

POLITECNICO DI TORINO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE, EDILE E GEOTECNICA
(DISEG)



CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

CURRICULUM: *GEOTECNICA*

CARATTERIZZAZIONE DINAMICA SPERIMENTALE TRAMITE REGISTRAZIONI DI NOISE AMBIENTALE E INTEGRAZIONE DI METODOLOGIE GEOFISICHE

Giacomo IMPOSA

TESI SPERIMENTALE DI LAUREA

Relatore:

Prof. Ing. **Rosario CERAVOLO**

Correlatore:

Dott. Ing. **Gaetano MIRAGLIA**

A.A. 2018-2019

POLITECNICO DI TORINO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE, EDILE E GEOTECNICA
(DISEG)



CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

CURRICULUM: *GEOTECNICA*

CARATTERIZZAZIONE DINAMICA SPERIMENTALE TRAMITE REGISTRAZIONI DI NOISE AMBIENTALE E INTEGRAZIONE DI METODOLOGIE GEOFISICHE

Giacomo IMPOSA

TESI SPERIMENTALE DI LAUREA

Relatore:

Prof. Ing. **Rosario CERAVOLO**

Correlatore:

Dott. Ing. **Gaetano MIRAGLIA**

A.A. 2018-2019

Alla mia famiglia

“Non chi comincia, ma quel che persevera”.

(Leonardo da Vinci)

SOMMARIO

PREMESSA	1
1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E SISMICITA' DELL'AREA	3
2. SISMICA PASSIVA	8
2.1 Struttura del noise sismico ambientale	9
3. MISURE DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA	11
3.1 HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)	11
3.1.1 Metodologia.....	11
3.1.2 HVSr – Onde di Volume.....	16
3.1.3 HVSr – Onde di Love.....	19
3.1.4 HVSr – Onde di Rayleigh.....	20
3.2 Strumentazione utilizzata e acquisizione dati	23
3.3 Elaborazione dati	26
3.4 Risultati e interpretazione	31
4. MISURE DI SISMICA IN ARRAY- MASW (<i>MULTICHANNEL ANALYSIS SURFACE WAVES</i>)	35
4.1 Metodologia.....	35
4.2 Strumentazione utilizzata e acquisizione dati	37
4.3 Elaborazione Dati	41
5. INTERPRETAZIONE DEI DATI TRAMITE FIT-CONGIUNTO TRA HVSr E MASW.....	43
6. SEZIONI A CONTRASTO DI IMPEDENZA.....	50
7. PROSPEZIONE GEOELETTRICA TOMOGRAFICA – ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY (ERT).....	54
7.1. Generalità.....	54
7.2. Resistività delle rocce.....	54

7.3.	Strumentazione ed acquisizione dati	58
7.4.	Parametri utilizzati per l'acquisizione	60
7.5.	Risultati e Interpretazione dei Profili e dei Blocchi Elettroresistivi.....	64
8.	TECNICA SSR - STANDARD SPECTRAL RATIO	60
8.1.	Metodologia.....	60
8.2.	Acquisizione.....	61
8.3.	Risultati SSR.....	65
8.4.	Smorzamento.....	68
8.5.	Modi torsionali.....	71
9.	MODELLAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI	75
9.1.	Modello Cad.....	75
9.2.	Modello Numerico	78
9.3.	Post-Processing	82
9.4.	Validazione preliminare dei dati sperimentali e calibrazione.....	94
10.	CONCLUSIONI	104
	BIBLIOGRAFIA	107
	RINGRAZIAMENTI	110
	ALLEGATI.....	112

INDICE FIGURE

Fig. 1: Carta geologica dell'area di studio con l'ubicazione dei sondaggi meccanici (modificato da Monaco et al., 2000).....	4
Fig. 2: Profilo geologico n.7 (modificato da Monaco et al., 2000).....	5
Fig. 3: Colonne stratigrafiche relative ai sondaggi geognostici effettuati in prossimità dell'area di studio.....	6
Fig. 4: Storia sismica dell'area urbana di Catania (da DBMI15).....	7
Fig. 5: Schema di riflessione multipla in corrispondenza di una copertura soffice su bedrock.....	13
Fig. 6: Esempio di bedrock sismico a diverse profondità che genera risonanze a diverse frequenze. Caso 1: bedrock a 300 m di profondità, caso 2: bedrock a 20 m di profondità, caso 3: bedrock a 4 m di profondità; B) relazione $V-f_0-H$ alle medio-alte frequenze; C).....	15
Fig. 7: Schema di propagazione delle onde di volume di tipo P.....	16
Fig. 8: Schema di propagazione delle onde di volume di tipo S.....	17
Fig. 9: Schema di propagazione delle onde superficiali di tipo Love.....	19
Fig. 10: Schema di propagazione delle onde superficiali di tipo Rayleigh.....	21
Fig. 11: Strumentazione utilizzata nella campagna di acquisizione.....	24
Fig. 12: Ubicazione indagini.....	25
Fig. 13: Finestra principale del database Grilla.....	26
Fig. 14: Immagine delle tracce registrate relative a ciascuna componente N-S (verde), E-W (blu) e verticale Z (viola).....	27
Fig. 15: Finestra delle impostazioni per l'analisi della registrazione.....	28
Fig. 16: Grafico della stazionarietà del segnale dopo il processo di pulizia.....	29
Fig. 17: Spettro di frequenza (rosso) e la deviazione standard (nero).....	29
Fig. 18: Spettro di Fourier delle singole componenti del moto. Le frecce rose evidenziano la tipica forma a "occhio", indicativa della presenza di un picco di origine stratigrafica.....	30
Fig. 19: Spettri H/V relativi alle acquisizioni effettuate in via Verona.....	31
Fig. 20: Spettri H/V relativi alle acquisizioni effettuate in via Oberdan.....	32
Fig. 21: Verifica dei parametri Sesame di affidabilità della misura e di chiarezza del picco H/V per una delle acquisizioni effettuate in via Verona.....	33
Fig. 22: Verifica dei parametri Sesame di affidabilità della misura e di chiarezza del picco H/V per una delle acquisizioni effettuate in via Oberdan.....	34
Fig. 23: Flusso di lavoro per l'elaborazione dell'indagine MASW.....	35
Fig. 24: Geofono con frequenza propria di 4.5 Hz.....	37
Fig. 25: Stendimento MSW ₁ lungo via Verona.....	38
Fig. 26: Stendimento MSW ₂ lungo via Oberdan.....	39
Fig. 27: Foto della fase di energizzazione della prova MASW.....	40

Fig. 28: Curva di dispersione sperimentale Vs teorica, relativa all'elaborazione della MSW ₁ eseguita in via Verona.....	44
Fig. 29: Curva di dispersione sperimentale Vs teorica, relativa all'elaborazione della MSW ₂ eseguita in via Oberdan.....	44
Fig. 30: Profilo 1D Vs-profondità ottenuto dall'elaborazione della MSW ₁ eseguita in via Verona.....	46
Fig. 31: Profilo 1D Vs-profondità ottenuto dall'elaborazione della MSW ₂ eseguita in via Oberdan.....	47
Fig. 32: Curva H/V sperimentale (linea rossa) e teorica (linea blu) per una delle acquisizioni eseguite in via Verona.....	49
Fig. 33: Curva H/V sperimentale (linea rossa) e teorica (linea blu) per una delle acquisizioni eseguite in via Oberdan.....	49
Fig. 34: foto dell'allineamento dei punti di registrazione relativi alla sezione B-B' (vedi figura 1 per ubicazione).....	50
Fig. 35: foto dell'allineamento dei punti di registrazione relativi alla sezione A-A' (vedi figura 1 per ubicazione).....	51
Fig. 36: Sezioni a contrasto d'impedenza ottenute dalle acquisizioni di noise ambientale effettuate all'interno del cortile.....	53
Fig. 37: Sezioni a contrasto d'impedenza ottenute dalle acquisizioni di noise ambientale effettuate all'esterno della struttura.....	53
Fig. 38: Configurazione Polo-Dipolo (utilizzata per l'ERT).....	58
Fig. 39: Georesistivimetro multielettrodico digitale (24 bit).....	59
Fig. 40: Render di inversione tomografica.....	63
Fig. 41: Foto dell'ubicazione degli elettrodi per l'ERT ₁ eseguita nel piano cantinato.....	65
Fig. 42: Foto dell'elettrodo utilizzato per l'ERT.....	65
Fig. 43: foto dell'ubicazione degli elettrodi per l'ERT ₂ eseguita lungo il perimetro esterno.....	66
Fig. 44: Foto delle stazioni di misura ubicate sulla copertura dell'edificio.....	63
Fig. 45: Ubicazione della stazioni di misura per il piano interrato e per il piano terra.....	63
Fig. 46: Ubicazione della stazioni di misura dal primo al quarto piano.....	64
Fig. 47: Ubicazione della stazioni di misura per il piano quinto e per il piano copertura.....	64
Fig. 48: Rapporti spettrali HSSR per l'edificio collegato al prospetto nord della residenza universitaria studiata, con evidenziato il modo fondamentale di vibrazione nelle due componenti (riquadro giallo) e gli effetti di interazione legati alla presenza dell'edificio oggetto di questo studio (riquadro grigio).....	67
Fig. 49: Damping Toolbox.....	69
Fig. 50: Grafici dello smorzamento con relative percentuali, ottenute dall'elaborazione delle acquisizioni effettuate sulla copertura dell'edificio.....	69
Fig. 51: esempi di modi di oscillazione di un edificio.....	71
Fig. 52: Spettri in spostamento per le acquisizioni effettuate al piano più alto dell'edificio.....	74
Fig. 53: Modello geometrico CAD prospetto est. a) vista modalità concettuale; b) vista modalità frame.....	75

Fig. 54: Modello geometrico CAD prospetto ovest. a) vista modalit� concettuale; b) vista modalit� frame.....	76
Fig. 55: Modello Numerico in modalit� esplosa.....	80
Fig. 56: Modello Numerico in modalit� esplosa.....	81
Fig. 57: Soluzione analisi statica. Vista Ovest.....	82
Fig. 58: Soluzione analisi statica. Vista Est.....	83
Fig. 59: 1° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	84
Fig. 60: 1° Modo F.E.M. - Vista Est.....	85
Fig. 61: 2° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	85
Fig. 62: 2° Modo F.E.M. - Vista Est.....	86
Fig. 63: 3° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	86
Fig. 64: 3° Modo F.E.M. - Vista Est.....	87
Fig. 65: 4° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	87
Fig. 66: 4° Modo F.E.M. - Vista Est.....	88
Fig. 67: 5° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	88
Fig. 68: 5° Modo F.E.M. - Vista Est.....	89
Fig. 69: 6° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	89
Fig. 70: 6° Modo F.E.M. - Vista Est.....	90
Fig. 71: 7° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	90
Fig. 72: 7° Modo F.E.M. - Vista Est.....	91
Fig. 73: 8° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	91
Fig. 74: 8° Modo F.E.M. - Vista Est.....	92
Fig. 75: 9° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	92
Fig. 76: 9° Modo F.E.M. - Vista Est.....	93
Fig. 77: 1° Modo F.E.M. - Vista Est.....	97
Fig. 78: 1° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	97
Fig. 79: 2° Modo F.E.M. - Vista Est.....	98
Fig. 80: 2° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	98
Fig. 81: 3° Modo F.E.M. - Vista Est.....	99
Fig. 82: 3° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	99
Fig. 83: 4° Modo F.E.M. - Vista Est.....	100
Fig. 84: 4° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	100
Fig. 85: 5° Modo F.E.M. - Vista Est.....	101
Fig. 86: 5° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	101
Fig. 87: 6° Modo F.E.M. - Vista Est.....	102
Fig. 88: 6° Modo F.E.M. - Vista Ovest.....	102

INDICE TABELLE

Tab. 1: Eventi sismici avvertiti nell'area urbana di Catania con intensità ≥ 6 (estratti dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 CPT15 - Database Macrosismico Italiano 2015 DBMI15).....	7
Tab. 2: Sismostrati individuati dall'elaborazione della MSW ₁ effettuata in via Verona.	48
Tab. 3: Sismostrati individuati dall'elaborazione della MSW ₁ effettuata in via Oberdan.....	48
Tab. 4: Coordinate degli elettrodi, in relazione al sistema di riferimento adoperato per l'area d'indagine.....	62
Tab. 5: Valori di frequenza fondamentale lungo la componente N-S e E-W per le tre strutture.	65
Tab. 6: Spostamenti massimi agli estremi e al centro dell'edificio per la componente NS.	73
Tab. 7: Elenco Layers modello CAD	77
Tab. 8: Elenco caratteristiche meccaniche materiali	79
Tab. 9: Valori di frequenza ottenuti	84
Tab. 10: Risultati relativi a CLS e muratura.....	95
Tab. 11: Valori definitivi caratteristiche materiali.....	95
Tab. 12: Valori di frequenza ottenuti	96
Tab. 13: Confronto risultati sperimentali e modali	103

INDICE TAVOLE

Tav. 1: ERT piano cantinato vista da nord-ovest (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).....	I
Tav. 2: ERT piano cantinato vista da nord-est (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).....	II
Tav. 3: ERT piano cantinato vista da sud-est (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).....	III
Tav. 4: ERT piano cantinato vista da sud-ovest (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).....	IV
Tav. 5: ERT esterna vista da nord-ovest (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).	V
Tav. 6: ERT esterna vista da nord-est (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).	VI
Tav. 7: ERT esterna vista da sud-est (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).	VII
Tav. 8: ERT esterna vista da sud-ovest (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).	VIII
Tav. 9: Rapporti spettrali HSSR per l'edificio adibito a residenza universitaria con evidenziato il modo fondamentale di vibrazione nelle due componenti (riquadro giallo) e gli effetti di interazione legati alla presenza degli edifici adiacenti (riquadro grigio).	IX
Tav. 10: Rapporti spettrali HSSR edificio mensa con evidenziato il modo fondamentale di vibrazione dell'edificio nelle due componenti (riquadro giallo) e gli effetti di interazione legati alla presenza degli edifici adiacenti (riquadro grigio).	X
Tav. 11: Rapporti spettrali HSSR edificio mensa con evidenziato il modo fondamentale di vibrazione dell'edificio nelle due componenti (riquadro giallo).	XI

PREMESSA

Com'è noto, il territorio italiano è classificato come un'area ad alto rischio sismico; tuttavia molte strutture appartenenti al patrimonio edilizio non sono state progettate per resistere a violenti terremoti.

Lo studio della vulnerabilità degli edifici esistenti può quindi essere utile per lo sviluppo di nuove filosofie progettuali in grado di migliorare le prestazioni strutturali degli edifici esistenti, nonché quelle di nuove costruzioni. Tutto ciò non può essere disgiunto da uno studio che fornisca informazioni sulle caratteristiche del sottosuolo su cui tali strutture sono fondate e che consenta la valutazione della risposta di sito locale, al fine di mitigare il rischio sismico.

Il presente lavoro di tesi ha avuto come obiettivo la caratterizzazione dinamica sperimentale di un edificio in cemento armato, adibito a residenza universitaria, situato nel centro storico di Catania e del sottosuolo su cui esso è fondato, attraverso l'integrazione di differenti metodologie.

Al fine di ottenere la frequenza di risonanza dell'edificio studiato, sono state effettuate registrazioni di noise ambientale ai diversi piani, utilizzando un sismometro digitale portatile a tre componenti. I segnali così acquisiti sono stati rapportati a quelli relativi a un sito di riferimento esterno alla struttura. Tale tecnica nota come SSR (*Standard Spectral Ratio*) consente di ricavare le frequenze di vibrazione dell'edificio lungo le due componenti orizzontali.

Per caratterizzare in termini di velocità il sottosuolo, sono state condotte delle indagini MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves).

Tale tecnica consente di ottenere informazioni sulla variazione delle velocità delle onde di taglio in profondità ed eventuale presenza di fenomeni di inversione. Indagini geoelettriche tomografiche 3D sono state eseguite al fine di definire la distribuzione di porzioni di sottosuolo caratterizzate da differenti valori di resistività.

I risultati ottenuti sperimentalmente sono stati confrontati con quelli ottenuti dall'analisi dinamica modale eseguita su un modello FEM dell'edificio, tramite l'utilizzo del software agli elementi finiti "ANSYS".

I valori di frequenza fondamentale calcolati dall'analisi FEM sono stati confrontati con quelli sperimentali ottenuti mediante le registrazioni di noise ambientale.

Il confronto tra i risultati delle indagini geofisiche non invasive, effettuate all'interno della struttura e i valori ottenuti attraverso le elaborazioni FEM, ha messo in evidenza la propensione di questo tipo di indagine geofisica speditiva, ad essere utilizzata come tecnica per la caratterizzazione della vulnerabilità degli edifici. Ciò risulta estremamente utile come studio di supporto per gli interventi di pianificazione volti a migliorare o ad adeguare la struttura in termini di risposta all'azione sismica.

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E SISMICITA' DELL'AREA

L'area urbana di Catania, mostra un complesso assetto geologico caratterizzato da eterogeneità laterali alla scala locale, legate alla presenza di unità vulcaniche (risultato della sovrapposizione di diverse colate laviche connesse alle eruzioni del monte Etna) e sedimentarie. Il substrato sedimentario è costituito da una sequenza di argille Quaternarie, spessa fino a 600 m, sovrastata da parecchie decine di metri di sabbie.

L'area della città è caratterizzata dalla presenza di una serie di terrazzi marini prevalentemente piatti, che sono stati ricoperti da parecchi metri di colate laviche in epoca preistorica e storica.

I dati relativi a numerosi sondaggi geognostici effettuati nell'area urbana di Catania, hanno evidenziato la natura eterogenea di questa formazione, che è caratterizzata da alternanza di livelli compatti e scoriacei con spessori estremamente variabili.

Generalmente la potenza delle singole colate è variabile perché dipendente dalla morfologia preesistente, dalle direttrici di flusso seguite e da molti altri fattori come la distanza dai centri eruttivi, la viscosità del magma, il volume della massa eruttata e la durata della fase parossistica.

Le lave rappresentano il litotipo più esteso in affioramento nell'area urbana (Fig. 12), e ricoprono infatti quasi interamente il substrato della città, modificando profondamente la morfologia originale.

Dal punto di vista morfologico occorre sottolineare come anche l'azione dell'uomo legata agli intensi processi di urbanizzazione,

soprattutto all'espansione abitativa, abbia trasformato profondamente la preesistente morfologia rendendola difficilmente riconoscibile. L'intero settore urbano considerato è comunque contraddistinto dall'assoluta mancanza di irregolarità morfologiche e si presenta degradante verso est.

Nello specifico l'edificio studiato risulta ubicato sulle lave del Larmisi (fig. 2), aventi uno spessore superiore a 20 m, poggianti sulle argille grigio azzurre del basamento.

Tale dato è riscontrabile dal profilo geologico n° 7 (fig. 3) della carta geologica dell'area urbana di Catania redatta da Monaco et al. (2000), che passa in corrispondenza dell'area di studio.

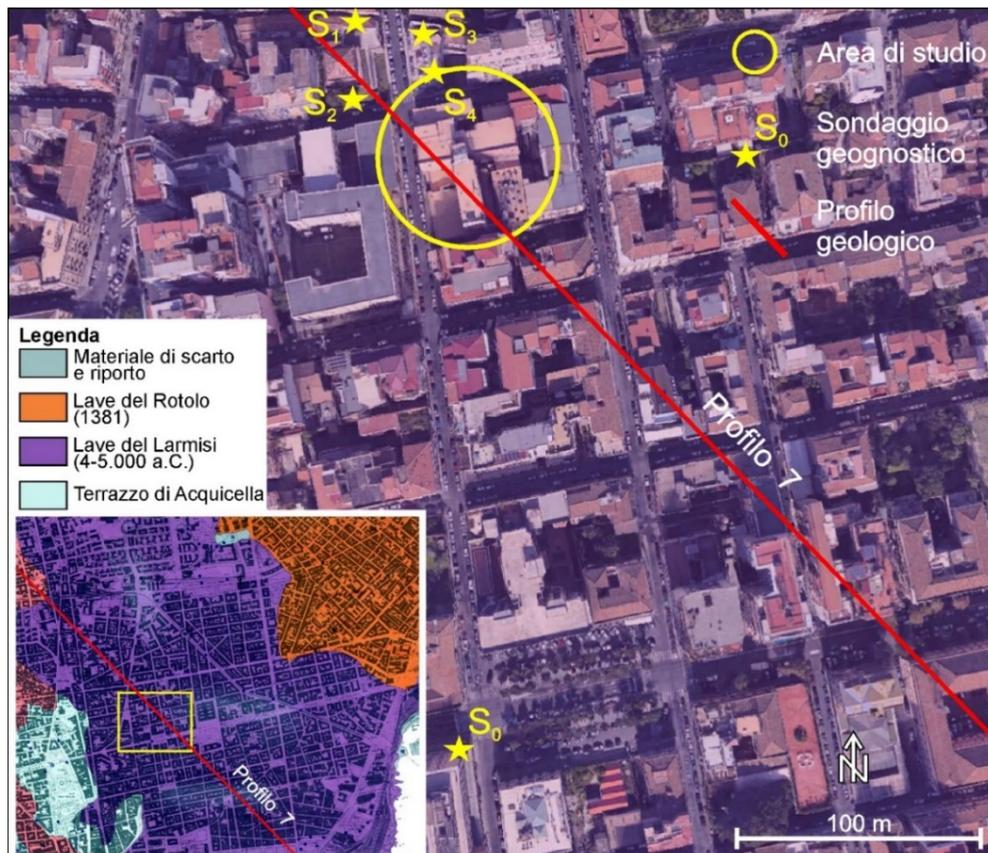


Fig. 1: Carta geologica dell'area di studio con l'ubicazione dei sondaggi meccanici (modificato da Monaco et al., 2000).

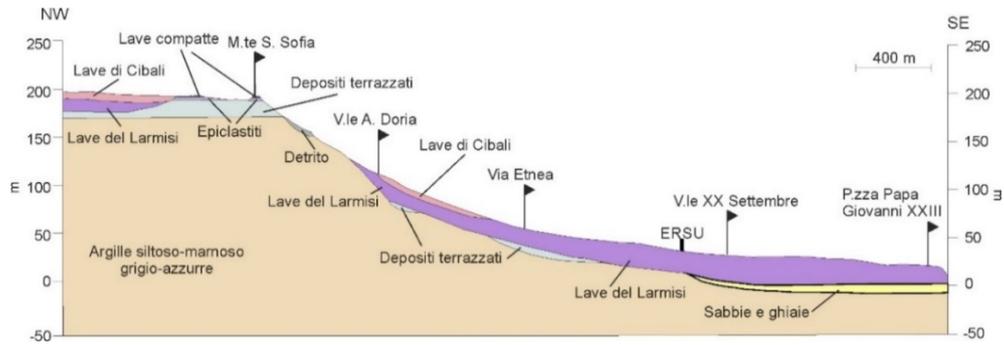


Fig. 2: Profilo geologico n.7 (modificato da Monaco et al., 2000).

Consultando il database dei sondaggi, redatto nell'ambito del Progetto Catania, è stato possibile estrarre i dati relativi alla colonna stratigrafica di un sondaggio geognostico (S_0) localizzato circa 200 m a sud dell'area di studio (S_0 - fig.4).

Il sondaggio mette in evidenza come il substrato dell'area studiata sia caratterizzato da un'alternanza di lave compatte e fratturate (spessore circa 27 m) sovrastante dei depositi sedimentari (spessore 2-3 m), il tutto poggiante sulle argille grigio-azzurre del basamento. Tale sondaggio conferma quindi quanto precedentemente osservato dall'analisi del Profilo geologico n. 7 (fig.3) della carta geologica dell'area urbana di Catania.

Inoltre, la successione litostratigrafica presente, è confermata dalle colonne stratigrafiche relative ad altri quattro sondaggi geognostici eseguiti in prossimità dell'area di studio (fig. 4)

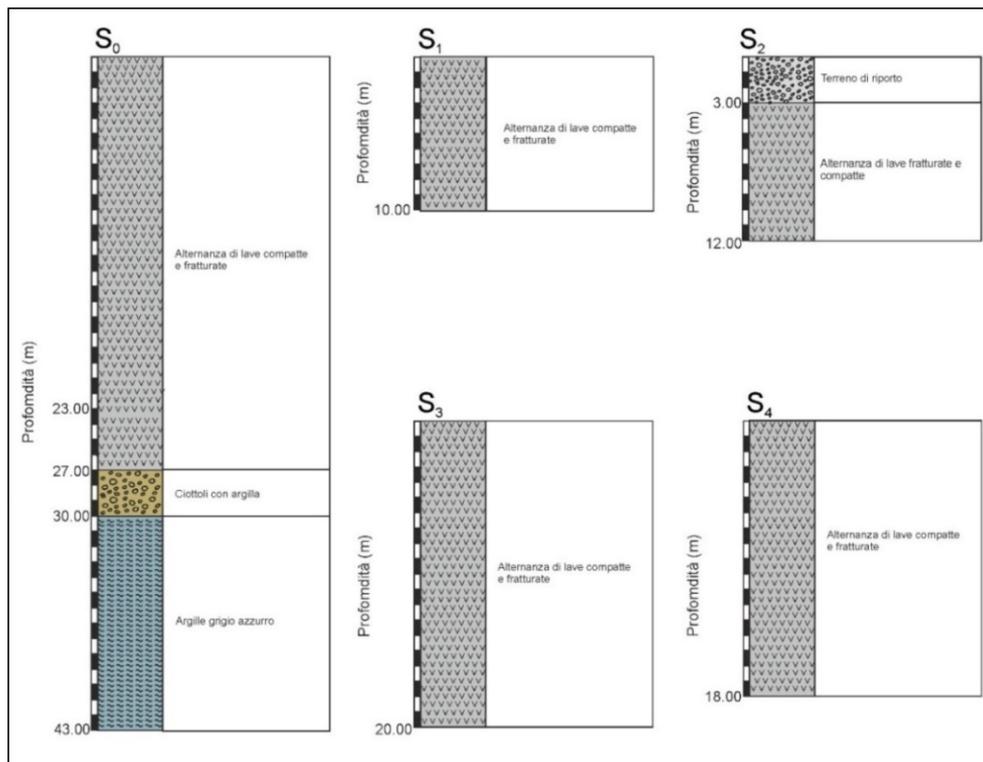


Fig. 3: Colonne stratigrafiche relative ai sondaggi geognostici effettuati in prossimità dell'area di studio.

Dal punto di vista sismico l'area urbana di Catania è una delle città italiane a più alto rischio sismico e l'analisi dei cataloghi sismici mette in evidenza infatti, come la storia sismica dell'intera area della Sicilia orientale, all'interno della quale ricade la città di Catania, sia caratterizzata da numerosi eventi sismici con una magnitudo momento elevata, compresa nell'intervallo tra 6.2 e 7.3.

Dall'analisi dei terremoti che hanno interessato l'area negli ultimi secoli (Catalogo Sismico I.N.G.V. DBMI15) risulta, che gli episodi più frequenti e pericolosi hanno avuto origine tanto nella regione etnea quanto in quella calabro-peloritana e soprattutto iblea.

I terremoti disastrosi che hanno investito l'area studiata (fig. 5; tab. 1), infatti, non sono solo legati all'attività sismica dell'area etnea (1352, 1536, 1716, 1818, 1846, 1848, 1959) ma anche all'energia liberata da terremoti ubicati nello stretto di Messina (1908) e nell'avampese ibleo (1169, 1542, 1698, 1693, 1818, 1990).

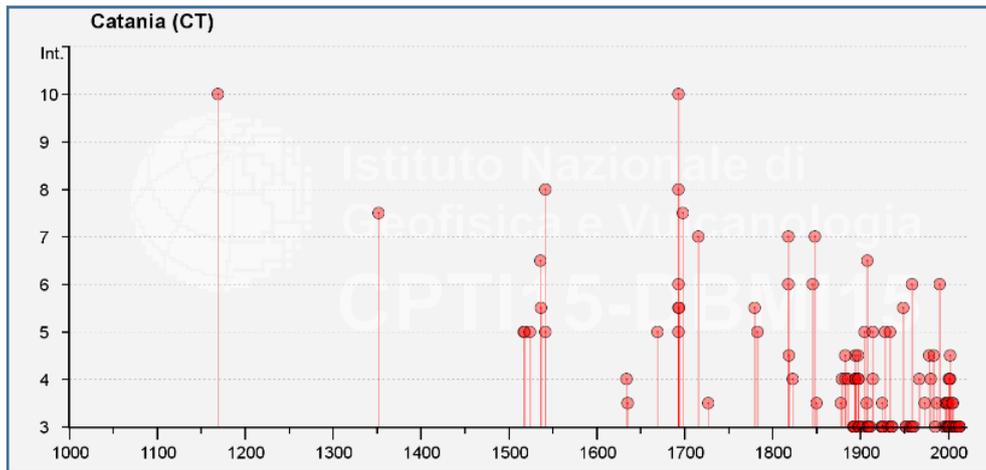


Fig. 4: Storia sismica dell'area urbana di Catania (da DBMI15).

	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7-8	1352 01 25	Catania	1	7-8	5.33
6-7	1536 03 23	Catania	1	6-7	4.86
7	1716 12 01	Catania	2	6	4.63
7	1818 02 20 18 15	Catanese	128	9-10	6.28
6	1846 04 22 19 45	Piana di Catania	9	6	4.94
7	1848 01 11 12	Golfo di Catania	41	7-8	5.51
6	1959 12 23 09 29	Piana di Catania	108	6-7	5.11
6-7	1908 12 28 04 20 27.00	Stretto di Messina	772	11	7.1
10	1169 02 04 07	Sicilia sud-orientale	8	10	6.5
8	1542 12 10 15 15	Sicilia sud-orientale	32	10	6.68
7-8	1698 01 01	Monti Iblei settentrionali	6	7-8	5.66
10	1693 01 11 13 30	Sicilia sud-orientale	179	11	7.32
6	1818 03 01 02 45	Monti Iblei	24	7-8	5.57
6	1990 12 13 00 24 25.68	Sicilia sud-orientale	304		5.61

Tab. 1: Eventi sismici avvertiti nell'area urbana di Catania con intensità ≥ 6 (estratti dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 CPT15 - Database Macrosismico Italiano 2015 DBMI15).

2. SISMICA PASSIVA

La Sismica Passiva è una tecnica di indagine geofisica non invasiva che consiste nell'acquisizione del rumore sismico ambientale. È definita passiva in quanto la sorgente non viene attivata artificialmente, ma utilizza il rumore ambientale, onnipresente ed ubiquitario, legato a fattori naturali e antropici, caratterizzato da un'ampia banda di frequenza.

Il vantaggio di questa tecnica risiede nel fatto che la sorgente utilizzata presenta una lunghezza d'onda e una profondità di propagazione di gran lunga maggiore di quella delle onde elastiche generate artificialmente. Di contro, tale tecnica presenta una minor risoluzione spaziale e spesso risulta di difficile interpretazione.

La struttura del campo d'onda del rumore sismico ambientale è chiaramente condizionata dalla tipologia di sorgente interessata (sia essa naturale, come le onde marine, o antropica, come il traffico veicolare) e dalle proprietà meccaniche dei depositi di terreno.

Infatti, la sorgente del rumore genera un treno d'onde che viene percepito nel punto di misura con caratteristiche dipendenti dalla consistenza delle sollecitazioni nelle componenti orizzontali e verticali e dai fenomeni di riflessione o rifrazione che avvengono nel percorso dalla sorgente al sito.

In genere nel campo d'onda del rumore ambientale saranno presenti sia onde di volume che onde superficiali, la cui partecipazione in termini di energia dipende considerevolmente dall'intervallo di frequenza analizzato.

Prendendo in esame diverse sorgenti, che generano un determinato campo d'onda sismico (in un intervallo temporale mediamente esteso), le loro proprietà non dipendono dalle singole

sorgenti, ma solo dalle caratteristiche del mezzo di propagazione e dall'energia liberata dall'attività antropica o naturale.

2.1 Struttura del noise sismico ambientale

Le sorgenti del rumore ambientale si possono classificare in due categorie principali: antropiche e naturali, le quali sono caratterizzate da differenti range di frequenza:

- Alle basse frequenze ($f < 1$ Hz), l'origine del rumore ambientale è essenzialmente naturale, con particolare riferimento al microsisma marino, la cui massima energia è compresa nella banda 0.05-0.5 Hz. Nello spettro del rumore sismico possono essere identificati due massimi a 0.14 e 0.07 Hz, probabilmente legati al moto ondoso degli oceani. A causa delle peculiari caratteristiche di propagazione delle onde superficiali, gli effetti di questo moto si propagano anche a distanze dell'ordine delle migliaia di km dalla costa. Queste onde possono essere facilmente registrate sulle isole e/o durante le tempeste marine. Le frequenze maggiori (0.5 Hz) sono dovute all'interazione diretta delle onde marine con la costa. Alcune onde a minore frequenza ($f < 0.01$ Hz) sono associate a forze atmosferiche (intervallo di frequenze che riscontra poco interesse nell'ingegneria sismica) ed altre, a frequenze maggiori ($f > 1$ Hz), a flussi d'acqua e venti.

- Alle alte frequenze ($f > 1$ Hz), l'origine del rumore sismico è legata prevalentemente alle attività svolte dall'uomo (traffico, macchinari, ecc.). Tali sorgenti sono percepibili perlopiù sulla superficie della terra e immediatamente al disotto di essa, e spesso mostrano una forte variazione temporale tra le ore diurne e notturne.

Il limite di 1 Hz, sopra considerato, è chiaramente indicativo in quanto dipende dalle condizioni dell'ambiente circostante che può

variare, ad esempio, fra una città e l'altra. Le sorgenti energetiche a bassa frequenza sono spesso distanti, essendo situate in zone marine, e la loro energia si propaga sotto forma di onde superficiali. Queste onde sono caratterizzate da una notevole lunghezza d'onda, la quale permette una consistente penetrazione del segnale in profondità. La mancanza di omogeneità del sottosuolo, potrebbe portare a punti di diffrazione e generare quindi ulteriore onde superficiali locali e/o onde di volume.

L'energia trasportata dalle onde, alla frequenza compresa fra 0.1 e 1 Hz, è inversamente proporzionale alla distanza dagli oceani; per questo motivo estrapolare informazioni dai microsismi è più semplice sulle isole circondate dall'oceano rispetto alle aree continentali.

Le onde ad alta frequenza sono generalmente associate a sorgenti più vicine, che spesso sono prossime alla superficie. Mentre il campo d'onda nelle immediate vicinanze della sorgente prevede sia onde di volume che onde di superficie, a distanze maggiori, diventano prevalentemente onde superficiali.

Le informazioni finora esposte hanno una valenza perlopiù qualitativa, in quanto il dibattito sulla proporzione quantitativa fra le onde di volume e le onde di superficie, e sui differenti tipi di onde superficiali coinvolte, è oggi ancora aperto. I pochi risultati disponibili (Ibs-von Seht and Wohlenberg, 1999) affermano che i microsismi a bassa frequenza ($f < 1\text{Hz}$) sono costituiti principalmente dal modo fondamentale delle onde di Rayleigh, mentre non vi è una convergenza unanime sull'origine dei microsismi ad alta frequenza ($f > 1\text{Hz}$). Il raggiungimento di questi risultati è stato possibile tramite l'utilizzo di diversi approcci, tra cui l'analisi dell'ampiezza del rumore sismico in profondità e l'analisi delle misure di velocità di fase tramite array.

3. MISURE DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA

3.1 HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

La tecnica di sismica passiva a stazione singola HVSR (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*), comunemente nota con il termine H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali H e verticale V) fu applicata e resa popolare da Nakamura (1989); il metodo presuppone che, calcolando il rapporto spettrale H/V, da registrazioni di microtremori indotti sia da fenomeni naturali, sia da fenomeni antropici, si possano determinare le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato, per risonanza dovuta ad effetti topografici e/o stratigrafici, durante un sisma (Dal Moro, 2012).

3.1.1 Metodologia

L'approccio metodologico di Nakamura (1989) utilizza i microtremori ambientali e da questi calcola i rapporti spettrali tra la media delle componenti orizzontali e la componente verticale del moto del suolo. Nel dominio delle frequenze, le componenti del moto del suolo coinvolte sono le componenti orizzontali e verticali alla copertura:

$$H_c(f) \text{ e } V_c(f)$$

e le corrispondenti alla base della copertura, cioè al bedrock:

$$H_b(f) \text{ e } V_b(f)$$

Considerando che la componente verticale del moto non risente degli effetti di amplificazione locale, causati dalla copertura incoerente sovrastante il bedrock, possiamo affermare che dal rapporto $Rv(f)$, fra la componente verticale del moto alla superficie e quella al bedrock, individuiamo solo i termini strettamente legati alla sorgente $As(f)$:

$$Rv(f) = Vc(f)/Vb(f) = As(f)$$

Il rapporto $Rh(f)$, fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali alla superficie e al bedrock, oltre a contenere i termini legati alla sorgente, include anche quelli di amplificazione del sito $Ss(f)$:

$$Rh(f) = Hc(f)/Hb(f) = As(f) \cdot Ss(f)$$

Dividendo tra loro i due rapporti $Rh(f)$ e $Rv(f)$, il termine legato alla sorgente sarà rimosso e dunque, sarà possibile ottenere i termini legati all'amplificazione del sito:

$$Rh(f)/Rv(f) = Ss(f)$$

Inoltre, Nakamura ha osservato nei suoi studi che per tutte le frequenze analizzate, l'ampiezza spettrale della componente verticale e delle componenti orizzontali al bedrock sono uguali, cioè:

$$Vb(f)/Hb(f) = 1$$

Pertanto, la funzione degli effetti di sito può essere espressa come:

$$Ss(f) = Hc(f)/Vs(f)$$

Da ciò, Nakamura (1989) ha dedotto che la stima dell'amplificazione del moto al sito può essere ottenuta direttamente dal calcolo del rapporto spettrale tra la media delle componenti orizzontali sulla componente verticale del moto del suolo alla superficie, trascurando quelle al bedrock.

Se consideriamo un sistema costituito da uno strato soffice, sovrastante un semispazio rigido, il bedrock, un'onda tenderà a riflettere tra la superficie libera e il bedrock, rimanendo intrappolata all'interno della copertura, dando luogo a riflessioni multiple e a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti pari a $\lambda = n4H$ (Castellaro 2010; Albarello and Lunedei, 2013) (fig. 6).

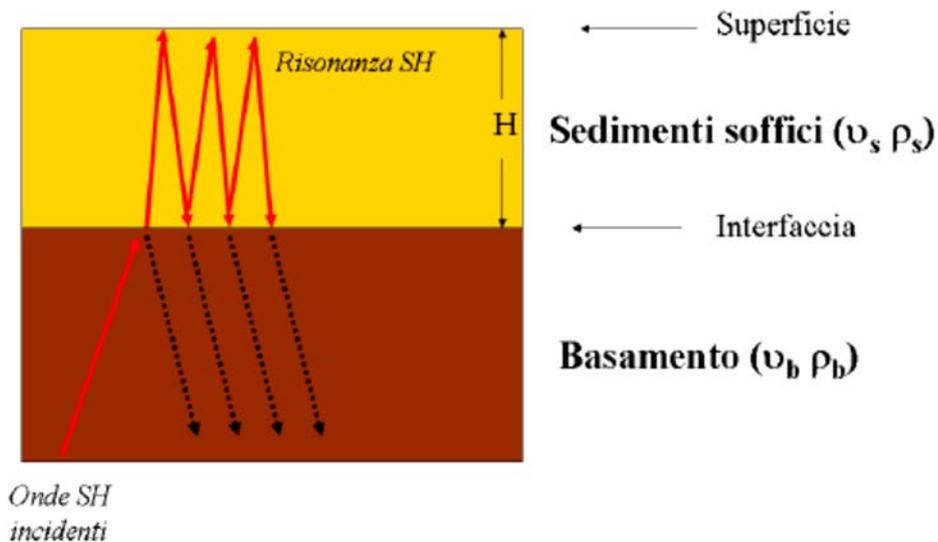


Fig. 5: Schema di riflessione multipla in corrispondenza di una copertura soffice su bedrock.

Le frequenze cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla legge:

$$f = n \frac{Vs}{4H} \quad n = 1,3,5, \dots$$

dove:

n = ordine del modo fondamentale di vibrare del terreno.

Vs = velocità delle onde di taglio nello strato soggetto a risonanza.

H = spessore dello strato dove avvengono le riflessioni.

Generalmente, il solo modo visibile è il fondamentale e per tale motivo l'equazione spesso si ritrova nella seguente forma:

$$f = \frac{Vs}{4H}$$

Osservando l'equazione si può facilmente intuire che a parità di Vs , ma al variare dello spessore di copertura, corrispondono valori differenti di frequenza di risonanza. Ciò si può notare osservando la figura 7, in particolar modo il pannello A, dove sono presentati tre esempi di curve H/V registrate rispettivamente su coperture con spessori dell'ordine di diverse centinaia di metri (caso 1- spettro H/V rosso, $f_0 = 0.6$ Hz), di qualche decina di metri (caso 2 - spettro H/V blu, $f_0 = 3.5$ Hz) e di pochi metri (caso 3 - spettro H/V verde, $f_0 = 14$ Hz).

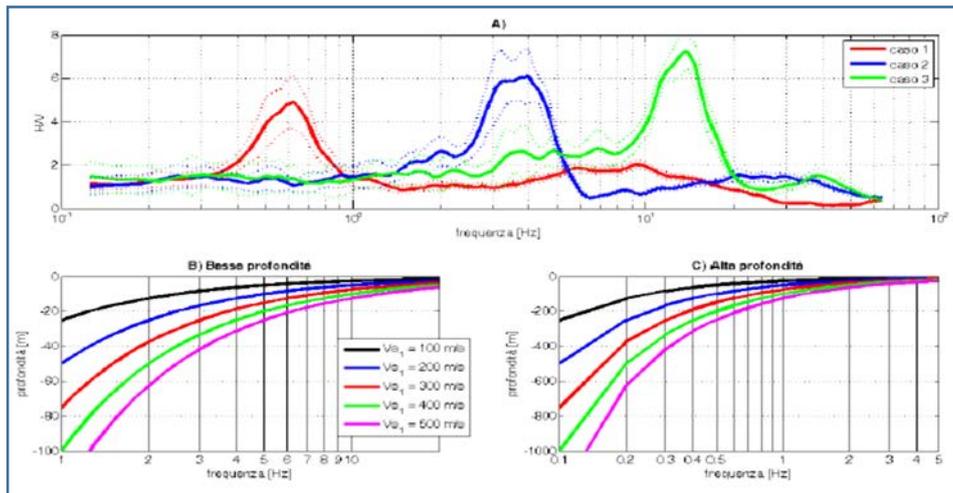


Fig. 6: Esempio di bedrock sismico a diverse profondità che genera risonanze a diverse frequenze. Caso 1: bedrock a 300 m di profondità, caso 2: bedrock a 20 m di profondità, caso 3: bedrock a 4 m di profondità; B) relazione $V-f_0-H$ alle medio-alte frequenze; C).

Le componenti orizzontali e verticale del moto del suolo vengono sollecitate in maniera equivalente e l'ampiezza media è pari al livello medio del rumore della finestra temporale considerata.

Tali considerazioni sono di estrema rilevanza in quanto da ciò si può dedurre che le ampiezze H/V non sono dipendenti dalle caratteristiche delle sorgenti ma dipendono solo dalle caratteristiche del mezzo interessato dal moto sismico.

L'ampiezza dei massimi della funzione H/V è legata all'entità del contrasto di impedenza sismica presente alla base della copertura; l'assenza di massimi in genere suggerisce l'assenza di fenomeni di amplificazione sismica dovuti a fenomeni di risonanza.

L'aspetto peculiare della HVSR risiede nel fatto che non è necessario conoscere la registrazione del moto del substrato per ricavare la funzione di amplificazione, in quanto questa potrà essere ottenuta tramite il rapporto fra gli spettri di ampiezza delle componenti orizzontali e verticale del microtremore misurato.

Si riportano in seguito le differenti tipologie di onde: Love, Rayleigh e onde di volume; essendo il campo d'onde una compresenza

di quest'ultime è possibile identificare una molteplice origine del picco H/V:

- la risonanza delle Onde di Volume P ed S;
- la fase di Airy dei modi delle Onde di Love;
- l'ellitticità delle Onde di Rayleigh.

3.1.2 HVSR – Onde di Volume

Quando avviene un terremoto l'energia accumulata dalle rocce si libera parzialmente sotto forma di onde sismiche che si propagano all'interno della Terra; tali onde sono dette "onde di volume".

Le principali sono:

- Le Onde P (o Primarie) sono le più veloci e si propagano come le onde sonore nell'aria. Infatti, sono anche dette "longitudinali" perché fanno oscillare le particelle di roccia parallelamente alla loro direzione di propagazione (fig. 8). Di conseguenza al loro passaggio, le rocce si comprimono e si dilatano continuamente.

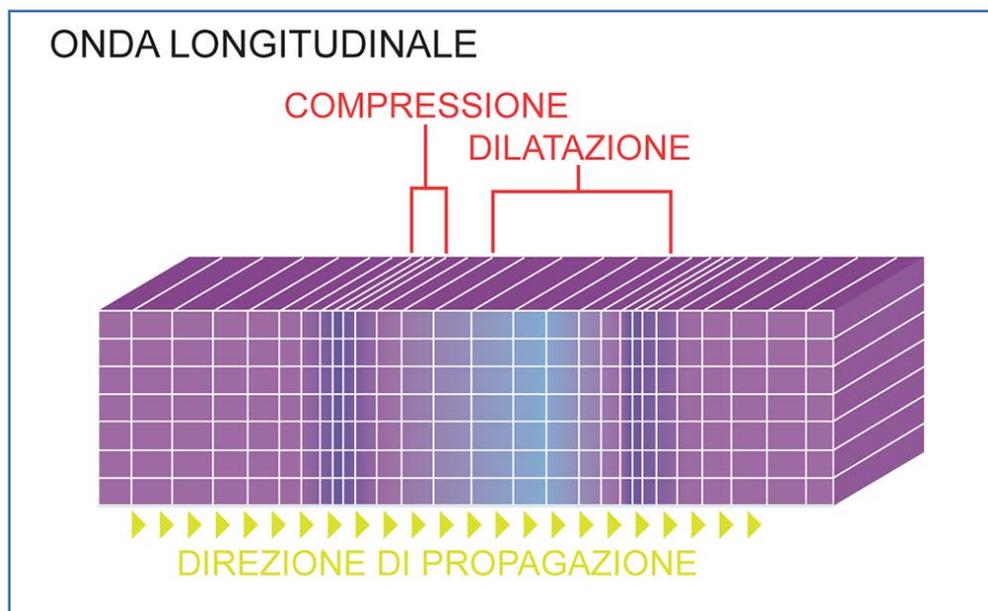


Fig. 7: Schema di propagazione delle onde di volume di tipo P.

Le Onde **S** (o Secondarie) viaggiano più lentamente delle "P". L'oscillazione delle particelle di roccia che attraversano, contrariamente alle onde P, avviene trasversalmente alla loro direzione di propagazione (fig. 9).



Fig. 8: Schema di propagazione delle onde di volume di tipo S.

La differenza tra le due tipologie di onde appena descritte è che le seconde non causano variazioni di volume al loro passaggio e non si propagano nei fluidi.

Le amplificazioni di sito che avvengono durante i terremoti generano essenzialmente onde di volume; è quindi ovvio che le componenti orizzontali e verticali di questa tipologia di onde sono entrambe molto sensibili alle condizioni di sito.

Prendendo in esame una semplice struttura stratificata orizzontalmente (uno strato soffice su un semispazio rigido) e la sua risposta all'incidenza obliqua di onde piane, si nota che, nonostante il tipo di onda incidente (P o SV o SH), le componenti orizzontali mostrano un picco alle frequenze di risonanza dell'onda S (anche per onde P incidenti), mentre la componente verticale mostra sempre un

picco alle frequenze di risonanza delle onde P (anche per onde S incidenti).

Questo risultato è valido, sia per le onde P che per le onde S, quando il contrasto di impedenza è grande (ciò deriva dalla conversione delle onde P a onde SV, che si verifica all'interfaccia bedrock/copertura) e quando gli angoli di incidenza sono relativamente piccoli all'interno dello strato superficiale a minore velocità. Tutto ciò comporta delle conseguenze molto interessanti per il modo fondamentale, essendo la frequenza f_0 dell'onda S sempre minore dell'onda P:

- Il rapporto H/V per un campo d'onde di volume dovrebbe generalmente mostrare, in siti ad alto contrasto di impedenza, un picco nell'intorno della frequenza fondamentale dell'onda S. Ciò è deducibile dalla debole dipendenza della frequenza fondamentale dalla topografia del sottosuolo.

- Nel caso di mezzo orizzontalmente stratificato, il rapporto H/V dovrebbe, anche in questo, presentare picchi in corrispondenza delle armoniche dell'onda S (almeno per i picchi non coincidenti con l'ordine armonico più basso della risonanza dell'onda P).

- Per alti contrasti di impedenza, in mezzi orizzontalmente stratificati, l'ampiezza del primo picco H/V è correlata con l'amplificazione dell'onda S.

Questi ultimi due punti costituiscono la sostanziale differenza tra le onde di volume e quelle di superficie. Per quest'ultime infatti, non ci si aspetta di avere entrambe le armoniche o alcuna correlazione fra l'ampiezza del picco H/V e i valori reali di amplificazione.

Quindi, la presenza o l'assenza delle armoniche (almeno per grandi contrasti di impedenza, in strutture monodimensionali) potrebbe fornire informazioni sulla composizione del campo d'onde.

Bisogna, inoltre, prestare particolare attenzione nell'interpretare i rapporti H/V ricavati da registrazioni di terremoti al di sotto della frequenza fondamentale S, in quanto questo rapporto è fortemente influenzato dall'amplificazione della componente verticale, specialmente in siti con una topografia accidentata.

3.1.3 HVSR – Onde di Love

Le Onde di Love sono onde superficiali, generate dall'incontro delle onde S (onde di volume) con la superficie libera del terreno. Esse vengono generate solo nei mezzi in cui la velocità delle onde S aumenta con la profondità. La loro velocità è maggiore di quella delle onde S negli strati più superficiali della crosta, ma diminuisce con la profondità.

Le onde di Love fanno vibrare il terreno sul piano orizzontale, in direzione ortogonale rispetto alla direzione di propagazione dell'onda (fig. 10), da ciò può derivare la loro influenza sulla dipendenza del rapporto H/V dalla frequenza.

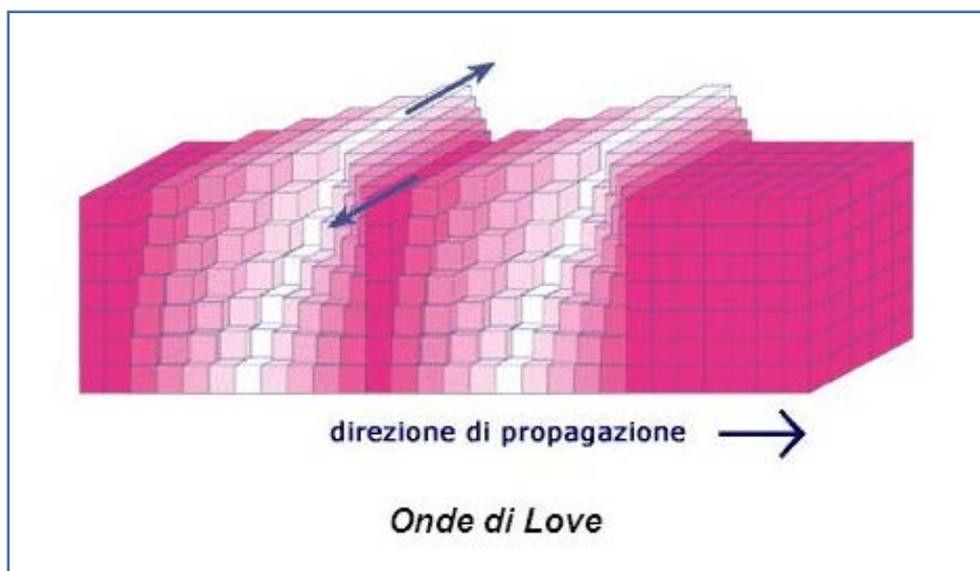


Fig. 9: Schema di propagazione delle onde superficiali di tipo Love.

Inoltre alcuni studi (Bonney-Claudet, 2004) hanno dimostrato che, nei casi di presenza di un alto contrasto di impedenza, le onde di Love amplificano il picco H/V.

Tutte le onde superficiali portano la loro energia massima per frequenze corrispondenti al gruppo avente minima velocità (fase di Airy). Per stratificazioni ad alto contrasto di impedenza, il gruppo a velocità minima del modo fondamentale di Love appare alla frequenza f_L che è molto prossima alla frequenza fondamentale dell'onda S. Modi superiori delle onde di Love possono anche presentare le associate fasi di Airy alle alte frequenze e gruppi a velocità minima.

3.1.4 HVSR – Onde di Rayleigh

Quando un'onda S ed un'onda P impattano contemporaneamente su una superficie libera, in parte si riflettono ed in parte generano un'ulteriore onda chiamata Onda di Rayleigh, Essa è quindi data dalla composizione vettoriale delle due, e sua volta si propaga sulla superficie stessa.

Le onde di Rayleigh sono caratterizzate da un moto ellittico retrogrado che avviene lungo piani normali alla superficie e paralleli alla direzione di propagazione (fig. 11).

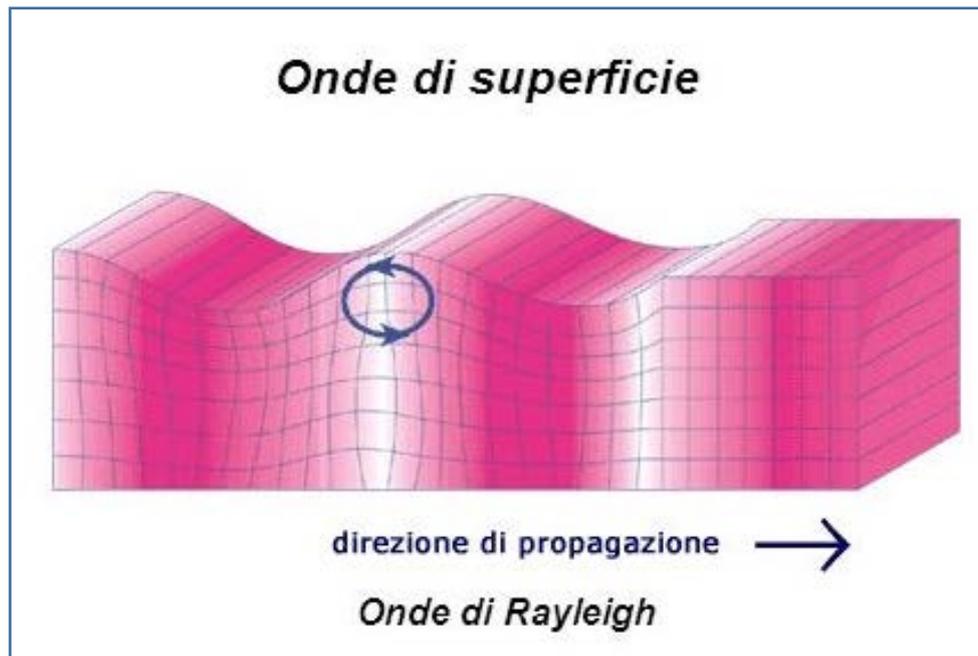


Fig. 10: Schema di propagazione delle onde superficiali di tipo Rayleigh.

In un mezzo orizzontalmente stratificato, è presente una forte dipendenza della frequenza con la velocità di propagazione dell'onda al progredire della profondità. La stratificazione è indice dell'esistenza di modi distinti dell'onda di Rayleigh, di cui il modo fondamentale è presente a tutte le frequenze, mentre i modi superiori solo al di sotto di alcune frequenze limite.

Il rapporto H/V , per tutti i modi delle onde di Rayleigh, è una misura del rapporto di ellitticità e caratterizza la dipendenza dalla frequenza nel mezzo stratificato. In letteratura, è possibile disporre di una ricca trattazione su quest'argomento; i cui principi possono essere ritrovati in Kudo (1995), Bard (1998), Stephenson (2003), Malischewsky & Scherbaum (2004) e Bonnefoy-Claudet (2004). Si riportano di seguito alcuni dei risultati più rilevanti, che fanno riferimento ad un semplice strato che giace su un semispazio rigido:

- Il rapporto di ellitticità H/V delle onde di Rayleigh mostra picchi e/o zeri, corrispondenti alla componente verticale, per contrasti di velocità (da medi ad alti) delle onde S (circa maggiori di 3). Invece,

per contrasti di impedenza bassi, poiché il senso di rotazione non cambia con la frequenza, il rapporto di ellitticità mostra solo massimi e minimi a determinate frequenze senza zeri o infiniti.

Per quanto concerne il modo fondamentale:

- Per contrasti di velocità delle onde S che eccedono un valore di 4, la scomparsa della componente verticale avviene a una frequenza f_R molto vicina (meno del 5% di differenza) alla frequenza di risonanza fondamentale;

- Per contrasti di velocità intermedi (da 2.6 a 4), il picco di ellitticità tende ad infinito e appare a una frequenza che può superare del 50% la frequenza fondamentale di risonanza delle onde S;

- Per contrasti di velocità più bassi, il precedente picco è sostituito da un massimo largo che ha bassa ampiezza (meno di 2 o 3), con una frequenza che può rientrare nell'intervallo fra 0.5 e 1.5 volte la frequenza fondamentale delle onde S.

- L'ellitticità del rapporto H/V del modo fondamentale può mostrare anche un minimo ad una frequenza più alta f_Z rispetto ad f_R , corrispondente alla scomparsa della componente H a seconda del senso di inversione della rotazione. Alcuni studi hanno investigato la variazione del rapporto f_Z/f_R , identificandolo con un valore oppure esprimendone la dipendenza rispetto al gradiente di velocità in sedimenti soffici.

- I modi maggiori mostrano picchi H/V a frequenze più alte che corrispondono alla scomparsa della componente V. Per strutture ad alto contrasto, alcuni di tali picchi coincidono con le armoniche più alte di risonanza delle onde S.

Per tutte le frequenze alle quali esistono modi diversi simultaneamente (generalmente quelle al di sotto della frequenza fondamentale delle onde S), vi è un modo dell'onda di Rayleigh (spesso il fondamentale) che può essere portatore di energia nella componente verticale.

