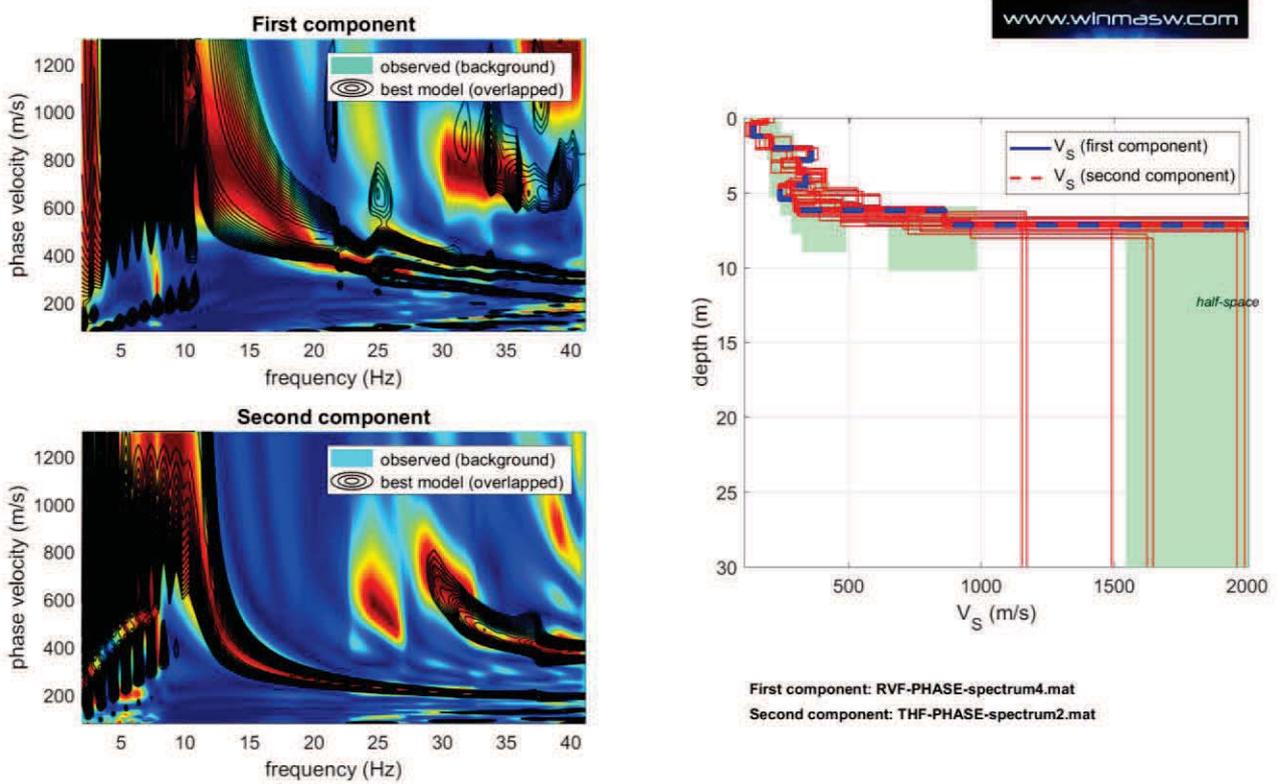


Figura 54: Inversione congiunta Full velocity spectral Rayleigh e Love

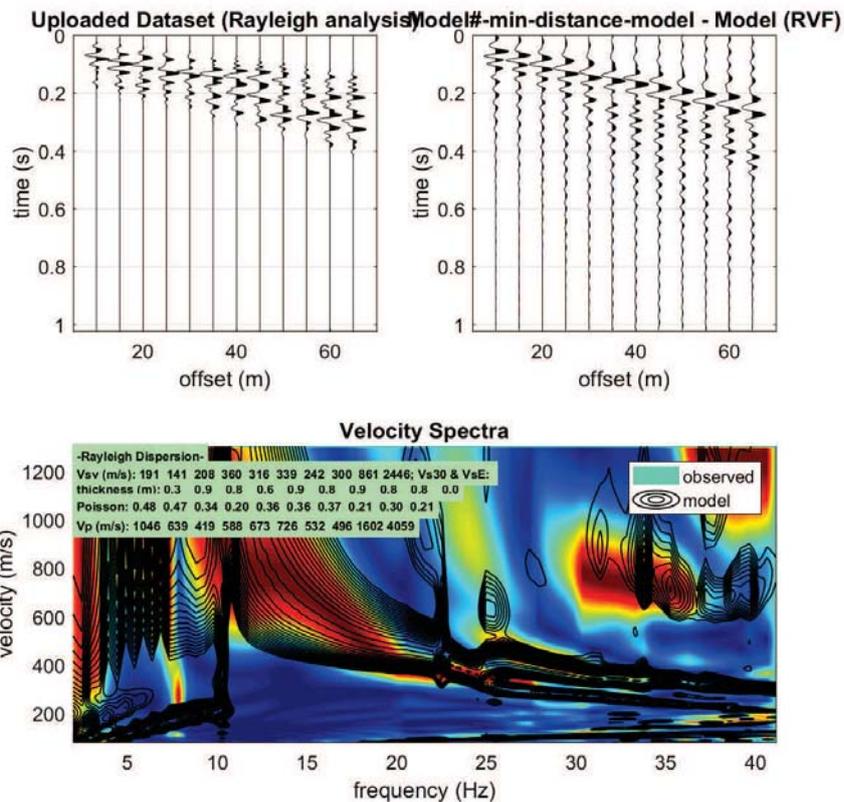


Figura 55: Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Rayleigh

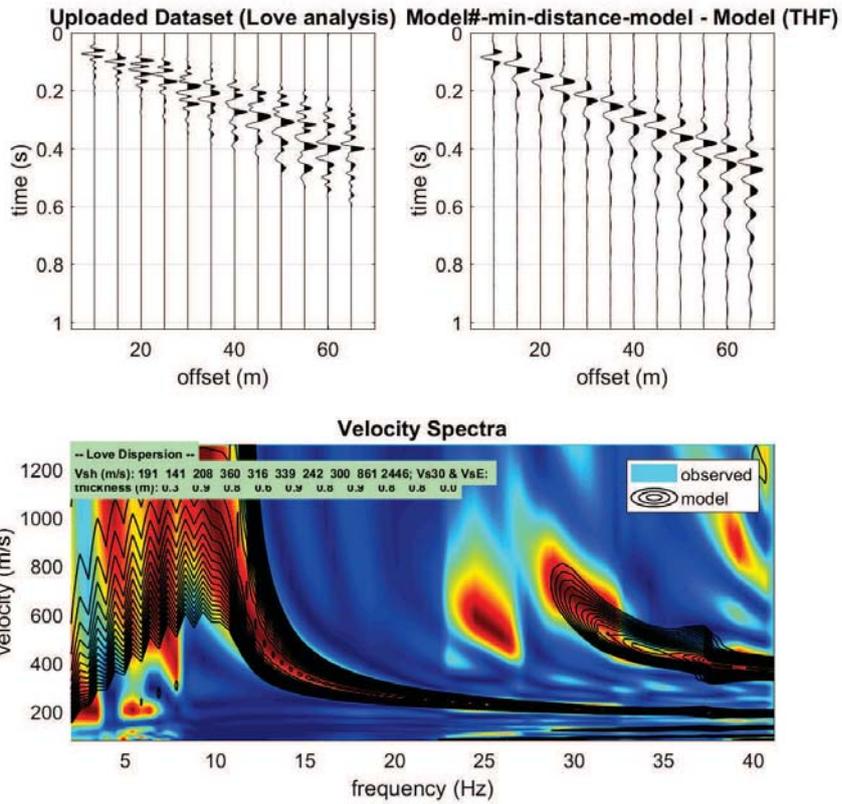


Figura 56: Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Love

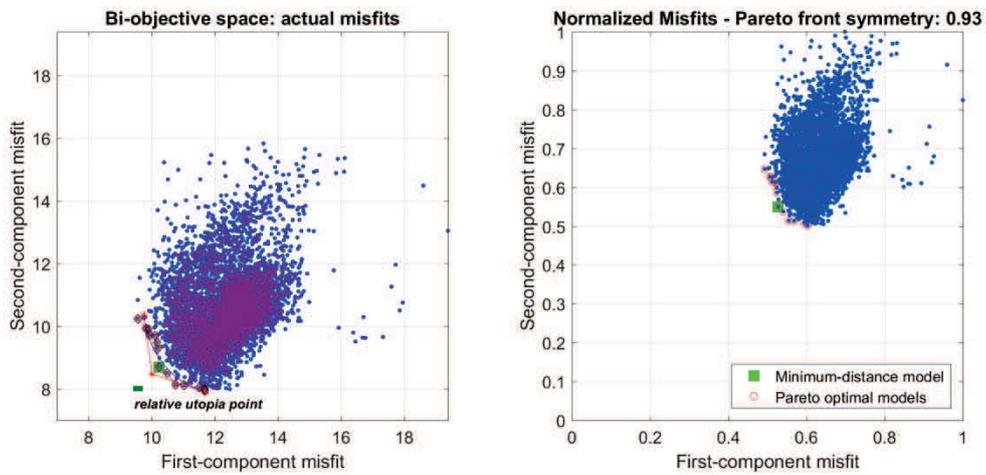


Figura 57: Diagramma distribuzione pareto ed errori attuale

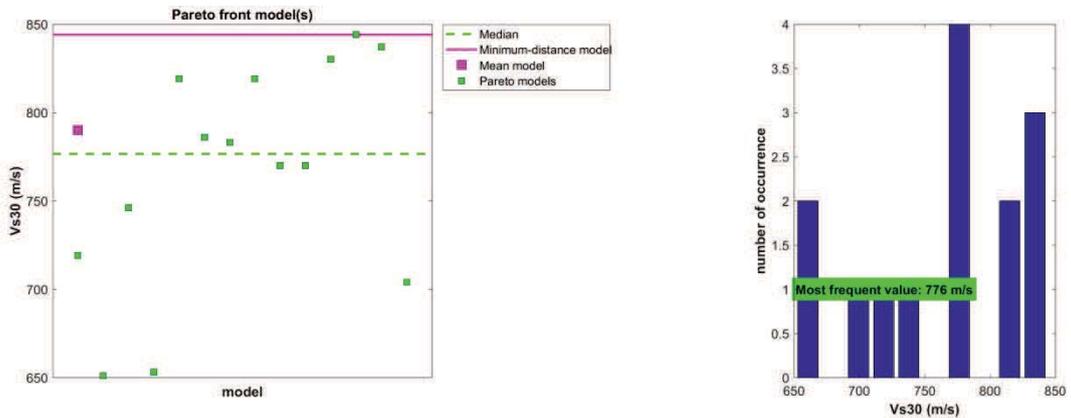


