

Attivazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

Comune di Lauco



Regione	Soggetto realizzatore dott. geol. Danilo Simonetti  Collaboratore: dott. geol. Raffaella Braidotti	Data Febbraio 2017
---------	---	-----------------------

INDICE

	pag.
1 INTRODUZIONE	3
2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1 Pericolosità sismica di base	5
2.2 Eventi di riferimento e inquadramento sismotettonico	6
3 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	11
3.1 Processi glaciali e di versante	11
3.2 Processi fluviali	13
3.3 Caratteristiche stratigrafiche e litologiche	14
3.3.1 Basamento lapideo	14
3.3.2. Successione continentale Quaternaria	15
4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	16
4.1 Indagini pregresse secondo il metodo sismico a rifrazione	18
4.2 Indagini pregresse secondo il metodo geoelettrico (S.E.V.)	18
4.3 Indagini geofisiche di tipo HVSR di nuova acquisizione, aspetti teorici	19
4.4 Questioni sensibili e limiti	20
4.5 Risultati delle nuove indagini geofisiche di tipo HVSR	20
5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO	21
6 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	23
7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	24
8 ELABORATI CARTOGRAFICI	25
8.1 Carta delle indagini	25
8.2 Carta geologico Tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS)	26
8.3 Carta delle Microzone omogenee in Prospettiva Sismica (Livello 1)	26
8.4 Commenti finali e criticità	30
9 CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	30
10 BIBLIOGRAFIA	32
11 ALLEGATI	33

1 Introduzione

La presente relazione illustrativa descrive i risultati dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 con analisi delle CLE redatto per gli ambiti urbanizzati e di sviluppo insediativo a destinazione residenziale, produttiva, dei servizi e infrastrutturale del Comune di Lauco (Ud). Le perimetrazioni delle aree sottoposte all'indagine di Microzonazione Sismica di livello 1 sono state concordate con l'Ufficio tecnico del Comune di Lauco.

Secondo quanto riportato negli *Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica* (ICMS) del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (2008), lo scopo dell'indagine è di pervenire alla valutazione della pericolosità sismica locale attraverso *l'individuazione di zone del territorio caratterizzato da comportamento sismico omogeneo*.

Il Livello 1 rappresenta uno studio propedeutico qualitativo indispensabile per la redazione dei successivi livelli 2 e 3 e consiste nella raccolta organica e ragionata dei dati di natura geologica, geotecnica e geofisica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite, al fine di pervenire alla costruzione del prodotto finale rappresentato dalla carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).

In definitiva, con lo studio di MS di livello 1 il territorio comunale risulterà suddiviso nelle seguenti microzone:

- **“Zone stabili”**, dove non si prevedono effetti locali e gli scuotimenti attesi sono assimilabili a quelli verificabili su substrato rigido pianeggiante, ovvero equiparabili a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- **“Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali”**, nelle quali si prevedono amplificazioni del moto sismico a causa dell'assetto litostatografico del terreno e/o geomorfologico superficiale e/o profondo del territorio (coperture sedimentarie, pendii, creste, valli strette, ecc.);
- **“Zone di attenzione per instabilità”**, in cui gli effetti indotti o innescati dal sisma determineranno una deformazione permanente del terreno. Ciò a causa di fenomeni di instabilità di versante, di liquefazione, di riattivazione di faglie attive e capaci, sedimenti differenziali.

Lo studio e le indagini geofisiche sono stati condotti seguendo gli *“Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica”* – Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, Roma, 2008 e gli *“Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica”* - Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907, OPCM 4007/2012), Versione 3.0 – Roma, ottobre 2013.

A livello Nazionale e Regionale i riferimenti normativi e tecnici che disciplinano la materia sono i seguenti:

- Legge 02.02. 1974, n. 64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- Legge 10.12.1981, n. 741: Ulteriori norme per l'accelerazione delle procedure per l'esecuzione di opere pubbliche.
- Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici 11.03.1988: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici 16.01.1996: Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20.03.2003, n. 3274: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

- Decreto di Giunta regionale n. 2325 del 01.08.2003: "Recepimento dell'OPCM n. 3274 del 20.03.2003 in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 03.05.2005: Ulteriori modifiche ed integrazioni all'OPCM n. 3274 del 20.03.2003 recante << Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica>>.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006: "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- D.M. 14.01.2008, "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Delibera di Giunta Regionale n. 845 del 06.05.2010: "Classificazione sismica del territorio del Friuli Venezia Giulia – Allegato 1".

Dal punto di vista geografico, Lauco (coordinate geografiche secondo il sistema decimale: 46,4254°N, 12,9337°E) è un comune di 744 abitanti della provincia di Udine in Friuli Venezia Giulia. Il capoluogo comunale sorge a circa 719 m s.l.m. ed estende il proprio territorio comunale di 34,76 km² su un altopiano chiuso a nord dal Monte Arvensis (1968 m s.l.m.) ed a sud dall'orlo dell'elevata parete rocciosa che sovrasta la Val Tagliamento all'altezza di Villa Santina. A est il confine comunale corrisponde con le incisioni dei torrenti Chiantone e Vinadia, mentre ad ovest si esaurisce nel Torrente Degano.

Le frazioni principali del comune sono date dai centri abitati di Trava, Avaglio, Allegnidis, Vinaio e Buttea, cui si aggiungono ai fini della presente le borgate di Chiassis, Sot Crèz, Cjauians, Uerpa e Val di Lauco. Ad eccezione di Chiassis e Sot Crèz, ubicati in prossimità del fondovalle in sponda sinistra del T. Degano, le rimanenti frazioni ed il capoluogo sorgono sull'altipiano di Lauco.

La cartografia di base utilizzata per lo studio di Microzonazione Sismica è rappresentata dalla Carta Tecnica Regionale Numerica alla scala 1:5000. Gli elementi necessari alla copertura cartografica delle aree individuate per lo studio MS del comune di Lauco sono i seguenti:

- Elemento 031123 "Trischamps"
- Elemento 031151 "Avaglio"
- Elemento 031152 "Enemonzo"
- Elemento 031161 "Cazzaso"
- Elemento 031163 "Villa Santina"
- Elemento 031164 "Lauco".

Per la rappresentazione e la descrizione degli aspetti geologici dell'area è stato fatto invece riferimento alla Relazione geologica relativa al P.R.G.C. vigente (Variante Generale di adeguamento alla L.R. 52/91, Lenarduzzi G., 1997) ed al Foglio 031 "Ampezzo" del Progetto CARG (CARTografia Geologica) alla scala 1:50.000.

2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

La pericolosità sismica è la stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico, in una determinata area. La pericolosità sismica può essere analizzata con metodi deterministici, assumendo un determinato terremoto di riferimento, o con metodi probabilistici, nei quali le incertezze dovute alla grandezza, alla localizzazione e al tempo di occorrenza del terremoto sono esplicitamente considerati. Tale stima include le analisi di pericolosità sismica di base e di pericolosità sismica locale.

La pericolosità sismica di base è la componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e

frequenza dei terremoti). La pericolosità sismica di base calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in un determinato periodo di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento). La scala di studio è solitamente regionale. Una delle finalità di questi studi è la classificazione sismica a vasta scala del territorio, finalizzata alla programmazione delle attività di prevenzione e alla pianificazione dell'emergenza. Costituisce una base per la definizione del terremoto di riferimento per studi di microzonazione sismica. (ICMS- 2008).

2.1 Pericolosità sismica di base

Nella classificazione sismica del territorio del Friuli Venezia Giulia secondo l'Ordinanza n.3519 del 28.04.2006 pubblicata sulla G.U. n. 108 del 11.05.2006 – Decreto del Ministro delle Infrastrutture del 14.01.2008 pubblicato sul supplemento ordinario n. 30 della G.U. n. 29 del 04.02.2008, il comune di Lauco è classificato in Zona 2 (alta sismicità).

Per la definizione quantitativa della pericolosità sismica di base, si può fare riferimento ai valori di pericolosità sismica del territorio nazionale (Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressi in termini di accelerazione massima orizzontale al suolo con diverse probabilità di superamento in 50 anni probabilità di eccedenza dal 2% all'81%.

La mappa probabilistica della pericolosità sismica riportata in figura 1 è costruita su una griglia regolare a passo 0,05° ed è riferita ad una probabilità di eccedenza del 10%.

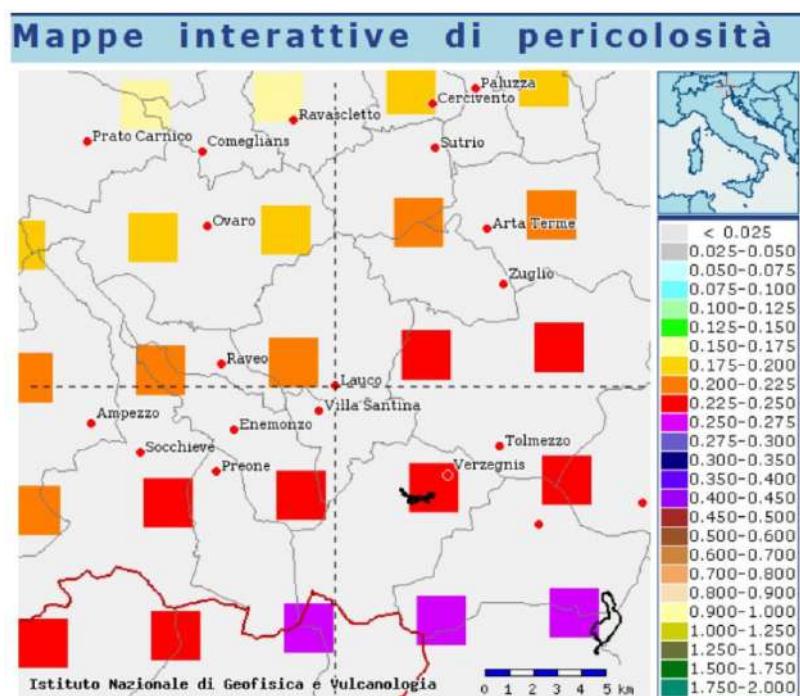


Figura 1: Mappa ufficiale di pericolosità sismica di base (OPCM 3519/2006)

La Figura 2 riporta la carta delle zone sismiche riferita ai comuni della Regione Friuli Venezia Giulia, parte integrante dell'Allegato 1 di cui alla Delibera di Giunta Regionale n. 845 del 06.05.2010.

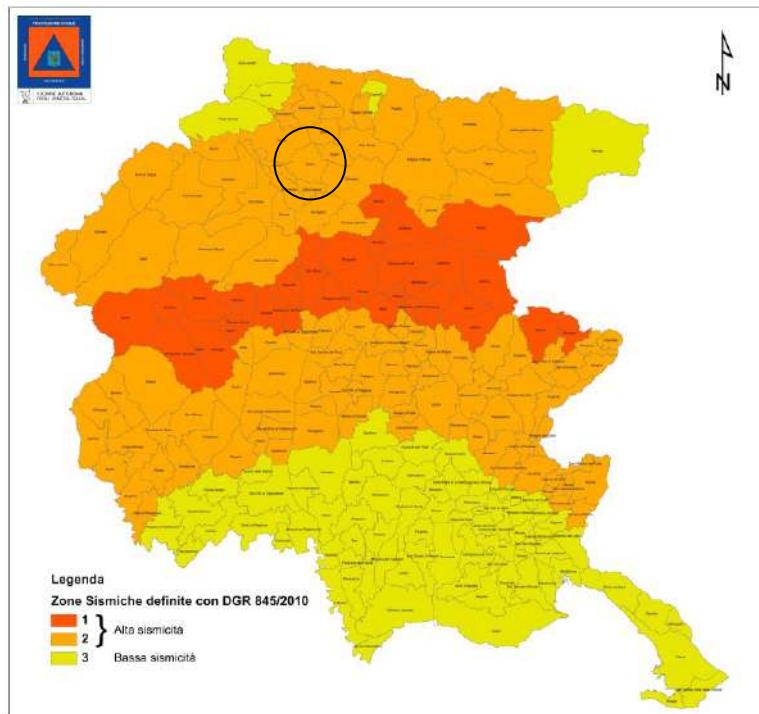


Figura 2: Classificazione sismica del territorio del Friuli Venezia Giulia

2.2 Eventi di riferimento e inquadramento sismotettonico

Il primo passo per la definizione della pericolosità sismica è la conoscenza dei dati macrosismici presenti nel Database Macrosismico Italiano, la cui ultima versione è il DBMI 2011 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>) messo a disposizione dall'INGV; all'interno del catalogo possono essere selezionati gli eventi di maggiore rilevanza che hanno interessato una data località. Nel caso di Lauco vengono evidenziati 8 eventi di riferimento a partire dal 1700 con relativa Magnitudo di Momento (Mw) dell'epicentro della scossa.

Storia sismica di Lauco [46.368, 13.040] Numero di eventi: 8

Effetti	In occasione del terremoto del:					
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw	
5-6	1700 07 28	RAVEO	28	8-9	5.59 ±0.72	
7	1924 12 12 03:29	Carnia	78	7	5.38 ±0.19	
7	1928 03 27 08:32	Carnia	359	9	5.84 ±0.09	
NF	1953 07 25 01:34	ARTA	16	4	4.24 ±0.25	
7	1959 04 26 14:45	Carnia	122	7-8	5.23 ±0.13	
8	1976 05 06 20:00	Friuli	770	9-10	6.46 ±0.09	
3-4	1988 02 01 14:21	VENZONE	273	6	4.65 ±0.09	
4-5	2002 02 14 03:18	Carnia	173	6	4.74 ±0.09	

Tabella 1: Estratto dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI11) per il comune di Lauco. I(MCS) = Intensità al sito, Ax = Area epicentrale, Np = numero di punti di intensità disponibili, Io = Intensità epicentrale, Mw = Magnitudo momento.

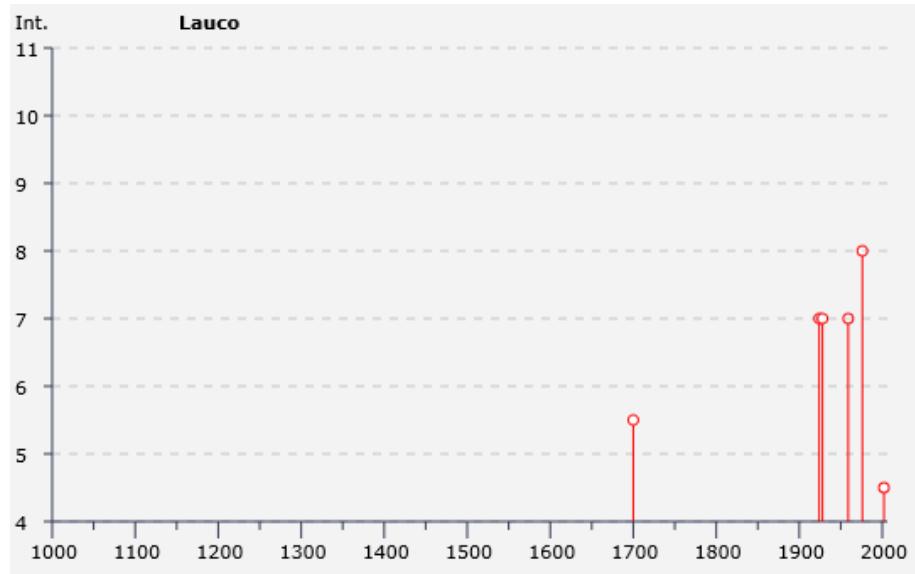


Figura 3: Storia sismica di Lauco (DBMI, 2011).

La tabella 1 e la figura 3 evidenziano che le massime intensità registrate al sito risultano pari a 8 gradi su MCS riferito all'evento del 6 Maggio 1976 con epicentro in Friuli (Prealpi Friulane). Il Database Macroismico è utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI11 (A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>).

Da questo catalogo sono stati evidenziati alcuni terremoti avvenuti a partire dall'anno 1000 d.C. con $Mw > 5$.

- 25 Gennaio 1348: evento con epicentro in Carinzia (“*Terremoto di Villaco*”) e con Mw di $7,02 \pm 0,18$ e intensità massima di grado 9 sulla scala Mercalli;
- 6 Settembre 1403: evento con epicentro a Cividale del Friuli e con Mw di $5,57 \pm 0,34$;
- 26 Marzo 1511: evento con epicentro in Slovenia (“*Terremoto di Idrija*”) e con Mw di $6,98 \pm 0,17$ e intensità massima di grado 8 sulla scala Mercalli;
- 12 Luglio 1514: evento con epicentro a Gemona del Friuli e con Mw di $5,14 \pm 0,34$;
- 27 Giugno 1523: evento con epicentro a Gemona del Friuli e con Mw di $5,14 \pm 0,34$;
- 4 Dicembre 1690: evento con epicentro in Carinzia e con Mw di $6,54 \pm 0,23$ e intensità massima di grado 6 - 7 sulla scala Mercalli;
- 28 Luglio 1700: evento con epicentro a Raveo (“*Terremoto di Raveo*”) e con Mw di $5,14 \pm 0,34$;
- 10 Luglio 1776: evento con epicentro a Tramonti e con Mw di $5,78 \pm 0,38$;
- 20 Ottobre 1788: evento con epicentro a Tolmezzo e con Mw di $5,14 \pm 0,67$;
- 30 Giugno 1794: evento con epicentro nelle Prealpi Carniche e con Mw di $5,33 \pm 0,50$;
- 19 Febbraio 1853: evento con epicentro a Moggio Udinese e con Mw di $5,14 \pm 0,34$;
- 29 Giugno 1873: evento con epicentro nel Bellunese e con Mw di $6,32 \pm 0,11$;
- 13 Ottobre 1889: evento con epicentro a Tolmezzo e con Mw di $5,14 \pm 0,34$.

In figura 4 è riportata la distribuzione degli epicentri dei terremoti avvenuti in Veneto orientale, Friuli e Slovenia fra il 238 e il 1984 di intensità maggiore o uguale al VI grado MCS e cioè tali da provocare danno.

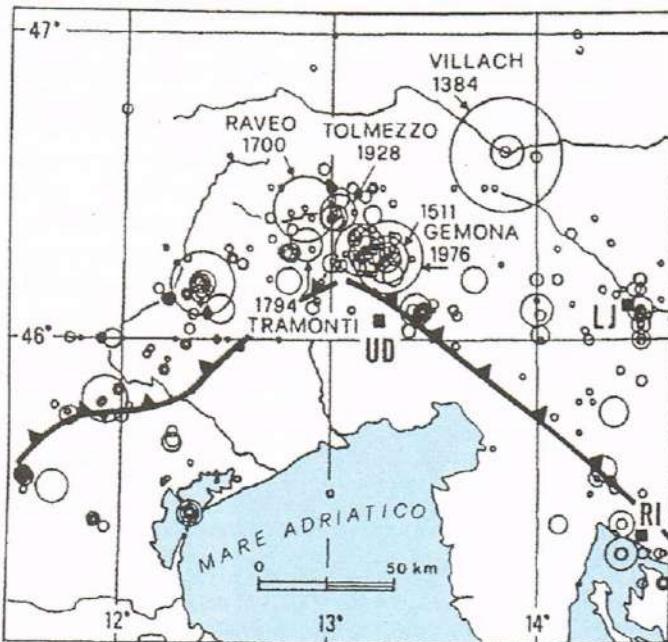


Figura 4: Mappa degli epicentri con lo maggiore o uguale a VI MCS nel periodo 238-1984 (a cura di: Vai G.B., Venturini C., Carulli G.B., Zanferrari A. 2002)

Essi interessano quasi esclusivamente la fascia pedemontana, mentre la pianura e la regione montuosa settentrionale della Regione risultano aver sperimentato solo sismicità minore, se si escludono i due terremoti del 1348 e del 1690 avvenuti nell'area di Villach. Il massimo della sismicità è concentrato nella zona di Gemona che appartiene ad un fascio strutturale localizzato in corrispondenza del contatto fra strutture alpine e dinariche.

Sulla base della distribuzione degli epicentri e delle tipologie dei meccanismi focali, l'area delle Alpi Carniche su cui si estende il territorio amministrativo di Lauco è fonte di terremoti con meccanismo inverso, presentando in genere piani a medio – basso angolo orientati ENE-WSW. Gli assi di maggiore compressione sono orientati attorno a NW-SE. Le magnitudo registrate risultano sensibilmente inferiori a quelle delle Alpi Giulie (Zanferrari et al. 2013) e risultano concentrate entro i primi 15 km di profondità, come si può notare dalla figura 5, dove lo schema strutturale sovrapposto mette in luce la fascia sismicamente attiva compresa fra il fronte sudalpino e la Linea Fella-Sava a carattere principalmente trascorrente destro.

