



REGIONE DEL VENETO

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

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa SISMICA

COMUNE di CROCETTA DEL MONTELLO (TV)

LIVELLO 2



Regione	Soggetto realizzatore	Data
		18 Settembre 2015 Revisione: 09 Novembre 2015

INDICE

1	INTRODUZIONE E GENERALITA'	3
1.1	Riferimenti normativi.....	4
1.2	Ambiti di studio	6
2	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	8
2.1	Generalità.....	8
2.2	Definizione della pericolosità di base	9
2.3	La classificazione sismica del territorio comunale	13
2.4	I sistemi di faglie attive.....	15
2.4.1	<i>Cenni storici</i>	15
2.4.2	<i>Studio delle faglie</i>	17
2.4.3	<i>Le sorgenti sismogenetiche responsabili di terremoti distruttivi</i>	18
2.4.4	<i>Faglie attive e capaci</i>	23
3	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	24
3.1	Inquadramento geologico - geomorfologico.....	24
4	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	26
5	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	26
5.1	Individuazione delle microzone.....	26
5.2	Metodologia di studio	27
5.3	Breve descrizione del metodo	28
6	INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE	30
7	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	30
8	ELABORATI CARTOGRAFICI	32
9	Carta DELLE Frequenze Naturali dei Depositi	32
10	Carta di Microzonazione Sismica	33
11	Procedure di analisi per la MS di 2° livello	36
11.1	Valutazione degli effetti morfologici.....	36
11.1.1	<i>Zona di scarpata</i>	36
11.2	Valutazione degli effetti litologici.....	38
11.3	Liquefazione	40
12	Stima dei fattori di amplificazione FA e FV	41
12.1	Effetti di amplificazione litostratigrafica.....	41
12.2	Zona di fondovalle.....	44
12.3	Effetti di amplificazione morfologica.....	46
13	CONCLUSIONI	48
14	BIBLIOGRAFIA	50
15	ALLEGATI	52

1 INTRODUZIONE E GENERALITA'

L'ufficio tecnico del comune di Crocetta del Montello (Treviso), nella persona del responsabile di servizio, Arch. Massimo Zorzetto, mi ha affidato l'incarico per compiere lo studio di Microzonazione Sismica (livello 2) del territorio comunale ai fini dell'attuazione del Piano degli Interventi (P.I.), eseguito in coerenza con il Piano di Assetto del Territorio (P.A.T.), poiché il comune di Crocetta del Montello è classificato in zona 2, che corrisponde ad un territorio a pericolosità sismica di base medio-alta. L'accelerazione di riferimento per il comune è $a_g=0.227197$ come riportato in all. 7 della OPCM 3907/2010.

La determinazione n. 180 del 31/07/2015 "incarico professionale per integrazione microzonazione sismica di 1° livello e analisi per condizioni limite per l'emergenza" di affidamento dell'incarico riporta come riferimento il C.I.G. **ZE51596496**.

La metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente:

1° LIVELLO (eseguito dallo scrivente e consegnato in data 15 Maggio 2015 al Comune di Crocetta del Montello): si applica in sede di P.A.T. consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica ed identifica, nella carta MOPS, le parti del territorio comunale suscettibili di effetti locali: amplificazione del moto sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, liquefazione, rottura del terreno.

2° LIVELLO (oggetto di questo studio): ha come obiettivo la redazione della MS e si applica in sede di P.I. a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato" così come previsti dalla normativa vigente.

3° LIVELLO: restituisce una Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

La presente relazione illustra i dati riguardanti gli approfondimenti effettuati e fa riferimento alla cartografia allegata che contiene l'ubicazione delle indagini, l'individuazione delle microzone omogenee indagate e relative condizioni predisponenti l'amplificazione.

Il documento tecnico di riferimento per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica è rappresentato dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome in accordo con la Presidenza del Consiglio dei Ministri e del Dipartimento della Protezione Civile. Gli standard per la

stesura della carta delle indagini, della carta geologico-tecnica e la carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica e la loro informatizzazione sono quelli indicati dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907). A questo si aggiungono le "linee guida per gli studi di microzonazione sismica" pubblicati come allegato A alla DGR 1572 del 03/09/2013.

Gli studi di MS si propongono di:

- identificare e perimetrare le aree a differente pericolosità sismica locale (microzone, solitamente grandi alcuni ettari o alcuni isolati);
- stimare le risposte dei terreni delle diverse microzone, in modo da stabilire gerarchie di pericolosità e fornire elementi conoscitivi per una pianificazione del territorio e progettazione delle opere, adeguate alla pericolosità sismica del sito.

Nella sua interezza il documento nazionale intende costituire un elemento utile all'approfondimento della pericolosità sismica locale, necessario all'analisi del rischio sismico, applicabile ai settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione dell'emergenza e della normativa tecnica per la progettazione. Il documento individua e determina criteri, metodi e procedure per l'esecuzione di azioni di microzonazione a diverse scale e con diversi livelli di approfondimento.

Si precisa che l'avvio di uno studio di microzonazione sismica a livello regionale riveste carattere sperimentale e pertanto deve essere inteso come "fase pilota" ed i livelli di approfondimento potranno essere aggiornati e/o integrati nel tempo al fine di migliorarne l'applicabilità in relazione al contesto geologico-tecnico locale. La microzonazione sismica (MS) ha lo scopo di riconoscere ad una scala sufficientemente grande (scala comunale o sub comunale) le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture. In sostanza, lo studio di MS viene sintetizzato in una carta del territorio nella quale sono indicate le zone in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono superiori a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base.

1.1 Riferimenti normativi

Il lavoro è stato svolto in accordo con D.G.R. 3308/2008 e la D.G.R. 1572/2013 per arrivare alle cartografie definite "livello 2" in quest'ultimo documento, avendo come base di partenza gli elaborati della relazione illustrativa dello studio di compatibilità sismica del PAT e relative

cartografie a cura di ADASTRA – Servizi per la geologia – di Torre di Mosto (VE) e quelle del “livello 1” già sviluppato e consegnato a maggio 2015.

In particolare:

- L. 02.02.1974, n. 64, "*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*";
- D. M. 14.05.1982, "*Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto*";
- D.M. 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, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*";
- Circ. LL. PP. 24 settembre 1988, n° 30483 "*Norme tecniche per terreni e fondazioni - Istruzioni applicative*";
- Circ. Reg. Veneto 05.04.2000, n. 9, "*Indirizzi in materia di prescrizioni tecniche da osservare per la realizzazione di opere pubbliche e private. Obblighi derivanti dalla L. 02.02.1974, n. 64 e dal D.M. 11.03.1988*";
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003, "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica*";
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 03.05.2005 "*Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 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»*";
- D.M. 14.09.2005, "*Norme tecniche per le costruzioni*";
- 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*";
- Legge n. 77 del 24 Giugno 2009, "*Interventi urgenti di Protezione Civile in materia di prevenzione del rischio sismico*".
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, "*Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*".
- D.M. 14.01.2008, "*Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*".
- D.G.R. del Veneto n. 71 del 22 gennaio 2008, "*Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519 «Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*". Direttive per

l'applicazione.

- Circolare 02 febbraio 2009 n. 617/C.S.LL.PP..
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907 del 13 novembre 2010.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 4007 del 29/02/2012.
- Deliberazione della Giunta Regionale n. 1496 del 20 settembre 2011, “*Fondo statale per interventi di prevenzione del rischio sismico di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907 in data 13 novembre 2010*”.

1.2 Ambiti di studio

Nell'ambito della pianificazione territoriale del comune di Crocetta del Montello, all'interno del P.I., in funzione delle varie scale e dei vari livelli di intervento, lo studio di MS di livello 2 è stato condotto su quelle aree per le quali le condizioni normative consentono o prevedono l'uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, o la loro potenziale trasformazione a tali fini. Si sono considerate e studiate quelle parti di territorio suscettibili di amplificazione sismica individuate nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici.

Il territorio del comune di Crocetta del Montello è collocato nella parte centrale della Provincia di Treviso e confina con i comuni di Cornuda a Ovest, Pederobba, Vidor e Moriago della Battaglia a Nord e con Montebelluna a Sud e Volpago del Montello a Est; occupa una superficie totale di 26 km² di cui sono oggetto di indagine per lo studio di Microzonazione Sismica tutte le aree ad esclusione dei SIC, ZPS e aree ritenute non rilevanti ai fini urbanistici.

La base cartografica utilizzata è la Carta Tecnica Regionale a scala 1:5000, i cui riferimenti specifici sono i seguenti:

- Elemento 084144 Capitello dei Lupi;
- Elemento 084143 santa Maria della Vittoria;
- Elemento 084134 Cornuda;
- Elemento 084133 Nogarè;
- Elemento 084132 Crosera;
- Elemento 084131 Ciano;
- Elemento 084103 Moriago della Battaglia;
- Elemento 084092 Mosnigo.

Per quanto riguarda le vie di comunicazione principali il territorio è attraversato da due direttrici principali: Sp2 (Via Erizzo) che attraversa il centro abitato del Comune con direzione Nord-Sud, SP

77 (Via Lodovico Boschieri, Via Francesco Baracca e Via Gabriele D'Annunzio) che taglia il territorio comunale con direzione Est-Ovest correndo al piede settentrionale del Montello da cui si dipartono le caratteristiche “prese” che salgono al colle.

I caratteri litologici presenti possono essere divisi in due aree:

- terreni quaternari ascrivibili a depositi alluvionali del fiume Piave presenti nella porzione occidentale e settentrionale del territorio comunale caratterizzate da un andamento da sub pianeggiante a debolmente ondulato.
- terreni conglomeratici, limoso-argilloso-sabbiosi, con coperture di alterazione di qualche metro di spessore su substrati alterati e incarsiti, derivanti dal disfacimento del substrato costituito da un conglomerato poligenico (*Conglomerato del Montello*) del Messiniano (Miocene superiore).

Va altresì precisato che nella fascia di raccordo tra la zona collinare e la zona pianeggiante sono presenti depositi fluviali che in questa fascia risultano intergreditati con quelli colluviali derivanti dal disfacimento carsico del substrato conglomeratico del Montello.

Si rimanda alla relazione del “livello 1” per ulteriori particolari.

Per quanto riguarda i terremoti storici che hanno colpito l'area si è fatto riferimento al Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI), disponibile al sito <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>, frutto di un progetto portato avanti da un Gruppo di Lavoro formato da ricercatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica (ING), del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) del CNR, della società SGA Storia Geofisica Ambiente (SGA) e del Servizio Sismico Nazionale (SSN). Il catalogo viene aggiornato periodicamente sulla scorta delle nuove conoscenze. Dalla prima formulazione del 1999 (CPTI99), ne è seguita una seconda nel 2004 (CPTI04) ed una terza nel 2008 (CPTI08) che aggiornava quella precedente per gli anni dal 1901 al 2006, anche questa disponibile online. L'ultimo aggiornamento del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11), è sempre disponibile all'indirizzo: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>.

Per quanto riguarda le faglie capaci che interessano il territorio comunale si è invece fatto riferimento al catalogo ITHACA “ITaly HAZard from CAPable faults”, disponibile on-line all'indirizzo http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/ITHACA-Catalogo_delle_faglie_capaci.

Alcuni aspetti sono stati definiti anche sulla scorta dell'osservazione allo stereoscopio delle fotoaeree IGMI volo del 1993 e delle immagini CGR del 1998-99, 2003 e 2007 nonché Telespazio 2007 e DigitalGlobe 2011.

2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Generalità

La pericolosità sismica di base, definita ai sensi del D.M. 14/01/2008, è la componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). Essa 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, con riferimento a condizioni ideali di bedrock sismico affiorante e privo di irregolarità morfologiche (superficie topografica orizzontale) e fornisce le caratteristiche del terremoto di riferimento (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali). La scala di studio è solitamente regionale e costituisce una base per la definizione del terremoto di riferimento per studi di microzonazione sismica.

Teoria ed esperienze nazionali ed internazionali, mostrano con estrema chiarezza che in concomitanza di eventi sismici, l'intrinseca eterogeneità delle caratteristiche geometriche, fisiche, idrauliche e meccaniche dei terreni può indurre danni all'ambiente fisico ed all'ambiente costruito variabili anche in siti posti a breve o brevissima distanza. Tale fenomeno dipende innanzitutto dalle caratteristiche del moto sismico al tetto della formazione di base, nonché dalle caratteristiche geometriche profonde e superficiali dei terreni, dalle loro proprietà fisiche e meccaniche, dalle caratteristiche di permeabilità e dalle condizioni idrauliche al contorno. La risposta sismica locale è la modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuta alle specifiche condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche di un sito. Si può quantificare mediante il rapporto tra il moto sismico alla superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale. Se questo rapporto è maggiore di 1, si parla di amplificazione locale.

Il presente studio di Microzonazione Sismica si applica a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase (MS livello 1) e per la quale si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato" così come previsti dalla normativa vigente e lungo le fasce delle nuove reti infrastrutturali.

La finalità del secondo livello di approfondimento è quindi di compensare le incertezze del primo livello con approfondimenti conoscitivi e fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati

(abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente.

Il risultato fondamentale del 2° livello è la CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (scala di rappresentazione adeguata, es. 1:5.000), ottenuta associando la quantificazione numerica degli effetti, alle parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica. La quantificazione numerica degli effetti sarà così rappresentata: - per gli scenari P1c e P2 da differenti parametri quantitativi; - per gli scenari P3 e P4 dai fattori di amplificazione F_a e F_v . I valori dei fattori di amplificazione, ottenuti con la procedura semplificata di secondo livello per gli scenari P3 e P4, consistono nei valori di F_a , fattore di amplificazione a basso periodo, e di F_v , fattore di amplificazione a periodo proprio. Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione. Il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità.

Come chiaramente riportato nell'Allegato A della DGR 1572/13 "Nelle aree indagate con il secondo livello di approfondimento dovranno essere effettuate misure del tipo passivo a stazione singola da elaborare mediante tecnica H/V. Attualmente il ricorso alla tecnica H/V consente di individuare i possibili fenomeni di risonanza sismica e misura delle corrispondenti frequenze di vibrazione mediante misure passive del rumore sismico ambientale."

2.2 Definizione della pericolosità di base

La pericolosità sismica di base viene definita come la "Componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti)".

La più recente normativa sismica italiana, entrata in vigore il 08/05/2003 con la pubblicazione sulla G.U. dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274, recepita dalla Regione Veneto con DGR n. 67 del 3/12/2003, suddivide il territorio italiano in quattro zone sismiche, abbandonando la precedente terminologia di categorie sismiche.

In linea teorica, l'ingresso in zona sismica è agganciato al valore dell'accelerazione orizzontale di picco (Peak Ground Acceleration, PGA, indicata anche come accelerazione massima orizzontale) riferita ad un terreno a comportamento assimilabile alla roccia, ottenuta per un predeterminato livello di probabilità da studi di pericolosità sismica a carattere nazionale. I valori di PGA convenzionalmente associati alle zone sismiche sono riportati nella tabella successiva.

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

Tabella 1 – Valori di riferimento della attuale normativa sismica

Un ulteriore affinamento delle zone sismiche è stato fatto con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519 recante "*Criteria generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*", pubblicata nella G.U. dell'11 maggio 2006, n. 108, in cui sono state stabilite nuove disposizioni per l'individuazione a livello regionale delle zone sismiche che supera il concetto di categoria legato alle suddivisioni amministrative della precedente Ordinanza. Con il medesimo provvedimento è stata approvata la mappa di pericolosità sismica di riferimento nazionale che contiene le accelerazioni orizzontali massime convenzionali al suolo di tipo A, necessarie per redigere il calcolo sismico delle costruzioni.

Quindi la OPCM 3519/2006 di fatto supera il concetto stesso di zonazione, imponendo valori discretizzati nello spazio: la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Ciò comporta delle non trascurabili differenze nel calcolo dell'accelerazione sismica di base rispetto alle precedenti normative.

Successive elaborazioni (Progetto INGV-DPC S1, realizzato nell'ambito della Convenzione triennale 2004-2006 fra il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile, e INGV, avente come oggetto l'assistenza scientifica e manutenzione dell'elaborato di pericolosità rilasciato nel 2004) hanno portato ad ampliare la disponibilità di valori di pericolosità, riferiti a diverse probabilità di eccedenza, e/o valori di accelerazione spettrale. In particolare alcuni dati estrapolati dalla griglia:

- A_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale,

servono per ricavare gli spettri di progetto da utilizzare nella progettazione secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) approvate col D.M. 14/01/08. I punti della griglia sono consultabili on-line presso un sito WebGis appositamente predisposto: <http://esse1.mi.ingv.it>.

Nella figura alla pagina seguente è riportato uno stralcio della “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale” relativa alla Regione Veneto redatta dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2004 e recepita dalla recente Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006 sopra citata, che assume il ruolo di riferimento ufficiale per eventuali aggiornamenti della zonazione sismica del territorio da parte dei soggetti che ne hanno la competenza territoriale ovvero le Regioni.