Figura 58: Correlazione Vs30 median, minimum-distance model, mean model, pareto models

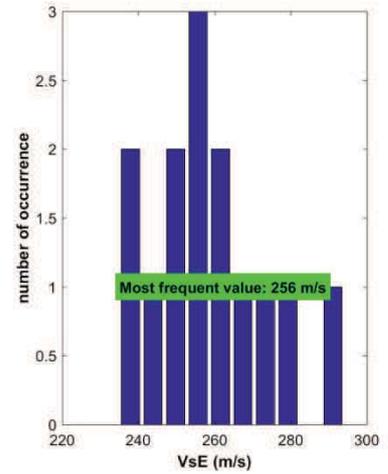
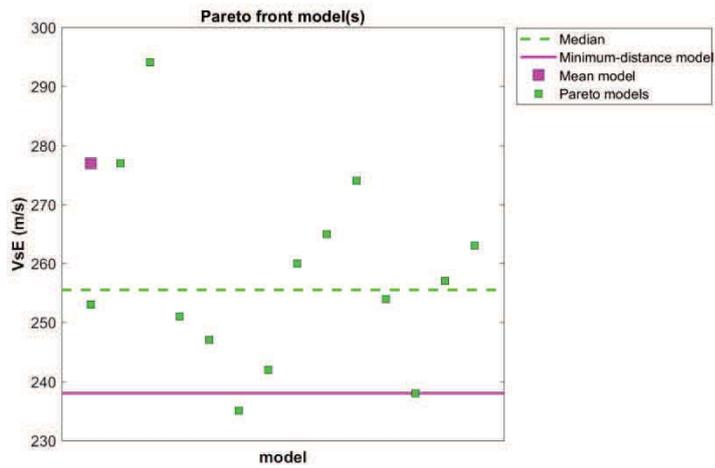


Figura 59: Correlazione VsE median, minimum-distance model, mean model, pareto models

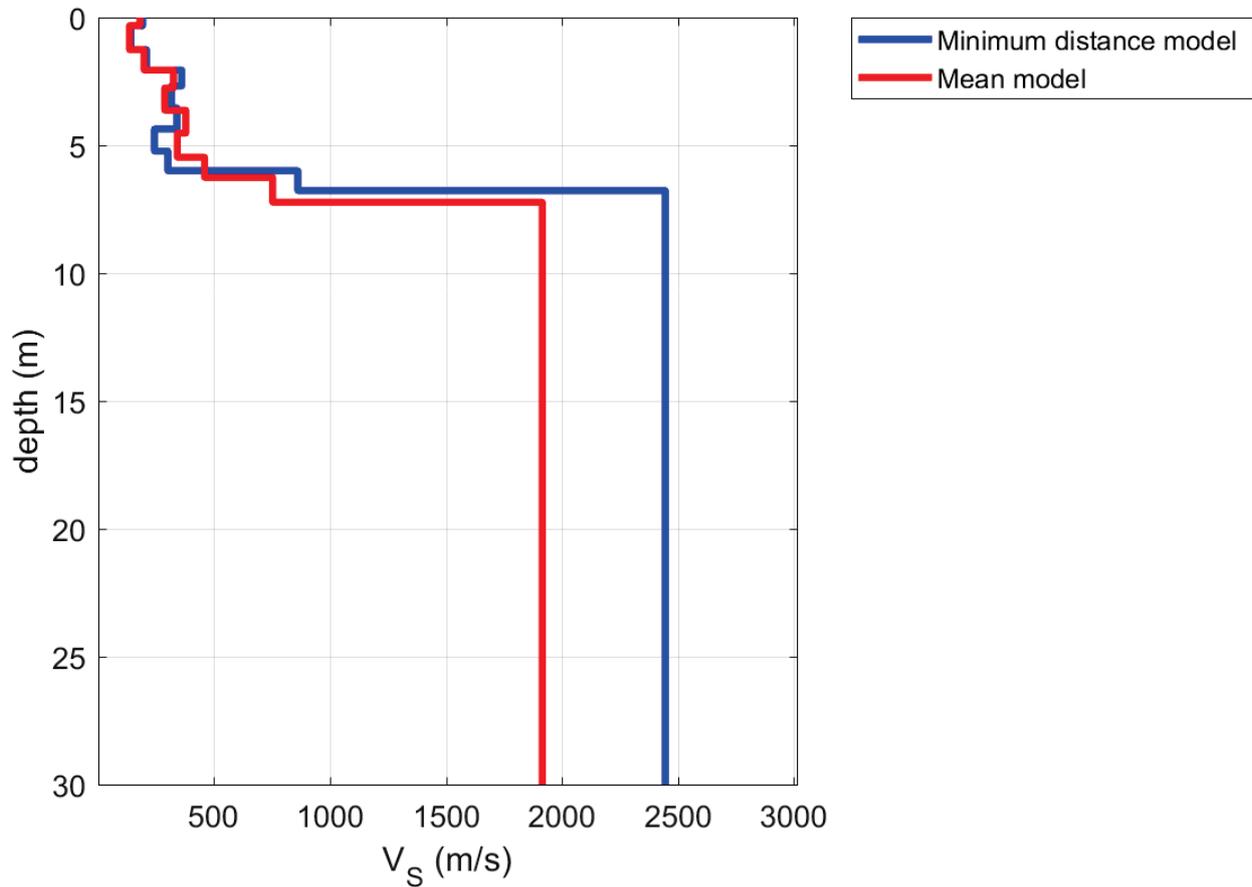


Figura 60: Profilo VS

Dati Mean Model

| | | |
|------|-----|-----|
| 180 | 0.3 | 0.3 |
| 135 | 0.9 | 1.2 |
| 198 | 0.8 | 2.0 |
| 324 | 0.7 | 2.7 |
| 287 | 0.9 | 3.6 |
| 378 | 0.9 | 4.5 |
| 341 | 0.9 | 5.4 |
| 459 | 0.8 | 6.2 |
| 753 | 1.0 | 7.2 |
| 1916 | | |