I risultati fino ad ora esposti possono essere generalmente estrapolati anche per strutture orizzontalmente stratificate più complesse che coinvolgono in maniera differente la stratigrafia o i gradienti di velocità. La principale differenza riguarda i modi superiori ed il numero di picchi ellittici.

Alcuni siti possono presentare grandi contrasti di velocità (maggiori di 2.5) a differenti profondità. In questi casi la risposta in onde S mostrerà amplificazioni maggiori alle frequenze f_K , che corrispondono alle frequenze fondamentali degli strati posti al di sopra, i quali presentano maggiore contrasto.

I risultati disponibili mostrano un picco ellittico comune alla frequenza f_K , da ciò si evince che tutti i modi delle onde di Rayleigh esistono per tale frequenza. In questi siti, una curva H/V è comunque consistente con l'interpretazione dell'onda superficiale.

Non è possibile esprimere alcuna relazione fra l'amplificazione delle onde S, alla frequenza di risonanza, e le caratteristiche del picco tendente ad infinito H/V (spessore o ampiezza massima).

3.2 Strumentazione utilizzata e acquisizione dati

Per le acquisizioni di sismica passiva HVSR, sono stati utilizzati 6 tomografi digitali portatili a tre componenti, noti commercialmente come TROMINO® (fig. 12).



Fig. 11: Strumentazione utilizzata nella campagna di acquisizione

Gli strumenti sono stati disposti sul terreno ponendo particolare attenzione alla messa in bolla degli stessi.

È stata effettuata inizialmente in data 6 gennaio una campagna d'indagine comprendente 8 registrazioni da 20 minuti ciascuna, con una frequenza di campionamento di 128 Hz, lungo due profili, uno in via Verona e l'altro in via Oberdan (fig. 12). L'interdistanza regolare tra i tromografi, con cui sono state effettuate le misure, è stata rispettivamente di 4 m e 10 m per i suddetti profili di campionamento.

Una ulteriore campagna di acquisizione è stata effettuata in data 9 gennaio, durante la quale sono state acquisite 14 registrazioni, utilizzando gli stessi parametri di acquisizione adoperati precedentemente. Anche in questo caso, le acquisizioni sono state effettuate lungo due profili ubicati nel cortile interno della residenza Centro; il primo, orientato parallelamente a via Verona, avente interdistanza tra i punti di acquisizione pari a 4 m, e il secondo, con orientazione, parallela a via Oberdan e interdistanza pari a 10 m (fig. 12).

Le registrazioni di noise (microtremore ambientale) acquisite, sono state trasferite all'interno del database del software *Grilla*, che è il pacchetto software specificatamente sviluppato per il trattamento e l'analisi dei dati acquisiti.

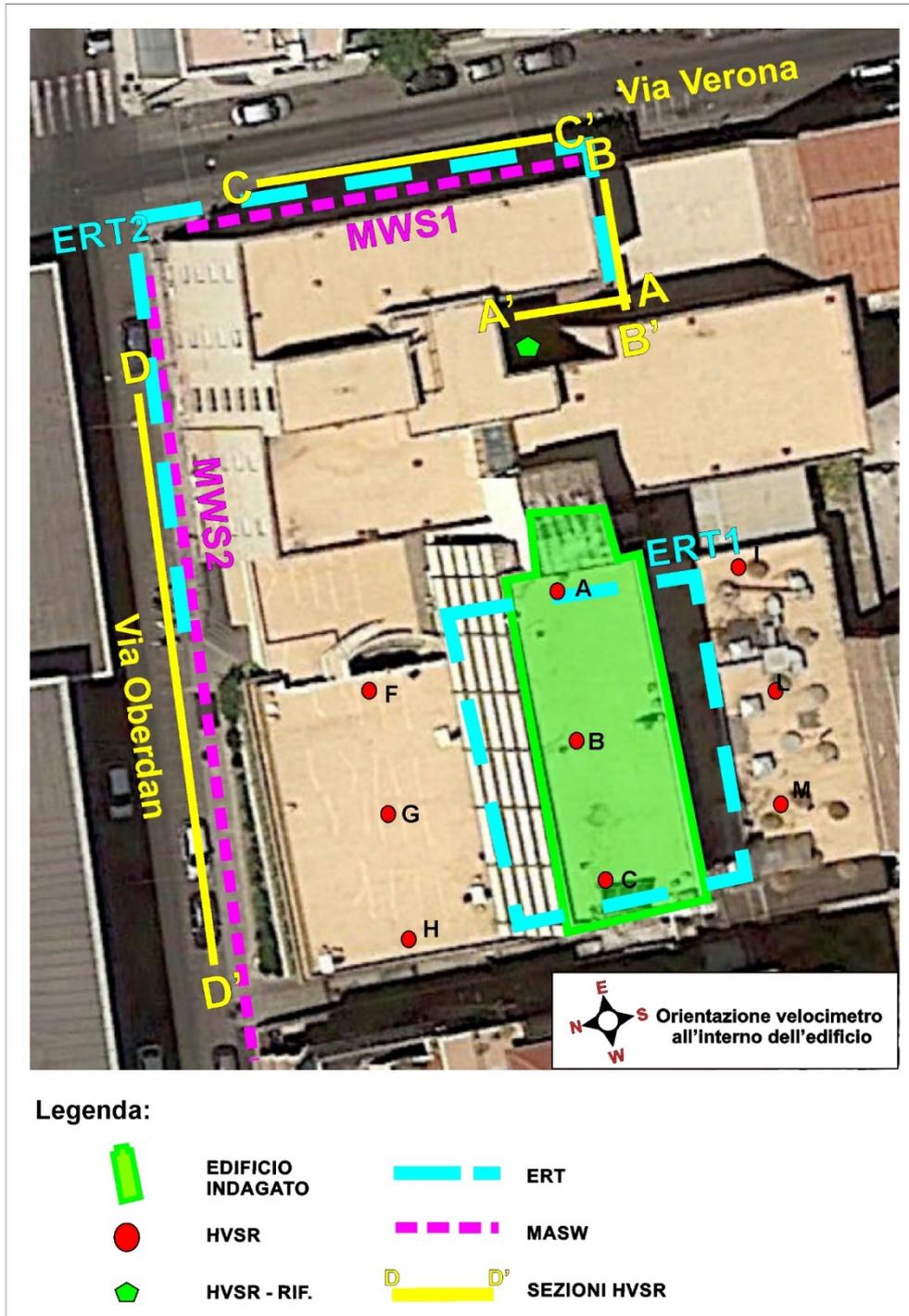


Fig. 12: Ubicazione indagini

3.3 Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati acquisiti è stata effettuata avvalendosi di un pacchetto software dedicato, utile per il trasferimento, archiviazione ed analisi delle tracce acquisite con il TROMINO, ad un PC; tale software, noto come Grilla, permette tra l'altro, l'esportazione dei dati acquisiti in TRC, in formato ASCII o SAF.

Le 22 registrazioni acquisite sono state trasferite al database del software Grilla per poterle successivamente elaborare. Nel database di Grilla per ciascun segnale registrato (fig. 13) viene visualizzato: nome della traccia, giorno e ora di inizio e fine acquisizione, durata della registrazione, presenza o meno di un report della traccia, frequenza di campionamento e eventuale coordinata GPS.

Line	Trace	Time	Date	End	Length	In	Out	GPS	Item
40	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 F1	TRC-8073/01-10	15/06/15	10:08:56	10:16:57	10:10'		128
41	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 F2	TRC-8073/01-10	15/06/15	10:21:47	10:27:48	10:20'		128
42	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 G1	TRC-8124/01-11	15/06/15	10:05:05	10:21:05	10:10'		128
43	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 G2	TRC-8124/01-11	15/06/15	10:25:12	10:42:12	10:10'		128
44	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H1	TEP-8206/01-12	14/06/15	09:33:04	09:49:04	10:10'		128
45	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H2	TEP-8206/01-12	14/06/15	09:56:05	10:12:05	10:10'		128
46	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 K1	TEH-8006/01-07	15/06/15	09:25:27	09:31:28	10:10'		128
47	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 F3	TRC-8073/01-10	15/06/15	10:45:11	11:01:12	10:10'		128
48	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 F4	TRC-8073/01-10	15/06/15	11:08:23	11:24:24	10:10'		128
49	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 G3	TRC-8124/01-11	15/06/15	10:59:17	11:06:17	10:10'		128
50	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 G4	TRC-8124/01-11	15/06/15	11:12:27	11:28:28	10:10'		128
51	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H3	TEP-8206/01-12	14/06/15	10:18:21	10:24:21	10:10'		128
52	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H2	TEH-8006/01-07	15/06/15	09:57:56	09:13:57	10:10'		128
53	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 K2	TEH-8006/01-07	15/06/15	09:21:55	09:37:56	10:10'		128
54	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 F5	TRC-8073/01-10	15/06/15	11:32:06	11:48:08	10:10'		128
55	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 F6	TRC-8073/01-10	15/06/15	12:08:27	12:16:28	10:10'		128
56	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 G5	TRC-8124/01-11	15/06/15	11:36:54	11:52:54	10:10'		128
57	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H4	TEP-8206/01-12	14/06/15	10:41:31	10:57:31	10:10'		128
58	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H5	TEP-8206/01-12	14/06/15	11:05:45	11:21:45	10:10'		128
59	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 K4	TEH-8006/01-07	15/06/15	09:44:05	10:00:06	10:10'		128
60	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H5	TEH-8006/01-07	15/06/15	10:08:12	10:24:13	10:10'		128
61	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 F7	TRC-8073/01-10	15/06/15	12:23:47	12:39:48	10:10'		128
62	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 G6	TRC-8124/01-11	15/06/15	12:04:45	12:20:45	10:10'		128
63	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 G7	TRC-8124/01-11	15/06/15	12:28:15	12:44:15	10:10'		128
64	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H6	TEP-8206/01-12	14/06/15	11:32:25	11:48:26	10:10'		128
65	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H7	TEP-8206/01-12	14/06/15	11:56:27	12:12:27	10:10'		128
66	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H6	TEH-8006/01-07	15/06/15	10:36:52	10:52:53	10:10'		128
67	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H7	TEH-8006/01-07	15/06/15	10:59:06	11:15:07	10:10'		128
68	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 F8	TRC-8073/01-10	15/06/15	12:48:44	13:04:45	10:10'		128
69	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 F9	TRC-8073/01-10	15/06/15	13:19:04	13:35:05	10:10'		128
70	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 G8	TRC-8124/01-11	15/06/15	12:54:45	13:10:46	10:10'		128
71	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 G9	TRC-8124/01-11	15/06/15	13:24:19	13:40:19	10:10'		128
72	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H8	TEP-8206/01-12	14/06/15	12:23:01	12:39:01	10:10'		128
73	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H9	TEP-8206/01-12	14/06/15	12:51:25	13:07:25	10:10'		128
74	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 H8	TEH-8006/01-07	15/06/15	11:28:24	11:44:25	10:10'		128
75	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 F10	TRC-8073/01-10	15/06/15	13:46:25	14:02:26	10:10'		128
76	SAAL_BAGGIO_18_04_2015	Phub01 F11	TRC-8073/01-10	15/06/15	14:11:30	14:27:31	10:10'		128

Fig. 13: Finestra principale del database Grilla.

Una volta selezionata la specifica acquisizione, il software mostra le tracce relative alle tre componenti del segnale analizzato (fig. 14). Si procede quindi con l'analisi, impostando i parametri relativi a: la lunghezza della traccia da analizzare, la dimensione della finestra temporale in cui suddividere la registrazione, la percentuale di

smoothing e il tipo di finestra da applicare al segnale, l'intervallo di frequenza all'interno del quale calcolare lo spettro H/V.

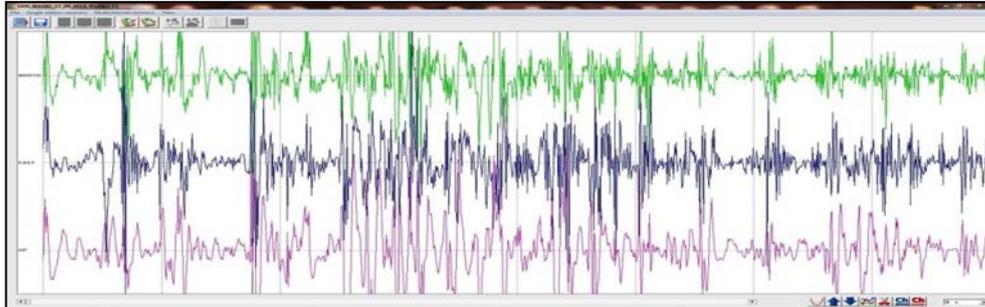


Fig. 14: Immagine delle tracce registrate relative a ciascuna componente N-S (verde), E-W (blu) e verticale Z (viola).

Si è scelto di analizzare l'intero segnale (20 minuti) con la suddivisione in finestre di 20 secondi, assegnando uno smoothing del 10%, utilizzando una finestra triangolare, il rapporto spettrale H/V è stato calcolato all'interno del range di frequenza 0,1 a 64 Hz, pari alla metà della frequenza di campionamento utilizzata per acquisire il segnale (128 Hz) (fig. 15).

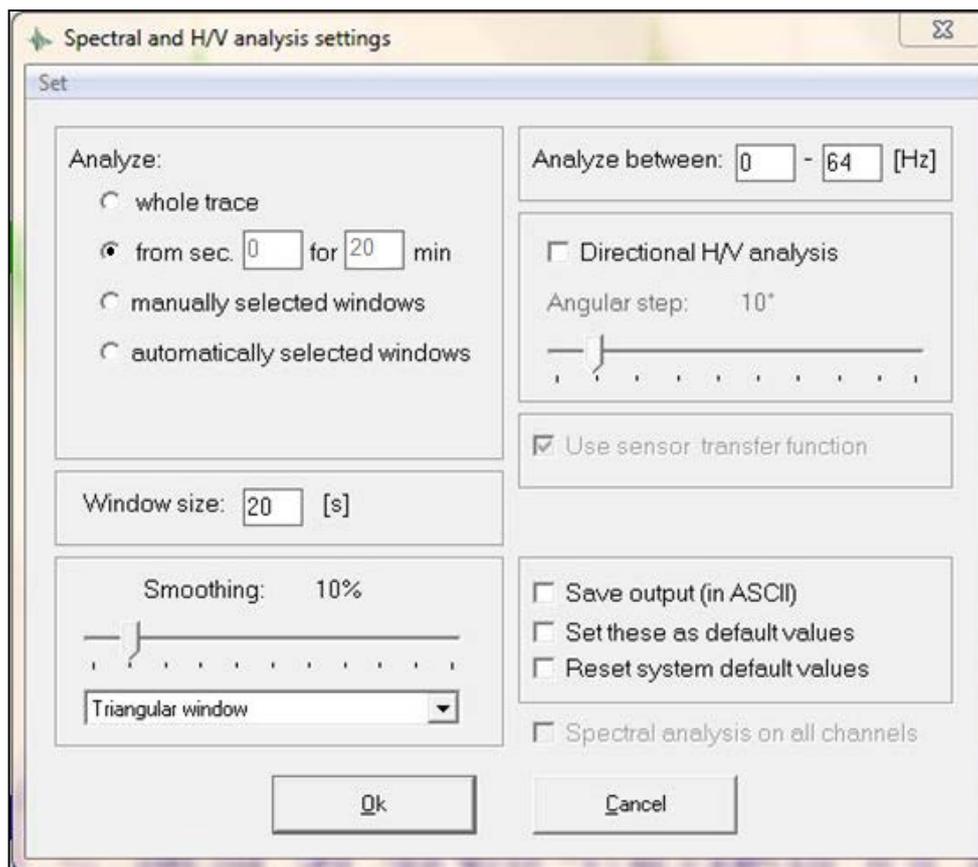


Fig. 15; Finestra delle impostazioni per l'analisi della registrazione.

Il segnale quindi è stato pulito, selezionando le porzioni stazionarie in modo da eliminare i transienti, legati a disturbi antropici riferibili a sorgenti esterne vicine al sito di misura (fig. 16).

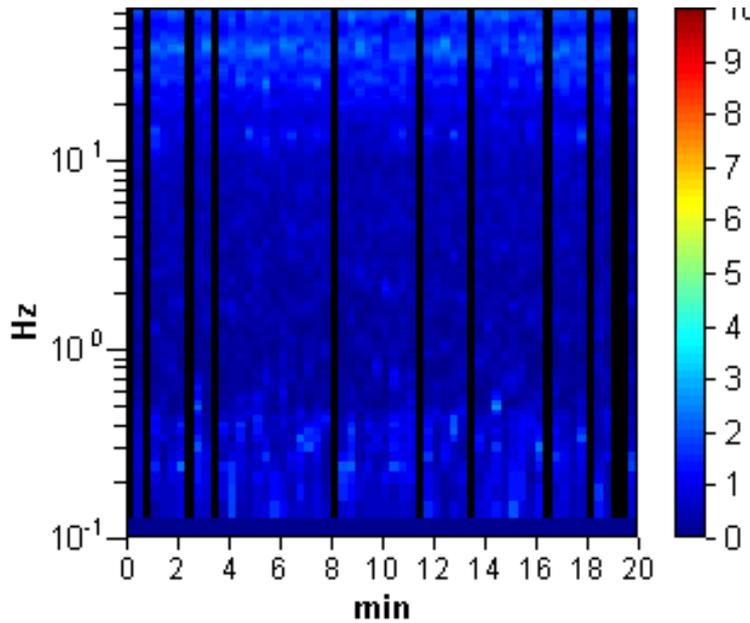


Fig. 16: Grafico della stazionarietà del segnale dopo il processo di pulizia.

Il grafico di figura 17, mostra l'elaborazione di una tipica registrazione di segnale HVSR; il risultato è uno spettro di frequenza (linea rossa) che rappresenta il rapporto tra la media delle componenti del moto orizzontale (N-S ed E-W) e quella del moto verticale.

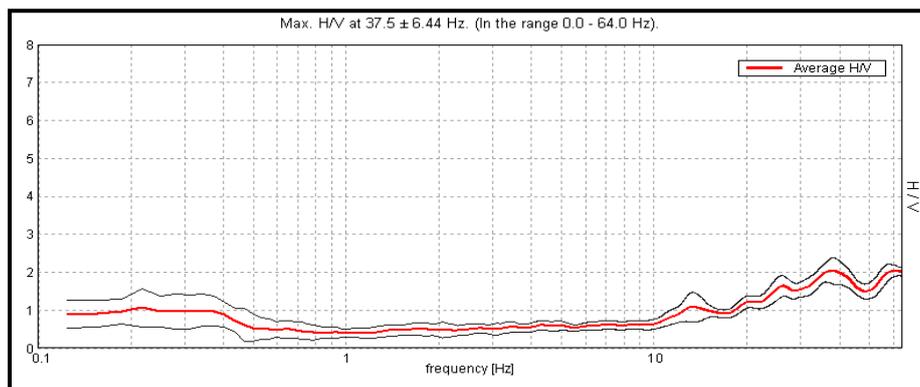


Fig. 17: Spettro di frequenza (rosso) e la deviazione standard (nero).

Tale rapporto, in realtà, raffigura la media dei rapporti spettrali ottenuti per ogni valida finestra di registrazione di 20 secondi; le linee nere mostrano la deviazione standard dell'intero spettro ottenuto.

Insieme al grafico relativo allo spettro H/V, il software fornisce una rappresentazione grafica degli spettri di Fourier delle singole componenti del moto del suolo. Il loro andamento è significativo nel discernere i contrasti d'impedenza sismostratigrafica da qualsivoglia segnale artefatto di origini antropica. Nel picco stratigrafico la componente verticale (Z) si sposta verso il basso, generando una forma ad "occhio", mentre, in un picco antropico tutte le componenti si spostano contemporaneamente verso l'alto (Castellaro, 2010) (fig. 18).

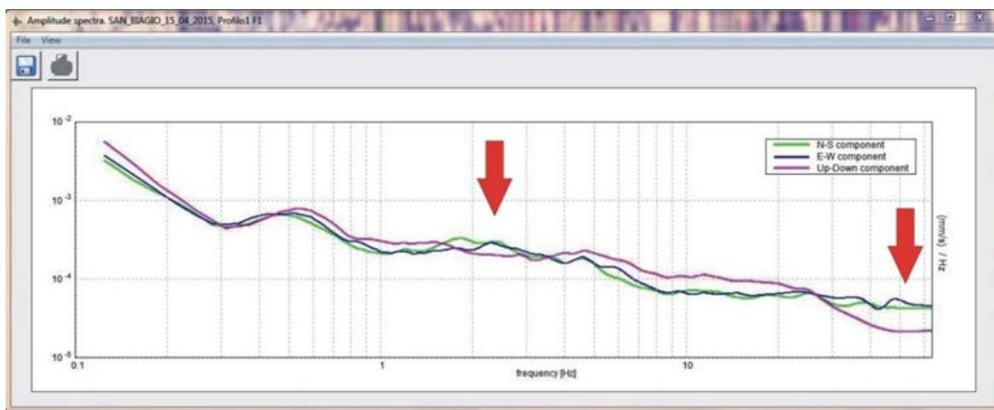


Fig. 18: Spettro di Fourier delle singole componenti del moto. Le frecce rose evidenziano la tipica forma a "occhio", indicativa della presenza di un picco di origine stratigrafica.

3.4 Risultati e interpretazione

Dalle registrazioni a stazione singola del rumore sismico ambientale in campo libero sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura descritta in SESAME (2003; 2005).

Il confronto tra le curve H/V ottenute per i due siti investigati, “Via Verona” e Via Oberdan”, mostrano una stratigrafia 1D caratterizzata dalla presenza di modesti riflettori a cui si associano picchi amplificativi assai ridotti all’interno del range di frequenze d’interesse ingegneristico con valori del rapporto H/V poco al di sotto di e/o prossimi a “2”. Al di fuori del suddetto range si evidenzia la presenza di riflettori di natura stratigrafica e/o antropica in entrambi i siti con un valore massimo del rapporto H/V prossimo a “5” a frequenza di circa 50 Hz per “Via Verona” ed un valore massimo del rapporto H/V prossimo a “3” per una frequenza di poco superiore a 25 Hz per “Via-Oberdan” (figg. 19, 20).

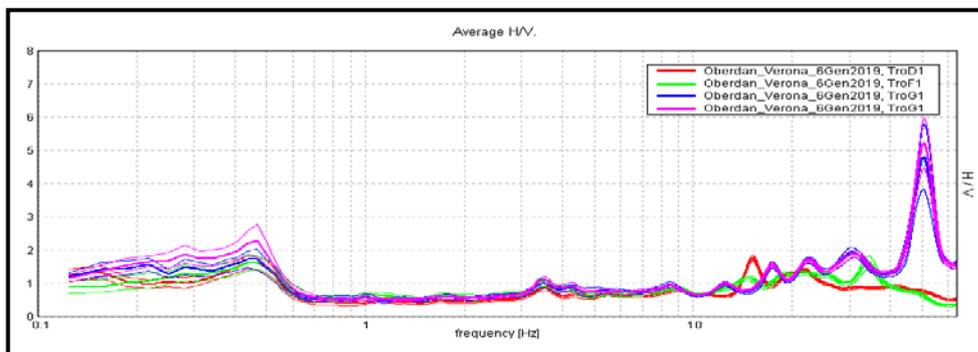


Fig. 19: Spettri H/V relativi alle acquisizioni effettuate in via Verona.

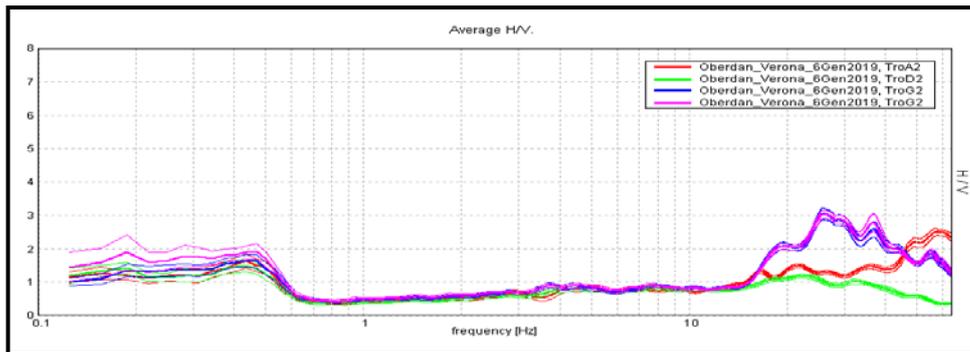


Fig. 20: Spettri H/V relativi alle acquisizioni effettuate in via Oberdan.

Per i siti investigati l'esito dei test statistici (linee guida SESAME, 2004/05) evidenzia come tutte le misure effettuate soddisfano tutti i criteri di bontà d'esecuzione, analisi ed affidabilità mentre i picchi principali di risonanza per ciascuna delle misure non sempre risultano significativi e chiari per tutti i sei criteri analizzati (figg. 21, 22) le tabelle SESAME relative alle stazioni di misura TroF1_grilla 09 - 3 criteri verificati; misura TroG2_grilla 30 -6 criteri verificati).

Max. H/V at 34.31 ± 32.76 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).					
Residenza Universitaria "Centro" Via Verona - Catania Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled] Tro_F1 - grilla_09					
$f_0 > 10 / L_w$	34.31 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	21273.8 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1500 times	OK			
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$					
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	12.188 Hz	OK			
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	43.063 Hz	OK			
$A_0 > 2$	1.64 > 2		NO		
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.95469 < 0.05		NO		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	32.75782 < 1.71563		NO		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1982 < 1.58	OK			
L_w	window length				
n_w	number of windows used in the analysis				
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles				
f	current frequency				
f_0	H/V peak frequency				
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency				
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0				
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f				
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided				
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve				
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. 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	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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 Sesame (2004/05): test di affidabilità e chiarezza della misura a stazione singola H/V					

Fig. 21: Verifica dei parametri Sesame di affidabilità della misura e di chiarezza del picco H/V per una delle acquisizioni effettuate in via Verona.

Max. H/V at 25.63 ± 0.72 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).					
Residenza Universitaria "Centro" Via Oberdan - Catania Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled] Tro_G2 - grilla_30					
$f_0 > 10 / L_w$	25.63 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	19987.5 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1231 times	OK			
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$					
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] A_{HM}(f) < A_0 / 2$	16.75 Hz	OK			
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] A_{HM}(f^+) < A_0 / 2$	59.875 Hz	OK			
$A_0 > 2$	3.04 > 2	OK			
$f_{\text{range}} [A_{HM}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02813 < 0.05$	OK			
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.72072 < 1.28125$	OK			
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1717 < 1.58$	OK			
L_w	window length				
n_w	number of windows used in the analysis				
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles				
f	current frequency				
f_0	H/V peak frequency				
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency				
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0				
$A_{HM}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f				
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HM}(f^-) < A_0/2$				
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{HM}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{HM}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HM}(f)$ curve should be multiplied or divided				
$\sigma_{\log HM}(f)$	standard deviation of $\log A_{HM}(f)$ curve				
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. 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	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log HM}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20
Tabella Sesame (2004/05): test di affidabilità e chiarezza della misura astazione singola H/V					

Fig. 22: Verifica dei parametri Sesame di affidabilità della misura e di chiarezza del picco H/V per una delle acquisizioni effettuate in via Oberdan.

Occorre notare, in generale, che i primi tre criteri della tabella SESAME “Criteri per una curva H\|V affidabile” dicono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata; è opportuno che questi tre criteri siano tutti soddisfatti.

I secondi criteri della Tabella relativi a “Criteri per un picco H\|V chiaro” indicano se il “picco” è significativo dal punto di vista statistico; il mancato soddisfacimento dei requisiti non implica una cattiva registrazione del segnale ma indica soltanto che non vi sono contrasti d’impedenza tali da dar origine a picchi significativi.

4. MISURE DI SISMICA IN ARRAY- MASW (*Multichannel Analysis Surface Waves*)

4.1 Metodologia

La tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una indagine non invasiva che, tramite geofoni di adeguata frequenza posti sulla superficie del suolo, consente di individuare la curva di dispersione (o velocità di fase sperimentale apparente) delle onde di Rayleigh (Rayleigh, 1885), nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz. Dalla curva di dispersione ottenuta, tramite la risoluzione di un problema inverso, è possibile calcolare la variazione verticale, con la profondità, della velocità delle onde di taglio (V_s) (Park et al, 1999) (fig. 23).

La prova MASW fornisce il profilo di velocità V_s monodimensionale, fornendo un valore medio di velocità relativo alla porzione di sottosuolo sottesa allo stendimento dei ricevitori. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori, sia dall'interdistanza geofonica utilizzata.

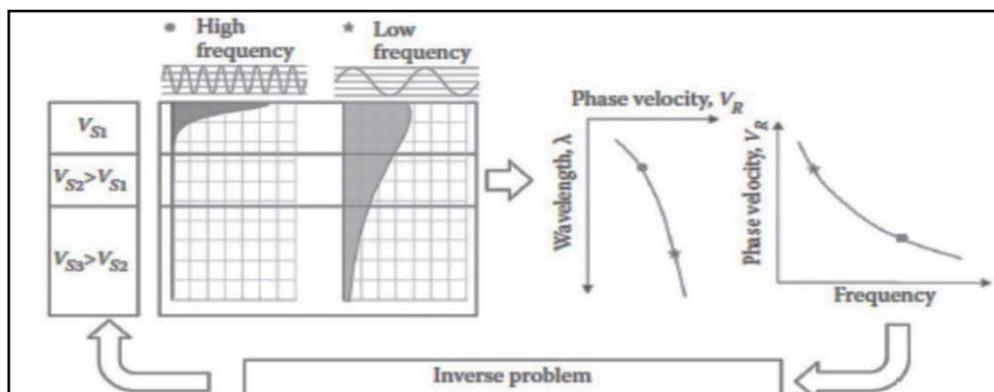


Fig. 23: Flusso di lavoro per l'elaborazione dell'indagine MASW.

Energizzando il sito in un punto della superficie libera si generano diversi tipi di onde in funzione della disposizione spaziale della sorgente rispetto la superficie. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie libera le onde che vengono generate appartengono al piano verticale: onde P, onde SV, onde di Rayleigh (Richart et al, 1970; Achenbach, 1999).

Nel caso in cui la sorgente è parallela rispetto la superficie libera si originano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH e onde di Love.

Generalmente per il metodo MASW è preferibile utilizzare sorgenti perpendicolari alla superficie libera al fine di misurare le sole onde di Rayleigh.

Sebbene una sorgente perpendicolare alla superficie libera generi anche onde P e onde SV oltre alle onde Rayleigh, il contributo di quest'ultime è prevalente rispetto a quello degli altri due tipi di onda generati. Questo perché le onde Rayleigh trasportano circa due terzi dell'energia generata dalla sorgente e inoltre, subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV. La minore attenuazione è legata alle differenti modalità di propagazione dei diversi tipi di onde, le onde Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, invece le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici (Stokoe and Santamarina, 2000).

Risulta quindi chiaro che il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, la cui velocità è strettamente correlata alla rigidità delle porzioni di sottosuolo interessate dalla loro propagazione.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh hanno un comportamento dispersivo, cioè la velocità di fase e velocità di gruppo delle onde che si propagano sono dipendenti dalla lunghezza d'onda e quindi dalla frequenza (Aki and Richards, 1980). Onde con minor frequenza, quindi con una lunghezza d'onda maggiore, si propagano negli strati più profondi del sottosuolo indagato, mentre onde ad alta

frequenza, con lunghezza d'onda minore, si propagano negli strati più superficiali.

4.2 Strumentazione utilizzata e acquisizione dati

Le onde superficiali sono state generate in un punto della superficie del suolo tramite una mazza dal peso di 8 kg.

Il segnale è stato registrato con un array digitale multicanale (SoilSpy Rosina, Micromed/Moho S.r.l.), costituito dallo stendimento di 12 geofoni verticali a frequenza propria di 4.5 (fig.24).



Fig. 24: Geofono con frequenza propria di 4.5 Hz.

In questo sistema la digitalizzazione del segnale avviene direttamente sui geofoni in quanto risultano muniti di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo evitando ogni fenomeno di *cross-talk* lungo il cavo e migliorando il rapporto segnale-rumore.

Le acquisizioni sono state condotte a frequenza di campionamento di 512 Hz per una durata di 3 secondi.

Sono state realizzate 2 indagini MASW (Fig. 12), una lungo via Verona (MSW₁ - fig. 25) ed una lungo via Oberdan (MSW₂ - fig. 26). Entrambe le indagini sono state realizzate con stese da 12 geofoni, utilizzando una distanza intergeofonica di 3 metri per la MSW₁ e 5

metri per la MSW₂, per una lunghezza totale rispettivamente di 33 e 55 metri (figg. 25 e 26).

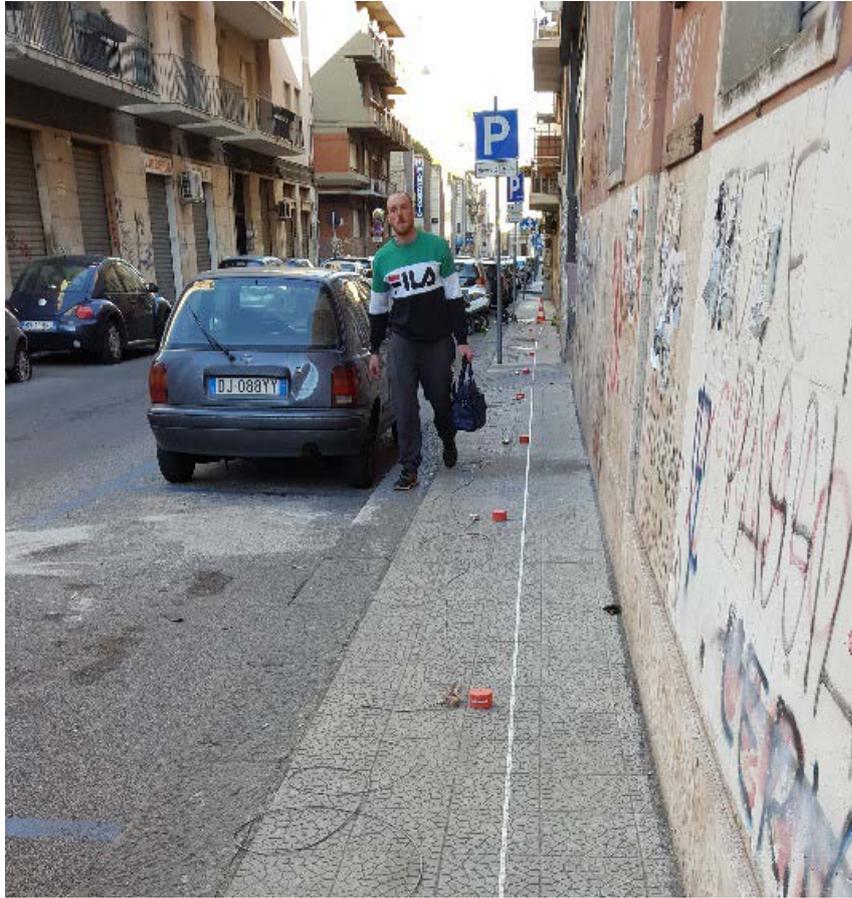


Fig. 25: Stendimento MSW1 lungo via Verona.



Fig. 26: Stendimento MSW2 lungo via Oberdan.

A parità di numero di ricevitori l'interdistanza geofonica (3÷5m) adoperata consente di avere uno stendimento più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k ; tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato. Viceversa l'interspazio geofonico più piccolo (es. 2,0 m) consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda. Il numero d'onda di Nyquist è pari a:

$$k_{Nyquist} = \pi / \Delta x$$

dove Δx è il minimo interasse tra i ricevitori. La risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata k è pari a:

$$\Delta k = \frac{2\pi}{N * \Delta x}$$

dove N è il numero di ricevitori dello stendimento.

L'energizzazione (fig. 27) è stata effettuata ad una distanza dal primo ricevitore pari a 5 m. Questa distanza, in funzione delle spaziature intergeofoniche adottate, risulta essere ottimale in quanto permette di mitigare l'effetto delle onde P e S nel Near-Field (Roy and Jakka, 2017).



Fig. 27: Foto della fase di energizzazione della prova MASW.

Per aumentare il rapporto segnale-rumore è stata applicata la tecnica dello stacking, effettuando 5 shots sismici, sullo stesso punto, per ogni lato dello stendimento. L'esecuzione degli shots sui lati

opposti dello stendimento è stata effettuata al fine di verificare l'eventuale presenza di strati inclinati più di 15° - 20° .

4.3 Elaborazione Dati

Operativamente l'elaborazione dei dati MASW può essere suddivisa in tre fasi principali:

- ✓ calcolo della curva di dispersione;
- ✓ calcolo della velocità di fase apparente numerica;
- ✓ individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson σ), la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.
- ✓ Il modello di sottosuolo e di conseguenza il profilo di velocità delle onde di taglio possono essere individuati con procedura manuale, con procedura automatica, o con una combinazione delle due.
- ✓ Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson σ , la densità di massa ρ e si variano lo spessore h e la velocità V_s degli strati.
- ✓ Nella procedura manuale l'operatore assegna diversi valori delle velocità V_s e degli spessori h , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva teorica.

- ✓ Per questo studio al fine di distinguere l'energia associata alle diverse frequenze delle onde di Rayleigh, le serie temporali acquisite, dal sistema multicanale SoilSpy, sono state processate nel dominio velocità di fase-frequenza applicando la trasformata di Fourier. Nei grafici raffiguranti gli spettri di velocità di fase delle onde di Rayleigh, le bande ad alta energia indicano le curve di dispersione; l'andamento di queste curve associa un valore di velocità di propagazione delle onde ad ogni frequenza.
- ✓ I profili 1D Vs-profondità sono stati ottenuti applicando la tecnica del fit congiunto tra le curve di dispersione ottenute dalle indagini e uno spettro H/V, relativo ad una misura effettuata in prossimità di ciascun stendimento.

5. INTERPRETAZIONE DEI DATI TRAMITE FIT-CONGIUNTO TRA HVSR E MASW

La procedura di fit congiunto consente di vincolare meglio il profilo 1D V_s - profondità, riducendone l'errore associato.

Il modello di partenza è stato impostato sulla base delle informazioni ricavate dai sondaggi geognostici effettuati in precedenza in prossimità dell'area di indagine; a partire da tale modello il software calcola una curva di dispersione teorica e uno spettro H/V teorico, che vengono mostrati in sovrapposizione alle rispettive curve sperimentali. Il modello di partenza è stato quindi reiterativamente modificato fino ad ottenere la miglior sovrapposizione tra curve teoriche e sperimentali.

Per il sito investigato sono stati graficati, nell'ordine:

1. il grafico a contour degli spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh con la curva teorica (nel modo fondamentale ed eventualmente superiori) che meglio approssima quella sperimentale (figg. 28, 29);

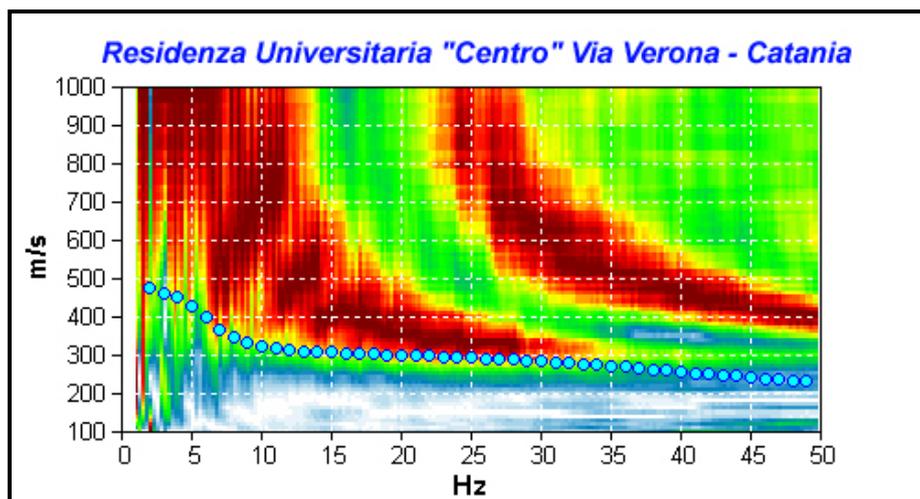


Fig. 28: Curva di dispersione sperimentale Vs teorica, relativa all'elaborazione della MSW1 eseguita in via Verona.

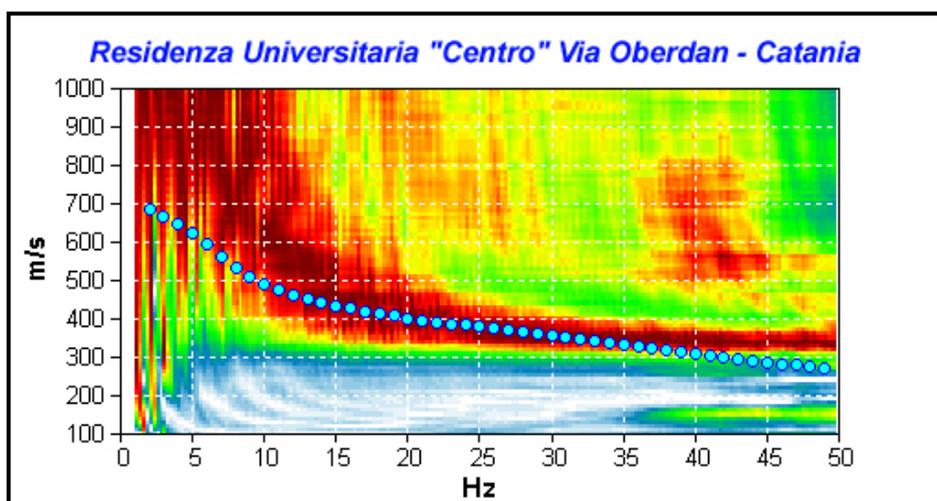


Fig. 29: Curva di dispersione sperimentale Vs teorica, relativa all'elaborazione della MSW2 eseguita in via Oberdan.

2. il confronto tra curve H/V acquisite lungo lo stendimento; eventuali differenze tra queste curve indicherebbero una stratigrafia non piano-parallela e quindi il decadimento degli assunti fondamentali su cui si basano le interpretazioni dei dati da array sismici;
3. la curva H/V teorica ottenuta per lo stesso modello di cui al punto 1), sovrapposta alla curva H/V sperimentale rappresentativa del sito;

4. il profilo di V_s in forma grafica e tabulare;
5. il valore del parametro $V_{seq/30}$ calcolato a partire dal piano fondazionale (nello specifico: a livello del p.c.), valore che porta con sé un'incertezza stimata dell'ordine del 10%÷20%.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessaria la classificazione dei terreni compresi tra il piano d'imposta delle fondazioni ed un substrato rigido di riferimento; tale classificazione può essere basata sulla stima, in considerazione dello spessore dei terreni tra il sedime fondazionale ed il bedrock, della velocità media delle onde di taglio calcolata ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2018) tramite la seguente formula:

$$V_{eq} = H / \sum(h_i / V_{sj})$$

dove:

- h_i** e **V_{sj}** rappresentano gli spessori e le velocità dei singoli strati;
- H** rappresenta la profondità del substrato, definito come quella formazione, costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s; per i depositi di copertura con la profondità del substrato superiore a 30 m la V_{seq} è definita dal parametro V_{s30} con il parametro H pari a 30 m.

Per il sito esaminato il confronto tra le curve teoriche e sperimentali nonché il profilo delle V_s (figg. 30, 31) ricavato ha permesso di stimare, in funzione del solo valore di $V_{seq/30}$ pari a 367 m/s, una categoria di suolo di fondazione pari a B (Tabella 3.2.II):

“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s)”.

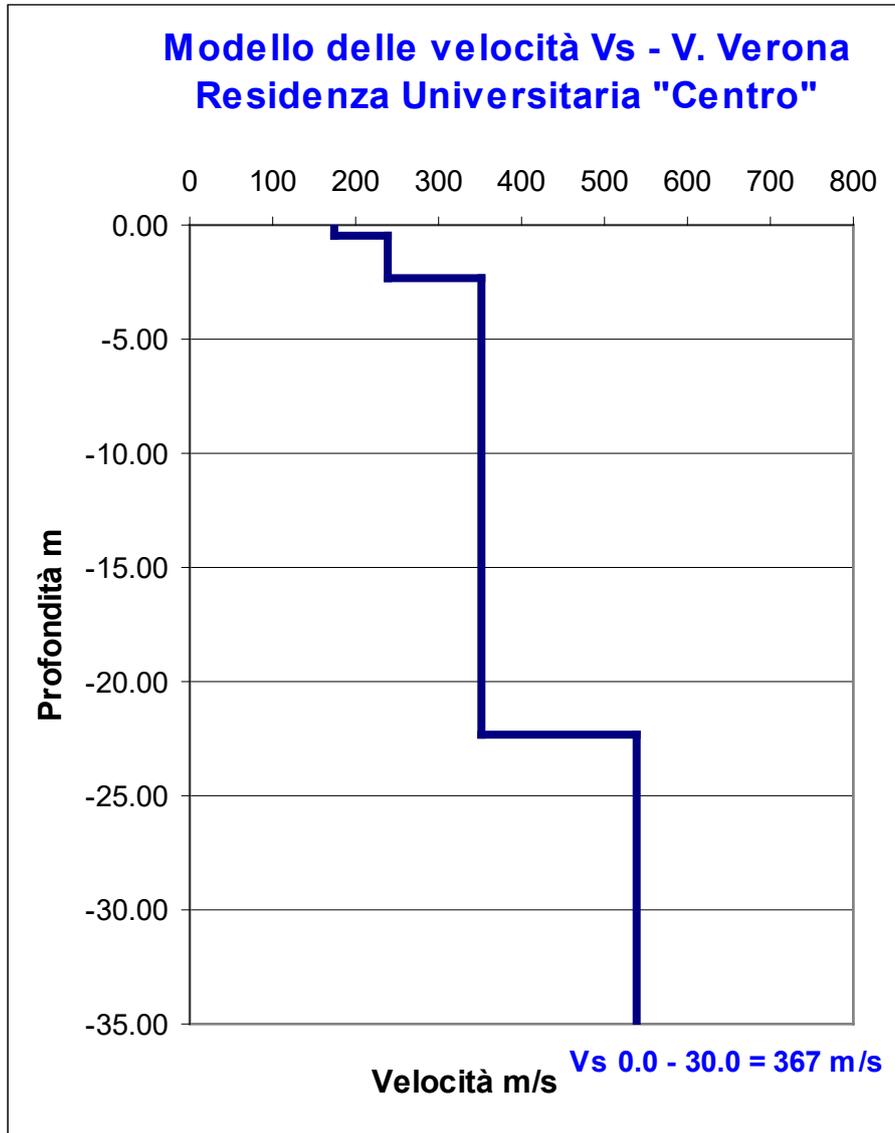


Fig. 30: Profilo 1D Vs-profondità ottenuto dall'elaborazione della MSW1 eseguita in via Verona.

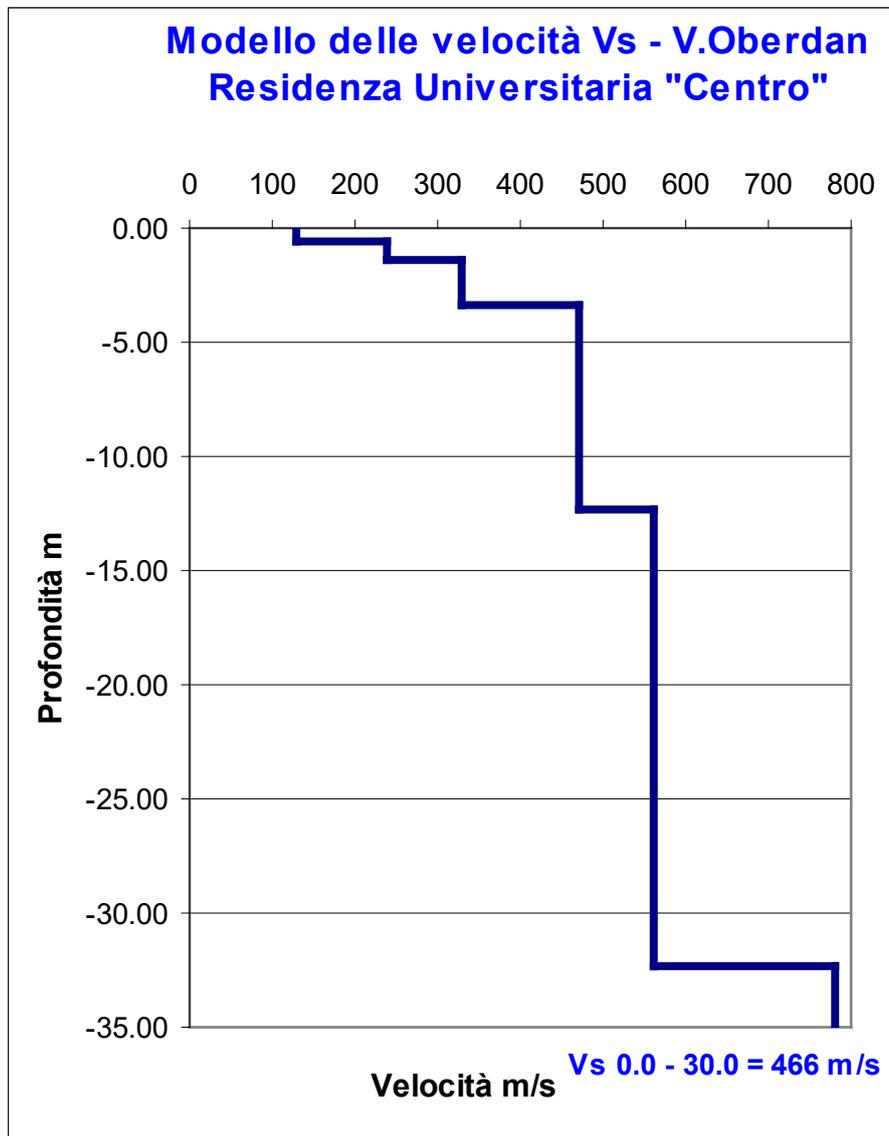


Fig. 31: Profilo 1D Vs-profondità ottenuto dall'elaborazione della MSW2 eseguita in via Oberdan.

Attraverso l'osservazione dei modelli di distribuzione delle velocità di propagazione delle onde Vs si evince che la velocità tende ad aumentare dal piano campagna sino alla profondità investigata individuando quattro sismostrati per la sezione investigata caratterizzati rispettivamente dai valori indicati nelle tabelle 2 e 3.

Profondità base strato [m]	Spessore [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]
0.50	0.50	664	175
2.30	1.80	467	230
22.30	20.00	695	350
Inf.	Inf.	1050	540

Tab. 2: Sismostrati individuati dall'elaborazione della MSW1 effettuata in via Verona.

Profondità base strato [m]	Spessore [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]
0.55	0.55	271	130
1.45	0.90	487	240
3.35	1.90	655	330
12.35	9.00	914	470

Tab. 3: Sismostrati individuati dall'elaborazione della MSW1 effettuata in via Oberdan.

Si sottolinea, altresì, che il valore di $V_{s_{eq/30}}$ suindicato (al pari dei modelli sismostratigrafici 1D raffigurati in precedenza) è stato ricavato attraverso i reciproci “vincoli” di profondità derivanti dall’uso congiunto delle metodologie di indagine in array ed a stazione singola.

Nelle figure 32 e 33 vengono raffigurati i grafici delle curve H/V sperimentali (linea rossa) e teoriche (linea blu) relativi rispettivamente al punto di acquisizione “TroF1 – grilla09” ubicato lungo via Verona (fig. 32) ed alla registrazione “TroG2 – grilla30” ubicata lungo via Oberdan, utilizzate per il fit-congiunto MASW-HVSR.

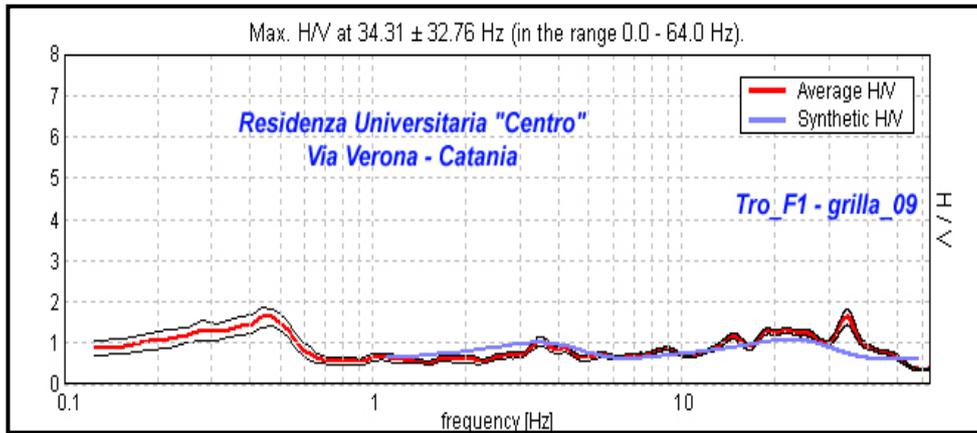


Fig. 32: Curva H/V sperimentale (linea rossa) e teorica (linea blu) per una delle acquisizioni eseguite in via Verona.

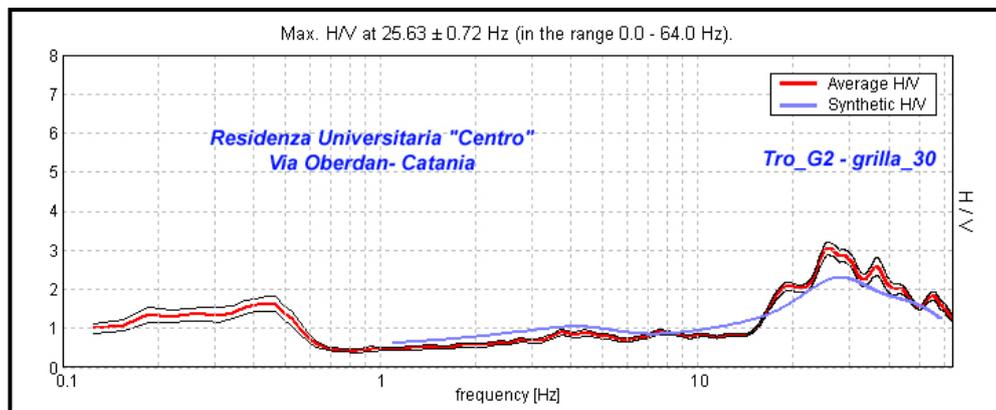


Fig. 33: Curva H/V sperimentale (linea rossa) e teorica (linea blu) per una delle acquisizioni eseguite in via Oberdan.

6. SEZIONI A CONTRASTO DI IMPEDENZA

Integrando i dati degli spettri H/V, ottenuti dalle elaborazioni delle registrazioni acquisite ad interdistanza regolare lungo degli allineamenti (vedi figura 1 per ubicazione allineamenti) (figg. 34, 35) con quelli relativi ai profili 1D Vs-profondità ricavati con la tecnica del fit congiunto MASW-HVSR, i valori di frequenza presenti negli spettri sono stati convertiti in valori di profondità, consentendo di ricostruire delle sezioni a contrasto di impedenza. Tali sezioni mostrano la distribuzione dei valori di ampiezza del rapporto spettrale H/V nel sottosuolo, permettendo di distinguere l'eventuale presenza di discontinuità sia orizzontali che verticali.



Fig. 34: foto dell'allineamento dei punti di registrazione relativi alla sezione B-B' (vedi figura 1 per ubicazione.

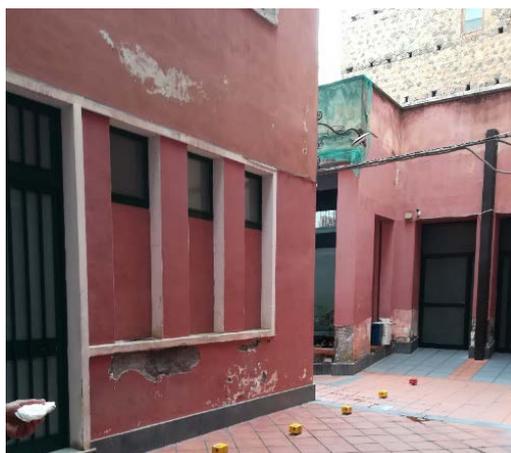


Fig. 35: foto dell'allineamento dei punti di registrazione relativi alla sezione A-A' (vedi figura 1 per ubicazione).

È ragionevole considerare che la velocità delle onde di taglio all'interno del mezzo investigato aumenti con la profondità per effetto del crescente carico litostatico che provoca la compattazione del materiale presente nel sottosuolo. Questa relazione può essere espressa dalla seguente funzione (Ibs-von Seht and Wohlenberg, 1999):

$$V_s(Z) = V_0(1 + Z)^\alpha \quad (1)$$

dove:

$V_s(Z)$ = velocità dell'onda di taglio;

V_0 , velocità dell'onda di taglio superficiale;

Z , profondità;

α , coefficiente proporzionalità tra profondità e velocità.

Avendo determinato sperimentalmente come varia la velocità all'aumentare della profondità (attraverso l'esecuzione, ad esempio, di un'indagine MASW) è possibile ottenere i parametri V_0 e α per i quali si ha il minimo errore tra il profilo V_s -profondità sperimentale e la funzione (1) che fitta i dati. Per convertire i valori di frequenza,

presenti negli spettri HVSR, in valori di profondità, occorre sostituire i parametri V_0 e α nella seguente funzione:

$$h = \left[\frac{V_0(1-\alpha)}{4f} + 1 \right]^{1/(1-\alpha)} - 1 \quad (2)$$

Per la nostra indagine i valori di V_0 e α che forniscono l'errore minimo tra la curva che fitta i dati e il profilo sperimentale 1D Vs-profondità ottenuto dal fit congiunto, sono:

$$V_0 = 120 \text{ m/s}$$

$$\alpha = 0.35$$

Sostituendo questi valori nella funzione (2) è stato possibile convertire i valori di frequenza, presenti negli spettri, in valori di profondità, riuscendo così a mappare la distribuzione spaziale dei valori di ampiezza del rapporto spettrale H/V nel sottosuolo.

Risulta evidente dalle 4 sezioni ottenute la presenza di contrasti di impedenza a diverse profondità. In particolare, si nota la presenza nelle sezioni effettuate nel cortile interno (fig. 36) di almeno due contrasti ad una profondità di 3 e 15-17 m rispettivamente; la sezione B e le sezioni esterne C e D, confermano la presenza di rifrattori alla profondità di circa 3 m (figg. 36, 37).