Le zone sismiche tradizionali dell’Ordinanza 3274/2003 sopravvivono solo per scopi amministrativi e per la zona 4.

Per una più rigorosa analisi della risposta sismica locale, in prima battuta, vanno quindi considerate sia le caratteristiche della superficie topografica che quelle stratigrafiche le quali possono modificare il moto sismico in superficie favorendo eventuali fenomeni di instabilità.

A titolo esemplificativo, sulla base di quanto detto sopra e utilizzando un software specifico disponibile in rete (Geostru PS Parametri Sismici v. 1.5), il valore mediato del moto sismico rispetto ai quattro punti di maglia che lo comprendono e riferito al Municipio in Via Sant’Andrea 1 a Crocetta del Montello (figura a lato), può essere descritto convenientemente dallo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali del moto che tengono in debito conto delle amplificazioni locali (stratigrafiche e topografiche).

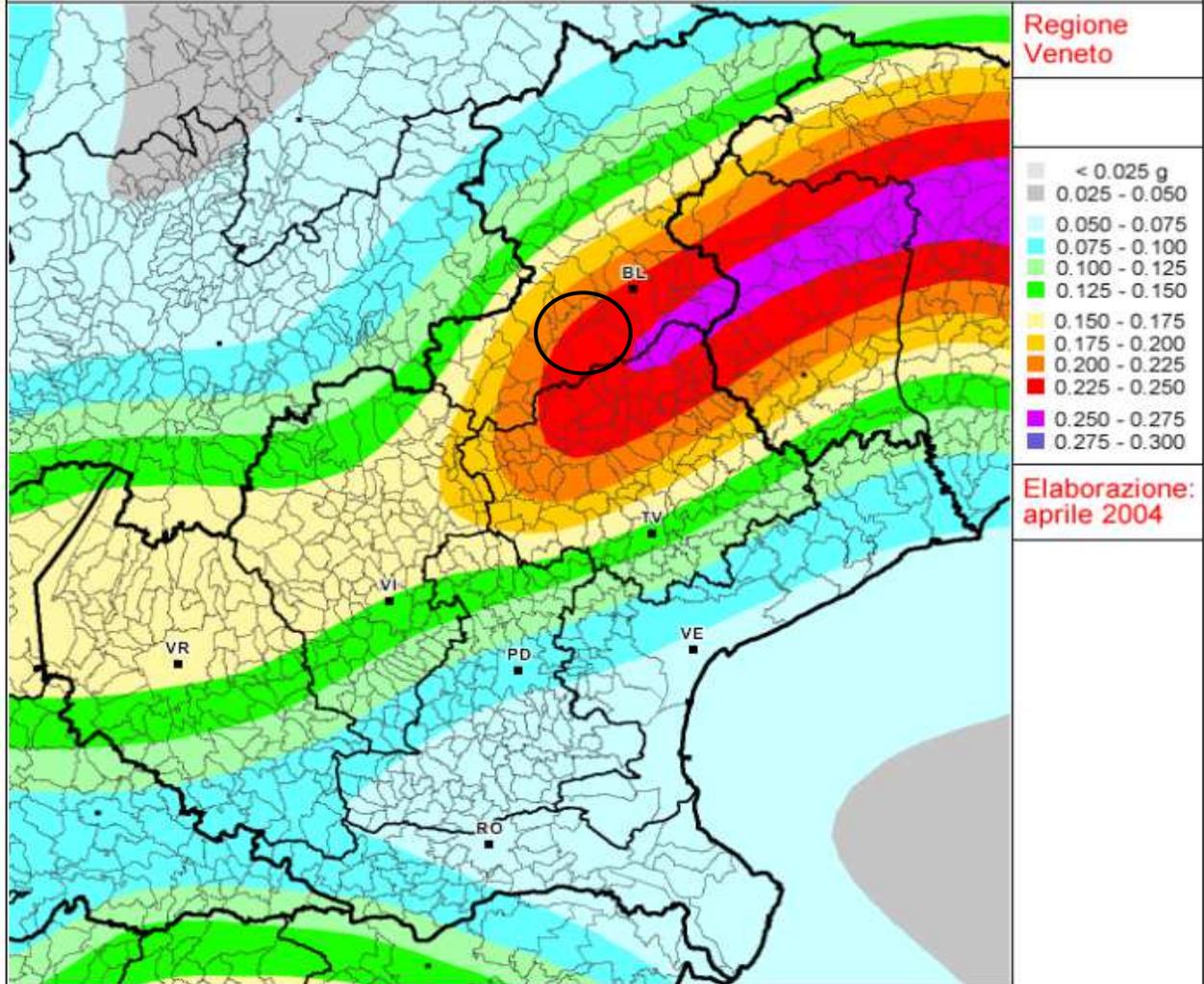




ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All. 1b)
espressa in termini di accelerazione massima del suolo
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)



I valori dei parametri a_g , F_0 e T^*c determinati sono relativi a situazioni geologiche corrispondenti ad un sito con assenza di effetti locali dei terreni (Categoria A), ovvero con presenza di substrato sismico ($V_{s30} > 800$ m/s) affiorante o subaffiorante ed in condizioni morfologiche pianeggianti.

La categoria topografica è la T1 in quanto pendio con inclinazione media inferiore ai 15° . Nella tabella sotto sono riportati i dati di ingresso e quelli di uscita, deducibili come detto dallo spettro di accelerazione, da utilizzare nelle verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita SLV come richiesto dalla normativa mediando dai valori di griglia del Ministero.

Da notare l'attribuzione di classe d'uso II che è propria di edifici residenziali e non di fabbricati strategici. I dati di longitudine e latitudine del sito sono stati desunti da Google Maps.

	Coordinate ED50	Coordinate WGS 84
Latitudine e Longitudine sito	N 45.827028 E 12.035726	N 45.82527100 E 12.03490800
	Dati di ingresso	Dati in uscita
Periodo di ritorno	475 anni	
Vita nominale dell'opera	50 anni	
Classe d'uso	II	
Fo	2,400	
Tc*	0,320	
Accelerazione orizzontale max al sito ag(g)	0,222	
Tipo terreno	B	
Coefficiente Cc	$1,10*(Tc^*)^{-0,20}$	1,382
Amplificazione Stratigrafica Ss	$1,40-0,40*Fo*ag/g$	1,187
Amplificazione Topografica St	T1	1,0
Accelerazione massima attesa in superficie	$amax= Ss*St*ag/g$	$1,187*1,0*0,222 = \mathbf{0,264}$

Tabella 2 – parametri di risposta sismica per la zona del municipio di Crocetta del Montello

2.3 La classificazione sismica del territorio comunale

In base alla zonazione attualmente adottata dall'INGV (ZS9), il territorio di Crocetta del Montello si trova nella zona sismotettonica ZS905 (Friuli – Veneto Orientale, vedi fig. 1) con Mwmax attesa di 6.60.

Il meccanismo di fagliazione responsabile dei terremoti che si sono verificati in questa zona è di tipo faglia inversa, con “profondità efficace” (profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti) ipocentrale media stimata di 8-12 km.

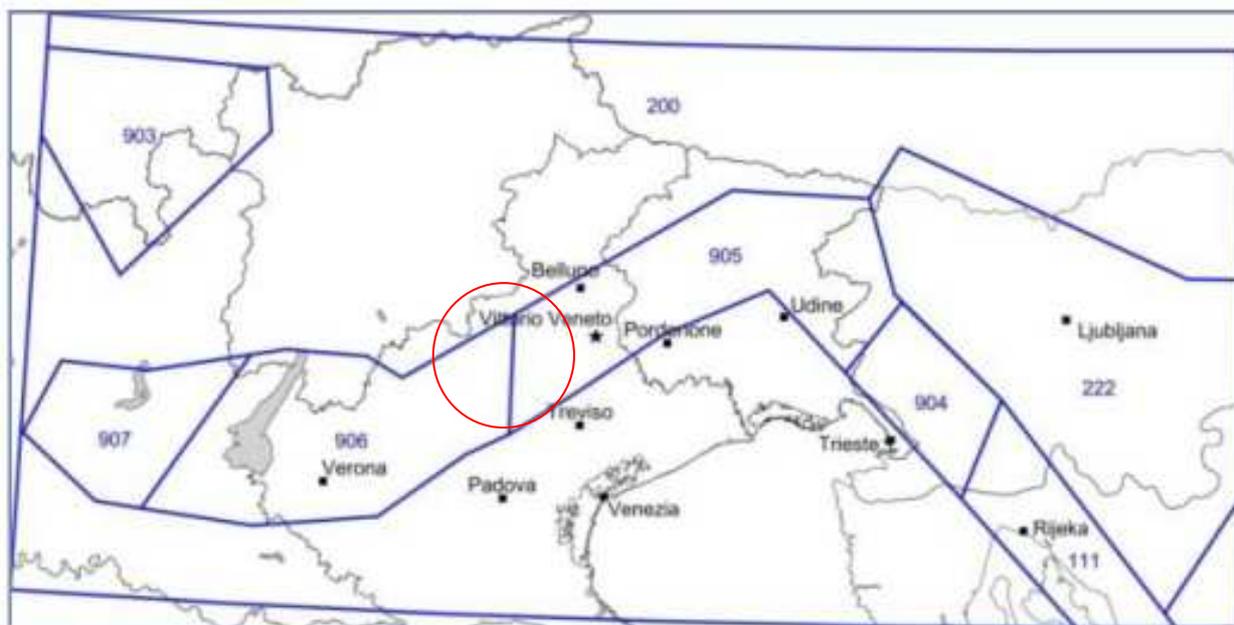


Fig. 1 - Zonazione sismogenetica ZS9

Per quanto riguarda la pericolosità sismica del territorio dal punto di vista macrosismico, come detto in introduzione, l'Ordinanza P.C.M. n. 3274/2003 ha inserito il comune di Crocetta del Montello in zona 2, confermandone la sismicità già riconosciuta da provvedimenti precedenti in particolare il D.M. 14 maggio 1982. Questa zona prevede una accelerazione massima di picco su suolo di riferimento rigido tra $0,175 \div 0,250$ g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, che corrisponde al valore con tempo di ritorno di 475 anni (vedi figura 2).

Pertanto i valori di riferimento da utilizzarsi nella progettazione degli edifici devono essere compresi entro questa fascia. Secondo la mappa di pericolosità sismica elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia si vede come il comune di Crocetta del Montello è compreso entro una zona di accelerazione massima al suolo (riferita a suolo rigido di tipo A) di:

$$0,225 \div 0,250 \text{ g} = \text{settore Ovest del comune}$$

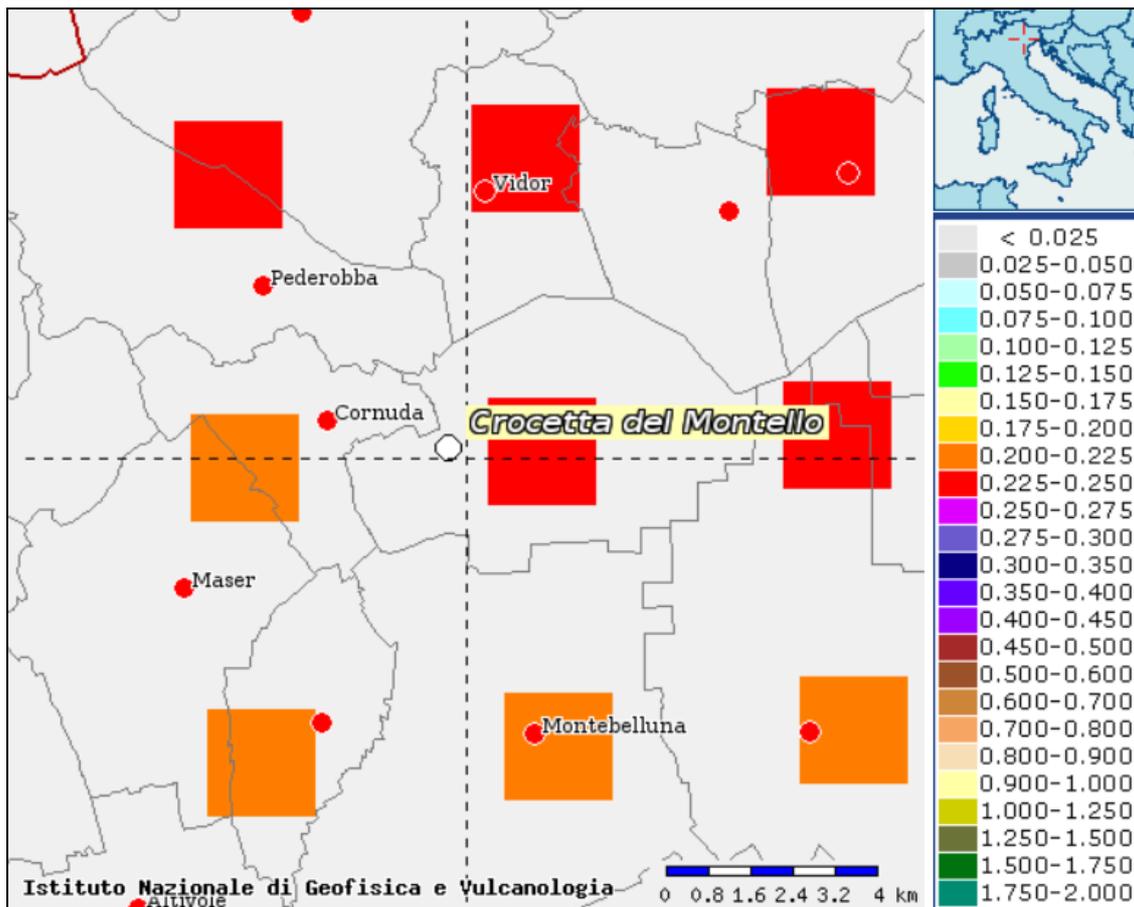


Fig. 2 - Mappa di pericolosità sismica del territorio comunale di Crocetta del Montello

2.4 I sistemi di faglie attive

2.4.1 Cenni storici

Negli anni '60 e '70 furono raccolti un gran numero di dati sull'attività Plio-Quaternaria delle faglie dell'Italia del NE, poi sintetizzati nella "Mappa Neotettonica dell'Italia" (CNR-PFG 1987). In questa vennero mappati i maggiori sistemi di *thrust* sud-vergenti che bordavano le pianure Veneta e Friulana ed influenzavano il dominio pre-Alpino, come strutture continue attive durante il Pliocene ed il Quaternario (faglie capaci).

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio può essere verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA "ITaly HAZard from CApable faults" disponibile on-line all'indirizzo http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/ITHACA-Catalogo_delle_faglie_capaci (Fig. 4).

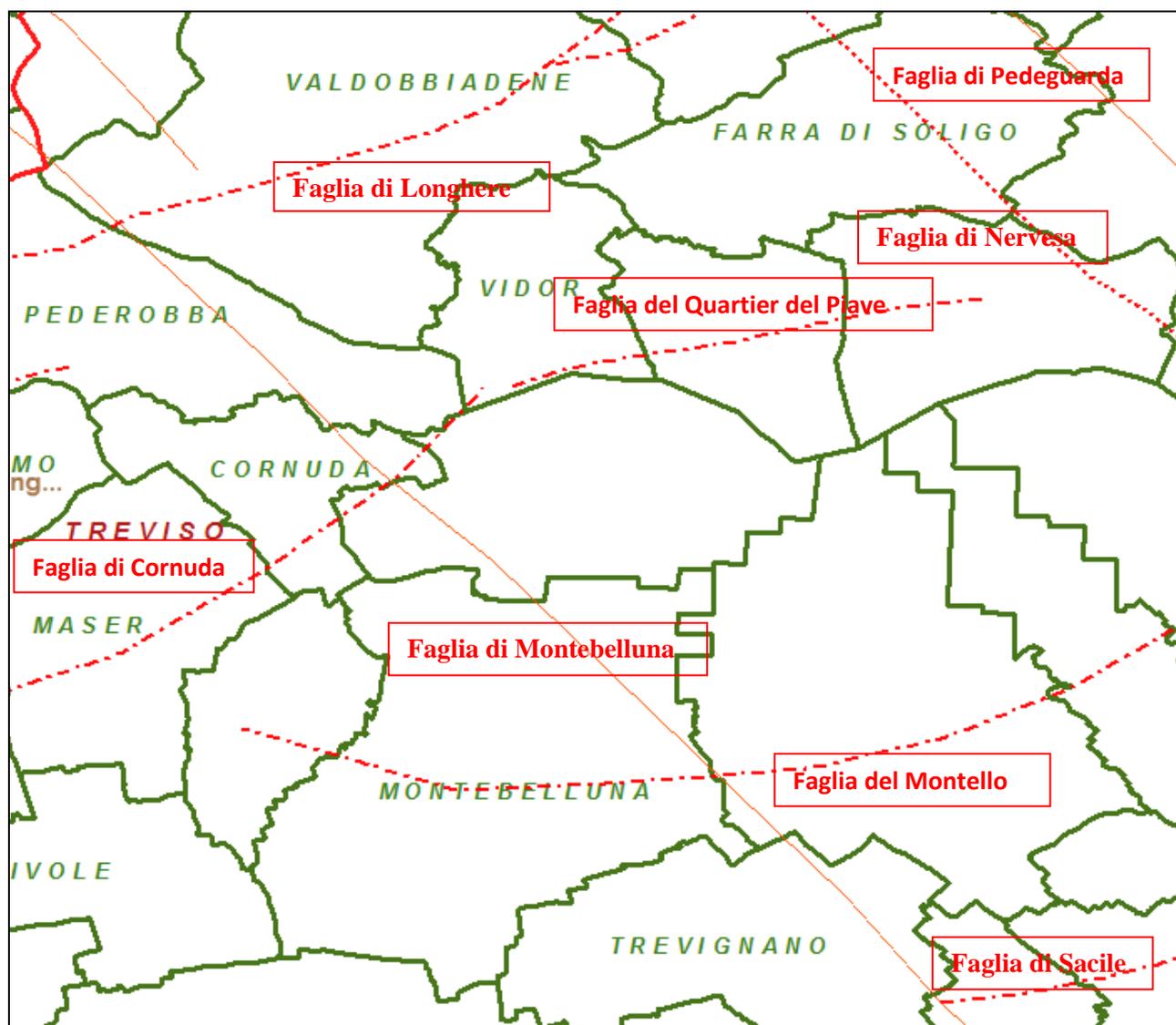


Fig. 3 - Cartografia con indicate le faglie capaci che interessano il Comune di Crocetta del Montello desunte dall'archivio ITHACA.