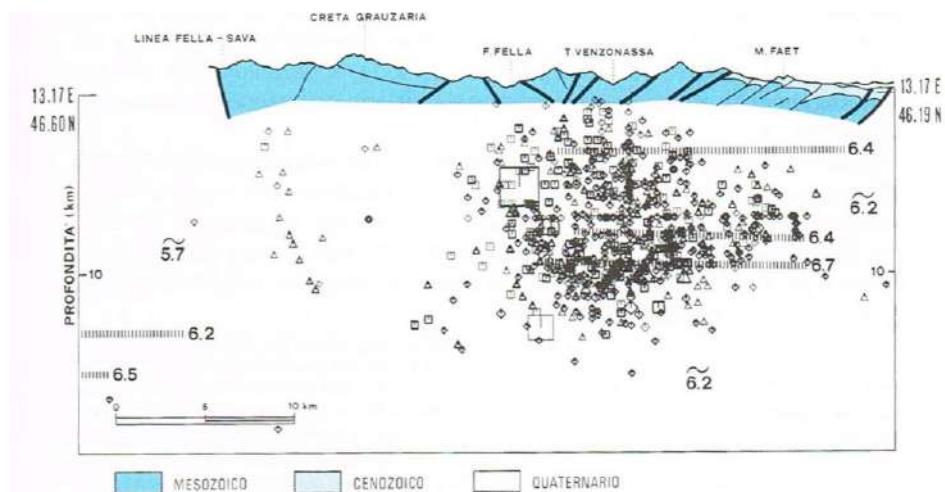


Figura 5: Sezione verticale orientata N-S lungo il settore friulano centrale. Sono indicati i principali ipocentri del periodo 1976-1992 (modif. e interg. da Carulli et al., 1990, a cura di: Vai G.B., Venturini C., Carulli G.B., Zanferrari A. 2002)

La zonazione sismica del territorio nazionale, che identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da I.N.G.V. (2003), attribuisce l'ambito comunale di Lauco alla zona sismogenetica 905 (fig. 6), caratterizzata da strutture a pieghe sud-vergenti del Sudalpino orientale e faglie inverse associate (Zanferrari et al., 1982; Slejko et al., 1989; Valsenise e Pantosti, 2001; Peruzza et al., 2002; Galadini et al., 2002) e, nelle aree ad est del confine friulano, da faglie trascorrenti destre con direzione NW – SE (trend dinarico) (es. Bernardis et al., 2000; Bajc et al., 2001; Vrabec, 2001).

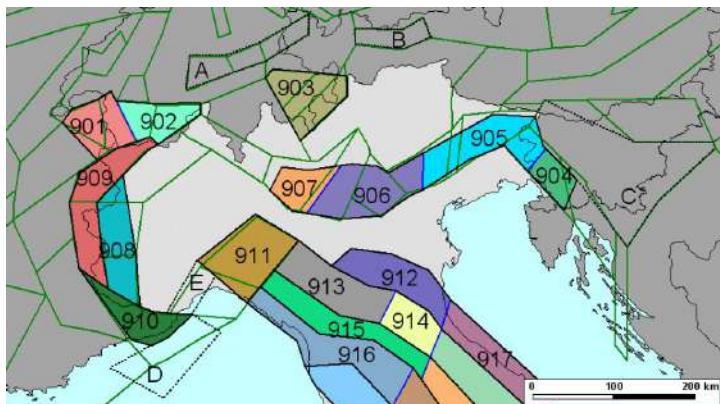


Figura 6: Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)

La zona 905 comprende tutta la fascia prealpina veneto – friulana dalla faglia Schio – Vicenza fino al confine italo – sloveno. In generale la zona 905 si caratterizza per una sismicità di grado superiore sia per frequenza che per magnitudo degli eventi rispetto alle aree limitrofe del Sudalpino a causa del movimento della placca Adriatica verso NW contro la zolla Europea sotto l'effetto della spinta della zolla Africana. Il movimento tuttora in atto ha provocato un sensibile raccorciamento ed ispessimento crostale, in particolare nell'area friulana, con formazione di faglie subverticali e sovrascorimenti a basso angolo con piani immergenti generalmente a Nord e con direzione E – W.

Il risultato di questi movimenti è l'orogenesi Alpina, che in questo settore delle Alpi Carniche si è manifestata nel Cretacico superiore tramite l'evento dinarico *fase mesoalpina* (Paleogene), con la formazione di sovrascorimenti WSW – vergenti e direzione degli sforzi attorno a N60° - 80°, e quindi durante la *fase neoalpina*, a partire dall'Oligocene Superiore (Chattiano) fino al Quaternario. Quest'ultima, i cui sforzi principali hanno oscillato tra NW – SE e NNW – SSE, ha rideformato con diversa intensità le preesistenti unità dinariche, suddividendole in unità minori, o accorpandone più unità.

Facendo riferimento alle “Note illustrative della Carta geologica d’Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 031 Ampezzo”, ovvero, in parentesi, al *Progetto Ithaca* (Italy HAzard from CApable faults), le più importanti discontinuità riconosciute nel comune di Lauco, da nord verso sud, sono le seguenti:

- **S - Linee di Sauris:** Formano un serrato fascio di scorrimenti sud-vergenti a dare l'elemento tettonico più importante e conosciuto delle Alpi Carniche. Tali scorrimenti, il più continuo dei quali attraversa l'intero Foglio 031 Ampezzo, immergono verso N, o NO con angoli di inclinazione generalmente compresi fra 10° e 45°. La loro azione ha provocato la sovrapposizione delle successioni Permiano superiore e Triassica inferiore sulle unità del Carnico. Svariate scaglie tettoniche spesse da poche decine a svariate centinaia di metri si interpongono per estesi tratti fra gli scorrimenti principali. Ad est di Ampezzo tali scaglie sono costituite da lembi riferibili alla “Dolomia Cassiana”. Le Linee di Sauris sono concentrate nel settore più settentrionale del territorio comunale di Lauco e corrono con andamento sinuoso da est a ovest lungo i fianchi meridionali dei monti Dauda, Arvensis e Cucasit.
- **T - Linee del Torrente Chiarzò:** Sono rappresentate da un fascio di faglie subverticali orientate N140° - 150°E e dislocano le Linee di Sauris (S) con rigetti trascorrenti destri di 2 km, distorcendo e frammentando al fronte dello scorrimento la successione Carnica, che mostra un riassetto secondo la

direzione N – S. A questa famiglia di faglie si può associare la *Linea del Col Gentile* (Progetto Ithaca), esterna al territorio comunale di Lauco che presenta un andamento N140°E.

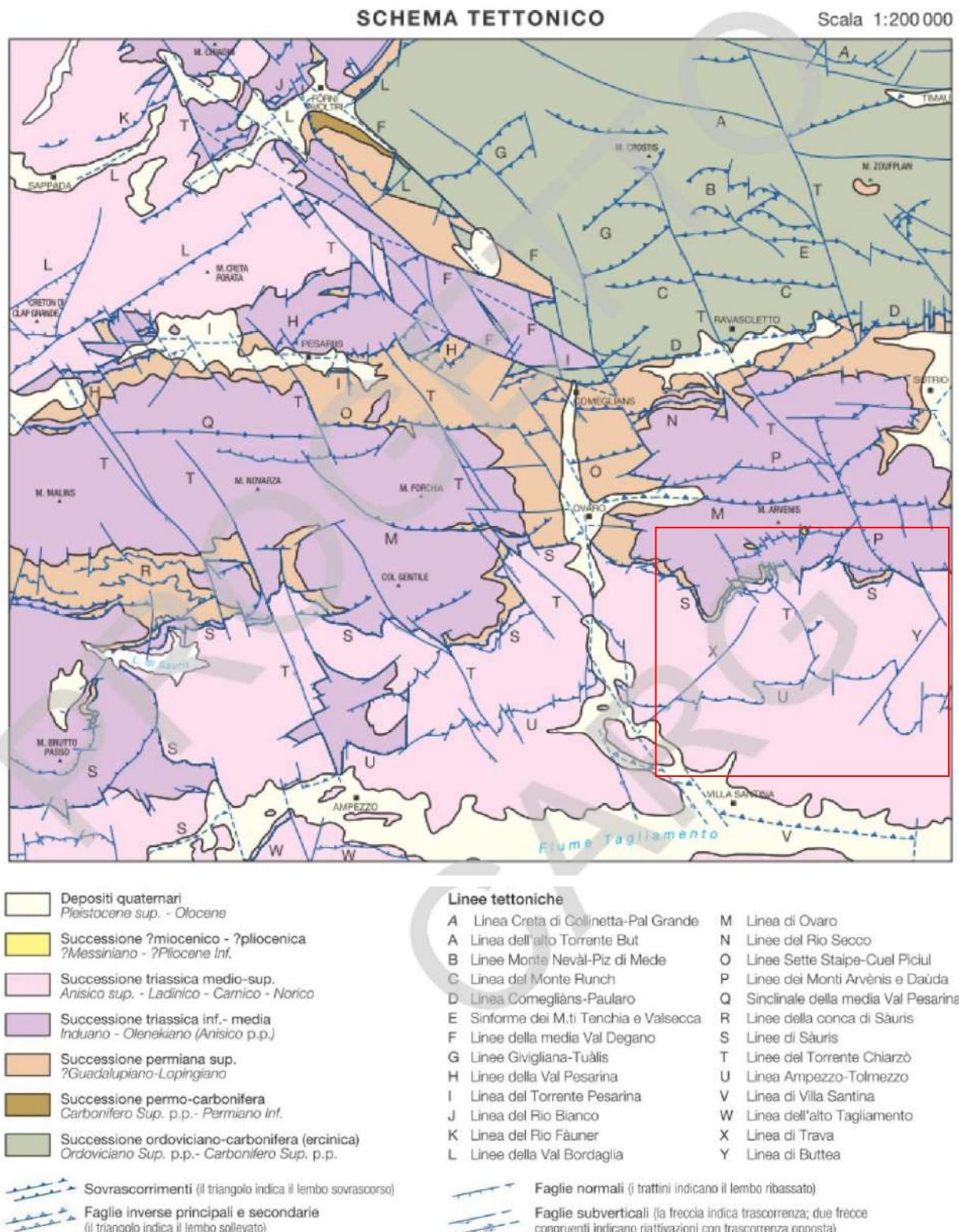


Figura 7: Schema tettonico semplificato del Foglio 031 Ampezzo (estratto da "Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:200.000" Fig. 56, pag. 160). Nel rettangolo rosso è indicato sommariamente il territorio di Lauco.

- **X - Linea di Trava:** Discontinuità tettonica inquadrabile come paleofaglia NE – SO attivata nel Carnico inf. e delimitante un truogolo in rapido approfondimento. In esso il tasso di sedimentazione dei depositi lagunari, ora ascritti alla Formazione della Val Degano, ha superato di oltre 5 volte quello delle aree limitrofe. A seguito delle compressioni neoalpine si è quindi riattivata come trascorrente;
- **Y - Linea di Buttea:** Trattasi di una paleofaglia con caratteristiche simili alla Linea di Trava. Insieme alle Linee di Sezza e But-Chiarsò (master fault) poste più a est, formano un sistema di faglie sinsedimentarie orientato NE – SO che ha condizionato l'evoluzione del settore durante il Carnico;
- **U - Linea Ampezzo - Tolmezzo:** E' uno scorrimento associato a strutture minori vicarianti non ben individuabile sul terreno a causa delle diffuse coperture quaternarie. Si estende in pianta per 19 km e corrisponde alla *Linea Monte Tinisa – Vinaio* di Sellì, in Braga *et alii* (1971). Accavalla i carbonati massicci del gruppo del M. Siera sulle unità carniche, o si sviluppa all'interno di queste. I singoli rigetti possono raggiungere 400 m, mentre le direzioni di scorrimento, variabili da N90°E a N60°E, possono ruotare disponendosi N-S a causa di torsioni indotte da tardive trascorrenze sinistre delle linee del T. Chiarzò. Le immersioni della linea, regolata da geometrie a gradonata (*ramp and flat*), presentano angoli molto variabili con massimi attorno a 50°;
- **V - Linea di Villa Santina:** E' identificata da uno scorrimento immergente a N di 20° - 30° (Frascari&Vai, 1981) che porta la "Dolomia Cassiana" ad accavallarsi sul *membro a gessi e dolomie grigie* della Formazione di Raibl. Tale discontinuità nel Foglio 031 Ampezzo non è visibile perché coperta dalle alluvioni del fondovalle. Essa presenta uno sviluppo planimetrico di circa 9 km, proseguendo a est nel Foglio 032 Tolmezzo.

Va sottolineato che le discontinuità tettoniche del Comune di Lauco sopra elencate, allo stato attuale delle conoscenze, nel "Progetto Ithaca" non sono considerate come "attive", né "attive e capaci".

3 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Processi glaciali e di versante

Dal punto di vista morfologico, i ghiacciai sono stati un agente determinante nella conformazione del paesaggio dell'altopiano di Lauco, sia per l'estensione, che per l'intensità dei processi che si sono verificati.

Nell'area hanno agito due masse glaciali:

- Una principale con direzione di movimento N – S in quella che oggi è la Val Degano, ad interessare la porzione più occidentale del territorio comunale;
- Una secondaria, che traeva origine dai circhi glaciali impostati sui versanti meridionali dei monti Arvenis, Claupa e Cucasit, si spostava ancora verso Sud lungo l'attuale porzione orientale dell'altopiano di Lauco, dove ha dato origine alle valli glaciali dei torrenti Picchions e Vinadia. Solo in un secondo momento alla scomparsa dei ghiacciai, i due corsi d'acqua hanno profondamente modificato il fondovalle, in origine piatto, determinando con una profonda escavazione fluviale le attuali forre profonde varie centinaia di metri.

Entrambe le lingue glaciali ricordate confluivano nel ghiacciaio del Tagliamento che scorreva con direzione E – W immediatamente a sud dell'attuale territorio comunale di Lauco.

A testimonianza dell'intenso modellamento glaciale verificatosi nel territorio di Lauco si possono ricordare le numerose culminazioni arrotondate dei monti Ronchias, Falchia e Vas, mentre nella porzione occidentale del comune permangono gli ampi terrazzi glaciali di Trava e Avaglio, elevati di alcune centinaia di metri sul fondovalle.

Il risultato della decompressione dei versanti subita dalla scomparsa dei ghiacciai e la successiva erosione fluviale nel territorio comunale hanno provocato l'innesto di locali instabilità delle pendici più acclivi. Il fenomeno si è verificato in particolar modo lungo le scarpate sub-verticali che bordano a valle i terrazzi di Lauco, di Trava e di Avaglio, con crolli di blocchi lapidei che raggiungono il fondovalle. Altrove esso si è manifestato in corrispondenza di pendici su cui affiorano calcari e marne finemente stratificati associati a tufiti di epoca Raibiana, come accade immediatamente a nord di

Vinaio, dove una vasta porzione del versante sud-orientale del M. Marsins è coinvolto in un esteso movimento franoso.

Ai fini della presente le frazioni comunali coinvolte in tutto, o in parte dalle instabilità geostatiche ricordate si limitano al già ricordato centro abitato di Vinaio, dove esiste un fenomeno franoso con pericolosità molto elevata (P4, PAI fiume Tagliamento) che coinvolge un unico edificio esterno all'area urbana indagata (Fig. 8), ed alla borgata Sot Crèz (Fig. 9), nei pressi di Villa Santina, dove i crolli dalle pareti rocciose della Dolomia dello Schlern coinvolgono l'intera porzione urbana con pericolosità di grado variabile da elevata (P3), a molto elevata (P4).

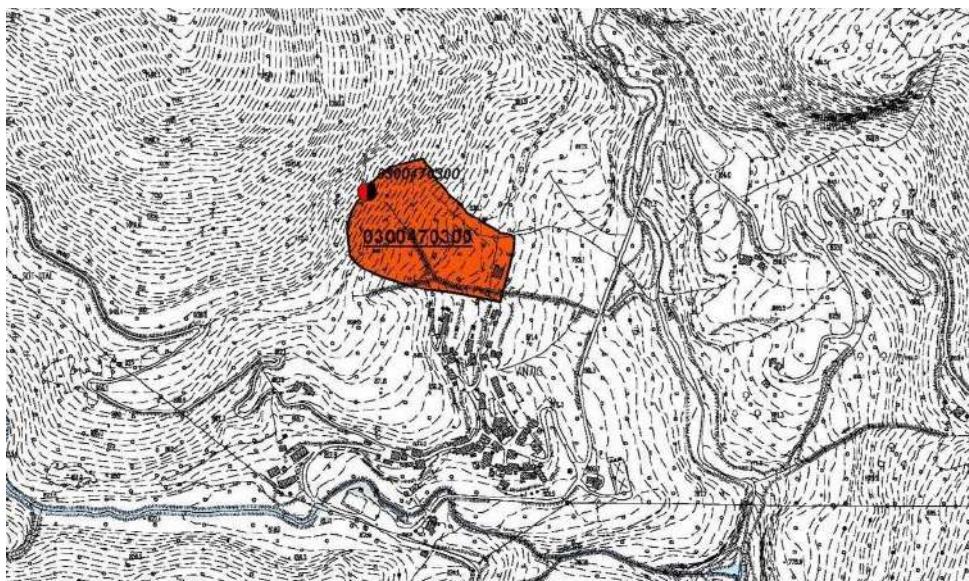


Fig. 8: Estratto dalla Carta di pericolosità geologica nella frazione di Vinaio (Tav. 1 di 3 del Comune di Lauco, non alla scala, PAI fiume Tagliamento '12)

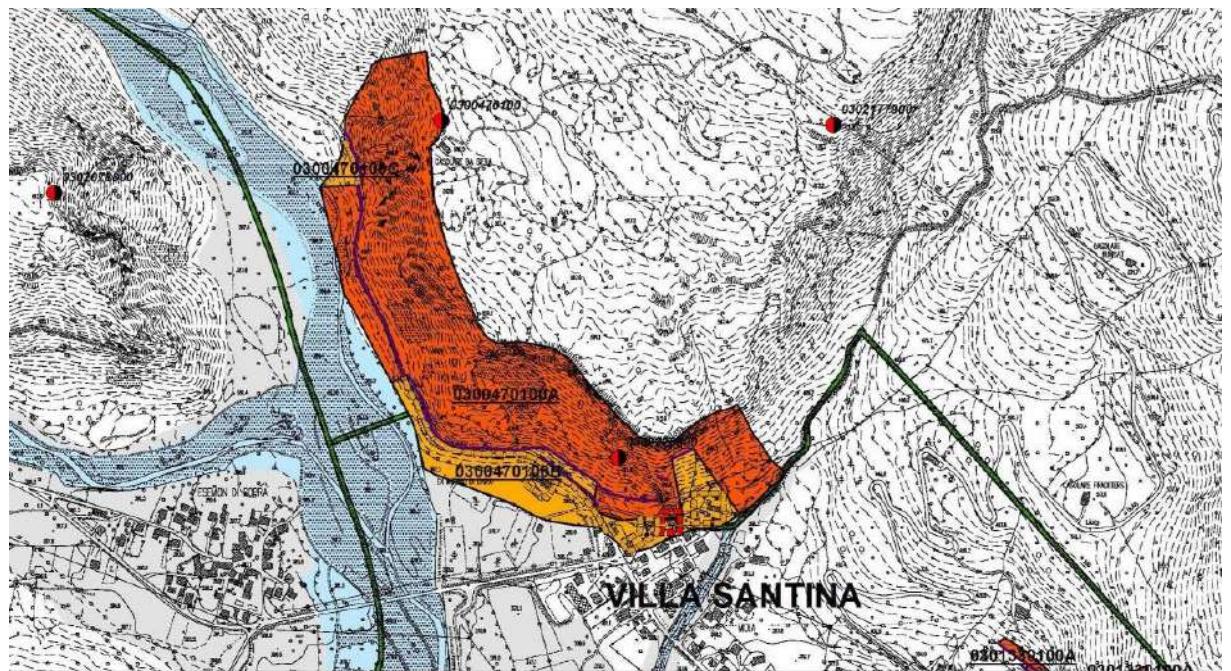


Fig. 9: Estratto dalla Carta di pericolosità geologica nella frazione di Sot Crèz. (Tav. 2 di 3 del Comune di Lauco, non alla scala, PAI fiume Tagliamento '12)

3.2 Processi fluviali

Alla scomparsa dei ghiacciai, l'agente morfologico più importante che ha agito in zona è dato dall'erosione fluviale, che nel caso dei torrenti Vinadia e Picchions ha determinato una profonda sovraescavazione dell'altopiano. Al margine orientale del territorio comunale a partire da Dolacis e Buttea i due corsi d'acqua hanno infatti approfondito il proprio corso per oltre 200 m entro litotipi carbonatici sia stratificati, che massicci. Ciò ha determinato la formazione di forre e di orridi delimitati da pareti sub-verticale in roccia lungo linee disgiuntive dove la resistenza della roccia risultava evidentemente minore.