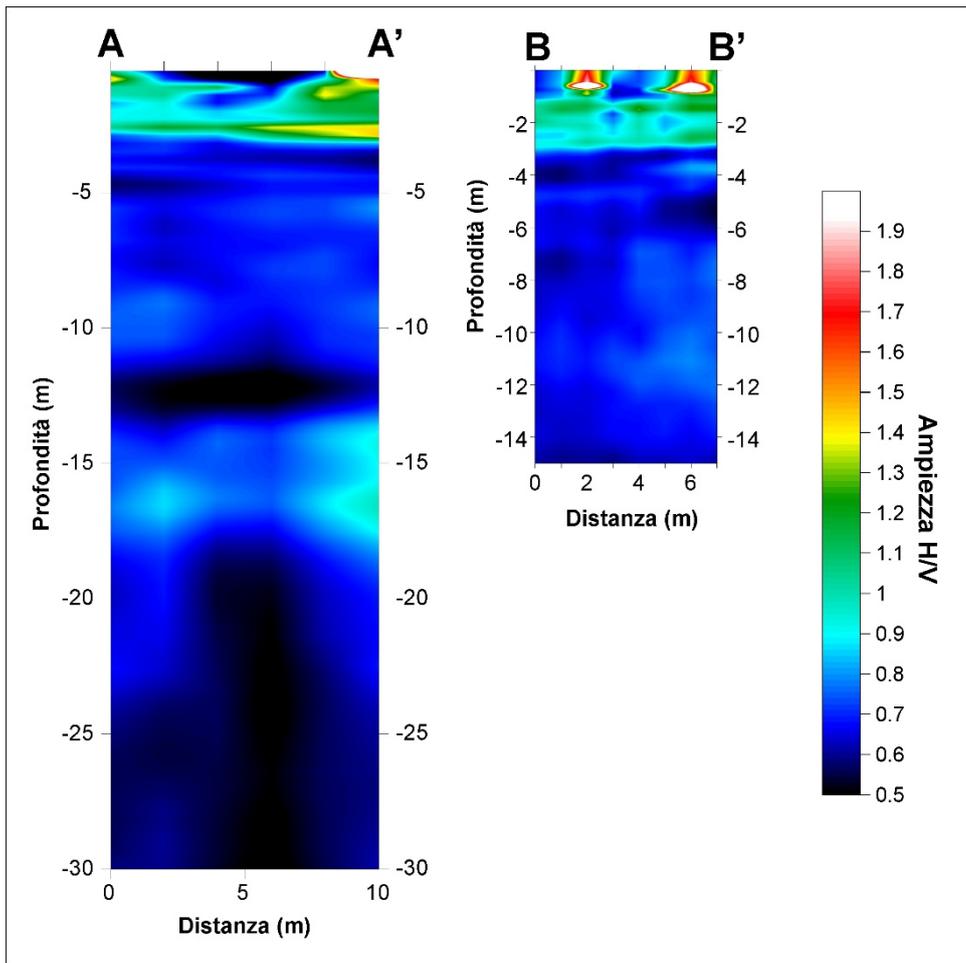


Fig. 36: Sezioni a contrasto d'impedenza ottenute dalle acquisizioni di noise ambientale effettuate all'interno del cortile.

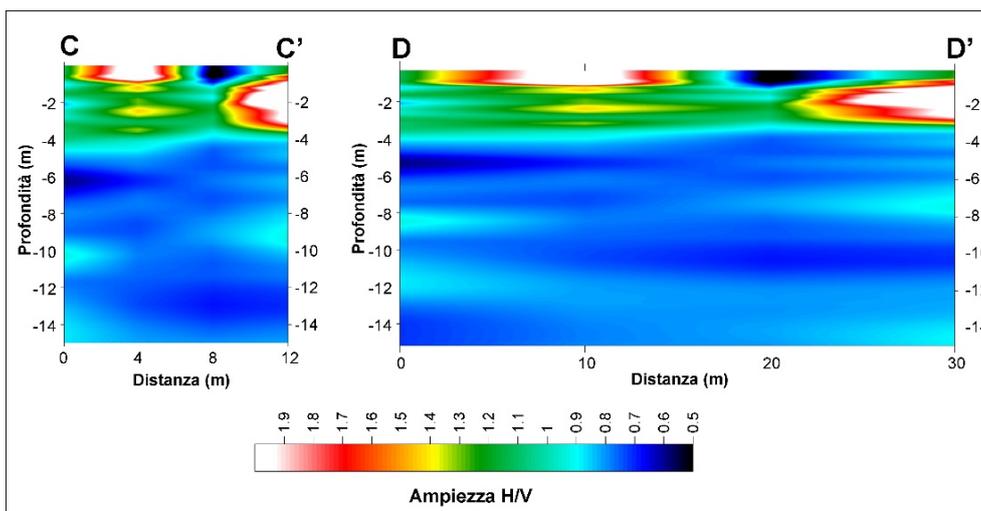


Fig. 37: Sezioni a contrasto d'impedenza ottenute dalle acquisizioni di noise ambientale effettuate all'esterno della struttura.

7. PROSPEZIONE GEOELETRICA TOMOGRAFICA – Electrical Resistivity Tomography (ERT)

7.1. Generalità

L'indagine geofisica è stata finalizzata all'individuazione e localizzazione di anomalie elettriche imputabili alla presenza di disomogeneità fisiche del substrato fondazionale.

La prospezione elettrica ha consentito, inoltre, di intercettare le interfacce latero-verticali dei litotipi attraversati dalla radiazione elettrica.

La tomografia elettrica, consente di ricostruire profili di resistività attraverso la disposizione sul terreno di un numero elevato di elettrodi che progressivamente vengono spostati lungo una data direzione variandone la distanza interelettrodica al fine di aumentare la profondità d'investigazione.

Il set di dati così ottenuto permette la costruzione di una matrice di valori di resistività la cui inversione, mediante algoritmi matematici, restituisce “immagini” elettroresistive del mezzo investigato.

7.2. Resistività delle rocce

La resistività delle rocce dipende principalmente dalla presenza di acqua nei pori. La quantità dei pori nella roccia è definita dalla porosità che è data dal rapporto tra il volume dei pori e quello della roccia. Macrofessure o cavità dove è presente solo aria, hanno un

comportamento elettrico nullo, cioè la resistività tende a valori altissimi (infinito dal punto di vista teorico).

La resistività di una roccia dipende anche dalla tessitura, cioè dalla disposizione, forma e dimensioni dei granuli che la compongono, e dai vuoti riempiti di acqua. Si precisa che le rocce ed i minerali non sono mezzi isotropi, e cioè corpi materiali dove le grandezze fisiche si mantengono le stesse prescindendo dalla direzione, ma variano da leggermente a fortemente anisotropi.

L'anisotropia delle rocce, relativamente alla resistività, è il risultato di una combinazione di differenti caratteristiche spaziali legate a microfessurazioni, stratificazioni variabili, tessitura, porosità.

Riepilogando, la resistività elettrica, oltre che dalle proprietà elettriche intrinseche del materiale indagato, dipende principalmente dai seguenti fattori:

- *grado di saturazione dei pori;*
- *porosità;*
- *densità, ovvero lo stato d'addensamento (specie in terreni alluvionali) della formazione;*
- *granulometria;*
- *eventuale grado di fratturazione;*
- *presenza di acqua o di umidità (grado di saturazione);*
- *salinità del fluido presente nei pori;*
- *presenza di vuoti;*
- *temperatura;*
- *presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.);*
- *presenza di argilla.*

La relazione empirica proposta da Archie (1942) è valida per suoli aventi scarsa componente argillosa (sabbie, ghiaie):

$$\rho_s = \rho_f a \phi^{-n} S^{-m}$$

dove:

- ρ_s : resistività ($\Omega \cdot m$) del suolo parzialmente saturo di fluido;
- ρ_f : resistività ($W \cdot m$) del fluido presente nei pori;
- S : frazione del volume di pori occupata dal fluido;
- m : coefficiente di saturazione (solitamente assunto essere pari a 2 in caso di saturazione in acqua);
- a : costante empirica, detta di Winsaur (tipico per sabbia: 0.62);
- n : coefficiente empirico, detto di "tortuosità" (tipico per sabbia: 2.15);
- ϕ : porosità del suolo.

La resistività del fluido ρ_f è calcolabile, qualora si conoscano le concentrazioni di ioni in soluzione (ad es. Cl^- , $SO_4^{=}$, NO_3^- , ecc.), utilizzando la formula:

$$\rho_f = 0.0123 + 10 (3.562 - 0.955 \log_{10} C)$$

dove C è la somma delle concentrazioni (pesate da opportuni coefficienti ricavati sperimentalmente per ciascun ione) di tutti gli ioni presenti.

In geoelettrica si osserva il "flusso" delle cariche attraverso le rocce, trascurando le tendenze allo squilibrio elettrico. Il flusso di cariche è la corrente elettrica che scorre per convezione da un polo positivo (+) ad un altro negativo (-), misurata in Ampere (A), ovvero la quantità di corrente elettrica che passa in un punto del circuito nell'unità di tempo (1 secondo).

Ciò che determina il flusso è la differenza di potenziale (d.d.p.) e cioè la depressione elettrica tra due punti distanti. La d.d.p. si misura in Volt (V). Nelle rocce il flusso di corrente è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale (V).

Il rapporto tra d.d.p. e corrente (I), a meno di un coefficiente geometrico (K), definisce la resistenza offerta da un corpo a farsi attraversare da cariche. Questo semplice rapporto, definito come legge di Ohm, introduce una terza grandezza: la resistività elettrica (ρ).

$$\rho = K \frac{V}{I}$$

Vengono di seguito elencati i “range” di resistività di alcune rocce, minerali e metalli:

ROCCE - MINERALI - METALLI	Resistività (ohm + m)
ROCCE SEDIMENTARIE	
Calcere	100 - 5000
Argilla	1 - 100
Ghiaia	100 - 5000
Sabbia	100 - 10 ³
Arenaria	100 - 10 ⁴
Marna	1 - 100
Quarzite	5000 - 10 ⁵
ROCCE IGNEE E METAMORFICHE	
Basalto	10 - 10 ⁵
Granito	100 - 10 ⁵
Marmo	100 - 10 ⁶
Scisto	10 - 10 ⁴
Gabbro	10 ³ - 10 ⁶
Ardesia	100 - 10 ⁶
MINERALI E METALLI	
Pirite	0,0001 - 10
Argento	10 ⁻⁷
Grafite	0,001 - 1
Quarzo	10 ⁵
Salgemma	10 - 10 ⁹
Bauxite	200 - 6000
Galena	0,01 - 200
ACQUE	
Di mare	< 0,2
Pura	100 - 10 ³
Naturale	1 - 100
Con 20% di sale (NaCl)	0,001

7.3. Strumentazione ed acquisizione dati

La strumentazione utilizzata per l'indagine consiste di un georesistivimetro multielettrodico digitale (24 bit) con risoluzione fino a 100 microvolts, dotato di una gestione automatica degli elettrodi, in grado cioè, di commutare gli elettrodi, disposti lungo la sezione da investigare, in elettrodi di corrente ed elettrodi di potenziale, con tutte le possibili combinazioni quadripolari.

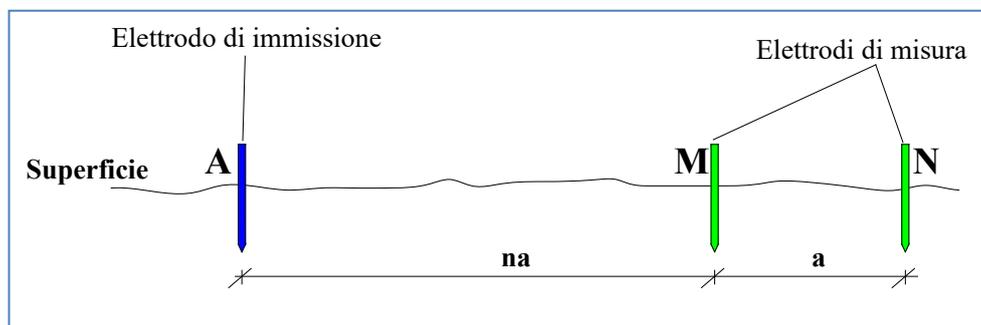


Fig. 38: Configurazione Polo-Dipolo (utilizzata per l'ERT).

La configurazione polo-dipolo (fig. 38), in relazione alla possibilità di disporre liberamente gli elettrodi in superficie ha, rispetto ad altre geometrie (wenner, dipolo-dipolo, polo-polo ecc.), una migliore copertura orizzontale, una maggiore potenza del segnale e viene meno disturbata dal "rumore" tellurico.

A differenza delle altre configurazioni, la polo-dipolo ha una geometria fortemente asimmetrica, per tale ragione le misurazioni devono essere effettuate con le modalità "forward" e "reverse" degli elettrodi.

L'utilizzo di acquisizioni ridondanti, con sovrapposizione dei livelli di misura, permette di aumentare la densità dei dati contribuendo a migliorare la risoluzione del conseguente modello di inversione.

L'acquisizione dei dati viene effettuata registrando la differenza di potenziale che si genera nei picchetti di misura (M - N), secondo delle geometrie prefissate.

Nel dettaglio l'operazione d'acquisizione può essere riassunta come segue:

➤ *Disposizione del cavo elettrodico lungo un determinato profilo;*

Scelta della configurazione geometrica (nel caso specifico polo - dipolo);

➤ *Annullamento dei potenziali spontanei;*

➤ *Immissione della corrente;*

➤ *Misura ed archiviazione dati.*

La restituzione dei dati avviene in forma matriciale consentendone l'immediata elaborazione.



Fig. 39: Georesistivimetro multielettrodico digitale (24 bit).

Si elencano di seguito le caratteristiche tecniche del georesistivimetro (fig. 39) utilizzato per l'acquisizione dei dati:

- *Regolazione automatica (5 step)*
- *Intensità massima: 5A a 50V*
- *Tensioni di uscita: $\pm 50V$, $\pm 100V$, $\pm 250V$, $\pm 500V$, $\pm 800V$ (950V con generatore esterno opzionale)*
- *Potenza massima: 250W (600W con generatore esterno)*
- *Tempo di immissione: impostabile a partire da 0,25 sec. (visualizzazione grafica dell'onda impostata)*
- *Precisione della misura: $\pm 0,2\mu A$*

- *Misura simultanea su tutti i canali impostati*
- *Auto range*
- *Fondo scala massimo: $\pm 25V$*
- *Impedenza di ingresso: $2,5M\Omega$*
- *Filtro frequenza di rete: 50Hz*
- *Protezione: superiore*
- *Precisione della misura: $\pm 1,5\mu V$ nel range $\pm 25V$*
- *Riduzione del rumore: con media da 2 a 10 misure*
- *Azzeramento automatico del potenziale spontaneo*
- *Accuratezza della resistività misurata: $\pm 0,5\%$*
- *Cercabilità misurata su quattro finestre temporali di durata complessiva di 1,2 sec.*

7.4. Parametri utilizzati per l'acquisizione

- Profondità d'investigazione raggiunta (funzione della logistica e degli spazi a disposizione) = 5 metri dal piano quota 0;
- Risoluzione laterale e verticale pari a 1,5 metri;
- Ambito di distribuzione elettroica (funzione della profondità d'investigazione) circa 30 x 20 metri per un totale areale di 513 m²;

- N° elettrodi impiegati = 65 + 1 remoto a spaziatura variabile;
- È stata applicata la correzione topografica;
- Il posizionamento dei picchetti elettrodici è stato eseguito impiegando un trapano attrezzato di punta adeguata in lunghezza e diametro.

Nella tabella seguente (Tab. 4) viene riportata la posizione degli elettrodi, in relazione al sistema di riferimento adoperato per l'area d'indagine scelta.

Elettrodo	X	Y	Z
E1REMOTO	9,04	-5,55	2
E2	4,76	18,83	0
E3	4,76	15,83	0
E4	4,76	13,33	0
E5	1,94	13,33	0
E6	0,6	12,2	0
E7	0,6	9,31	0
E8	0,6	5,97	0
E9	3,6	5,97	0
E10	6,6	5,97	0
E11	8,08	5,97	0
E12	8,08	4,11	0
E13	8,08	2,11	0
E14	10,95	2,02	0
E15	13,51	1,68	0
E16	16,31	1,75	0
E17	16,31	3,68	0
E18	16,31	5,63	0
E19	16,56	7,65	0
E20	18,6	7,8	0
E21	21,5	8,2	0
E22	21,9	5,91	0
E23	24,46	5,03	0
E24	25,1	2,14	0
E25	26,74	1,27	0
E26	26,33	3,17	0
E27	26,33	6	0
E28	26,13	8,39	0
E29	25,24	5,94	0
E30	23,04	7,08	0

E31	22,89	9,02	0
E32	20,1	8,84	0
E33	17,95	9,1	0
E34	17,95	11,2	0
E35	16,05	11,2	0
E36	16,5	13,15	0
E37	16,5	16,35	0
E38	16,5	17,65	0
E39	14,2	17,65	0
E40	14,2	19,7	0
E41	11,3	19,7	0
E42	11,3	17,18	0
E43	9,4	17,18	0
E44	9,4	14,67	0
E45	6,6	14,67	0
E46	6,6	17,5	0
E47	8,39	18,48	0
E48	6,6	19,74	0
E49	14,71	3,67	0
E50	14,71	6,82	0
E51	14,71	9,92	0
E52	12,2	9,92	0
E53	10,97	11,52	0
E54	8,1	11,52	0
E55	5,27	11,52	0
E56	2,27	11,52	0
E57	2,27	8,52	0
E58	5,27	8,52	0
E59	8,27	8,52	0
E60	10,12	8,67	0
E61	10,12	6,42	0
E62	10,12	3,42	0
E63	12,33	3,42	0
E64	12,33	6,27	0
E65	12,33	9,27	0
E66	11,7	12,2	0

Tab. 4: Coordinate degli elettrodi, in relazione al sistema di riferimento adoperato per l'area d'indagine.

Nel dettaglio l'operazione d'acquisizione può essere riassunta così come segue:

- disposizione degli elettrodi secondo la geometria 3D L, U o anulari (loop di elettrodi);
- generazione della matrice di acquisizione;
- scelta della configurazione geometrica (nel caso specifico polo-dipolo);
- annullamento dei potenziali spontanei;
- immissione della corrente (circa 1 – 2 mA);
- misura ed archiviazione dati;
- Software d'inversione tomografica 3D ottimizzato con render d'inversione (fig. 40).

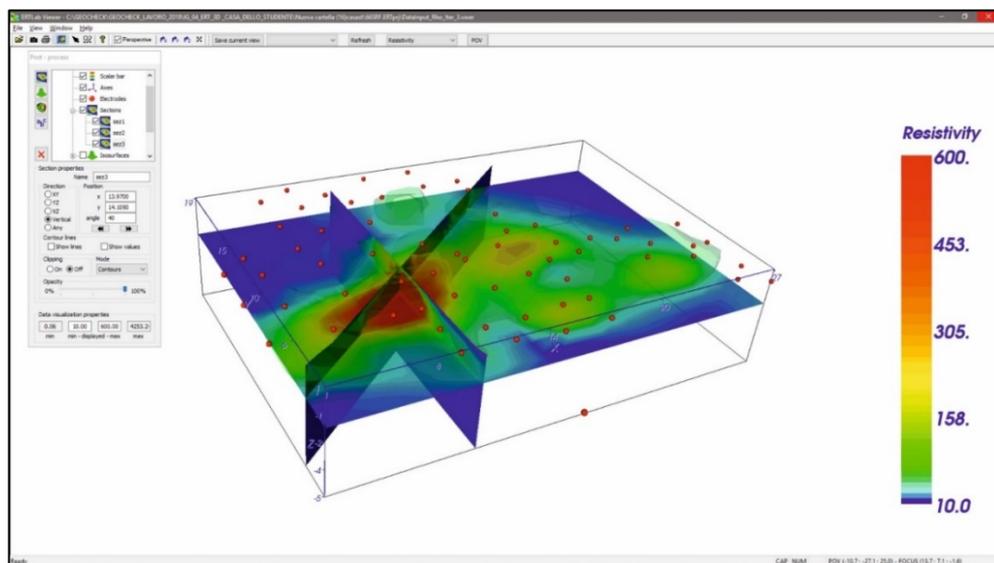


Fig. 40: Render di inversione tomografica.

L'elaborazione dei valori di resistività calcolati sulla base dei potenziali misurati in sito, è stata eseguita attraverso un algoritmo d'inversione tomografica 3D del tipo "full 3D dimensional".

Questo tipo di algoritmo, basato su elementi finiti tetraedrici, consente di inserire dati topografici complessi e di invertire il data-set dei dati registrati, anche in presenza di elevato "noise" elettrico di fondo.

7.5. Risultati e Interpretazione dei Profili e dei Blocchi Elettroresistivi

La profondità d'investigazione è stata tarata in funzione delle esigenze progettuali. In particolare sono state raggiunte profondità investigative nell'intorno di 5.0 metri dalla quota più alta.

I risultati consistono nella definizione dell'immagine elettroresistiva tridimensionale del volume di terreno circostante e sottostante l'area interessata (nello specifico il corpo di fabbrica (mensa ed alloggio studenti). Le restituzioni riguardano il blocco georesistivo 3D complessivo.

Le indagini tomografiche sono state eseguite sia nel piano cantinato (ERT₁- fig. 41, 42) che all'esterno dell'edificio (ERT₂ – fig. 43) (vedi figura 1 per ubicazione). In particolare, i risultati ottenuti dalla interpretazione dei dati relativamente alla ERT₁ (piano cantinato) mostrano un andamento dei valori di resistività rappresentativi di terreni mediamente conduttivi che inglobano blocchi da medio resistivi a altamente resistivi, questi ultimi concentrati nella parte centrale dell'area (tav. 1-4) e litologicamente costituiti da lave compatte e piroclastiti. Non si rilevano vettori di deflusso idrico, nonostante sia stata individuata una porzione basso – resistiva, probabilmente dovuta a stazionamento idrico.



Fig. 41: Foto dell'ubicazione degli elettrodi per l'ERT1 eseguita nel piano cantinato.

Per quanto riguarda l'indagine eseguita all'esterno ERT2 (tav. 5-8) utilizzando una classica disposizione elettrodica ad L parallela ai due lati dell'edificio, viene evidenziata una distribuzione dei volumi elettroresistivi che va da valori medi ad alto-resistivi. Si nota l'assenza, rispetto alla precedente ERT1 del litotipo conduttivo che veniva ubicato a circa 5.0 m dal p.c.

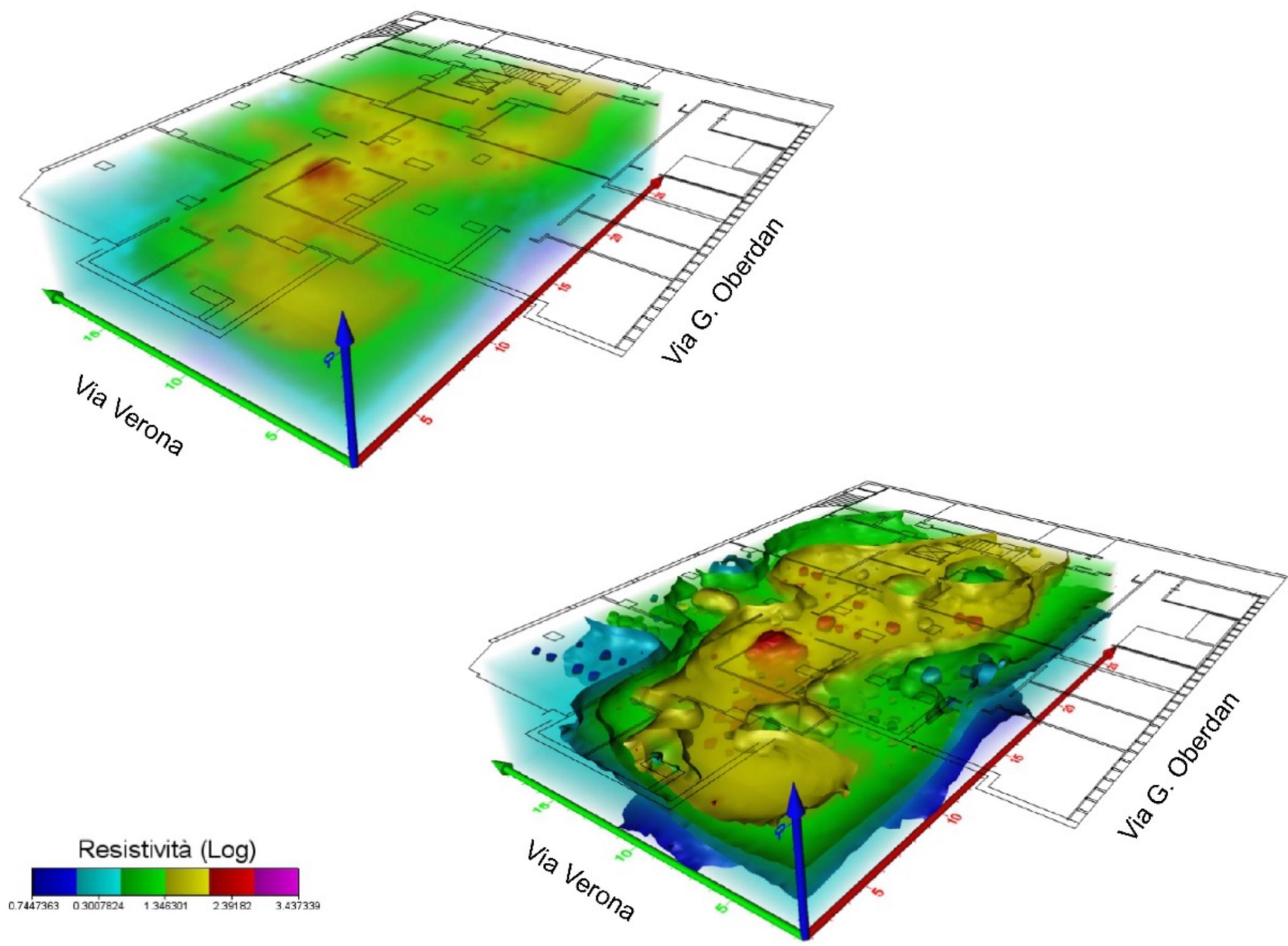


Fig. 42: Foto dell'elettrodo utilizzato per l'ERT.

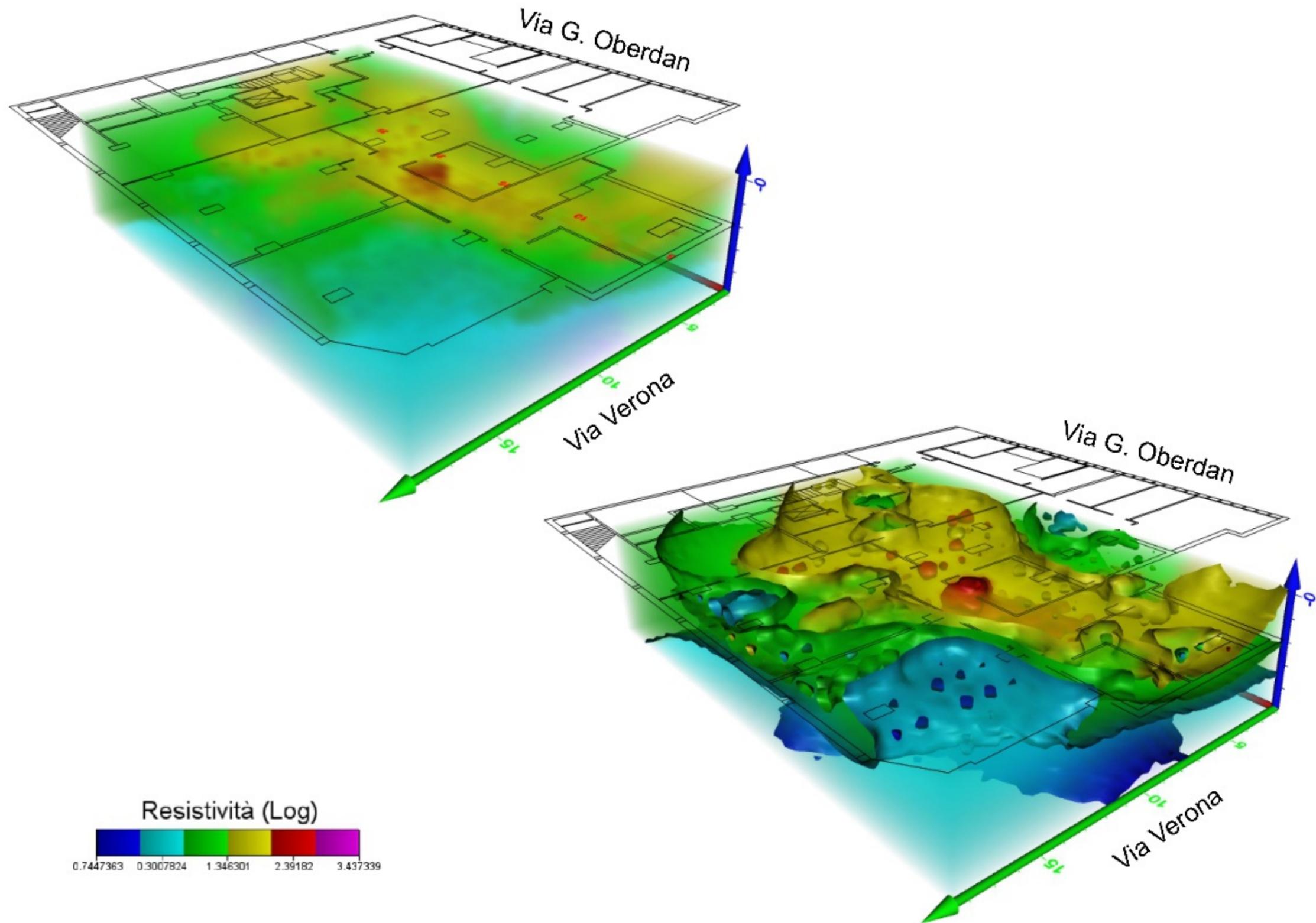


Fig. 43: foto dell'ubicazione degli elettrodi per l'ERT2 eseguita lungo il perimetro esterno.

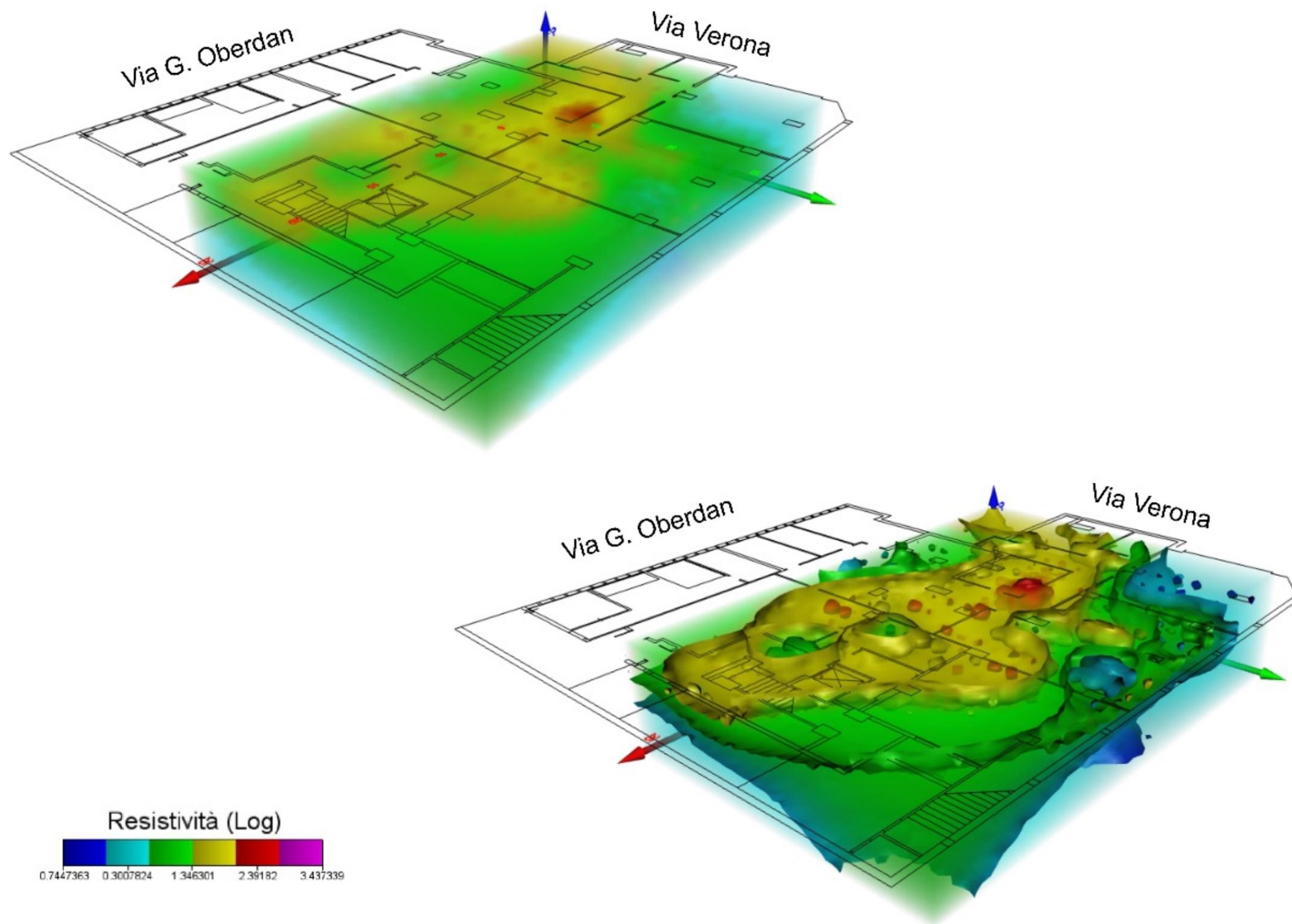
Infine, dai risultati in termini di valori di resistività, si può presumere la presenza di materiale di riporto (circa 250 ohm x m) con probabile presenza di blocchi lavici inclusi e delocalizzati.



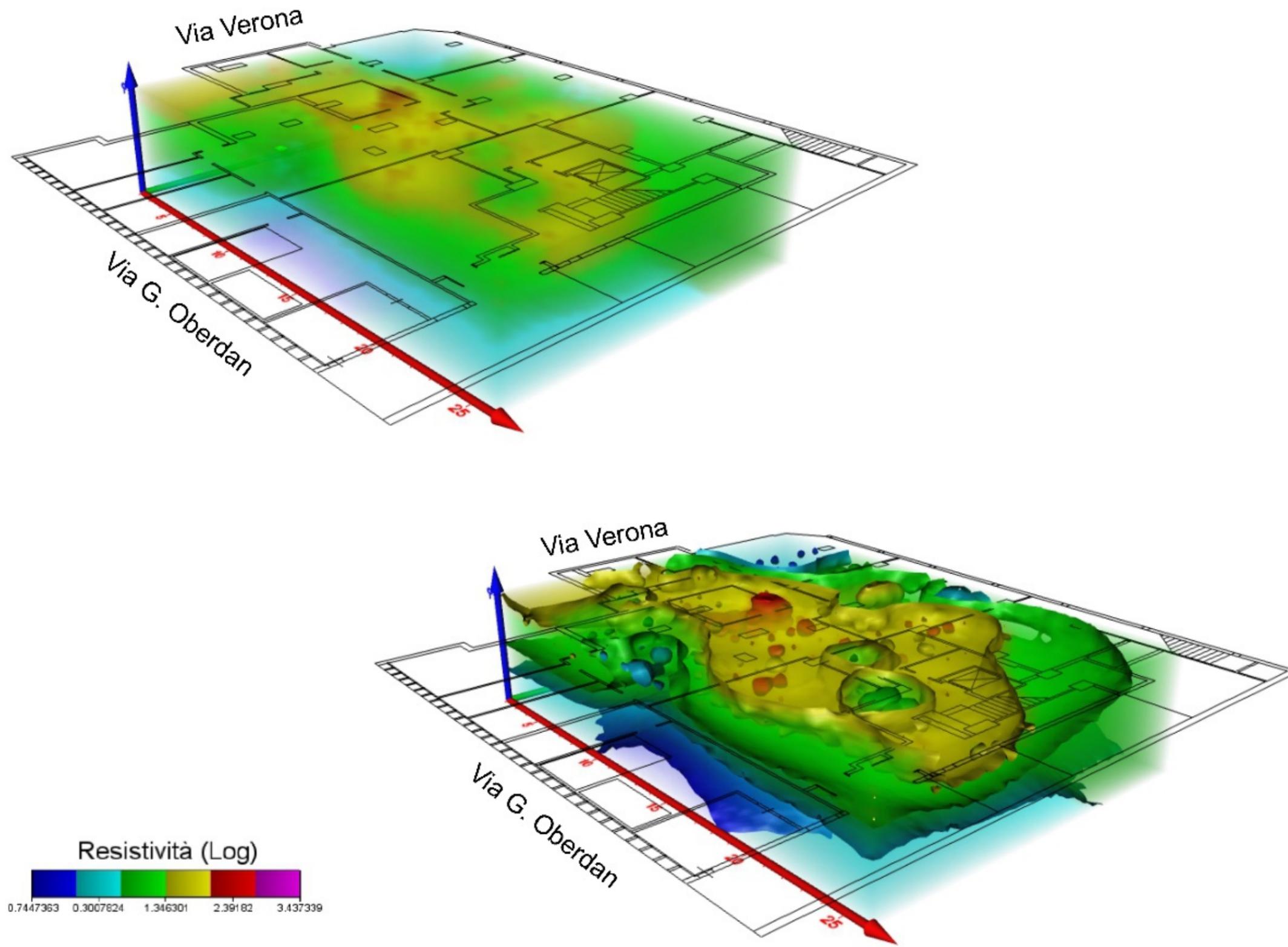
Tav. 1: ERT piano cantinato vista da nord-ovest (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).



Tav. 2: ERT piano cantinato vista da nord-est (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).

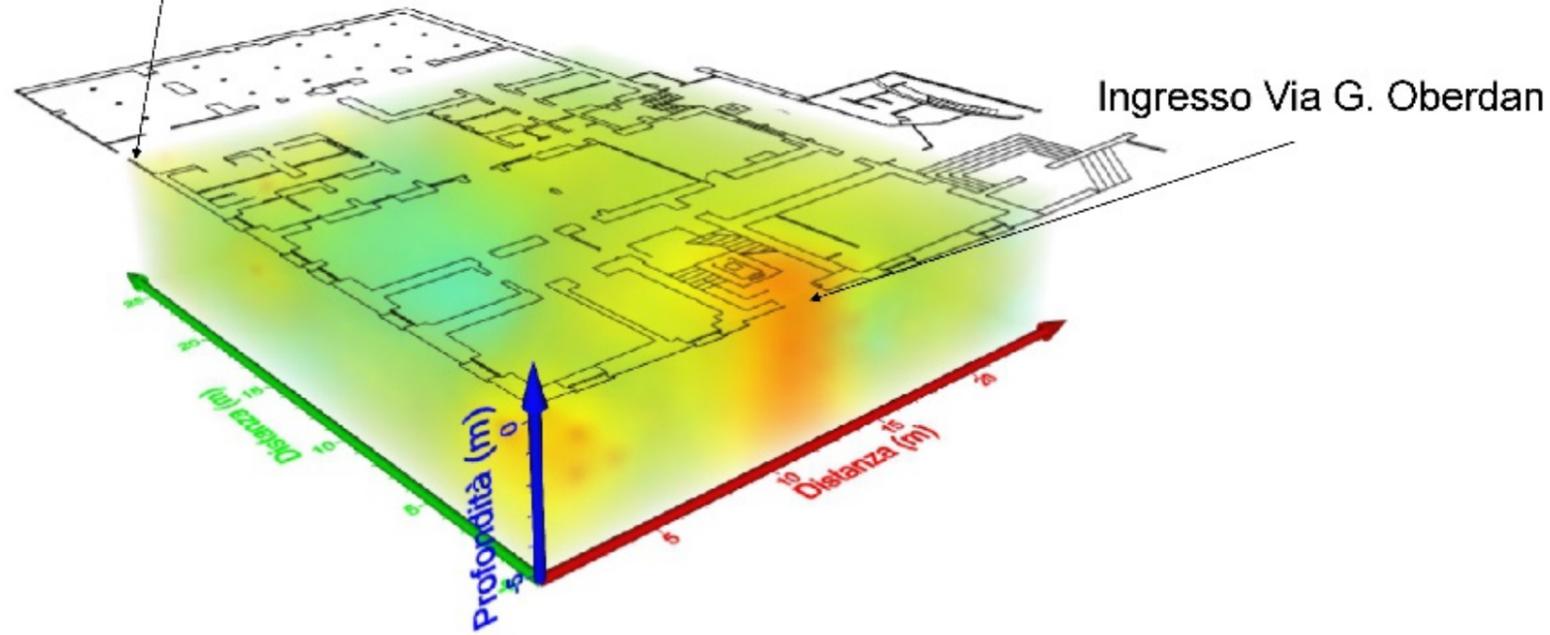


Tav. 3: ERT piano cantinato vista da sud-est (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).

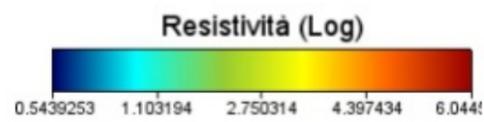
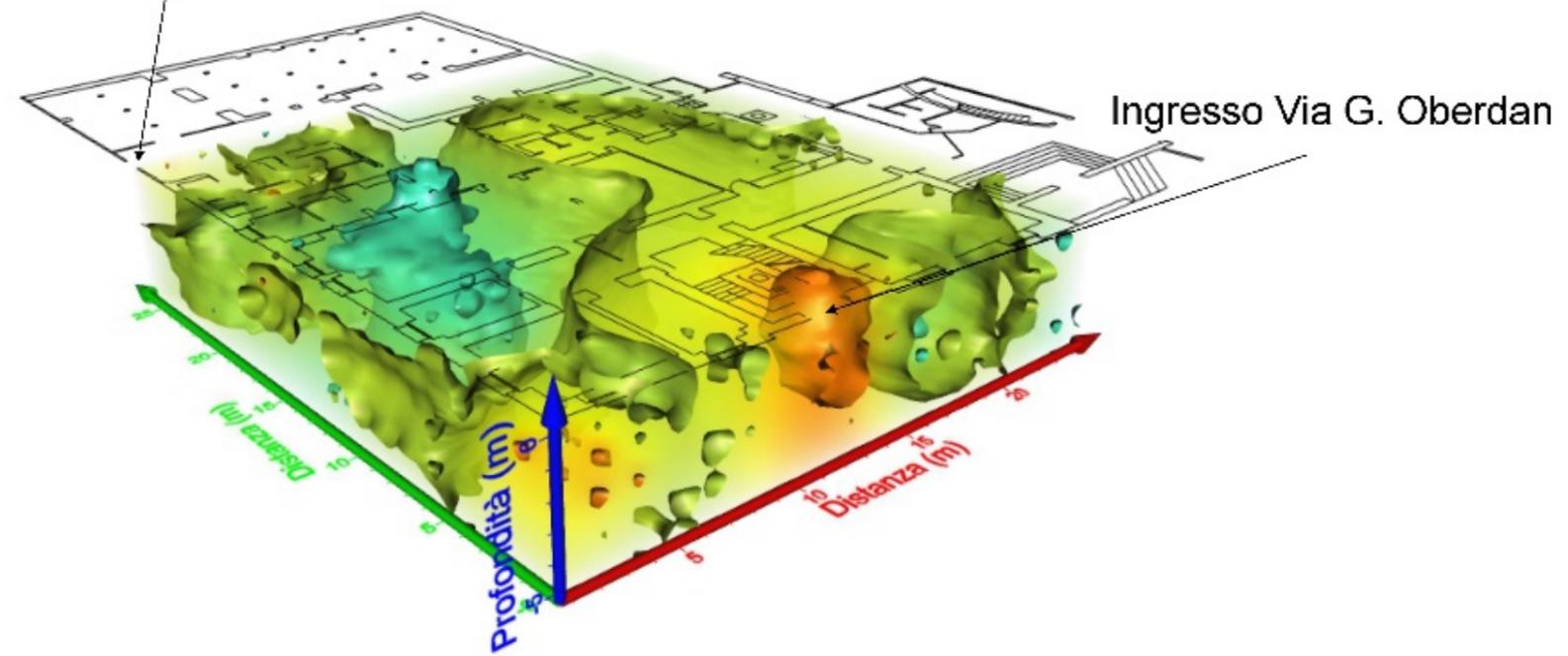


Tav. 4: ERT piano cantinato vista da sud-ovest (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).

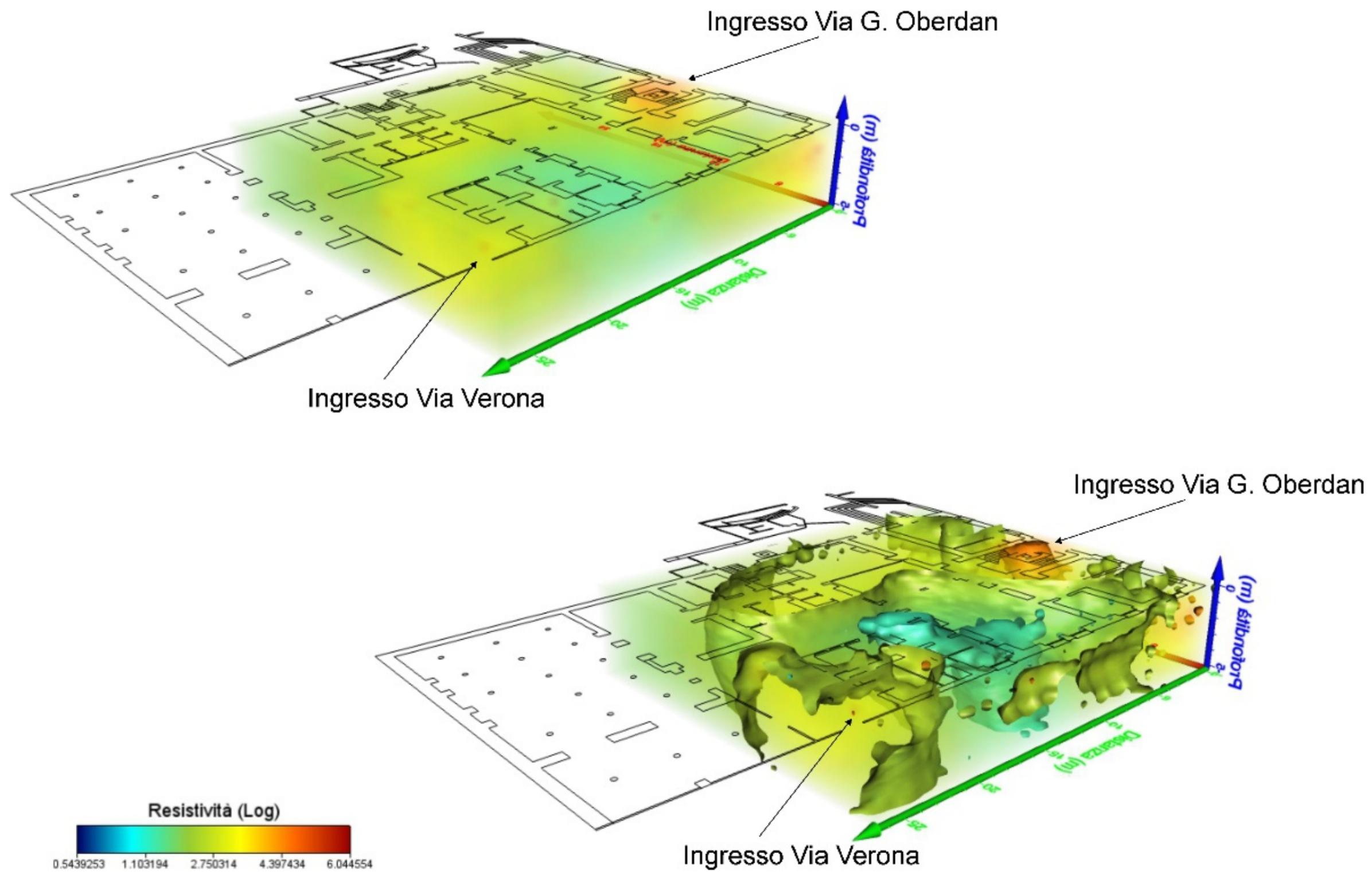
Ingresso Via Verona



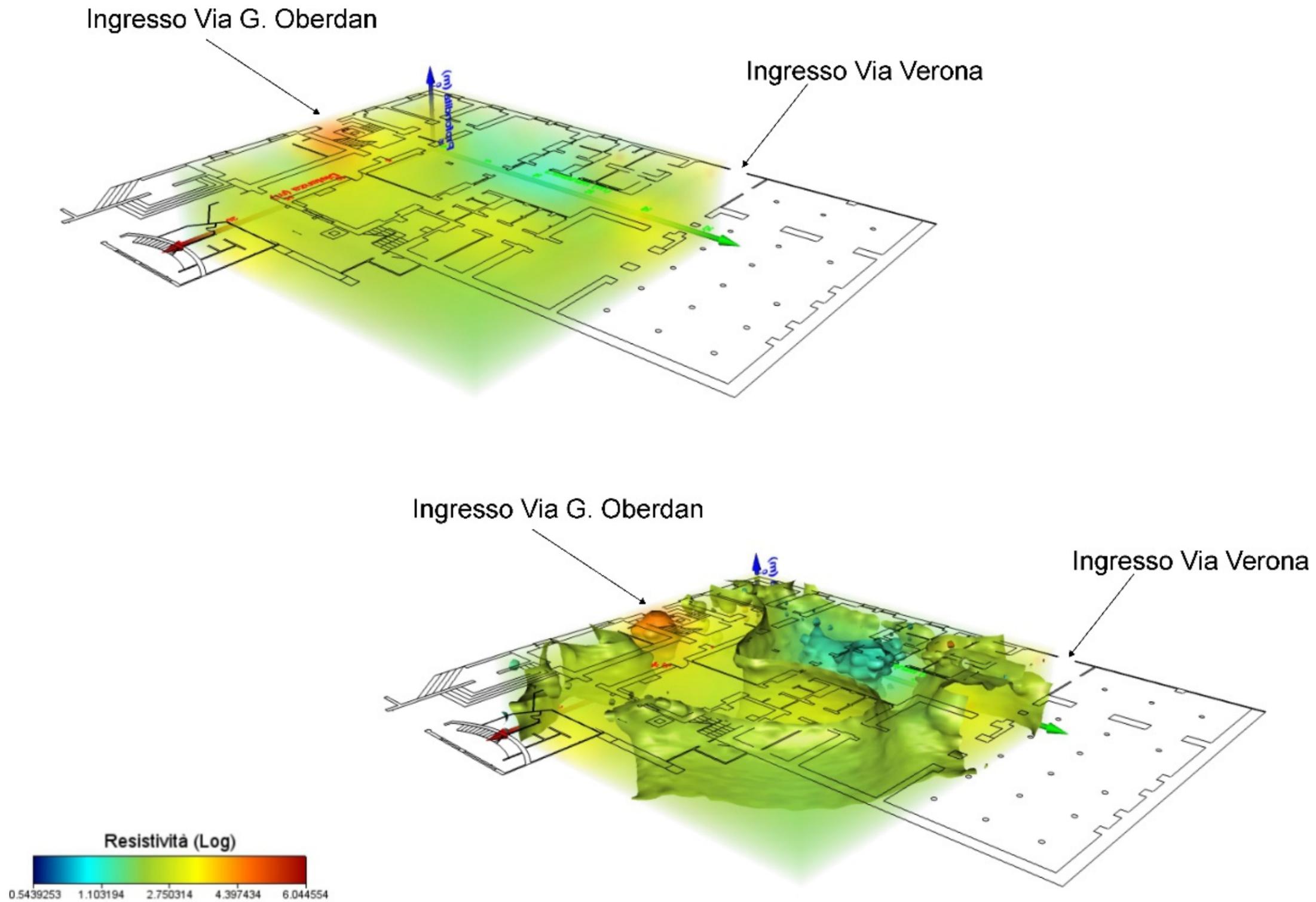
Ingresso Via Verona



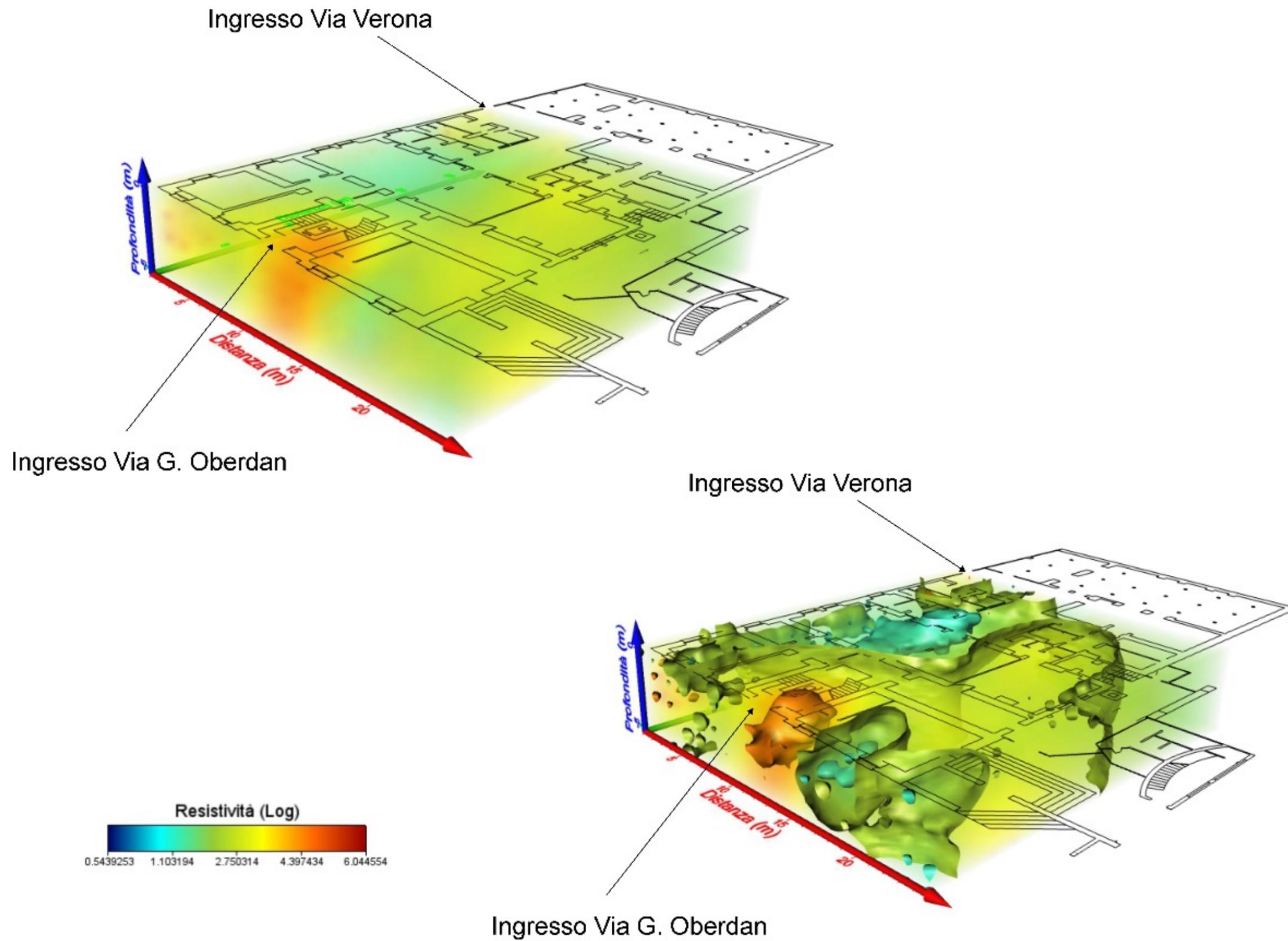
Tav. 5: ERT esterna vista da nord-ovest (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).



Tav. 6: ERT esterna vista da nord-est (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).



Tav. 7: ERT esterna vista da sud-est (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).



Tav. 8: ERT esterna vista da sud-ovest (in basso sono rappresentate le iso-superfici di resistività).

8. TECNICA SSR - Standard Spectral Ratio

8.1. Metodologia

La tecnica SSR (Standard Spectral Ratio) rappresenta la più conosciuta ed utilizzata metodologia per caratterizzare l'amplificazione del sito. Introdotta da Borchardt (1970), per l'area della baia di San Francisco, consiste nel calcolare il rapporto spettrale tra lo spettro di Fourier, relativo alla registrazione del sito da caratterizzare e quello relativo ad un sito roccioso di riferimento (per lo stesso evento sismico e per la stessa componente del moto). L'influenza del meccanismo di sorgente è uguale per entrambe le registrazioni poiché viene preso in esame lo stesso evento.

Inoltre, qualora il sito da studiare e quello di riferimento si trovano abbastanza vicini rispetto alla sorgente, è possibile considerare uguale anche l'effetto legato al percorso di propagazione. Nel caso in cui si verificassero le precedenti condizioni, il rapporto tra gli spettri di Fourier delle due registrazioni rappresenterebbe unicamente gli effetti locali nel sito considerato.

Da un punto di vista operativo, l'impiego della tecnica SSR è condizionato dal posizionamento dello strumento per l'acquisizione del segnale nel sito di riferimento. Lo strumento dovrebbe essere posto sul bedrock ma, data la quasi impossibilità di realizzare ciò, esso viene generalmente collocato su roccia affiorante. In tali circostanze il sito di riferimento può essere considerato privo di effetti topografici e stratigrafici. Invece, nei casi in cui questa assunzione non è valida, è

necessario procedere ad un'accurata valutazione delle caratteristiche del sito di riferimento.

In genere si raccomanda, qualora il livello di rumore sia particolarmente elevato, di calcolare i rapporti spettrali su molteplici coppie di registrazioni relative ad eventi differenti e di mediarli per ottenere una stima perlopiù stabile degli effetti di sito.

Un altro campo di utilizzo di tale tecnica riguarda lo studio degli effetti di tipo topografico; in cui la scelta del sito di riferimento è molto restrittiva poiché è difficile individuare un affioramento roccioso piano nelle adiacenze del rilievo in esame (delimitato in genere da irregolarità di simili caratteristiche). Inoltre, ai fini di isolare l'amplificazione topografica da quella stratigrafica è indispensabile avere medesime caratteristiche stratigrafiche del sito di riferimento e di quello in esame.