Dai dati geologici disponibili si può vedere come la recente attività tettonica sia il risultato di sovrascorrimenti “ciechi” responsabili di movimenti verticali differenziali e continua deformazione dei depositi e della morfologia del tardo Quaternario, ubicati sopra la linea di estremità delle faglie sepolte (Benedetti *et al.* 2000; Merlini *et al.* 2002; Peruzza *et al.* 2002).

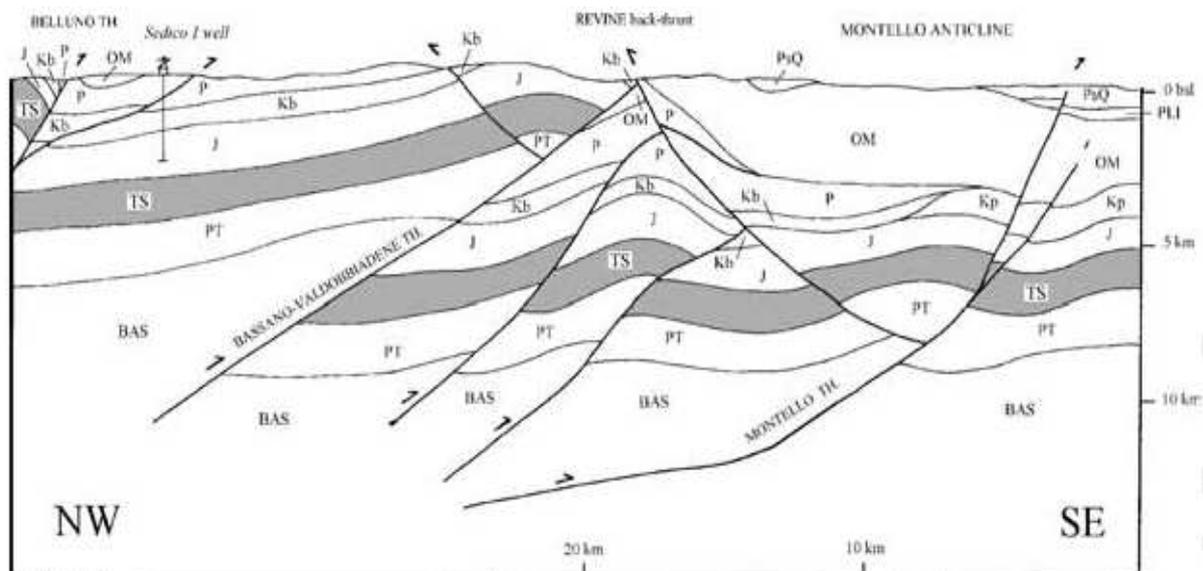


Fig. 4 - Sezione geologica attraverso il margine meridionale delle Alpi Meridionali orientali nell'area del Montello (da Fantoni et al., 2001). Legenda: PsQ: Pliocene sup.-Quaternario; PLI: Oligo-Miocene; P: Paleocene; Kb: Cretaceo (bacino); Kp: Cretaceo (piattaforma); J: Giurassico; TS: Trias superiore; PT: Permo-Trias; BAS: Basamento magmatico.

Questo stile deformativo (vedi figura 5) impedisce di comprendere il comportamento delle faglie attraverso il solo uso esteso delle ricerche paleosismologiche. Il quadro si complica ulteriormente qualora le faglie attive della tettonica Neo-Alpina riattivino faglie di sovrascorrimenti più antichi, in particolare quelli Dinarici (diretti NW-SE).

2.4.2 Studio delle faglie

La definizione della geometria tridimensionale delle faglie in profondità, soprattutto quando, come in questo caso, si tratta di sistemi di faglie "cieche" cioè sepolte sotto i depositi Quaternari, viene ricavata:

- dall'interpolazione e dal confronto di dati che vengono dallo studio geomorfologico superficiale (che danno informazioni sull'interazione tra la crescita del sovrascorrimento e le forme del territorio);
- dai profili sismici a riflessione trasversali ad esse. I dati geofisici (insieme ai dati dei sondaggi) aiutano a definire il profilo profondo della faglia, permettendo così di legare l'espressione superficiale di questa ad una superficie di faglia profonda;
- se la sorgente sismogenetica è stata responsabile di un terremoto in tempi recenti (es. Friuli 1976), dalla localizzazione epicentrale delle scosse principali e di assestamento e dallo studio dei parametri focali;
- dalla distribuzione dei danni dei terremoti storici.

Secondo questa filosofia, per la definizione della geometria dei maggiori sovrascorrimenti ciechi che interessano la nostra zona, sono stati utilizzati dati strutturali del sottosuolo, derivati da più di 1700 km di profili sismici a riflessione, che hanno permesso di definire la geometria profonda dei segmenti di faglia, fino a profondità comprese tra 5 e 14 km. I vettori di spostamento delle faglie sono stati ricavati da dati strutturali di superficie e dalla precedente conoscenza dei campi di stress che interessano la nostra regione. I tassi di spostamento a lungo termine sono stati invece ricavati dalle dislocazioni dei depositi quaternari.

2.4.3 Le sorgenti sismogenetiche responsabili di terremoti distruttivi

Per quanto riguarda la fascia Prealpina, l'elaborazione di un gran numero di dati ha permesso di segmentare il fronte della deformazione attuale in diverse strutture sismogenetiche individuali che possono essere potenzialmente responsabili di terremoti con magnitudo $M \geq 6$ (ricordiamo che l'energia rilasciata dipende dalla dimensione della sorgente). Sono state così riconosciute 9 strutture tettoniche potenzialmente sismogenetiche (vedi fig. 5).

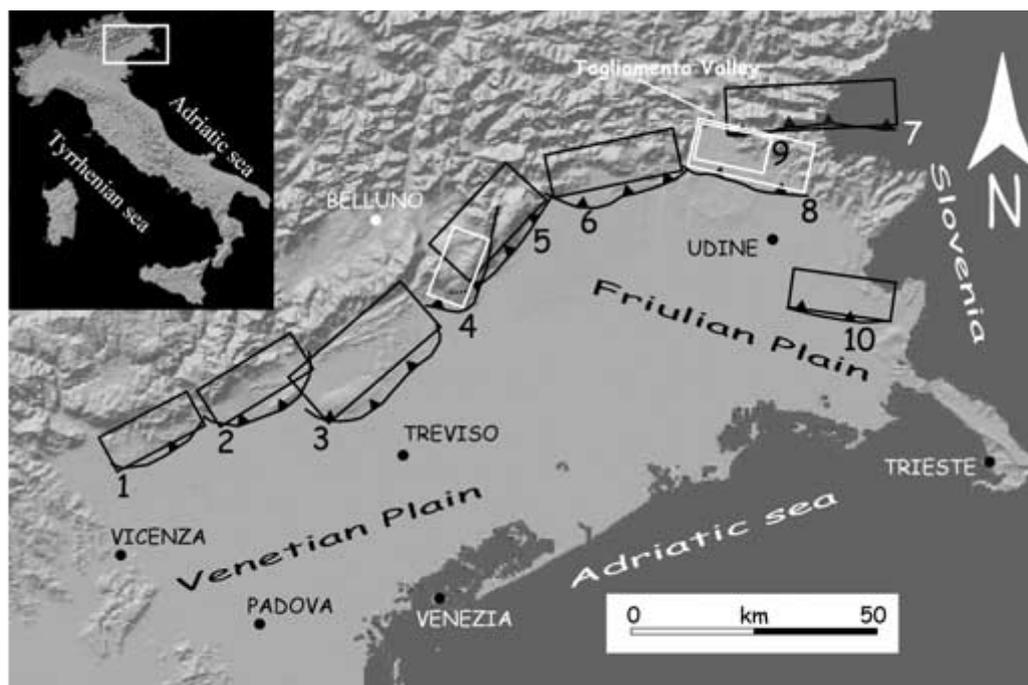


Fig. 5 - Mappa delle sorgenti sismogenetiche nel settore Thiene-Udine della catena delle Alpi Meridionali orientali: (1) Thien-Bassano; (2) Bassano-Cornuda; (3) Montello-Conegliano; (4) Cansiglio; (5) Polcenigo-Maniago; (6) Arba-Ragogna; (7) Gemona-Kobarid; (8) Susan-Tricesimo; (9) Trasaghis; (10) Medea. Le sorgenti contornate da rettangoli neri sono state definite principalmente attraverso dati geologici (superficiali e profondi); quelle dai rettangoli bianchi da dati misti geologici-sismici (da Galadini et al., 2005)

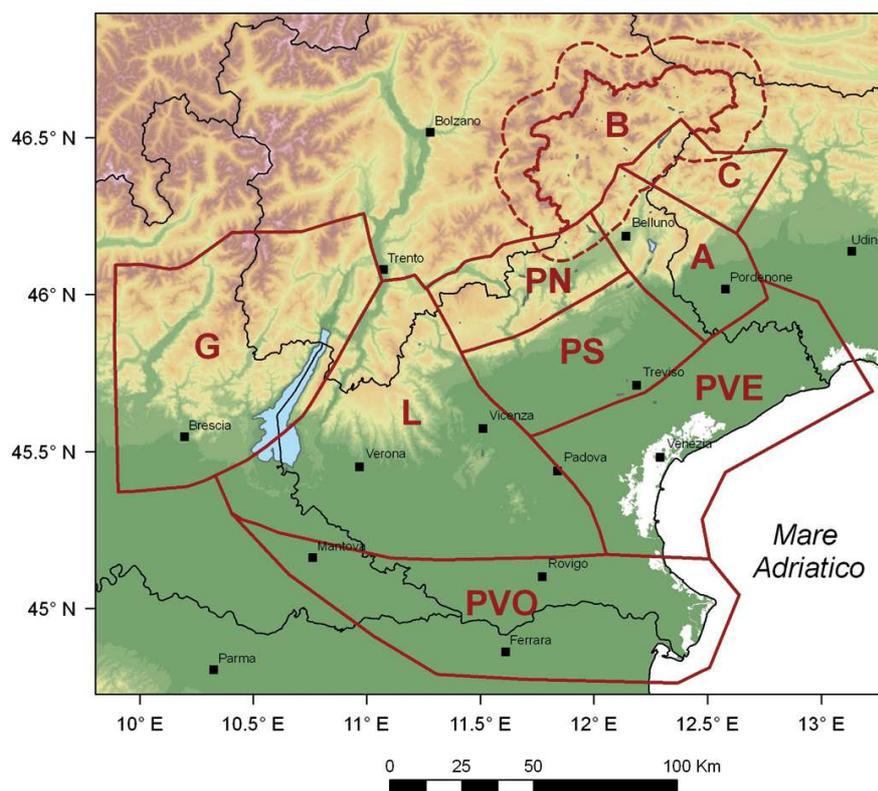


Fig. 6 - Distretti sismici del Veneto (in rosso): sigle descritte nel testo (da Sugan e Peruzza, 2011).

Va però citata anche una proposta più recente, del 2011, contenuta nella pubblicazione *Distretti sismici del Veneto* (M. SUGAN e L. PERUZZA) dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS); in questo lavoro viene riconosciuto un Distretto Pedemontana-Sud (vedi figura 7) con caratteristiche sismogenetiche particolari.

In tale lavoro, seguendo la suddetta suddivisione e considerando il Distretto Pedemontana Sud, le strutture tettoniche che più influenzano la zona in esame sono quelle denominate faglia del Montello e la faglia di Montebelluna. La zona indagata è infatti collegata all'innalzamento che proviene dall'attività dei sottostanti sovrascorrimenti ciechi.

Il Distretto Pedemontano Sud è improntato da diverse strutture tettoniche, sia disgiuntive che plicative, anche se il territorio di Crocetta del Montello è attraversato solo da alcuni di tali da lineamenti tettonici; all'interno dell'area di interesse coesistono altresì strutture minori e lineamenti principali alcuni dei quali rivestono grande importanza per capire l'assetto strutturale a livello regionale (vedi figura 8):

- qualche chilometro a N del Comune la grande flessura Bassano-Valdobbiadene- M. Visentin, elemento neotettonico principale di tutta l'area allargata;
- la faglia di Longhere o della Valcalda: grossomodo si snoda al piede e parallelamente alla flessura Bassano-Valdobbiadene, sul fondo della Vallata; si tratta di un fascio di faglie inverse con direzione WSW-ENE, rigetti complessivi dell'ordine di 4 km e lunghezza di circa 25 km;

- poco oltre il limite settentrionale dell'anticlinale del Montello, all'incirca tra Sernaglia della Battaglia e Fontigo, abbiamo la faglia del Quartier del Piave; è costituita in realtà da uno stretto fascio di faglie inverse, attive, con direzione WSW-ENE, obliterate dai sedimenti di copertura che frammenta il fianco meridionale della sinclinale del Soligo;

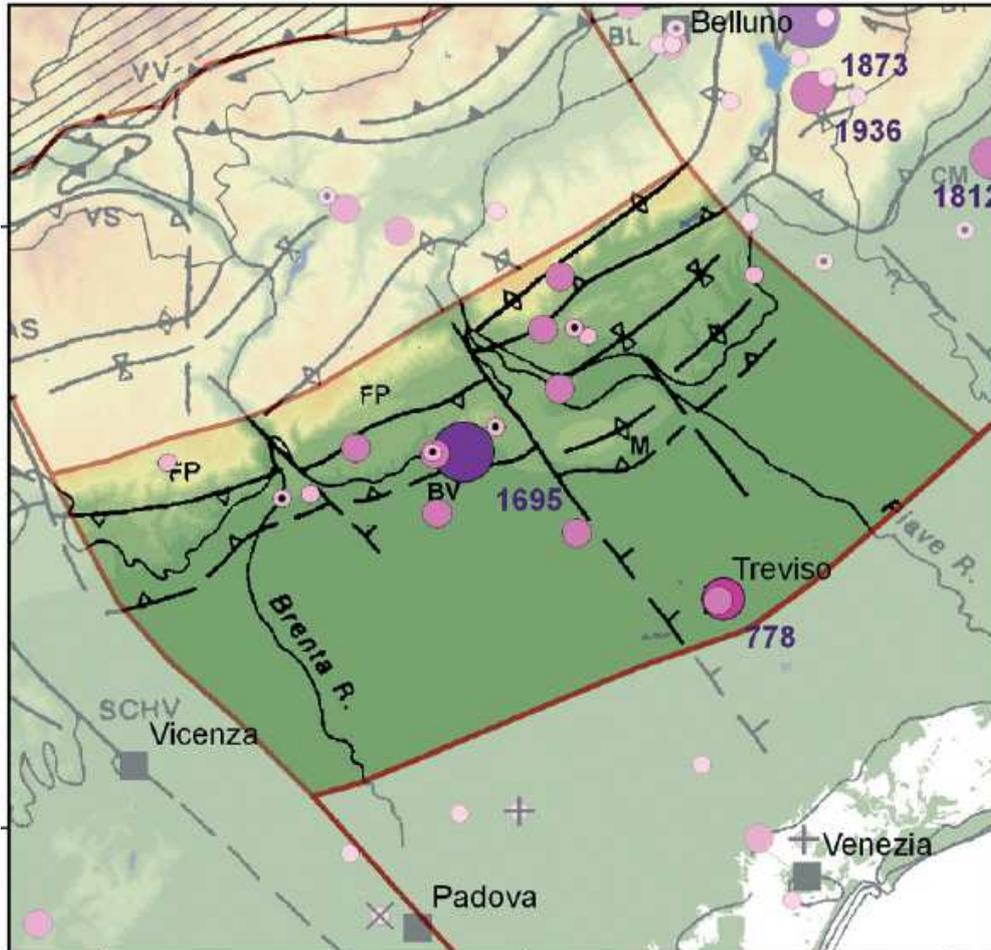


Fig. 7 - distretti sismici del Veneto: Distretto Pedemontana Sud. A N dei sovrascorrimenti di Bassano-Cornuda (BV) e Montello-Conegliano (M) si possono notare le aree ripiegate (da Sugan e Peruzza, 2011)

- Anticlinale del Montello: costituisce il rilievo che chiude a S la pianura del Quartier del Piave, ed è formato da strati conglomeratici piegati ad anticlinale con fianchi molto aperti che tende a chiudersi lateralmente (brachianticlinale);
- Faglia del Montello: la piega del Montello è il riflesso superficiale di questa deformazione tuttora attiva prodotta dal suo movimento inverso ad alto angolo immergente a NNW che rappresenta, con la gemella faglia di Sacile, la faglia più esterna della catena Subalpina orientale;
- Faglia di Sacile: praticamente parallela alla precedente mostra le medesime dinamiche. Da considerare però che alcuni autori ne mettono in dubbio l'esistenza.