Il reticolo idrografico è caratterizzato ovunque da uno stadio giovanile comprovato sia dalla pendenza talora elevata dei collettori idraulici principali e secondari, sia dalla frequenza dei fenomeni di erosione regressiva delle aste drenanti.

Il reticolo idrografico più importante della zona è rappresentato dal sottobacino del Torrente Vinadia, affluente sinistro del F. Tagliamento e solo nella porzione sud – occidentale del comune sono presenti corsi d'acqua minori che riversano i propri apporti liquidi e solidi nel T. Degano e nel F. Tagliamento. Tra questi i rii Sossagnis, di Tamara, Moia e Radime. Questi ultimi sono caratterizzati da portate minime e da bacini idrografici variabili da 1 a 3 km².

Caratteristica e spettacolare è la cascata che il Rio Radime forma a seguito di intense precipitazioni piovose nella sua parte finale superando l'elevata parete subverticale che sovrasta Villa Santina.

Diversamente, il T. Vinadia sviluppa il proprio bacino su circa 28 km² e si suddivide verso monte nei due rami del T. Picchions e del Rio Chiantone. A valle della confluenza del T. Picchions il corso d'acqua è profondamente incassato scorrendo entro una forra le cui pareti subverticali superano i 200 m di altezza. I tre collettori idraulici sono a deflusso perenne ed esercitano una forte azione erosiva sui terreni lapidei attraversati.

Il regime del Torrente Vinadia nel tratto terminale è stato profondamente modificato dall'inserimento di una presa che capta durante le magre quasi completamente le acque, derivandole in destra con una condotta di 3 m di diametro per una portata di 4 mc/s (Stefanini S. '82).

Al margine occidentale il territorio comunale si esaurisce invece nel fondovalle sovralluvionato del T. Degano, importante affluente sinistro del F. Tagliamento che scorre entro un esteso alveo e che dà luogo a fenomeni di piena considerevoli, con eventi esondativi (pericolosità elevata, P3) che possono interessare la piana posta a valle di Chiassis di Sotto.

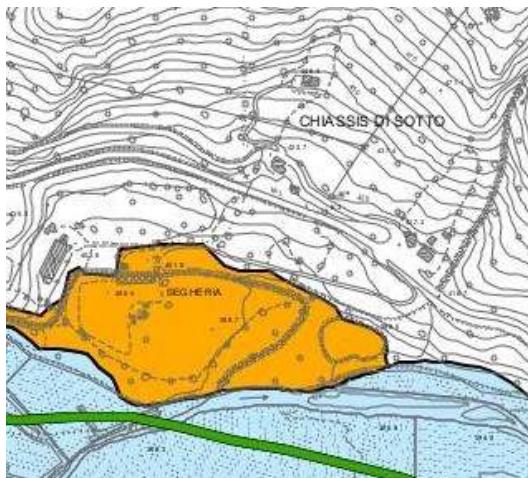


Fig. 10: Pericolosità idraulica località Chiassis di Sotto. (Tav. 17 non alla scala, PAI fiume Tagliamento '12)

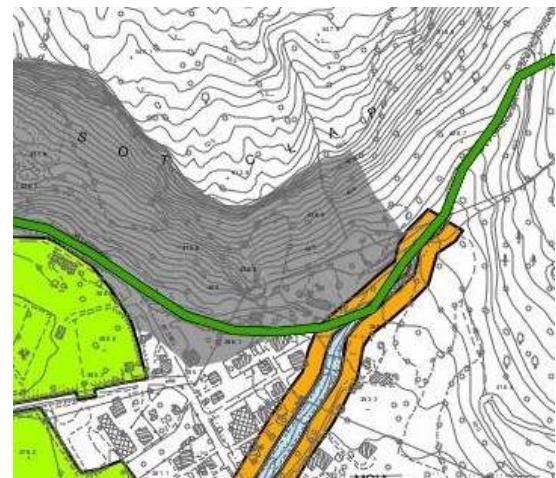


Fig. 11: Pericolosità idraulica in località Sot Crèz. (Tav. 17 non alla scala, PAI fiume Tagliamento '12)

Analogamente, in località Sot Crèz (Fig. 11) è definita una fascia di rispetto in destra e sinistra idrografica del Rio Moia con grado di pericolosità idraulica elevata (P3).

Negli elaborati del PAI Fiume Tagliamento sono infine segnalate due ulteriori aree paludose nei dintorni di Trava ed Allegnidis, di cui si riportano gli estratti rispettivamente alle figure 12 e 13:

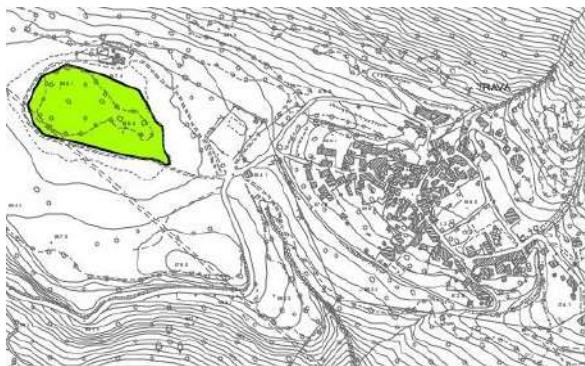


Fig. 12: Pericolosità idraulica località Trava. (Tav. 17 non alla scala, PAI fiume Tagliamento '12)

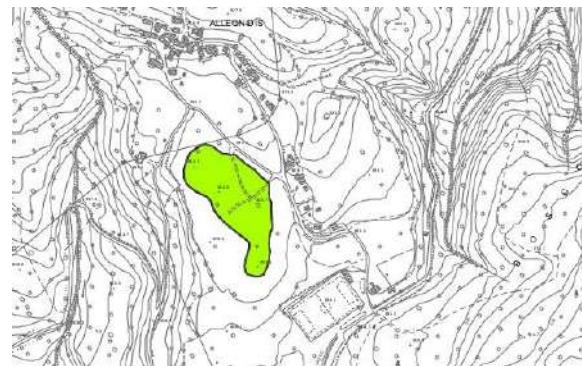


Fig. 13: Pericolosità idraulica in località Allegnidis. (Tav. 19 non alla scala, PAI fiume Tagliamento '12)

Entrambe le aree sono a vocazione agricola e sono cartografate negli elaborati del PAI Fiume Tagliamento con pericolosità idraulica moderata (P1), perché soggette al ristagno d'acqua in concomitanza con intensi eventi piovosi.

Per quanto riguarda i dati relativi alla falda freatica, non essendo presenti nel territorio comunale pozzi atti alla sua misura, si possono fare solo alcune considerazioni relative alla permeabilità dei materiali di copertura sciolti e lapidei. I primi, di natura prevalentemente morenica ed eluvio-colluviale risultano da poco, a mediamente permeabili, mentre il substrato rigido risulta permeabile per fessurazione.

3.3 Caratteristiche stratigrafiche e litologiche

3.3.1 Basamento lapideo

Nel territorio comunale di Lauco il basamento roccioso è costituito da rocce di natura prevalentemente carbonatica di età compresa fra il Triassico Superiore (Carnico Superiore) ed il Cretacico Inferiore (Barremiano).

Facendo riferimento alle *Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 del Foglio 049 "Gemona del Friuli"* (Progetto CARG), le formazioni riconosciute in affioramento nelle aree indagate si riassumono come di seguito:

- La *Formazione a Bellerophon* (Permico Superiore) rappresenta l'unità litostratigrafica più antica ed è costituita da un membro inferiore a gessi laminati e dolomie nere, sostituiti nel membro superiore da marne, calcari dolomitici grigi o nerastri, ben stratificati, con intercalazioni irregolari di dolomie marnose nocciola e brecce dolomitiche. Nel Comune di Lauco affiorano solo lungo una stretta fascia che attraversa i versanti meridionali dei monti Arvens e Claupa ed è interessata dal sovrascorrimento noto come *Linea di Sauris*.
- La *Formazione di Werfen* (Triassico Inferiore, Scitico) è formata da una numerosa serie di membri distinti in base alla prevalenza dei termini terrigeni, o chimici. I più importanti di questi, dato il loro spessore elevato, sono dati dal basso verso l'alto dal *Membro di Mazzin* (80 m di calcari scuri in strati decimetrici), dal *Membro di Siusi* (125 m di calcari micritici grigi e nocciola), dal *Membro di Campil* (200 m di siltiti rosse) e dal *Membro di Cencenighe* (110 – 250 m di dolomie alternate a peliti varicolori). La Formazione di Werfen affiora al tetto della precedente sui versanti meridionali dei monti Cucasit, Claupa, Arvens e Punta Bella Mont nel settore più settentrionale del territorio comunale.
- La *Formazione del Serla* (Triassico Medio, Anisico) è presente in zona con l'unità informale denominata *Membro dell'Arvensis* in forma di pelmicriti, calcari dolomitici e dolomicriti stromatolitiche laminate spesso vacuolari, organizzate in strati di 5 – 20 cm. Lo spessore della

subunità può raggiungere i 300 m e affiora solo sulle pendici meridionali dei monti Arvensi e Claupa.

- La *Dolomia Cassiana* (Triassico Superiore, Carnico Inferiore), costituisce il substrato lapideo più profondo dei centri abitati di Avaglio Buttea e Lauco, mentre affiora diffusamente in località Sot Crèz, nella forra del T. Vinadia e lungo le pareti che separano l'altopiano di Lauco dal fondovalle. La Formazione è una tipica successione carbonatica di piattaforma con dolomie grigie, calcari dolomitici chiari a stratificazione indistinta, ma anche stratificati. Lo spessore dell'unità raggiunge i 350 m, mentre i versanti risultano quasi ovunque verticali o subverticali, con scarsa vegetazione.
- Il *Gruppo di Raibl* (Triassico Superiore, Carnico) è l'unità che nel Comune di Lauco si rileva con maggiore frequenza. In zona è caratterizzata da una sensibile varietà litologica, pertanto era stata suddivisa in zona in tre facies distinte, che a seguito di studi successivi sono state discriminate in altrettante unità. Essenzialmente il Gruppo di Raibl, dai litotipi più antichi a quelli più recenti, è stato così suddiviso:

Gruppo di Raibl	a) Calcari scuri stratificati	Formazione della Val Degano DEGb
	b) Calcari neri lastroidi	Formazione della Val Degano DEGc
	c) Arenarie quarzose	Formazione di Dürrenstein DURa

Tab. 2: Suddivisione del Gruppo di Raibl secondo gli studi più recenti

- *Formazione della Val Degano*

- a) *Calcari scuri stratificati* più o meno dolomitici, compatti, in strati da 30 a 80 cm, con qualche interstrato marnoso più sottile. Questa unità affiora in quasi tutte le località indagate costituendo il tetto dell'altopiano di Lauco e dei principali terrazzi morfologici esistenti nel territorio comunale. Ai fini geotecnici risultano sufficientemente stabili, qualora le giaciture assumano deboli angoli di inclinazione.
- b) *Calcari neri lastroidi* talora dolomitici, fittamente laminati, fissili, cui si intercalano straterelli di marne fogliettate nere. Gli strati risultano quasi ovunque contorti, fratturati e disarticolati, dando luogo a pendii instabili. Se ne sconsiglia per tale ragione l'utilizzo quali terreni di fondazione per qualsiasi tipo di opera (Lenarduzzi G. '97). Affiorano al M. Falchia, a nord di Vinaio e sul versante meridionale del M. Vas a nord di Buttea. Alla base si rinvengono *tufiti sedimentarie* verdi a stratificazione fine, o in banchi da metri a plurimetrici. Risultano spesso microlamine e fissili, mentre si rinvengono locali intercalazioni di tufi saldati in strati di 5 – 20 cm. Le tufiti si rinvengono nei dintorni di Trava e sulla strada comunale che dall'abitato di Vinaio conduce a quello di Val di Lauco.

- *Formazione di Dürrenstein*

- c) *Arenarie quarzose* grossolane rosse, grigie o violette in strati di pochi cm o in banchi di pochi metri. Detti litotipi sono intercalati irregolarmente a siltiti marnose, calcari e calcari dolomitici. Tali litotipi presentano in generale buone caratteristiche geomeccaniche e danno luogo a pendii dolci e in genere stabili. Affiorano diffusamente lungo la strada provinciale che da Villa Santina sale a Lauco e fra gli abitati di Allegnidis ed Avaglio e nel tratto di versante sottostante la strada Trava – Avaglio.

3.3.2 Successione continentale Quaternaria

Fra i depositi sciolti del Quaternario affioranti nelle zone di indagate, comprendendo gli accumuli attuali di origine antropica, fanno inoltre parte le seguenti unità:

- *Depositi morenici* (Pleistocene Superiore): l'unità comprende i depositi glaciali e fluvioglaciali dell'ultimo massimo glaciale (LGM) attribuiti genericamente al glaciale würmiano del settore vallivo del Tagliamento. L'unità è costituita da depositi caratterizzati da clasti poligenici. La facies

prevalente rinvenibile nel Comune di Lauco è costituita da *diamicton* caotico eterogeneo con trovanti (*til* indifferenziato). I ciottoli sono subangolosi-subarrotondati, levigati, sfaccettati e striati, con dimensioni medie di 3 – 10 cm e massime attorno ai 2 m. La matrice è sabbioso-limosa da beige a marrone scuro. Il deposito si presenta generalmente da poco a mediamente addensato con tessitura matrice-sostenuta, mentre lo spessore varia da metrico a decametrico. L'ambiente deposizionale è subglaciale, marginoglaciale e di contatto glaciale. Nel territorio indagato presentano una distribuzione molto ampia, soprattutto sui monti Falchia e Marsins e nella fascia compresa fra questi e i monti Cucasit e Claupa. Si rinvengono con frequenza anche in corrispondenza degli abitati di Lauco, Trava ed Allegnidis.

- *Depositi alluvionali* (Olocene – Attuale): Tali depositi sono costituiti da sabbie, ghiaie e ciottoli con frequenti massi. Geneticamente derivano in parte dall'erosione dei litotipi affioranti nei bacini idrografici ed in parte dal rimaneggiamento dei depositi di origine glaciale. Le concentrazioni più importanti di questi depositi, anche dal punto di vista degli spessori, si rilevano nell'alveo del Torrente Degano, mentre lembi molto limitati sono localizzati lungo i principali corsi d'acqua.
- *Detrito di falda* (Olocene - Attuale): Depositi detritici si rinvengono diffusamente alla base di quasi tutti i versanti montuosi dell'area. La granulometria dei clasti è molto diversificata, con netta prevalenza delle frazioni grossolane (ciottoli, blocchi e massi subordinati). Le falde detritiche più estese coronano alla base i versanti meridionali dei monti Falchia, Cucasit e Claupa, a causa del notevole grado di fratturazione presente nei litotipi affioranti per l'emergenza di importanti disturbi tettonici. Ai fini della presente, nelle aree indagate lembi detritici grossolani carbonatici sono presenti in località Sot Crèz e a monte della borgata di Assais.
- *Unità ubiquitarie* (Pleistocene superiore – Olocene): sono raccolte in questa unità litofacies affioranti nelle aree indagate e riferibili alle coltri eluvio-colluviali e ai depositi colluviali.

Le coltri eluvio-colluviali ed i depositi colluviali, (UINb₂) sono il prodotto della degradazione superficiale del substrato pre-quaternario e dei depositi quaternari e sono date da depositi a tessitura matrice-sostenuta, con clasti eterometrici da angolosi a subarrotondati, in matrice limo-argillosa. Lo spessore dei materiali è generalmente di pochi metri e comunque inferiore alla decina di metri. Di questi depositi si rilevano in plaghe discontinue in vari settori del territorio comunale di Lauco, in particolare nella frazione di Assais.

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per il territorio comunale di Lauco interessato dallo studio di MS di I Livello è stata effettuata una approfondita ricerca dei dati geologici, geotecnici e geofisici attraverso le seguenti attività:

- Ricerca presso l'Ufficio tecnico comunale di tutti i dati puntuali relativi ad indagini geognostiche indicate alle pratiche edilizie relative a interventi diretti ed a piani attuativi;
- Consultazione delle Banche Dati della Provincia di Udine e della Regione Friuli Venezia Giulia;
- Esecuzione di prove geofisiche di tipo sismico della tipologia HVSR a stazione singola.

Le indagini reperite tramite l'analisi dei dati bibliografici sono state codificate e archiviate rispettando la legenda indicata negli in "Standard regionali per gli studi di MS" con riferimento agli "Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica (ICMS)" a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile (Ver 3.0).

Si tratta di 15 prove di tipo geofisico (inserite sia come indagini lineari, n. 11 SEV, sia come indagini puntuali, n. 4 sismiche a rifrazione) a cui sono state aggiunte 19 prove HVSR realizzate ex-novo, atte alla definizione degli spessori delle coperture e del modello del sottosuolo.

Per la loro archiviazione è stato utilizzato il software SoftMS versione 3, messo a disposizione dal Dipartimento della Protezione Civile di Roma.

Indagini puntuale pregresse

NOME ORIGINALE	BIBLIOGRAFIA	NOME SOFTMS	NOTE
Base 1 (Trava)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047P1SR1	Coperture = 4 m
Base 2 (Avaglio)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047P2SR2	Coperture < 2 m
Base 3 (Allegnidis)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047P3SR3	Coperture < 4,5 m
Base 4 (Lauco)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047P4SR4	Coperture < 3 m

Tab. 3: Elenco delle indagini pregresse (basi simiche a rifrazione) inserite in SoftMS – Lauco.

Indagini lineari pregresse

NOME ORIGINALE	BIBLIOGRAFIA	NOME SOFTMS
SEV 1 (Lauco)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047L1SEV1
SEV 2 (Lauco)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047L2SEV2
SEV 3 (Lauco)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047L3SEV3
SEV 4 (Lauco)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047L4SEV4
SEV 5 (Lauco)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047L5SEV5
SEV 6 (Allegnidis)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047L6SEV6
SEV 7 (Allegnidis)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047L7SEV7
SEV 8 (Vinaio)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047L8SEV8
SEV 9 (Avaglio)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047L9SEV9
SEV 10 (Trava)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047L10SEV10
SEV 11 (Trava)	Relazione geologica allegata al Piano Regolatore Generale Comunale, 1996	030047L11SEV11

Tab. 4: Elenco delle indagini pregresse (S.E.V.) inserite in SoftMS – Lauco.

Indagini HVSR

NOTE	NOME ORIGINALE	NOME SOFTMS	NOTE
TRAVA	HVSR1	030047P5HVSR5	Picco: 18.790
TRAVA	HVSR2	030047P6HVSR6	Picco: 8.348
TRAVA	HVSR3	030047P7HVSR7	Picco: 11.287
CHIASSIS	HVSR4	030047P8HVSR8	Picco: 8.848
AVAGLIO	HVSR5	030047P9HVSR9	Picco: 10.693
AVAGLIO	HVSR6	030047P10HVSR10	Picco: 18.790
LAUCO	HVSR7	030047P11HVSR11	Picco: 19.572
LAUCO	HVSR8	030047P12HVSR12	Picco: 19.76
LAUCO	HVSR9	030047P13HVSR13	Picco: 18.228
LAUCO	HVSR10	030047P14HVSR14	Picco: 11.287
CHIAUIANS	HVSR11	030047P15HVSR15	Picco: 10.099

ALLEGNIDIS	HVSR12	030047P16HVSR16	Picco: 4.002
ALLEGNIDIS	HVSR13	030047P17HVSR17	Picco: 3.502
ALLEGNIDIS	HVSR14	030047P18HVSR18	Picco: 5.784
VINAIO	HVSR15	030047P19HVSR19	Picco: 16.227
VINAIO	HVSR16	030047P20HVSR20	Picco: 5.065
PLUGNA	HVSR17	030047P21HVSR21	Picco: 23.543
BUTTEA	HVSR18	030047P22HVSR22	Picco: 19.572
VAL DI LAUCO	HVSR19	030047P23HVSR23	Picco: 3.158

Tab. 5: Elenco delle indagini di nuova acquisizione inserite in SoftMS – Lauco.