Dati Best Model

| | | |
|------|-----|-----|
| 191 | 0.3 | 0.3 |
| 141 | 0.9 | 1.2 |
| 208 | 0.8 | 2.0 |
| 360 | 0.6 | 2.6 |
| 316 | 0.9 | 3.5 |
| 339 | 0.8 | 4.3 |
| 242 | 0.9 | 5.2 |
| 300 | 0.8 | 6 |
| 861 | 0.8 | 6.8 |
| 2446 | | |

Figura 61: Dati modello medio e modello migliori

Minimum Vs30 (m/s): 651**Maximum Vs30 (m/s): 844****Minimum VsE (m/s): 235****Maximum VsE (m/s): 294****Best model:**

Vs (m/s): 191, 141, 208, 360, 316, 339, 242, 300, 861, 2446

Vs30 (m/s): 844**VsE (m/s): 238**

Thickness (m): 0.3, 0.9, 0.8, 0.6, 0.9, 0.8, 0.9, 0.8, 0.8

Mean model: (Modello utilizzato per il II livello sismico)

Vs (m/s): 180, 135, 198, 324, 287, 378, 341, 459, 753, 1916

Vs30 (m/s): 776**VsE (m/s): 256**

Thickness (m): 0.3, 0.9, 0.8, 0.7, 0.9, 0.9, 0.9, 0.8, 1.0

VERIFICA ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO

La verifica di secondo livello è stata effettuata considerando sia l'intervallo di periodo tra 0.1-0.5 s per strutture relativamente basse e regolari, che per l'intervallo di periodo tra 0.5-1.5 s per strutture alte e strette.

Adesso verificheremo il fattore di amplificazione (Fa) in base al modello medio "mean" individuato con la MASW nel paragrafo precedente. Prima di tutto calcoliamo il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)} = \boxed{T = 0,08 \text{ s}}$$

ove h_i e Vs_i sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Per trovare il fattore di amplificazione (Fa) è stata scelta la scheda litologia ghiaiosa, in base alle condizioni geologiche locali, che si può vedere nella figura sottostante.

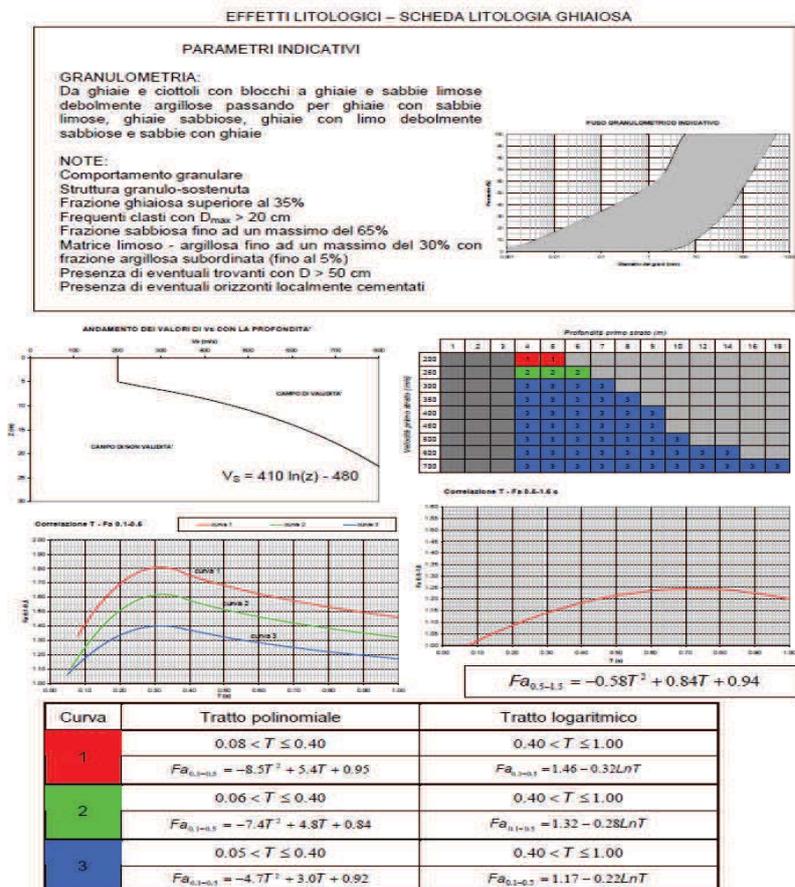


Figura 62: Scheda litologia ghiaiosa

Nella scheda litologia ghiaiosa sono stati considerati i primi 7 sismostrati come un unico strato di 5,4 metri ~ 5 metri con una velocità media di 250 m/s. Per l'intervallo di periodo 0.1 - 0.5 è stata utilizzata la formula della curva 2 verde mentre per l'intervallo di periodo 0.5 - 1.5 l'unica formula disponibile.

Fa 0.1-0.5 = $1,17 \leq 1.8$ (soglia C) e $1,17 \leq 1.9$ (soglia E)

Fa 0.5-1.5 = $1,00 < 2.4$ (soglia C) e $1,00 < 3.0$ (soglia E)

| Valori Soglia Comunali | Intervallo di periodo | Categoria di Suolo B | Categoria di Suolo C | Categoria di Suolo D | Categoria di Suolo E |
|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Monno | 0.1 – 0.5 | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 1.9 |
| Monno | 0.5 – 1.5 | 1.7 | 2.4 | 4.1 | 3.0 |

La **velocità delle onde equivalente (VsE)** è uguale a **256 m/s**. Valutando le amplificazione litologiche di sito e il fattore di amplificazione otteniamo che sia **per l'intervallo di periodo 0.1-0.5 che per l'intervallo di periodo 0.5-1.5** la classe di suolo è **corrispondente alla categoria C**. Essendo però il substrato inferiore ai 30 metri **la categoria di suolo corretta è la E**.

Dal Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018, le nuove categorie di sottosuolo sono:

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

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

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

4.2.6 STENDIMENTO MASW e HVSr 4

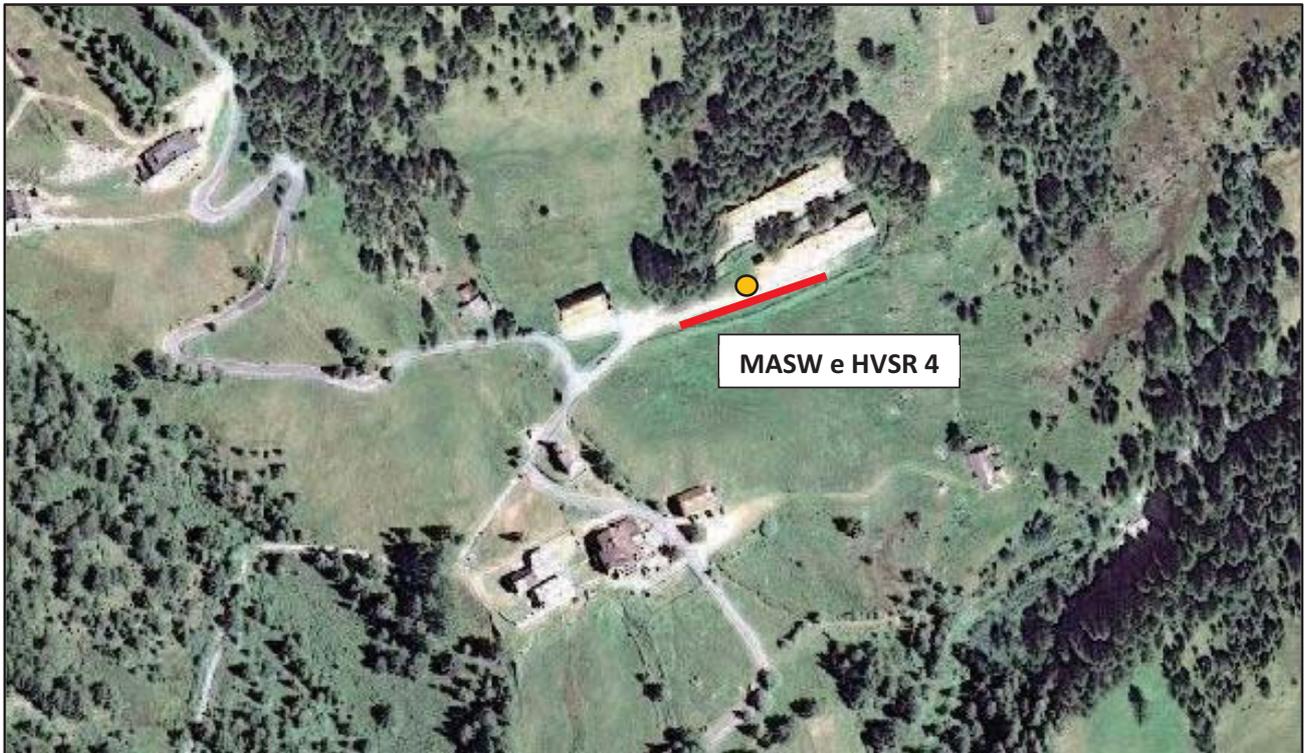


Figura 63: Ubicazione stendimento MASW e HVSr 1

L'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi 16S24-U, con geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz spazati di 5 m con offset a 10 m, l'energizzazione è costituita da una mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), sono stati acquisiti 3 dataset differenti, tramite altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
 - 12 geofoni verticali da 4,5 Hz
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

- Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento
 - Energizzazione orizzontale su traversina in legno

Per quanto riguarda la HVSR è stato utilizzato un geofono 3d da 2 Hz collegato al sismografo Pasi 16S24-U e sono state effettuate due misurazioni, una da 15 minuti e una da 12 minuti.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 2018 Academy.

Nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF), per le Onde di Love (THF) e HVSR. Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset, a questo punto dopo svariate elaborazioni si è scelta l'analisi congiunta migliore tra le combinazioni (ZVF-THF) o (RVF-THF) o (ZVF/RVF/THF-HVSR). Scelta la combinazione per l'elaborazione da utilizzare è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzata come modello per lanciare l'inversione con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati. La combinazione utilizzata è stata (**THF-HVSR1**).

MASW 4

Stendimento: 65 metri Offset 10 metri Durata acquisizione 1024 ms Campionamento 1 ms

SPETTRI DI VELOCITÀ

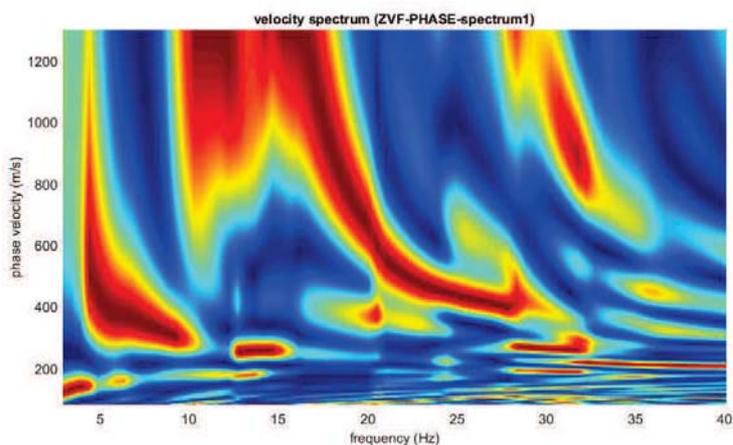


Figura 64: Spetto di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)

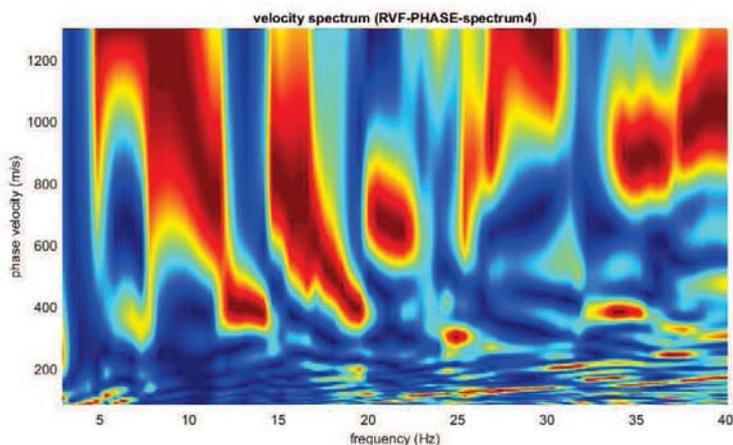


Figura 65: Spetto di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)

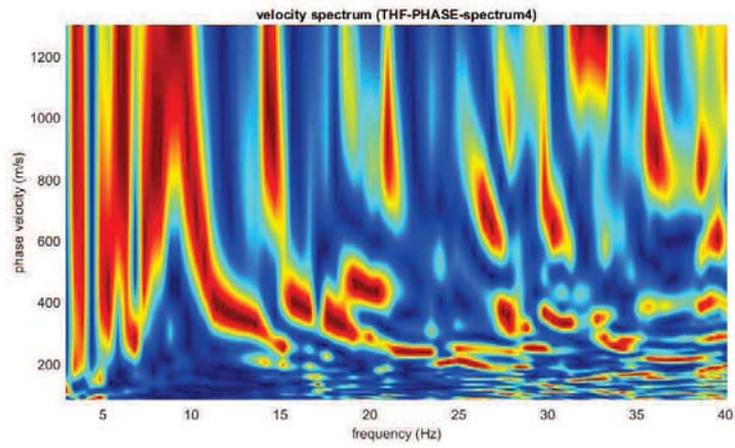
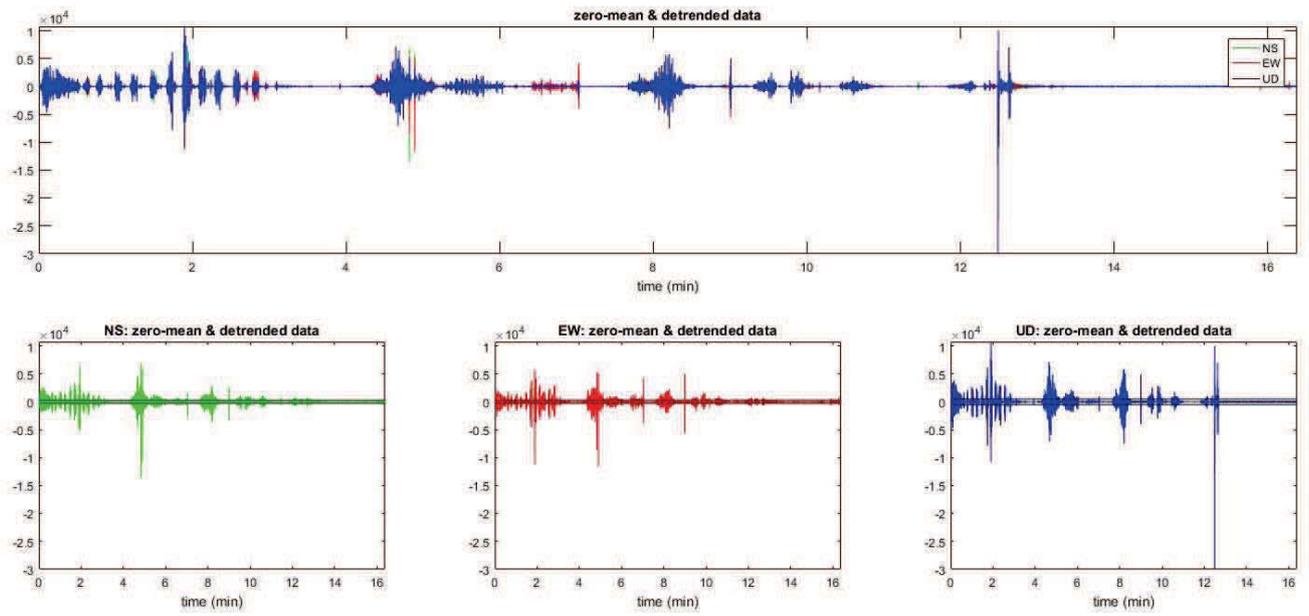