- Al piede dei colli Asolani abbiamo la faglia Bassano-Cornuda; è il riflesso superficiale della deformazione tuttora attiva prodotta dal suo movimento inverso ad alto angolo immergente a NNW in analogia con la precedente faglia del Montello;
- la linea di Montebelluna: è un lineamento che si trova ad W del rilievo del Montello; si tratta di un insieme di faglie con direzione NW-SE sia trascorrenti che con importante movimento verticale;
- Faglia di Nervesa: è un lineamento che si trova ad Est del rilievo del Montello; si tratta di un insieme di faglie con direzione NW-SE sia trascorrenti che con importante movimento verticale;

In grande, il movimento in atto è caratterizzato (vedi fig. 5) dall'accavallamento del fronte sudalpino sull'avampaese padano-adriatico, in pratica da un forte movimento di compressione tra quanto a S dei primi rilievi e l'area che li comprende.

In particolare, il plateau del Montello è un evidente caso di sollevamento tettonico, sospeso circa 150 m sopra la pianura Veneta. Il substrato è costituito dai conglomerati del Miocene superiore (conglomerati del Montello) oltre a conglomerati e sabbie ascrivibili al Tardo Pliocene- Inizio Pleistocene, che sono stati interessati da un'intesa erosione carsica, come si evince dall'abbondanza di doline.

Lungo il margine di SW (dove si trova la località di Biadene), si nota la presenza di una valle abbandonata, appartenente al corso del paleo-Piave, che attualmente scorre a nord del rilievo collinare. Secondo Benedetti et al. (2000), l'abbandono della valle di Biadene si realizzò tra 14.000 e 8.000 anni fa, alla fine dell'ultimo massimo glaciale (LGM), quando il riscaldamento climatico provocò la rapida fusione dei ghiacci e un imponente trasporto solido da parte del Piave (aggradazione), in grado di formare uno sbarramento al deflusso delle acque. Per analogia, anche i terrazzi più antichi secondo questi autori sarebbero dovuti ad aggradazione per riscaldamento climatico corrispondente a periodi tardoglaciali o interstadiali, correlabili a oscillazioni eustatiche.

Per quanto riguarda il sollevamento del Montello-Conegliano thrust, Benedetti et al. (2000), suggeriscono un tasso di innalzamento lungo la faglia pari ad 1 mm/anno, sulla base dell'indagine geomorfologia dei terrazzi fluviali deformati, con effetto la crescita verticale e laterale dell'anticlinale per almeno 300.000 anni, che avrebbe progressivamente spostato verso ovest il corso del Piave, prima della sua brusca deviazione verso ENE. Il dato va preso con cautela in quanto questo valore dipende oltre che dal movimento vero e proprio lungo la struttura (slip rate), anche dall'iniziale quota di deposizione dei sedimenti del Quaternario antico rispetto al piede della faglia. Eventuali episodi di ingressione marina possono aver portato in conto materiali esterni durante le fasi di stasi della spinta verticale del thrust, falsandone lo spessore attribuibile al suo solo

movimento. Secondo uno studio pubblicato dal Geophysical Journal International (2005), basato sui profili sismici e sullo spessore dei depositi quaternari, la dislocazione minima imputabile alla sola struttura (slip rate), è ipotizzabile essere attorno ai 0,32 - 0,4 mm/anno. Tale valore è in linea con i riscontri geodetici delle misure effettuate all'interno della galleria-canale ENEL Castelletto-Nervesa.

Il sollevamento in corso del Montello è supportato anche dal riconoscimento di scarpate parallele alle strutture tettoniche (ENE-OSO) nei megaconoidi di Montebelluna (tardo-pleistocenico, formato dal paleo-Piave) e di Crocetta del Montello (tardopleistocenico-olocenico, formato dal Piave attuale) che circondano verso Sud il colle con apici situati rispettivamente a Ovest e ad Est (MOZZI, 2005).

Le caratteristiche cinematiche sommarie della struttura sono riportate in tab. 1 sotto:

Lunghezza (km)	Area della frattura (km ²)	Profondità massima (km)	Movimento verticale minimo (mm/anno)	Magnitudo
30-35	480	6,2	0,32-0,4	6,72

Tab. 3 - principali caratteristiche cinematiche della sorgente sismogenetica Montello-Conegliano (da Galadini et al., 2005)

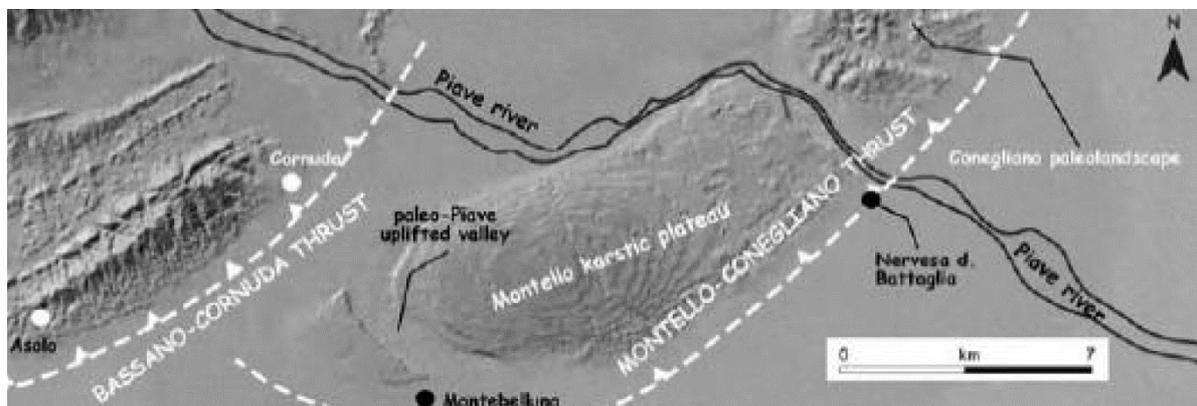


Fig. 8 - schema geomorfologico dell'area Asolo-Conegliano. A NW dei sovrascorrimenti di Bassano-Cornuda e Montello-Conegliano si possono notare le aree ripiegate. L'innalzamento del Montello ha condizionato il drenaggio del f. Piave (da Galadini et al., 2005)

La sorgente sismogenetica del Montello –Conegliano thrust non viene messa in relazione con alcun terremoto storico. Questo porta a definire un gap sismico minimo dall'ultima attivazione della sorgente dell'ordine degli 800 anni. Da un punto di vista pratico l'identificazione del thrust come "silente" permette di inserirlo tra le aree caratterizzate da un alto livello di rischio sismico.

L'insieme delle azioni orogenetiche, responsabili del sollevamento prima della zona montana e poi di quella collinare, ha prodotto un complesso di fratture e di faglie, che si possono ricondurre ai seguenti due sistemi:

- Sistema “Valsuganese” a direzione ENE – WSW: rappresentato nella nostra zona dalla “faglia del Montello”.
- Sistema “Scledense” a direzione NW – SE con strutture riferibili solo a tettonica di tipo disgiuntivo. In zona appartengono a questo sistema le faglie che si insinuano nei fondovalle principali (val la pena di ricordare le faglie di Montebelluna e di Nervesa). Varie faglie aventi medesima direzione interessano i conglomerati che formano la parte Sud-Est del Comune; esse sono evidenziate da allineamenti di doline e da scarpate. Per quanto riguarda fratture e fessurazioni l'andamento è in genere subverticale ed interessa sia i banchi di conglomerato, sia le intercalazioni arenaceo-marnose. I vari sistemi di frattura in parte possono essere evidenziati in corrispondenza degli affioramenti e delle cavità sia superficiali che sotterranee, in parte risultano dall'andamento delle doline e delle altre forme carsiche superficiali.

Risultato dei movimenti sopra descritti in atto è la sismicità del Veneto Orientale e dell'area in esame in particolare.

2.4.4 Faglie attive e capaci

Alla luce di quanto emerso nel presente studio di MS di livello 1, nel contesto del territorio di collina e di valle del comune di Crocetta del Montello, la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica è utilizzabile in modo organico ai fini di progettazione. Va da se che per interventi di un certo impegno o rilievo esso è un utile strumento che può indirizzare verso specifici e ulteriori approfondimenti, con misure puntuali di Vs ed eventuali integrazioni con la determinazione di altri parametri (es. down hole, periodo proprio del terreno, ecc.).

A questo livello di programmazione superiore (livello 2) per le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono stati utilizzati, per la progettazione, gli appositi abachi, in quanto i siti oggetto di indagine presentano caratteristiche conformi alle ipotesi di base utilizzate per l'elaborazione degli abachi stessi. In generale tali ipotesi assumono che il sottosuolo sia assimilabile ad una successione di strati approssimativamente piano paralleli, con modeste irregolarità morfologiche. Per tali condizioni sono ipotizzabili differenti procedure da adottare da parte della regione, conformemente al proprio contesto normativo, a partire dal confronto fra l'azione sismica dedotta dagli abachi con quella che si ottiene utilizzando la categoria di sottosuolo e lo spettro per essa previsto dalla norma.

3 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico - geomorfologico

Come si può dedurre dalla cartografia C.T.R. e dalle carte tematiche del PAT, il territorio in esame può essere distinto in quattro differenti unità morfologiche lungo un ideale asse orientato circa NW-SE:

- A N la fascia del greto del f. Piave (zona non oggetto di studio di questa Microzonazione Sismica): tale fascia borda con larghezza variabile il colle del Montello nella zona Est e la parte pianeggiante del rimanente territorio comunale a Nord; le quote, variabili, si attestano a circa 120-130 m s.l.m..
- A SE del Comune la porzione orientale del Colle del Montello. Questa unità rappresenta quasi metà del territorio comunale, è la parte più nord-occidentale del colle del Montello che in questo tratto assume la morfologia di un ampio versante degradante verso NW e orlata ai bordi da scarpate inclinate verso N e verso W. Le quote limite sommitali superano di poco i 320 m s.l.m.. In tutta la superficie sono ampiamente diffusi i fenomeni carsici in particolare doline, valli secche ed altre forme carsiche. Tali caratteri sono legati all'azione di dissoluzione ed erosione meccanica operata dalle acque meteoriche sul conglomerato a cemento calcareo: il carsismo ha profondamente condizionato la situazione idrogeologica del colle in cui è assente l'idrografia superficiale attiva ed è invece prevalente una circolazione sotterranea in fratture di varia gerarchia.
- La fascia di raccordo con la pianura. È una stretta fascia di depositi terrazzati posta al piede del Montello che fa da raccordo con l'antistante pianura. È formata superficialmente da "terre rosse" di origine colluviale accumulate ad opera delle acque correnti e dei processi di degradazione dei conglomerati. Le pendenze sono generalmente moderate ma si riconoscono alcune profonde incisioni legate ai principali assi di deflusso temporaneo che scendono dal colle. In questa fascia il carsismo è limitato o mascherato dalla potente copertura sciolta.
- A W l'alta pianura trevigiana. Il Comune si pone nella parte N, zona centrale, della grande conoide formata in età glaciale e postglaciale dal deposito delle alluvioni grossolane apportate dal fiume Piave: il megafan del Piave. L'enorme dispersione di tali materiali ha determinato una superficie che evidenzia limitata inclinazione verso S, SSW e SSE e con pendenze della superficie topografica modeste, arrivando al massimo al 2%. La pianura veneta si è formata in tempi geologicamente recenti dall'accumulo di materiali di origine glaciale e fluvioglaciale da parte delle acque correnti. I vari fiumi veneti, in uscita dalle valli montane, hanno depositato i detriti trasportati creando grandi conoidi, dette megafan, interdigitate le une alle altre. I materiali depositi sono generalmente grossolani e costituiti prevalentemente da ghiaie e ciottoli più o meno

sabbiosi; solo localmente ed in superficie compaiono limitati spessori di termini più fini. In particolare la storia di formazione recente di questa parte di territorio è legata a quanto verificatosi nel corso dell'ultima glaciazione e nei tempi successivi, il tutto può essere così schematizzato:

- 1) Nel corso dell'espansione e della fase di massima intensità dell'ultima glaciazione (anaglaciale würmiano, circa 75.000-15.000 anni fa) una spessa coltre di detriti grossolani venne distribuita a ventaglio sulla pianura, formando una grande conoide con vertice presso la soglia di Maser-Caerano;
- 2) Questa costruzione alluvionale venne abbandonata in tempi tardoglaciali. Su di essa successivamente hanno divagato locali correnti di piena del Piave prima, di altri corsi minori provenienti dalla collina poi, incidendo e ridepositando sulle vecchie alluvioni ed apportando una sottile pellicola di materiali a granulometria più fine. Tale pellicola di materiali coesivi diventa progressivamente più potente procedendo verso il piede del Montello.

Verso SE si eleva poi la collina del Montello, formata da rocce conglomeratiche, ben cementate, con ciottoli in prevalenza calcarei ma in realtà rappresentativi di tutte le litologie presenti nell'arco alpino orientale. Accompagnano il conglomerato altre litologie, principalmente arenarie e siltiti. L'insieme è attribuibile al Pontico o Messiniano (Miocene superiore). L'origine di tali rocce è fluviale e deltizia.

In gran parte del Montello i conglomerati del substrato sono coperti da una abbondante coltre di un terreno rossastro, argilloso, costituito, in prima approssimazione da "limo e sabbia con argilla, debolmente ghiaioso o ghiaioso". E' quella che genericamente viene chiamata "terra rossa" e che, in realtà, ha composizione variabile e diversa origine. Essa deriva in parte dall'alterazione meteorica, chimica e biochimica in posto del conglomerato, mentre in parte sembra avere origine morenica e fluvioglaciale.

Dal punto di vista temporale la formazione del Montello inizia nel Pliocene con una intensa attività tettonica che si sposta progressivamente da E verso W.

Strutturalmente il Montello è compreso in una serie di strutture coeve e collegate che interessano tutta l'area pedemontana del Veneto Orientale. In particolare si tratta di una brachianticlinale, con asse circa corrispondente a quello del rilievo e quindi WSW-ENE. Secondo alcuni autori la presenza di ondulazioni assiali fa ritenere più adatto il termine di "anticlinorio". Il colle è poi interessato da grandi elementi di tettonica disgiuntiva e plicativa già descritti in precedenza.

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per la redazione della seguente relazione ci si è avvalsi dei dati provenienti da indagini e rilievi geologico-geotecnici effettuati nel corso di numerosi anni, sia personalmente che gentilmente messi a disposizione da colleghi e dall'Amministrazione Comunale.