L'ubicazione delle nuove indagini sismiche è stata stabilita secondo il criterio della migliore copertura areale possibile, a partire dai dati pregressi di natura geologica, geotecnica e geofisica in possesso, ovvero sulla base di considerazioni di carattere litologico-stratigrafico.

4.1 Indagini pregresse secondo il metodo sismico a rifrazione

L'indagine bibliografia ha permesso di reperire i risultati di n. 4 indagini sismiche a rifrazione eseguite a Trava, Avaglio Allegnidis e Lauco (Tab. 3, da Lenarduzzi G. '96).

Senza distinzione, le prove effettuate hanno messo in luce l'esistenza di sottili coperture quaternarie (< 5 m) caratterizzate da velocità delle onde P comprese fra 300 e 400 m/s, impostate su basamento roccioso rigido con valori delle onde longitudinali variabili da 2500 m/s ad oltre 4500 m/s. Solo nell'abitato di Trava (base 1, tab. 3) da circa 4 m a 10 m di profondità si riscontra uno strato caratterizzato da velocità delle onde P di 1561 m/s, imputabile probabilmente alla presenza di litologie stratificate e fortemente fratturate.

4.2 Indagini pregresse secondo il metodo geoelettrico (S.E.V.)

Di questo tipo di prove ne sono state reperite undici, concentrate nei centri abitati di Lauco, Trava, Avaglio, Vinaio ed Allegnidis.

Per quanto riguarda il capoluogo comunale si dispone di n. 5 S.E.V. effettuati nella porzione meridionale e occidentale del centro abitato. Nel complesso evidenziano la presenza in zona di modestissime coperture quaternarie sciolte basso-resistive impostate su un basamento roccioso dotato di resistività che localmente superano i 6.000 Ohm*m. A questi valori elevati si associa la presenza di dolomie cristalline di scogliera (Formazione dello Schlern), ad assetto massivo o in grossi banchi. A questo dato fanno tuttavia da contrasto i valori scaturiti da una prova effettuata a nord del centro abitato, dove fino a 25 m di profondità non si riscontrano resistività superiori a 80 Ohm*m. Il fenomeno può essere spiegato con la presenza in superficie di alcuni metri di morene limo-argillose dotate di forte umidità a causa di diffusi fenomeni di ruscellamento diffuso, giacenti litotipi stratificati dati da arenarie quarzose varicolori intercalate irregolarmente a siltiti marnose, calcari e calcari dolomitici.

Nei restanti siti i dati risultano difficilmente interpretabili, in quanto non si notano sensibili variazioni di resistività con la profondità, o addirittura si manifestano frequentemente inversioni a partire dalla superficie verso il basso: valori che si discostano poco dai 100 Ohm*m a una ventina di metri di profondità a Allegnidis, Avaglio e Vinaio possono interpretarsi, nota la geologia dell'area, con la presenza di litotipi marnosi imbibiti d'acqua di percolazione.

4.3 Indagini geofisiche di tipo HVSR di nuova acquisizione, aspetti teorici

La tecnica di analisi del rumore ambientale, fu applicata per la prima volta negli anni '60 del secolo scorso, allorché i tremori ambientali furono interpretati come onde di volume superficiali, la cui velocità è prossima a quella delle onde S (Kanai & Tanaka, 1961).

Si deve a Nogoshi & Igarashi (1970) lo sviluppo degli studi relativi al rapporto fra le componenti spettrali orizzontali e verticali (H/V) del rumore ambientale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, o HVSR). Nella tecnica oggi comunemente utilizzata, nota anche come "metodo di Nakamura" (1989), si osserva che l'andamento dei rapporti spettrali in funzione della frequenza di vibrazione (funzione H/V) mostra dei massimi in corrispondenza delle frequenze di risonanza per le onde S generate da forti variazioni di velocità delle onde S presenti nel sottosuolo. Le vibrazioni ambientali o rumore sismico ambientale, o microtremore sono onde sismiche a bassa energia e ampiezze impercettibili all'uomo (10^{-4} - 10^{-2} mm), la cui origine è molteplice e dovuta sia a sorgenti naturali (onde oceaniche, perturbazioni atmosferiche, cicloni oceanici, con frequenze in genere < 1 Hz), che antropiche ("microtremori", con frequenze in genere fra 1 Hz e 100 Hz), quali ad esempio il traffico veicolare e l'attività industriale.

In generale, il campo di rumore sismico ambientale è costituito da molte e diverse fasi sismiche. Le onde superficiali, sebbene le onde di volume siano largamente presenti, gioca un ruolo determinante. Infatti la componente legata alle onde superficiali è quella che statisticamente mostra maggiore coerenza e persistenza e di fatto la componente di onde superficiali è quella che sperimentalmente risulta identificabile più facilmente. Le onde superficiali che compongono il rumore ambientale sono costituite sia da onde di Love, che di Rayleigh in proporzione variabile e mentre le loro velocità di propagazione dipendono dalle sole proprietà sismiche del sottosuolo, la combinazione dei diversi modi di vibrazione dipende sia dalla struttura del sottosuolo esaminato che dalle caratteristiche della sorgente.

In assenza di sorgenti controllate, il rumore sismico risulta quindi un fenomeno essenzialmente stocastico che richiede specifiche modalità di analisi sia teoriche, che sperimentali.

Praticamente, il metodo HVSR prevede l'esecuzione di misure di rumore ambientale mediante un sistema di acquisizione tri-direzionale su un intervallo di frequenza di interesse comprese usualmente fra 0,1 e 10 Hz. Le curve ottenute vengono quindi analizzate e interpretate alla luce dei criteri proposti nell'ambito del progetto SESAME (SESAME European project, 2005) (Romeo R.W.'07).

Dalla teoria, in presenza di due strati di cui uno superficiale e uno profondo con densità e velocità delle onde di taglio V_s sensibilmente differenti un'onda sismica che viaggia nel primo strato viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa i due strati. L'onda riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza d'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a:

$$f_r = V_s / 4H$$

Avendo gli edifici una propria frequenza di risonanza, gli effetti più negativi sull'integrità degli edifici in termini di accelerazione che la struttura sarà chiamata a sostenere, si hanno quando si verificano fenomeni di "doppia risonanza" suolo-struttura. La frequenza di risonanza di un edificio dipende principalmente dalla sua altezza e può essere calcolata approssimativamente attraverso la formula di Pratt:

$$\text{frequenza naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

Quando sussiste la corrispondenza fra la frequenza naturale dell'edificio e la frequenza fondamentale di risonanza del terreno vi è "doppia risonanza" con effetti potenzialmente gravosi per l'immobile:

$$\text{frequenza naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

Il legame fra frequenza di risonanza del terreno ed altezza critica degli edifici è invece sintetizzato nella tabella e nel grafico sotto riportati:

Frequenza di risonanza	Altezza critica degli edifici
1,0 – 2,0 Hz	➤ 30 m
2,0 – 3,5 Hz	15 – 30 m
3,5 – 7,0 Hz	5 – 15 m
➤ 7 hz	< 5 m

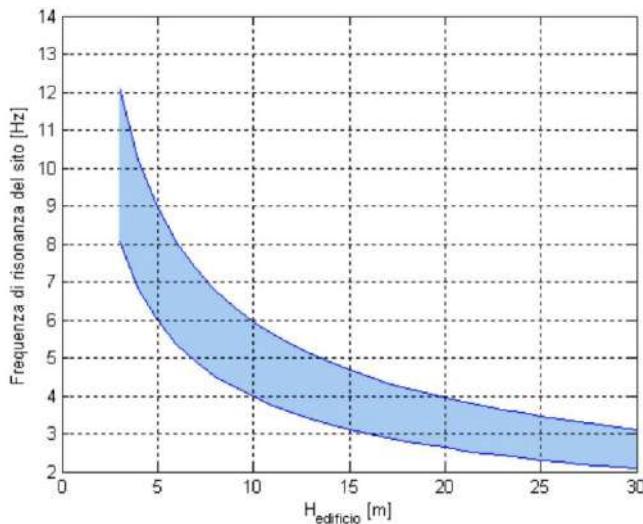


Fig. 15: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato. La zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza (da Masi et al.2007)

4.4 Questioni sensibili e limiti

Secondo gli ICMS (3.1.5.5), “la possibilità di interpretare i massimi della funzione H/V in termini di risonanza dello strato sedimentario dipende dalla validità delle assunzioni di base, ovvero:

1. Che il rumore sia generato da una molteplicità di sorgenti distribuite casualmente attorno al punto di misura;
2. Che la serie dei valori del rapporto spettrale abbia carattere stazionario;
3. Che gli eventuali massimi H/V siano quelli dedotti dal rumore sismico e non da interferenze spurie (rumore elettromagnetico di origine antropica, movimenti dello strumento di misura).

L'interpretazione delle curve H/V risulta agevole in condizioni di stratificazione piano-parallela e in presenza di contrasti di impedenza significativi alla base dello strato sedimentario. Il progressivo allontanamento da queste condizioni rende sempre più problematico l'utilizzo dei dati H/V per caratterizzare il sottosuolo a partire da modelli interpretativi semplici.

Per il metodo a stazione singola o dei rapporti spettrali H/V (“metodo di Nakamura”, o metodo HVSR) affinché la misura di rumore sia utilizzabile per l'applicazione a fini geognostici è necessario che (ICMS, 3.5.8.1.):

- La sensibilità dell'apparato di misura nel campo delle frequenze di interesse (solitamente 1 – 10 Hz) sia adeguata alla bassa entità del segnale;
- Venga garantito un campionamento statisticamente rappresentativo del campo medio di rumore;
- La misura sia effettuata in presenza di un campo di rumore diffuso.

4.5 Risultati delle nuove indagini geofisiche di tipo HVSR

All'interno delle aree coinvolte nello studio di Microzonazione sismica del Comune di Lauco sono state effettuate in totale n. 19 misure di rumore ambientale (Tabella 5).

Per le prove HVSR è stato utilizzato un sismografo Sara electronic instruments s.r.l. SR04 Geobox a 3 canali con digitalizzatore a 24 bit con geofoni da 4,5 Hz nominali calibrati. Le registrazioni sono state acquisite alla frequenza di campionamento di 300 Hz.

Il software usato per l'interpretazione dei dati è WinMASW v. 6.1 della ElioSoft.

Se si esclude la borgata di Sot Crez ubicata in zona di fondovalle ed i siti di Allegnidis e Val di Lauco posti in corrispondenza di selle alpine arrotondate di origine glaciale, Lauco e le sue frazioni sorgono prevalentemente su terrazzi e pendici montane dove il basamento lapideo rigido è sub-affiorante, o celato da deboli coperture quaternarie costituite per lo più da depositi morenici sciolti würmiani.

I picchi di risonanza scaturiti dalle indagini riflettono questa successione stratigrafica evidenziando quasi ovunque valori elevati e superiori a 8 – 10 Hz, ma anche valori molto bassi del rapporto H/V (Avaglio, Chiauans, Lauco e Buttea), a denotare l'assenza in zona di fenomeni di risonanza sismica potenzialmente pericolosi.

Solo nelle località di Allegnidis, Val di Lauco e Vinaio si registrano in effetti picchi di frequenza compresi fra 3,1 Hz e 5,8 Hz associabili a coperture sciolte quaternarie che possono arrivare fino a 20 – 30 m. I picchi di risonanza distinti dai rapporti H/V più elevati si registrano infine ad Allegnidis, Trava e Vinaio.

5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Dall'integrazione fra gli esiti del rilievo, la cartografia geologica disponibile e le indagini dirette e indirette, sia pregresse che di nuova acquisizione in possesso, si è pervenuti alla ricostruzione di un modello di sottosuolo sufficientemente dettagliato per ognuna delle aree comunali oggetto del presente studio di microzonazione sismica.

Di seguito vengono quindi descritte in dettaglio le varie aree indagate, corredate, nel caso dei centri abitati principali, di una sezione geologica rappresentativa presente in allegato alla relazione, che potrà fungere da sezione topografica per i successivi livelli di Microzonazione Sismica:

- **Lauco**

Il capoluogo comunale sorge a circa 743 m di quota sul vasto terrazzo omonimo e si esaurisce a sud sul ciglio delle pareti rocciose che precipitano subverticali in direzione del fondovalle e di Villa Santina. Il basamento roccioso che forma lo zoccolo del terrazzo è dato da rocce lapidee carbonatiche riferibili alla Formazione della Dolomia Cassiana (Triassico Superiore, Carnico Inferiore). L'unità litostratigrafica si è formata in ambiente di piattaforma ed è rappresentata da dolomie grigie, calcari dolomitici chiari a stratificazione indistinta, ma anche stratificati. Lo spessore dell'unità raggiunge i 350 m. Al tetto sono presenti calcari scuri stratificati più o meno dolomitici, con qualche interstrato marnoso più sottile (Formazione della Val Degano, Triassico Superiore, Carnico). Tali litologie costituiscono il basamento roccioso di buona parte del centro abitato di Lauco e sono sostituiti solo nella porzione più settentrionale da arenarie quarzose grossolane rosse, grigie o violette in strati di pochi cm o in banchi di pochi metri attribuiti alla Formazione di Dürrenstein. Le coperture quaternarie nel centro abitato di Lauco sono date, quando presenti, da coltri moreniche würmiane limo-argillose con inglobati qualche trovante poligenico, ciottoli, ghiaie e sabbie ad assetto caotico. Gli spessori sono ovunque ridotti e dell'ordine di pochi metri, mentre la falda acquifera risulta assente. Frequentemente il substrato lapideo è celato solo da un sottile suolo agricolo di neoformazione.

- **Chiauans**

La piccola borgata di Chiauans (818 m s.l.m.) sorge su un terrazzo morenico poco a NE di Lauco, dal quale è separata dalla modesta incisione idraulica che fa capo al Rio Dolla. Il terrazzo morenico è rivolto a sud con acclività modeste ed ampi settori a prato. Le coperture moreniche würmiane sciolte limo-argillose presentano spessori di qualche metro e celano rocce lapidee date da arenarie quarzose grossolane stratificate varicolori della Formazione di Dürrenstein (Triassico Sup., Carnico).

- **Allegnidis**

La frazione di Allegnidis (916 m s.l.m.) si estende su una sella di origine glaciale, caratterizzata da vasti ripiani terrazzati e che funge da spartiacque fra il bacino idrografico del Rio Radima a sud ed il T. Vinadia a nord. Nella piana presente all'imbocco del centro abitato le acque di scorrimento superficiale e di falda vengono a giorno a formare una zona umida perenne. Dalle indagini HVSR condotte in situ, le coperture quaternarie moreniche sciolte assumono spessori di oltre 20 m presso il campo sportivo e il centro storico della frazione riducendosi a 10 – 20 m solo nella porzione centrale, caratterizzata da morfologie ondulate. Il substrato lapideo rigido è qui costituito da rocce arenitiche quarzose varicolori a stratificazione fine e media che si associano in letteratura alla Formazione di Dürrenstein (Gruppo di Raibl, Triassico Superiore, Carnico).

- **Chiassis**

La piccola borgata di Chiassis (470 m s.l.m.) si sviluppa su un ridotto terrazzo morfologico elevato di una cinquantina di metri sulla piana di fondovalle. I terreni di copertura sono rappresentati da coltri eluvio-colluviali limo-argillose inglobanti ciottoli, ghiaie e sabbie. Gli spessori delle coperture quaternarie sono prossime a una decina di metri e poggiano su litotipi arenitici quarzosi varicolori finemente stratificati riferibili alla Formazione di Dürrenstein del Gruppo di Raibl (Triassico Superiore, Carnico).

- **Sot Crèz**

Questa piccola borgata sorge a circa 390 m s.l.m. in zona di fondovalle al piede del terrazzo di Avaglio, dal quale la dividono pareti rocciose scoscese di natura carbonatica (Dolomia Cassiana, Triassico Superiore, Carnico Inferiore). I depositi di copertura quaternari sono per buona parte dell'area costituiti da depositi detritici carbonatici grossolani tutt'ora attivi (su quasi tutto il sito grava - PAI F. Tagliamento -un grado di pericolosità geologica elevato (P3) e molto elevato (P4) legato a fenomeni di crollo di blocchi lapidei dal sovrastante versante in roccia. Detta pericolosità sconfinata con grado P3 nel Comune di Villa Santina, escludendo da detto pericolo solo una stretta striscia di terreno in sponda destra del Rio Moia. In detto settore, peraltro inedificabile perché gravato a sua volta da pericolosità idraulica elevata (P3), i terreni di copertura sono rappresentati da depositi morenici con ghiaie e sabbie in matrice limoso-argillosa subordinata spessi da 5 m a 10 m.

- **Trava**

La frazione di Trava (696 m s.l.m.) si estende su un terrazzo morfologico elevato di circa 300 m sul fondovalle. Il basamento roccioso, in forma di calcari e calcari dolomitici scuri stratificati con interstrati marnosi appartenenti alla Formazione della Val Degano di età Carnica, nel centro storico risulta subaffiorante, mentre a margine della frazione sono presenti deboli coperture moreniche limo-argillose sciolte i cui spessori, in assenza di indagini dirette, possono valutarsi nell'ordine di 3 – 6 metri.

- **Avaglio**

Il sito di Avaglio (738 m s.l.m.) presenta grossolanamente le stesse caratteristiche rilevate sul terrazzo di Trava. Anche qui il terrazzo morfologico è costituito da rocce carbonatiche stratificate di età Carnica sub-affioranti, sostituite solo al margine occidentale dell'area indagata da coeve arenarie quarzose varicolori stratificate. Dove non emerge in superficie il substrato rigido è coperto da sottili coltri di morene würmiane sciolte limo-argillose, i cui spessori non superano la decina di metri.

- **Vinaio**

Nella frazione di Vinaio (810 m s.l.m.) si distinguono tre settori da sud verso nord con lo spessore delle coperture quaternarie via, via più elevato. Il centro abitato sorge su una dorsale posta in sponda sinistra del T. Vinadia, diretto verso est entro un alveo che si approfondisce in forra immediatamente a valle del paese. Il settore urbano più prossimo al corso d'acqua vede la presenza in affioramento di calcari e calcari dolomitici stratificati di età Carnica (Formazione della Val Degano), sostituiti per un breve tratto da arenarie quarzose varicolori della Formazione di Dürrenstein (Carnico). Il centro storico è invece caratterizzato dalla presenza in affioramento di plaghe moreniche sciolte würmiane di debole spessore ($H < 10$ m). Nel settore più settentrionale del centro abitato, le coperture quaternarie

assumono spessori più elevati, dell'ordine dei 10 – 20 metri, ancora su termini litologici carbonatici stratificati del Triassico superiore.

- **Plugna**

La piccola borgata di Plugna sorge a 950 m di quota, su un terrazzo morfologico ubicato a mezza costa sul fianco sud-occidentale del M. Vas. Poco a valle le acclività divengono presto accentuate fino al fondovalle percorso dal T. Picchions. Similmente, a monte una scarpata acclive di un centinaio di metri separa il sito dal terrazzo di Uerpa. Il basamento roccioso in zona è ovunque subaffiorante con termini carbonatici stratificati del Carnico. Le pendenze del versante sono per lo più superiori a 15°, se si escludono i modesti terrazzamenti a prato che delimitano a NW ed a Sud la frazione.

- **Buttea**

La frazione di Buttea (900 m s.l.m.) si estende su un terrazzo morfologico sviluppato sulle pendici orientali del M. Vas dove il basamento roccioso massivo a sud (Dolomia Cassiana, Carnico Inferiore) e stratificato a nord (Formazione della Val Degano, Carnico) risulta diffusamente sub-affiorante. Gli unici depositi quaternari presenti sono rappresentati da sottili coltri moreniche würmiane limo-argillose, i cui spessori, in assenza di dati diretti, sono stimati in 5 – 10 metri. Le acclività nei dintorni del centro abitato sono quasi ovunque superiori a 15° e due ripide scarpate rocciose cingono a sud ed a est il terrazzo morfologico precipitando rispettivamente nell'alveo del T. Vinadia ed in quello del Rio Chiantone.

- **Val di Lauco**

La località sorge a 1195 m s.l.m. su una ampia sella arrotondata di origine glaciale orientata ENE – WSW. E' chiusa a nord dal M. Tribil ed a sud dal M. Sadi, costituendo lo spartiacque fra i bacini idrografici dei torrenti Vinadia e Picchions. Le morfologie del sito sono particolarmente dolci con pascoli alpini caratterizzati ovunque da acclività moderate. Il basamento roccioso è qui rappresentato da una successione di calcarì scuri stratificati ed arenarie quarzose varicolori del Gruppo di Raibl, ma è ovunque celato da potenti coperture sciolte moreniche limo-argillose di età würmiana. Tali materiali possono raggiungere spessori di 20 – 30 metri.