L'oggetto della presente tesi, riguarda invece l'applicazione di tale tecnica per la determinazione delle frequenze di risonanza di un edificio in calcestruzzo adibito a residenza studenti.

La sorgente sismica utilizzata è il rumore ambientale. In questo caso la procedura può essere considerata attendibile solo nel campo dei lunghi periodi (Konno and Ohmachi, 1998) o se l'origine del rumore è il medesimo per le stazioni considerate, compresa quella di riferimento.

8.2. Acquisizione

La strumentazione utilizzata per tale tecnica di indagine è la medesima adoperata per eseguire le acquisizioni di sismica passiva elaborate con la tecnica HVSR (fig. 44). In questo caso, le acquisizioni vengono effettuate allo scopo di definire la frequenza fondamentale degli edifici oggetto di studio, tramite la stima dei rapporti spettrali fra le componenti orizzontali registrate ai vari piani e al pianoterra.

Di seguito viene riportata l'ubicazione dei sondaggi all'interno dell'edificio (figg. 45-47). Gli strumenti devono essere ubicati all'interno dell'edificio in modo da mantenere la medesima posizione lungo la verticale che attraversa i vari piani, collocandoli vicino a strutture portanti. L'asse nord dello strumento deve essere orientato parallelamente a uno dei due lati dell'edificio, mantenendo tale orientazione uguale per tutte le misure effettuate e per la misura di riferimento esterna.

Il noise sismico ambientale è stato acquisito in corrispondenza di ogni stazione di misura per una durata di 20 minuti, con una frequenza di campionamento pari a 128 Hz. Le registrazioni così acquisite sono state elaborate preliminarmente con la tecnica dei rapporti spettrali HVSR, utilizzando gli stessi parametri di elaborazione utilizzati per le misure esterne (vedi paragrafo 3.3).

Fig. 44: Foto delle stazioni di misura ubicate sulla copertura dell'edificio.

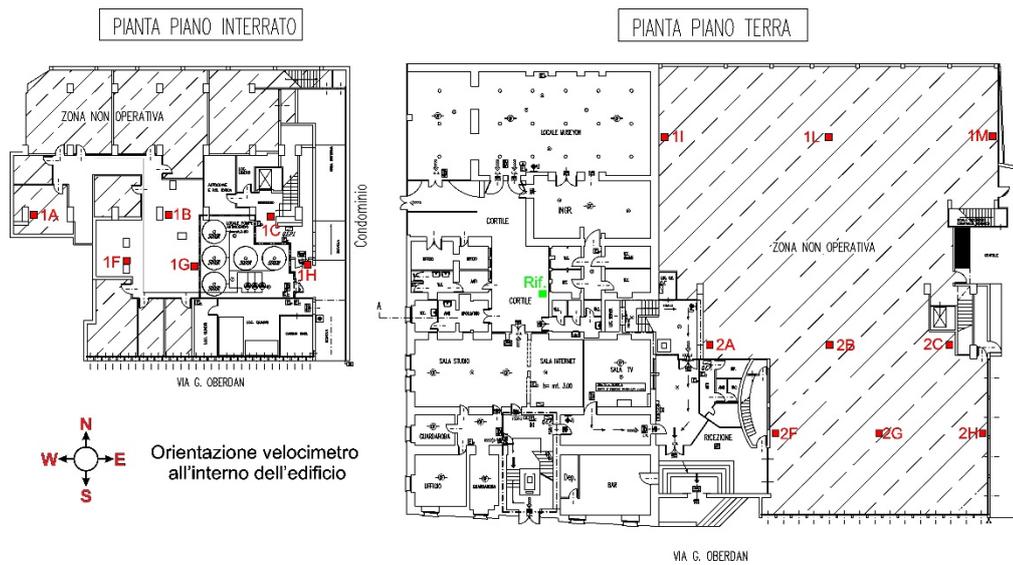


Fig. 45: Ubicazione della stazioni di misura per il piano interrato e per il piano terra.

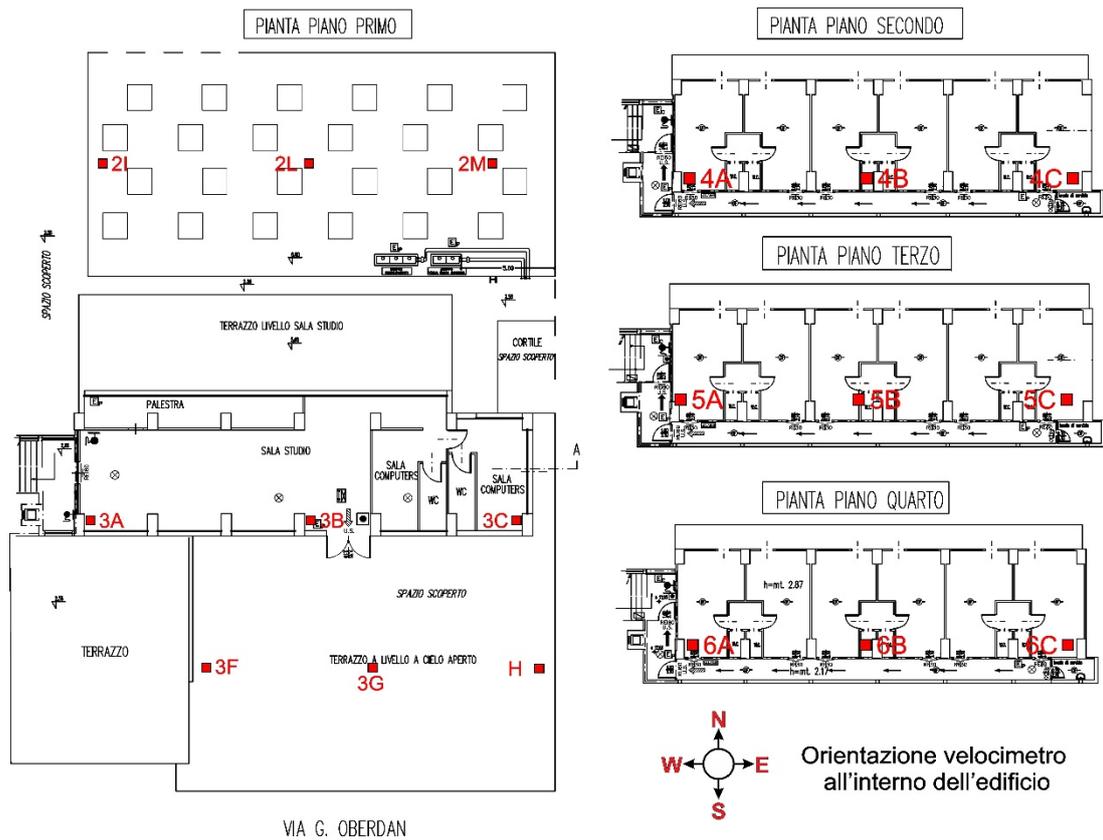


Fig. 46: Ubicazione della stazioni di misura dal primo al quarto piano.

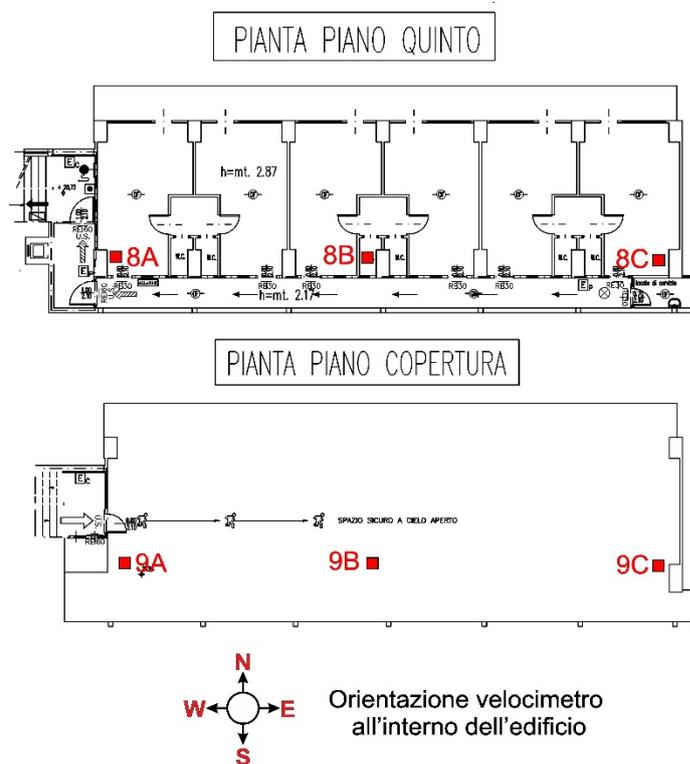


Fig. 47: Ubicazione della stazioni di misura per il piano quinto e per il piano copertura.

8.3. Risultati SSR

Dalle misure acquisite all'interno della Residenza Universitaria "CENTRO" è stato possibile elaborare i rapporti spettrali HSSR che evidenziano la presenza di una sola frequenza di vibrazione per l'edificio in esame sia per la porzione di edificio occupata dalla Mensa che per quella occupata dalle Cucine. Diversamente, nell'edificio oggetto di questo studio, adibito a residenza studenti, nonostante la semplicità architettonica sia della planimetria che in elevazione, sono stati riscontrati numerosi picchi a frequenze differenti, legati ad effetti di interazione con un edificio posto a nord della struttura investigata e collegato ad essa tramite un corpo scala.

La tabella seguente elenca la frequenza fondamentale di vibrazione individuata per l'edificio studiato e per quelli adibiti a mensa e cucine, per le due componenti orizzontali.

	N-S	E-W
RESIDENZA STUDENTI	2.5 Hz	3 Hz
MENSA	7.5 Hz	7.5 Hz
CUCINE	8.2 Hz	8.2 Hz

Tab. 5: Valori di frequenza fondamentale lungo la componente N-S e E-W per le tre strutture.

È possibile osservare che per l'edificio studiato, tra i due valori di frequenza ottenuti per le due direzioni orizzontali, si registra una frequenza di vibrazione a valori leggermente superiori lungo la componente E-W dello strumento (tab. 5), orientata parallelamente al lato lungo della struttura. Si osserva anche che i valori di ampiezza del rapporto HSSR maggiori si riscontrano, come è ragionevole aspettarsi, lungo la componente NS orientata perpendicolarmente al lato lungo della struttura (Tav. 9).

Risulta anche evidente che i valori di frequenza ottenuti per l'edificio studiato siano sensibilmente minori rispetto a quelli ottenuti per la mensa e le cucine (tab. 5). Questo è legato all'elevazione nettamente superiore della struttura investigata rispetto alle altre due. Tale considerazione è avvalorata dalla seguente formula empirica che lega il periodo della struttura al numero di piani di elevazione:

$$T = 1/N$$

maggiore è il numero di piani, più basso è il periodo, di conseguenza la frequenza di vibrazione individuata sarà maggiore.

Viceversa, l'uguaglianza dei valori di frequenza per le due componenti N-S ed E-W relativamente ai blocchi adibiti alla mensa ed alle cucine (tab. 5, tav. 10,11), è probabilmente dovuta alla regolarità della planimetria ed alla comparabilità delle dimensioni degli edifici (vedi planimetrie figg. 45, 46).

Il prospetto nord dell'edificio studiato, adibito a residenza universitaria, è collegato ad un altro edificio, con un'altezza inferiore, anch'esso adibito a residenza studenti (vedi fig.1), attraverso un corpo scala. Questo legame è riscontrabile sui rapporti HSSR (Tav. 9). In particolare, ispezionando i risultati degli HSSR ottenuti ai diversi piani si possono distinguere chiaramente sulle componenti NS e EW due ulteriori frequenze di vibrazione a circa 4.0 Hz e 5.5 Hz. Tali valori corrispondono alla frequenza di vibrazione, sulle componenti EW e NS, dell'edificio collegato al prospetto nord della struttura investigata, come riscontrato nei grafici dei rapporti HSSR ottenuti dalle acquisizioni effettuate su tale edificio al fine di verificare le ipotesi di interazione (fig. 48).

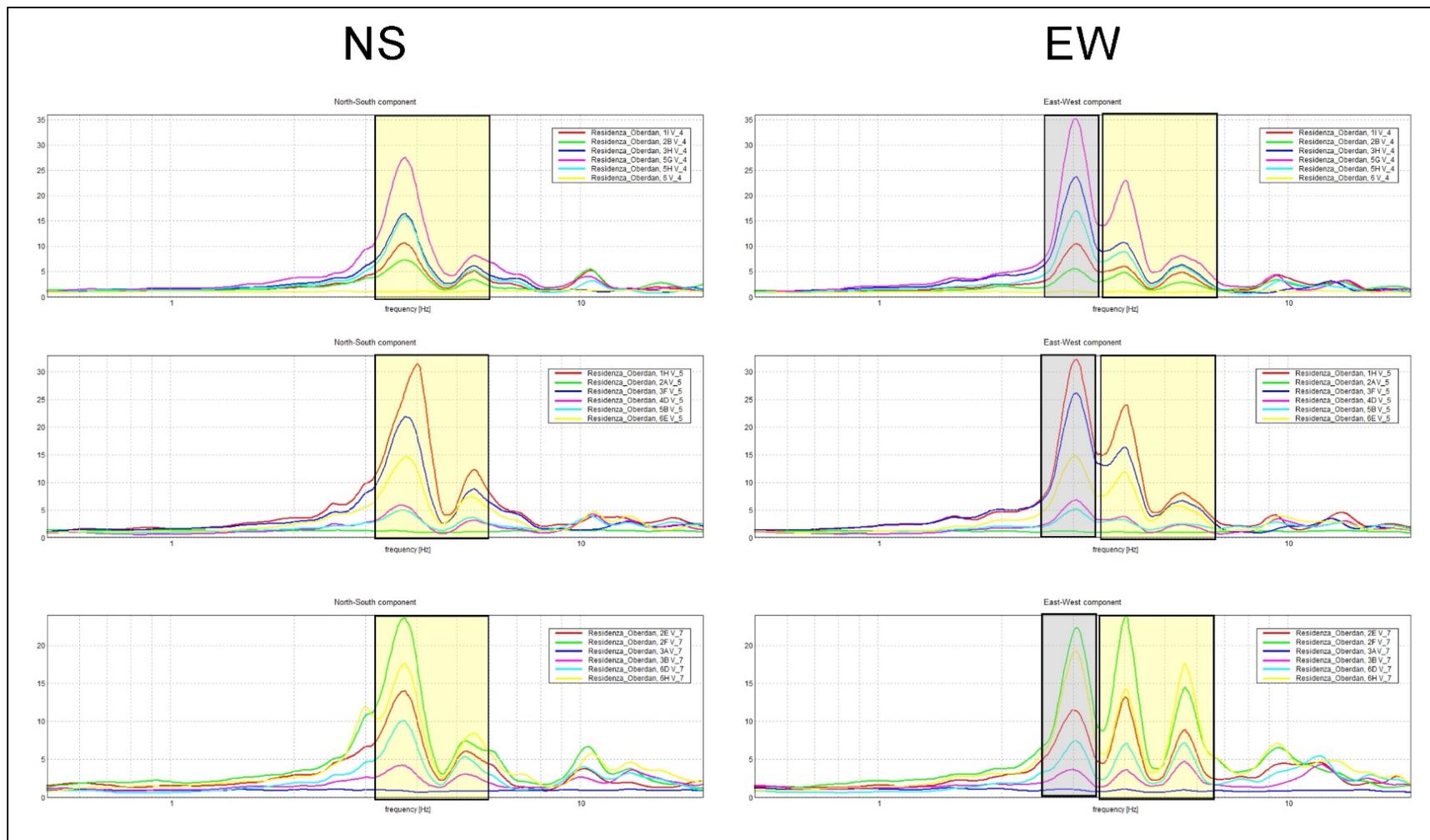
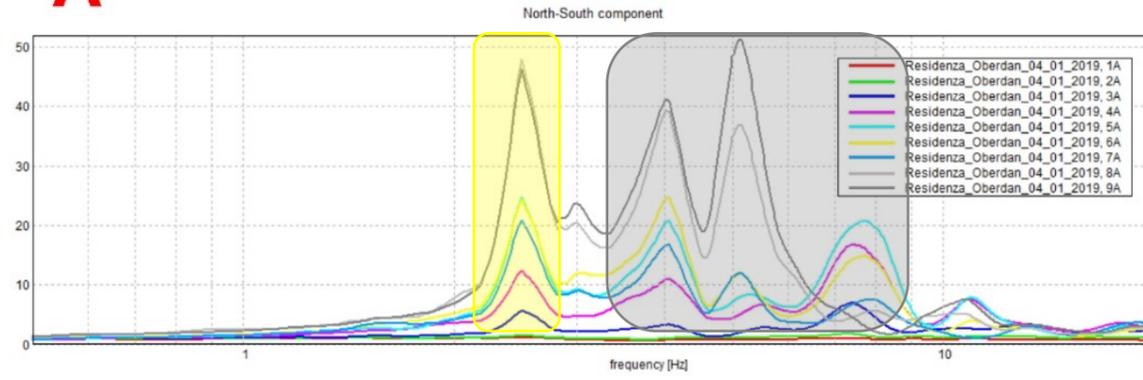
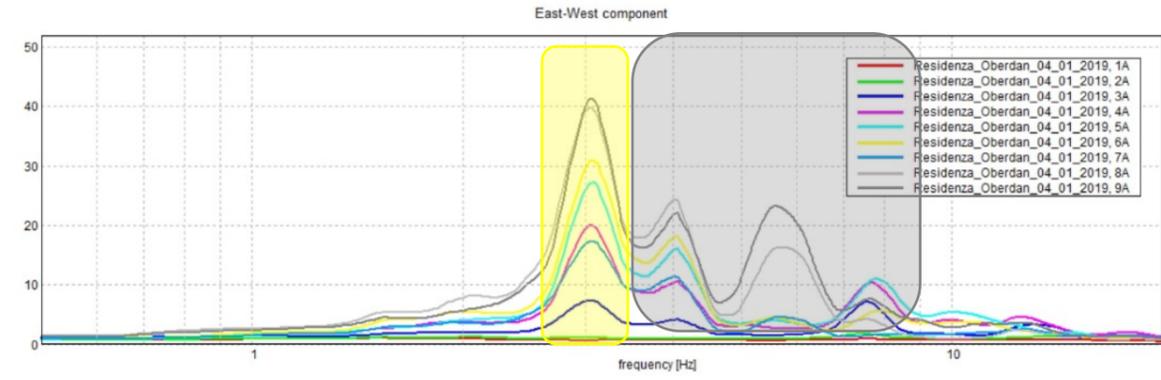
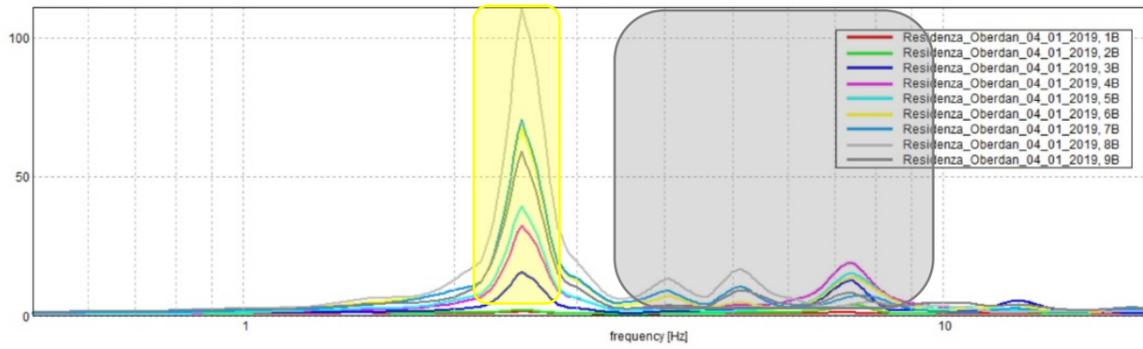


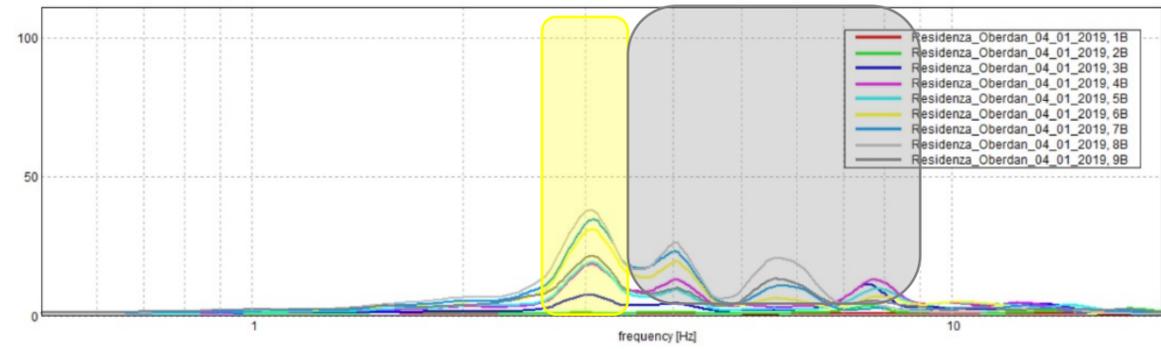
Fig. 48: Rapporti spettrali HSSR per l'edificio collegato al prospetto nord della residenza universitaria studiata, con evidenziato il modo fondamentale di vibrazione nelle due componenti (riquadro giallo) e gli effetti di interazione legati alla presenza dell'edificio oggetto di questo studio (riquadro grigio).

A**NS****EW****B**

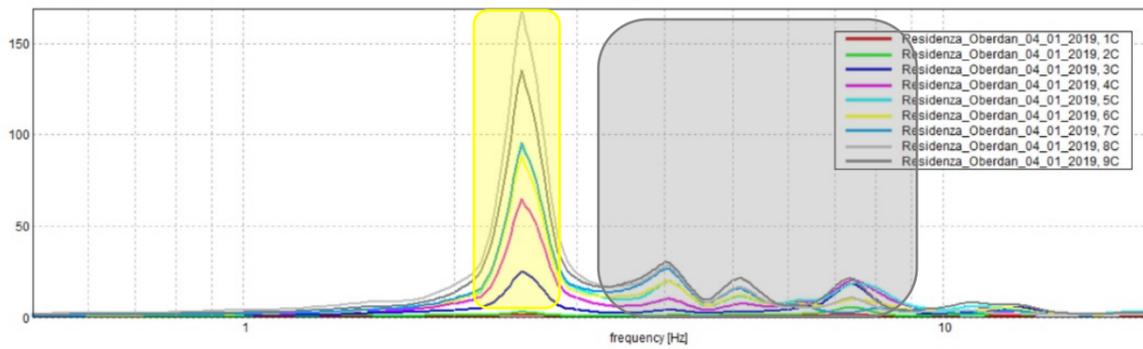
North-South component



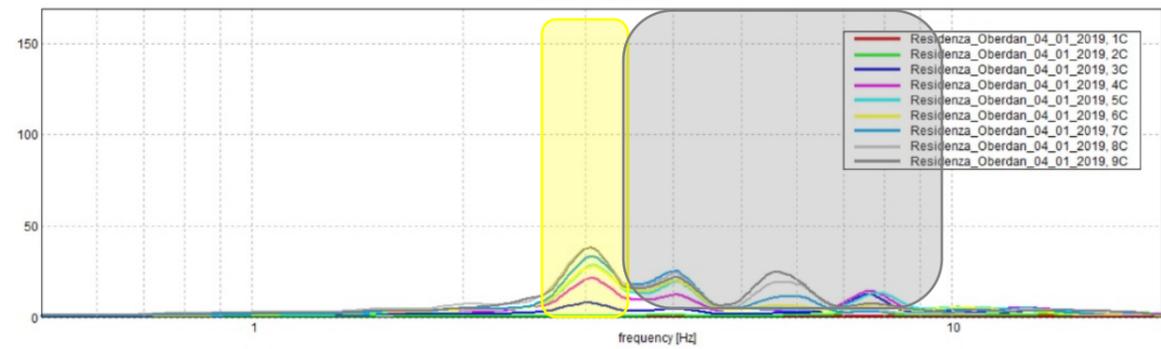
East-West component

**C**

North-South component



East-West component



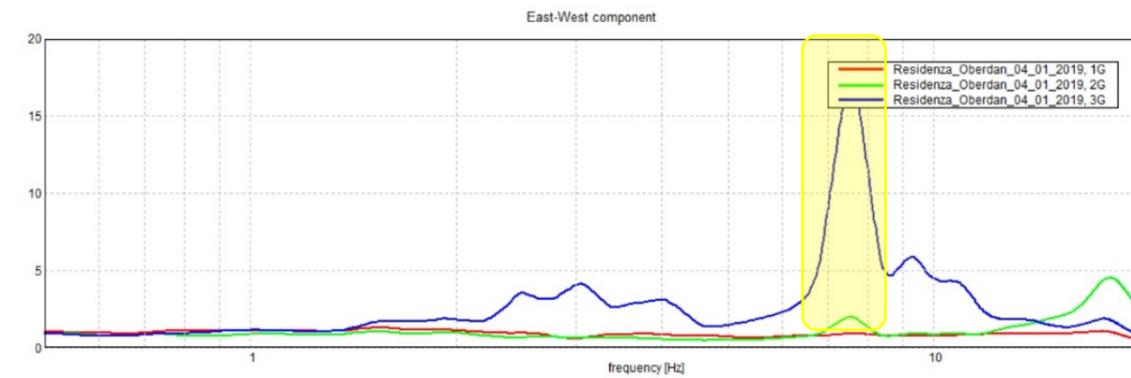
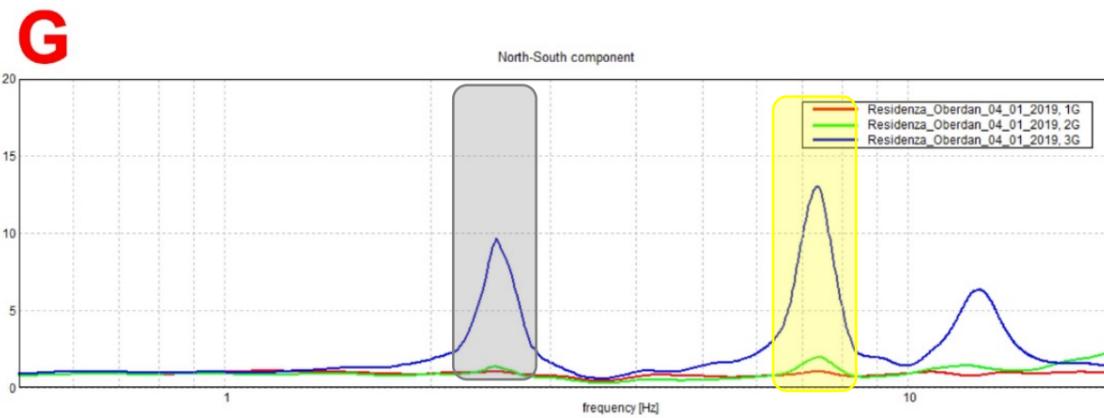
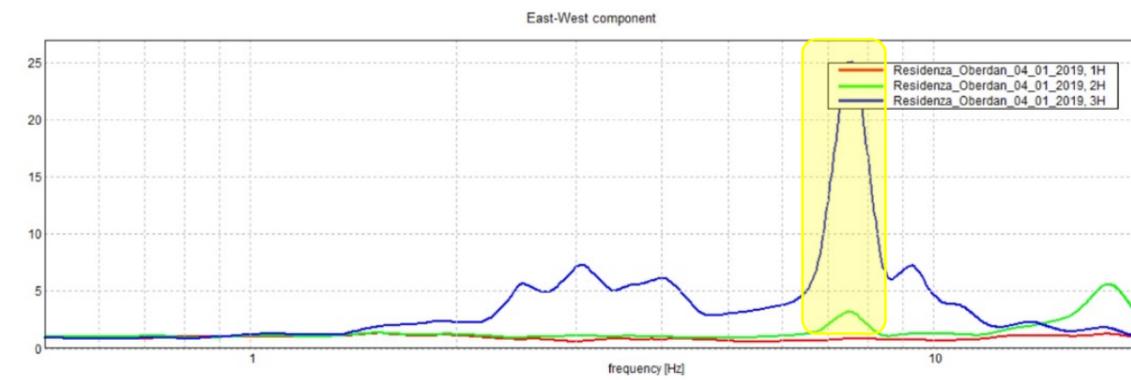
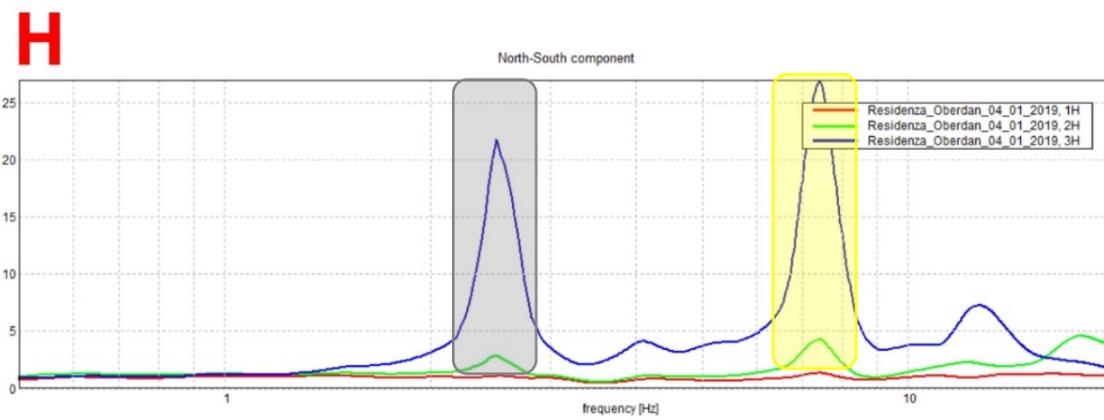
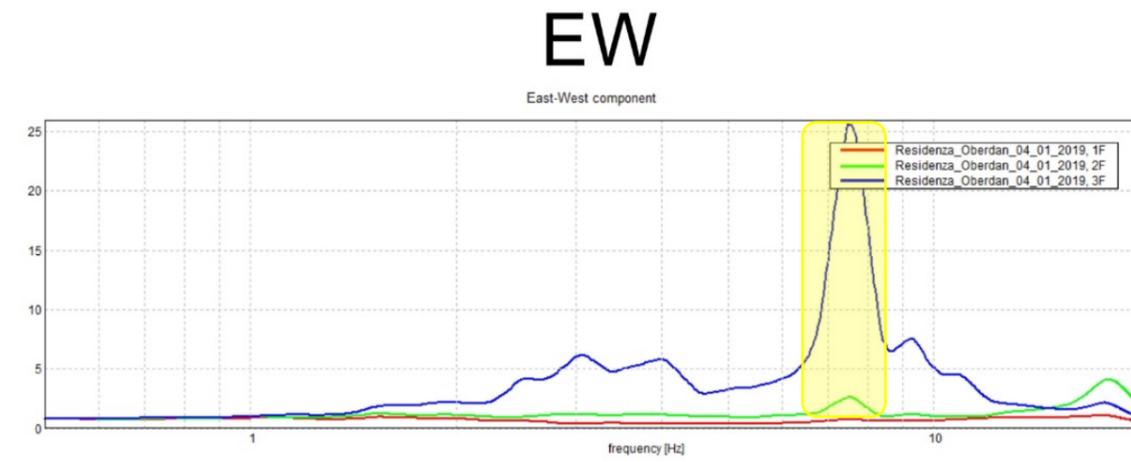
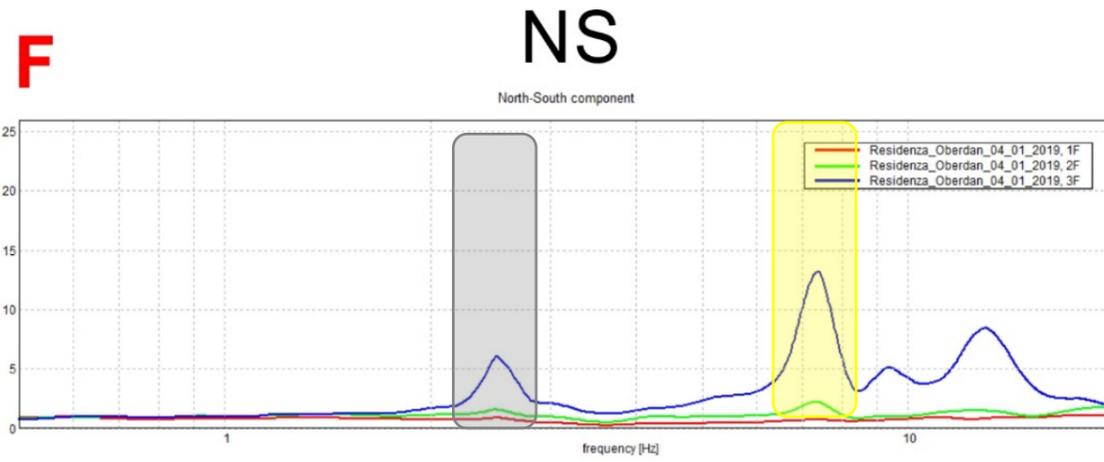
Frequenza edificio $\approx 3\text{Hz}$ (EW)
 $\approx 2.5\text{Hz}$ (NS)

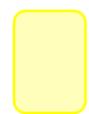


Effetto interazione con edifici adiacenti:

- $\approx 4\text{Hz}$ e $\approx 5.5\text{ Hz}$ frequenze di vibrazione dell'edificio rosso sulle componenti EW e NS
- $\approx 7.5\text{Hz}$ frequenza di vibrazione dell'edificio giallo mensa sulle componenti EW e NS

Tav. 9: Rapporti spettrali HSSR per l'edificio adibito a residenza universitaria con evidenziato il modo fondamentale di vibrazione nelle due componenti (riquadro giallo) e gli effetti di interazione legati alla presenza degli edifici adiacenti (riquadro grigio).

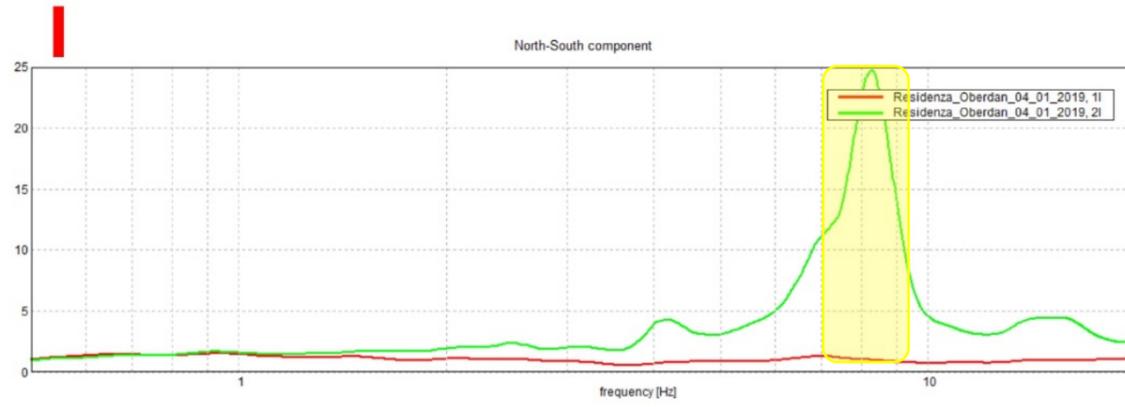


 Frequenza edificio $\approx 7.5\text{Hz}$ (EW)
 $\approx 7.5\text{Hz}$ (NS)

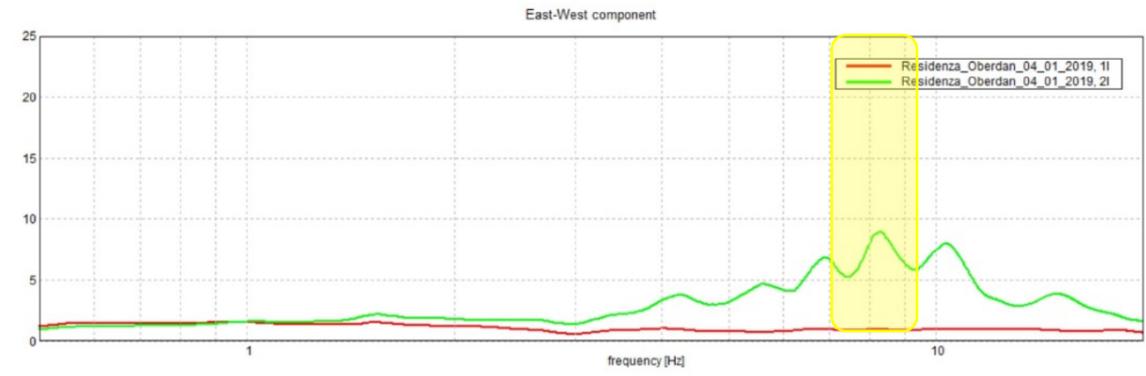
 Effetto interazione con edifici adiacenti:
• $\approx 2.5\text{ Hz}$ frequenze di vibrazione dell'edificio verde sulla componente NS

Tav. 10: Rapporti spettrali HSSR edificio mensa con evidenziato il modo fondamentale di vibrazione dell'edificio nelle due componenti (riquadro giallo) e gli effetti di interazione legati alla presenza degli edifici adiacenti (riquadro grigio).

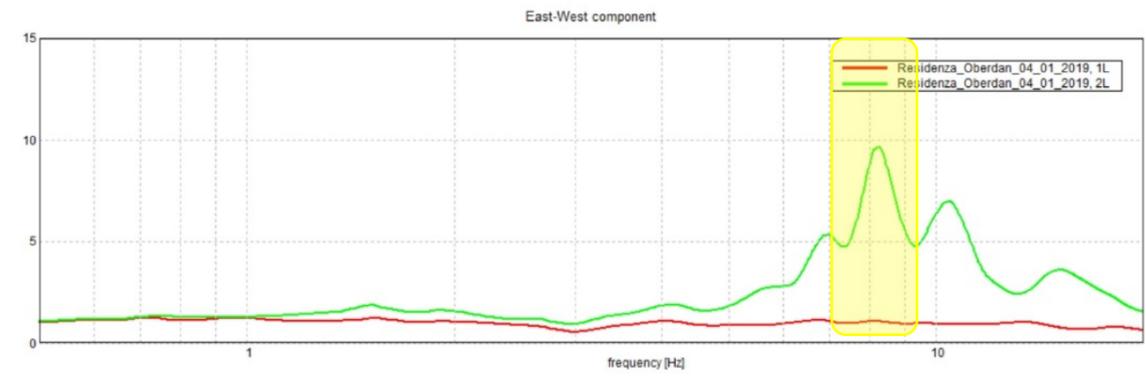
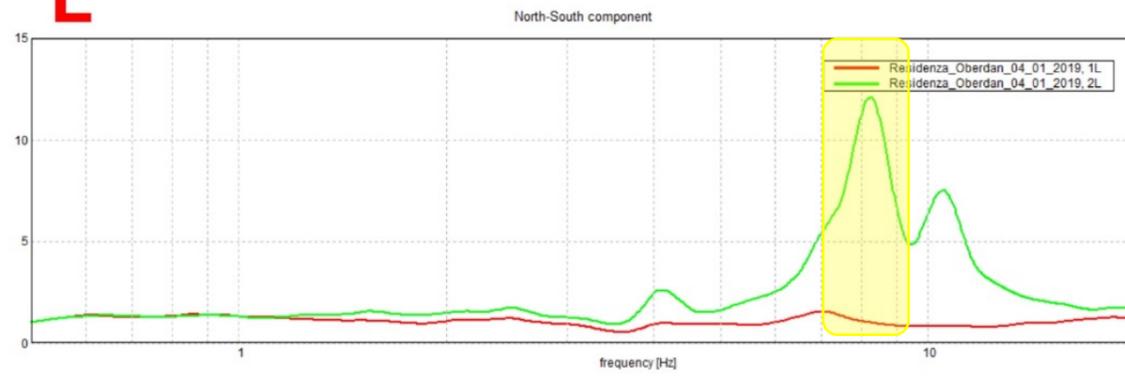
NS



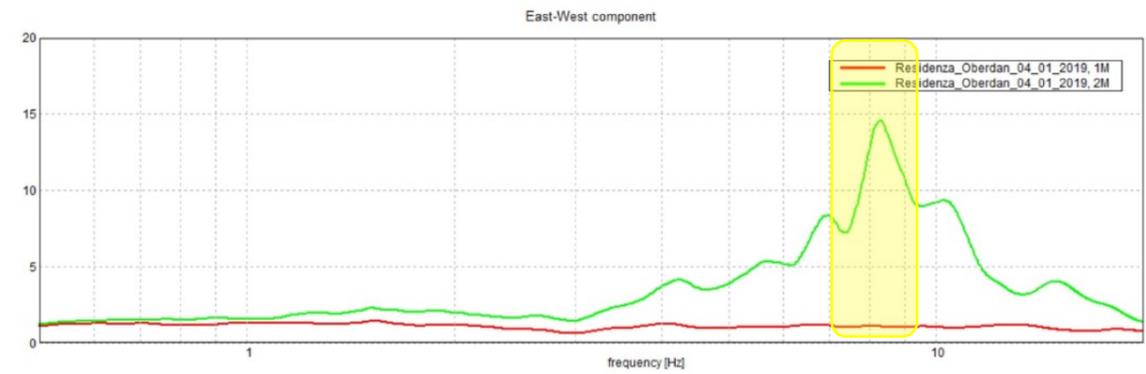
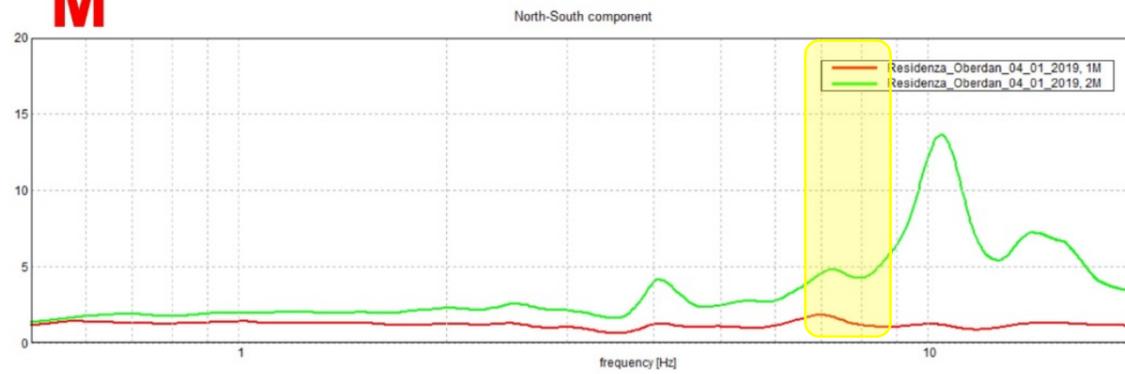
EW



L



M



Frequenza edificio $\approx 8.2\text{Hz}$ (EW)
 $\approx 8.2\text{Hz}$ (NS)

Tav. 11: Rapporti spettrali HSSR edificio mensa con evidenziato il modo fondamentale di vibrazione dell'edificio nelle due componenti (riquadro giallo).

8.4. Smorzamento

La funzione dello smorzamento (Damping) è quella di dissipare energia e limitare l'ampiezza delle vibrazioni forzate in una struttura: per tale ragione, la capacità di smorzamento specifica di una struttura può essere definita come la percentuale dell'energia totale di vibrazione persa in un ciclo.

Per il calcolo dello smorzamento si assume che le forze di attrito siano proporzionali alla velocità del sistema. In genere, in un edificio oscillante il rapporto di smorzamento è compreso tra l'1 e il 10% ($1 < \xi < 10\%$) (Cole, 1973).

Le informazioni relative allo smorzamento dell'edificio, sono state ottenute elaborando le acquisizioni effettuate al piano più alto con una funzione del software Geopsy (<http://www.geopsy.org/>), la *Damping Toolbox* (fig. 49) che permette l'esecuzione delle seguenti operazioni:

- Mediante un *flag* è possibile decidere se operare un filtraggio del segnale scelto;
- Applicazione di un filtro a banda stretta necessario per la selezione dei picchi di interesse, con lo scopo di isolare i picchi generalmente presenti nello spettro;
 - Selezione dei tempi del segnale da sottoporre ad analisi;
 - Selezione della lunghezza dei segmenti di segnale sull'asse dei tempi (*Window lenght*);
 - Selezione della dimensione della finestra all'interno del segnale in cui deve avvenire il *damping*;
 - Selezione della lunghezza del *damping* (*Fitting lenght*); di norma è uguale o inferiore alla lunghezza della finestra.

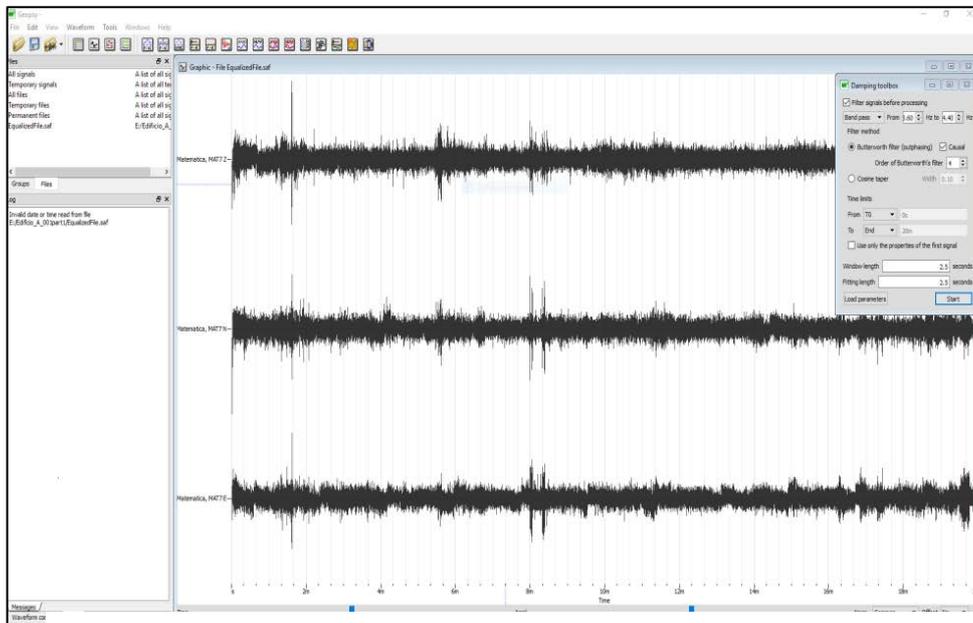


Fig. 49: Damping Toolbox.

Dopo aver avviato l'elaborazione, appare una pagina con i grafici dello smorzamento relativi ad ognuna delle 3 componenti (NS; EW; Z) del segnale elaborato.

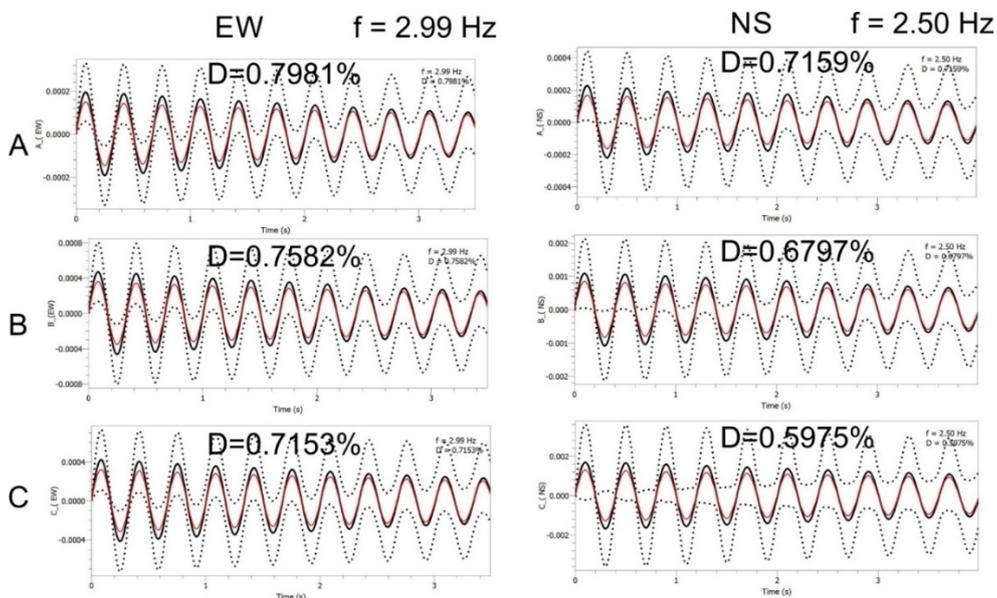


Fig. 50: Grafici dello smorzamento con relative percentuali, ottenute dall'elaborazione delle acquisizioni effettuate sulla copertura dell'edificio.

Lo smorzamento è stato estratto dalle misure di noise ambientale usando il metodo di Random Decrement (Dunand et al 2002). Il

segnale è stato filtrato con filtro Butterworth a bassa banda del $\pm 10\%$ attorno alla frequenza fondamentale dell'edificio ed è stato suddiviso in finestre contenenti dieci volte il periodo dell'edificio medesimo.

Nelle NTC del 2018 lo smorzamento è considerato pari al 5% senza alcuna correlazione con la geometria, l'altezza dell'edificio ed i terreni di fondazione.

I valori dello smorzamento ottenuti in questo studio risultano molto più bassi del 5% (fig. 50) ma va sottolineato che il risultato è stato ottenuto da acquisizioni di noise ambientale, che rappresentano oscillazioni molto più deboli di quelle prodotte da un terremoto.

I risultati ottenuti comunque, suggeriscono di verificare ulteriormente le proprietà di smorzamento dell'edificio.

8.5. Modi torsionali

La struttura di un edificio, durante un sisma, subisce delle accelerazioni che determinano degli spostamenti assecondando la direzione di sollecitazione dello stesso evento sismico.

Tali spostamenti risultano essere soltanto di tipo traslazionale, quindi di più facile determinazione, nel caso ideale, ovvero quando le strutture hanno il baricentro delle masse coincidente con quello delle rigidezze.

Tuttavia nella realtà le strutture presentano un baricentro delle masse più o meno distante dal centro delle rigidezze. Tale distanza è detta *eccentricità*, ed è causa, nelle strutture, di spostamenti aggiuntivi di tipo torsionale; sono proprio questi ultimi che incrementano la vulnerabilità degli edifici.

La figura 51 mostra un esempio di quanto complesso possa essere il Modo di vibrazione di un edificio. Oltre alle frequenze fondamentali, legate ai Modi Traslazionali, si possono aggiungere modi superiori di tipo Rotazionale e Torsionale.

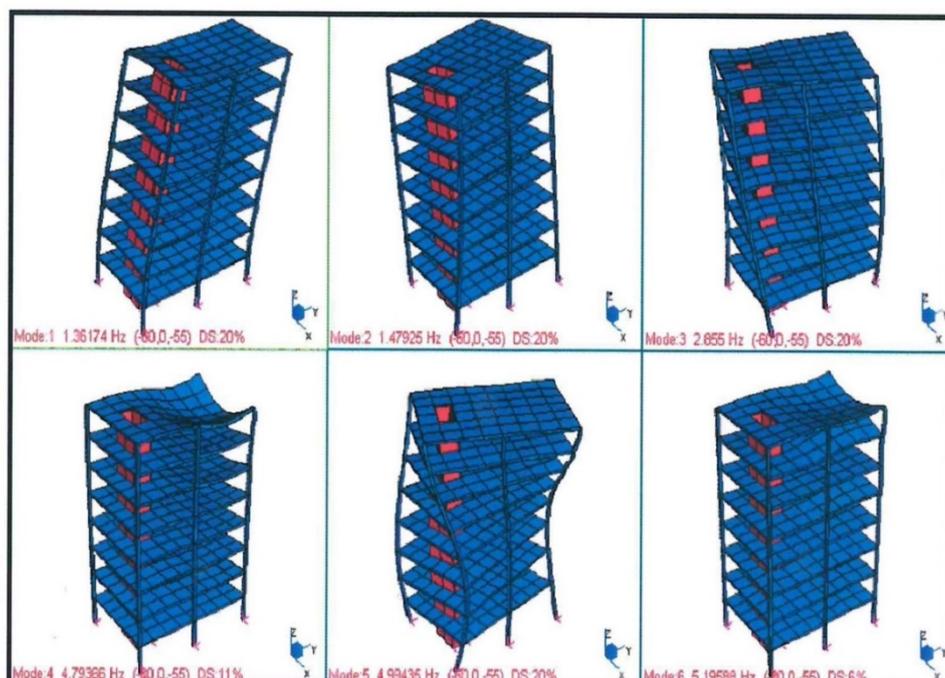


Fig. 51: esempi di modi di oscillazione di un edificio.

Per verificare in modo veloce la predisposizione di un edificio a subire effetti torsionali può essere usata la seguente equazione semplificata (Grimaz et al., 2011):

$$\delta = 1 + \frac{(VM,max)}{(VF,max)}$$

dove **VM,max** e **VF,max** sono rispettivamente gli spostamenti massimi ad un estremo ed al centro dell'edificio.

I valori assunti dal coefficiente δ vengono utilizzati per una classificazione di massima della severità degli effetti torsionali:

$\delta \leq 1.2$	debole effetto torsionale
$1.2 < \delta \leq 1.4$	moderato effetto torsionale
$\delta > 1.4$	forte effetto torsionale

I risultati ottenuti dallo studio degli effetti torsionali relativamente all'edificio indagato, mostrano la propensione dell'edificio a subire, secondo la classificazione proposta da Grimaz et al, 2001, forti effetti torsionali (fig. 52). Infatti, il calcolo dell'effetto torsionale tra i punti di misura B e C, in relazione alla componente NS del moto (tab. 6), risulta pari a 2.35. Il valore dell'effetto torsionale si riduce per la misura effettuata sul lato opposto (punto A), probabilmente a causa del fatto che tale porzione di edificio risulta collegata ad un altro fabbricato, che ne limita l'oscillazione.

$$\Delta_A = \frac{\delta_{max}}{\delta_{avg}} = \frac{0.00022676}{0.000297688} = 0.76 \text{ (componente NS)}$$

$$\Delta_C = \frac{\delta_{max}}{\delta_{avg}} = \frac{0.000698948}{0.000297688} = 2.35 \text{ (componente NS)}$$

$\Delta \leq 1.2$ - debole effetto torsionale;

$1.2 < \Delta \leq 1.4$ – moderato effetto torsionale;

✓ $\Delta > 1.4$ – forte effetto torsionale.

	Frequenza	Traslazione ($v_{F,max}$)	Torsione ($v_{M,max}$)	Componente
Unità di misura	Hz	mm	mm	
Spostamento in A	2.5	-----	0.00022676	NS
Spostamento in B	2.5	0.000297688	-----	NS
Spostamento in C	2.5	-----	0.000698948	NS

Tab. 6: Spostamenti massimi agli estremi e al centro dell'edificio per la componente NS.

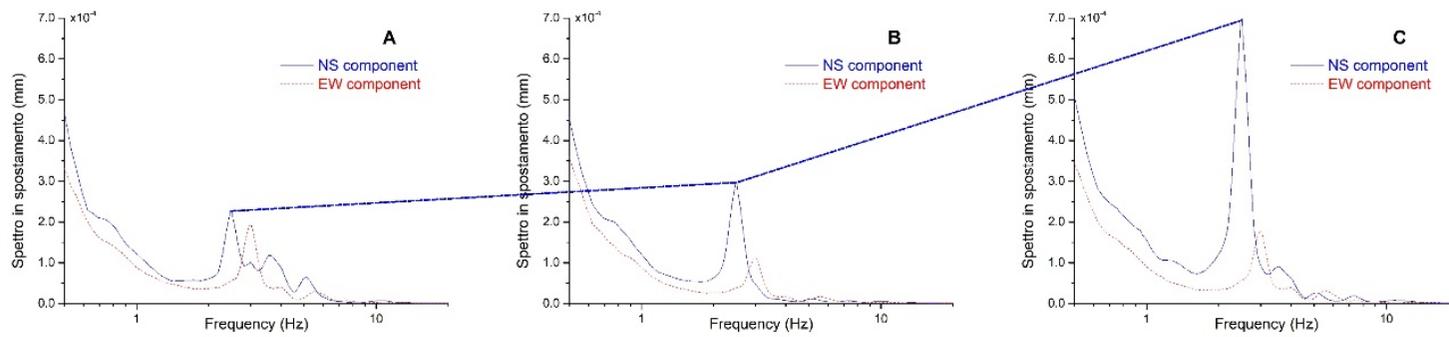


Fig. 52: Spettri in spostamento per le acquisizioni effettuate al piano più alto dell'edificio.

9. MODELLAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI

9.1. Modello Cad

Al fine di condurre un'auto-analisi è stato necessario creare innanzitutto un modello geometrico della struttura esaminata. Per fare ciò sono stati utilizzati i rilievi e i progetti esecutivi resi disponibili dall'ufficio tecnico dell'E.R.S.U. di Catania, dopodiché si è proceduto a disegnare tramite il software Autocad 2018 una rappresentazione in 3D dell'edificio (figg. 53,54).