Sono state effettuate inoltre, appositamente per lo studio in corso, una serie di stazioni di misura con metodologia HVSR così come richiesto dalla DGR 1572/13; esse presentano una sigla identificativa costituita dalla metodologia di indagine utilizzata (in questo caso CDM HVSR), dal nome del comune "Crocetta del Montello" seguito dal numero progressivo: es. CDM HVSR26, CDM HVSR27 ecc.. I dati relativi a queste nuove indagini sono reperibili in allegato (cartella "Indagini MS Crocetta del Montello"). Sono stati inoltre rielaborati alcuni dati (ReMi) raccolti durante lo studio di Microzonazione di Livello 1, reperiti nelle aree oggetto di indagine

Codice indagine	Ubicazione	Tipologia
CDM HVSR26	Viale Antonini	HVSR
CDM HVSR27	Via Erizzo	HVSR
CDM HVSR28	Via Gino Rossi	HVSR
CDM HVSR29	Via Eriso	HVSR
CDM HVSR30	Vai Armando Diaz	HVSR
CDM HVSR31	Via Sant'Andrea	HVSR
CDM HVSR32	Stradone del Bosco di Cavalieri di san Marco	HVSR
CDM HVSR33	Via Della Vittoria	HVSR

5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

5.1 Individuazione delle microzone

La scelta delle varie microzone da indagare è fatta sulla base delle parti di territorio suscettibili di amplificazione sismica individuate nella precedente fase (MS Livello1) e per la quale si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici. Questo ha permesso di ottimizzare l'ubicazione della rete di punti di misura in funzione del suddetto criterio nonché sulla base della genesi deposizionale dei materiali integrando, correlando e confrontando i dati stratigrafico-sedimentologici con quelli elastico-acustici provenienti dalle misurazioni di campagna. Le stazioni di misura HVSR sono state ubicate grossomodo al centro delle aree su cui sono previste trasformazioni urbanistiche e/o su siti significativi dal punto di vista urbanistico oggetto di azioni nell'attuale PI, propagando poi i risultati attraverso un processo di validazione pesata e di

generalizzazione ad micro zone considerate sufficientemente omogenee sulla base di precedenti conoscenze geologiche-litologiche in possesso di questo Studio.

La base di partenza di questo studio di Livello 2 sono state le cartografie della MS di Livello 1 che già suddividono il territorio in zone omogenee in prospettiva sismica ma il criterio utilizzato è stato prevalentemente basato sui dati geologici e geofisici specifici utili alla conoscenza dell'andamento delle velocità relative alle onde S (Vs) nei primi 30 m del sottosuolo. Sulla base delle indagini geofisiche eseguite, considerando le particolarità geomorfologiche ed i limiti geologici come una sorta di guida per l'interpretazione geofisica si sono così ricavate delle unità omogenee in prospettiva sismica coerenti con quanto riportato nel precedente livello 1, riportate nella carta MOPS (Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica).

Per ciascun nuovo sito di indagine, in allegato, viene riprodotto uno stralcio di fotoaerea della zona di indagine allargata dove vengono riportati la posizione dell'indagine sismica, la sua numerazione progressiva e le coordinate geografiche riferite agli ellissoidi ED50 e WGS84, sistemi di riferimento per la carta di pericolosità sismica dell'INGV; inoltre per ciascuna area omogenea viene allegata una scheda riassuntiva con indicato:

- l'ubicazione nel reticolo di riferimento sismico individuato dalla O.P.C.M. 28 aprile 2006, n. 3519;
- le Frequenze fondamentali rilevate;
- i profili della Vs ricavati dalle acquisizioni di campagna.

La successione stratigrafica rappresentativa inserita nel modello di ciascuna scheda è stata chiaramente molto schematizzata, inserendo le seguenti semplificazioni:

- coltre superficiale: si riferisce allo strato di terreno di superficie, in media più "soffice", indipendentemente dalla granulometria locale;
- ghiaia: col termine ghiaia si intendono tutti i materiali granulari, con prevalenza di scheletro grossolano, con percentuale di matrice variabile.

5.2 Metodologia di studio

Sulla base di quanto detto, e come specificato anche nell'All. A della DGR 1572 del 03/09/2013: *"Il risultato fondamentale del 2° livello è la CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (scala di rappresentazione adeguata, es. 1:5.000), ottenuta associando la quantificazione numerica degli effetti, alle parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica.*

La quantificazione numerica degli effetti sarà così rappresentata:

- per gli scenari P1c e P2 da differenti parametri quantitativi;*
- per gli scenari P3 e P4 dai fattori di amplificazione Fa e Fv.*

I valori dei fattori di amplificazione, ottenuti con la procedura semplificata di secondo livello per gli scenari P3 e P4, consistono nei valori di Fa, fattore di amplificazione a basso periodo, e di Fv, fattore di amplificazione a periodo proprio. Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione. Il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità.”.

Il parametro fisico del terreno Vs, di difficile definizione, è stato confermato dalle nuove rielaborazioni dei dati già raccolti per il livello 1 e confrontati con i risultati delle nuove indagini.

Per il nostro studio, essendo fondamentale la conoscenza delle Vs, ci siamo indirizzati su metodi di misura delle onde S del sottosuolo con tecniche indirette da superficie che studiano la dispersione delle onde superficiali (nello specifico con tecnica ReMi). Tale tecnica, come in genere le tecniche passive (quindi anche la HVSR), è afflitta dal problema ricadente nel mancato controllo delle fonti di rumore sismico. In presenza di fonti preferenziali di rumore, delle quali non è possibile verificare l'esistenza, le misure di velocità vengono falsate (spesso pesantemente sovrastimate) dalla potenziale errata geometria presunta del percorso dell'onda. In pratica si misura una velocità apparente e non si hanno parametri per ricondurla a velocità reale.

Per questo motivo è preferibile utilizzare entrambi i metodi (attivi e passivi) eseguendo stendimenti attivi, producendo artificialmente la propagazione di onde elastiche da studiare, e registrare il rumore sismico di fondo con tecniche passive ReMi e HVSR per il totale controllo del fenomeno di propagazione studiato.

Per le nuove indagini abbiamo utilizzato la tecnica HVSR, controllata con i risultati ottenuti da stendimenti sismici elaborati con il metodo ReMi;

5.3 Breve descrizione del metodo

La **tecnica ReMi (Refraction Microtremor)** è un metodo d'indagine geofisica che sfrutta le modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare delle onde di Rayleigh, generate però da sorgenti ambientali.

A differenza di quanto avviene nell'indagine eseguita con la tecnica MASW, dove la posizione delle sorgenti è nota ed è allineata allo stendimento, nel caso del ReMi i punti di origine dei

microtremori sono spesso non identificabili. Quindi la registrazione viene protratta per tempi più lunghi. Essendo la potenza associata al segnale utile comparabile con quella del rumore di fondo è necessario rilevare un numero di tremori molto elevato, questo sarà ottenibile semplicemente andando a allungare i tempi di registrazione del segnale.

I principi teorici e gli aspetti di acquisizione ed elaborazione dei dati sono sostanzialmente gli stessi della tecnica MASW con la differenza che con ReMi si ha una maggior definizione degli strati profondi.

Infine la **Tecnica di misure ed interpretazione HVSR (tramite TROMINO®)** è una prospezione sismica che si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi), dunque, non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

L'obiettivo di acquisizione di rumore sismico è duplice: ricostruire la profondità dei principali contrasti di impedenza acustica del sottosuolo e individuare particolari frequenze di risonanza dei suoli.

In particolar modo con la tecnica a “ Stazione Singola” viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero “Horizontal to Vertical Spectral Ratios) (Nakamura, Y. [1989]). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f) di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media (V_s) delle onde sismiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato. Si possono inoltre effettuare delle considerazioni di tipo “qualitativo” molto utili in merito a possibili interferenze tra le frequenze risonanti del suolo e degli edifici sovrastanti.

Per la valutazione del periodo proprio di risonanza del sottosuolo è stata utilizzata la tecnica a stazione singola Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Kanai,1957; Igarashi 1970; Nakamura 1989) che permette di estrarre informazioni relative alla frequenza di vibrazione del suolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremori ambientali. La misura di rumore sismico della durata di 26 minuti per ogni punto di misura è stata eseguita con una frequenza di campionamento a 128 Hz.

6 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Per le prove HVSR, al fine di consentire una rapida valutazione della bontà del dato, è stato utilizzato il metodo di controllo della qualità denominato SESAME. Per la completa affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri; in caso contrario la prova risulterà meno affidabile ed è cura dell'operatore scartarla o mantenerla. Nel nostro caso alcune prove sono state completamente scartate e poi riacquisite in campagna mentre altre sono state ugualmente ritenute valide in quanto congruenti con i risultati delle indagini condotte con altre tecniche. Gli altri sei criteri invece si riferiscono ad un chiaro e pulito segnale del picco massimo; in questo caso devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi; se così non è, significa che il segnale è sporco e possono esserci altri picchi o nessun picco.

In allegato, per ciascun sito di indagine, viene restituito un report con i dati di ingresso e degli output di elaborazione delle acquisizioni sismiche.

7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

La programmazione delle indagini e la loro precisa ubicazione è stata guidata, oltre che dai criteri sopra menzionati, anche dall'osservazione delle indagini pregresse e dai dati geologici a disposizione di questo studio.

La conoscenza di tutta una serie informazioni ha fornito un ottimo supporto sia per la definizione e per la determinazione del modello geologico di sottosuolo che per l'estensione areale dei risultati al fine di definire delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

La prima fase di analisi ha mirato a confrontare le cartografie tematiche del P.A.T. e della MS livello 1, con i nuovi dati ricavati dalle indagini sismiche. La correttezza dei modelli geologici-sismici così definiti ha permesso di suddividere con più dettaglio le specifiche zone sulla base dei diversi rapporti stratigrafici ed infine sulle differenti caratteristiche geomorfologiche.

La caratterizzazione geofisica dei terreni si è basata quindi sia sulle nuove indagini realizzate ad hoc che sull'osservazione dei dati ricavati dalle indagini pregresse, permettendo una adeguata parametrizzazione dinamica dei terreni.

La definizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica, realizzata a seguito di tutte le indagini geologiche, geofisiche e geotecniche, è stata un'attività onerosa sia sotto il profilo tecnico che in termini di tempo, consentendo di pervenire ad un modello di sottosuolo coerente con i precedenti risultati. Tale fase rappresenta il momento più delicato di tutto lo studio di microzonazione, sia perché coinvolge più aspetti, sia perché durante la fase di omogeneizzazione e di creazione del modello devono essere fatte opportune valutazioni tenendo conto del ridotto

numero e del differente livello di incertezza attribuito ai diversi parametri desunti dalle differenti indagini.

Le misure HVSR effettuate ex novo nel territorio del Comune di Crocetta del Montello (unitamente all'osservazione delle misure HVSR effettuate ai fini del Livello 1 nelle aree ora oggetto di approfondimento), hanno consentito di ottenere una serie di informazioni sul campo di velocità delle onde S nei primi 30 m di profondità e di periodi propri dei terreni indagati (vedi carta di microzonazione sismica), dai quali si sono potuti calcolare tramite gli appositi abachi i parametri F_a e F_v .

Sito d'indagine	VS30	Frequenza di Risonanza minima F_0 (Hz) e rapporto H/V	Altre Frequenza di Risonanza (Hz)
CDM_HVSR26 Viale Antonini	≈ 650 m/s	2,3 Hz con H/V ≈ 2	4 Hz; 9 Hz; 24,34 Hz
CDM_HVSR27 Via Erizzo	≈ 560 m/s	1,2 Hz con H/V < 2	2,6 Hz; 22 Hz; 49,69 Hz
CDM_HVSR28 Via Gino Rossi	≈ 630 m/s	2,5 Hz con H/V ≈ 2	3,5 Hz; 5 Hz; 7 Hz
CDM_HVSR29 Via Eriso	≈ 480 m/s	3,22 Hz con H/V ≈ 2	7,5 Hz
CDM_HVSR30 Via Armando Diaz	≈ 600 m/s	3,28 Hz con H/V ≈ 3	18 Hz; 22 Hz
CDM_HVSR31 Via Sant'Andrea	≈ 570 m/s	3, 66Hz con 3 < H/V < 4	7 Hz; 9 Hz
CDM_HVSR32 Stradone del Bosco di Cavalieri di san Marco	≈ 500 m/s	1,2 Hz con H/V < 2	17,19 Hz; 6 Hz
CDM_HVSR33 Via Della Vittoria	≈ 500 m/s	1,2 Hz con H/V < 2	6 Hz; 18,28 Hz

Tab. 4 - risultati delle indagini HVSR

E' stato utilizzato un tromografo digitale modello "Tromino" (Micromed srl) avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0.1 a 256 Hz, dotati di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit) e primo-processing interno. La livellazione micrometrica dello strumento e stata assicurata per ogni misura tramite bolla di precisione agendo sui tre punti di appoggio (punte) ed orientando uno dei 3 sensori di acquisizione (ortogonali tra loro) verso il N magnetico.

Per le analisi dei dati acquisiti è stato adottato l'apposito software Grilla®.

Si precisa inoltre che vi è una netta differenza tra "bedrock sismico" e "substrato geologico" (o semplicemente "bedrock"). Le definizioni riportate nel glossario "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica" sono le seguenti:

Bedrock: Roccia compatta, rigida, non alterata, in affioramento o alla base di rocce / terreni rigidi o di sedimenti sciolti. Usato comunemente dai geologi per riferirsi a qualsiasi roccia / terreno diagenizzato / consolidato che non ha subito i processi meteorici di alterazione e degrado o deformazioni tettoniche pervasive.

Bedrock sismico: Sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio maggiore o uguale a 800 m/s.

8 ELABORATI CARTOGRAFICI

Le attuali Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica riportate nella Deliberazione della Giunta Regionale N. 1572 del 03 settembre 2013 prevedono i contenuti degli studi di MS in termini di grafie e di elaborati da presentare, che sono:

- **Carta delle Indagini:** la localizzazione delle indagini per la predisposizione del secondo livello sarà riportata nella suddetta carta andrà ad integrare la carta delle indagini già predisposta nel primo livello. In tale carta verranno segnalate anche le aree dove sono previste nuove indagini per la predisposizione dell'eventuale livello 3° di approfondimento.
- **Carta di Microzonazione Sismica:** la carta riporta i risultati delle analisi per la quantificazione numerica degli effetti di amplificazione o di instabilità nelle zone individuate nella fase di primo livello. La carta sarà costruita sulla base dei valori di amplificazione ottenuti per ciascuna zona attraverso l'uso degli abachi e sulla base dei valori numerici attribuiti con le metodologie semplificate prescritte;
- **Carta delle Frequenze Naturali dei Depositi:** ricavata dalla precedente carta delle indagini riprendendo le sole indagini HVSR, integrandole con le nuove indagini HVSR, ed indicando in carta, per ciascun punto indagato la frequenza del picco fondamentale f_0 (considerata nell'intervallo di frequenza compreso tra 0,1 e 20 Hz) con la relativa misura del rapporto H/V da specifico grafico.
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica:** da redigere in caso di eventuali modifiche da apportare alla carta MOPS di livello 1.

9 CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI

Questa carta è ricavata dalla precedente carta delle indagini T1 riprendendo le sole indagini HVSR ed indicando in carta, per ciascun punto indagato la frequenza del picco fondamentale f_0 (considerata nell'intervallo di frequenza compreso tra 0,1 e 10 Hz) con la relativa misura H/V da specifico grafico.

Tanti valori indicano un picco di frequenza compreso nell'intervallo attorno ai 2 - 3 Hz; le frequenze di risonanza possono tentativamente essere convertite in spessori permettendo una identificazione preliminare delle interfacce risonanti.

F_0 (Hz)	h (m)
<1	>100
1-2	50-100
2-3	30-50
3-5	20-30
5-8	10-20
8-20	5-10
>20	<5

Fig. 9 - Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza (f_0) determinate dalle misure H/V

10 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

La Carta di Microzonazione Sismica costituisce il documento fondamentale del secondo livello di approfondimento. Tale carta deve essere redatta ad una scala adeguata di rappresentazione (es.1:5.000).

La carta riporta i risultati delle analisi per la quantificazione numerica degli effetti di amplificazione o di instabilità nelle zone individuate nello studio di microzonazione di primo livello.

La carta sarà costruita sulla base dei valori di amplificazione ottenuti per ciascuna zona attraverso l'uso di specifici abachi e sulla base dei valori numerici attribuiti con le metodologie semplificate descritte nei par.3.2.4.1, par.3.2.4.2, par.3.2.4.3, par.3.2.5 nell' Allegato A della DGR 1572/13. Nella carta e nella relativa legenda esplicativa sono contemplate 2 tipologie di zone, queste sono:

- a) **Zone stabili suscettibili di amplificazione (colore da giallo a rosso)** nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale. Le zone di questa categoria saranno caratterizzate numericamente dai valori di F_a e F_v dedotti dagli abachi e dalle tabelle.
- b) **Zone suscettibili di instabilità (colore verde)** nelle quali gli effetti sismici attesi sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio. Le zone identificano delle categorie di effetti deformativi:

Le eventuali instabilità di versanti in terra saranno contrassegnate dalla sigla FRT e da un numero progressivo da 1 a n in base alle classi di massimo spostamento atteso (cm) individuate. Le instabilità di versante in roccia saranno contrassegnate dalla sigla FRR e da un numero progressivo da 1 a n in base alle classi di massima distanza di arrivo dei blocchi (m) individuate.

L'Allegato A della DGR 1572/13 prevedrebbe anche:

- Liquefazione. Queste aree saranno contraddistinte dalla sigla LI e da un numero progressivo da 1 a n in base alle classi di potenziale di liquefazione individuate. Anche questa tipologia non è presente nelle zone indagate;
- Densificazione di terreni insaturi. Queste aree saranno contraddistinte dalla sigla DE e da un numero progressivo da 1 a n in base alle classi di cedimento individuate. Sono escluse aree con tale fenomeno atteso.