6 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

La complessità geologica e geomorfologica del territorio indagato caratterizzato da una notevole variabilità laterale dei rapporti fra le unità litologiche affioranti costituisce un elemento di incertezza fondamentale nella discriminazione delle aree omogenee dal punto di vista della Microzonazione Sismica.

Lo studio a scala territoriale basato su dati puntuali, il cui numero e la loro distribuzione areale sono risultati peraltro ridotti, ha inoltre condizionato significativamente il grado di incertezza interpretativa del modello del sottosuolo e il comportamento dei terreni dal punto di vista geotecnico e geofisico.

Le prove dirette reperite (essenzialmente indagini sismiche a rifrazione e sondaggi elettrici verticali) sono concentrate nel capoluogo comunale e nelle principali frazioni, lasciando scoperte le borgate minori, di cui si è trattato nel presente studio. Per ovviare, seppure parzialmente, a questo problema è stata pertanto effettuata una nuova campagna di indagini di sismica passiva secondo il metodo HVSR distribuendo i punti di misura nel modo più omogeneo possibile su quasi tutte le aree indagate, abbinandole localmente alle prove pregresse disponibili. L'unica area che non è stata sottoposta ad indagini è quella di Sot Crèz, poiché l'edificato ricade in zona PAI con rischio geologico elevato, o molto elevato, ad esclusione di una ridottissima area posta in sponda destra del Rio Moia, peraltro non edificabile.

Riassumendo, le principali problematiche riscontrate nell'elaborazione dei dati disponibili che potranno essere oggetto di ulteriori approfondimenti nelle successive fasi di Microzonazione Sismica riguardano:

- **Incognite nel modello del sottosuolo**

L'assenza di indagini dirette pregresse non ha permesso una determinazione univoca del limite fra le coperture quaternarie ed il substrato rigido. L'andamento dell'interfaccia coperture/basamento roccioso utile alla definizione di distinte zone omogenee MOPS si basa pertanto quasi unicamente sull'interpretazione delle indagini indirette disponibili, ovvero delle frequenze fondamentali dei terreni emerse dalle nuove acquisizioni HVSR. In definitiva, lo sviluppo planimetrico delle aree può essere affatto da errori localmente significativi. La scarsità di dati puntuali da prove dirette ed indirette ha reso inoltre improponibile una restituzione cartografica delle isobate del substrato lapideo sepolto previsto nello shapefile lineare "isosub".

- **Incognite nell'attribuzione delle faglie come attive e capaci**

Da quanto si evince dal Progetto Ithaca, il territorio comunale di Lauco non è interessato da faglie ritenute "attive" e "capaci". Per "faglia attiva" si intende una faglia che si è rotta almeno una volta negli ultimi 40.000 anni. Una faglia attiva è detta "capace" se raggiunge la superficie producendo una frattura del terreno; l'andamento di questa rottura in superficie è la traccia superficiale della faglia (ICMS 2008, par. 1.6.3.1.2). Nei territori indagati non vi sono evidenze certe dell'attività di dislocazioni tettoniche esplicate attraverso deformazioni permanenti della morfologia superficiale, né vi sono evidenze dell'attività o della tipologia delle faglie secondarie riportate in carta. Per tale ragione tali linee disgiuntive sono state indicate come "potenzialmente attive", ma non capaci.

7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Lo studio di Microzonazione Sismica di livello 1 effettuato per le quattro aree urbane del comune di Lauco è stato condotto seguendo le indicazioni contenute negli "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica" finalizzate all'analisi di pericolosità sismica necessaria per la valutazione del rischio sismico ed applicabile ai settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione dell'emergenza e della normativa tecnica per la progettazione.

Lo studio di Microzonazione Sismica è finalizzato alla "valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo".

Il documento di sintesi di uno studio di Microzonazione Sismica è rappresentato da una carta del territorio su cui sono riportate:

- Le zone in cui il moto sismico non subisce modifiche rispetto a quello atteso in condizioni di bedrock rigido affiorante orizzontale, per cui gli scuotimenti attesi sono assimilati a quelli forniti dagli studi di pericolosità sismica di base;
- Le zone in cui il moto sismico subisce modifiche rispetto a quello atteso in condizioni di bedrock rigido affiorante ed orizzontale a causa delle condizioni litostratigrafiche e topografiche locali;
- Le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, sedimenti differenziali, ecc.).

Lo studio di Microzonazione Sismica fornisce in definitiva la base conoscitiva della pericolosità sismica locale di un determinato territorio, consentendo di stabilire gerarchie di pericolosità utili alla programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico. Il livello 1 è uno studio propedeutico agli studi di Microzonazione Sismica successivi (2 e 3), in quanto grazie alla raccolta di dati pregressi abbinati all'elaborazione delle nuove indagini, permette di suddividere il territorio in microzone a comportamento omogeneo nei confronti dello scuotimento sismico.

La qualità dei risultati relativi alla ricostruzione del modello del sottosuolo dipende dal numero di informazioni puntuali disponibili e dalla loro distribuzione areale.

Per lo studio in esame, nella "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica" sono state individuate tre categorie di zone:

- **zone stabili**, non soggette ad amplificazioni locali di alcuna natura;
- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, a causa delle condizioni stratigrafiche e morfologiche locali;
- **zone di attenzione per instabilità**, perché interessate da fenomeni di instabilità di versante quiescenti, o non definiti.

Nella stessa carta di sintesi sono quindi state riportate le simbologie relative a:

- **forme di superficie e sepolte;**
- **punti di misura di rumore ambientale.**

Nel comune di Lauco non sono invece stati riconosciuti fenomeni riconducibili a zone di attenzione per instabilità relative a:

- **liquefazione;**
- **sedimenti differenziali;**
- **faglie attive e capaci.**

8 ELABORATI CARTOGRAFICI

Lo studio di Microzonazione Sismica di livello 1 del comune di Lauco, in riferimento agli “*Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica*” – versione 3.0, Roma Ottobre 2013 – Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica (articolo 5, comma 7 dell’OPCM 13 novembre 2010, n. 3907, OPCM 4007/2012, Versione 3.0 – Roma, ottobre 2013), ha previsto la stesura delle seguenti tre carte alla scala 1:5.000, archiviate in formato .pdf nella cartella “Plot”, sottocartella “MS” e in formato .mxd nella cartella “Progetti”.

- **Carta delle indagini;**
- **Carta geologico – tecnica;**
- **Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Livello 1).**

8.1 Carta delle indagini

La *Carta delle indagini* redatta per il presente studio di Microzonazione Sismica riporta le indagini preesistenti e quelle realizzate appositamente per detto studio.

Nell’elaborato in oggetto è riportato un totale di 15 indagini in situ pregresse di tipo indiretto reperite facendo riferimento alla Tav. 1.3.G “*Ubicazione dei prospetti*” alla scala 1:5.000 (Lenarduzzi G.’97), per la cui descrizione si rimanda al capitolo 4 del presente studio.

Riassumendo le prove pregresse si dividono in:

- 4 indagini sismiche a rifrazione;
- 11 indagini geoelettriche tipo S.E.V.;

cui si aggiungono le 19 indagini secondo la tecnica HVSR effettuate per lo studio in esame.

Tutte le prove sono state codificate e archiviate nel database Cdl_tabelle attraverso l’uso del SoftMS e georiferite negli shapefile “Ind_pu” e “Ind_In”. I dati presenti in carta sono infatti associati a un record numerico progressivo che ne rappresenta l’identificativo rintracciabile nella banca dati Cdl_tabelle, con i riferimenti utili alla loro consultazione.

Scopo dell’elaborato è quello di fornire una rapida lettura della distribuzione spaziale dei dati esistenti al fine di orientare i livelli successivi di approfondimento. La scala di rappresentazione della carta delle indagini, in conformità a quanto previsto per gli studi di Microzonazione Sismica è 1:2.000.

8.2 Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS)

Le informazioni della Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica sono necessarie alla definizione del modello di sottosuolo, di cui al precedente capitolo 5 dello studio di Microzonazione Sismica, e funzionali alla realizzazione della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica. L'elaborato contiene le informazioni di base relative alla geologia, alla geomorfologia, alle caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche derivate da prove in situ e dai dati bibliografici esistenti, in particolare da:

- Foglio geologico 31 Ampezzo (Progetto C.A.R.G.) alla scala 1:50.000;
- *Carta di pericolosità geologica*, Tavv. 1 di 3, 2 di 3, 3 di 3 Comune di Lauco (P.A.I. fiume Tagliamento, 2012)
- *Carta geologica*, Tav. 1.1.G alla scala 1:10.000 (Lenarduzzi G.'97);
- *Carta geomorfologica*, Tav. 1.2.G alla scala 1:10.000 (Lenarduzzi G.'97);
- *Carta litologica*, Tav. 1.4.G alla scala 1:5.000 (Lenarduzzi G.'97);
- *Carta di individuazione dei rischi*, Tav. 1.5.G alla scala 1:5.000 (Lenarduzzi G.'97);
- *Carta di sintesi*, Tav. 2.0.G alla scala 1:10.000 (Lenarduzzi G.'97);
- *Carta di sintesi*, Lauco, Allegnidis, Chiaujans, Tav. 2.1.G alla scala 1:2.000 (Lenarduzzi G.'97);
- *Carta di sintesi*, Avaglio, Tav. 2.2.G alla scala 1:2.000 (Lenarduzzi G.'97);
- *Carta di sintesi*, Trava, Chiassis, Tav. 2.3.G alla scala 1:2.000 (Lenarduzzi G.'97);
- *Carta di sintesi*, Val, Vinaio, Plugna, Buttea, Tav. 2.4.G alla scala 1:2.000 (Lenarduzzi G.'97);

La scala di rappresentazione della Carta geologico – tecnica è 1:2.000.

Conformemente a quanto previsto per gli studi di MS, le unità geologiche affioranti individuate nelle aree indagate sono state distinte tra terreni di copertura e substrato geologico. I rapporti stratigrafici, i simbolismi adottati nella carta CGT_MS e le località di affioramento nelle aree indagate di ciascuna unità affiorante sono riportati nell'allegato n. 1 alla presente relazione.

Nella cartella BasiDati è stato salvato un database, denominato TabellaSF, nel quale ai poligoni dello shape “Geotec” relativi al substrato geologico molto fratturato o alterato (SF) viene associato il tipo di litologia di queste aree, inserendo i codici relativi al substrato del Tipo_gt (LP, GR, CO, AL, LPS, GRS, COS, ALS). Questo si è reso necessario affinché non venissero perse le informazioni relative al tipo di substrato nelle aree geologiche molto fratturate e alterate. Con questa tabella è stato creato un join con lo shape “Geotec” per poter effettuare la corretta vestizione dei poligoni SF inserendo oltre al retino del substrato geologico molto fratturato il colore corrispondente alla litologia come sfondo.

La descrizione della Carta geologico – tecnica è completata dalle forme di superficie e sepolte più significative, e riconducibili essenzialmente alla presenza di orli di scarpata morfologica con altezze variabili fra 10 e 20 m ed oltre 20 m, falde detritiche, cui si associano le instabilità di versante da crollo, o ribaltamento non definite.

Gli elementi tettonico-strutturali indicati in carta sono desunti da quelli riportati nel *Foglio 31 Ampezzo* alla scala 1:50.000 e dal database del Progetto ITHACA, seppure in questa sede le faglie e i sovrascorimenti segnalati siano stati definiti come “potenzialmente attivi” (certi, o presunti), perdendo quindi l'originale informazione di “capaci”, in quanto la mancanza di riscontri relativi a deformazioni permanenti della morfologia dei terreni di copertura sciolti da ascrivere agli ultimi 40.000 anni, non ne permette una classificazione univoca come tali.

In carta sono state riportate per le principali aree indagate le tracce delle sezioni geologiche rappresentative del modello del sottosuolo e riportate come allegato alla presente relazione illustrativa.

8.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Livello 1)

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica costituisce il documento principale della microzonazione sismica di livello 1. La carta interessa le aree concordate con l'Ufficio Tecnico del

comune di Lauco e relative agli ambiti urbanizzati e di sviluppo insediativo, siano essi a destinazione residenziale, che produttiva, o dei servizi e infrastrutturali.

L'elaborato è stato sviluppato sulla base dei dati in possesso di carattere geologico, stratigrafico, geotecnico, geofisico e di dissesto idrogeologico riassunti nella Carta delle Indagini, nella Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica e nelle sezioni geolitologiche prodotte allo scopo.

Nella carta sono rappresentate inoltre le caratteristiche morfologiche più significative del territorio e le eventuali forme sepolte che possono contribuire a eventuali effetti di amplificazione.

Per una più chiara leggibilità della carta delle MOPS è stato omesso il codice del tipo di zona (attributo "Tipo_z" dello shape "Stab").

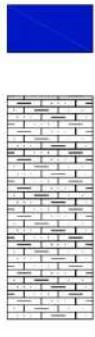
Attraverso i dati contenuti nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica di livello 1 sarà possibile quindi (ICMS 2008):

- *L'individuazione delle aree a minore pericolosità locale (zone stabili);*
- *La programmazione di indagini di approfondimento, sulla base delle diverse tipologie di effetti attesi;*
- *L'individuazione delle aree per le quali sono necessari ulteriori livelli di approfondimento.*

Le microzone individuate in carta (ICMS 2008) sono classificate nelle tre categorie di seguito descritte:

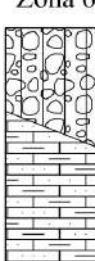
a) **Zone stabili**, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (substrato geologico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata – pendii con inclinazione inferiore a circa 15°);

 SUBSTRATO LAPIDEO (LP / LPS)	<p>SUBSTRATO LAPIDEO: è rappresentato da una successione carbonatica di piattaforma con dolomie grigie, calcari dolomitici chiari a stratificazione per lo più indistinta della Dolomia Cassiana (Triassico Superiore, Carnico Inferiore), ovvero da calcari scuri stratificati o calcari neri lastroidi fittamente laminati, fissili, cui si intercalano straterelli di marne fogliate nere riferibili alla Formazione della Val Degano (Triassico Superiore, Carnico). La facies massiva affiora a Lauco e Buttea, mentre la facies stratificata è presente in tutte le aree indagate, ad esclusione della località Val di Lauco.</p>
--	--

 ALTERNANZA DI LITOTIPI (ALS)	<p>ALTERNANZA DI LITOTIPI: è una facies caratterizzata da arenarie quarzose grossolane varicolori in strati di pochi cm, o in banchi di pochi metri, cui si intercalano irregolarmente siltiti marnose, calcari e calcari dolomitici. Tali litotipi sono raggruppati nella Formazione di Dürrenstein (Triassico Superiore, Carnico) che affiora in ridotte aree di Chiassis e Vinaio.</p>
--	--

b) **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;

 Zona 1 	<p>ZONA 1: definisce il substrato lapideo affiorante su superfici topografiche aventi inclinazioni superiori a 15°. E' caratterizzata dall'affioramento degli stessi materiali descritti per le zone stabili, pertanto, in virtù delle particolari condizioni morfologiche del territorio comunale, coprono molteplici settori delle aree indagate, ad esclusione della località Val di Lauco, dove il basamento roccioso è celato da potenti coperture quaternarie.</p>
 Zona 2  5 - 10 m	<p>ZONA 2: è rappresentata da coltre morenica limo-argillosa sciolta di debole spessore impostata su basamento lapideo carbonatico massivo. Le aree di affioramento sono limitate al margine meridionale del centro abitato di Lauco ed alla frazione di Buttea.</p>
 Zona 3  5 - 10 m	<p>ZONA 3: è formata da depositi morenici sciolti limo-argillosi di modesto spessore. Si distingue dalla zona 2 esclusivamente per la caratteristica di giacere su basamento lapideo stratificato ancora di natura carbonatica. E' una zona ben rappresentata nei centri abitati di Lauco, Trava, Avaglio, Vinaio ed in minor misura a Buttea.</p>
 Zona 4  10 - 20 m	<p>ZONA 4: tale zona individua depositi morenici limo-argillosi che raggiungono spessori medio-elevati (10 – 20 m) impostati su rocce lapidee stratificate di natura carbonatica. Trattasi di una zona rinvenibile solo nella porzione centro-settentrionale della frazione di Vinaio e dà luogo a contrasti di impedenza elevati.</p>

 Zona 5  5 - 10 m	<p>ZONA 5: è rappresentata dall'affioramento di coperture moreniche di debole spessore impostate su alternanza di litotipi e si riscontra presso gli abitati di Chiassis, Lauco, Chiaujans e Vinaio. Nei siti di Chiassis, Lauco e Chiaujans sono stati riscontrati contrasti di impedenza modesti.</p>
 Zona 6  10 - 20 m	<p>ZONA 6: è rappresentata ancora da morene sciolte ricche di matrice fine, ma di spessore medio-elevato su basamento roccioso rigido dato da alternanza di litotipi. Contraddistingue un'unica area presso la frazione di Allegnidis.</p>
 Zona 7  20 - 30 m	<p>ZONA 7: è costituita da coperture moreniche limo-argillose sciolte potenti oltre 20 metri su basamento roccioso rigido dato da alternanza di litotipi. Caratterizza due ampi settori di Allegnidis e l'intero areale della località Val di Lauco. Presso questo sito sono emersi bassi contrasti di impedenza, a differenza di Allegnidis, dove sono risultati medio-elevati.</p>

Per la legenda delle colonne stratigrafiche delle MOPS si fa riferimento ai simboli indicati al paragrafo 2.1.8.1 "Tabella di classificazione terreni e substrato", pagg. 61 e 62 degli *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 3.0*.

c) **Zone di attenzione per instabilità**, nelle quali gli effetti simici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto).

- ZAFR_ND – ZONA DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ DI VERSANTE NON DEFINITA



Sono zone di versante interessate da crolli di blocchi lapidei da pendii in roccia di altezza superiore a 50 m e pendenze superiori a 30°, il cui stato non è determinabile, da considerarsi riattivabili in condizioni di sisma.

d) Forme di superficie e sepolte

La morfologia superficiale e sepolta può essere un fattore predisponente i fenomeni di amplificazione localizzata delle onde sismiche. Tra i dati morfologici lineari e puntuali sono stati indicati in carta gli orli di scarpata morfologica con altezze comprese fra 10 e 20 m, e con altezze > 20 m, mentre fra i dati areali compaiono le falde detritiche.

8.4 Commenti finali e criticità

A conclusione del presente studio di microzonazione sismica del comune di Lauco, sulla base dei dati pregressi e di nuova acquisizione, è possibile fornire alcune considerazioni relative al comportamento dei terreni durante un evento sismico. Particolari condizioni litostratigrafiche e morfologiche possono infatti dare luogo ai cosiddetti "effetti di sito" con amplificazioni sismiche locali ed instabilità dei terreni.

Per amplificazione sismica locale si intende la modifica in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico in superficie rispetto a quello registrato sul bedrock rigido affiorante ed in condizioni di morfologia orizzontale, mentre l'instabilità dei terreni indotta dal terremoto può manifestarsi in zona essenzialmente sotto forma di instabilità dei versanti dando luogo a frane di crollo su pendii rocciosi già riconosciuti come instabili.

Tra le aree indagate, i siti soggetti a possibili fenomeni di amplificazione sia per le locali condizioni stratigrafiche, che morfologiche superficiali e sepolte, si riferiscono agli abitati di Allegnidis, Trava e di Vinaio.

Le aree suscettibili di instabilità per frane di crollo da pendici rocciose potenzialmente instabili sono limitate al sito di Sot Crèz, che possono interferire con il complesso edilizio esistente.

Si ritiene inoltre che le aree indagate non possano invece essere interessate dal fenomeno della liquefazione dei terreni, fenomeno che può verificarsi in condizioni sismiche nelle sabbie che, a causa dell'aumento della pressione interstiziale, passano improvvisamente dallo stato solido allo stato fluido. Per quanto riguarda le faglie attive e capaci, l'assenza di elementi certi rilevabili in campagna utili alla loro identificazione univoca, ne ha sconsigliato la loro indicazione come tali (v. Progetto Ithaca), bensì come faglie potenzialmente attive.

9 CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Il Comune di Lauco, come gran parte dell'area carnica è caratterizzato da sismicità di media - intensità I (MCS) da 7 a 8, che si può manifestare con ricorrenza secolare o plurisecolare, dando luogo a notevoli danni al patrimonio edilizio esistente. La ricerca di notizie relative ai danni subiti dall'edificato del territorio comunale per sismi verificatisi in epoca storica non ha dato risultati di particolare rilievo.