Figura 66: Spetto di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)

HVSR 4

Misura 1



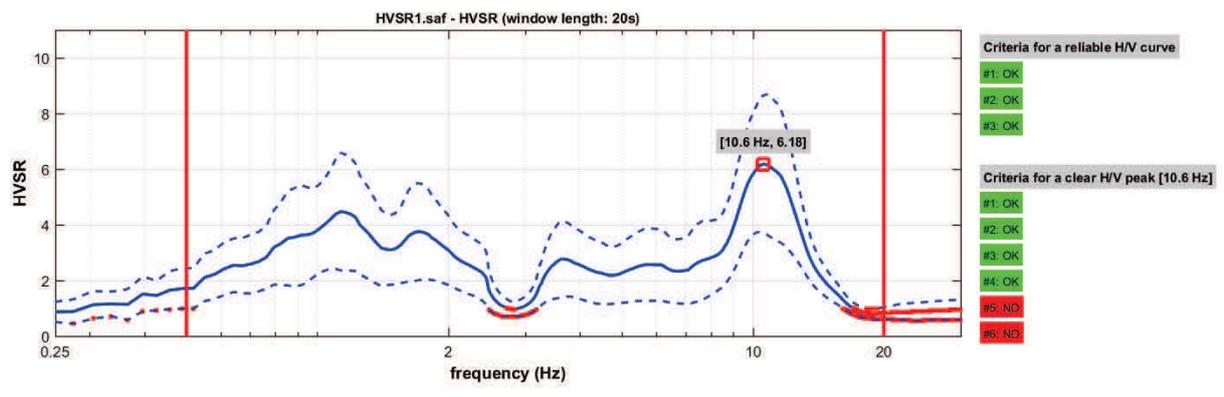
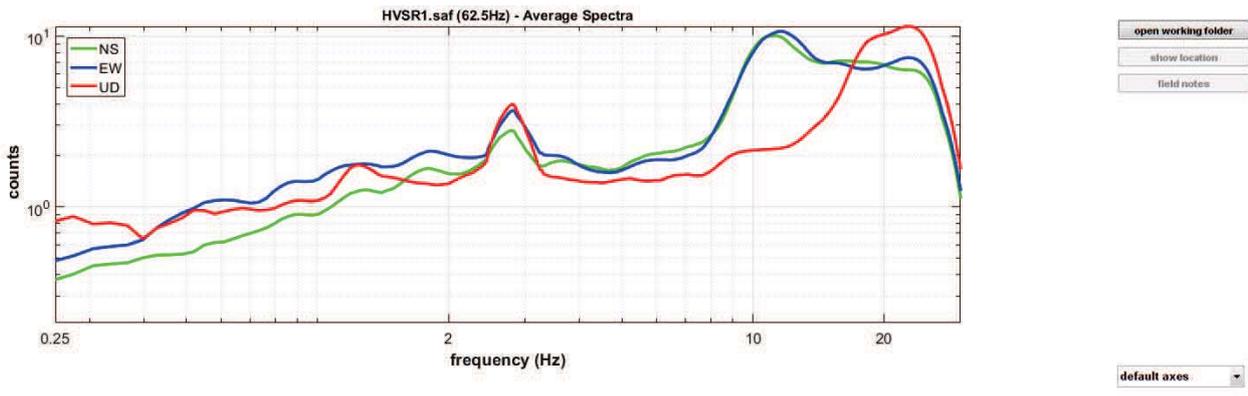
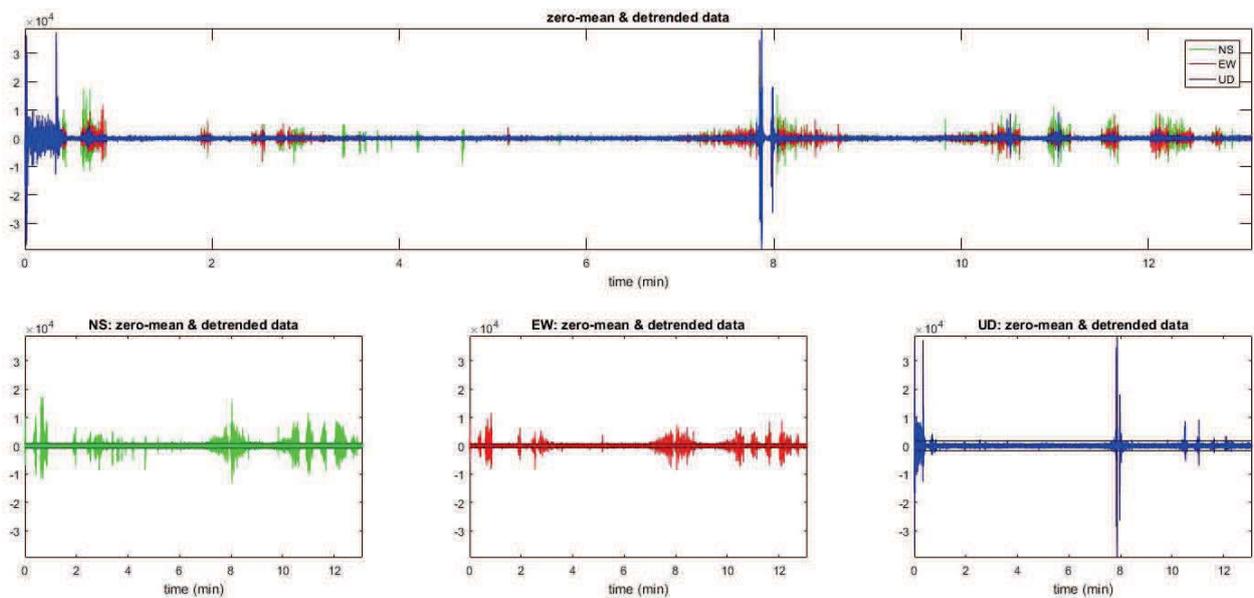


Figura 67: Dati HVSR, nella misura 1 a 10.6 Hz è stato individuato un picco di 6.18
 Nella colonna di destra possiamo vedere la verifica dei criteri di ammissibilità del progetto SESAME