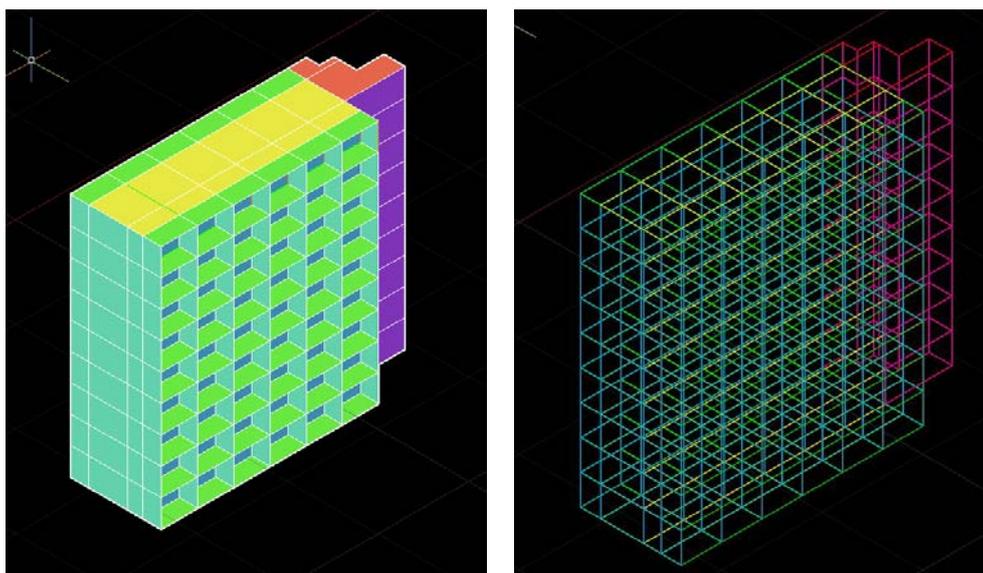


Fig. 53: Modello geometrico CAD prospetto est. a) vista modalità concettuale; b) vista modalità frame

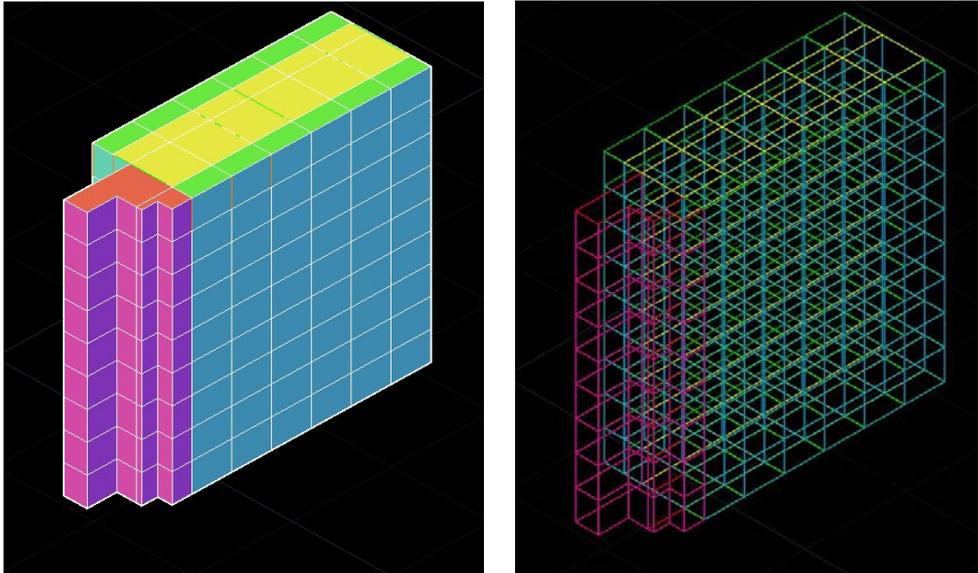


Fig. 54: Modello geometrico CAD prospetto ovest. a) vista modalità concettuale; b) vista modalità frame

Per evitare di riportare informazioni poco utili alla modellazione che avrebbero appesantito il processo, e a causa di sostanziali carenze nella documentazione disponibile, sono state adottate delle semplificazioni che sono di seguito riportate:

- Pilastri e Travi rappresentate in elementi monodimensionali di tipo BEAM;
- Solaio e chiusure verticali rappresentati in elementi bidimensionali di tipo SHELL;
- Eliminazione dal modello delle aperture (porte, finestre);
- Eliminazione dal modello dei manufatti relativi allo schema di fondazione (plinti, travi rovesce).

Di seguito viene riportato quindi in tabella 7, l'elenco dei layers utilizzati per i vari elementi strutturali quali pilastri, solai e pareti, ai quali verranno associati in seguito le caratteristiche geometriche e meccaniche per ciascun elemento. Si nota che solo i pilastri subiranno variazioni significative di sezione lungo l'elevato mentre si è proceduti ad omogeneizzare la sezione e l'altezza delle chiusure sia verticali che

orizzontali. Sempre per ciò che concerne ai pilastri, si è proceduto nel riportare nello stesso layer diversi elementi avente sezioni prossima tra di loro (es. pilastri di tipo b presenti al piano n°4 e al piano n°5) al fine di evitare di avere un elevato numero di sezioni.

Per poter rendere il modello geometrico fruibile dal software agli elementi finiti, è stato necessario infine esportare ogni singolo layer in formato iges (.igs).

LAYER	COLORE	ELEMENTO	DESCRIZIONE LAYER	MATERIALE	DIMENSIONI (CM)
pilA1	arancione	beam	Pilastri interni piani n° 1-2-3-4	Mat.1	40x90
pilA2	arancione	//	Pilastri interni piano n°5	Mat.1	40x80
pilA3	arancione	//	Pilastri interni piano n° 6	Mat.1	40x70
pilA4	arancione	//	Pilastri interni piano n° 7	Mat.1	40x60
pilA56	arancione	//	Pilastri interni piani n° 8-9	Mat.1	40x50
pilB1	arancione	//	Pilastri vano scala piani n°1-2-3-4	Mat.1	50x30
pilB2	arancione	//	Pilastri vano scala piani n°5	Mat.1	45x30
pilB34	arancione	//	Pilastri vano scala piani n°6-7	Mat.1	40x30
pilB56	arancione	//	Pilastri vano scala piani n°8-9	Mat.1	35x30
pilC	arancione	//	Pilastri esterni	Mat.1	15x25
T1	verde	//	Travi principali	Mat.1	40x40
T2	verde	//	Travi secondarie	Mat.1	35x35
T3	verde	//	Travi terziarie	Mat.1	15x40
paretiscala	fucsia	shell	Chiusure verticali vano scala	Mat.2	H=30
paretitorre	azzurro	shell	Chiusure verticali corpo principale	Mat.2	H=25
Solaio1	giallo	shell	Solaio principale	Mat.3	H=20
Solaio11	rosso	shell	Solaio corpo scala	Mat.3	H=20
Solaio12	giallo	shell	Solaio secondario	Mat.3	H=20

Tab. 7: Elenco Layers modello CAD

9.2. Modello Numerico

Il modello agli elementi finiti non è altro che la scomposizione della struttura iniziale in elementi più semplici. Tale operazione di semplificazione prende il nome di discretizzazione e risulta essere un'approssimazione del problema continuo, ovvero si stabilisce un numero "finito" di gradi di libertà. A prescindere del software utilizzato, vi sono dei principi cardine della modellazione agli elementi finiti, che vengono riportati di seguito:

- Scelta del tipo di elementi finiti;
- Definizione del legame costitutivo dei materiali;
- Applicazione della mesh;
- Applicazione delle condizioni di vincolo e di carico.

Per quanto riguarda le condizioni geometriche dei vari elementi, si è deciso di utilizzare l'elemento BEAM188 per la rappresentazione dei modelli monodimensionali quali travi e pilastri, mentre SHELL281 per gli elementi bidimensionali, ovvero le chiusure. Il primo è un elemento monodimensionale a due nodi (i,j) con un terzo nodo k che fornisce l'orientamento. In esso è valutabile la deformabilità a taglio, fornita dalla teoria di Timoshenko sulle travi, invece il secondo è un elemento a 8 nodi con sei gradi di libertà, utile sia per analisi lineari e non, grazie al supporto della teoria di Reissner - Mindlin.

Le considerazioni riguardo il legame costitutivo dei materiali hanno portato a scegliere un materiale lineare-elastico isotropo e omogeneo, favorendo un minore onere computazionale per l'elaborazione numerica. In particolare è stato definito un materiale per ciascuna tipologia di elemento, fatta eccezione per le travi che nell'ipotesi di solaio omogeneo non sono state considerate nell'elaborazione.

Sono stati adoperati quindi 3 tipologie di materiali, le cui caratteristiche meccaniche in termini di valori di modulo di Young (E),

coefficiente di Poisson (ν) e densità (ρ) adottati inizialmente, vengono riportati di seguito in tabella 8:

Mat.ID	TIPOLOGIA	ELEMENTO	E [MPa]	ν	ρ [Kg/m ³]
1	Calcestruzzo armato	pilastro	30e9	0.3	2500
2	Muratura	parete	4.55e9	0.35	1500
3	Latero- cemento	solaio	25e9	0.25	2200

Tab. 8: Elenco caratteristiche meccaniche materiali

Per la definizione di tali valori, ci si è riferiti, rispettivamente a:

- CLS: valori standard dati da letteratura e normativa;
- Muratura: valori dettati dalla Circolare applicativa della NTC-2018;
- Latero-Cemento: valori supposti in base all'esperienza.

Saranno infatti questi ultimi, affetti da incertezze, a essere soggetti a modifica, come verrà spiegato nel paragrafo successivo.

Durante la fase di individuazione della mesh, è stata scelta una misura opportuna degli elementi della rete parti a 0.7, data da un'analisi costi-benefici che ha privilegiato anche in questo caso una maggiore velocità computazionale senza sminuire in termini di definizione il grado di dettaglio della rete stessa. Ovvero incrementando il valore della distanza internodale non avremmo ottenuto benefici in termini di onere del processo di elaborazione senza non andare a scapito del grado di definizione. Tale comando è stato applicato indiscriminatamente per tutte le superfici mentre per le linee è stato ristretto ai soli pilastri e travi.

Come ulteriore ipotesi semplificativa riguardo i carichi considerati agenti sul modello, è stata applicata esclusivamente la forza di gravità, agente in maniera globale per ogni punto dell'edificio.

Infine, non avendo informazioni riguardo le fondamenta, come ipotesi semplificativa si è deciso di vincolare la base del modello con una soluzione “incastro”. La parte collaborante a tale restrizione ha un intervallo ben definito, ovvero si estende tra $\mp d_e/2$, con d_e che corrisponde all’elemento della maglia.

Come risultato di tali considerazioni, nelle figure 55 e 56. vi sono due rappresentazioni del modello numerico, rispettivamente in modalità esplosa e in visione concettuale.

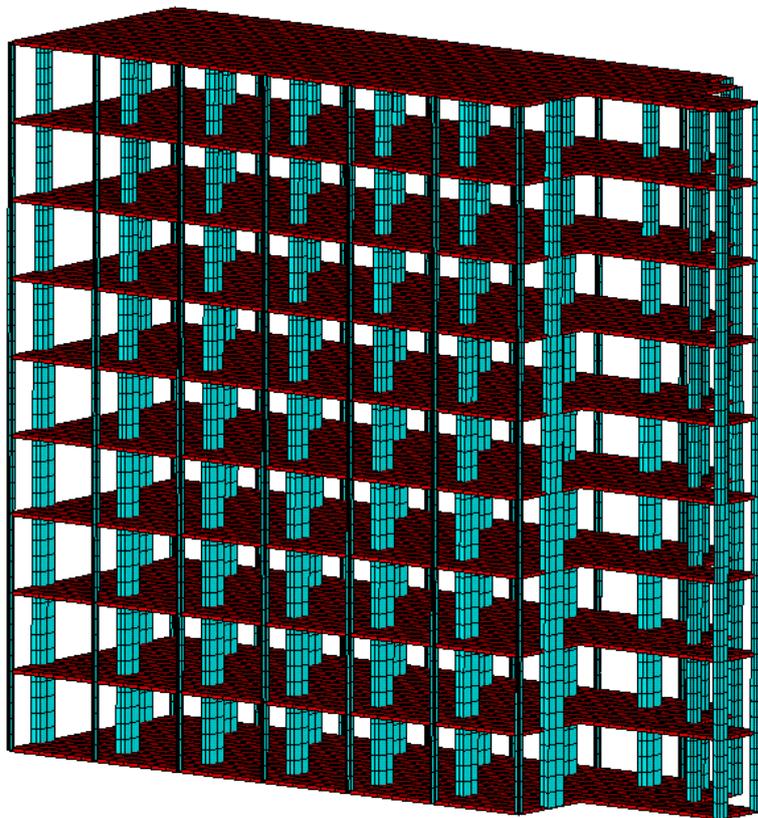


Fig. 55: Modello Numerico in modalità esplosa.

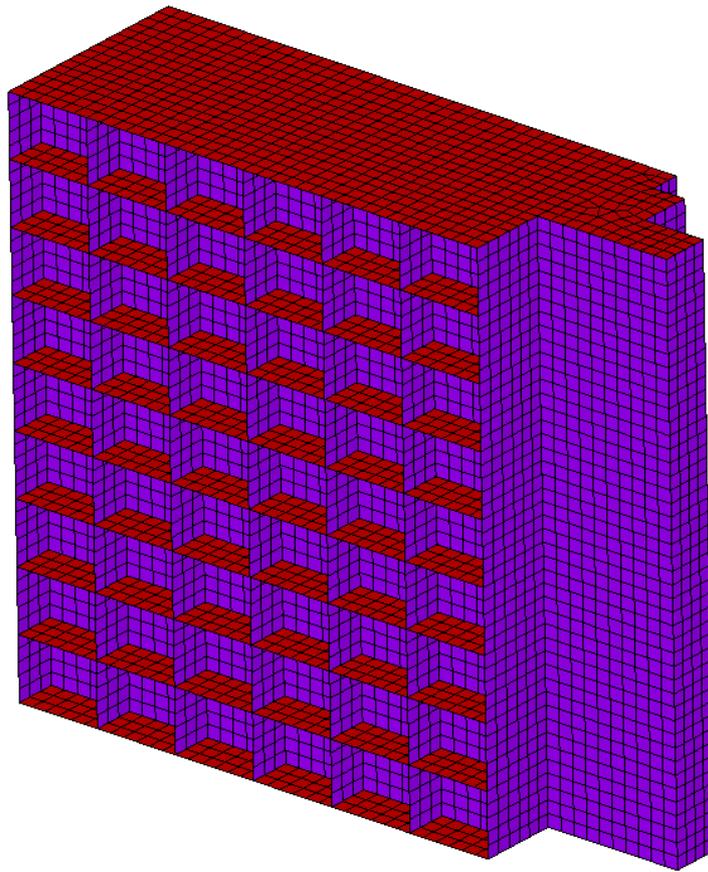


Fig. 56: Modello Numerico in modalità esplosa.

9.3. Post-Processing

Nella seguente fase, si è deciso di condurre inizialmente un'analisi statica per comprovare la bontà del modello numerico. (Figg. 57, 58).

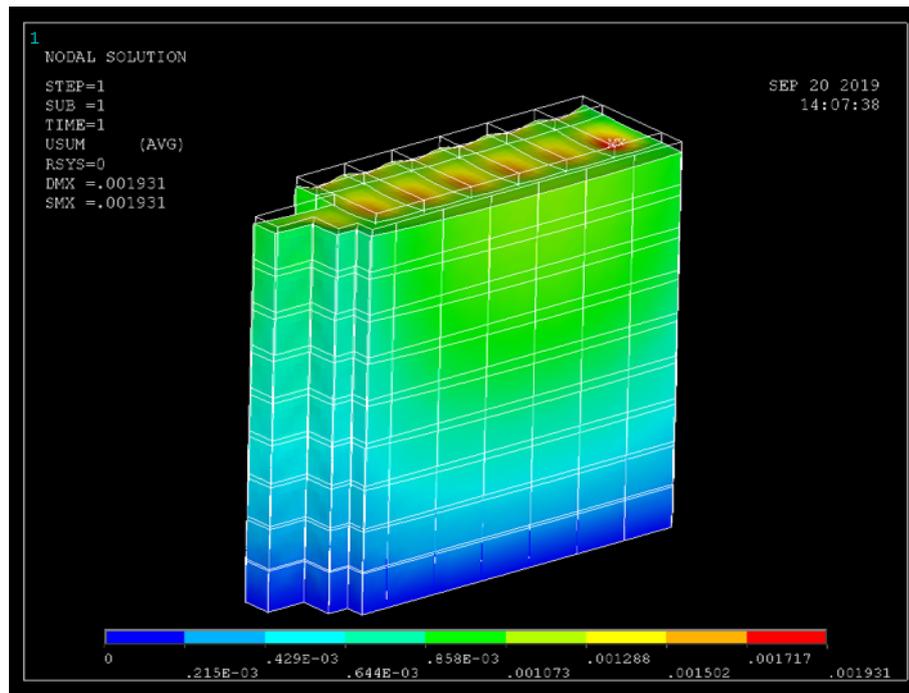


Fig. 57: Soluzione analisi statica. Vista Ovest

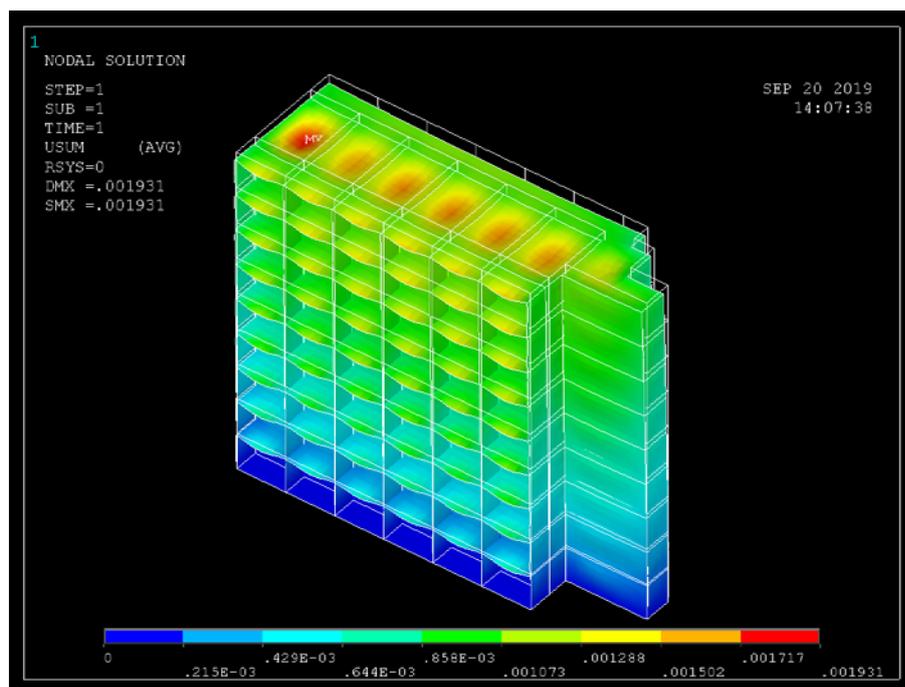


Fig. 58: Soluzione analisi statica. Vista Est

Tale analisi ha dato una soluzione, il cui esito positivo ha permesso di poter passare allo step successivo, ovvero l'autoanalisi.

Attraverso quindi il software di calcolo è stato possibile estrarre i primi 20 modi di vibrare della struttura. Tuttavia, tra questi modi, sono stati individuati quelli più rappresentativi, che corrispondono ai primi 9. Dal decimo in poi, i valori di frequenza associati esulano dal range ingegneristico (1-10Hz) all'interno del quale generalmente ci si prefigge di operare.

Viene riportata di seguito quindi la tabella 9 che elenca al suo interno i 20 valori di frequenza ottenuti. I primi due, dovrebbero corrispondere rispettivamente ai valori sperimentali ottenuti lungo l'orientazione N-S (2,5 Hz) ed E-W (3 Hz), tenendo conto che ci si riferisce alla disposizione del tromometro nello spazio durante la fase di registrazione e non a quella della struttura nel contesto urbano. Successivamente vengono riportate le 9 forme modali ottenute (figg 59-76).

SET	TIME/FREQ
1	1,651
2	2,5401

3	3,2121
4	5,8852
5	7,4249
6	7,5857
7	8,3506
8	8,4837
9	10,257
10	11,224
11	11,502
12	11,7
13	12,058
14	12,858
15	13,232
16	13,392
17	13,616
18	13,842
19	14,007
20	14,19

Tab. 9: Valori di frequenza ottenuti

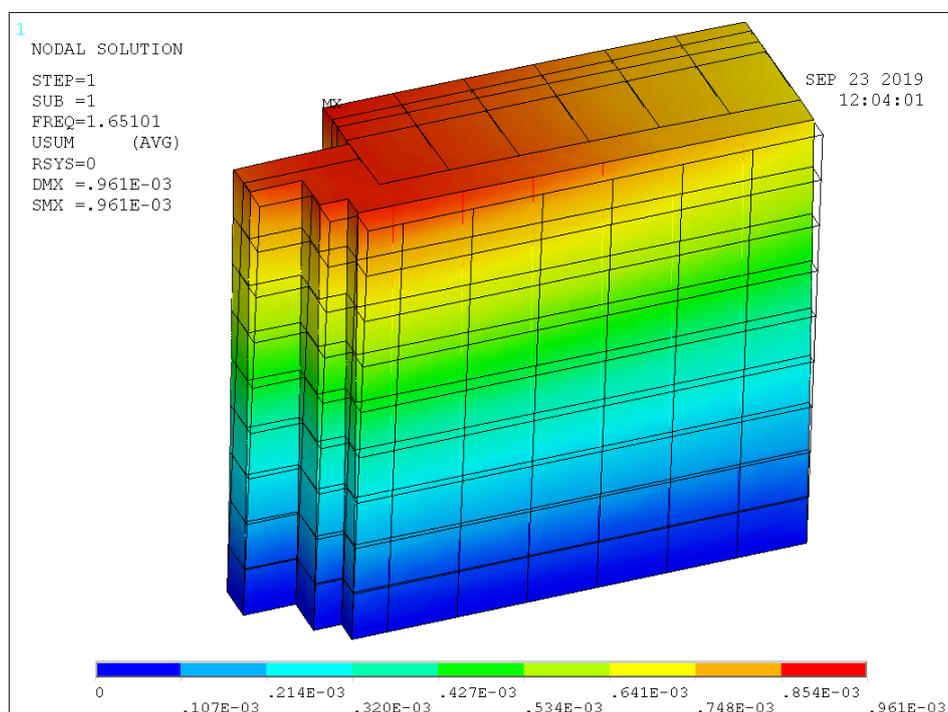


Fig. 59: 1° Modo F.E.M. - Vista Ovest

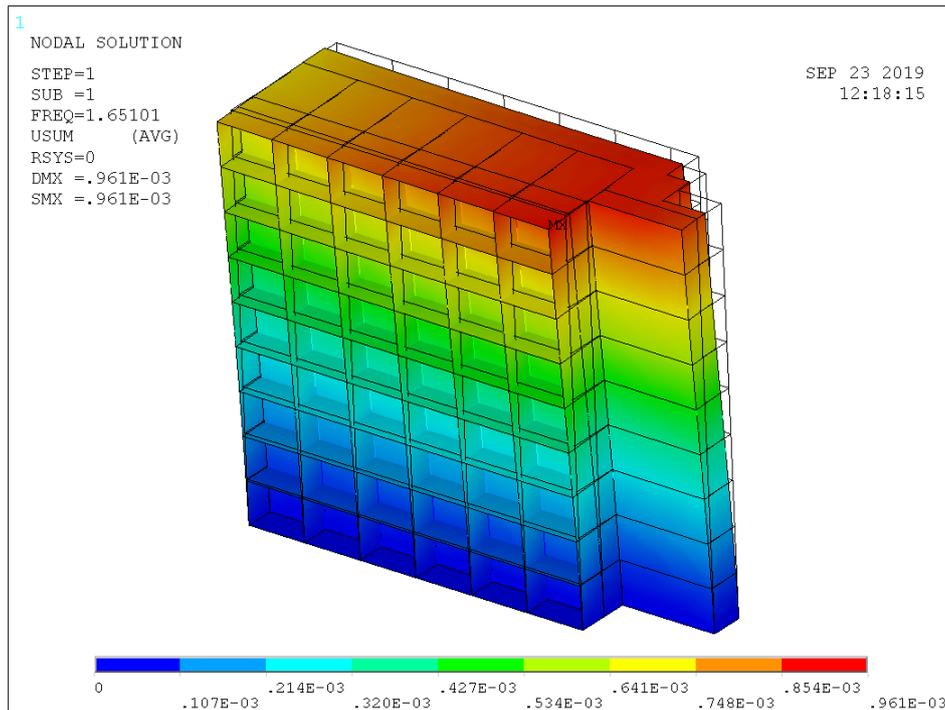


Fig. 60: 1° Modo F.E.M. - Vista Est

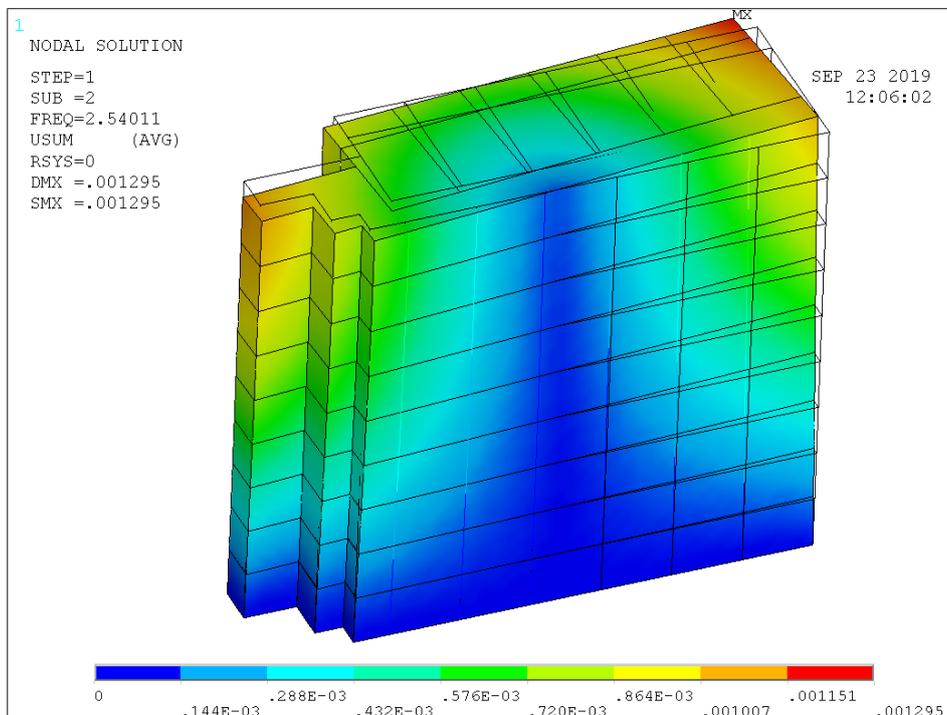


Fig. 61: 2° Modo F.E.M. - Vista Ovest

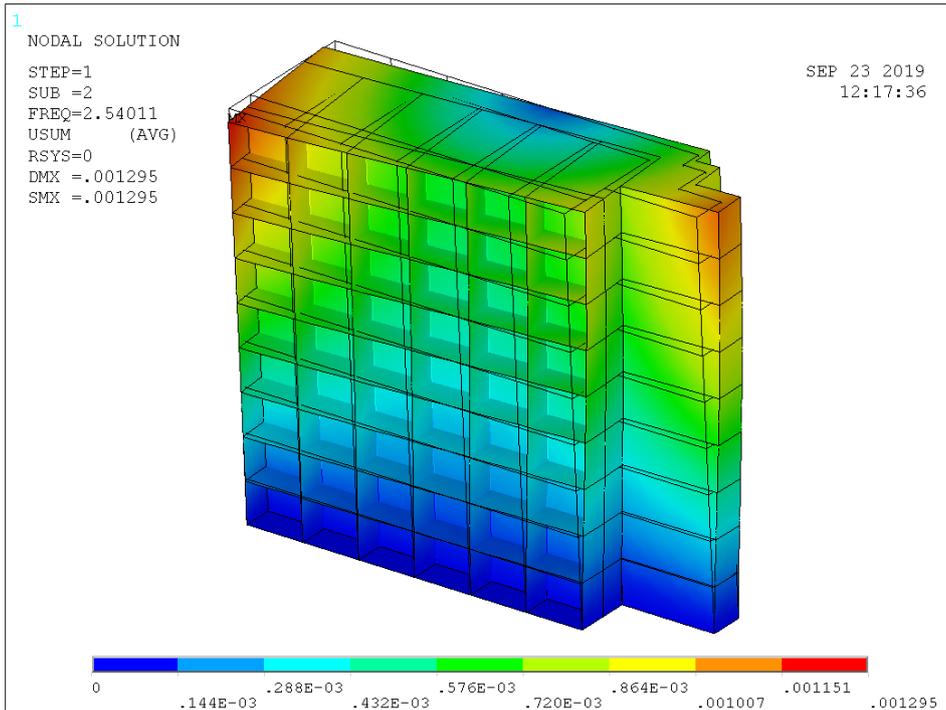


Fig. 62: 2° Modo F.E.M. - Vista Est

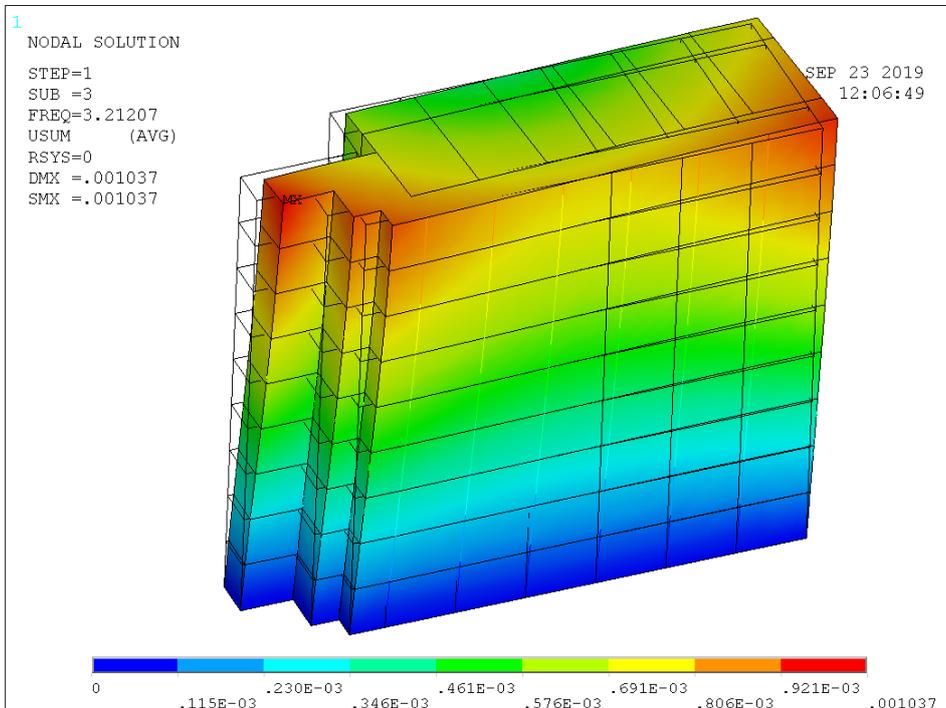


Fig. 63: 3° Modo F.E.M. - Vista Ovest

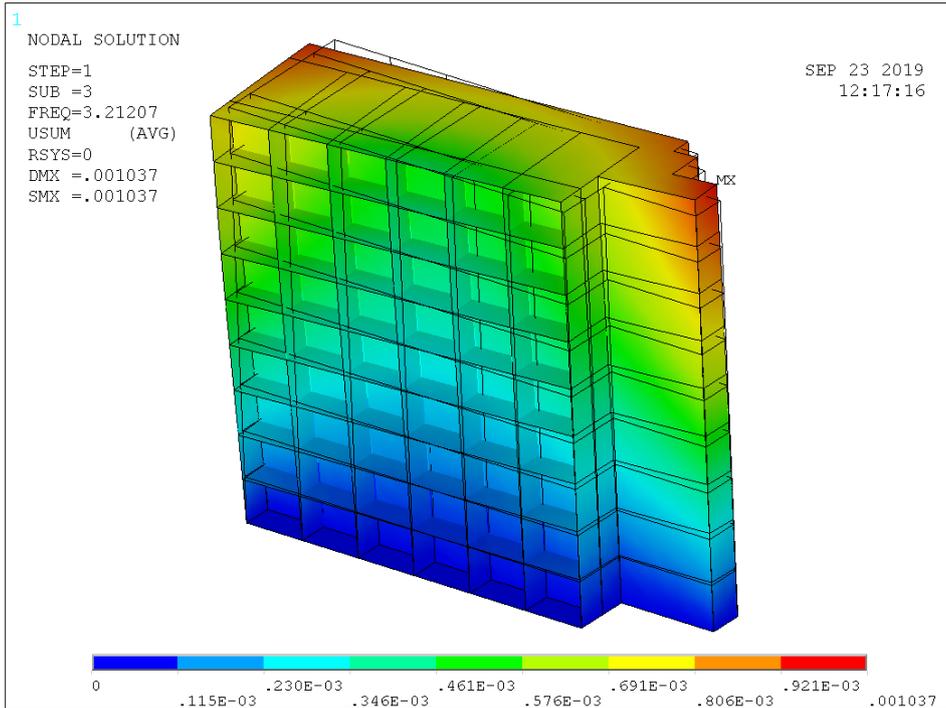


Fig. 64: 3° Modo F.E.M. - Vista Est

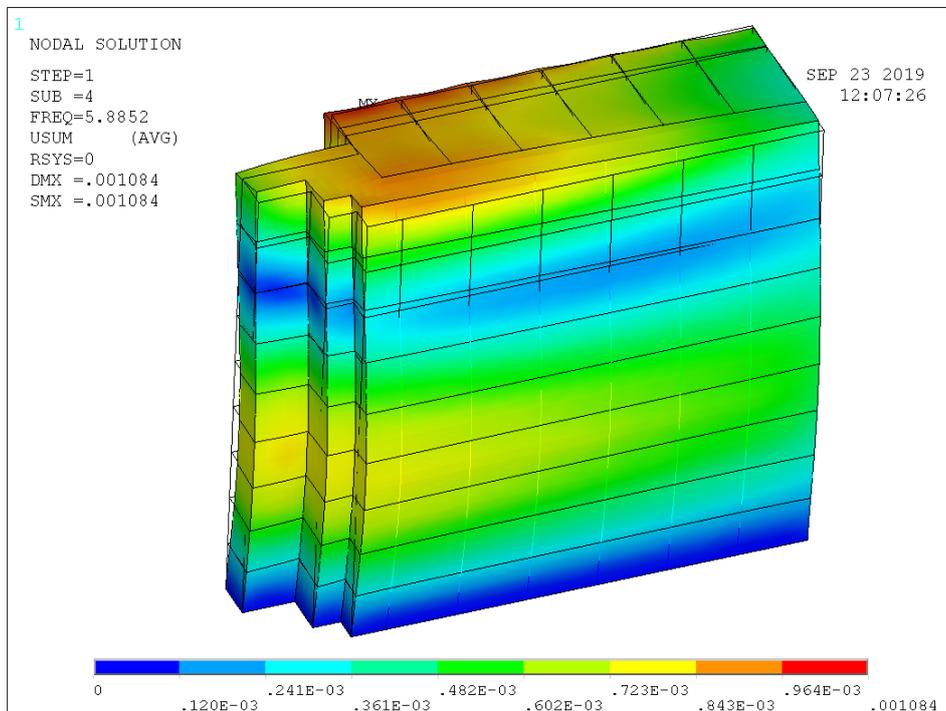


Fig. 65: 4° Modo F.E.M. - Vista Ovest

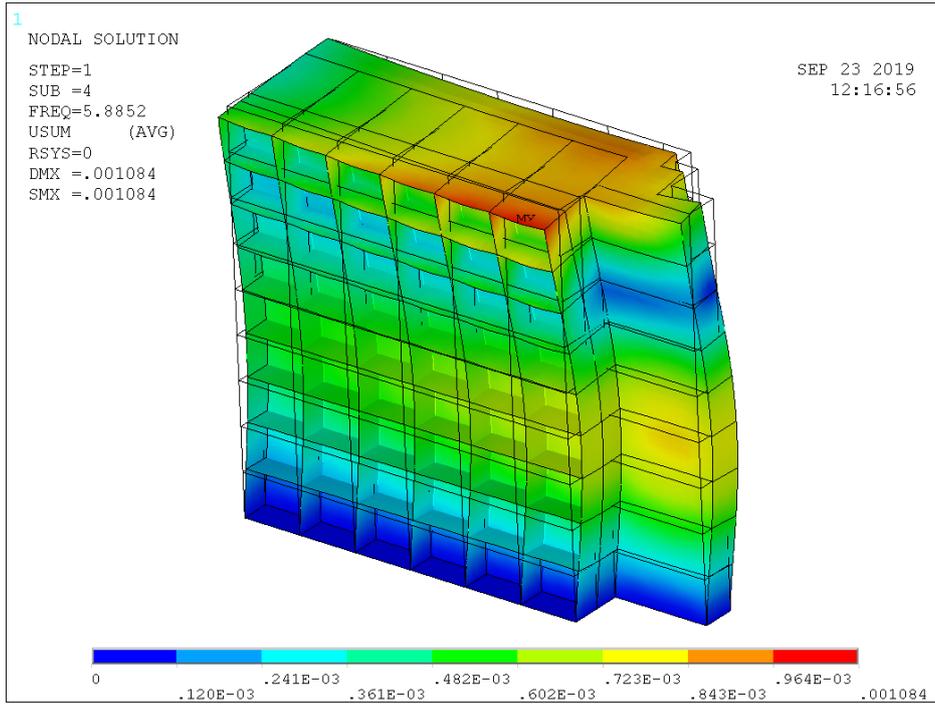


Fig. 66: 4° Modo F.E.M. - Vista Est

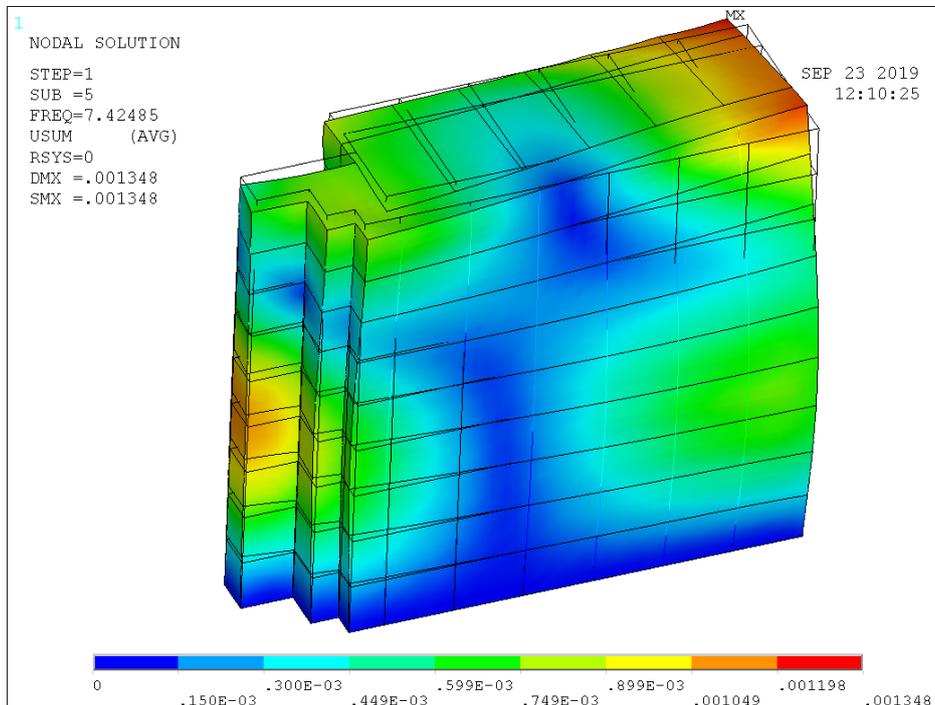


Fig. 67: 5° Modo F.E.M. - Vista Ovest

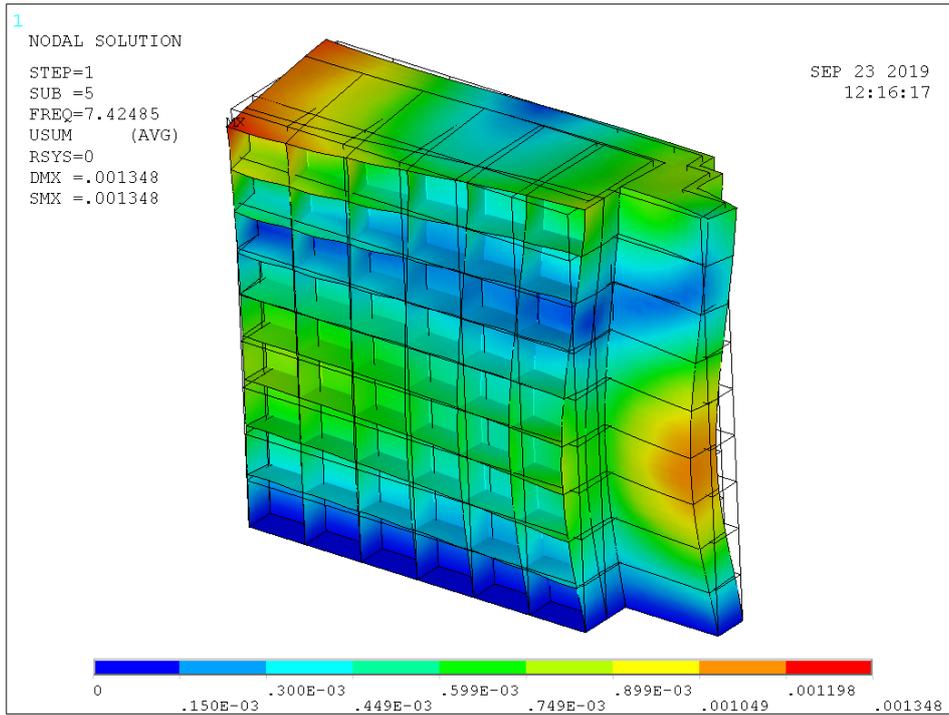


Fig. 68: 5° Modo F.E.M. - Vista Est

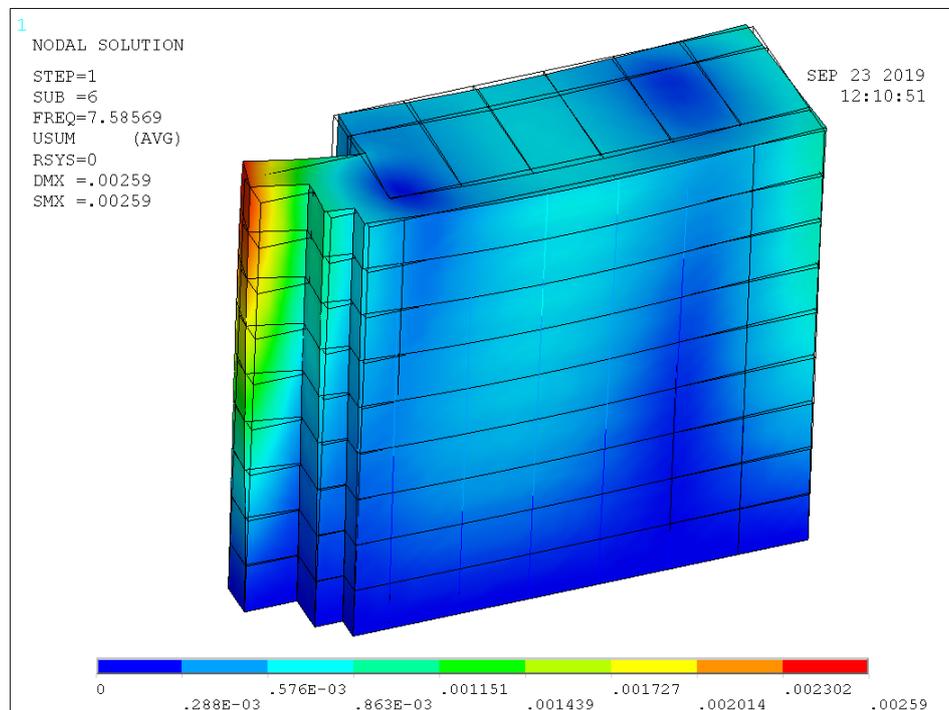


Fig. 69: 6° Modo F.E.M. - Vista Ovest

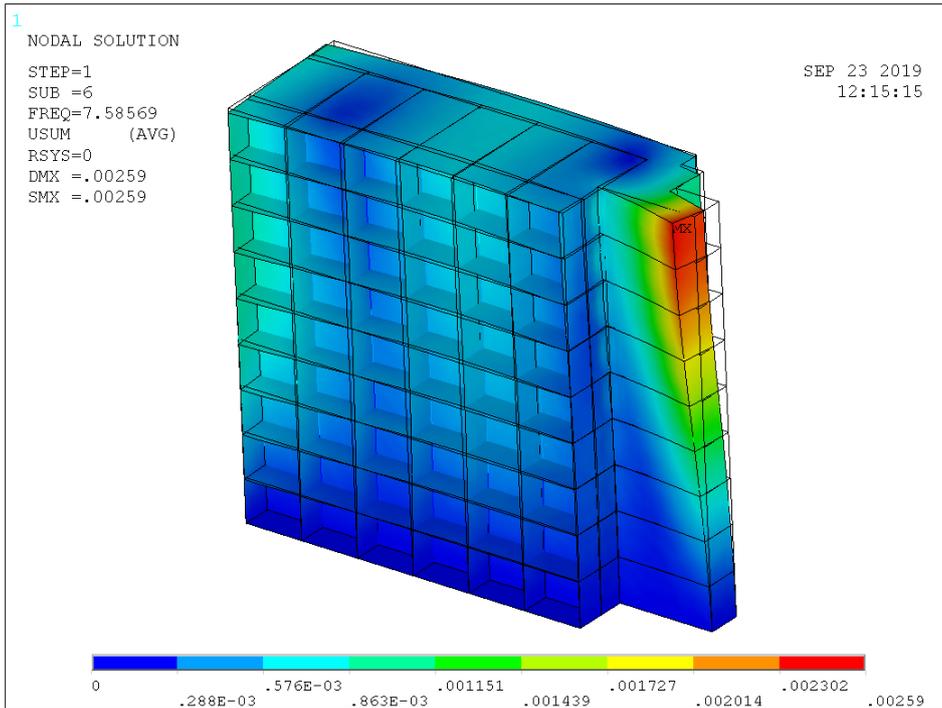


Fig. 70: 6° Modo F.E.M. - Vista Est

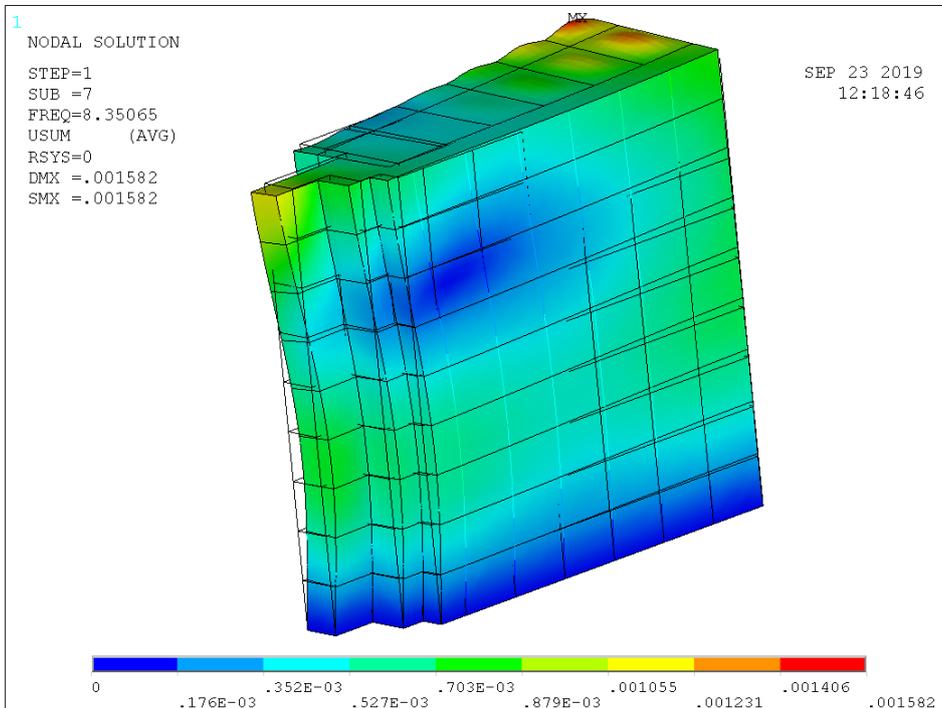


Fig. 71: 7° Modo F.E.M. - Vista Ovest

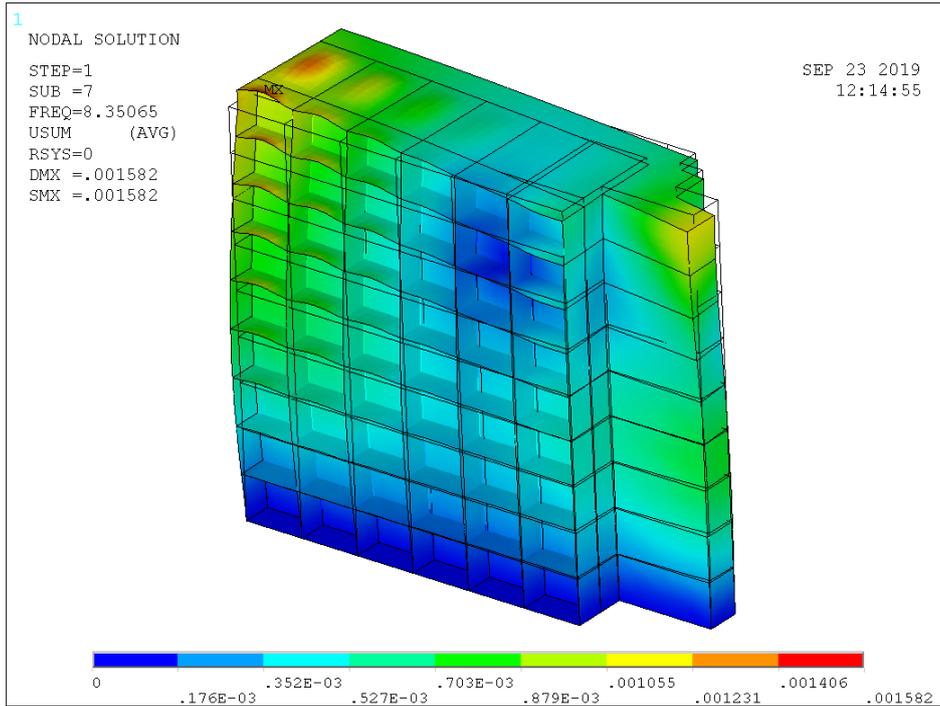


Fig. 72: 7° Modo F.E.M. - Vista Est

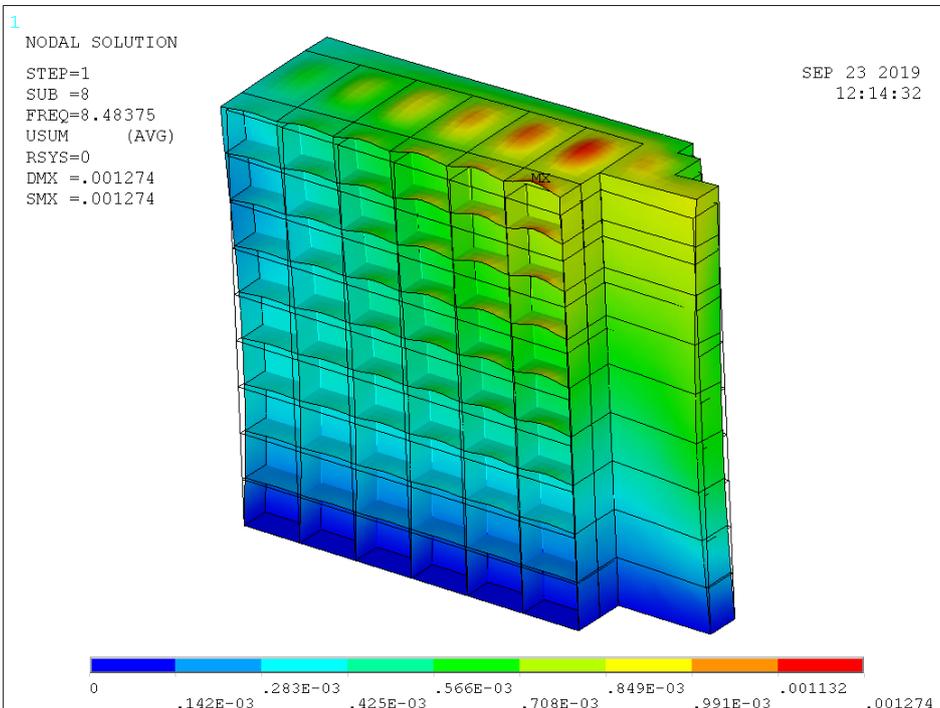


Fig. 73: 8° Modo F.E.M. - Vista Ovest

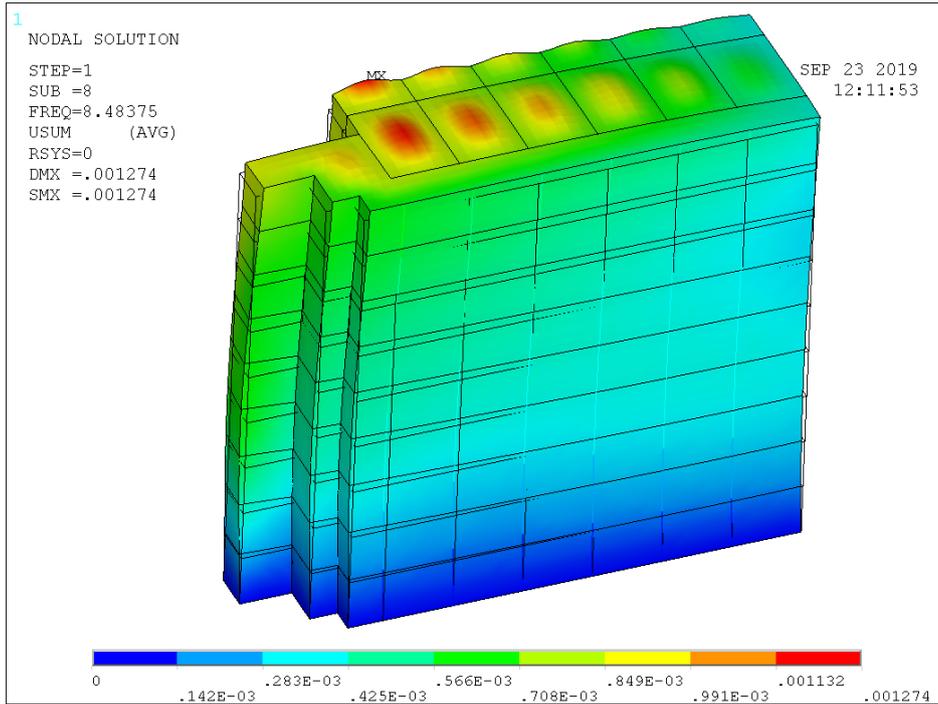


Fig. 74: 8° Modo F.E.M. - Vista Est

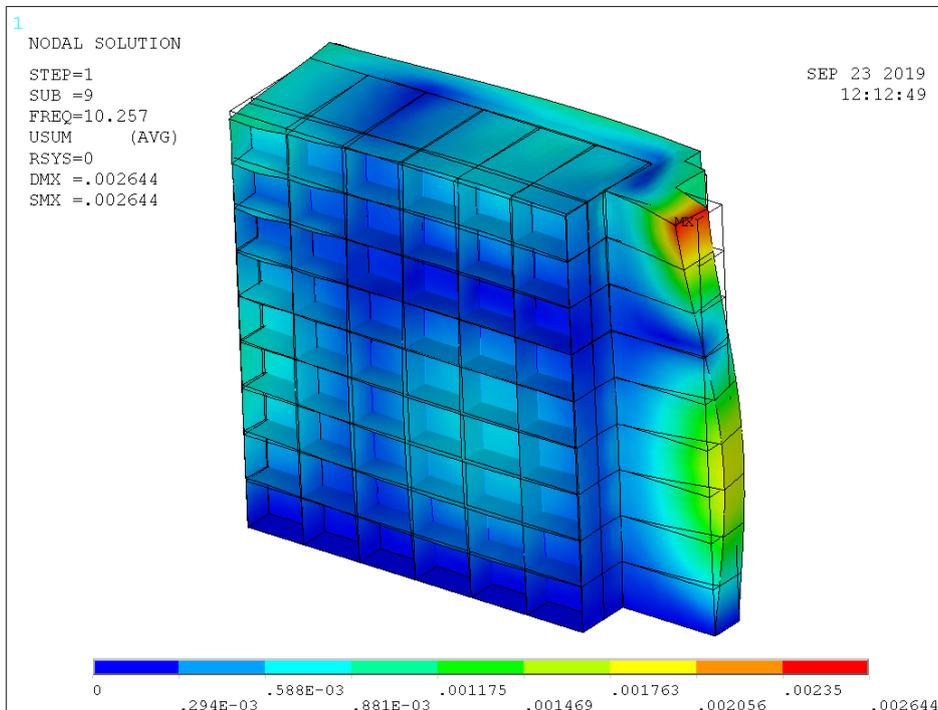


Fig. 75: 9° Modo F.E.M. - Vista Ovest

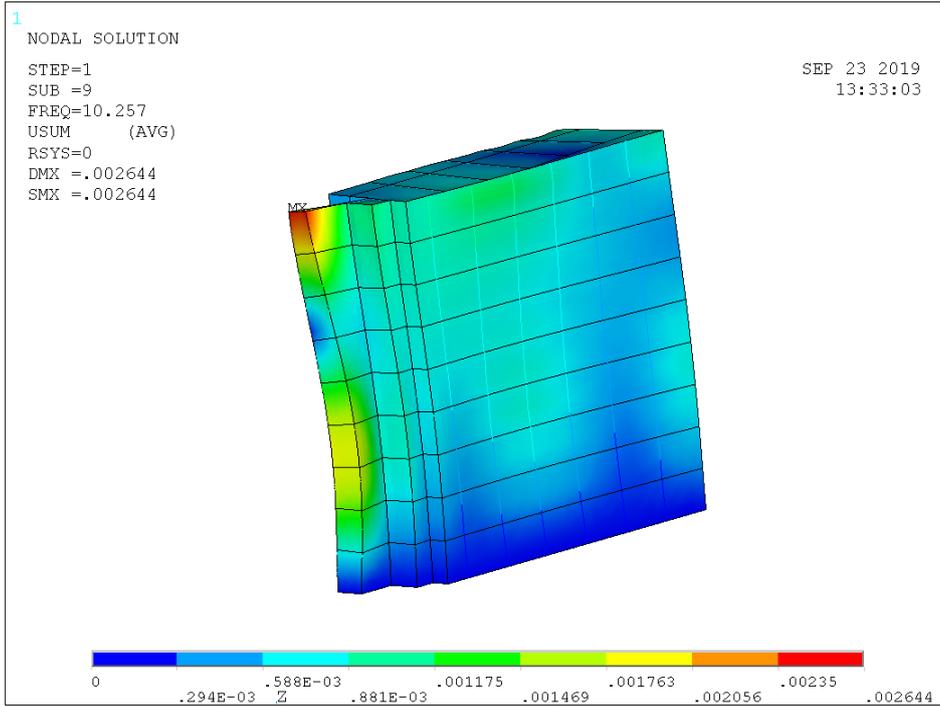


Fig. 76: 9° Modo F.E.M. - Vista Est

9.4. Validazione preliminare dei dati sperimentali e calibrazione

Per quanto prossimi ai valori sperimentali, ciò che è stato ottenuto dalla prima autoanalisi, con le ipotesi suddette, non è stato sufficiente per definire tale lavoro concluso. Giunti a tale considerazione, tuttavia non è stato necessario utilizzare un processo di calibrazione di tipo iterativo che avrebbe portato dopo numerosi tentativi, i due valori ad esatta convergenza.