L'evento più recente fa riferimento ai violenti terremoti del 6 maggio e del 15 settembre del 1976. Dalle testimonianze raccolte in merito a questo evento non risultano notizie di edifici crollati, quanto piuttosto di diffuse lesioni a numerosi fabbricati, caduta di camini, ecc.

Non si hanno notizie relative a danni al patrimonio edilizio di Lauco nel grande violento che nel Medioevo interessò il Friuli il 25 gennaio 1348 (Terremoto di Villach), tuttavia facendo riferimento a quanto riportato dal cronista fiorentino Giovanni Villani che "tutte le chiese di Carnia sono cadute", si può ipotizzare che analoghi danni subirono anche gli edifici civili del territorio comunale. Stesso dicasi per l'evento sismico del 26 marzo 1511 (Terremoto di Idrjia), che colpì le Alpi Orientali nell'area che oggi si trova ai confini fra Italia, Slovenia ed Austria, e del 28 luglio 1700 (Terremoto di Raveo, IX grado scala Mercalli).

Il 28 luglio 1700 un terremoto provocò 20 morti in Carnia, tra Raveo, Enemonzo, Socchieve e Ovaro. Nel Friuli orientale la terra tornò a tremare il 10 luglio 1776 (5,8 Richter, VIII Mercalli), lo stesso fece il 20 ottobre 1788 (VIII Mercalli). In quell'occasione fu danneggiata anche la fabbrica di Linussio a Tolmezzo.

Altre scosse (VIII Mercalli) furono rilevate l'8 marzo 1790 nella valle del But, a Tolmezzo e Sutrio, il 7 giugno 1794 nel Friuli orientale, dove "venne interessato da scosse tutto l'Alto Tagliamento" e a Pordenone il 25 ottobre 1812. Il 29 giugno 1873 si contarono decine di vittime pure nel bellunese. Lo stesso accadde il 27 marzo 1928 in Carnia (Terremoto di Verzegnis) e il 18 ottobre 1936 nell'area del Cansiglio.

Nella vicina valle del But sono stati quindi registrati terremoti di media intensità nella metà del '900: il 5 novembre 1956, con epicentro macroseismico tra i vicini comuni di Paluzza e Treppo Carnico, e il 26 aprile 1959 a Zuglio con scosse di VIII-IX grado.

Paluzza, febbraio 2017

Il professionista incaricato

Dott. Geol. Danilo Simonetti



Collaboratore
Dott. Geol. Raffaella Braidotti

10 BIBLIOGRAFIA

- Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, Venezia 2012: "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione".
- Barnaba C., Priolo E., Vuan A., Palmieri F., Marello L., Romanelli M., Braitenberg C. 2010: "*The buried shape of an alpine valley from gravity surveys, seismic and ambient noise analysis*", Geophysical Journal International, pp. 180, 715 – 733.
- Barnaba C., Priolo E., Vuan A., Palmieri F., Marello L., Romanelli M., Braitenberg C. 2012: Modellazione del basamento sismico mediante integrazione di dati geofisici: il caso della valle del fiume Tagliamento fra Tolmezzo e Cavazzo Carnico (Ud).
- Bosso & Rota, 2000: "Stazione 220/132 kV – Centrale idroelettrica Terna di Somplago - Rifacimento Stazione ed adeguamento al telecomando".
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013: "*Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica*" - (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907), Versione 3.0 – Roma, ottobre 2013.
- Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2008: "*Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica*".
- Gortani M., 1928: "*Il terremoto del 27 marzo 1928 nelle Prealpi dell'Arzino (Friuli)*", L'Universo, Anno IX, n. 12, pp. 1155 – 1210, Pubblicazione dell'Istituto Geografico Militare, Firenze.
- Gruppo di lavoro MS, 2008. "*Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica*", Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e DVD.
- Intergeo, 1977: Comune di Lauco, "*Carta litostratigrafica del sottosuolo*", Comunità Montana della Carnia.
- ISPRA: "*Catalogo delle faglie attive e capaci ITHACA "Italy Hazard from Capable faults"*", disponibile on-line all'indirizzo <http://sgl.isprambiente.it/geoportal/catalog/main/home.page>
- Lanzo G., Silvestri F. 1999: "*La risposta sismica locale. Teoria ed esperienze*", Argomenti di ingegneria geotecnica n.10, Hevelius Edizioni srl.
- Lenarduzzi G. 1997: "*Relazione geologica relativa alla Variante Generale al P.R.G.C.*".
- Locati M., Camassi R. e Stucchi M. (a cura di), 2011. *DBMI11, versione 2011 del Database Macroscismico Italiano*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11.
- Meletti C., Valsenise G. (a cura di), 2004: "*Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo*", Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Monegato G. 2006: "*L'antica valle del Tagliamento*", dal volume "Il Tagliamento", CiErre Edizioni.
- Romeo R.W. 2007: "*La risposta sismica locale per la progettazione strutturale*", International Centre for Mechanical Sciences, Monografie CISM – Udine.
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione centrale ambiente e lavori pubblici, Servizio Geologico, 2014: "*Progetto IFFI, Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia*".
- Stefanini S., 1982: "*Le sistemazioni idraulico-forestali nella Carnia (bacino montano del Fiume Tagliamento)*", Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Comunità Montana della Carnia.
- Vai G.B., Venturini C., Carulli G.B., Zanferrari A. 2002: "*Guide Geologiche Regionali, 9 itinerari: Alpi e Prealpi Carniche e Giulie – Friuli Venezia Giulia*", a cura della Società Geologica italiana, BE-MA editrice Milano.
- Zanferrari A., Masetti D., Monegato G., Poli M.E. (a cura di) 2013: "*Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 049 Gemona del Friuli*", Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Servizio Geologico d'Italia.

11 ALLEGATI

- N° 1 colonna stratigrafica e Geologico – Tecnica MS, (n. 1 formato A4)
- N° 6 sezioni geologico – tecniche schematiche non alla scala (n. 1 formato A3+)
- N° 19 schede di acquisizione nuove acquisizioni HVSR (formato A4)
- Carta delle indagini, scala 1:2.000 (n. 2, formato A0)
- Carta Geologico – Tecnica per la Microzonazione Sismica, scala 1:2.000 (n. 2, formato A0)
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, scala 1:2.000 (n. 2, formato A0)

COMUNE DI LAUCO

Colonna stratigrafica		Colonna Geologico - Tecnica del Substrato	Aree di affioramento interessate dalla MS
(da: Progetto CARG. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 031 "Ampezzo")			
QUATERNARIO Pleist.-Oloc. / Pleist.-Alt.		Unità ubiqüitarie Sintema Post - LGM Alpino Orientale Sintema LGM Alpino Orientale 	Allegnidis, Avaglio, Chiassis, Vinaio, Sot Crez Sot Crez Allegnidis, Avaglio, Buttea, Chiauans, Lauco, Trava, Val di Lauco, Vinalo
TRIASSICO SUPERIORE		Formazione di Durrenstein (Gruppo di Raibl) Formazione della Val Degano (Gruppo di Raibl) Dolomia Cassiana	Allegnidis, Chlauans, Chiassis, Avaglio, Vinalo, Lauco Avaglio, Buttea, Chiassis, Chlauans, Lauco, Plugna, Trava, Lauco, Vinalo
TRIAS MEDIO			Lauco, Buttea, Sot Crez
TRIASSICO INFERIORE			
PERMICO SUPERIORE			

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 1

Date: 24 02 2016

Time: 13 55

Dataset: MTHV_20160224_135550.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 16.3

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-50.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 8 - 20

Peak HVSR value: 4.8 (± 0.8)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: $18.790 > 0.5$ (OK)

#2. [$n_c > 200$]: $36078 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$]: (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 4.7Hz (OK)

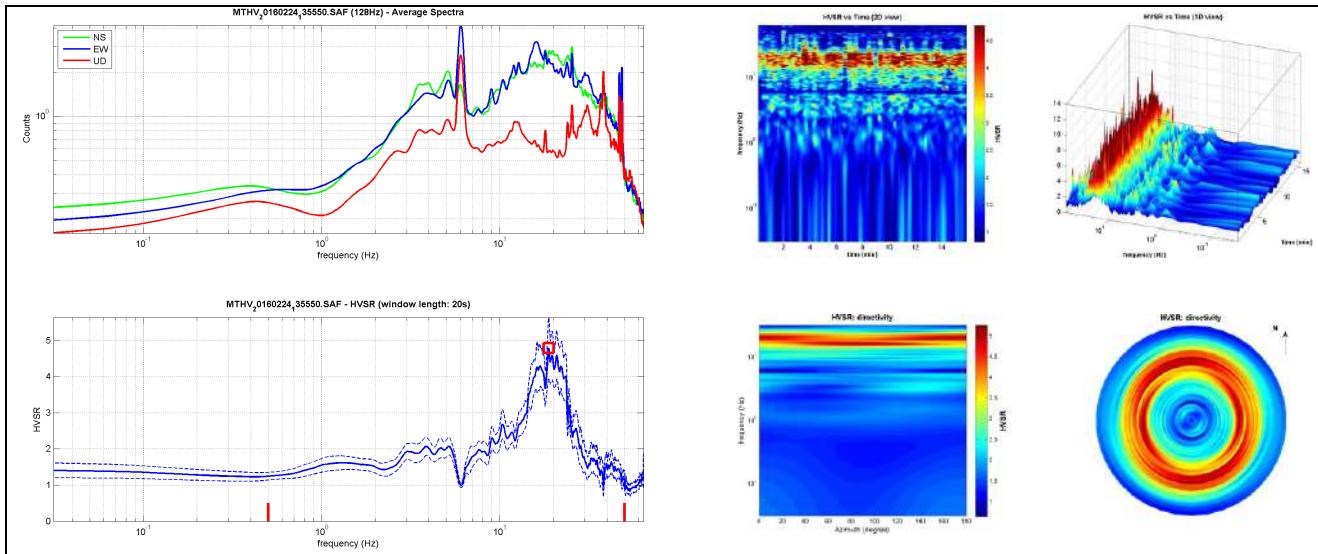
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 25.5Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $4.8 > 2$ (OK)

#4. [$f_{peak}[AH/V(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma A(f) < \epsilon(f_0)$]: $2.613 > 0.940$ (NO)

#6. [$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.844 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 2

Date: 24 02 2016

Time: 15 08

Dataset: MT_20160224_150820.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 16.5

Tapering (%): 8

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-50.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 8 - 20

Peak HVSR value: 3.2 (± 0.5)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: $8.348 > 0.5$ (OK)

#2. [$n_c > 200$]: $16195 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$]: (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 2.1Hz (OK)

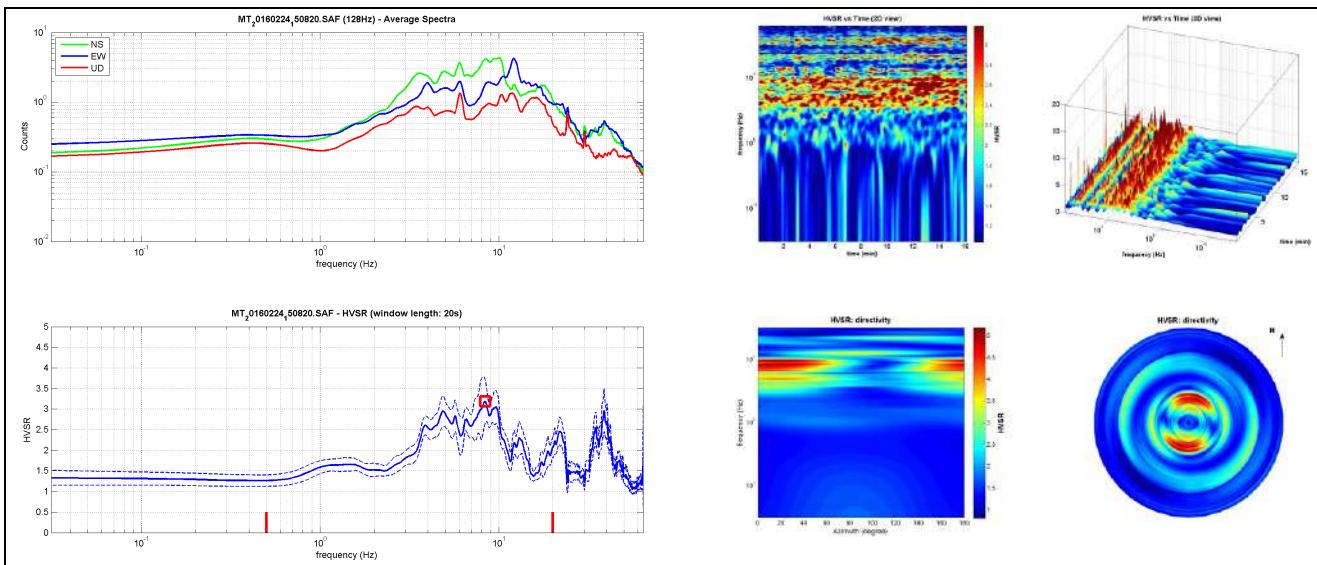
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 14.9Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $3.2 > 2$ (OK)

#4. [$f_{peak}[AH/V(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma A(f) < \epsilon(f_0)$]: $3.208 > 0.417$ (NO)

#6. [$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.542 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 3

Date: 24 02 2016

Time: 16 00

Dataset: MT_20160224_160055.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 18.3

Tapering (%): 8

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 8 - 20

Peak HVSR value: 2.9 (± 0.4)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. $[f_0 > 10/L_w]: 11.287 > 0.5$ (OK)

#2. $[n_c > 200]: 24379 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0] | A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 2.8Hz (OK)

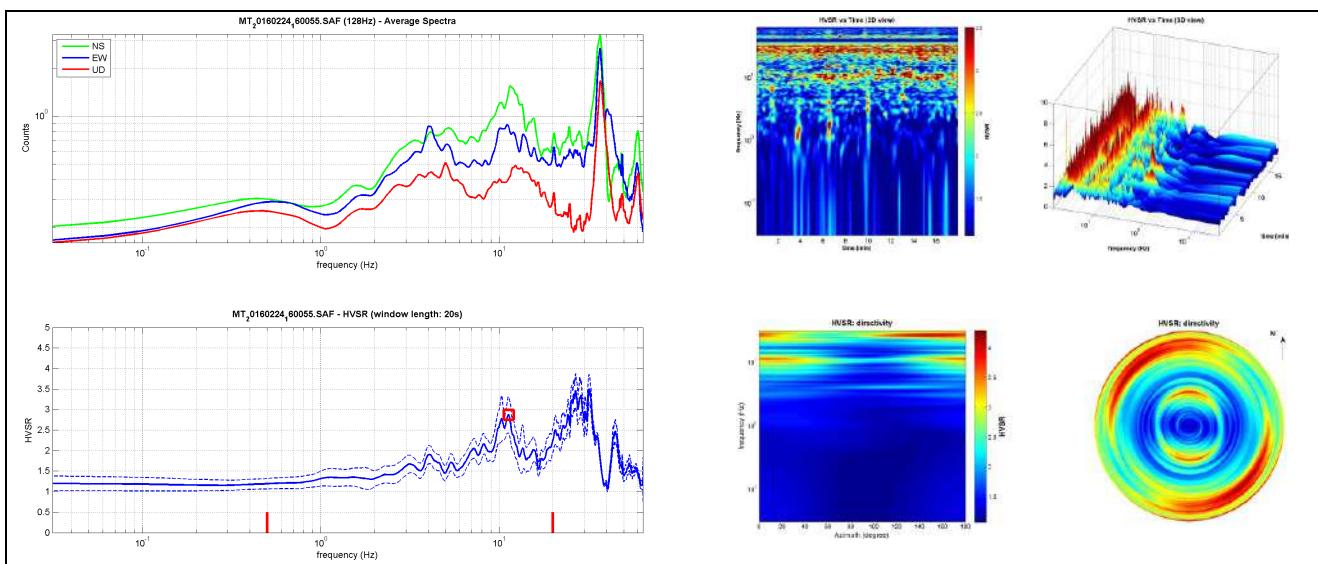
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0] | A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 17.1Hz (OK)

#3. $[A_0 > 2]: 2.9 > 2$ (OK)

#4. $[f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)

#5. $[\sigma A(f) < \epsilon(f_0)]$: $3.670 > 0.564$ (NO)

#6. $[\sigma A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.445 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 4

Date: 24 02 2016

Time: 16 44

Dataset: MTHV_20160224_164441.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 17.1

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-5.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 2 - 3

Peak HVSR value: 2.5 (± 0.2)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. $[f_0 > 10/L_w]$: $8.848 > 0.5$ (OK)

#2. $[n_c > 200]$: $21412 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 0.6Hz (OK)

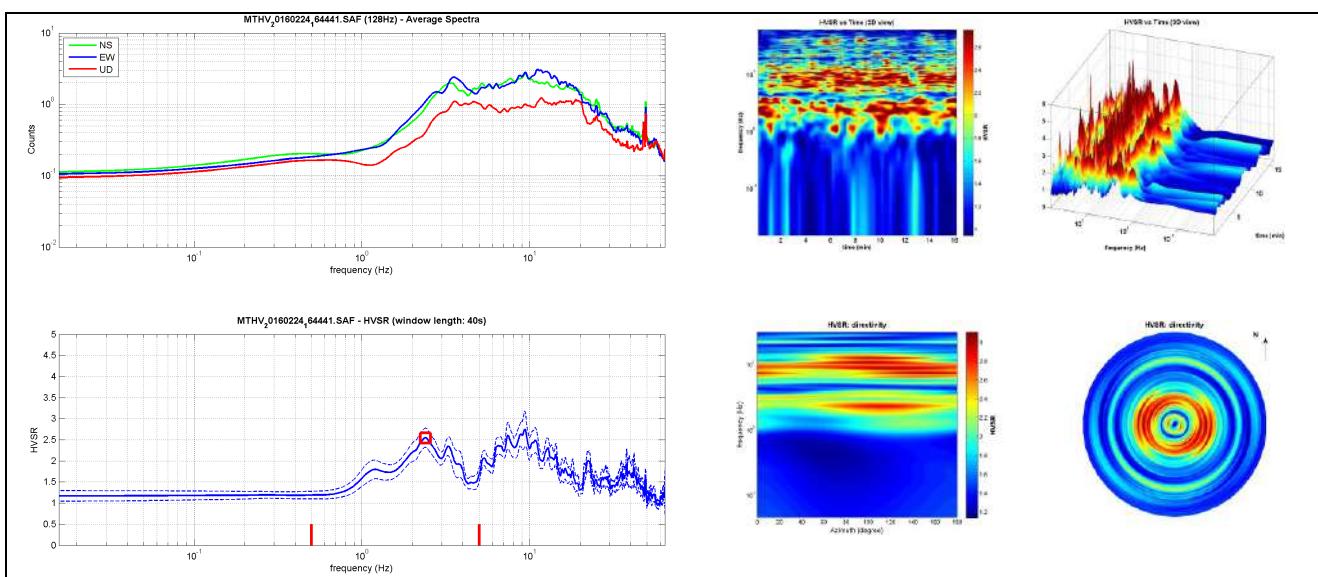
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: (NO)

#3. $[A_0 > 2]$: $2.5 > 2$ (OK)

#4. $[f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)

#5. $[\sigma A(f) < \epsilon(f_0)]$: $0.778 > 0.120$ (NO)

#6. $[\sigma A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.227 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 5

Date: 25 02 2016

Time: 08 51

Dataset: MTHV_20160225_085109.SAF

Original record length (min): 35.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 30.9

Tapering (%): 8

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 0

Peak HVSR value: < 2

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. $[f_0 > 10/L_w]$: $10.693 > 0.5$ (OK)

#2. $[n_c > 200]$: $38922 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: (NO)