Misura 2



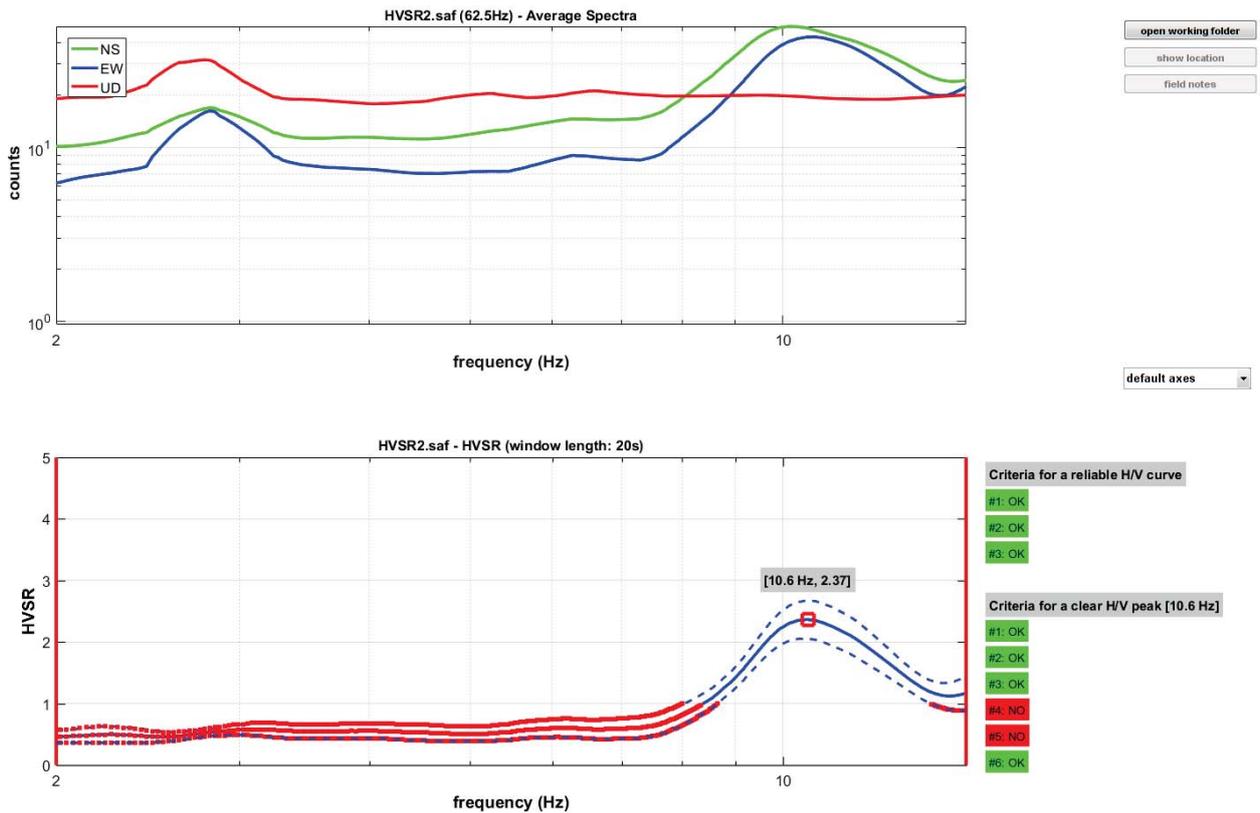


Figura 68: Dati HVS2, nella misura 2 a 10.6 Hz è stato individuato un picco di 2.37
 Nella colonna di destra possiamo vedere la verifica dei criteri di ammissibilità del progetto SESAME