Nel caso di sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità e zone stabili suscettibili di amplificazione, il colore di fondo indicherà la zona stabile suscettibile di amplificazione locale, mentre la zona suscettibile di instabilità sarà rappresentata da un tratteggio sovrapposto di colore verde, dalla sigla e dal numero progressivo.

ZONE STABILI - Identificazione della zona con colore blu			
	FA	FV	Informazioni sulle zone stabili
	1	1	Si ricorda che zone con substrato geologico con $v_s > 10-15$ o con $V_s < 800$ m/s potrebbero non essere classificate come zone stabili
ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI - Identificazione della zona con colore dal giallo al rosso			
	FA	FV	Informazioni sulle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
			
			
			
ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ - Identificazione della zona con colore verde, sigla dell'instabilità e numerazione progressiva da 1 a n			
	Parametri quantitativi		Informazioni sulle zone suscettibili di instabilità
	Terreni(T): max spostamento (cm) Roccia(R): max distanza blocchi (m) Es. $FRT_p = 20$ cm ... Es. $FRR_p = 150$ m		
Instabilità di versante (FRT_p, FRR_p)			
ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ - Identificazione della zona con colore verde, sigla dell'instabilità e numerazione progressiva da 1 a n			
Liquefazione (LI_p)	Potenziale di liquefazione LI Es. $LI_p = 7$... Es. $LI_p = 18$		
Cedimenti differenziali (CD_p)	(nessuno)		
Faglie attive e capaci (FA_p)	(nessuno)		
Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità a zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	Il colore di fondo indica la zona stabile suscettibile di amplificazione locale (da giallo a rosso), mentre la zona suscettibile di instabilità è indicata da un tratteggio sovrapposto verde obliquo, da sinistra a destra e dal basso verso l'alto, dalla sigla e dal numero progressivo.		

Fig. 10 - Legenda della carta di microzonazione sismica (fonte "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 Cd-rom")

Le Linee Guida Regionali per la Microzonazione Sismica Livello 1 prevedono la realizzazione della Carta di Pericolosità Sismica Locale (CPSL), nella quale vengono indicate le maggiori criticità del territorio e individuate le aree che richiedono approfondimenti per particolari tematiche e/o assetti stratigrafici-tettonici complessi.

Tale carta non è stata realizzata ma è ugualmente possibile attribuire alle zone oggetto d'indagine una **pericolosità P4a** e **pericolosità P3a** così descritta:

P3 a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc..)	<i>Amplificazioni topografiche</i>
P3 b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita - arrotondata	
P4 a	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	<i>Amplificazioni litologiche e geometriche</i>
P4 b	Zona di fondovalle stretta ($C > 0.25$) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale .	
P4 c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide delizio - lacustre	
P4 d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loess)	
P4 e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
P5 a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	<i>Comportamenti differenziali</i>
P5 b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole	

Fig. 11 - Elementi della carta di Pericolosità Sismica Locale (primo livello).

Tutte le aree dove sono previste trasformazioni urbanistiche, secondo lo studio di primo livello, presentano una VS30 che va dai 480 ai 660 m/s; in tale intervallo di velocità ricade infatti gran parte del territorio pianeggiante comunale posto a Ovest e a Sud dell'area golenale del f. Piave, nonché la porzione di territorio posta ai piedi del Montello.

Osservando la zona pianeggiante, i sismostrati rilevati evidenziano un primo livello (circa 12 m) con velocità che arrivano a poco oltre i 500 m/s a cui seguono depositi ghiaiosi più addensati i cui valori di Vs risultano compresi tra 550 m/s e 700 m/s circa. Pertanto la tipologia di suolo è ascrivibile alla categoria di suolo B (Vs30 compresa tra 360 m/s e 800ms ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Geologicamente si tratta di una coltre di alluvioni (grande conoide formata in età glaciale e postglaciale dal deposito delle alluvioni grossolane apportate dal fiume Piave: il megafan del Piave) per spessori di parecchie decine di metri. In realtà si riconoscono due diverse fasi di deposizione marcate da diversa struttura pedogenetica superficiale ma in profondità la compagine ritorna unitaria. In alcune zone si individuano in superficie tracce di paleoalvei estinti.

Tale materasso alluvionale è costituito da ghiaie sabbiose (o con sabbia), debolmente limose. Rare e con limitata estensione le lenti a granulometria più fine: sabbia con ghiaia, sabbia fine, limo e sabbia. Localmente, a rilevante profondità, sono presenti letti cementati, spesso descritti con il termine di conglomerato. Dal punto di vista geotecnico questi materiali presentano ottime caratteristiche meccaniche e secondo la classificazione AGI possono rientrare nella categoria GW.

La copertura soffice (suolo) varia limitatamente di natura e spessore. Nella porzione centrale il suolo ha spessore ridotto, non superiore a 0,30-0,50 m; prevale di gran lunga lo scheletro, che localmente raggiunge percentuali molto elevate, superiori al 70%, in genere comunque non inferiori al 40-50%. E' formato da ghiaie e ciottoli (diam. max 15÷20 cm) non alterati, di prevalente composizione calcareo dolomitica, più ridotti i componenti arenacei, metamorfici ed ignei. La terra

fine è in prevalenza sabbiosa, con locale abbondante frazione organica di colore scuro. Al di sotto, per limitato spessore, la frazione fine presenta colore bruno scuro, che si va schiarendo, questo non per il procedere dell'alterazione, ma per trasporto meccanico da parte delle acque correnti delle componenti fini.

11 PROCEDURE DI ANALISI PER LA MS DI 2° LIVELLO

Scopo del Livello 2 di approfondimento, secondo la DGRV 1572/2013, è di supplire le incertezze del Livello 1 con nuovi approfondimenti volti ad attribuire quantificazioni numeriche, tramite abachi e leggi empiriche a determinate aree soggette a modificazione locale del moto sismico in superficie e/o fenomeni di deformazione permanente.

Tale obiettivo si raggiunge prendendo in considerazione alcuni fattori di amplificazione e di instabilità e quantificandoli, per quanto possibile, in forma numerica stimando i fattori di amplificazione e i fattori di sicurezza.

In particolare, per gli scenari **P3** e **P4** la quantificazione numerica degli effetti sarà rappresentata dai fattori amplificativi FA (fattore di amplificazione a basso periodo in termini di accelerazione) e FV (fattore di amplificazione a periodo proprio in termini di pseudo velocità), calcolati tramite procedura semplificata. Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione mentre il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità.

11.1 Valutazione degli effetti morfologici

11.1.1 Zona di scarpata

Lo scenario zona di scarpata (P3a) identifica, nel presente studio, le aree caratterizzate dalla presenza di terrazzi fluviali. Nelle aree indagate del Comune di Crocetta del Montello sono state analizzate le scarpate di erosione fluviale generate dal fiume Piave lungo la sua sponda destra che interessano la porzione Est dei centri abitati di Crocetta del Montello e della frazione di Ciano del Montello. Quest'ultima ritenuta non suscettibile di amplificazioni morfologiche in quanto non rientrante nei parametri di classificazione: infatti abbiamo altezza $H < 10$ m ed inclinazione $\alpha < 15^\circ$. Si evidenzia come la instabilità di versante non sia stata oggetto di approfondimento in quanto le verifiche che vanno effettuate nel caso di pendenze maggiori di 25° che qui escludiamo; tale scelta è stata dettata sia dalla necessità di ottenere profili topografici più accurati rispetto a quelli recuperabili dalla cartografia CTR, sia per l'opportunità di effettuare tali approfondimenti in fasce

puntuali poste in corrispondenza di edifici specifici o aree puntuali di trasformazione. Si demanda quindi queste verifiche ad una fase successiva di pianificazione e/o costruttiva.

In particolare, sono da considerarsi le scarpate caratterizzate da fronti di altezza (H) maggiori o uguali a 10 m, inclinazione del fronte principale (α) maggiore o uguale a 15° ed estensione del fronte superiore (L) almeno pari all'altezza H o comunque non inferiore ai 15-20 metri.

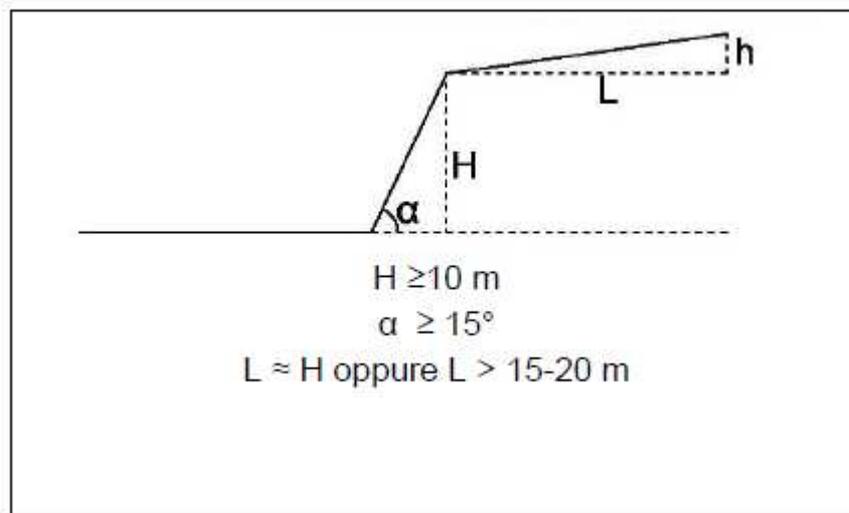


Fig. 12 - Criteri di riconoscimento delle scarpate suscettibili di amplificazioni morfologiche.

L'altezza H è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore L è identificato dalla distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.

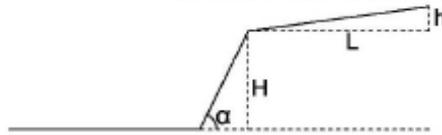
L'abaco delle scarpate fornisce per ciascuna classe altimetrica (H) e classe di inclinazione (α) il valore di F_a per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s e il valore della relativa area di influenza (A_i). Il valore di F_a determinato è assegnato al ciglio del fronte superiore, mentre all'interno della relativa area di influenza, il valore è scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario.

Lungo la scarpata principale è scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario alla base del fronte stesso.

Nei casi di scarpate in roccia il valore del fattore di amplificazione è sufficientemente rappresentato dal valore di F_a per effetti morfologici.

ABACO SCARPATA
VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI MORFOLOGICI

CRITERI DI RICONOSCIMENTO



$H \geq 10$ m
 $\alpha > 15^\circ$
 $L = H$ oppure $L > 15-20$ m

Fattore di amplificazione per effetto morfologico			
Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Fa 0.1-0.5	Area di influenza
$10 \text{ m} < H < 20 \text{ m}$	$15^\circ < \alpha < 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H < 40 \text{ m}$	$15^\circ < \alpha < 90^\circ$	1.2	$A_i = 3/4 H$
$H > 40 \text{ m}$	$15^\circ < \alpha < 20^\circ$	1.1	$A_i = 2/3 H$
	$20^\circ < \alpha < 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha < 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha < 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

Il valore di Fa determinato andrà assegnato al ciglio superiore della scarpata.

Sul fronte superiore il valore va scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario.
Lungo la scarpata principale va scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario
alla base del fronte stesso.

SULLA BASE DEL VALORE DEL VS30 SI DISTINGUERANNO

SCARPATE IN ROCCIA	SCARPATE IN TERRE
Valutazione degli effetti morfologici	Valutazione degli effetti morfologici + Valutazione degli effetti litologici $F_a = F_a \text{ morfologico} * F_a \text{ litologico}$

11.2 Valutazione degli effetti litologici

Al fine di individuare le aree potenzialmente suscettibili di amplificazione locale dovrà essere verificato con opportune indagini l'appartenenza dei terreni di copertura dell'area ad una delle classi di seguito riportate.

CLASSE	DESCRIZIONE	informazioni
1	terreno di riporto antropico	
2	ghiaia	2a addensata 2b poco addensata
3	ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa	3a addensata 3b poco addensata
4	sabbia	4a addensata 4b poco addensata
5	Sabbia / limosa - limo/sabbioso	5a addensata 5b poco addensata
6	Limo	6a consistente 6b poco consistente
7	Limo / argilloso - argilla/limosa	7a consistente 7b poco consistente
8	Argilla	8a consistente 8b poco consistente
9	deposito alluvionale a granulometria mista	
10	detrito di versante a granulometria mista	
11	coltre di substrato alterato	

Fig. 13 - classi dei terreni di copertura

Come indicato nelle linee guida regionali, individuate le aree caratterizzate dalla presenza di terreni di copertura suscettibili di amplificazione locale, si è proceduto alla determinazione dei fattori di amplificazione F_a e F_v attraverso le tabelle predisposte dalla Protezione Civile Nazionale e contenute negli “indirizzi e criteri per la MICROZONAZIONE SISMICA“, dove:

- **F_a** rappresenta il fattore di amplificazione a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione);
- **F_v** rappresenta il fattore di amplificazione a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità).

L'adozione e l'utilizzo di tali tabelle è da **considerarsi temporaneo** e cesserà quando la Regione del Veneto si sarà dotata di specifici abachi riferiti al proprio territorio regionale.

I dati di ingresso per la scelta della tabella sono rappresentati dai seguenti elementi:

- la litologia prevalente nei terreni di copertura;
- la profondità del basamento sismico, ovvero la profondità dove si raggiungono velocità delle onde S superiori a 800 m/s (H);
- l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità e la velocità media VSH delle onde S nei terreni di copertura fino al basamento sismico. Questa sarà definita dalla seguente relazione:

$$V_{SH} \cong \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{SI}}}$$

dove:

- H è lo spessore totale (in metri) dei terreni di copertura fino al basamento sismico;
- h_i è lo spessore (in metri) dell'i-mo degli n strati che costituiscono la copertura;
- V_{SI} è la velocità (in m/s) dell'i-mo strato.

Le tabelle sono riferite a tre livelli di sismicità: 0,06g, 0,18g e 0,26g; sono ordinate per litotipo (argille, sabbie e ghiaie) e all'interno di ciascun litotipo, per tipologia di profilo di velocità assunto (costante, variabile linearmente con la massima pendenza compatibile con il valore di V_{SH} , e variabile linearmente con pendenza intermedia fra costante e massima). La scelta del tipo di profilo va operata sulla base delle conoscenze specifiche ottenute: in generale quando lo spessore di sottosuolo diventa considerevole (diverse decine di metri), è poco probabile che il profilo di velocità si mantenga costante, ed è quindi preferibile orientarsi verso le tabelle riferite al profilo variabile linearmente con pendenza intermedia. Si ricorda comunque che il profilo con pendenza massima fornisce generalmente risultati più cautelativi e può essere applicato quando sono effettivamente ipotizzabili gradienti molto accentuati con la profondità. I dati relativi a spessori H elevati (da 50 a 150 metri) sono stati inseriti per consentire il riferimento a situazioni in cui è prevedibile che le caratteristiche meccaniche di resistenza dei terreni siano gradualmente crescenti con la profondità, in assenza di evidenti contrasti di impedenza.

Per il Comune di Crocetta del Montello sono stati sempre utilizzati gli abachi riferiti al valore di **0,26g** per il profilo con pendenza intermedia.

11.3 Liquefazione

La verifica al fenomeno della liquefazione dei terreni saturi in caso di sisma può essere esclusa quando si verificano almeno una delle seguenti circostanze (estratto da Allegato A) Dgrv 1572/13).

1. Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;

3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali (**condizione presente nei siti indagati**);
4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa ;
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella seguente figura nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e $U_c > 3,5$ (**condizione presente nei siti indagati**).