Si è preferito quindi, variare manualmente i valori delle caratteristiche meccaniche relative al mat. ID 3, ovvero corrispondente a quello del solaio. Si è proceduti nell'extrapolare i valori equivalenti di h , ρ , E , tramite delle equivalenze relative all'inerzia, alla densità e al modulo, da cui sono state ricavate le seguenti formule:

$$(1) h_{eq} = \sqrt{\frac{12 \sum I_i \rho_i}{\sum M_i}}$$

$$(2) \rho_{eq} = \frac{12 \sum I_i \rho_i}{B h_{eq}^3}$$

$$(3) E_{eq} = \frac{\sum E_i A_i}{B h_{eq}}$$

Con $B = \text{elemento mesh} = 0,7$

Di seguito (tab. 10) vengono riportati in i risultati ottenuti:

MATERIALE	E_i [MPa]	ρ_i [kg/ m^3]	A_i [m^2]	M_i [kg]	I_i [kg * m^2]
Calcestruzzo armato	30e09	2500	0.044	110	3.786e-5
Muratura	4.55e09	1500	0.096	144	2.048e-4

Tab. 10: Risultati relativi a CLS e muratura

Sostituendo tali valori nelle equazioni (1-3), sono stati ottenuti i seguenti risultati relativi al mat.ID 3:

$$h_{eq} \approx 0.138 [m]$$

$$\rho_{eq} \approx 2621 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$E_{eq} \approx 18.137 [GPa]$$

Viene riportata quindi in tabella 11 le terne di valori per ciascun materiale che sono state utilizzate per condurre l'analisi definitiva:

Mat.ID	TIPOLOGIA	ELEMENTO	E [MPa]	ν	ρ [Kg/ m^3]
1	Calcestruzzo armato	pilastro	30e9	0.3	2500
2	Muratura	parete	4.55e9	0.35	1500
3	Latero- cemento	solaio	18e9	0.25	2621

Tab. 11: Valori definitivi caratteristiche materiali

Infine, cercando di ricavare un valore ancora più prossimo a quello sperimentale, e considerando che in entrambi i corpi di fabbrica

si è preferito non riportare le aperture (porte, finestre), si è deciso di variare lo spessore delle chiusure verticali sia del corpo centrale che del corpo scale, impostando tale valore a 0.07 m. Tale scelta è stata adoperata per non alterare quindi il valore della rigidezza globale dell'intero edificio e falsare i risultati. L'assenza dei fori data dalla mancanza di porte e finestre corrisponde ad un aumento della massa e della rigidezza dell'edificio che deve essere riportata comunque nella modellazione e per farlo quindi si è ridotto lo spessore delle pareti e lo si è omogeneizzato per tutti i pannelli verticali.

Attraverso quindi il software di calcolo è stato possibile nuovamente quindi estrarre i primi 20 modi di vibrare della struttura (tab. 12). Tuttavia, diversamente dal caso precedente, tra questi modi, sono stati individuati quelli più rappresentativi, che corrispondono ai primi 6. Dal settimo in poi, i valori di frequenza associati esulano dal range ingegneristico (1-10Hz) all'interno del quale generalmente ci si prefigge di operare.

SET	TIME/FREQ
1	2,5382
2	2,9971
3	3,7323
4	7,9937
5	9,0164
6	10,837
7	14,553
8	15,265
9	15,37
10	15,501
11	15,544
12	15,77
13	15,87
14	15,883
15	15,968
16	16,044
17	16,128
18	16,342
19	16,346
20	16,424

Tab. 12: Valori di frequenza ottenuti

Di seguito vengono quindi riportate in figg 77-88 i primi 6 modi di vibrare definitivi e la frequenza a ciascuno di essi associata.

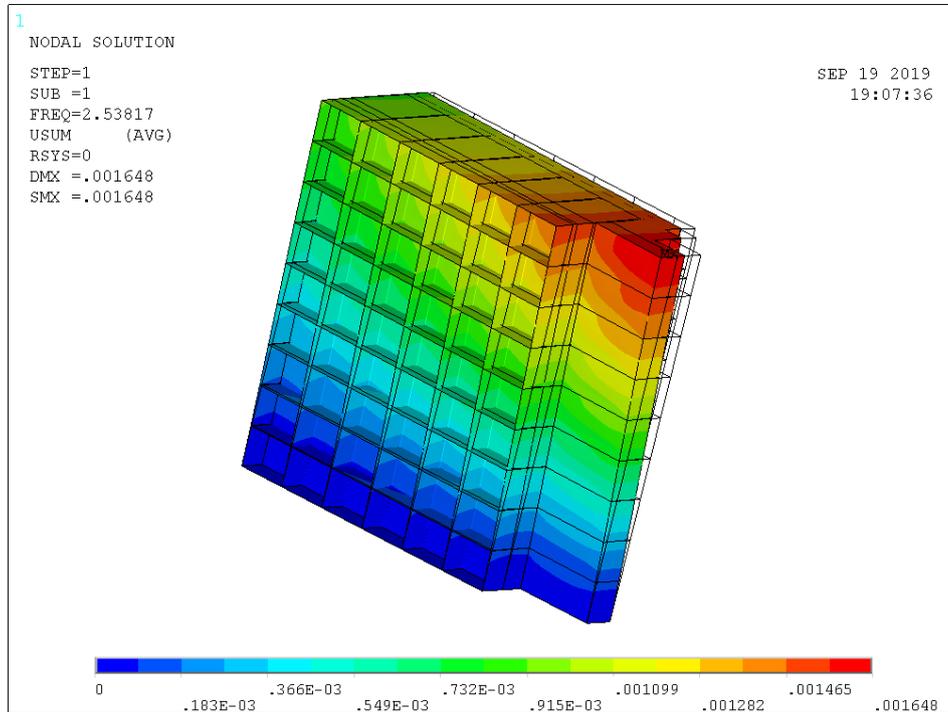


Fig. 77: 1° Modo F.E.M. - Vista Est

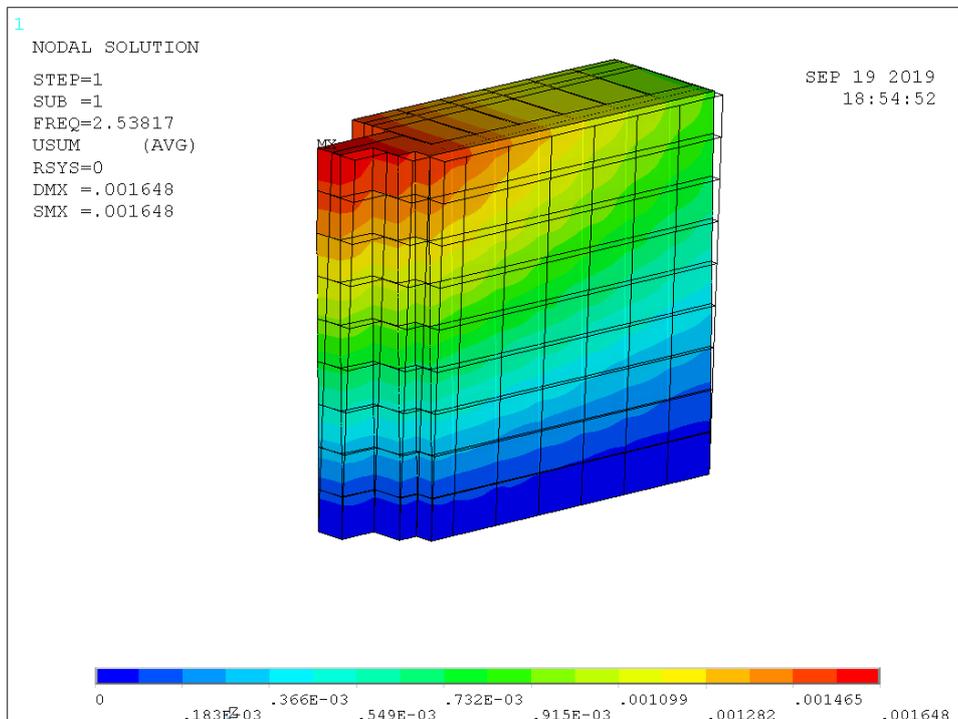


Fig. 78: 1° Modo F.E.M. - Vista Ovest

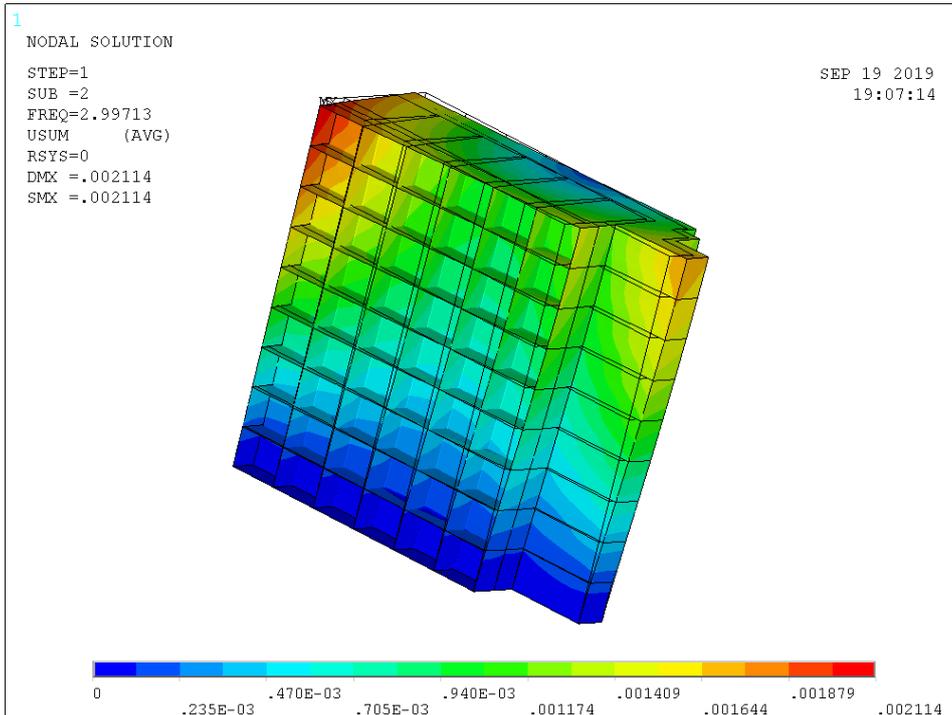


Fig. 79: 2° Modo F.E.M. - Vista Est

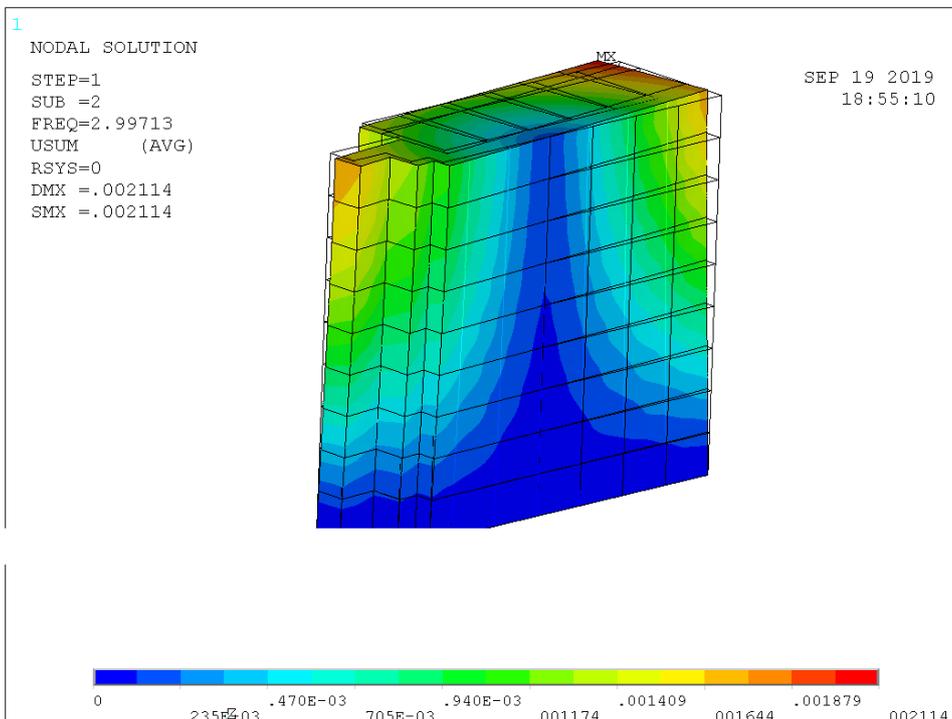


Fig. 80: 2° Modo F.E.M. - Vista Ovest

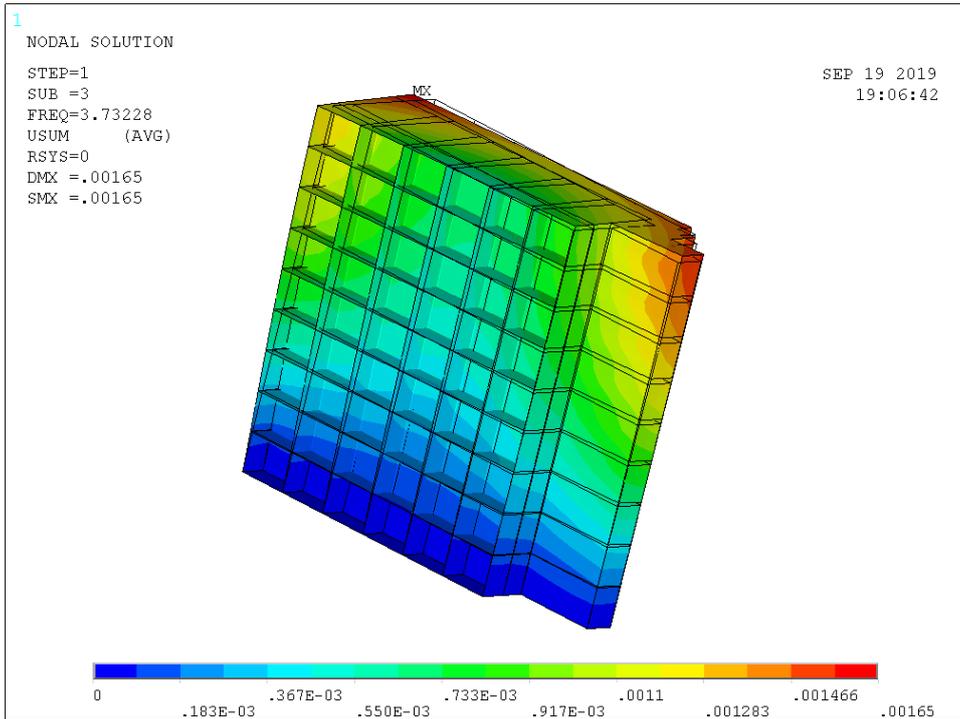


Fig. 81: 3° Modo F.E.M. - Vista Est

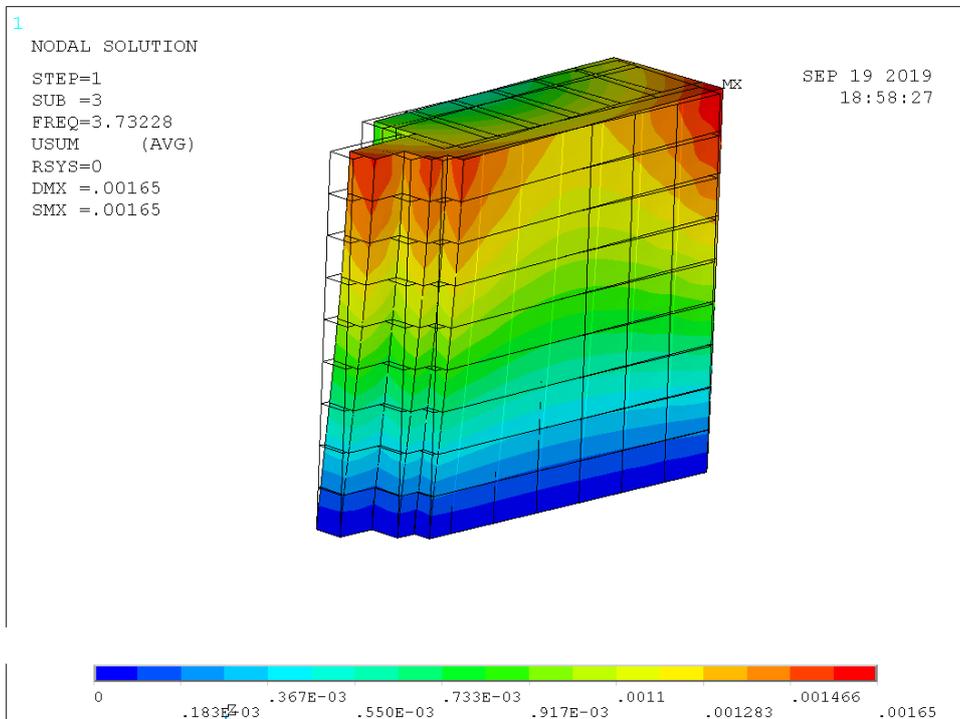


Fig. 82: 3° Modo F.E.M. - Vista Ovest

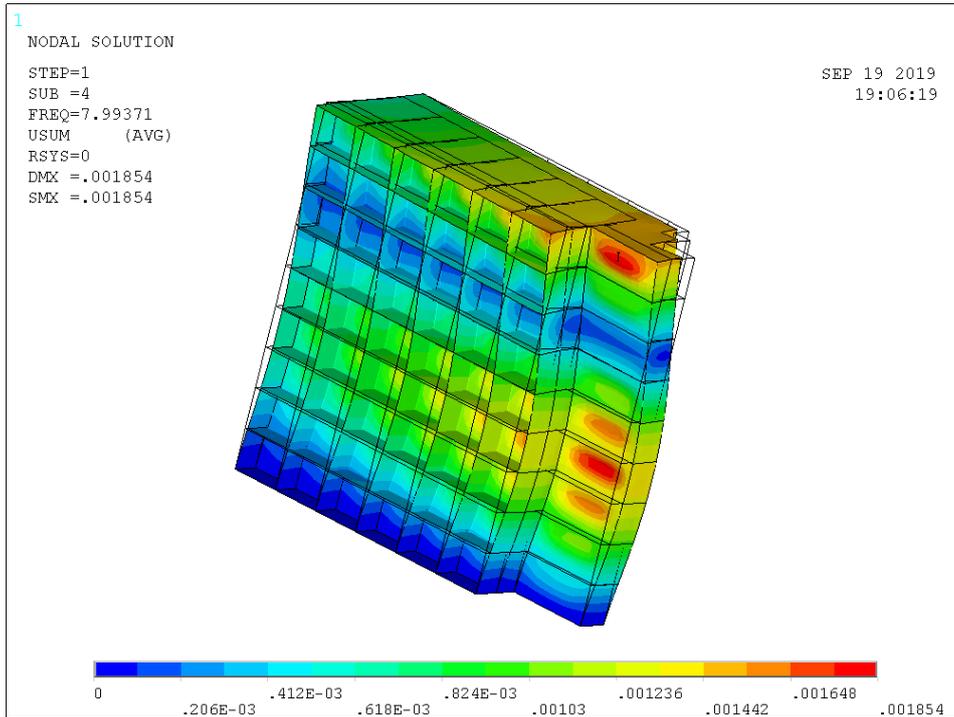


Fig. 83:4° Modo F.E.M. - Vista Est

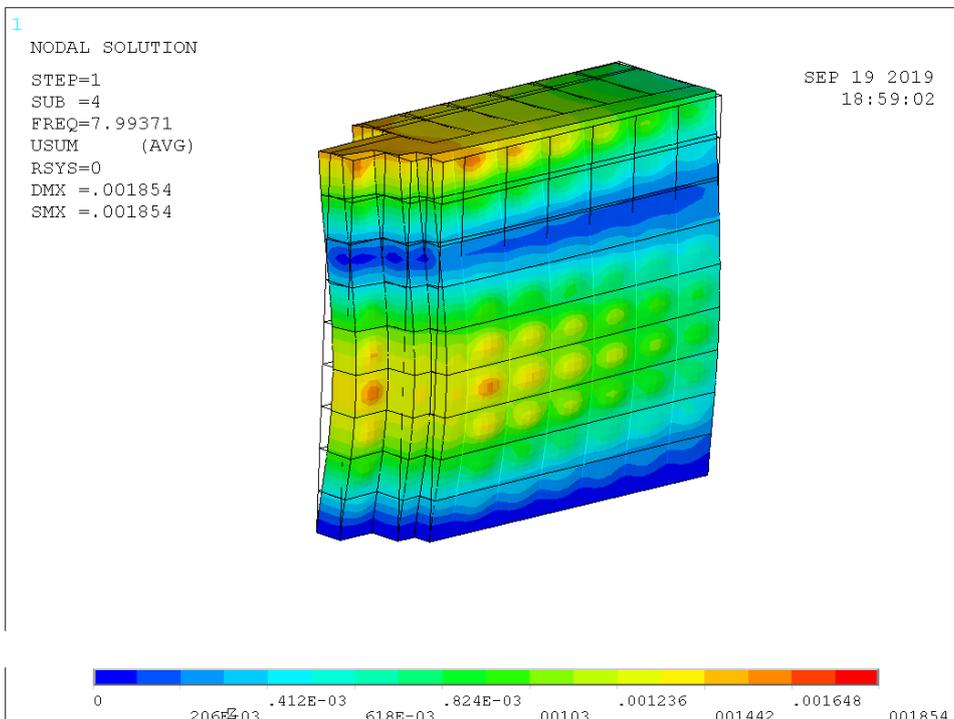


Fig. 84: 4° Modo F.E.M. - Vista Ovest

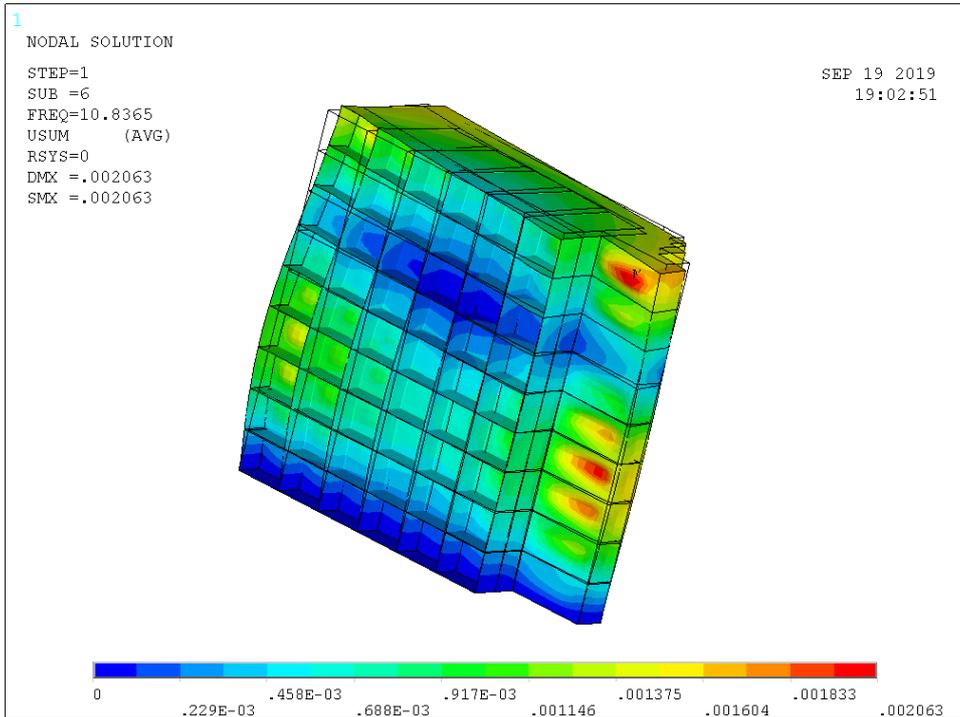


Fig. 85: 5° Modo F.E.M. - Vista Est

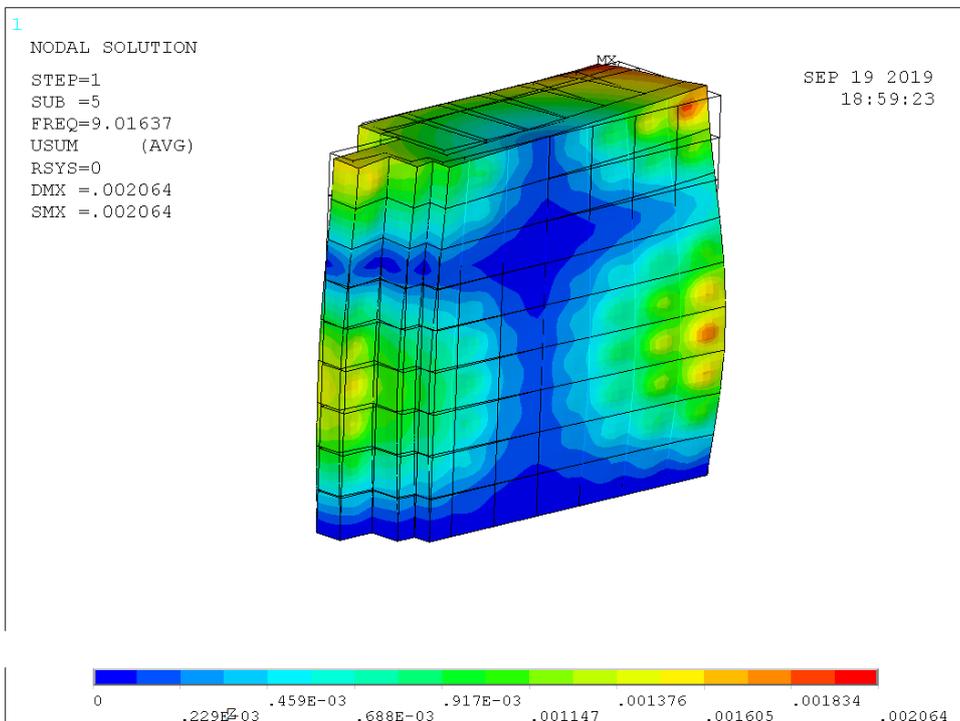


Fig. 86: 5° Modo F.E.M. - Vista Ovest

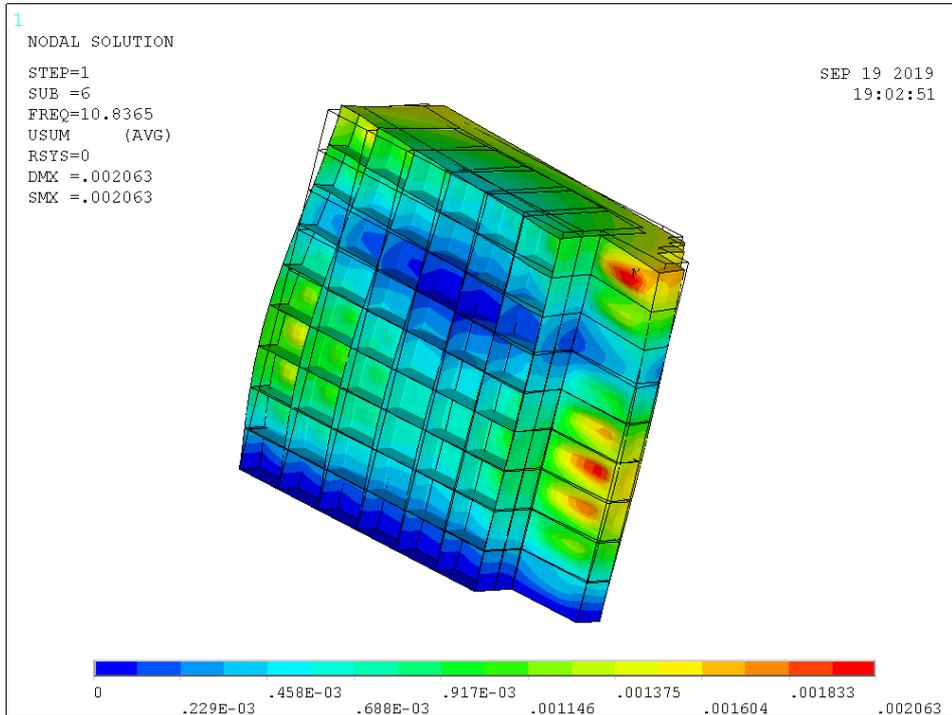


Fig. 87: 6° Modo F.E.M. - Vista Est

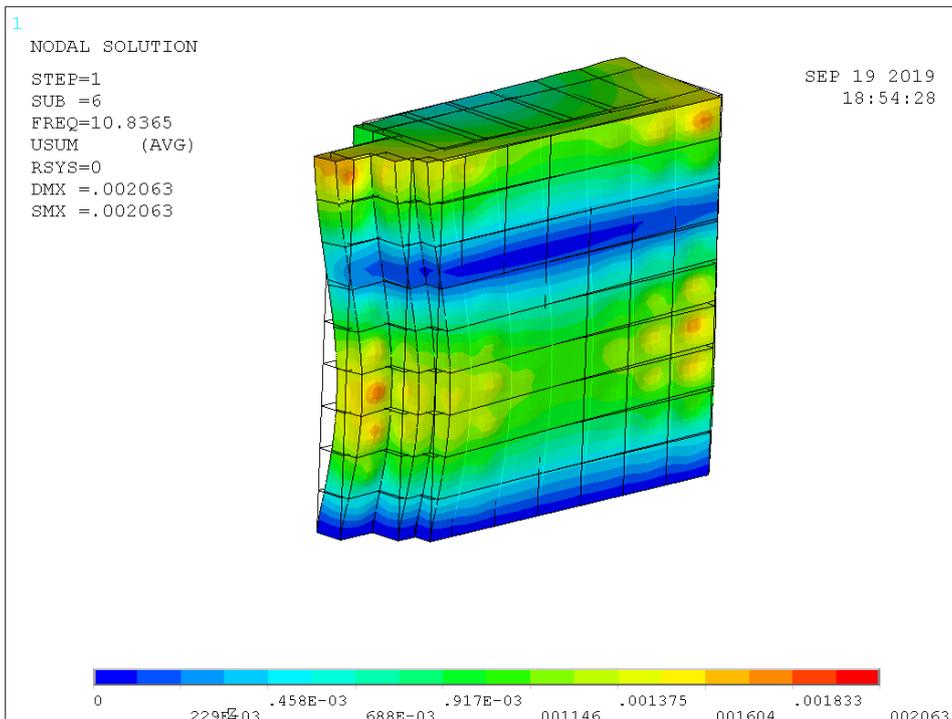


Fig. 88: 6° Modo F.E.M. - Vista Ovest

Risulta evidente grazie ad un primo confronto tra il valore di frequenza associato alle prime due forme modali e quello relativo alle misure sperimentali ottenute tramite l'indagine SSR, per entrambe le orientazioni (N-S ed E-W), che vi è una quasi perfetta convergenza tra di essi, come riportato in tabella 7.

Modo n.	TROMINO Frequenza [Hz]	ANALISI MODALE Frequenza [Hz]	Δi [%]
1	2,5	2,53	-1.18
2	3,05	2,99	-2.00

Tab. 13: Confronto risultati sperimentali e modali

10. CONCLUSIONI

Lo studio effettuato per la redazione di questa tesi, ha riguardato la caratterizzazione dinamica sperimentale di un edificio utilizzato come Residenza universitaria, ubicato nel centro urbano di Catania e del relativo sottosuolo.

Sono state eseguite indagini geofisiche tra le quali indagini geoelettriche in configurazione tomografica 3D, indagini MASW, registrazioni di rumore ambientale elaborate utilizzando la tecnica HVSR per il terreno ed SSR per l'edificio. Inoltre, integrando i dati ottenuti dalle registrazioni HVSR eseguite all'esterno dell'edificio e quelli derivanti dalle indagini MASW, sono state ricostruite le sezioni a contrasto di impedenza.

Ciò è stato utile per aumentare le informazioni disponibili riguardo le caratteristiche del terreno in termini di velocità delle onde superficiali (MASW), resistività elettrica dei materiali (ERT) oltre a calcolare le frequenze di risonanza del terreno e della struttura studiata.

A completamento di tale studio multidisciplinare, è stato risolto il problema agli autovalori-autovettori per la sovrastruttura. Ciò ha permesso di ottenere i valori di frequenza e le forme modali dell'edificio preso in esame, grazie all'ausilio di modelli numerici (i.e. modelli FE). Il fine ultimo è stato quello di validare, seppur con alcune ipotesi semplificative, i valori ottenuti sperimentalmente.

Il basso errore residuo (in termini di frequenza) fra valori sperimentali e previsioni numeriche a seguito della calibrazione del modello FE, permette di poter affermare che la natura speditiva di tali metodologie non compromette la bontà dei risultati rispetto ad analisi più dispendiose.

Tali misure possono fornire dei dati utili per l'implementazione di procedure di calcolo e analisi, al fine di caratterizzare il comportamento dinamico delle strutture sotto l'azione sismica, tenendo conto della risposta del terreno.

Si fa presente quindi che, lo studio combinato del terreno e della struttura, in termini di interazione, deve essere attenzionato maggiormente nella sua unicità e non analizzato separatamente in due chiavi di lettura diversa. Ciò che concerne il terreno, visto in termini di risposta sismica e scuotimento atteso, corrisponde alla pericolosità e non deve essere analizzato separatamente dalla risposta in termini di danno alla struttura, che influenza la stima della vulnerabilità.

Questo tipo di studio risulta essere quindi soddisfacente, per valutare in maniera speditiva la possibilità che si verifichino fenomeni di doppia risonanza, dati dalla coincidenza delle frequenze di vibrazione del suolo e della struttura, che in caso di sisma tendono ad amplificare notevolmente le sollecitazioni sulla struttura stessa.

I risultati ottenuti dallo studio del terreno, in termini di valori di frequenza di risonanza (individuabili dagli eventuali picchi presenti negli spettri H/V) suggeriscono che il sito risulta essere stabile nel range di frequenza ingegneristico (1-10 Hz). Esso non presenta infatti valori significativi di ampiezza del rapporto spettrale H/V per nessuna delle frequenze incluse in tale range, questo suggerisce l'assenza nel sottosuolo di contrasti d'impedenza riconducibili alla natura stratigrafica del sito stesso. I picchi presenti negli spettri interessano le alte frequenze (>15 Hz) e sono quindi riconducibili a una porzione estremamente superficiale del terreno.

Come è noto, in caso di sisma, la frequenza di risonanza del terreno, in seguito al danneggiamento dovuto al carico sismico, è soggetta a variazione e potrebbe convergere verso valori di frequenza più bassi, raggiungendo, se si prende ad esempio il caso in esame, il range di interesse ingegneristico. All'estremo superiore di suddetto range si collocano i modi ad alta frequenza della struttura studiata.

Una eventuale riduzione delle rigidità del suolo in affioramento, accompagnata da una stabilità meccanica della sovrastruttura (e ciò non è da escludere in caso di scongiurata amplificazione globale dell'edificio), potrebbe comportare un avvicinamento dei picchi in frequenza negli spettri sia dell'edificio che del terreno su cui è fondato. In tale situazione le alte frequenze dell'edificio, associate a movimenti prevalentemente locali, entrerebbero in risonanza con l'oscillazione del terreno, determinando potenzialmente danneggiamenti locali soprattutto di componenti non strutturali (e.g. pannelli in muratura). Tale ipotesi, è tuttavia, quasi certamente da escludere, dato che potrebbe verificarsi solo nel caso di forti terremoti ($M > 5$ scala Richter), e in presenza di terreni costituiti da materiale deformabile (e.g. sabbia, argille), tale condizione non è presente nel sito in esame in quanto esso è costituito da un sottosuolo di natura lavica.

Si può quindi affermare che nel caso in cui si verifichi un evento sismico la struttura esaminata manterrà, in prima approssimazione, una stabilità globale, in quanto dalle indagini effettuate è possibile scongiurare l'ipotesi che si verifichino fenomeni di risonanza suolo-struttura, tuttavia non si esclude con assoluta certezza, che possano verificarsi meccanismi di collasso localizzato.

BIBLIOGRAFIA

- Achenbach, J.D. 1999. *Wave Propagation in Elastic Solids*. North-Holland, Amsterdam, Netherlands
- Albarello, D., & Lunedei, E. (2013). Combining horizontal ambient vibration components for H/V spectral ratio estimates. *Geophysical Journal International*, 194(2), 936-951.
- Aki, K., & Richards, P. (1980). *Quantitative Seismology: Theory and Methods*. 1a. ed. *San Francisco (EEUU): Freeman and Company*, 1, 557.
- Archie, G. E. (1942). The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Transactions of the AIME*, 146(01), 54-62.
- Bonnefoy-Claudet, S. (2004). *Nature du bruit de fond sismique: implications pour les études des effets de site* (Doctoral dissertation, Université Joseph Fourier (Grenoble)).
- Borcherdt, R. D. (1970). Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 60(1), 29-61.
- Castellaro S., *La prova H/V in sintesi - Guida all'uso di Tromino*, 2010.
- Cole Jr, H. A. (1973). On-line failure detection and damping measurement of aerospace structures by random decrement signatures.
- C. C. J. M. Bonnefoy-Claudet S., «Simulation of Seismic ambient vibrations: I. H/V and array techniques on canonical models,» 13th world conference in Earthquake Engineering,, p. 1120, 2004.
- Dal Moro, G. (2012). *Onde di superficie in geofisica applicata: acquisizione e analisi di dati secondo tecniche MASW e HVSR*. Flaccovio.
- Dunand, F., Bard, P. Y., Chatelain, J. L., Guéguen, P., Vassail, T., & Farsi, M. N. (2002). Damping and frequency from randomdec method applied to in situ measurements of ambient vibrations. Evidence for effective soil structure interaction, 12th ECEE, ID Paper, 869.

- Grimaz S., Barazza F., Malisan P. (2011). Misure all'interno degli edifici
In: a cura di M. Mucciarelli, "Tecniche speditive per la stima
dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici-Studi
teorici ed applicazioni professionali", Aracne, ROMA ISBN: 978-
88-548-4495-7, doi: 10.4399/9788854844957, p. 195-209.
- Ibs-von Seht, M., & Wohlenberg, J. (1999). Microtremor measurements
used to map thickness of soft sediments. *Bulletin of the
Seismological Society of America*, 89(1), 250-259.
- Konno, K., & Ohmachi, T. (1998). Ground-motion characteristics
estimated from spectral ratio between horizontal and vertical
components of microtremor. *Bulletin of the Seismological
Society of America*, 88(1), 228-241.
- Kudo, K. (1995). Practical Estimates of Site Response State of Art
Report. In *Proc. 5th International Conf. Seismic Zonation, 1995*.
- Malischewsky, P. G., & Scherbaum, F. (2004). Love's formula and H/V-
ratio (ellipticity) of Rayleigh waves. *Wave motion*, 40(1), 57-67
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation
of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway
Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1).
- N. T. C.(2018). Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni
(No. 8). decreto 17-1-2018, Gazzetta Ufficiale 42, 20-02-2018,
Ordinary Suppl
- .Richart, F. E., Hall, J. R., & Woods, R. D. (1970). Vibrations of soils and
foundations
- Roy, N., & Jakka, R. S. (2017). Near-field effects on site characterization
using MASW technique. *Soil Dynamics and Earthquake
Engineering*, 97, 289-303.
- Stephenson, W. R. (2003, February). Factors bounding prograde
Rayleigh-wave particle motion in a soft-soil layer. In *Proceedings
of the 2003 pacific conference on earthquake engineering* (Vol. 13,
p. 15). New Zealand Soc. of Earthquake Engineering.
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of
surface waves. *Geophysics*, 64(3), 800-808
- Rayleigh, L. (1885). On waves propagated along the plane surface of
anelastic solid. *Proceedings of the London Mathematical
Society*, 1(1), 4-11

SESAME European project (2003) Nature of noise wavefield. Final Report
WP08. http://sesamefp5.obs.ujfgrenoble.fr/Delivrables/D13.08_finalreport.pdf

SESAME European project (2005) Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation. WP12. Deliverable D23.12

Stokoe, K. H., & Santamarina, J. C. (2000, November). Seismic-wave-based testing in geotechnical engineering. In *ISRM International Symposium*. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering

Ringraziamenti

In primo luogo è necessario menzionare il relatore di questo lavoro di tesi, il Prof. R. Ceravolo, grazie al quale ho potuto approfondire un aspetto della ricerca di mio grande interesse e al tempo stesso cimentarmi in un ambito a me poco conosciuto, favorendo la mia crescita dal punto di vista sia professionale che umano. Desidero inoltre ringraziare il correlatore, Dott. Ing. G. Miraglia, che mi ha fornito indicazioni e correzioni preziose senza le quali questo lavoro non avrebbe potuto vedere la luce, sperando che sia solo il primo di tanti lavori insieme, e tutti i ragazzi del team del Laboratorio di Dinamica e Strutture del Politecnico di Torino.

Al tempo stesso, desidero ringraziare coloro che mi hanno aiutato nella parte sperimentale di tale lavoro, per la grande disponibilità dimostrata e per le utili discussioni. In particolare, ringrazio la Dr.ssa Geol. S. Grassi e il Dott. Geol. G. Patti, rispettivamente Assegnista e Borsista di Ricerca, del Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali dell'Università di Catania per avermi messo a disposizione la strumentazione, in dotazione al Laboratorio di Geofisica Applicata.

Sono grato al Dott. Geol. F. Fazio, Dott. Geol. G. Rannisi (Geodixi), all'Ing. M. Licitra ed al Dott. Geol. M. Corrao, (Geocheck. S.r.l.) per la loro grande competenza, professionalità e passione nel loro campo grazie alle quali ho migliorato le mie conoscenze, aumentando il bagaglio culturale che mi porterò nel mondo lavorativo.

Un ringraziamento agli amici che sono rimasti giù o sparsi per l'Italia, che mi hanno sostenuto a distanza con il loro affetto e coloro che ho conosciuto qui a Torino, diventando parte integrante della mia vita da fuorisede.

Grazie ai colleghi con cui ho condiviso le difficoltà e ansie degli esami incontrate in questi anni. Dai momenti più duri, sono nate splendide amicizie che mi porterò per sempre dietro.

In particolare, come promesso tante volte, ringrazio il Dott. Ing. M. Aimar, che mi ha facilitato lo studio di materie ben parecchio complesse con il suo supporto morale e didattico, con la speranza che sia il presupposto per una futura collaborazione professionale.

Non posso non ringraziare la Squadra Corse Ciclofficina Artigiana, il suo deus ex machina nonché amico fraterno Giorgio Fox, che mi ha permesso lungo il mio percorso qui a Torino di crescere come individuo con i valori dello sport e del ciclismo in particolare quali tenacia e determinazione. Un ringraziamento quindi a tutti i membri della squadra e compagni di pedalate che con la passione che ci accumuna hanno fatto sì che collezionassi momenti indimenticabili sulle due ruote, accendendo una passione dentro di me che mi rimarrà per tutta la vita.

Ringrazio quindi tutti coloro che hanno contribuito a rendere più piacevole questo percorso di studi, confortandomi quando ne avevo bisogno e che, per motivi di spazio, non posso citare personalmente.

Ringrazio infine la mia famiglia, mio padre, mia madre, mio fratello, le mie zie Ninni e Giovanna, che mi hanno supportato nei momenti difficili e gioito durante le vittorie. Ci sarebbero moltissime parole in merito da scrivere, ma entrambi sappiamo ogni singolo sacrificio che mi ha permesso di giungere a scrivere queste righe con non poca commozione, quindi semplicemente dedico a voi questo mio traguardo.

ALLEGATI

Allegato n°1

Log File codice di calcolo agli Elementi Finiti

FINISH

/CLEAR

/AUX15

IOPTN,IGES,SMOOTH

IOPTN,MERGE,YES

IOPTN,SOLID,NO

IOPTN,SMALL,NO

IOPTN,GTOLER, DEFA

IGESIN,'paretiscala','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\gia
como_model\iges'

!*

KSEL,NONE

LSEL,NONE

CM,paretiscala,AREA

ASEL,NONE

CMSEL,NONE

/AUX15

IOPTN,IGES,SMOOTH

IOPTN,MERGE,YES

IOPTN,SOLID,NO

```
IOPTN,SMALL,NO
IOPTN,GTOLER, DEFA
IGESIN,'paretitorre','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\gia
como_model\iges'
!*
KSEL,NONE
LSEL,NONE
CM,paretitorre,AREA
ASEL,NONE
CMSEL,NONE

/AUX15
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,NO
IOPTN,SMALL,NO
IOPTN,GTOLER, DEFA
IGESIN,'pila1','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacomo_m
odel\iges'
!*
CM,pila1,LINE
KSEL,NONE
LSEL,NONE
ASEL,NONE
CMSEL,NONE

/AUX15
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,NO
IOPTN,SMALL,NO
```

```
IOPTN,GTOLER, DEFA
IGESIN,'pila2','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacomo_m
odel\iges'
!*
CM,pila2,LINE
KSEL,NONE
LSEL,NONE
ASEL,NONE
CMSEL,NONE

/AUX15
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,NO
IOPTN,SMALL,NO
IOPTN,GTOLER, DEFA
IGESIN,'pila3','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacomo_m
odel\iges'
!*
CM,pila3,LINE
KSEL,NONE
LSEL,NONE
ASEL,NONE
CMSEL,NONE

/AUX15
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,NO
IOPTN,SMALL,NO
IOPTN,GTOLER, DEFA
```

```
IGESIN,'pila4','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacomo_
odel\iges'
```

```
!*
```

```
CM,pila4,LINE
```

```
KSEL,NONE
```

```
LSEL,NONE
```

```
ASEL,NONE
```

```
CMSEL,NONE
```

```
/AUX15
```

```
IOPTN,IGES,SMOOTH
```

```
IOPTN,MERGE,YES
```

```
IOPTN,SOLID,NO
```

```
IOPTN,SMALL,NO
```

```
IOPTN,GTOLER, DEFA
```

```
IGESIN,'pila56','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacomo_
model\iges'
```

```
!*
```

```
CM,pila56,LINE
```

```
KSEL,NONE
```

```
LSEL,NONE
```

```
ASEL,NONE
```

```
CMSEL,NONE
```

```
/AUX15
```

```
IOPTN,IGES,SMOOTH
```

```
IOPTN,MERGE,YES
```

```
IOPTN,SOLID,NO
```

```
IOPTN,SMALL,NO
```

```
IOPTN,GTOLER, DEFA
```

```
IGESIN,'pilb1','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacomo_m  
odel\iges'
```

```
!*
```

```
CM,pilb1,LINE
```

```
KSEL,NONE
```

```
LSEL,NONE
```

```
ASEL,NONE
```

```
CMSEL,NONE
```

```
/AUX15
```

```
IOPTN,IGES,SMOOTH
```

```
IOPTN,MERGE,YES
```

```
IOPTN,SOLID,NO
```

```
IOPTN,SMALL,NO
```

```
IOPTN,GTOLER, DEFA
```

```
IGESIN,'pilb2','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacomo_m  
odel\iges'
```

```
!*
```

```
CM,pilb2,LINE
```

```
KSEL,NONE
```

```
LSEL,NONE
```

```
ASEL,NONE
```

```
CMSEL,NONE
```

```
/AUX15
```

```
IOPTN,IGES,SMOOTH
```

```
IOPTN,MERGE,YES
```

```
IOPTN,SOLID,NO
```

```
IOPTN,SMALL,NO
```

```
IOPTN,GTOLER, DEFA
```

```
IGESIN,'pilb34','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacomo_
model\iges'
```

```
!*
```

```
CM,pilb34,LINE
```

```
KSEL,NONE
```

```
LSEL,NONE
```

```
ASEL,NONE
```

```
CMSEL,NONE
```

```
/AUX15
```

```
IOPTN,IGES,SMOOTH
```

```
IOPTN,MERGE,YES
```

```
IOPTN,SOLID,NO
```

```
IOPTN,SMALL,NO
```

```
IOPTN,GTOLER, DEFA
```

```
IGESIN,'pilb56','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacomo_
model\iges'
```

```
!*
```

```
CM,pilb56,LINE
```

```
KSEL,NONE
```

```
LSEL,NONE
```

```
ASEL,NONE
```

```
CMSEL,NONE
```

```
/AUX15
```

```
IOPTN,IGES,SMOOTH
```

```
IOPTN,MERGE,YES
```

```
IOPTN,SOLID,NO
```

```
IOPTN,SMALL,NO
```

```
IOPTN,GTOLER, DEFA
```

```
IGESIN,'pilc','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacomo_model\iges'
```

```
!*
```

```
CM,pilc,LINE
```

```
KSEL,NONE
```

```
LSEL,NONE
```

```
ASEL,NONE
```

```
CMSEL,NONE
```

```
/AUX15
```

```
IOPTN,IGES,SMOOTH
```

```
IOPTN,MERGE,YES
```

```
IOPTN,SOLID,NO
```

```
IOPTN,SMALL,NO
```

```
IOPTN,GTOLER, DEFA
```

```
IGESIN,'solai01','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacomo_model\iges'
```

```
!*
```

```
KSEL,NONE
```

```
LSEL,NONE
```

```
CM,solai01,AREA
```

```
ASEL,NONE
```

```
CMSEL,NONE
```

```
/AUX15
```

```
IOPTN,IGES,SMOOTH
```

```
IOPTN,MERGE,YES
```

```
IOPTN,SOLID,NO
```

```
IOPTN,SMALL,NO
```

```
IOPTN,GTOLER, DEFA
```

```
IGESIN,'solaio11','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacom  
o_model\iges'
```

```
!*
```

```
KSEL,NONE
```

```
LSEL,NONE
```

```
CM,solaio11,AREA
```

```
ASEL,NONE
```

```
CMSEL,NONE
```

```
/AUX15
```

```
IOPTN,IGES,SMOOTH
```

```
IOPTN,MERGE,YES
```

```
IOPTN,SOLID,NO
```

```
IOPTN,SMALL,NO
```

```
IOPTN,GTOLER, DEFA
```

```
IGESIN,'solaio12','iges','C:\Users\gaeta\Desktop\giacom  
o_model\iges'
```

```
!*
```

```
KSEL,NONE
```

```
LSEL,NONE
```

```
CM,solaio12,AREA
```

```
ASEL,NONE
```

```
CMSEL,NONE
```

```
ALLSEL,ALL
```

```
FINISH
```

```
! definition of variables
```

```
Kspring = 666 ! in [N/m] da aggiornare
```

```
dimelement = 0.7
```

!pa1

B1 = 0.9

H1 = 0.4

!pa2

B2 = 0.8

H2 = 0.4

!pa3

B3 = 0.7

H3 = 0.4

!pa4

B4 = 0.6

H4 = 0.4

!pa56

B5 = 0.5

H5 = 0.4

!pb1

B6 = 0.5

H6 = 0.3

!pb2

B7 = 0.45

H7 = 0.3

!pb34

B8 = 0.4

H8 = 0.3

!pb56

B9 = 0.35

H9 = 0.3

!pc

B10 = 0.25

H10 = 0.15

Hparetitorre=0.07

Hparetiscala=Hparetitorre

Hsolaio1 = 0.138

Hsolaio11= Hsolaio1

Hsolaio12= Hsolaio1

!cls pilastri

Ee1 = 30e9

nu1 = 0.30

ro1 = 2500

!pareti

Ee2 = 4.55e9

nu2 = 0.35

ro2 = 1500

!solaio

Ee3 = 18e9

nu3 = 0.25

ro3 = 2621

/PREP7

! create elements type

ET,1,BEAM188

ET,2,SHELL181

ET,3,COMBIN14

! material properties

idmat = 1

Ee = Ee1

nu = nu1

ro = ro1

MPTEMP,,,,,,,,

MPTEMP,1,0

MPDATA,EX,idmat,,Ee

MPDATA,PRXY,idmat,,nu

MPTEMP,,,,,,,,

MPTEMP,1,0

MPDATA,DENS,idmat,,ro

idmat = 2

Ee = Ee2

nu = nu2

ro = ro2

MPTEMP,,,,,,,,

MPTEMP,1,0

MPDATA,EX,idmat,,Ee

MPDATA,PRXY,idmat,,nu

MPTEMP,,,,,,,,

MPTEMP,1,0

MPDATA,DENS,idmat,,ro

idmat = 3

Ee = Ee3

nu = nu3

ro = ro3

```

MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,idmat,,Ee
MPDATA,PRXY,idmat,,nu
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,DENS,idmat,,ro
!*

! real constant
R,1,Kspring
RMORE, ,

! sections of beam
idsec = 1
B = B1
H = H1
SECTYPE, idsec, BEAM, RECT,0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,B,H,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
!*

idsec = 2
B = B2
H = H2
SECTYPE, idsec, BEAM, RECT,0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,B,H,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
!*

idsec = 3
B = B3

```

```
H = H3
SECTYPE, idsec, BEAM, RECT,0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,B,H,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
!*
idsec = 4
B = B4
H = H4
SECTYPE, idsec, BEAM, RECT,0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,B,H,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
!*
idsec = 5
B = B5
H = H5
SECTYPE, idsec, BEAM, RECT,0
SECDATA,B,H,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
!*
idsec = 6
B = B6
H = H6
SECTYPE, idsec, BEAM, RECT,0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,B,H,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
!*
idsec = 7
B = B7
H = H7
SECTYPE, idsec, BEAM, RECT,0
SECOFFSET, CENT
```

```
SECDATA,B,H,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
```

```
!*
```

```
idsec = 8
```

```
B = B8
```

```
H = H8
```

```
SECTYPE, idsec, BEAM, RECT,0
```

```
SECOFFSET, CENT
```

```
SECDATA,B,H,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
```

```
!*
```

```
idsec = 9
```

```
B = B9
```

```
H = H9
```

```
SECTYPE, idsec, BEAM, RECT,0
```

```
SECOFFSET, CENT
```

```
SECDATA,B,H,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
```

```
!*
```

```
idsec = 10
```

```
B = B10
```

```
H = H10
```

```
SECTYPE, idsec, BEAM, RECT,0
```

```
SECDATA,B,H,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
```

```
!*
```

```
!define shells !seguono ordine cronologico e non quello  
dei layers
```

```
sect,16,shell,,paretiscalala
```

```
secdatal, hparetiscalala,2,0,3
```

```
secoffset,MID
```

```
seccontrol,,,, , , ,
```

```
sect,17,shell,,paretitorre
secdata, hparetitorre,2,0,3
secoffset,MID
secontrol,,,, , , ,
```

```
sect,18,shell,,solaio1
secdata, hsolaio1,3,0,3
secoffset,MID
secontrol,,,, , , ,
```

```
sect,19,shell,,solaio11
secdata, hsolaio11,3,0,3
secoffset,MID
secontrol,,,, , , ,
```

```
sect,20,shell,,solaio12
secdata, hsolaio12,3,0,3
secoffset,MID
secontrol,,,, , , ,
```

```
!merging
NUMMRG,KP
```

```
!* define size of mesh's element
LESIZE,ALL,dielement, , , ,1, , ,1,
```

```
!* define mesh attributes lines
```

```
CMSEL,s, pila1,line
```

LATT,1, ,1, , , ,1
ALLSEL,ALL

CMSEL,s,pila2, line
LATT,1, ,1, , , ,2
ALLSEL,ALL

CMSEL,s,pila3,line
LATT,1, ,1, , , ,3
ALLSEL,ALL

CMSEL,s,pila4,line
LATT,1, ,1, , , ,4
ALLSEL,ALL

CMSEL,s,pila56,line
LATT,1, ,1, , , ,5
ALLSEL,ALL

CMSEL,s,pilb1,line
LATT,1, ,1, , , ,6
ALLSEL,ALL

CMSEL,s,pilb2,line
LATT,1, ,1, , , ,7
ALLSEL,ALL

CMSEL,s,pilb34,line
LATT,1, ,1, , , ,8
ALLSEL,ALL

```
CMSEL,s,pilb56,line
LATT,1, ,1, , , ,9
ALLSEL,ALL
```

```
CMSEL,s,pilc,line
LATT,1, ,1, , , ,10
ALLSEL,ALL
```

```
!* mesh attributes areas
CMSEL,s,paretiscala,area
AATT, 2, , 2, 0, 16
ALLSEL,ALL
```

```
CMSEL,s,paretitorre,area
AATT, 2, , 2, 0, 17
ALLSEL,ALL
```

```
CMSEL,s,solaio1,area
AATT, 3, , 2, 0, 18
ALLSEL,ALL
```

```
CMSEL,s,solaio11,area
AATT, 3, , 2, 0, 19
ALLSEL,ALL
```

```
CMSEL,s,solaio12,area
AATT, 3, , 2, 0, 20
ALLSEL,ALL
```

```
!meshing all areas  
AMESH,ALL
```

```
! meshing all lines
```

```
ALLSEL,ALL
```

```
CMSEL,S,PILA1
```

```
CMSEL,A,PILA2
```

```
CMSEL,A,PILA3
```

```
CMSEL,A,PILA4
```

```
CMSEL,A,PILA56
```

```
CMSEL,A,PILB1
```

```
CMSEL,A,PILB2
```

```
CMSEL,A,PILB34
```

```
CMSEL,A,PILB56
```

```
CMSEL,A,PILC
```

```
!*
```

```
FLST,5,9,4,ORDE,9
```

```
FITEM,5,14
```

```
FITEM,5,34
```

```
FITEM,5,38
```

```
FITEM,5,54
```

```
FITEM,5,130
```

```
FITEM,5,158
```

```
FITEM,5,178
```

```
FITEM,5,226
```

```
FITEM,5,242
```

```
LSEL,U, , ,P51X
```

```
!*
```

```
LMESH,ALL
```

```

ALLSEL,ALL

! merging nodes
! NUMMRG,NODE

! define constraints
ALLSEL,ALL
NSEL,S,LOC,z,-dimelement/2,dimelement/2
D,ALL, , , , , ,ALL, , , , ,
ALLSEL,ALL

!define inertia
ACEL,0,0,9.81

!ANALISI MODALE
/SOL
!*
ANTYPE,2
!*
MODOPT,LANB,20
EQSLV,SPAR
MXPAND,20, , ,0
LUMPM,0
PSTRES,0
!*
MODOPT,LANB,20,0,0, ,OFF
/STATUS,SOLU
SOLVE
!vedi deformazioni
/POST1