ANALISI CONGIUNTA ONDE LOVE E HVS2

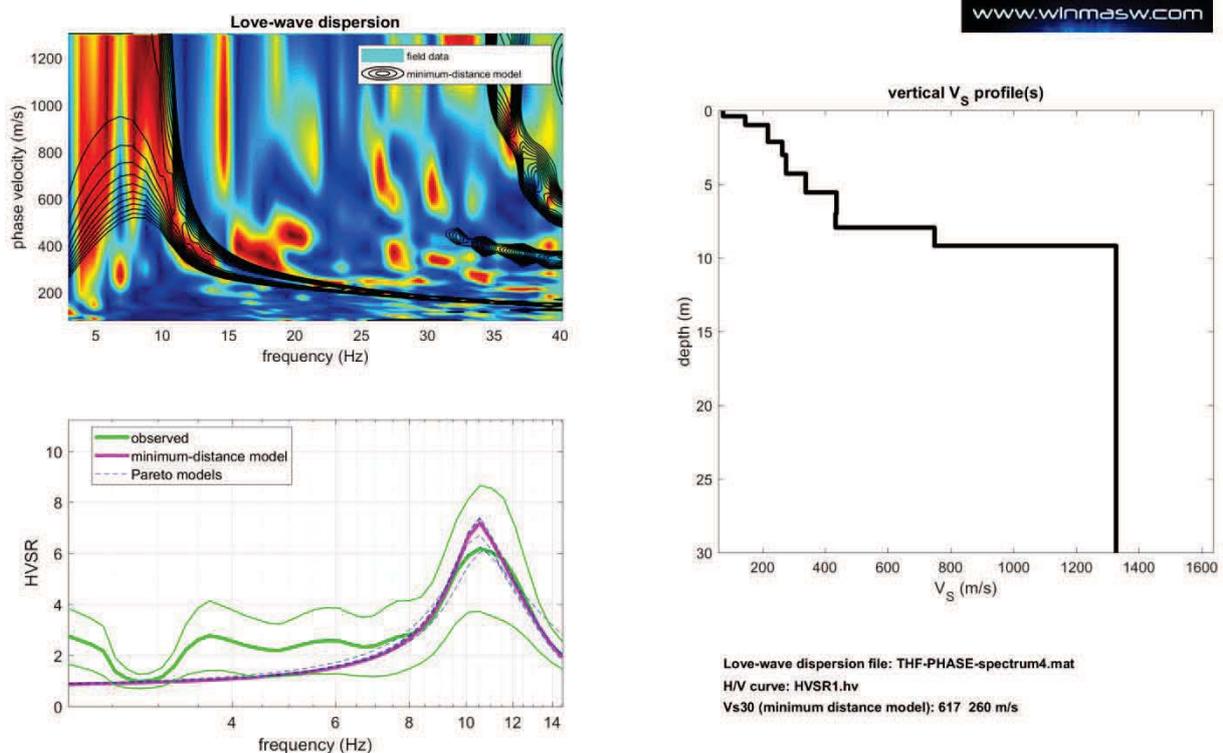


Figura 69: Analisi congiunta onde Love e HVS2 4

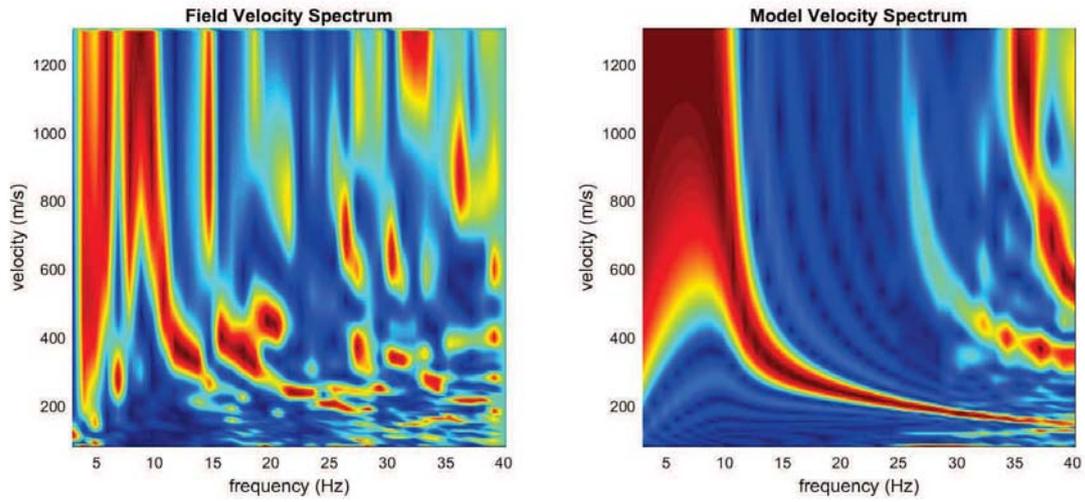


Figura 70: Modello di campo e modello sintetico

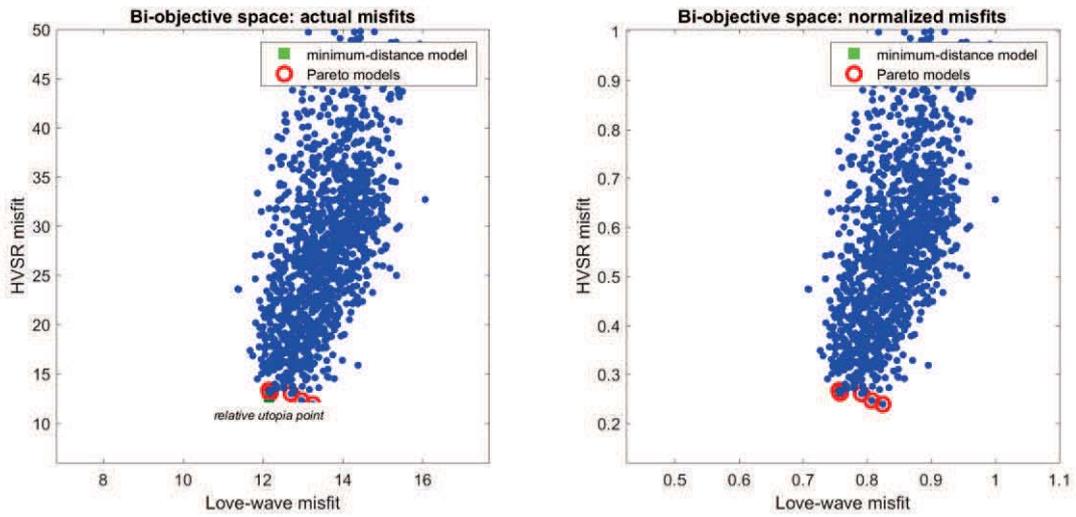


Figura 71: Grafico tra errore HVSr e Love, attuale e normalizzato

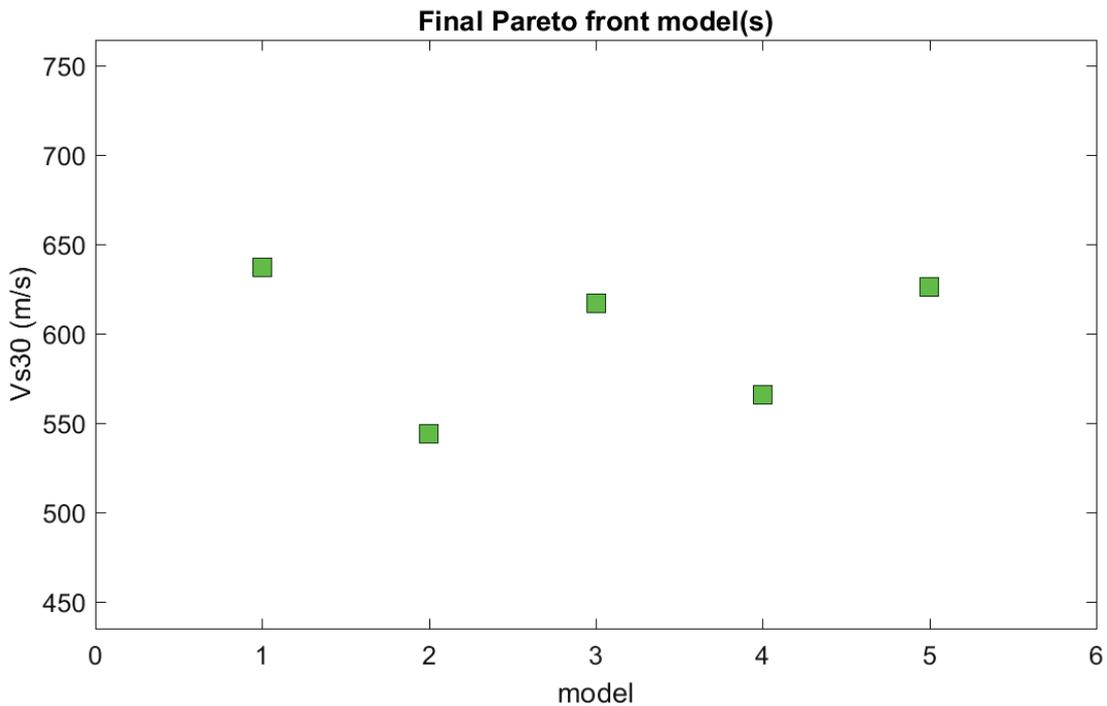


Figura 72: Distribuzione pareto Vs 30

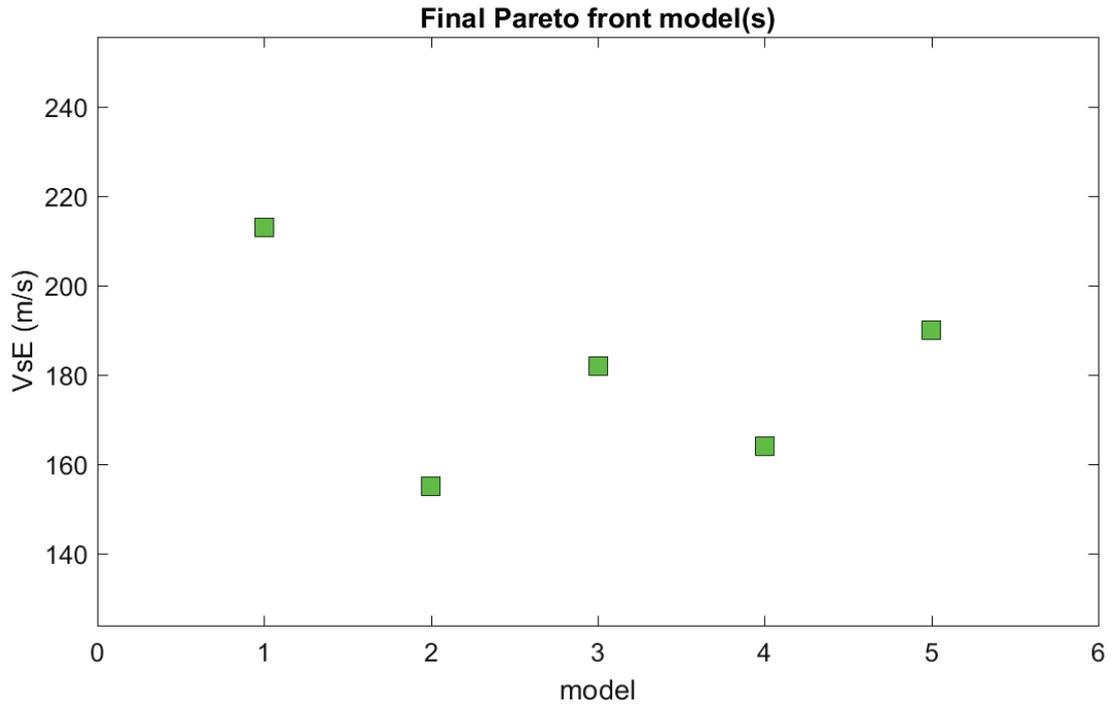


Figura 73: Distribuzione pareto VsE

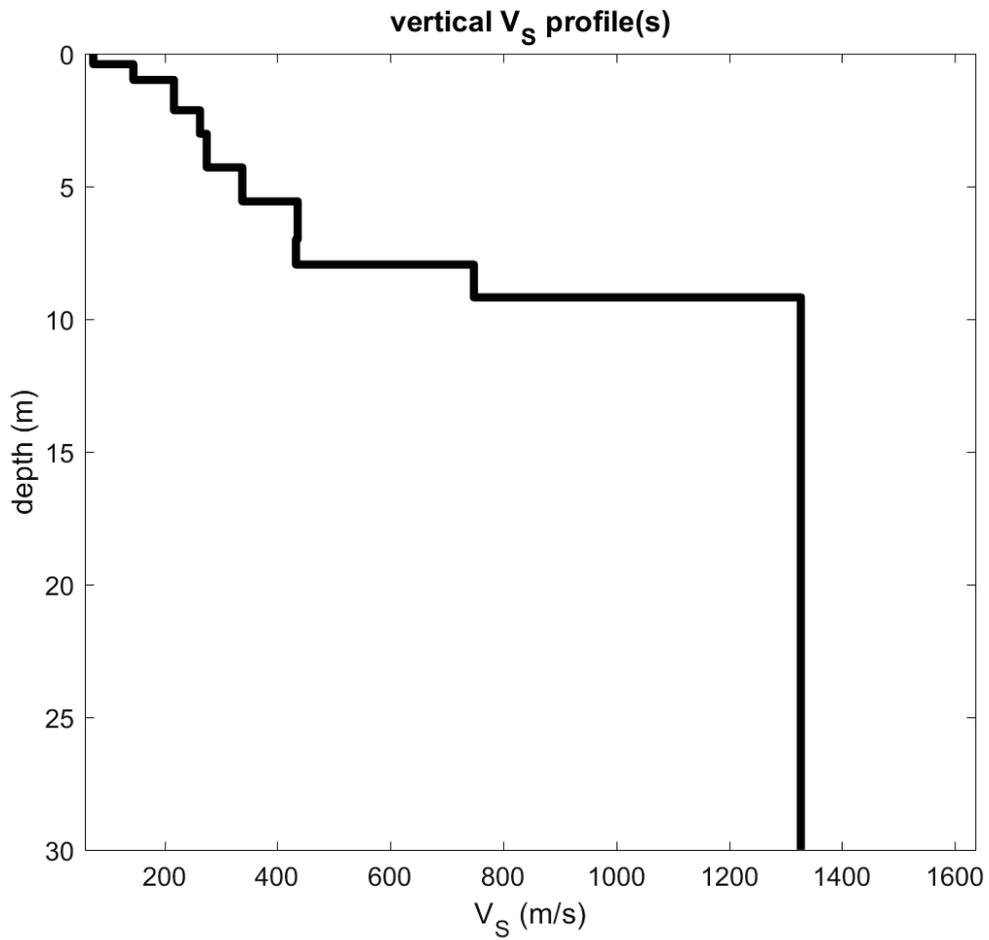


Figura 74: Profilo VS

Dati Mean Model

| | | |
|------|-----|-----|
| 74 | 0.4 | 0.4 |
| 145 | 0.6 | 1.0 |
| 217 | 1.1 | 2.1 |
| 263 | 0.9 | 3.0 |
| 275 | 1.3 | 4.3 |
| 338 | 1.3 | 5.6 |
| 436 | 1.4 | 7.0 |
| 433 | 1.0 | 8.0 |
| 748 | 1.2 | 9.2 |
| 1327 | | |