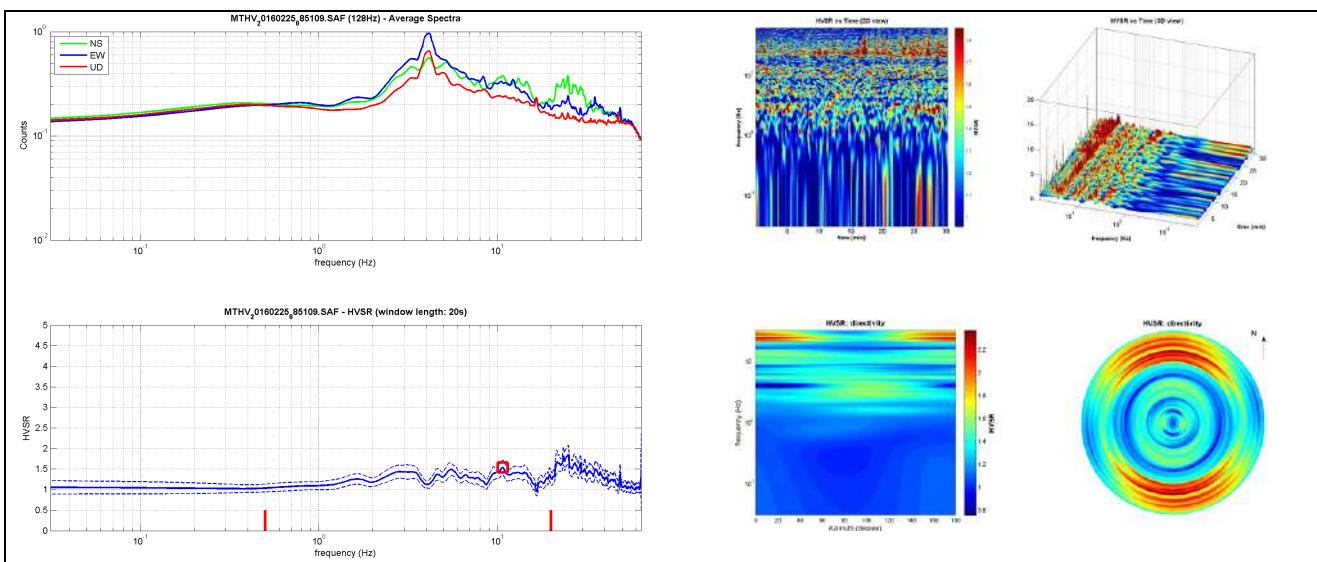
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: (NO)

#3. $[A_0 > 2]$: $1.5 > 2$ (NO)

#4. $[f_{peak}[Ah/v(f)] \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$: (OK)

#5. $[\sigma A(f) < \epsilon(f_0)]$: $4.681 > 0.535$ (NO)

#6. $[\sigma A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.181 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 6

Date: 25 02 2016

Time: 10 45

Dataset: MT_20160225_100045.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 22.0

Tapering (%): 8

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 0

Peak HVSR value: < 2

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. $[f_0 > 10/L_w]$: $18.790 > 0.5$ (OK)

#2. $[n_c > 200]$: $48479 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: (NO)

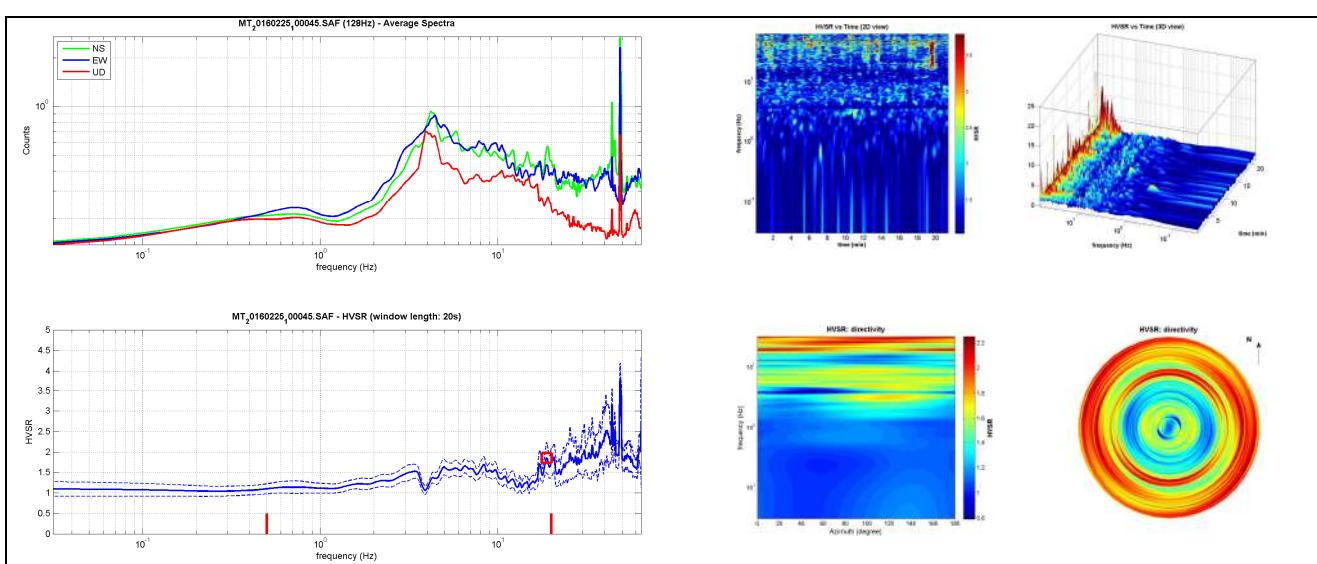
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: (NO)

#3. $[A_0 > 2]$: $1.9 > 2$ (NO)

#4. $[f_{peak}[AH/v(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)

#5. $[\sigma A(f) < \epsilon(f_0)]$: $6.058 > 0.940$ (NO)

#6. $[\sigma A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.371 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 7

Date: 25 02 2016

Time: 10 53

Dataset: MT_20160225_105333.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 19.8

Tapering (%): 8

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 8 - 20

Peak HVSR value: 3.7 (± 0.5)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. $[f_0 > 10/L_w]$: $19.572 > 0.5$ (OK)

#2. $[n_c > 200]$: $45407 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 4.9Hz (OK)

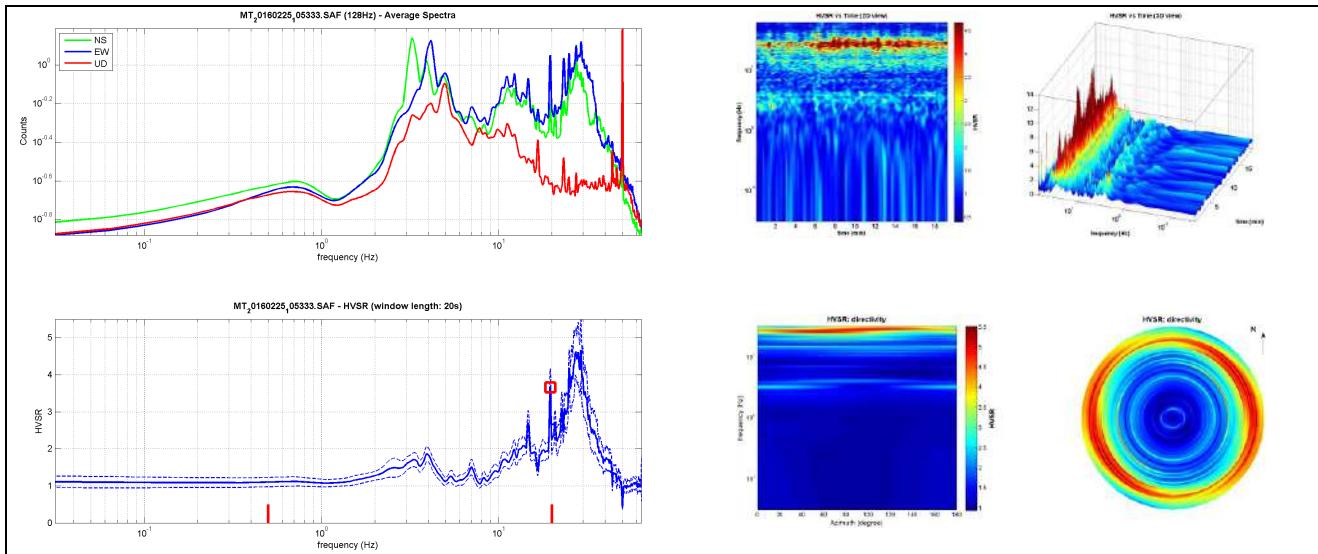
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: (NO)

#3. $[A_0 > 2]$: $3.7 > 2$ (OK)

#4. $[f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)

#5. $[\sigma A(f) < \epsilon(f_0)]$: $2.858 > 0.979$ (NO)

#6. $[\sigma A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.498 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 8

Date: 25 02 2016

Time: 11 49

Dataset: MT_20160225_114907.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 30.0

Tapering (%): 8

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 0

Peak HVSR value: < 2

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. $[f_0 > 10/L_w]$: $19.76 > 0.5$ (OK)

#2. $[n_c > 200]$: $69949 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 5.1Hz (OK)

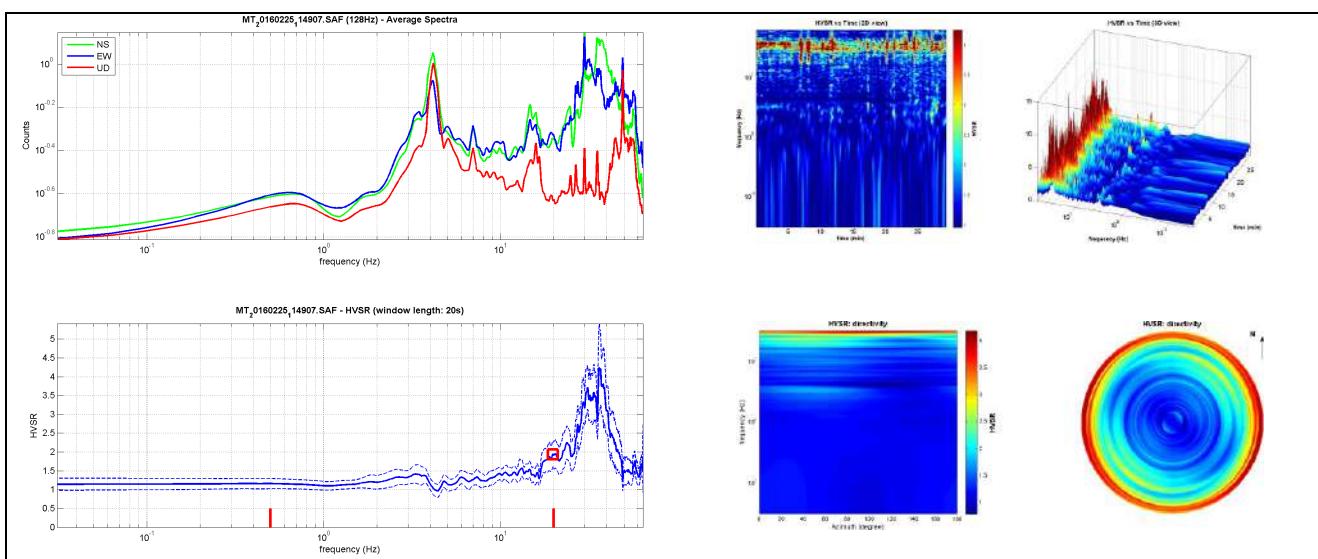
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: (NO)

#3. $[A_0 > 2]$: $1.9 > 2$ (NO)

#4. $[f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)

#5. $[\sigma A(f) < \epsilon(f_0)]$: $5.274 > 0.988$ (NO)

#6. $[\sigma A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.344 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 9

Date: 25 02 2016

Time: 12 45

Dataset: MTHV_20160225_124542.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 14.6

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 15 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 8 - 20

Peak HVSR value: 2.4 (± 0.5)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. $[f_0 > 10/L_w]$: $18.228 > 0.5$ (OK)

#2. $[n_c > 200]$: $30987 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 5.7Hz (OK)

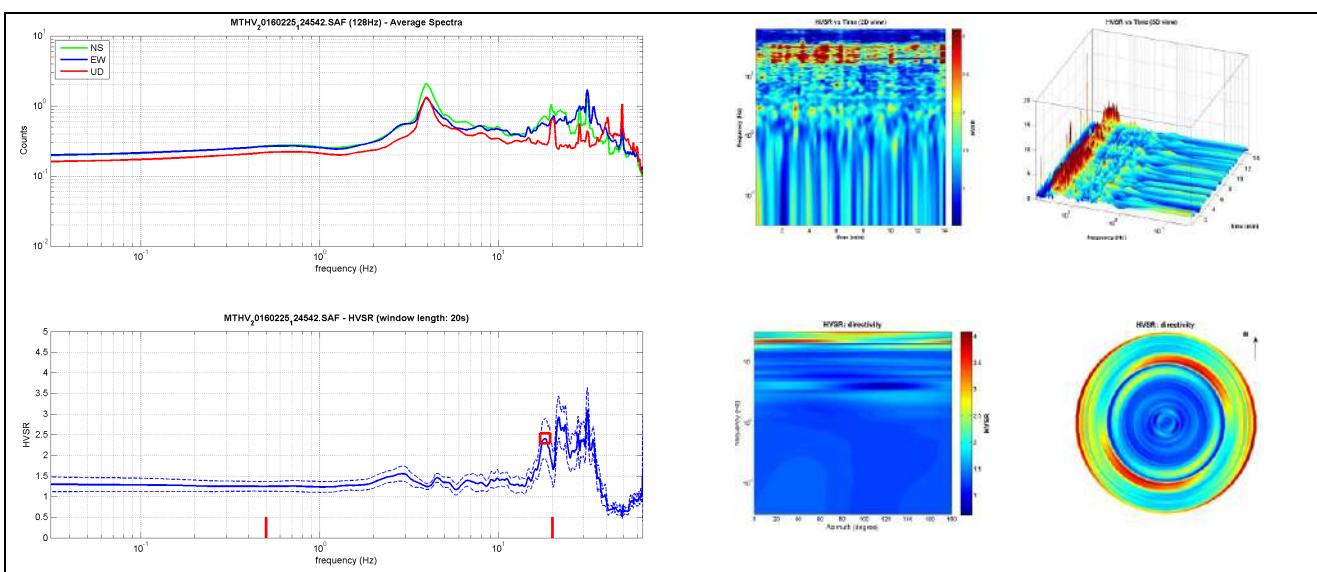
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: (NO)

#3. $[A_0 > 2]$: $2.4 > 2$ (OK)

#4. $[f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)

#5. $[\sigma A(f) < \epsilon(f_0)]$: $3.747 > 0.911$ (NO)

#6. $[\sigma A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.491 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 10

Date: 25 02 2016

Time: 14 21

Dataset: MT_20160225_142121.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 17.9

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 8 - 20

Peak HVSR value: 2.9 (± 0.4)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. $[f_0 > 10/L_w]: 11.287 > 0.5$ (OK)

#2. $[n_c > 200]: 23702 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0] | A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 2.8Hz (OK)

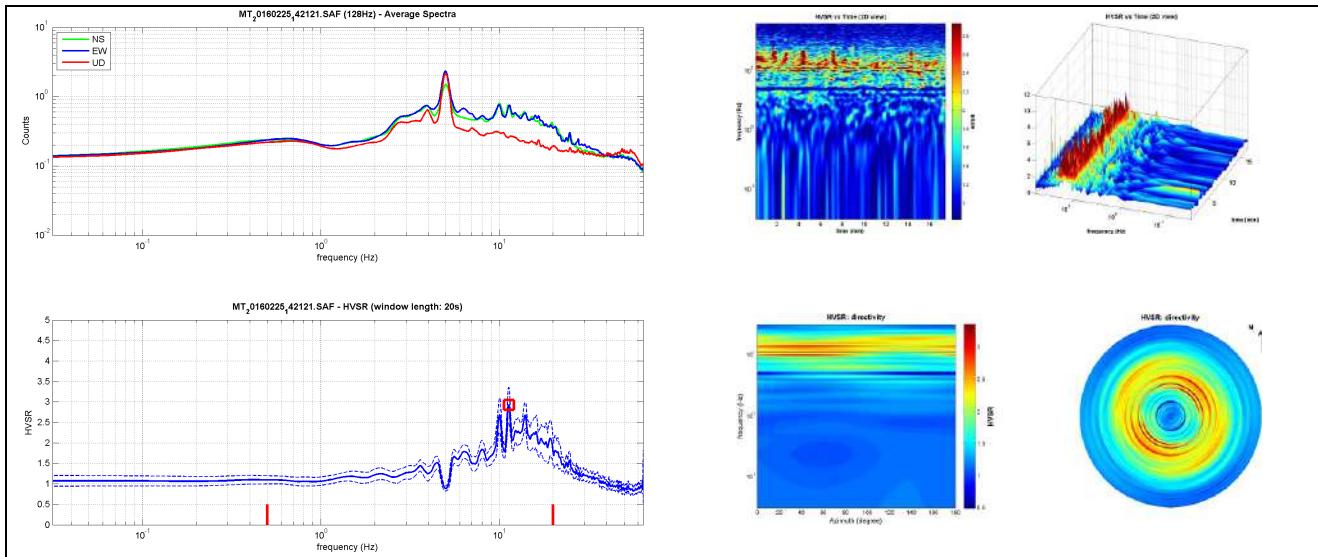
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0] | A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 30.1Hz (OK)

#3. $[A_0 > 2]: 2.9 > 2$ (OK)

#4. $[f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)

#5. $[\sigma A(f) < \epsilon(f_0)]$: 2.653 > 0.564 (NO)

#6. $[\sigma A(f_0) < \theta(f_0)]$: 0.429 < 1.58 (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 11

Date: 25 02 2016

Time: 14 59

Dataset: MT_20160225_145937.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 15.5

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 0

Peak HVSR value: < 2

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. [f0 > 10/Lw]: 10.099 > 0.5 (OK)

#2. [nc > 200]: 18380 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 3.0Hz (OK)

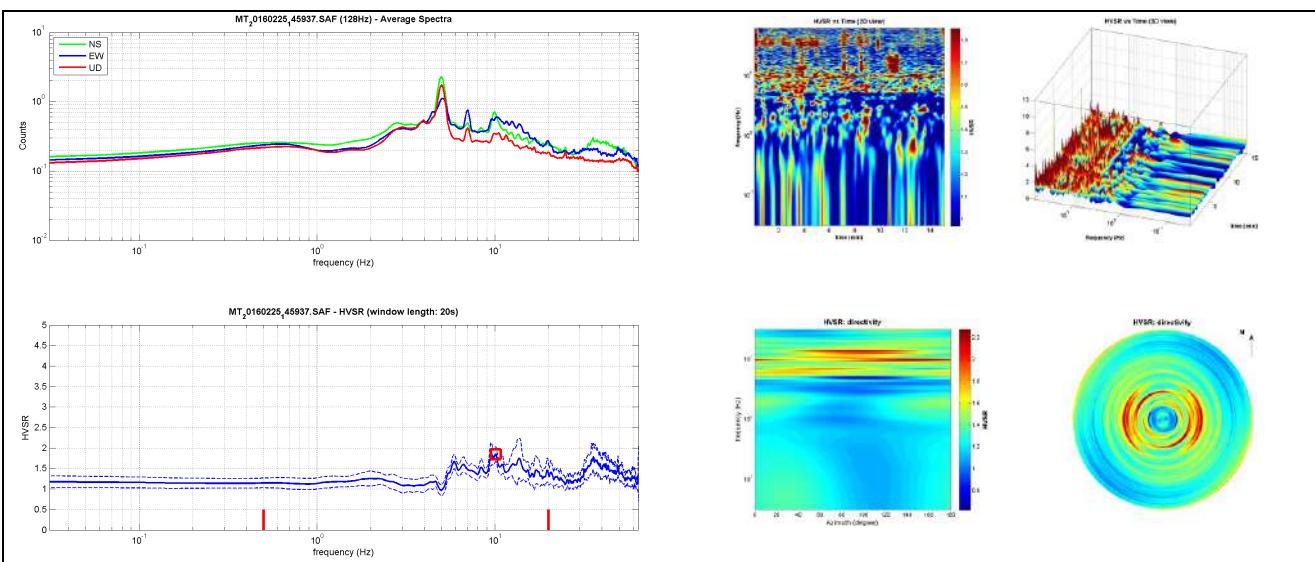
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: (NO)

#3. [A0 > 2]: 1.9 > 2 (NO)

#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (NO)

#5. [sigmalf < epsilon(f0)]: 3.242 > 0.505 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.182 < 1.58 (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 12

Date: 02 03 2016

Time: 9 05

Dataset: MT_20160302_090513.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 19.2

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 3 - 5

Peak HVSR value: 4.1 (± 0.3)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. $[f_0 > 10/L_w]$: $4.002 > 0.5$ (OK)

#2. $[n_c > 200]$: $8964 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.0Hz (OK)