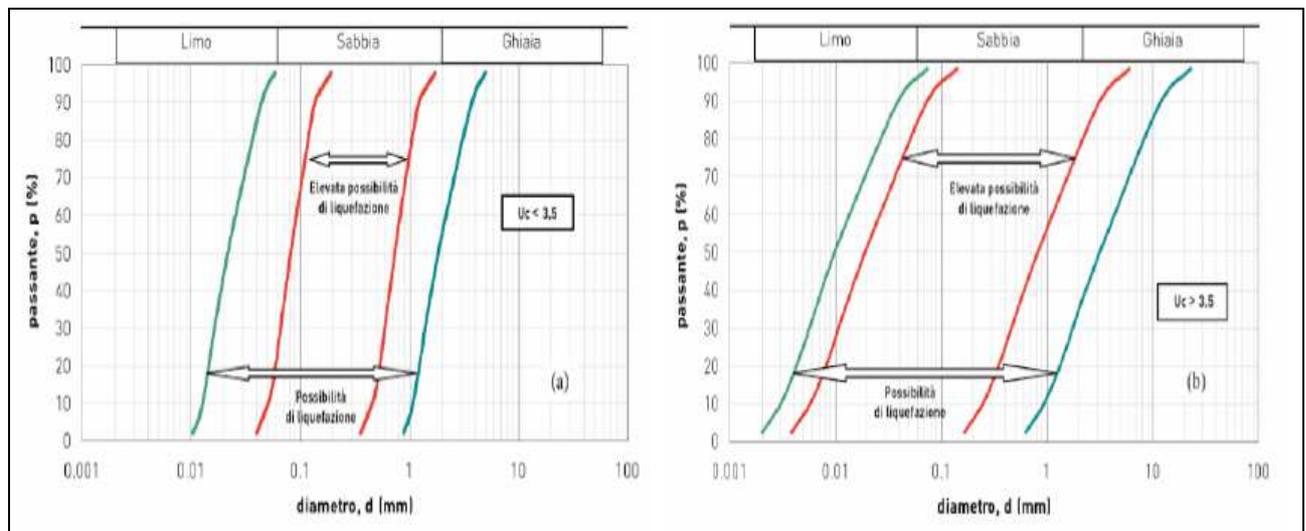


Fig. 14 - Fusi granulometrici dei terreni suscettibili a liquefazione

Analizzando la Carta Idrogeologica del PAT, nelle aree oggetto di studio, abbiamo una profondità della falda superiore ai 15 m dal p.c. e una distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate come suscettibili in quanto tutte le stratigrafie danno ghiaie e ciottoli sino ad una profondità di circa 30-40 m. Quindi sussistono le condizioni per poter escludere il verificarsi dei fenomeni di liquefazione.

12 STIMA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE FA E FV

12.1 Effetti di amplificazione litostratigrafica

Le amplificazioni sono quantificate per mezzo di appositi abachi, citati in precedenza, che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici in superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche.

L'utilizzo degli abachi per il calcolo dei Fattori di amplificazione Fa ed Fv è stato ponderato ed vagliato a seguito di tutto un *know how* di conoscenze geologiche e geofisiche acquisite dallo scrivente e/o messe a disposizione da colleghi o dall'Amministrazione del comune di Crocetta del Montello.

Il profilo delle Vs è stato ottenuto da indagini MASW e REMI eseguite in precedenza nel livello 1 di indagine e rielaborate per i casi specifici di questo studio.

La stima dello spessore dei depositi quaternari è stato desunto dall'interpolazione dei dati geofisici sopra citati e da prove HVSR, nonché dall'osservazione delle prove pregresse a disposizione.

Nei casi in esame, i fattori di amplificazione sono stati ottenuti utilizzando le tabelle relative ad un valore di **ag=0,26**, un profilo di velocità con pendenza intermedia e una litologia prevalentemente ghiaiosa. Le profondità H del bedrock geofisico, 50 m circa, attribuendo ad esso una Vs = 800 m/s, e le Vs equivalenti della copertura (VsH), sono state estrapolate dai risultati ottenuti dalle prove geofisiche realizzate ex-novo.

In particolare i valori VsH sono stati ottenuti dal sottostante abaco:

		V_{30} [m/s]									
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	35	143.8	191.0	238.0	285.9	335.2	385.1	435.6	486.3	589.3	693.9
	40	139.2	184.1	228.8	275.3	324.1	374.0	424.0	476.1	581.4	689.4
	50	131.6	172.7	213.7	257.9	306.0	355.7	407.1	459.5	568.5	682.1
	60	126.7	165.4	204.0	246.7	294.3	344.1	395.7	448.9	560.3	677.5
	70	122.7	159.4	196.0	237.5	284.8	334.6	386.5	440.3	553.8	673.8
	80	120.6	156.4	191.9	232.8	280.0	329.7	381.8	436.0	550.5	671.9
	90	118.6	153.3	187.9	228.1	275.1	324.9	377.2	431.6	547.1	670.1
	100	116.5	150.2	183.7	223.4	270.2	320.0	372.5	427.3	543.8	668.3
	110	115.5	148.7	181.6	220.9	267.7	317.5	370.2	425.0	542.1	667.3
	120	114.4	147.1	179.5	218.5	265.2	315.0	367.8	422.8	540.5	666.4
	130	113.4	145.5	177.3	216.1	262.6	312.6	365.4	420.6	538.8	665.4
	140	112.3	143.9	175.2	213.6	260.1	310.1	363.0	418.4	537.1	664.5
	150	111.2	142.3	173.1	211.2	257.5	307.5	360.6	416.2	535.4	663.6

Il dato VsH (velocità equivalenti su tutto lo spessore del deposito) per il profilo con pendenza intermedia deriva dall'interpolazione dei valori di Vs30 (velocità equivalente nei primi 30 m) calcolati tramite le indagini MASW e ReMi, ed ipotizzando una profondità (H) di circa 50 m.

I Fattori Fa e Fv sono quindi ottenuti utilizzando altri specifici abachi, interpolando i valori VsH ottenuti con la profondità del substrato (H) di 50 m circa.

Fattore di amplificazione		Tipo di terreno		a_g (g)		Profilo di velocità					
FA		Ghiaia		0.26g		Lineare pendenza intermedia					
		V_{SH} (m/s)									
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	5	-	1.80	1.74	1.60	1.38	1.21	1.10	1.05	1.01	1.01
	10	-	-	2.02	1.70	1.47	1.33	1.25	1.17	1.06	1.02
	15	-	-	-	1.93	1.69	1.51	1.37	1.25	1.12	1.04
	20	-	-	-	1.97	1.79	1.62	1.47	1.35	1.18	1.06
	25	-	-	-	1.87	1.79	1.64	1.51	1.39	1.21	1.08
	30	-	-	-	1.74	1.69	1.62	1.50	1.40	1.22	1.09
	35	-	-	-	1.59	1.60	1.54	1.48	1.39	1.22	1.09
	40	-	-	-	1.50	1.52	1.48	1.41	1.34	1.21	1.09
	50	-	-	-	1.42	1.39	1.32	1.31	1.27	1.17	1.07
	60	-	-	-	1.33	1.33	1.30	1.22	1.18	1.12	1.04
	70	-	-	-	-	1.27	1.26	1.22	1.15	1.06	1.00
	80	-	-	-	-	1.21	1.20	1.19	1.15	1.04	0.98
	90	-	-	-	-	1.14	1.15	1.15	1.12	1.04	0.96
	100	-	-	-	-	1.08	1.10	1.11	1.09	1.03	0.95
	110	-	-	-	-	1.02	1.06	1.06	1.05	1.01	0.95
	120	-	-	-	-	0.97	1.01	1.03	1.03	0.99	0.93
130	-	-	-	-	0.91	0.97	0.99	0.99	0.97	0.92	
140	-	-	-	-	0.91	0.94	0.96	0.97	0.94	0.91	
150	-	-	-	-	0.87	0.91	0.93	0.94	0.93	0.89	

Fattore di amplificazione		Tipo di terreno		a_g (g)		Profilo di velocità					
FV		Ghiaia		0.26g		Lineare pendenza intermedia					
		V_{SH} (m/s)									
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	5	-	1.05	1.04	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
	10	-	-	1.17	1.07	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.00
	15	-	-	-	1.24	1.14	1.09	1.05	1.03	1.02	1.01
	20	-	-	-	1.53	1.28	1.18	1.11	1.08	1.03	1.01
	25	-	-	-	1.81	1.47	1.29	1.19	1.12	1.07	1.02
	30	-	-	-	2.06	1.65	1.42	1.28	1.19	1.09	1.03
	35	-	-	-	2.25	1.84	1.54	1.37	1.25	1.11	1.04
	40	-	-	-	2.29	1.94	1.64	1.44	1.32	1.14	1.07
	50	-	-	-	2.12	2.02	1.80	1.59	1.43	1.21	1.09
	60	-	-	-	2.10	1.86	1.79	1.65	1.49	1.26	1.11
	70	-	-	-	-	1.88	1.68	1.61	1.51	1.29	1.12
	80	-	-	-	-	1.88	1.69	1.53	1.46	1.29	1.13
	90	-	-	-	-	1.91	1.69	1.54	1.41	1.27	1.13
	100	-	-	-	-	1.88	1.69	1.53	1.43	1.24	1.09
	110	-	-	-	-	1.84	1.68	1.53	1.41	1.22	1.09
	120	-	-	-	-	1.77	1.68	1.53	1.40	1.23	1.10
130	-	-	-	-	1.74	1.64	1.53	1.42	1.23	1.10	
140	-	-	-	-	1.73	1.60	1.51	1.42	1.22	1.10	
150	-	-	-	-	1.74	1.57	1.48	1.40	1.23	1.09	

Nella carta del Fattore Fa così come per il Fattore Fv, si sono stabilite 2 classi:

$$1,1 < Fa < 1,2 \quad e \quad 1,3 < Fa < 1,4$$

$$1,1 < Fv < 1,2 \quad e \quad 1,3 < Fv < 1,4$$

Va precisato che nelle zone di scarpata, il valore di Fa deriva dalla combinazione dell'amplificazione litostratigrafica e di quella topografica, e più precisamente dal prodotto di Fa morfologico e Fa litologico.

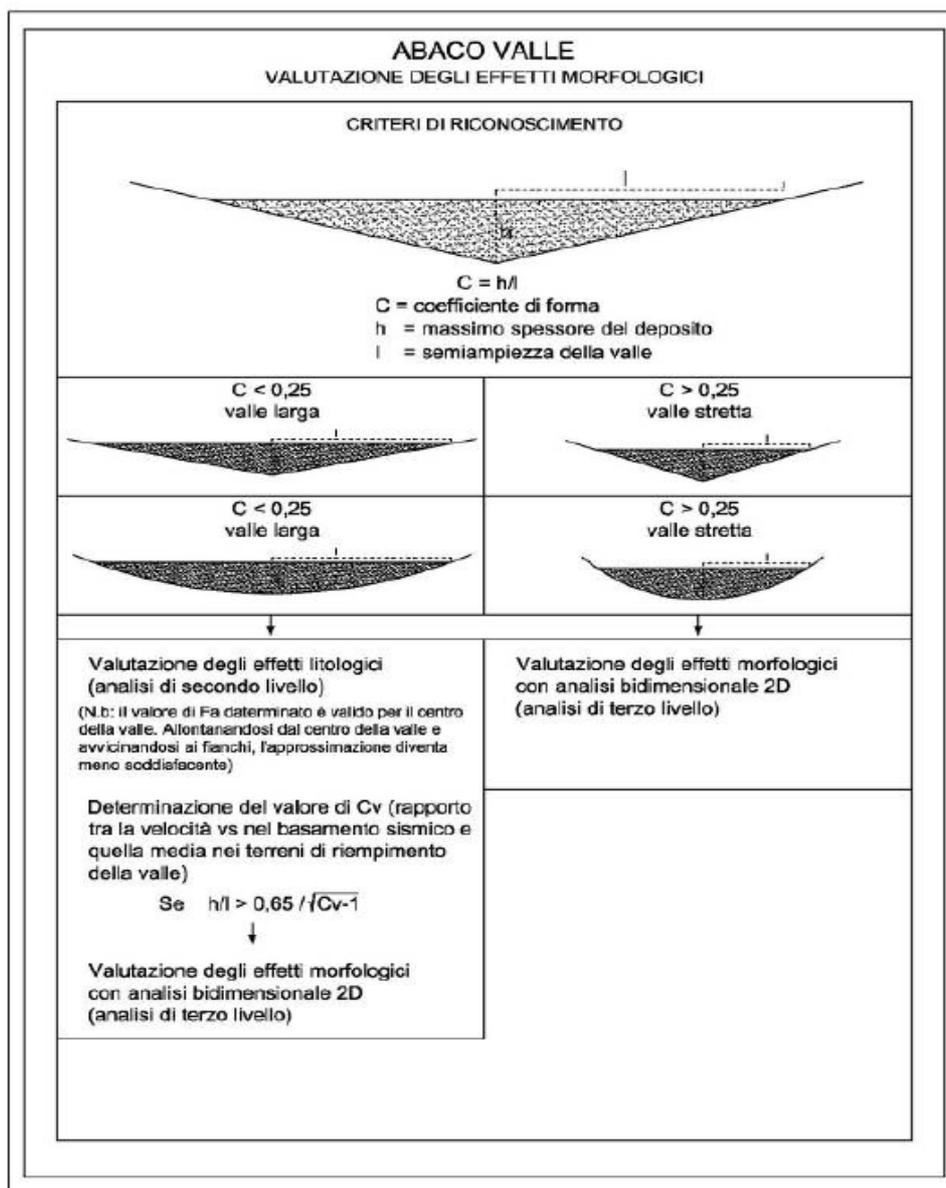
Ubicazione	Codice Indagini Relative	V _{SH}	Profondità substrato	Fa	Fv
Viale Antonini	CDM_HVSR 26 CDM SMC 1	≈ 568,5	30-50	1,17*1,1=1,3	1,21
Via Erizzo	CDM_HVSR 27 CDM SMC 2	≈ 568,5	30-50	1,17	1,21
Via Gino Rossi	CDM_HVSR 28 CDM SMC 5	≈ 568,5	30-50	1,17	1,21
Via Eriso	CDM_HVSR 29 CDM SMC 8	≈ 495,5	30-50	1,27	1,43
Via Armando Diaz	CDM_HVSR 30 CDM SMC 3	≈ 568,5	30-50	1,17	1,21
Via Sant'Andrea	CDM_HVSR 31 CDM SMC 4	≈ 568,5	30-50	1,17	1,21
Stradone Del Bosco di Cavalieri di san Marco	CDM_HVSR 32 CDM SMC 4	≈ 459,5	30-50	1,27	1,43
Via Della Vittoria	CDM_HVSR 33 CDM SMC 4	≈ 459,5	30-50	1,27	1,43

12.2 Zona di fondovalle

La distinzione tra valli larghe e valle strette è operata in riferimento agli “Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica” Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e Province Autonome, 2008, in funzione del coefficiente di forma C ($C = h / l$) in cui h è lo spessore della coltre alluvionale ed l la sua semiampiezza:

- valle stretta $C > 0.25$

- valle larga $C < 0.25$



Sulla base di quanto detto e riportato dal grafico qui sopra, si riportano i calcoli specifici al caso di studio.

Massimo spessore del deposito	Semiampiezza della valle	Coefficiente di forma
$h = 50 \text{ m}$	$l = 1300 \text{ m}$	$C = 0,04$

Secondo l'allegato A alla DGR 1572, va inoltre verificato il rapporto tra il Coefficiente di Forma C ed il coefficiente C_v che rappresenta il rapporto tra la velocità V_s del substrato e quella dei terreni di copertura, secondo la seguente formula:

$$C_v = V_s \text{ basamento sismico} / V_s \text{ terreni di copertuta}$$

VS basamento sismico	VS terreni di copertura	Cv
800 m/s	600	Cv = 1,33
800 m/s	500	Cv = 1,6

Si verifica inoltre se:

$$C > \frac{0,65}{\sqrt{Cv - 1}}$$

Nei casi esaminati risulta:

Nei casi con Cv = 1,33	Nel caso con Cv = 1,6
C < 1,13	C < 0,83

Nel nostro caso abbiamo quindi valle ampia, in cui si può ipotizzare una stratigrafia piano-parallela, e quindi la valutazione degli effetti litologici con la procedura semplificata nel secondo livello di approfondimento può risultare sufficiente.

Della tabelle si evince che tutti i siti esaminati sono attribuibili alla tipologia di “valle larga” e che la formula di cui sopra non è mai soddisfatta; non è quindi necessario il terzo livello di approfondimento.

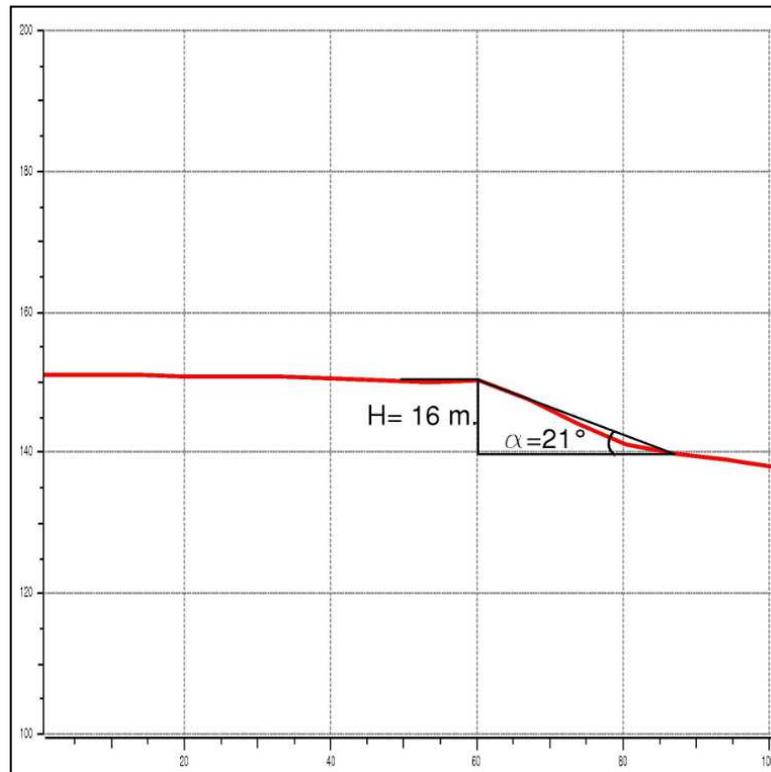
Sulla base delle indagini attualmente disponibili, e attenendosi ai risultati prodotti dall’uso degli abachi di riferimento, i fenomeni di amplificazione causati dagli effetti morfologici di fondovalle sono poco probabili.