Dati Best Model

| | | |
|------|-----|-----|
| 82 | 0.5 | 0.5 |
| 154 | 0.4 | 0.9 |
| 174 | 1.0 | 1.9 |
| 337 | 0.9 | 2.8 |
| 243 | 1.4 | 4.2 |
| 256 | 1.2 | 5.4 |
| 520 | 1.8 | 7.2 |
| 425 | 0.6 | 7.8 |
| 615 | 0.9 | 8.7 |
| 1430 | | |

Figura 75: Dati modello medio e modello migliori

Minimum Vs30 (m/s): 544**Minimum VsE (m/s): 155****Maximum Vs30 (m/s): 637****Maximum VsE (m/s): 213****Best model:**

Vs (m/s): 82, 154, 174, 337, 243, 256, 520, 425, 615, 1430

Vs30 (m/s): 617**VsE (m(s): 260**

Thickness (m): 0.5, 0.4, 1.0, 0.9, 1.4, 1.2, 1.8, 0.6, 0.9

Mean model: (Modello utilizzato per il II livello sismico)

Vs (m/s): 74, 145, 217, 263, 275, 338, 436, 433, 748, 1327

Vs30 (m/s): 610**VsE (m(s): 274**

Thickness (m): 0.4, 0.6, 1.1, 0.9, 1.3, 1.3, 1.4, 1.0, 1.2

VERIFICA ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO

La verifica di secondo livello è stata effettuata considerando sia l'intervallo di periodo tra 0.1-0.5 s per strutture relativamente basse e regolari, che per l'intervallo di periodo tra 0.5-1.5 s per strutture alte e strette.

Adesso verificheremo il fattore di amplificazione (Fa) in base al modello medio "mean" individuato con la MASW nel paragrafo precedente. Prima di tutto calcoliamo il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)} = \boxed{T = 0,10 \text{ s}}$$

ove h_i e Vs_i sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Per trovare il fattore di amplificazione (Fa) è stata scelta la scheda litologia ghiaiosa, in base alle condizioni geologiche locali, che si può vedere nella figura sottostante.

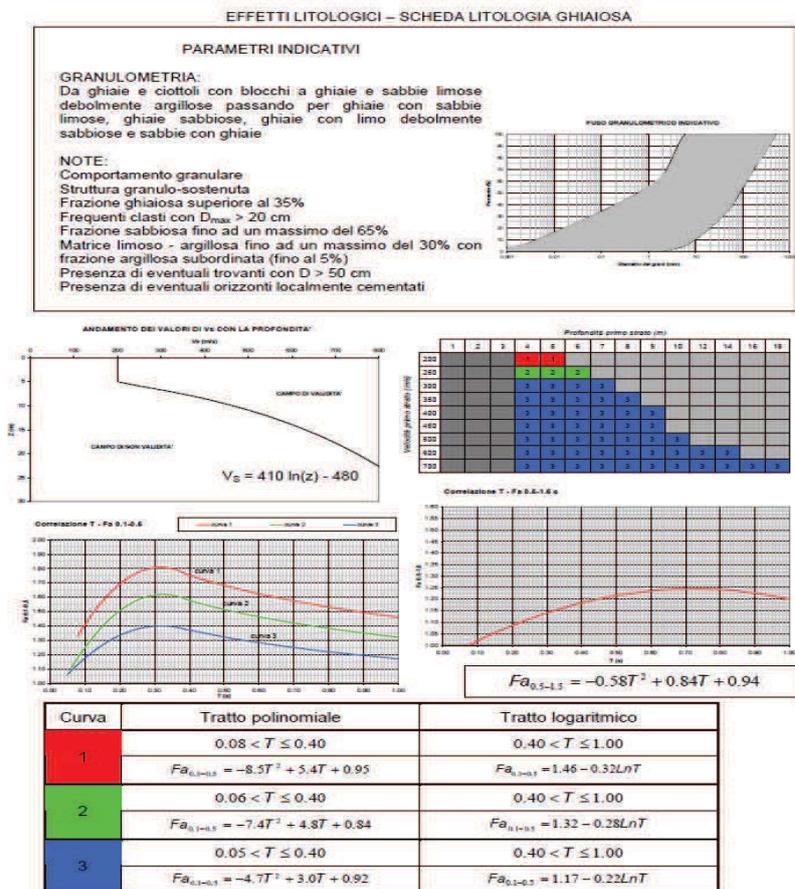


Figura 76: Scheda litologia ghiaiosa

Nella scheda litologia ghiaiosa sono stati considerati i primi 4 sismostrati come un unico strato di 4,3 metri ~ 4 metri con una velocità media di 200 m/s. Per l'intervallo di periodo 0.1 - 0.5 è stata utilizzata la formula della curva 1 rossa mentre per l'intervallo di periodo 0.5 - 1.5 l'unica formula disponibile.

Fa $0.1-0.5 = 1,405 \leq 1.8$ (soglia C)

Fa $0.5-1.5 = 1,01 < 2.4$ (soglia C)

| Valori Soglia Comunali | Intervallo di periodo | Categoria di Suolo B | Categoria di Suolo C | Categoria di Suolo D | Categoria di Suolo E |
|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Monno | 0.1 – 0.5 | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 1.9 |
| Monno | 0.5 – 1.5 | 1.7 | 2.4 | 4.1 | 3.0 |

La **velocità delle onde equivalente (VsE)** è uguale a **274 m/s**. Valutando le amplificazione litologiche di sito e il fattore di amplificazione otteniamo che sia **per l'intervallo di periodo 0.1-0.5 che per l'intervallo di periodo 0.5-1.5** la classe di suolo è **corrispondente alla categoria C**. Essendo però il substrato inferiore ai 30 metri **la categoria di suolo corretta è la E**.

Dal Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018, le nuove categorie di sottosuolo sono:

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

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

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

4.3 SINTESI ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA DI 2° LIVELLO

In precedenza sono state effettuate le procedure regionali per l'individuazione delle amplificazioni morfologiche e litologiche.

- Per quanto riguarda le amplificazioni morfologiche delle zone Z3a denominate zone di scarpata, solo nel caso della sezione D-D con scarpata ideale, le condizioni $h=0$ e $\beta=0$, necessarie per identificare una scarpata soggetta ad amplificazione sono verificate. Dalla tabella regionale per gli effetti di amplificazione morfologica per questa tipologia di scarpata si ottengono i seguenti valori:

| Classe altimetrica | Classe di inclinazione | Valore di $F_{a\ 0,1-0,5}$ | Area di influenza |
|------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| H > 40 m pari a 138 m | $20^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ | 1.2 | $A_i = 2/3 H$ pari a 92 |

- Per quanto riguarda le amplificazioni morfologiche delle zone Z3b di cresta, sul territorio comunale ne è stata individuata solamente 1, la sezione F-F con rapporto $H/L = 65\text{ m} / 232\text{ m} = 0.28$ e un fattore di amplificazione calcolato pari $F_a = 1,23$. Il valore di F_a calcolato risulta contenuto entro lo spettro coperto dalla normativa nazionale, pari a 1.4 per rilievi con pendenza media maggiore di 30° .
- Per quanto riguarda le amplificazioni litologiche Z4 con il recepimento delle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC) del DM 17 gennaio 2018, che aggiungono il concetto di Velocità delle onde S equivalente (V_{sE}), i valori F_a calcolati sia per il periodo 0,1-0,5 s che per il periodo 0,5-1,5 s risultano inferiori ai valori soglia comunali. Ricordiamo che il calcolo della V_{sE} ha portato modifiche sostanziali nel valore numerico rappresentativo, nel caso che il substrato o la $V_s \geq 800\text{ m/s}$ si trovi a meno di 30 metri di profondità.