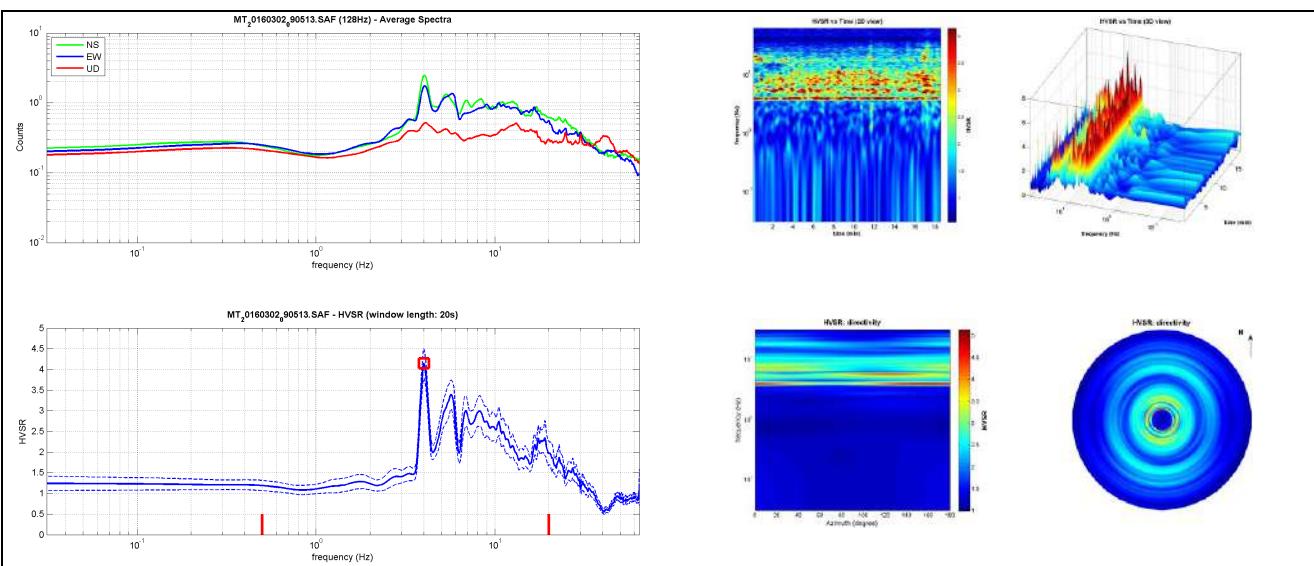
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 4.5Hz (OK)

#3. $[A_0 > 2]$: $4.1 > 2$ (OK)

#4. $[f_{peak}[AH/v(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)

#5. $[\sigma A(f) < \epsilon(f_0)]$: $3.468 > 0.200$ (NO)

#6. $[\sigma A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.356 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 13

Date: 02 03 2016

Time: 9 53

Dataset: MTHV_20160302_095347.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 25

Length of analysed temporal sequence (min): 17.4

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 3 - 5

Peak HVSR value: 2.7 (± 0.3)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: $3.502 > 0.5$ (OK)

#2. [$n_c > 200$]: $7091 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$]: (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 0.9Hz (OK)

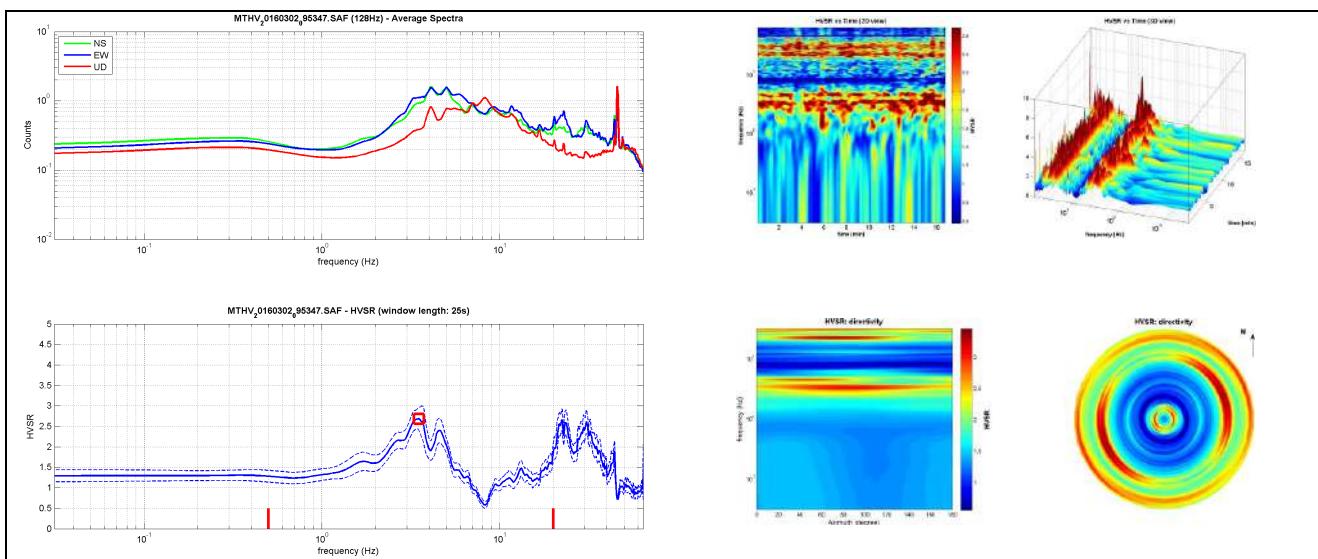
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 6.1Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $2.7 > 2$ (OK)

#4. [$f_{peak}[AH/V(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma A(f) < \epsilon(f_0)$]: $4.752 > 0.175$ (NO)

#6. [$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.276 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 14

Date: 02 03 2016

Time: 10 49

Dataset: MT_20160302_104916.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 17.4

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 5 - 8

Peak HVSR value: 3.0 (± 0.6)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: $5.784 > 0.5$ (OK)

#2. [$n_c > 200$]: $11800 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$]: (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.5Hz (OK)

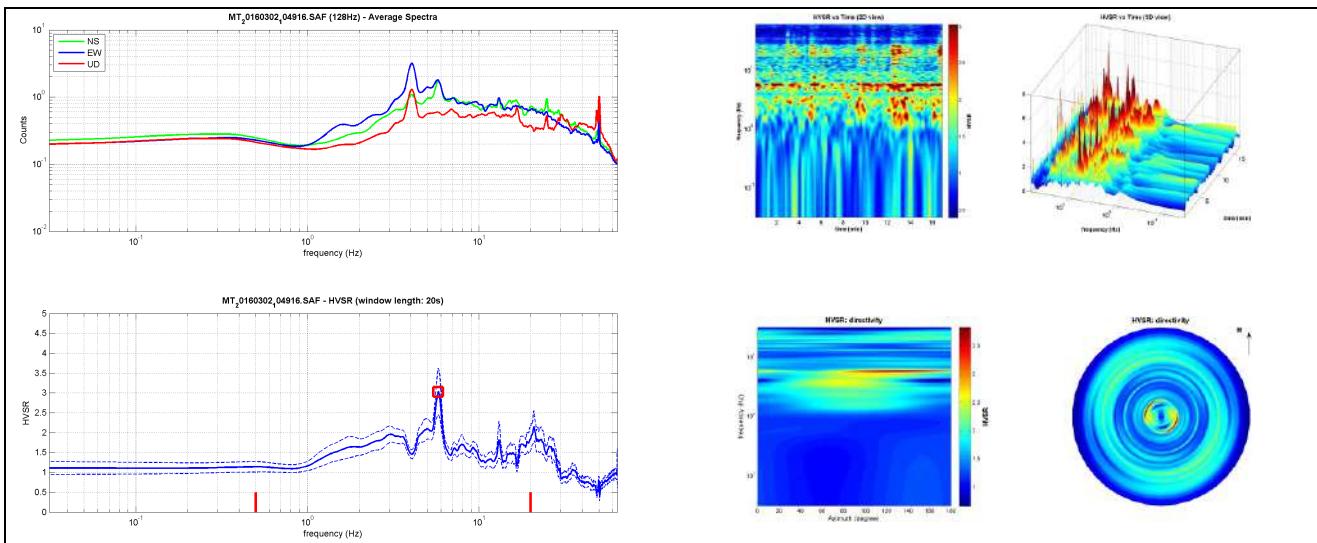
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 6.6Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $3.0 > 2$ (OK)

#4. [$f_{peak}[AH/V(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma A(f) < \epsilon(f_0)$]: $5.070 > 0.289$ (NO)

#6. [$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.579 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 15

Date: 02 03 2016

Time: 12 00

Dataset: MT_20160302_120026.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 13.7

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 8 - 20

Peak HVSR value: 2.2 (± 0.2)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: $16.227 > 0.5$ (OK)

#2. [$n_c > 200$]: $25963 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_{\text{A}}(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$]: (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $\text{AH}/\text{V}(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 6.2Hz (OK)

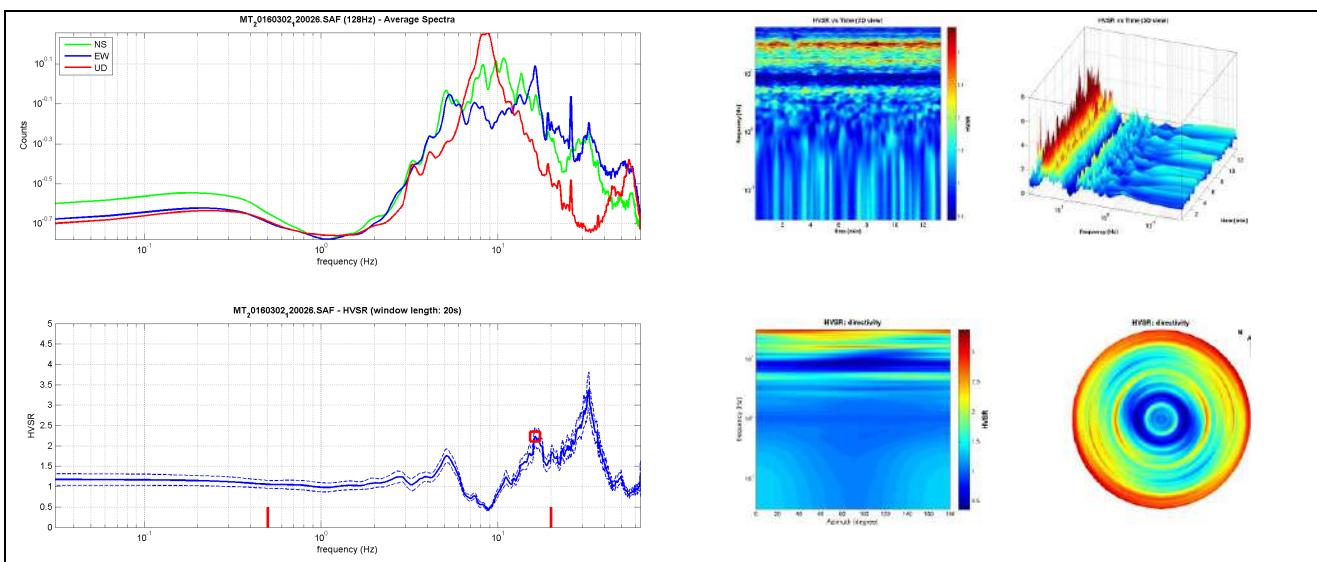
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $\text{AH}/\text{V}(f_+) < A_0/2$]: (NO)

#3. [$A_0 > 2$]: $2.2 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[\text{AH}/\text{V}(f) \pm \sigma_{\text{A}}(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma_{\text{A}}(f_0) < \epsilon(f_0)$]: $2.520 > 0.811$ (NO)

#6. [$\sigma_{\text{A}}(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.225 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 16

Date: 02 03 2016

Time: 12 47

Dataset: MT_20160302_124727.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 16.4

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 5 - 8

Peak HVSR value: 5.3 (± 0.5)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: $5.065 > 0.5$ (OK)

#2. [$n_c > 200$]: $9623 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$]: (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.3Hz (OK)

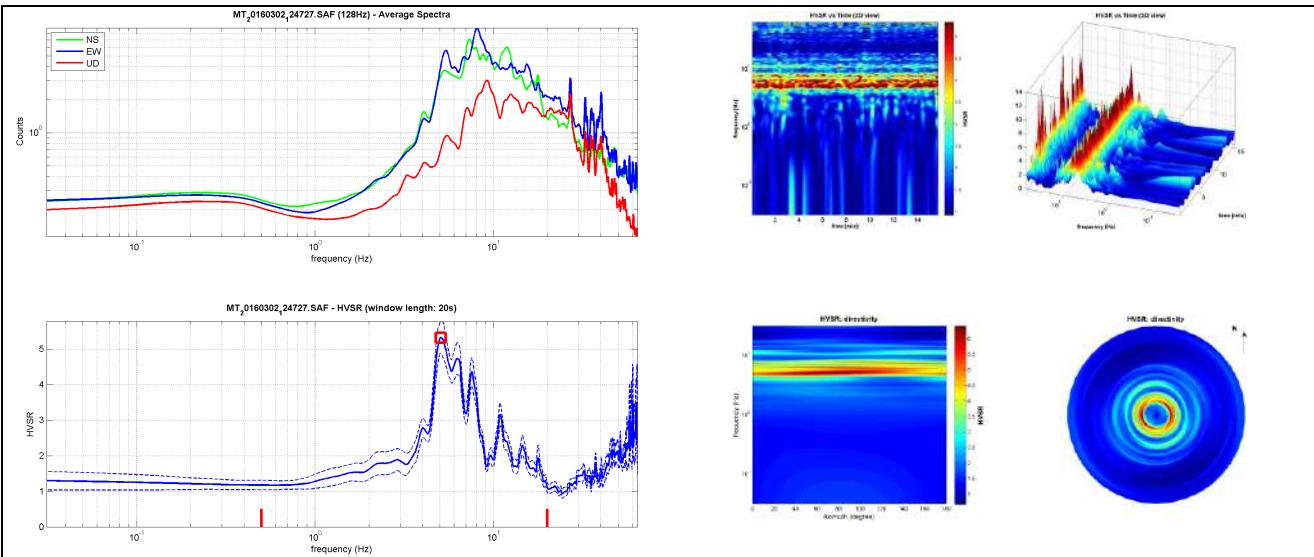
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 8.4Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $5.3 > 2$ (OK)

#4. [$f_{peak}[AH/V(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma A(f) < \epsilon(f_0)$]: $0.827 > 0.253$ (NO)

#6. [$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.448 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 17

Date: 02 03 2016

Time: 13 47

Dataset: MT_20160302_134708.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 14.5

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-40.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): > 20

Peak HVSR value: 5.0 (± 0.8)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: $23.543 > 0.5$ (OK)

#2. [$n_c > 200$]: $39552 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$]: (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 5.9Hz (OK)

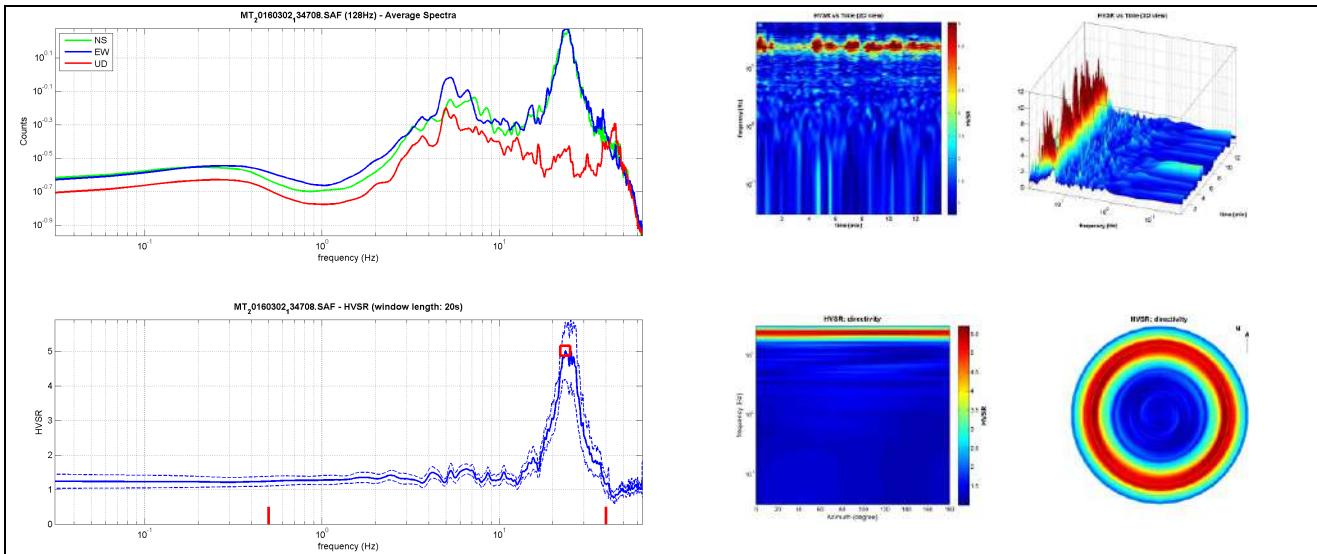
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 30.3Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $5.0 > 2$ (OK)

#4. [$f_{peak}[AH/V(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma A(f) < \epsilon(f_0)$]: $1.801 > 1.177$ (NO)

#6. [$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.832 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 18

Date: 02 03 2016

Time: 14 55

Dataset: MT_20160302_145554.SAF

Original record length (min): 30.0

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 9.1

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 0

Peak HVSR value: < 2

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. $[f_0 > 10/L_w]: 19.572 > 0.5$ (OK)

#2. $[n_c > 200]: 20355 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0] | A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 10.3Hz (OK)

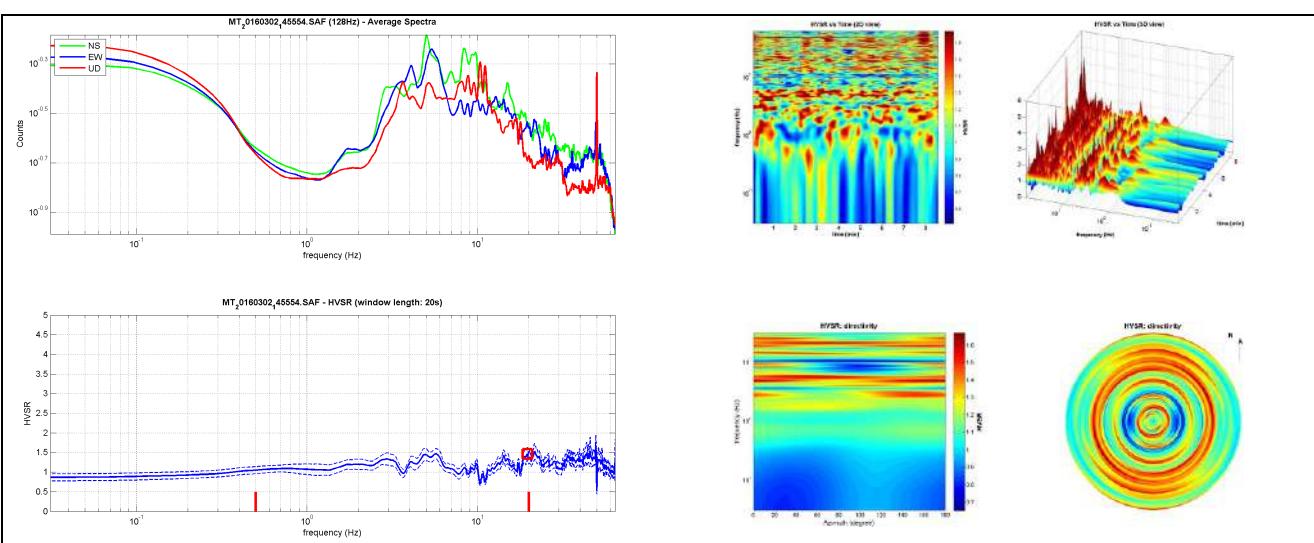
#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0] | A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: (NO)

#3. $[A_0 > 2]: 1.5 > 2$ (NO)

#4. $[f_{peak}[A_{H/V}(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)

#5. $[\sigma f < \epsilon(f_0)]: 6.789 > 0.979$ (NO)

#6. $[\sigma A(f_0) < \theta(f_0)]: 0.163 < 1.58$ (OK)



Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

HVSR 19

Date: 08 04 2016

Time: 12 44

Dataset: MT_20160408_124432.SAF

Original record length (min): 23.4

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 13.2

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 10 %



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 3 - 5

Peak HVSR value: 2.5 (± 0.2)

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: $3.158 > 0.5$ (OK)

#2. [$n_c > 200$]: $4547 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$]: (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 0.8Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: (NO)

#3. [$A_0 > 2$]: $2.5 > 2$ (OK)

#4. [$f_{peak}[AH/V(f) \pm \sigma A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma A(f) < \epsilon(f_0)$]: $0.682 > 0.158$ (NO)

#6. [$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.237 < 1.58$ (OK)