```

```
SET, LAST
SET, LIST, 999
SET, , , , , 20
!*
/EFACET, 1
PLNSOL, U, SUM, 0, 1.0
```

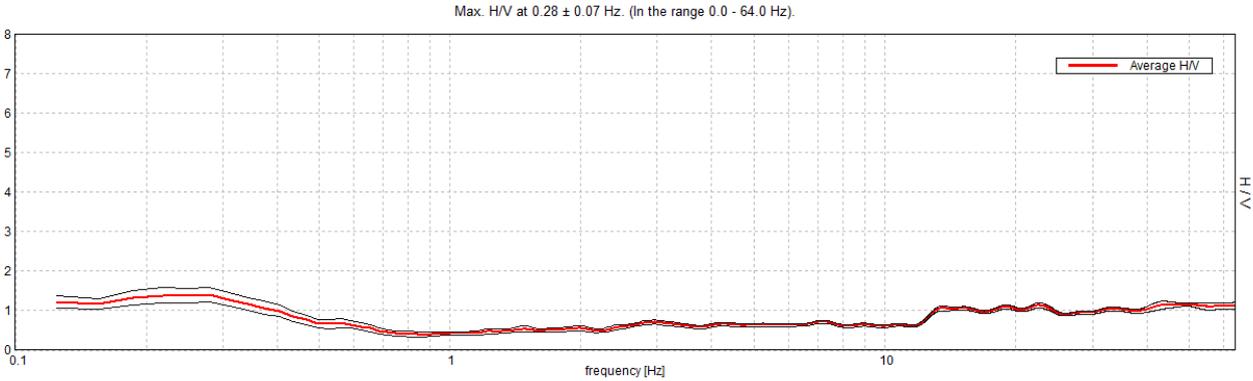
ALLEGATI
REPORT TROMINO

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 1A

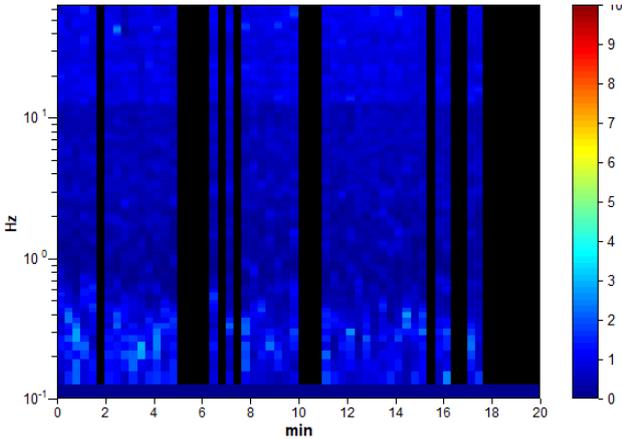
Instrument: TRZ-0124/01-11
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 08:36:13 End recording: 04/01/19 08:56:13
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 67% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

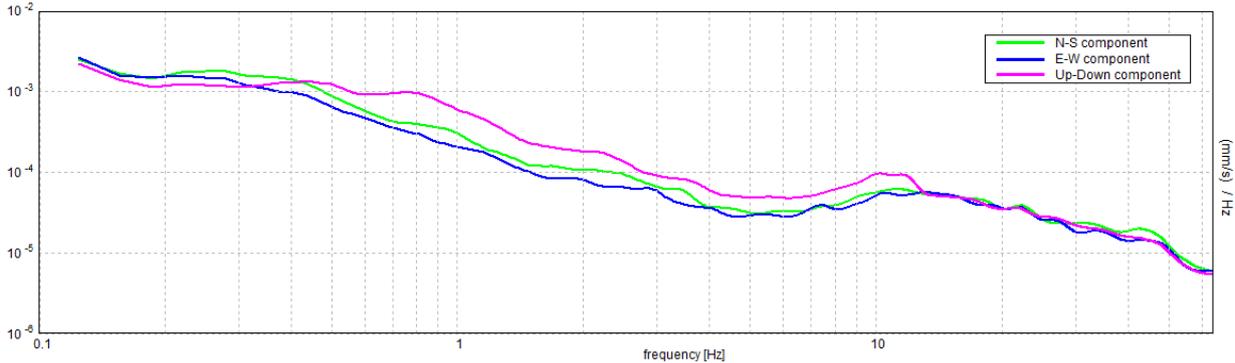
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 0.28 ± 0.07 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.28 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$225.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 14 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.5 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.41 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.2588 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.07279 < 0.05625$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1789 < 2.5$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

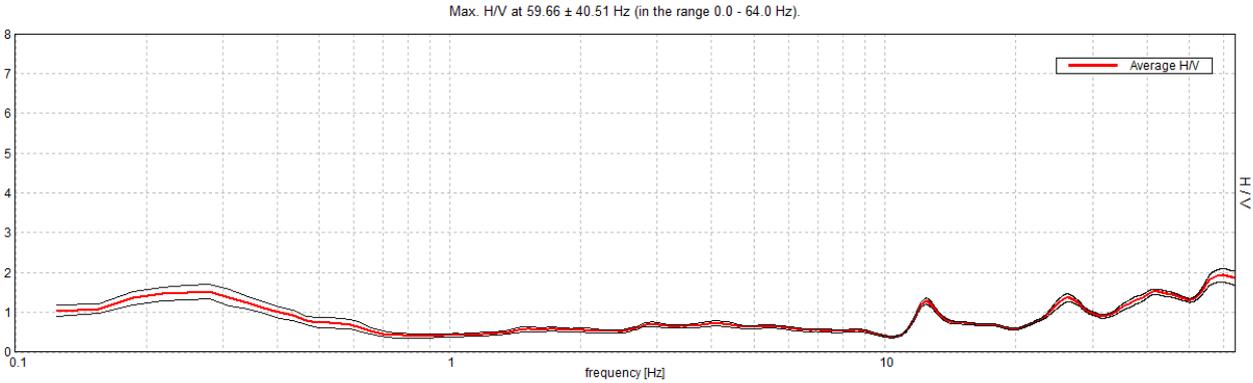
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 1B

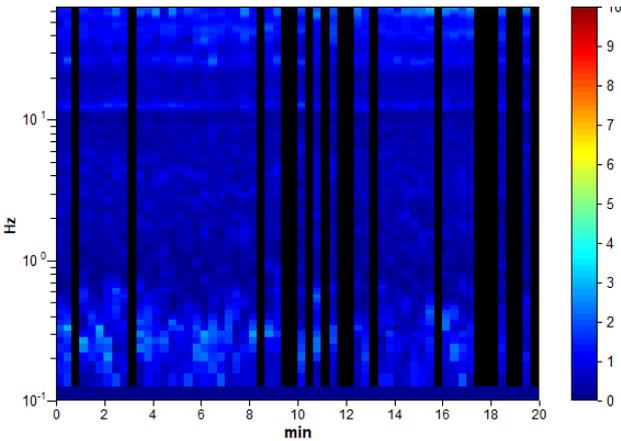
Instrument: TEP-0206/01-12
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 08:35:26 End recording: 04/01/19 08:55:26
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 72% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

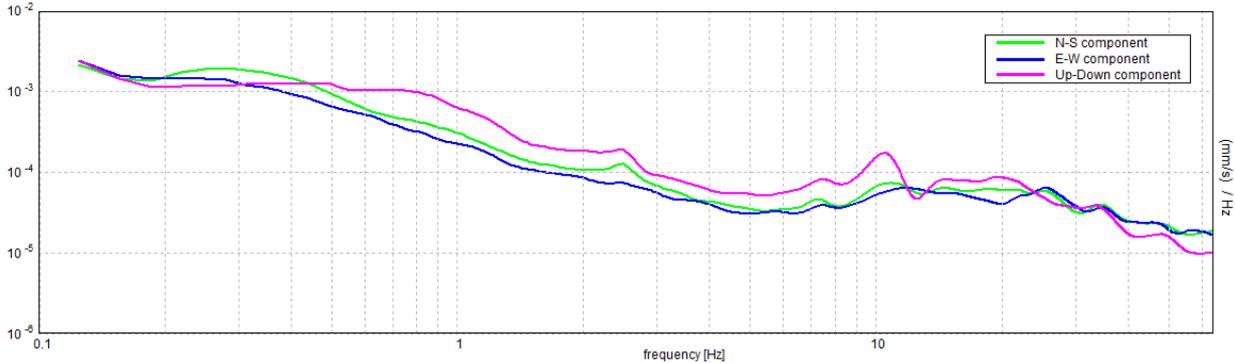
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 59.66 ± 40.51 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	59.66 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	51304.4 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1094 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	33.438 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	1.93 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.67902 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	40.50755 < 2.98281		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1694 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

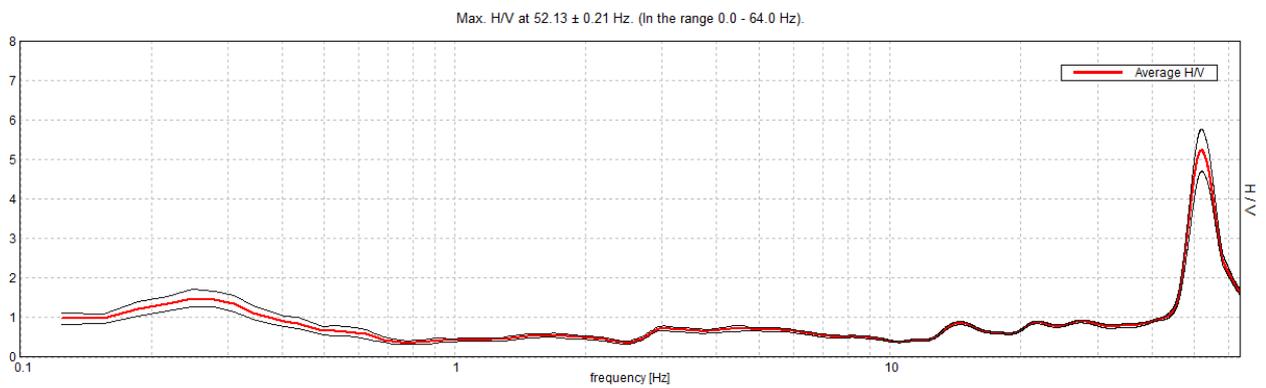
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 1C

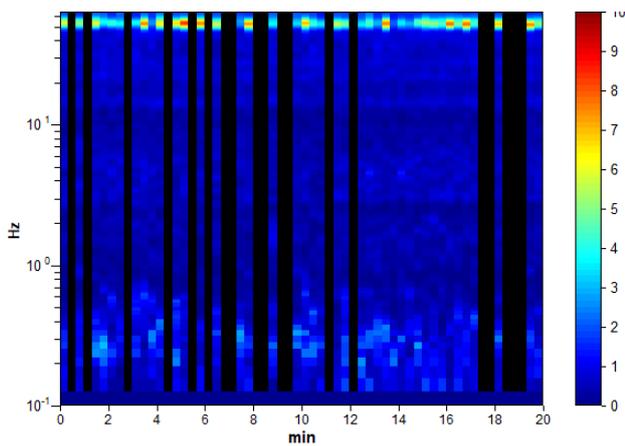
Instrument: TRZ-0024/01-09
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 08:33:36 End recording: 04/01/19 08:53:36
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 68% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

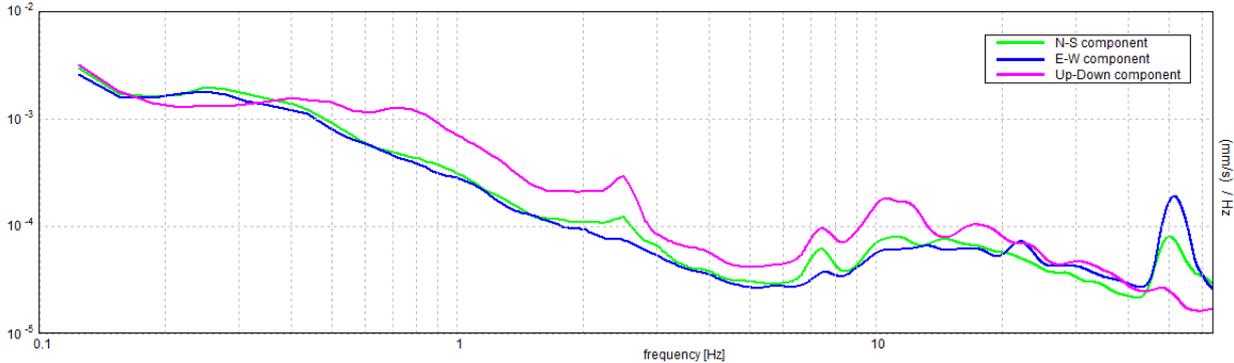
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 52.13 ± 0.21 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$52.13 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$42742.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1215 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	47.719 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	57.844 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$5.23 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00409 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.21329 < 2.60625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5288 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 2A

Instrument: TEP-0206/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 04/01/19 09:31:14 End recording: 04/01/19 09:51:14

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 60% trace (manual window selection)

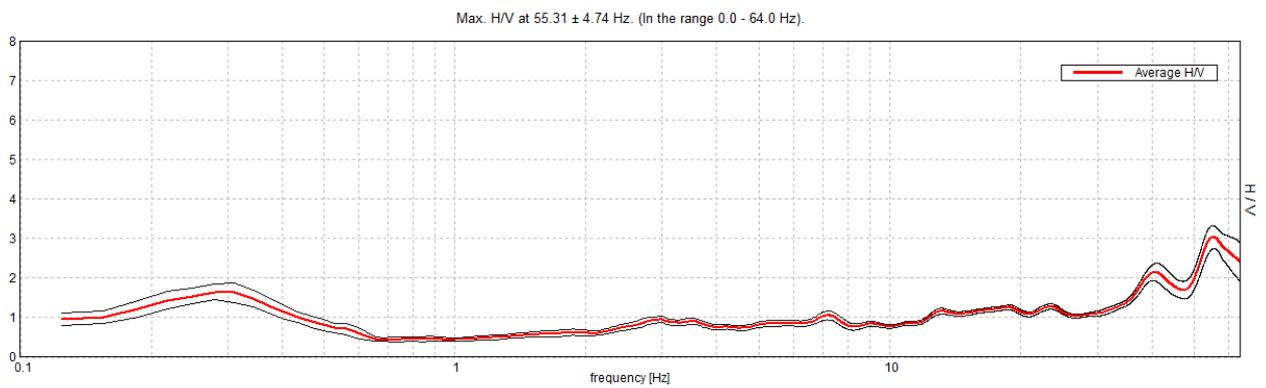
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

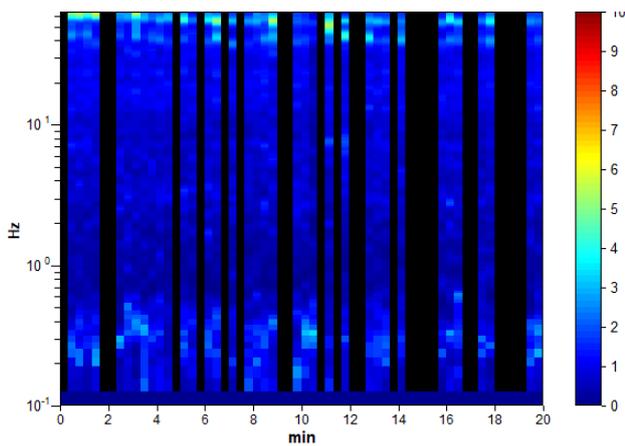
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

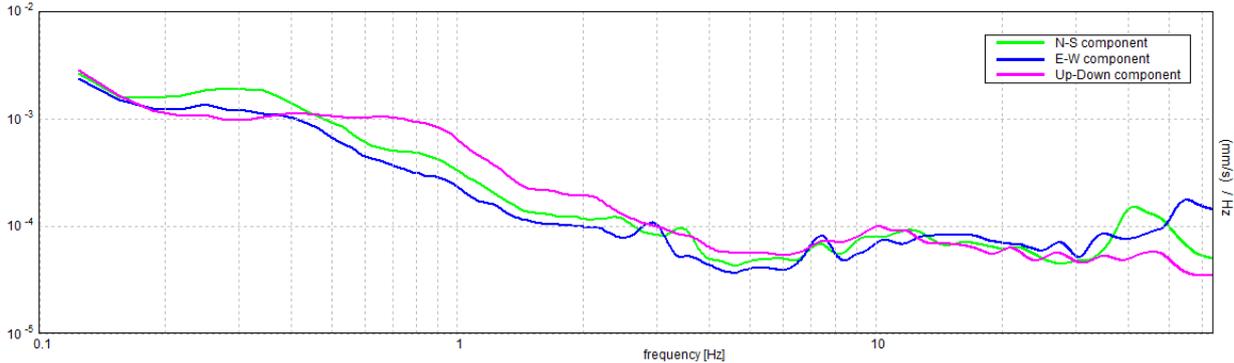
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 55.31 ± 4.74 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	55.31 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	39825.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1164 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	36.156 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.03 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.08571 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	4.74072 < 2.76563		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2898 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. 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	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 2B

Instrument: TEP-0206/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 04/01/19 09:04:40 End recording: 04/01/19 09:24:40

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 60% trace (manual window selection)

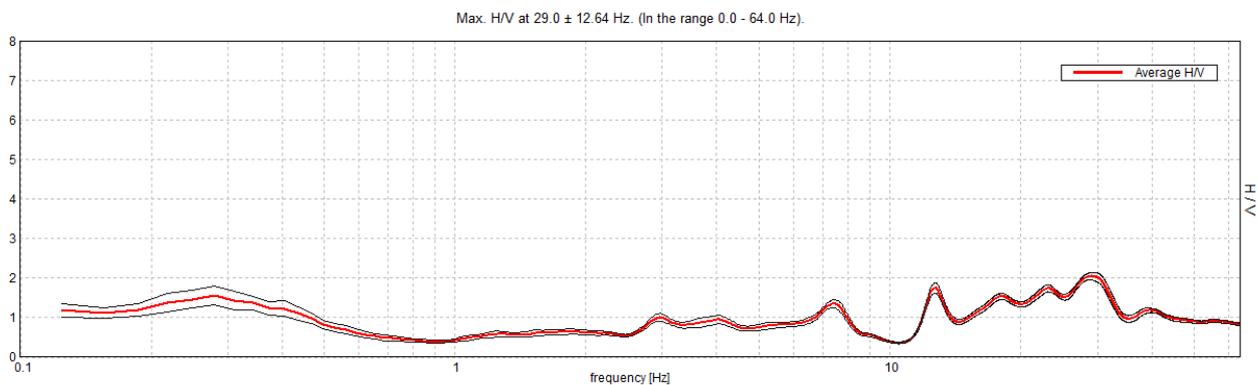
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

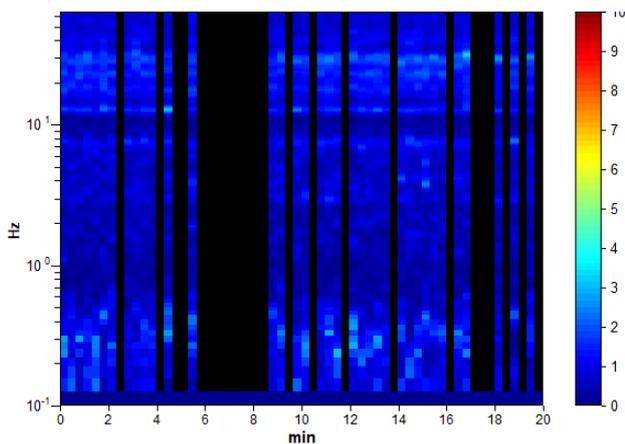
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

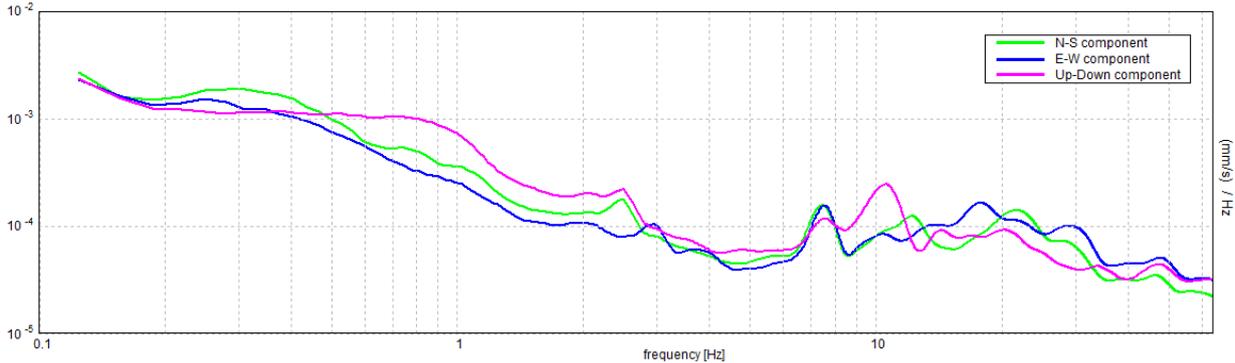
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 29.0 ± 12.64 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	29.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	20880.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1393 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	15.313 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	34.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.05 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.43595 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	12.64268 < 1.45		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.0942 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

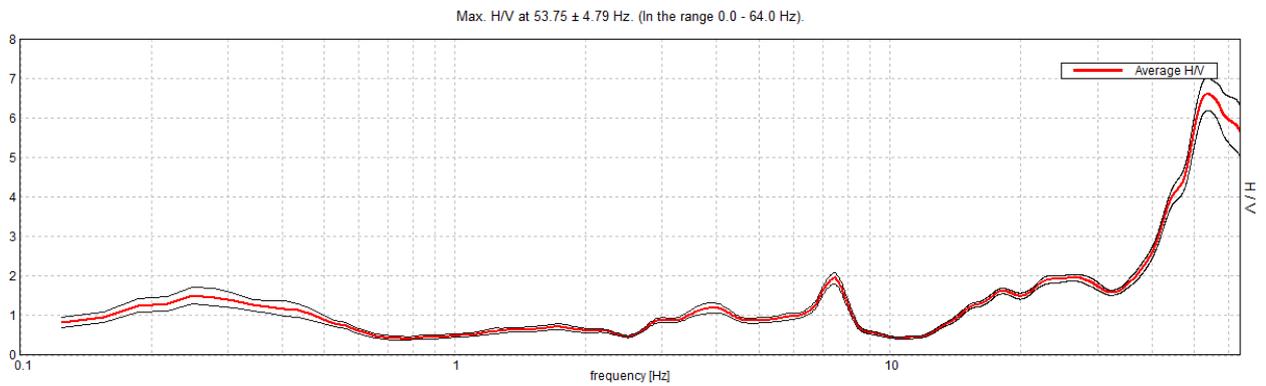
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 2C

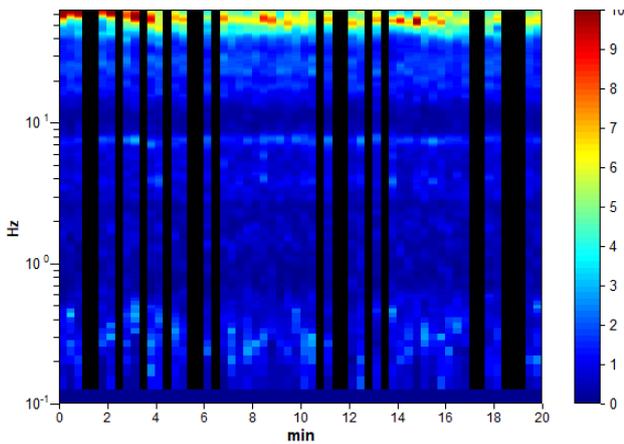
Instrument: TRZ-0073/01-10
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 09:05:44 End recording: 04/01/19 09:25:44
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 70% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

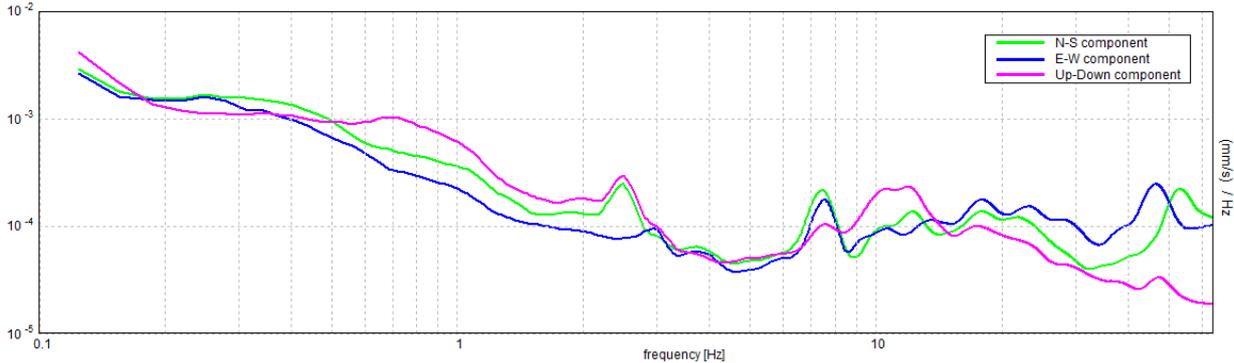
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 53.75 ± 4.79 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	53.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	45150.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1189 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	42.281 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	6.60 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0891 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	4.78912 < 2.6875		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4057 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

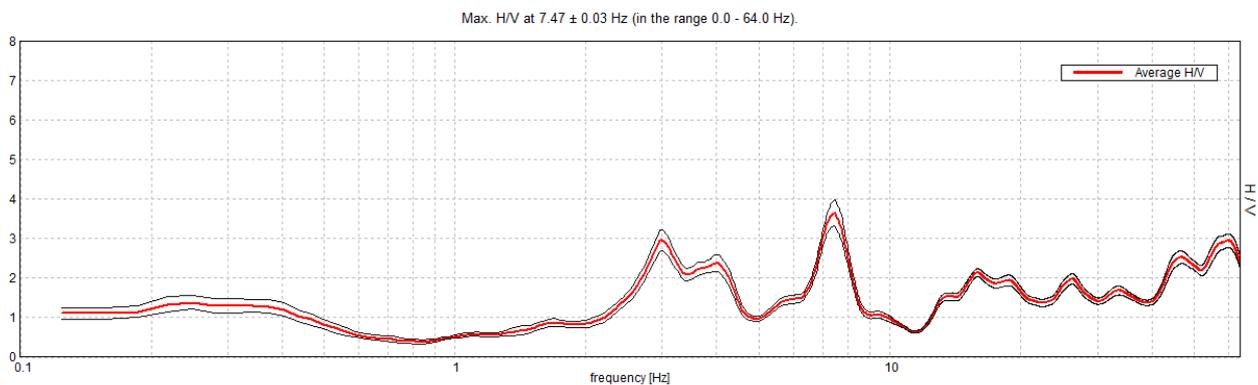
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 3A

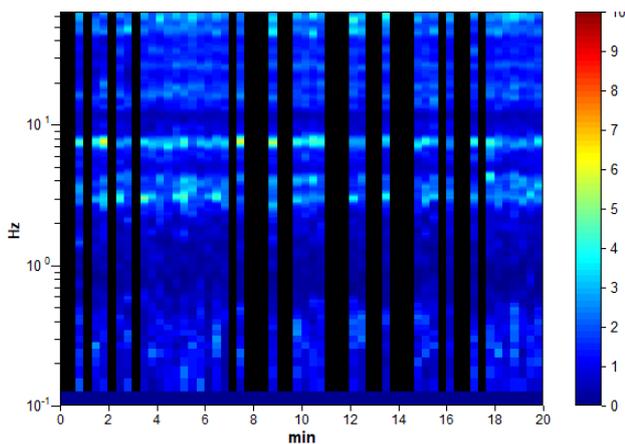
Instrument: TRZ-0024/01-09
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 09:50:53 End recording: 04/01/19 10:10:53
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 62% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

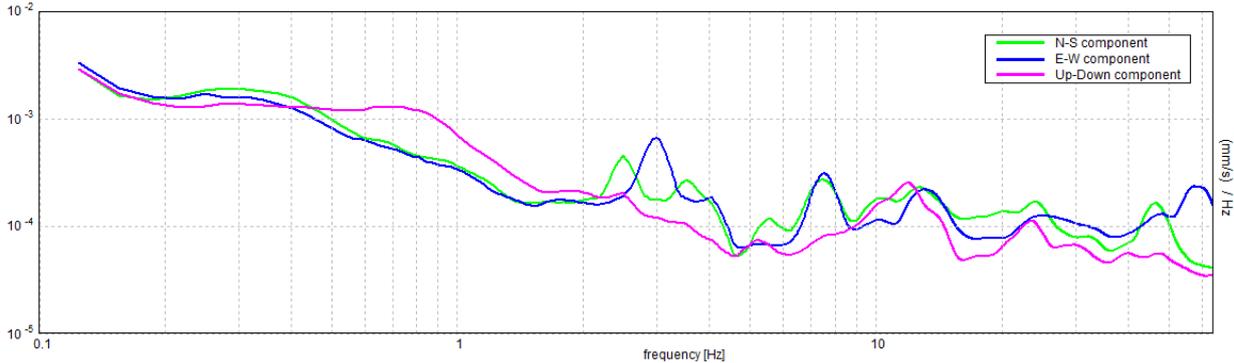
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 7.47 ± 0.03 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$7.47 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5526.9 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 360 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.531 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.63 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00446 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03329 < 0.37344$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3293 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 3B

Instrument: TEP-0206/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 04/01/19 09:56:15 End recording: 04/01/19 10:16:15

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 53% trace (manual window selection)

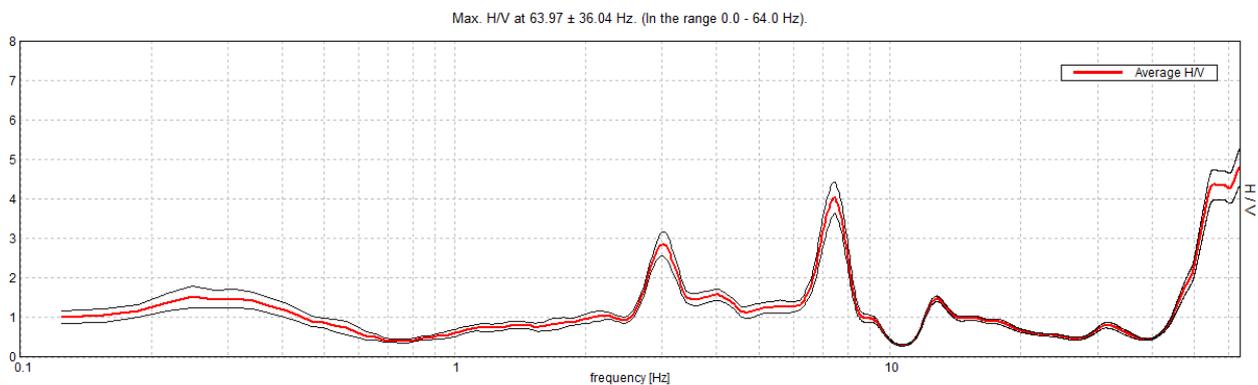
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

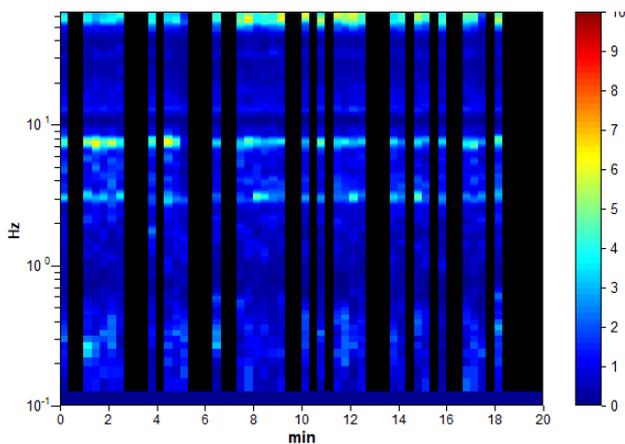
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

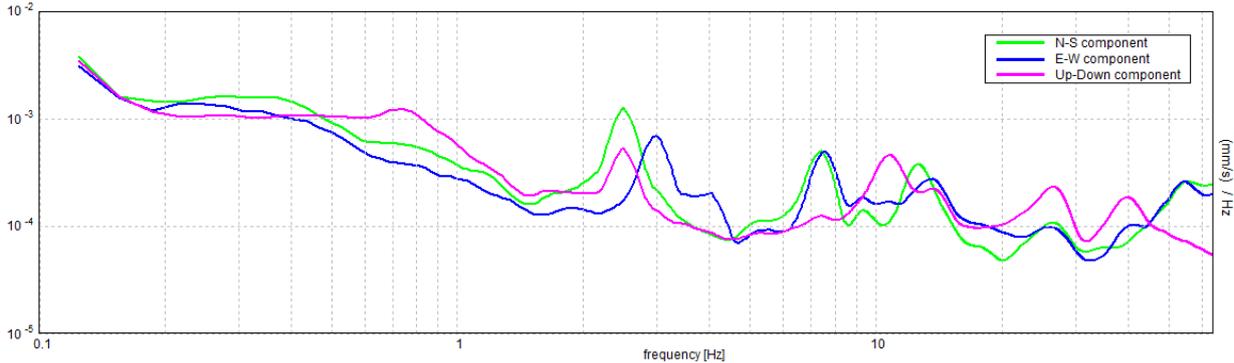
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 63.97 ± 36.04 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	63.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	40940.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1026 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	50.313 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	4.83 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.56337 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	36.03787 < 3.19844		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4851 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. 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	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 3C

Instrument: TEN-0012/01-07

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 04/01/19 09:57:37 End recording: 04/01/19 10:17:38

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 52% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

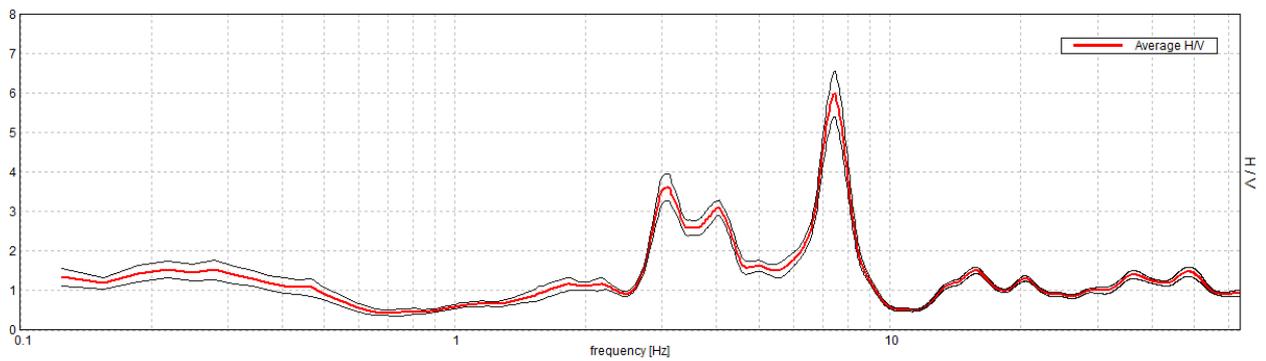
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

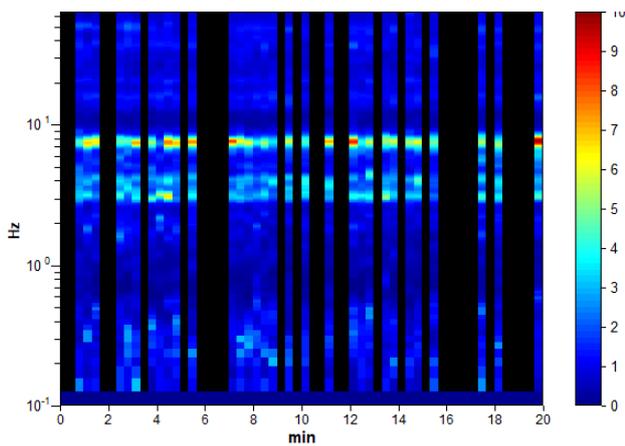
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

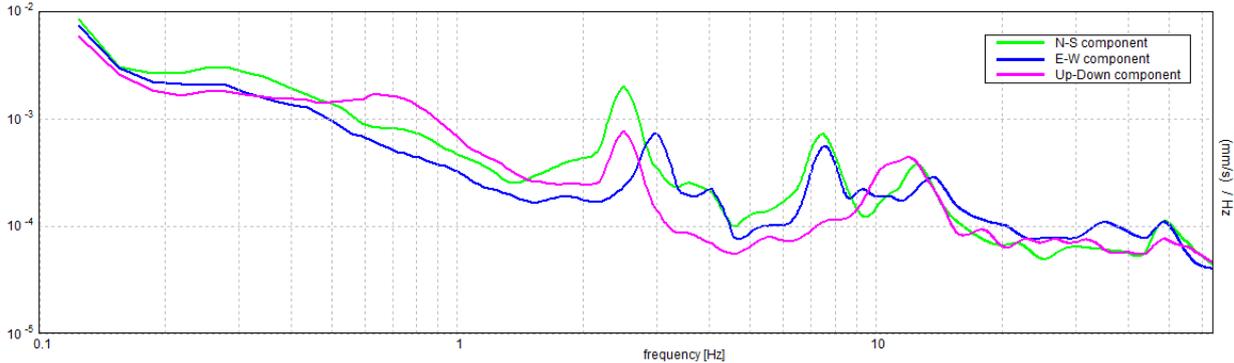
Max. H/V at 7.47 ± 0.03 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 7.47 ± 0.03 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$7.47 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4630.6 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 360 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.719 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.219 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$5.97 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00352 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02633 < 0.37344$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5816 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

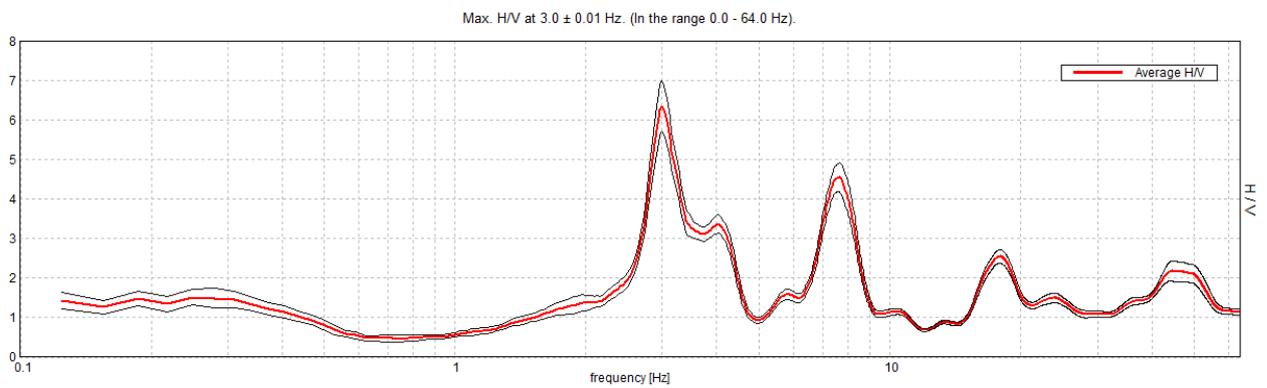
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 4A

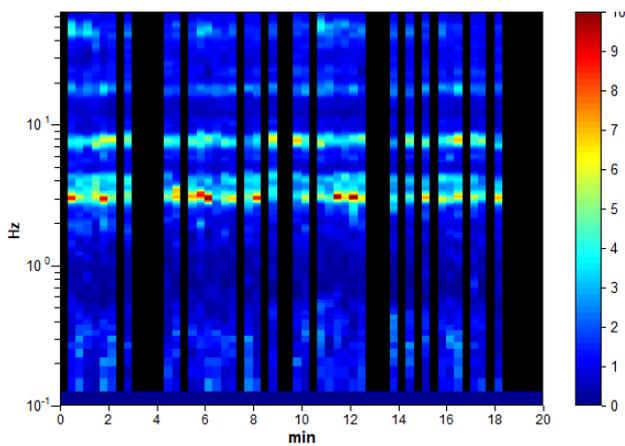
Instrument: TRZ-0024/01-09
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 10:21:47 End recording: 04/01/19 10:41:47
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 58% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

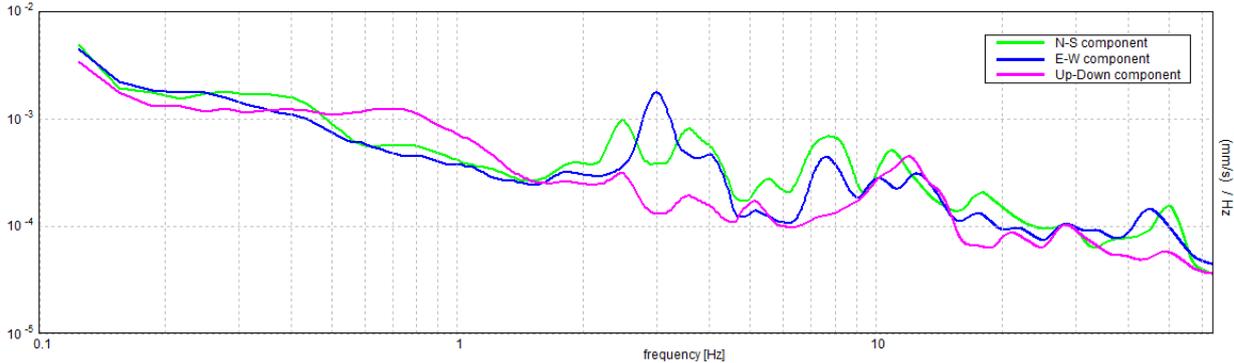
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.0 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	3.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	2100.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 145 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.688 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	6.34 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00352 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.01056 < 0.15	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6432 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

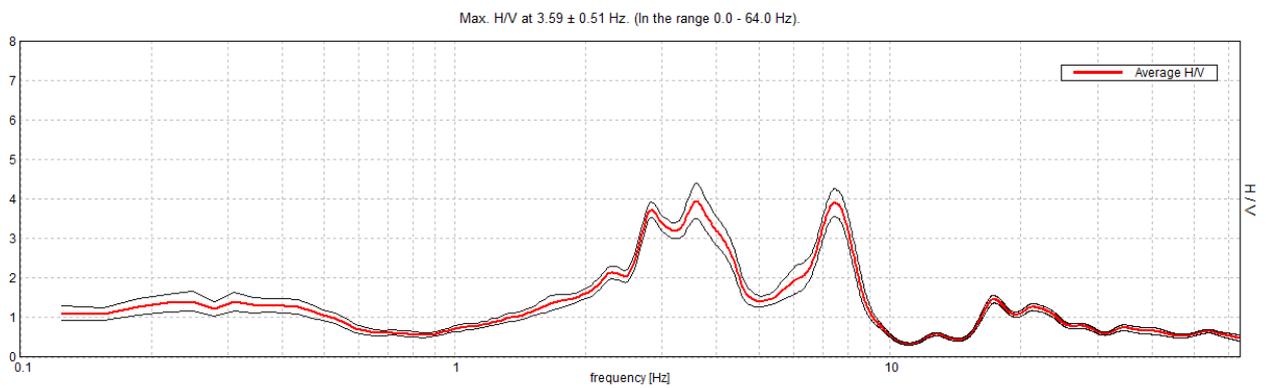
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 4B

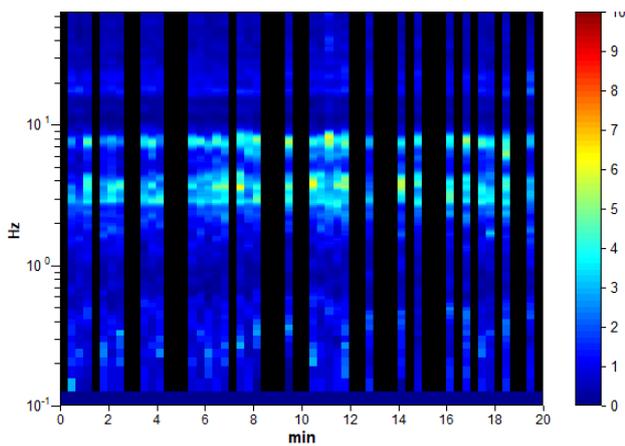
Instrument: TRZ-0073/01-10
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 10:23:18 End recording: 04/01/19 10:43:18
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 53% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

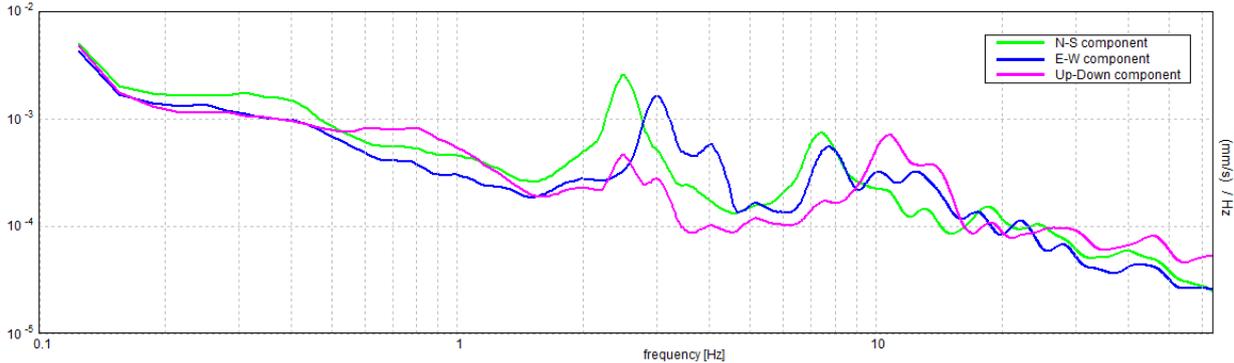
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.59 ± 0.51 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	3.59 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	2300.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 174 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.188 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.531 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.95 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.14261 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.51251 < 0.17969$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4434 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. 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	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 4C

Instrument: TEN-0012/01-07

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 04/01/19 10:21:11 End recording: 04/01/19 10:41:12

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 57% trace (manual window selection)

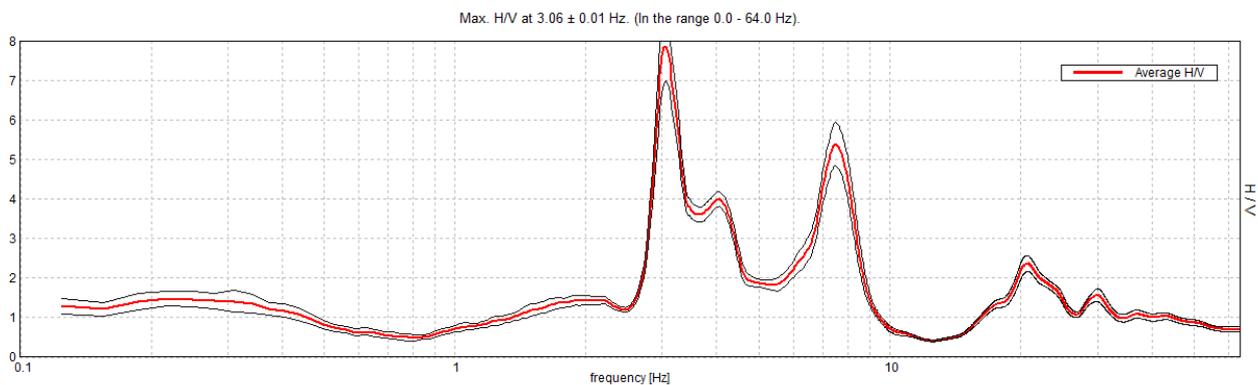
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

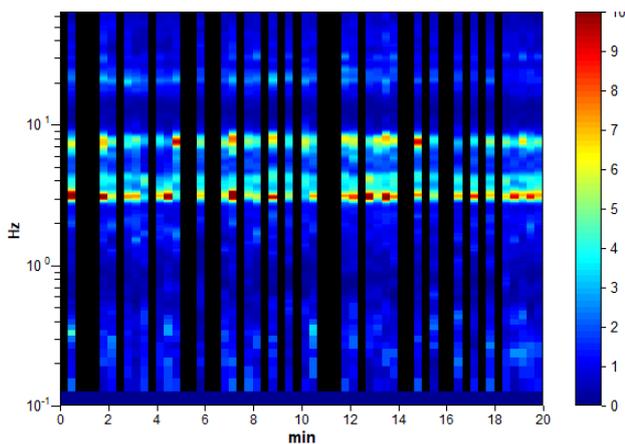
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

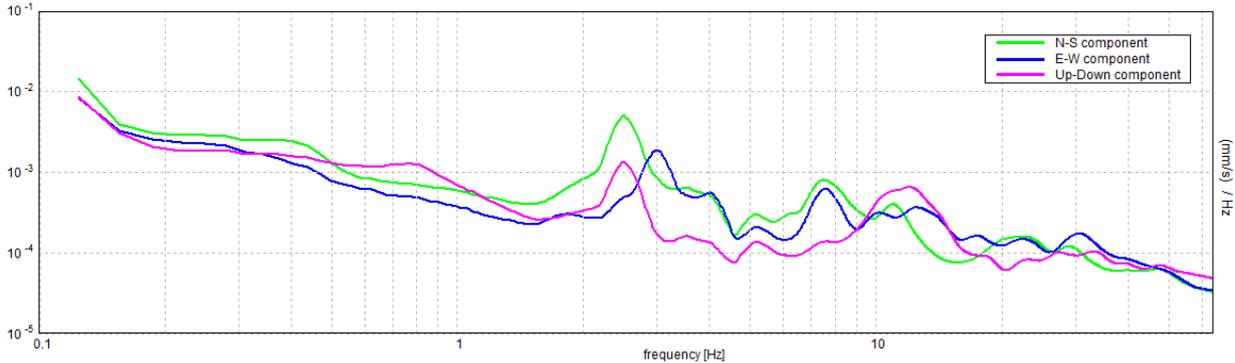
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.06 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	3.06 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	2082.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 148 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.813 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	7.86 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00463 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.01418 < 0.15313	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.8814 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. 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	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 5A

Instrument: TEP-0206/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 04/01/19 10:24:35 End recording: 04/01/19 10:44:35

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 53% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

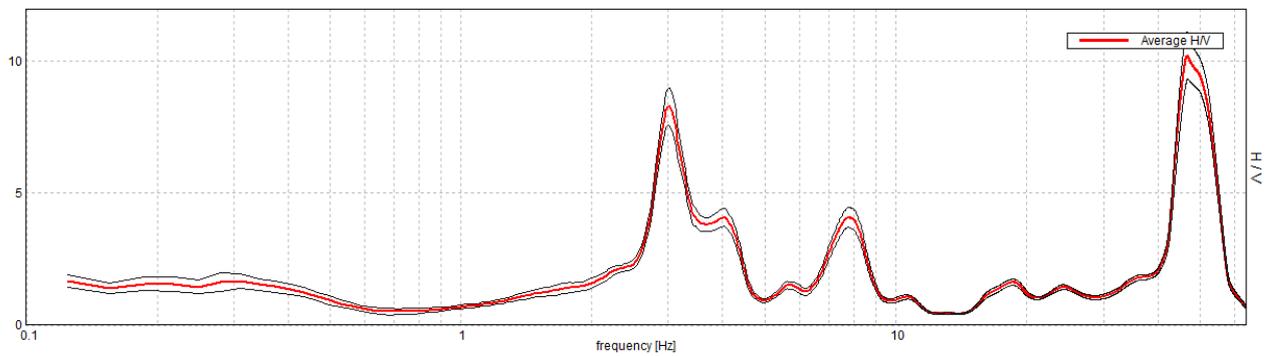
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

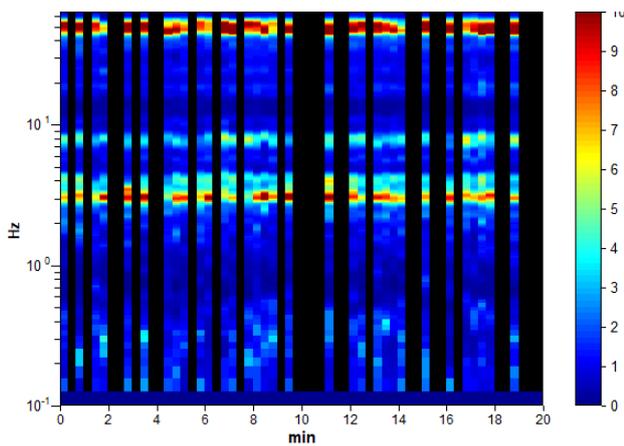
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

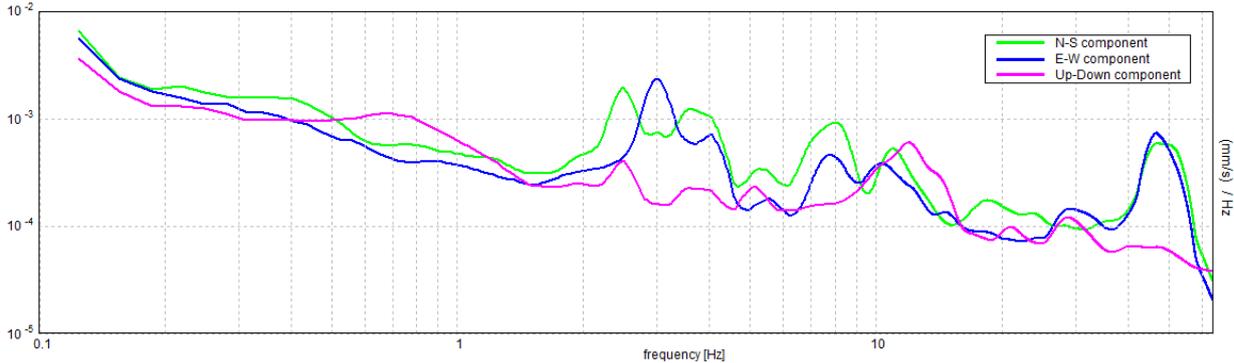
Max. H/V at 46.84 ± 1.55 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 46.84 ± 1.55 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	46.84 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	29980.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1300 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	43.313 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	55.031 Hz	OK	
$A_0 > 2$	10.23 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03319 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.55478 < 2.34219	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.8914 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

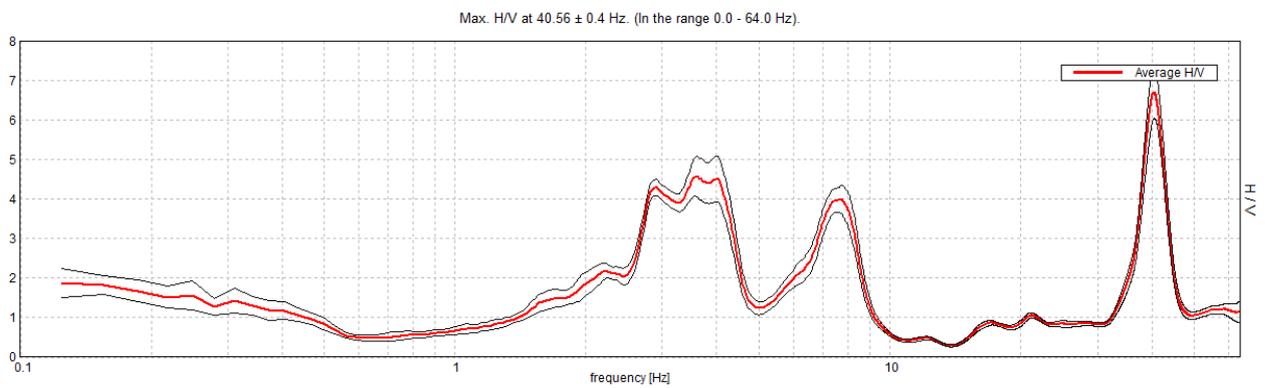
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 5B

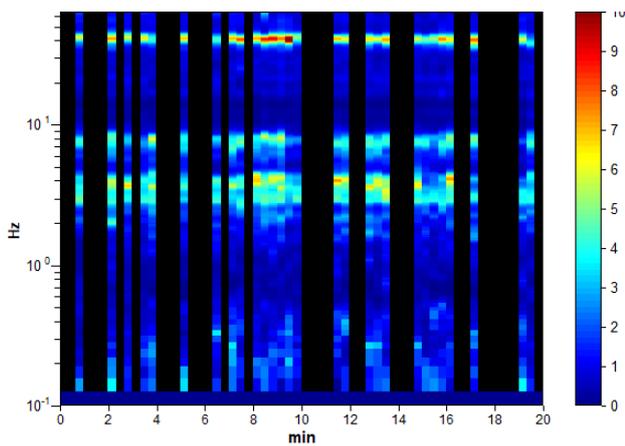
Instrument: TZ3-0018/01-13
Data format: 32 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 04/01/19 10:25:20 End recording: 04/01/19 10:45:20
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 47% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

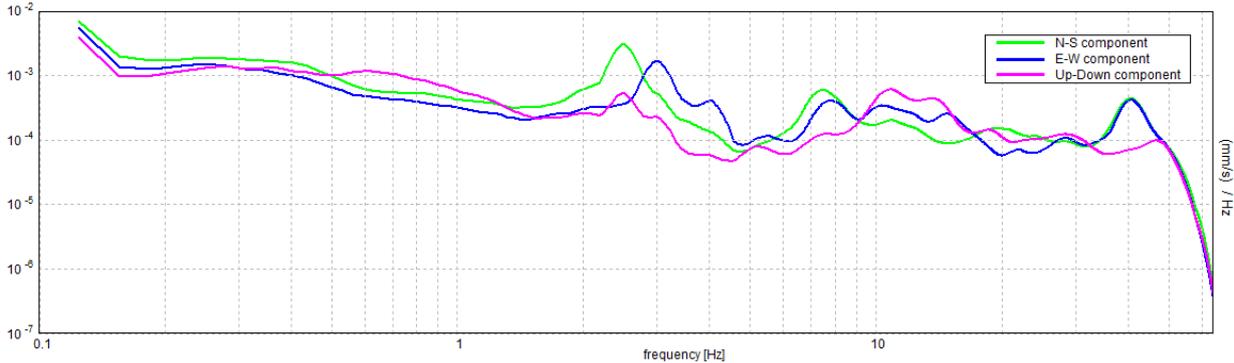
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 40.56 ± 0.4 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	40.56 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	22715.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1400 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	37.313 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	43.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	6.71 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00998 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.40466 < 2.02813	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6564 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

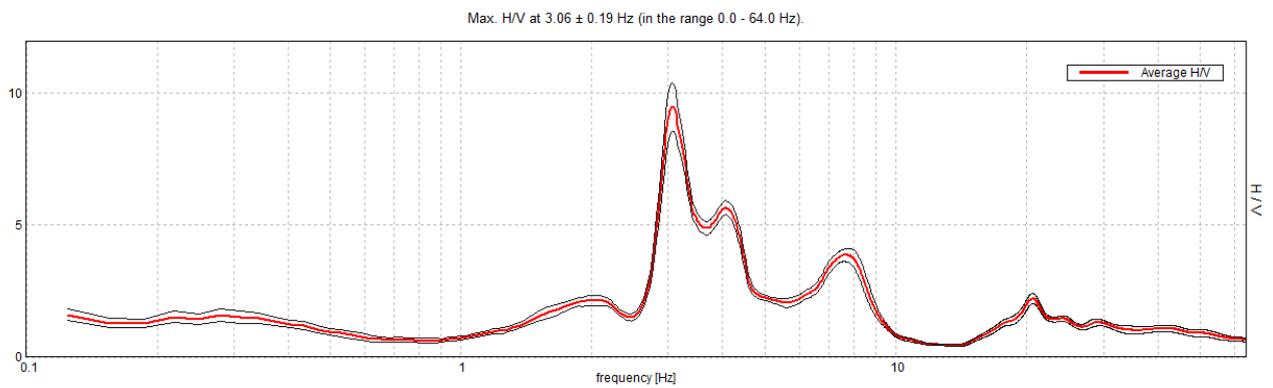
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 5C

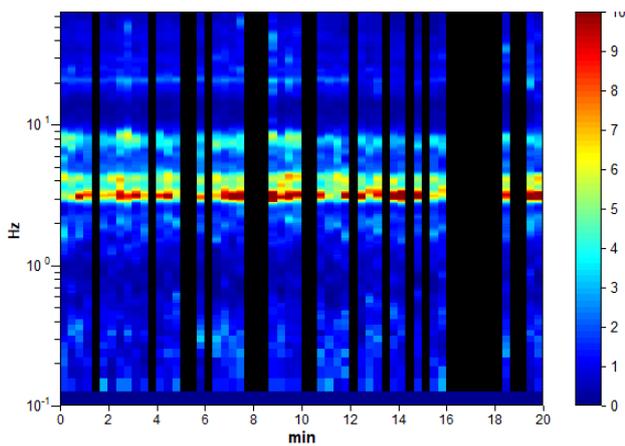
Instrument: TRZ-0124/01-11
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 10:25:34 End recording: 04/01/19 10:45:34
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 62% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

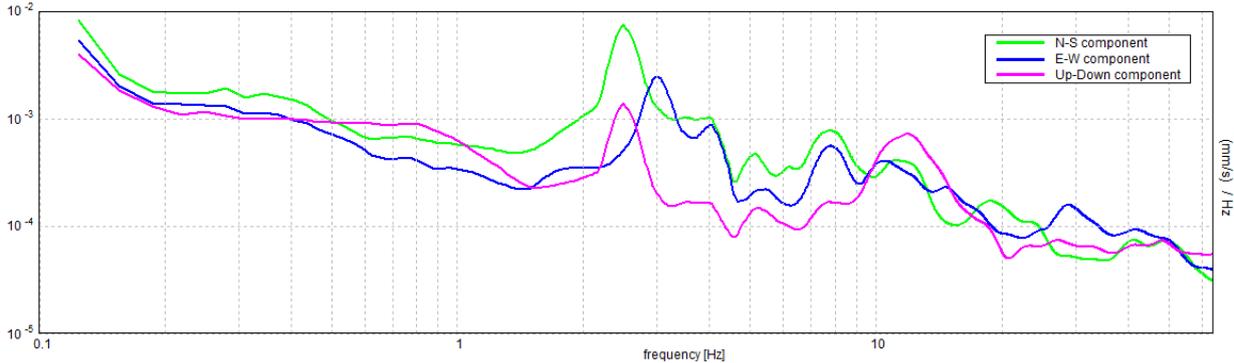
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.06 ± 0.19 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.06 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2266.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 148 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.781 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$9.49 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.06218 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.19043 < 0.15313$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.9253 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

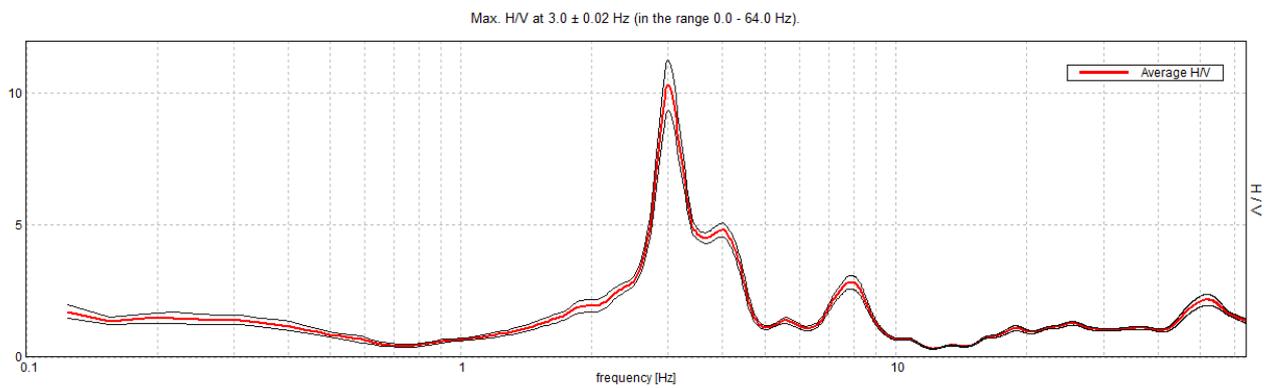
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 6A

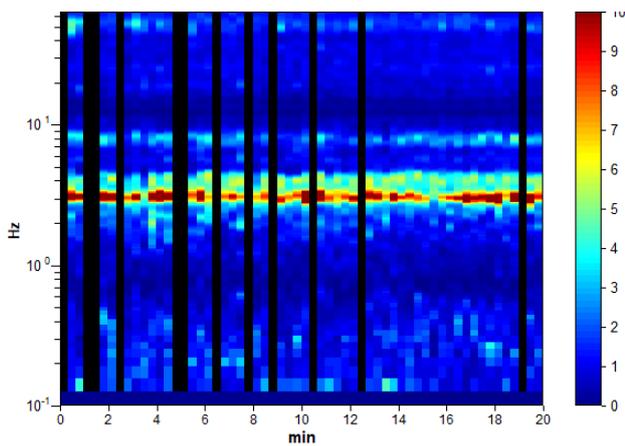
Instrument: TRZ-0024/01-09
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 10:45:00 End recording: 04/01/19 11:05:00
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 80% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

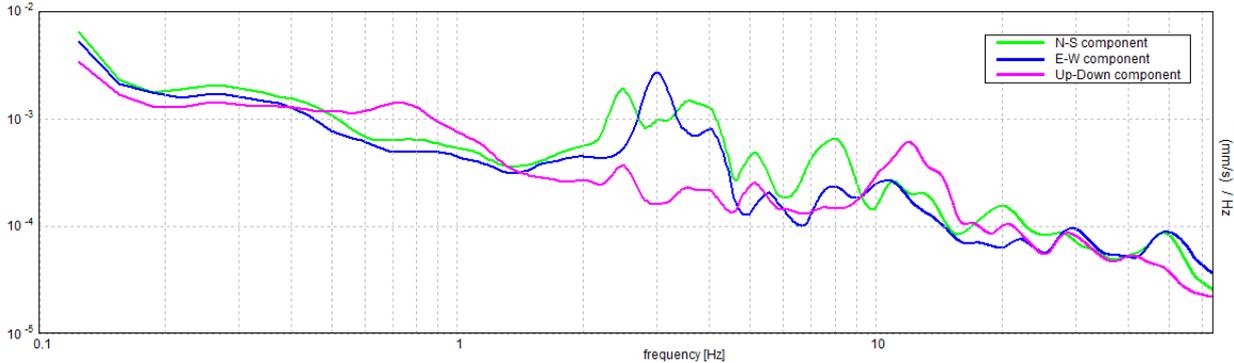
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.0 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.00 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2880.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 145 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.719 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$10.32 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00767 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.023 < 0.15$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.9611 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 6B

Instrument: TEN-0012/01-07

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 04/01/19 10:48:02 End recording: 04/01/19 11:08:03

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 53% trace (manual window selection)

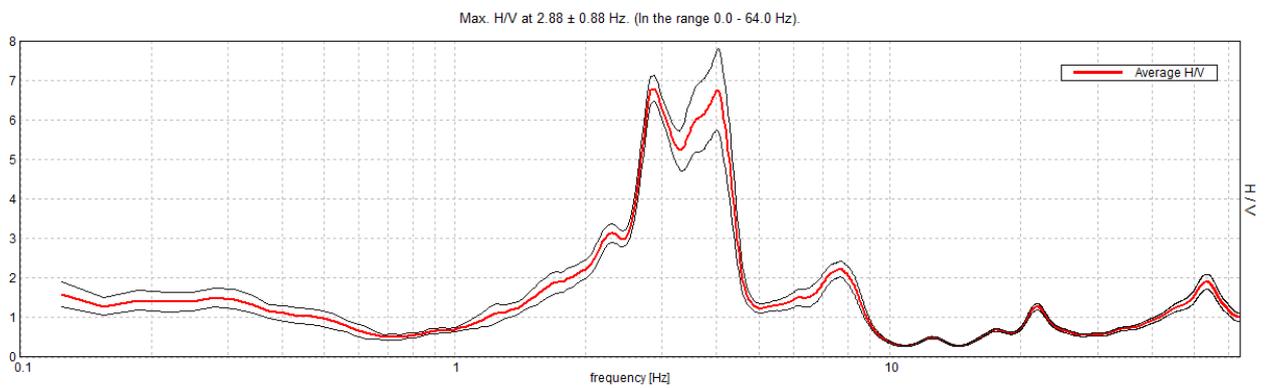
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

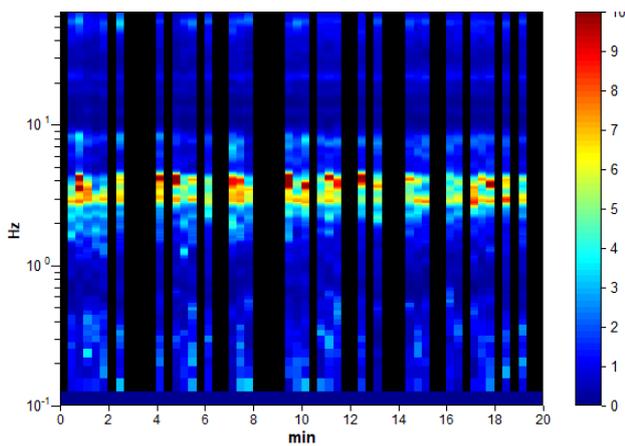
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

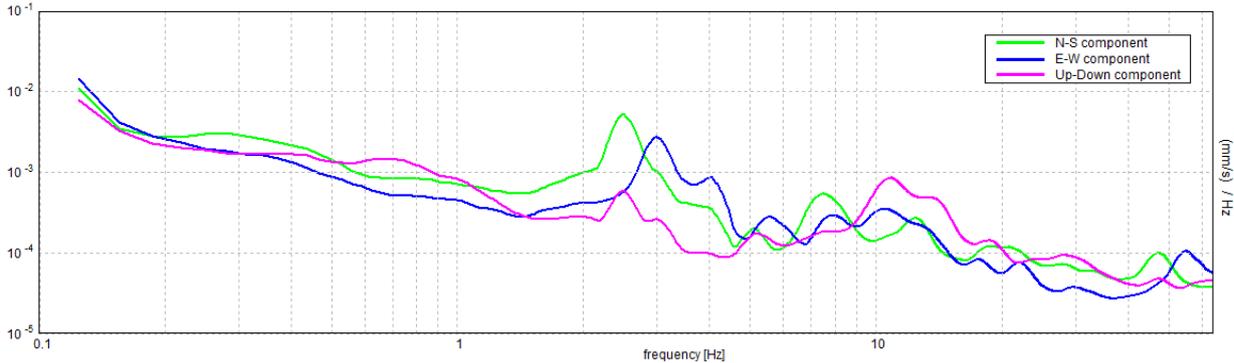
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 2.88 ± 0.88 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1840.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 139 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.531 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$6.78 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.30651 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.8812 < 0.14375$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3261 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 6C

Instrument: TRZ-0073/01-10

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 04/01/19 10:46:55 End recording: 04/01/19 11:06:55

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 73% trace (manual window selection)

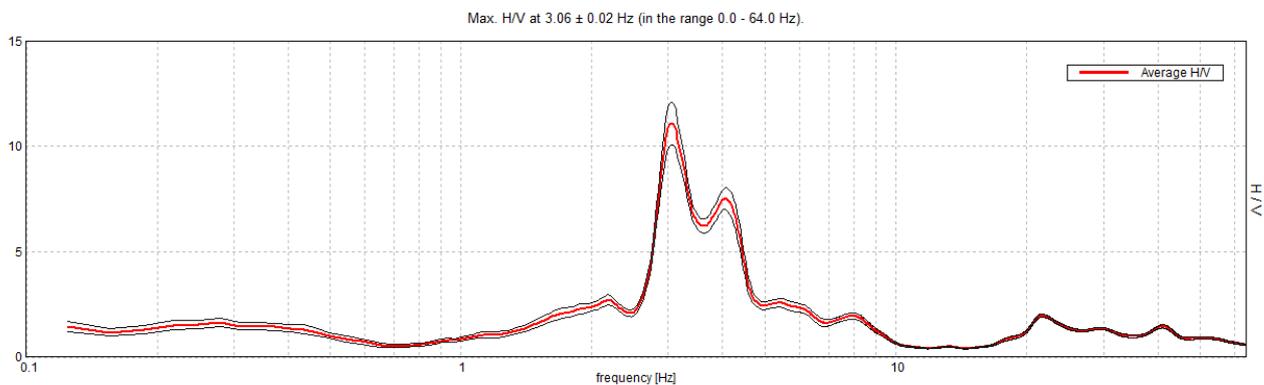
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

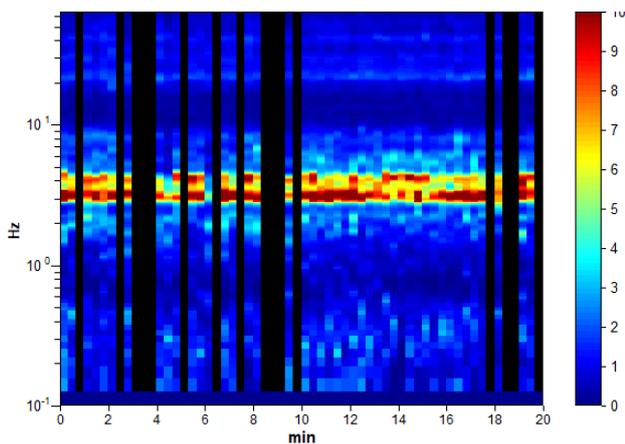
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

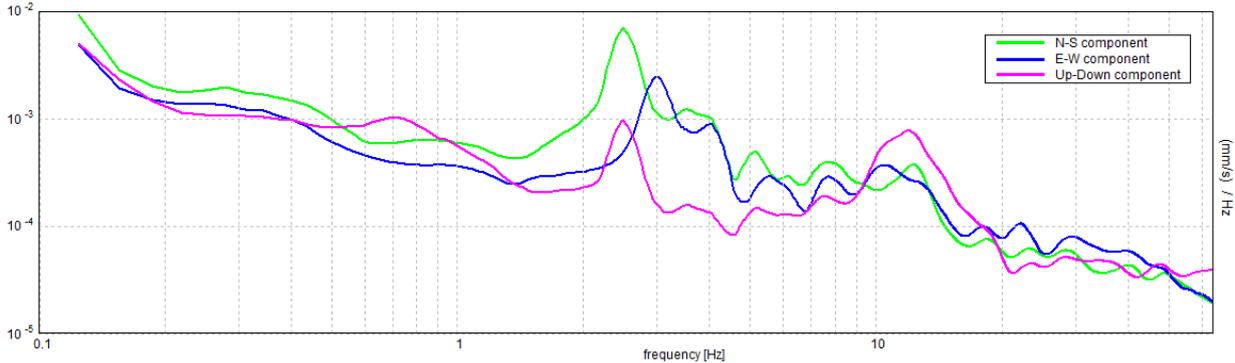
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.06 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	3.06 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	2695.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 148 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	11.08 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00596 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.01825 < 0.15313	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.0068 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

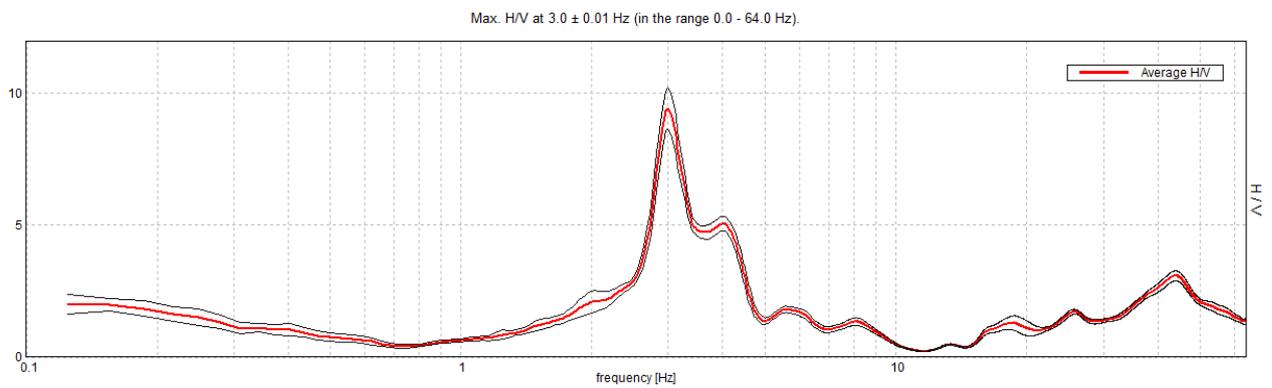
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 7A

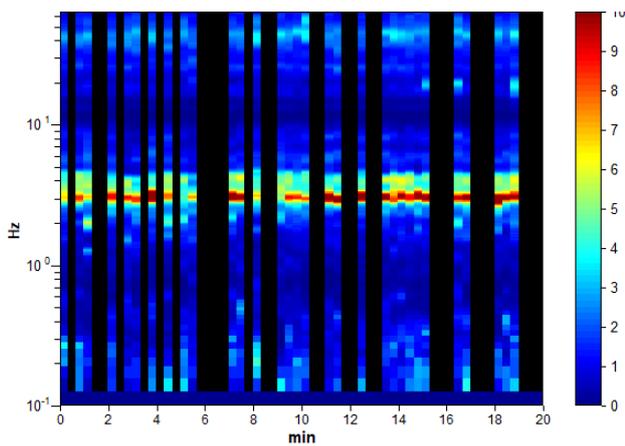
Instrument: TZ3-0018/01-13
Data format: 32 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 04/01/19 10:51:10 End recording: 04/01/19 11:11:10
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 52% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

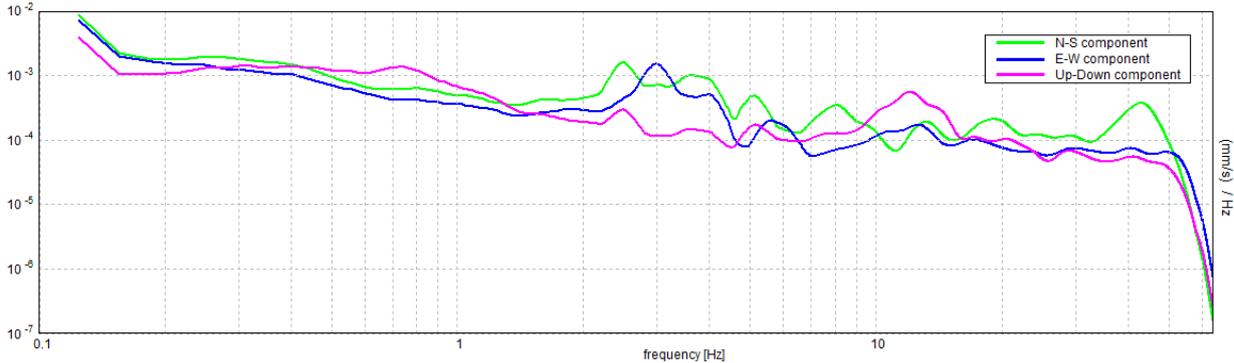
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.0 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.00 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1860.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 145 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.688 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.219 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$9.43 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00324 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00972 < 0.15$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7742 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

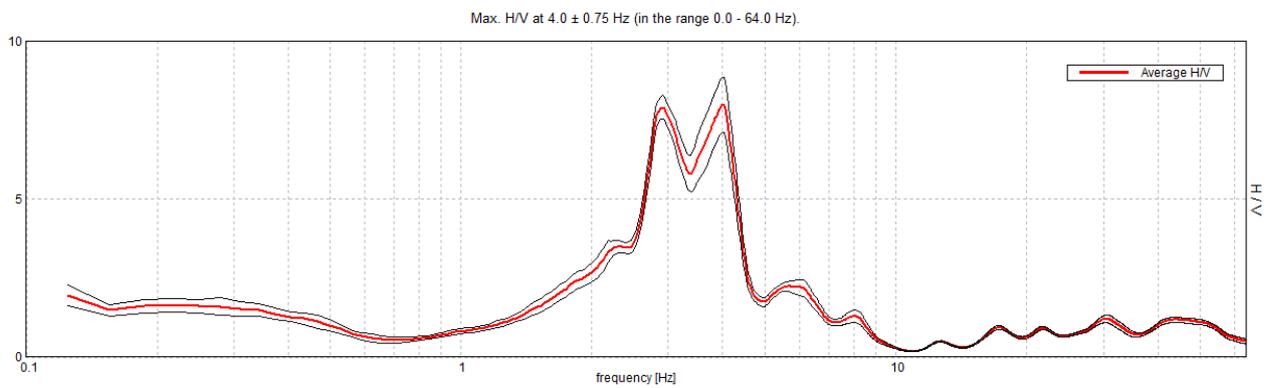
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 7B

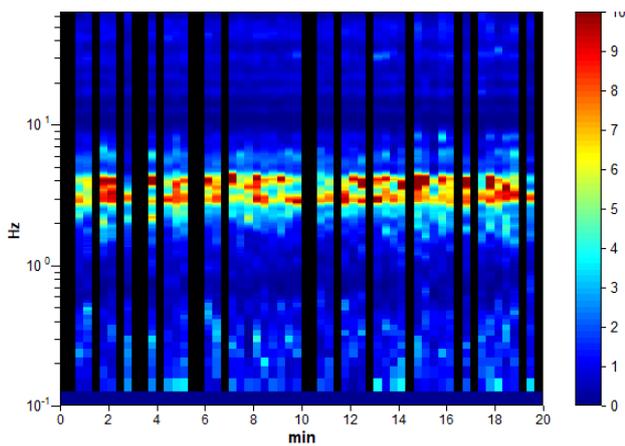
Instrument: TRZ-0124/01-11
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 10:53:08 End recording: 04/01/19 11:13:08
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 68% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

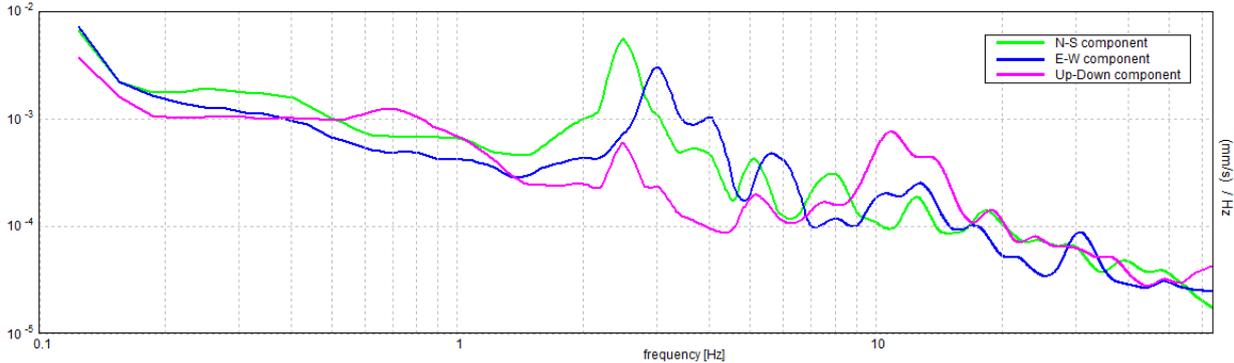
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 4.0 ± 0.75 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	4.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3280.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 193 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.531 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	7.97 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.18725 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.749 < 0.2		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.8694 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. 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	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 7C

Instrument: TEP-0206/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 04/01/19 10:53:21 End recording: 04/01/19 11:13:21

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 63% trace (manual window selection)

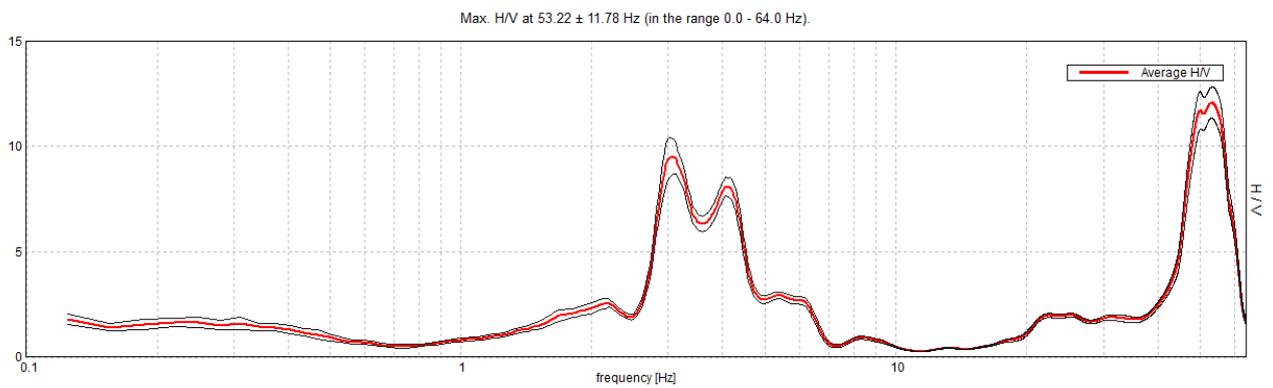
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

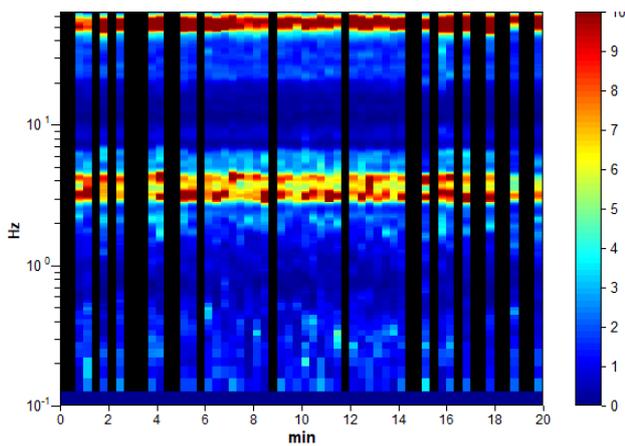
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

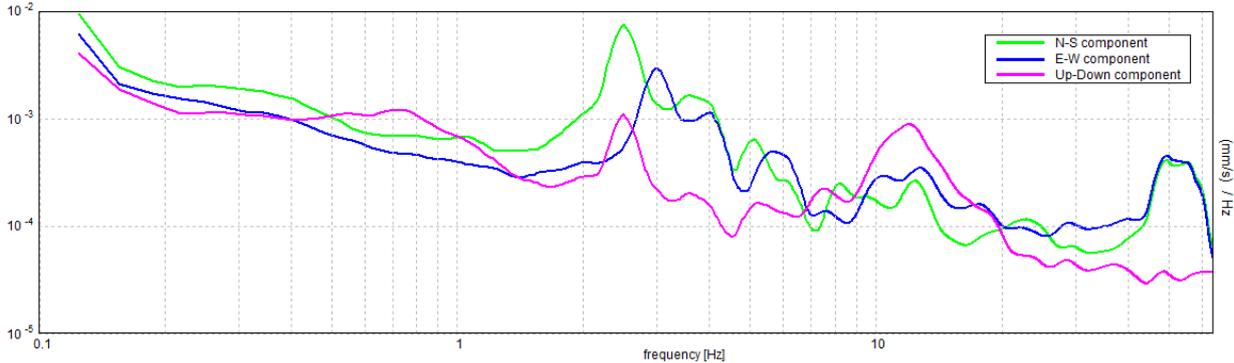
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 53.22 ± 11.78 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	53.22 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	40446.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1198 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	45.563 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	59.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	12.06 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.22132 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	11.77834 < 2.66094		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.7397 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

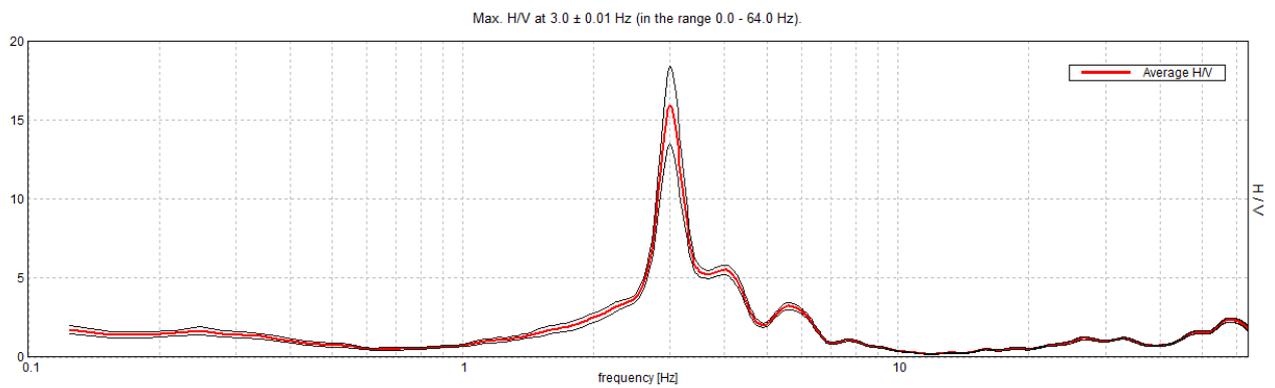
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 8A

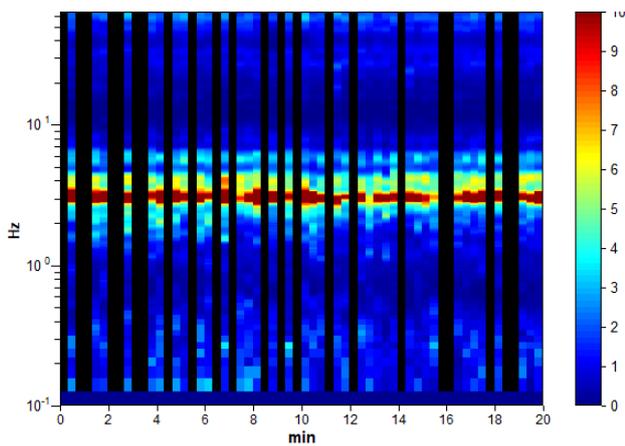
Instrument: TRZ-0024/01-09
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 11:12:00 End recording: 04/01/19 11:32:00
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 63% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

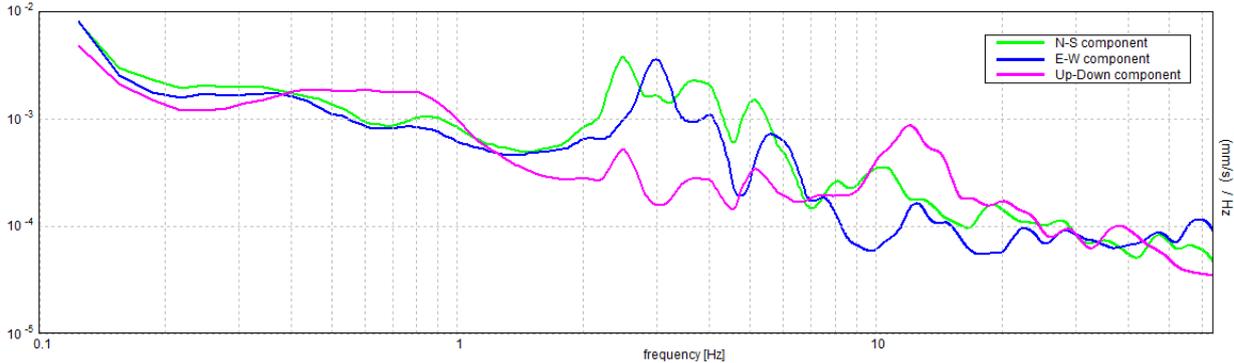
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.0 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.00 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2280.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 7 out of 145 times		NO

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$15.91 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00169 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00507 < 0.15$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$2.4542 < 1.58$		NO

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

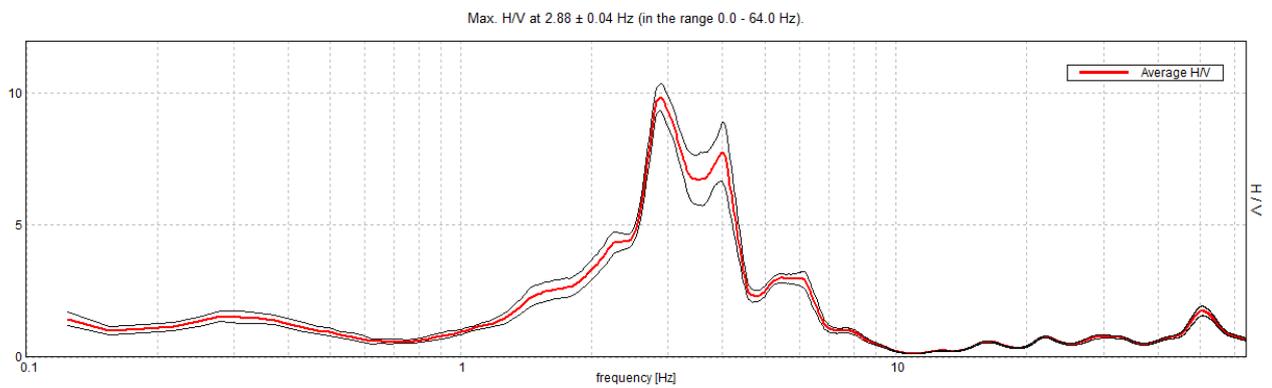
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 8B

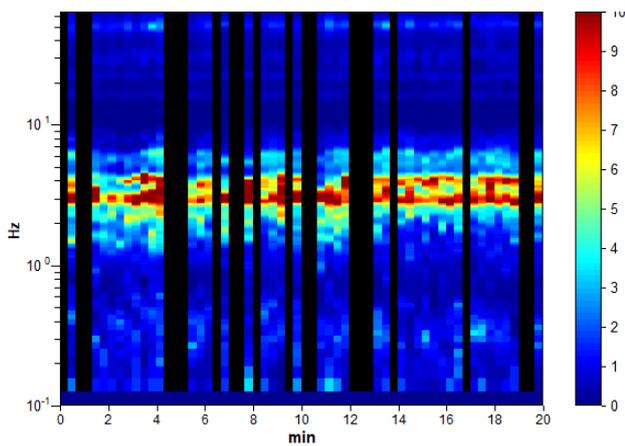
Instrument: TRZ-0073/01-10
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 11:11:36 End recording: 04/01/19 11:31:36
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 67% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

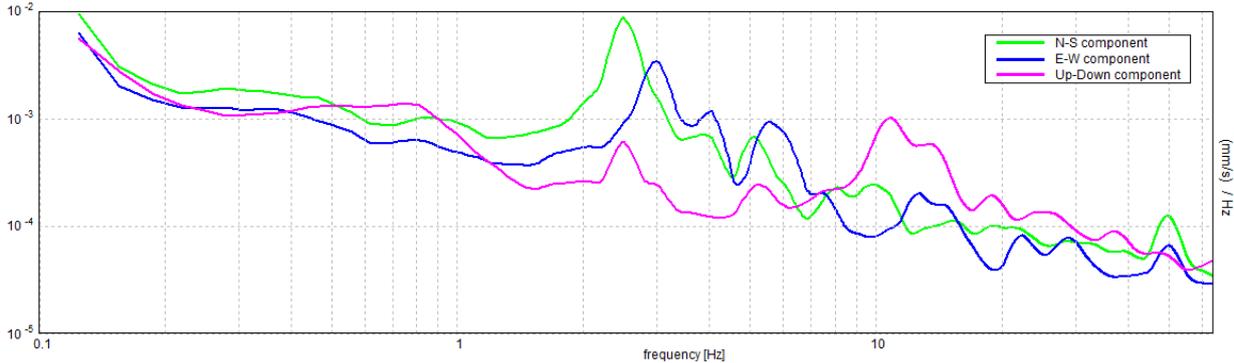
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 2.88 ± 0.04 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2300.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 139 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.531 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$9.84 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01239 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03563 < 0.14375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5093 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 8C

Instrument: TEN-0012/01-07

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 04/01/19 11:13:49 End recording: 04/01/19 11:33:50

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 57% trace (manual window selection)

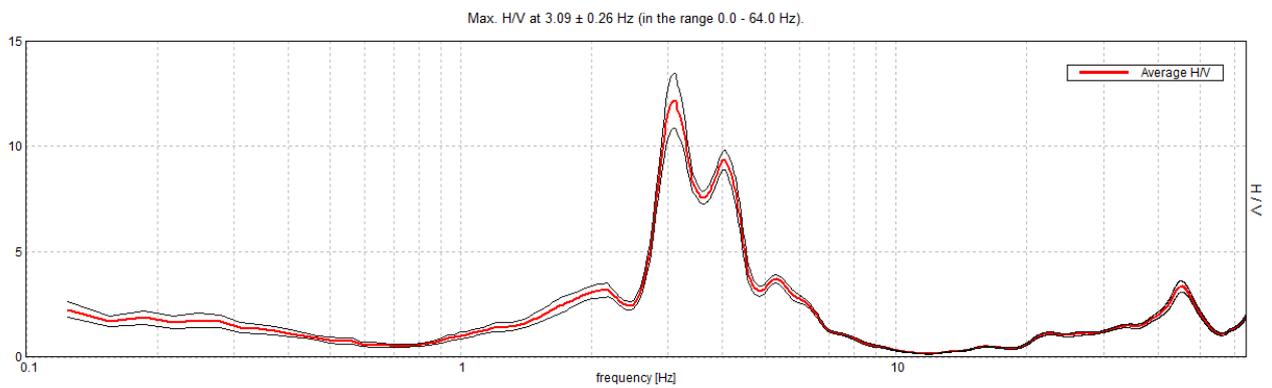
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

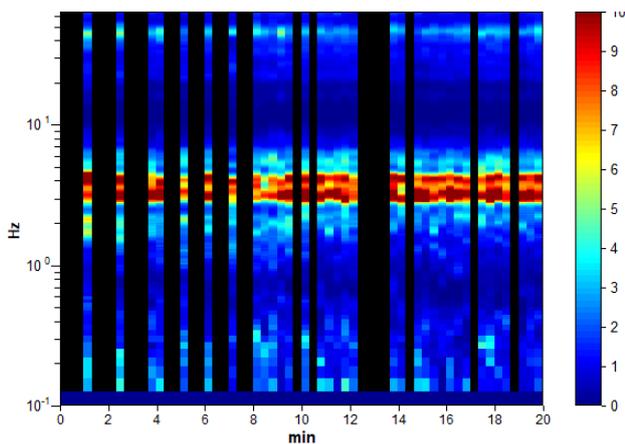
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

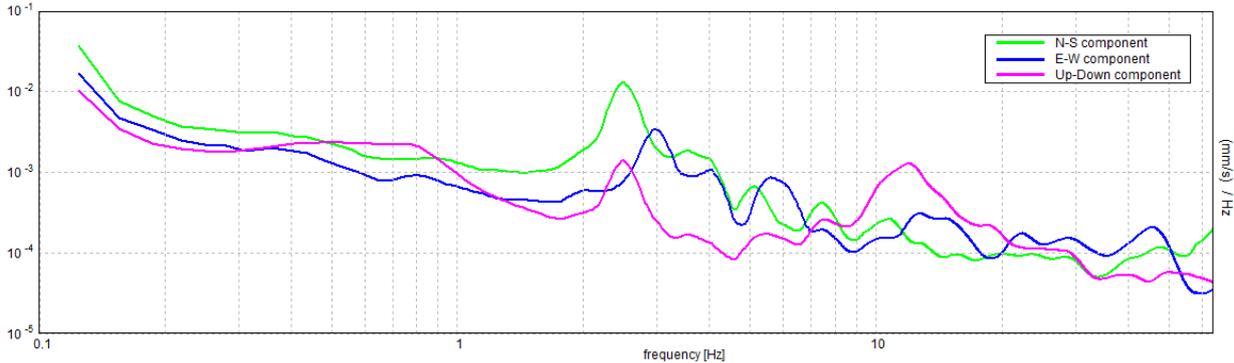
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.09 ± 0.26 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	3.09 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	2103.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 150 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	12.15 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.08531 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.26392 < 0.15469$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.3037 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

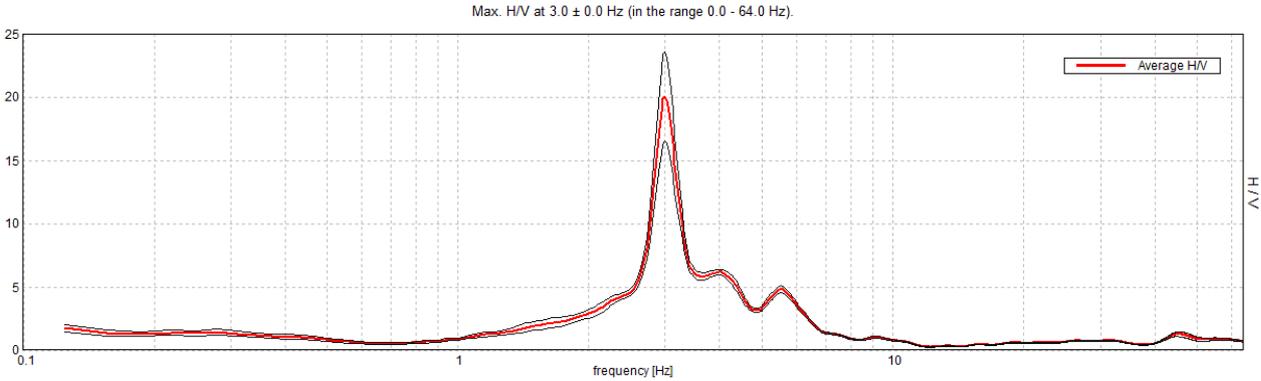
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 9A

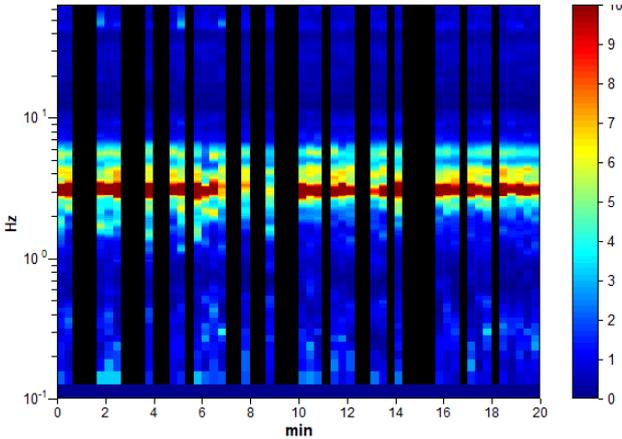
Instrument: TRZ-0124/01-11
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/01/19 11:17:01 End recording: 04/01/19 11:37:01
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 57% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

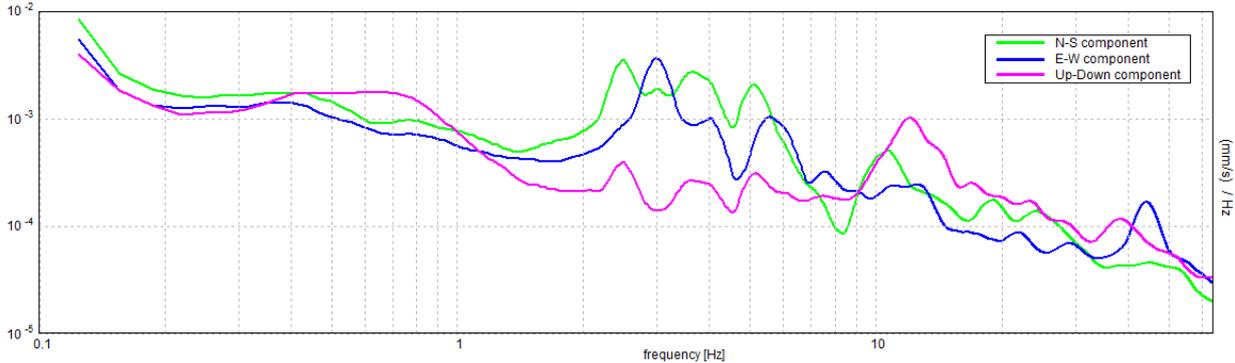
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.0 ± 0.0 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.00 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2040.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 11 out of 145 times		NO

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$20.06 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0 < 0.15$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$3.5243 < 1.58$		NO

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

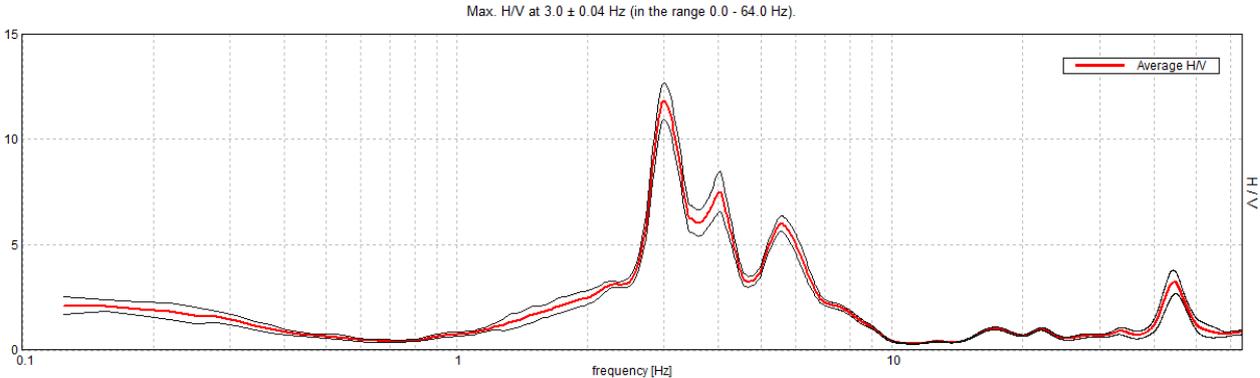
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 9B

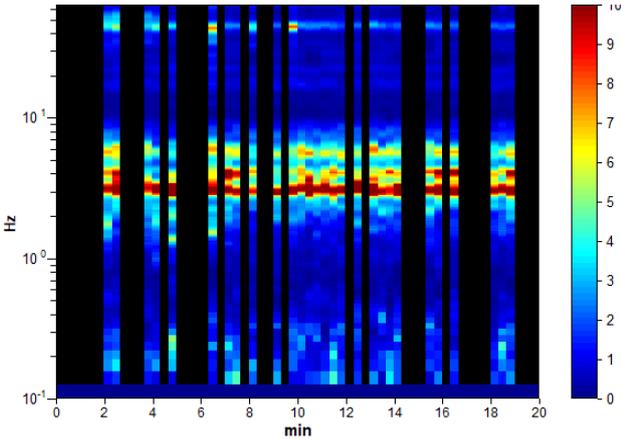
Instrument: TZ3-0018/01-13
Data format: 32 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 04/01/19 11:17:29 End recording: 04/01/19 11:37:29
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 47% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

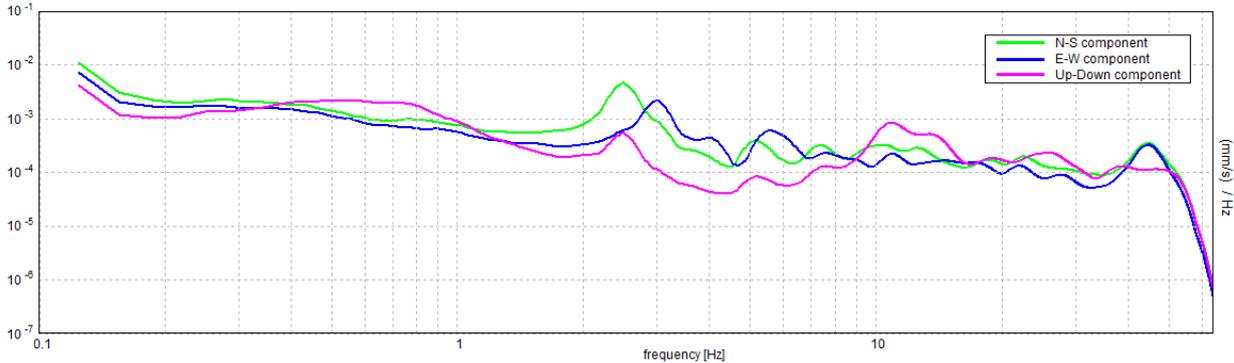
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.0 ± 0.04 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.00 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1680.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 145 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.719 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$11.83 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01229 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03688 < 0.15$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.8609 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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

RESIDENZA_OBERDAN_04_01_2019, 9C

Instrument: TEP-0206/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 04/01/19 11:18:54 End recording: 04/01/19 11:38:54

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 67% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

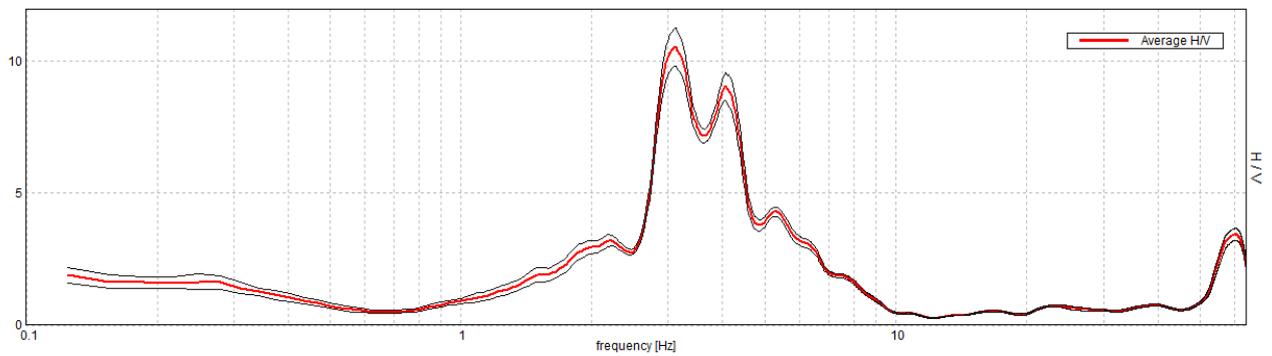
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

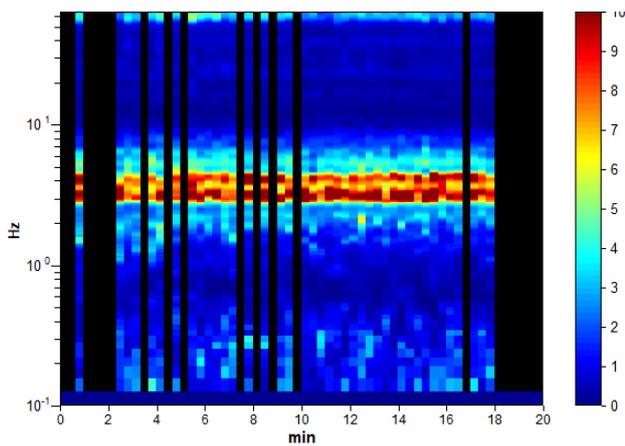
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

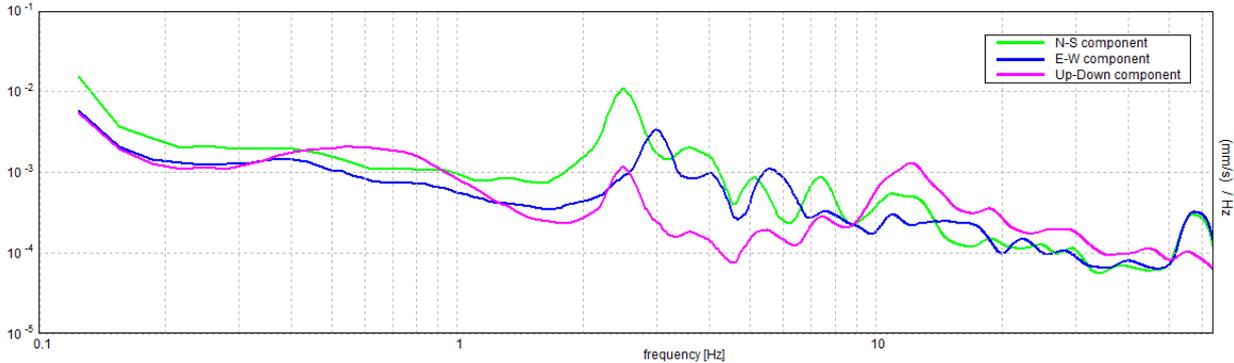
Max. H/V at 3.13 ± 0.15 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.13 ± 0.15 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.13 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2500.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 151 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.719 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.531 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$10.55 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0483 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.15092 < 0.15625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7304 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

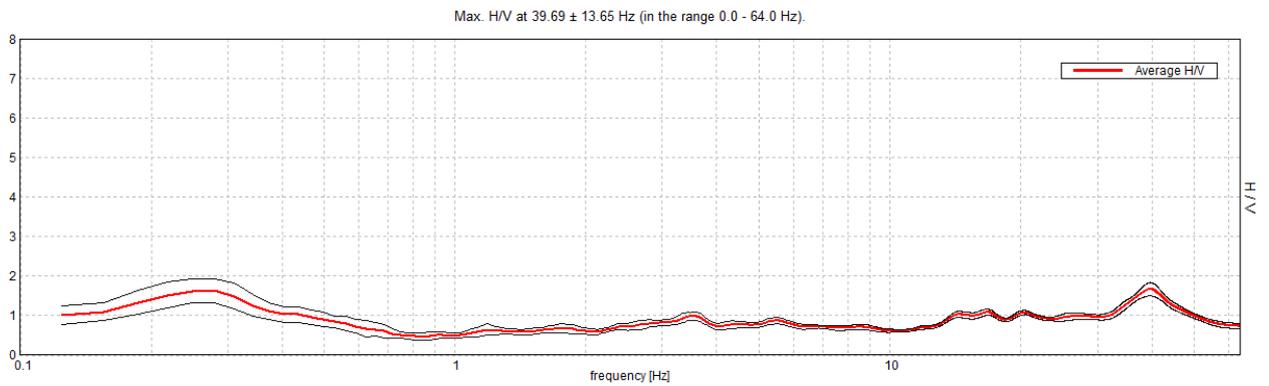
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RESIDENZA_OBERDAN, Rif_ESTERNA

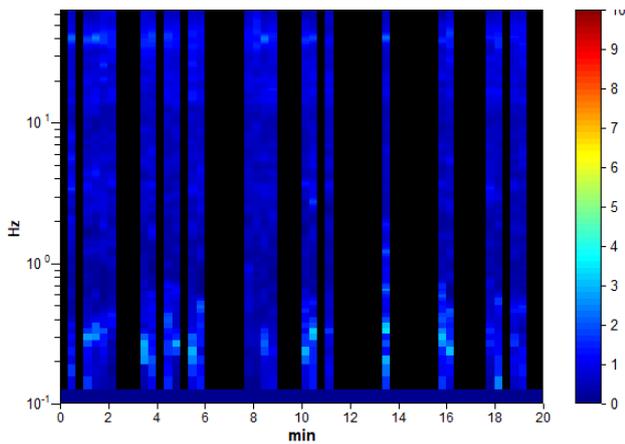
Instrument: TRZ-0073/01-10
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 03/01/19 09:10:31 End recording: 04/01/19 09:30:31
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 42% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

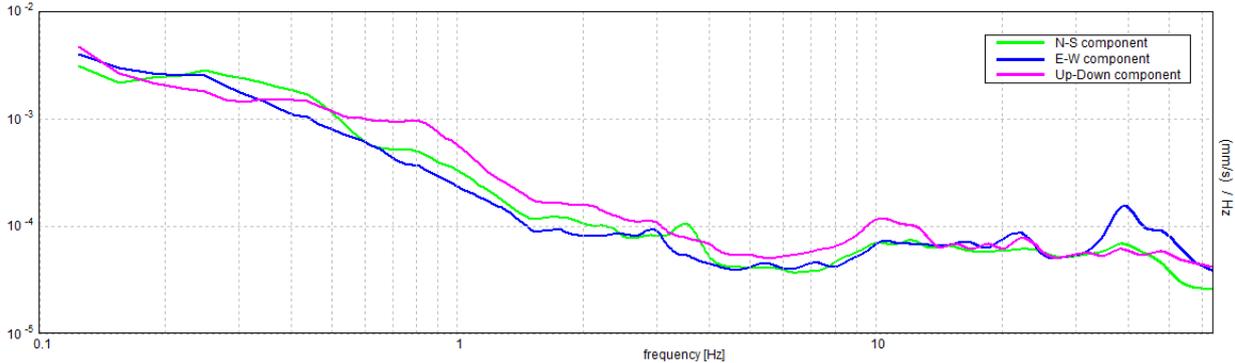
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 39.69 ± 13.65 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	39.69 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	19843.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1414 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	13.281 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	54.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.67 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.34396 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	13.65103 < 1.98438		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1695 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. 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	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	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