12.3 Effetti di amplificazione morfologica

La stima degli effetti di amplificazione di carattere morfologico tramite abaco, è stata effettuata per la zone di scarpata fluviale erosiva del Fiume Piave in corrispondenza del nucleo abitato di Crocetta del Montello.

I dati ingresso sono stati ricavati da una “sezioni tipo” posta lungo la scarpata stessa e rappresentativa dell’intera area di scarpata interessante la zona indagata di crocetta del Montello dal punto di vista morfologico. Dai dati ricavati dalle sezioni queste sezioni tipo sono stati determinati i valori caratteristici per definire i valori di amplificazione morfologica specifici estendendo tali valori per tutto il tratto di scarpata interessante la zona di indagine.

Di seguito viene riportata la sezione raffigurante il profilo inerente al sito di indagine limitrofo al centro di Crocetta del Montello riferito al sito di indagine in Viale Antonini:



Classe Altimetrica	Classe di Inclinazione	Fa	Area di Influenza
10m <H < 20m	10m <H < 20m	1,1	Ai = H

L'analisi della morfologia ha consentito di escludere, sulla base dei dati desumibili dalla CTR, la presenza di scarpate con altezza superiore ai 40 metri limitando di conseguenza le classi di amplificazione morfologica ai valori pari ad 1,1.

L'analisi ha portato a stimare che il fattore di amplificazione della scarpata indagata è pari ad 1,1 con l'esclusione dei cigli più acclivi fuori dall'area indagata.

In relazione alla modesta ampiezza delle Aree di influenza (Ai) stimate nell'ordine dei 16 m e per definire un approccio a favore della sicurezza, si è preferito indicare un fattore di amplificazione omogeneo su tutta la larghezza dell' Ai mentre, in linea teorica, l'amplificazione dovrebbe ridursi all'unità in corrispondenza della base della scarpata stessa.

Il valore così stimato del Fa morfologico è stato moltiplicato a quello litostratigrafico descritto al paragrafo 11.1 (sottolineando che la sovrapposizione degli effetti di amplificazione morfologica e

litostratigrafica deve essere ottenuta tramite il prodotto delle singole amplificazioni) individuando la fascia riportata nella Carta della Microzonazione Sismica.

Come già detto, la scarpata si riduce di altezza andando da Crocetta del Montello verso il centro abitato di Ciano del Montello, dove i parametri di scarpata sono esterni all'abaco di riferimento.

13 CONCLUSIONI

La D.G.R.V. n. 1572 del 03.09.2013 *“Definizione di una metodologia teorica e sperimentale per l'analisi sismica locale a supporto della pianificazione. Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica. (D.G.R. 71/2008, D.G.R. 2877/2008 e D.lgs. 163/2006 e abrogazione D.G.R. n. 3308/08)”* stabilisce che per definire la carta di microzonazione sismica, il territorio comunale sia mappato secondo la seguenti tipologie:

- **aree “stabili”**, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (substrato geologico posto a profondità inferiore a 3 metri con morfologia piatta o semipianeggiante);
- **aree “stabili suscettibili di amplificazioni sismiche”**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;
- **aree “suscettibili di instabilità”**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto). Le principali cause di instabilità sono: instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive, cedimenti differenziali.

Nell'Allegato A) alla DGRV n. 1572/2013 *“Linee guida per l'esecuzione di studi di Microzonazione Sismica”* sono specificate più in dettaglio queste tre categorie.

Lo studio presente, strutturato sulla base delle linee guida nazionali in materia di microzonazione sismica (*“Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”* – Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile - Anno 2008) fa comunque riferimento anche alla normativa regionale vigente.

Le risultanze dello studio di Microzonazione Sismica di 1° livello, di recente realizzazione, hanno permesso di stabilire che nell'ambito del territorio comunale non esistono aree classificate come *Aree “stabili”, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo.*

L'applicazione del 3° livello non diviene obbligatoria per alcuna area indagata in quanto le analisi non hanno rilevato aree ascrivibili a *“Zone suscettibili di instabilità – liquefazione”*.

Sulla base dello studio di Microzonazione Sismica di livello 2, delle indagini pregresse recuperate presso il Comune e delle nuove indagini geofisiche si è potuto suddividere il territorio comunale

urbanizzato in aree con Fattori di amplificazione diversificati in relazione alle condizioni morfologiche, litostratigrafiche e geofisiche.

Cison di Valmarino, 18 Settembre 2015

Revisione: 09 Novembre 2015

Dott. Geol. Simone Bortolini
Ordine Geologi del Veneto n. 763



14 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. Seismogenetic sources potentially responsible for earthquakes with $M \geq 6$ in the Southern Alps (Thiene – Udine sector, NE Italy)” *Geophysical Journal International* (2005).
- AA.VV. “Modello sismotettonico dell’Italia Nord Orientale”, C.N.R., Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Rendiconto N. 1, Trieste, 1987.
- Benedetti, L., Tapponnier, P., King, G. C. P., Meyer, B., Manighetti, I., 2000. Growth folding and active thrusting in the Montello region, Veneto, northern Italy. *J. Geophys. Res.*, 105, 739-766.
- Castaldini, D. & Panizza, M., 1991. Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Italia settentrionale), *Il Quaternario*, 4, 333–410.
- Castellarin A. Nicolich R., Fantoni R., Cantelli L., Sella M., Selli L., 2006 b. Structure of the lithosphere beneath the Eastern Alps (southern sector of the TRANSALP transect). *Tectonophysics* vol. 414, pp. 259 - 282.
- Cruden D.M. & Varnes D. J. (1996) - Landslide types and processes. In: TURNER A.K. & SCHUSTER R.L. (eds) - “Landslide: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board”, Special Report 247, National Academy Press, pp. 36-75, Washington D.C.
- Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.0.4: A compilation of potential sources for earthquakes larger than $M 5,5$ in Italy and surrounding areas, in I. N. d. G. e Vulcanologia, ed., <http://diss.rm.ingv.it/diss/>.
- Ferrarese, F., Sauro, U. & Tonello, C., 1998. The Montello Plateau. Karst evolution of an alpine neotectonic morphostructure, *Zeit. für Geomorph.*, N.F. Suppl.-Bd., 109, 41–62.
- Galadini, F., Poli, M. E., Zanferrari, A., 2005. Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with $M \geq 6$ in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy). *Geophys. J. Int.*, 161, 739-762.
- Galadini, F., Meletti, C. & Vittori, E., 2001b. Major active faults in Italy: available surficial data, *Geol. en Mij.* (Netherlands Journal of Geosciences), 80, 273–296.
- Meletti, C., Galadini, F., Valensise, G., Stucchi, M., Basili, R., Barba, S., Vannucci, G., Boschi, E., 2007. The ZS9 seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. *Tectonophysics*.
- Merlini, S., Doglioni, C., Fantoni, R. & Ponton, M., 2002. Analisi strutturale lungo un profilo geologico tra la linea Fella-Sava e l’avampaese adriatico (Friuli Venezia Giulia-Italia), *Mem. Soc. Geol. It.*, 57, 293–300
- Peruzza, L., Poli, M.E., Rebez, A., Renner, G., Rogledi, S., Slejko, D. & Zanferrari, A., 2002. The 1976–1977 seismic sequence in Friuli: new sismotectonic aspects, *Mem. Soc. Geol. It.*, 57, 391–400

Sirovich, L., Pettenati, F. & Bobbio, M., 2000. Inversione di intensità macro-sismiche per le faglie di terremoti storici, in *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996–1999)*, pp. 237–245, eds Galadini, F., Meletti, C. & Rebez, A., CNR—Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, Italy.

M. Sukan e L. Peruzza, Distretti Sismici del Veneto in *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata* Vol. 52 n. 4 supplement., dicembre 2011

TRANSALP Working Group, 2002. First deep reflexion images of the Eastern Alps reveal giant crustal wedges and transcrustal ramps. *Geophysical Research Letters* Vol.29, N. 10, pp. 92-1 / 92-4.

Valensise, G., Pantosti, D. (Eds.), 2001a. Database of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy. *Annali di Geofisica*, 44(4), Suppl., 797–964, with CD-ROM.

Zanferrari, A. et al., 1982. Evoluzione neotettonica dell'Italia nord-orientale, *Mem. Sc. Geol.*, 35, 355–376.

Per quanto riguarda i riferimenti bibliografici dei cataloghi sismici citati nel testo:

NT4.1 - Camassi R. e Stucchi M., 1998. NT4.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno

CPTI04 (maggio 2004) - Gruppo di lavoro CPTI (2004). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*, INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>

CPTI11 - A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>

DOM4.1 - Monachesi G. e Stucchi M.: "DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno"

DBMI04 - Stucchi et alii. (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>
Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38.

DBMI11 - M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

15 ALLEGATI

Gli allegati alla Relazione Illustrativa sono così suddivisi:

- **Allegati “Indagini Pregresse”** contengono le indagini pregresse già documentate nel P.A.T..
- **Allegati “Indagini MS”**: contengono le indagini realizzate ex novo:
 - Elaborati di 8 prove sismiche con tecnica HVSR realizzate nell’ambito del presente studio di MS livello 2.

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA

dott. geol. SIMONE BORTOLINI via San Vito, 9/A Cison di Valmarino (TV)

tel. 338-1977870

e-mail simonebortolini@libero.it

Relazione

Indagine sismica passiva HVSR

finalizzata all'individuazione delle [frequenze](#) caratteristiche di risonanza di sito.

CDM HVSR 26

CROCETTA DEL MONTELLO

Viale Antonini

Coordinate WGS84

Lat. N 45,833938 Long. E 12,035123

Coordinate ED50

Lat. N 45,834837 Long. E 12,036123



il Geologo

dott. Simone Bortolini

TECNICA DI MISURE ED INTERPRETAZIONE HVSR (tramite TROMINO)

Tale prospezioni sismica si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi), dunque, non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

In particolar modo con la tecnica a “Stazione Singola” viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero “Horizontal to Vertical Spectral Ratios) (Nakamura, Y. [1989]). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f) di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media (V_s) delle onde sismiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato. Si possono inoltre effettuare delle considerazioni di tipo “qualitativo” molto utili in merito a possibili interferenze tra le frequenze risonanti del suolo e degli edifici sovrastanti.

Per la valutazione del periodo proprio di risonanza del sottosuolo è stata utilizzata la tecnica a stazione singola Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Kanai, 1957; Igarashi 1970; Nakamura 1989) che permette di estrarre informazioni relative alla frequenza di vibrazione del suolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremori ambientali. La misura di rumore sismico della durata di 26 minuti per ogni punto di misura è stata eseguita con una frequenza di campionamento a 128 Hz.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Hardware

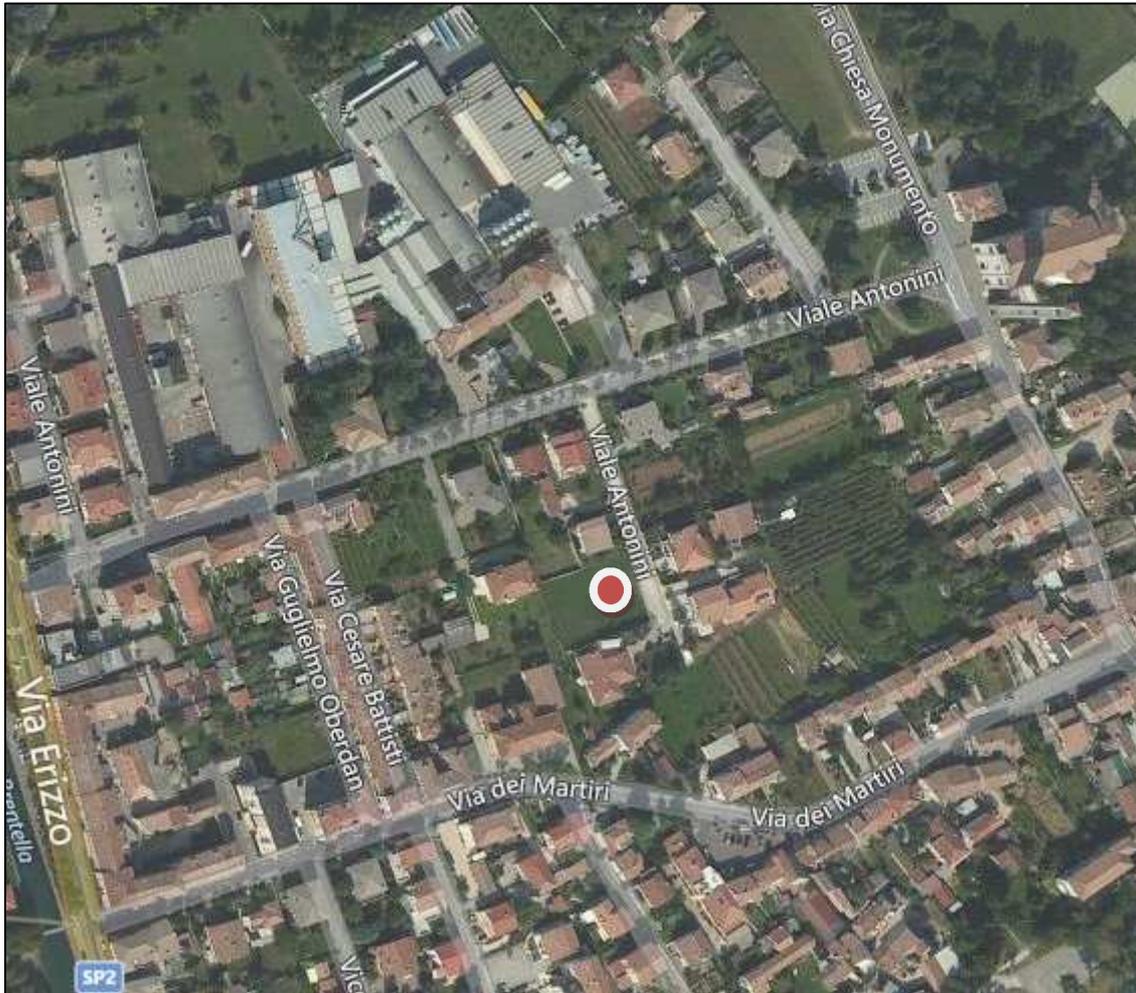
È stato utilizzato un tromografo digitale modello “Tromino” (Micromed srl) avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0.1 a 256 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit) e primo-processing interno. La livellazione micrometrica dello strumento è stata assicurata per ogni misura tramite bolla di precisione agendo sui tre punti di appoggio (punte) ed orientando uno dei 3 sensori di acquisizione (ortogonali tra loro) verso il N magnetico.

Software

Per le analisi dei dati acquisiti è stato adottato l'apposito software Grilla.

Periodo proprio di risonanza del suolo (HV)

La foto aerea mostra l'ubicazione della indagine denominata HV () indicante il punto di acquisizione di rumore sismico ambientale finalizzata alla definizione del periodo proprio del suolo.



Nello studio specifico degli effetti di sito, la frequenza di campionamento utilizzata è di 128 Hz, con tempi di misura dell'ordine di 26 minuti.

Per la misura, oltre allo spettro H/V, è palesata la trasformata delle singole componenti, l'analisi direzionale e temporale del rumore sismico acquisito.

Analisi HV

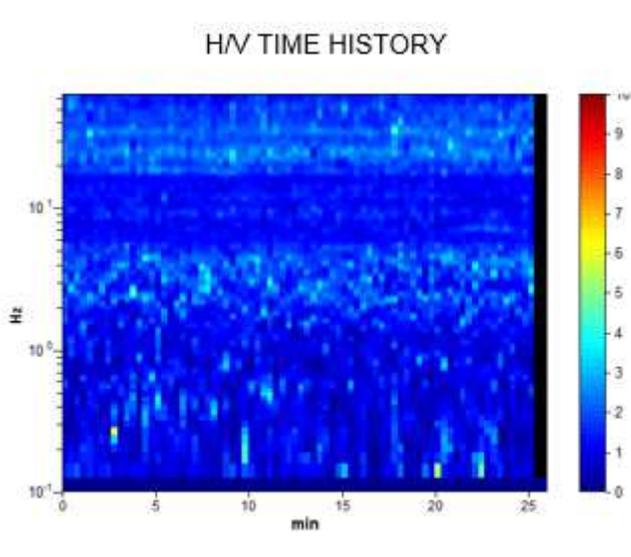


Figura 3.1: analisi temporale del rumore

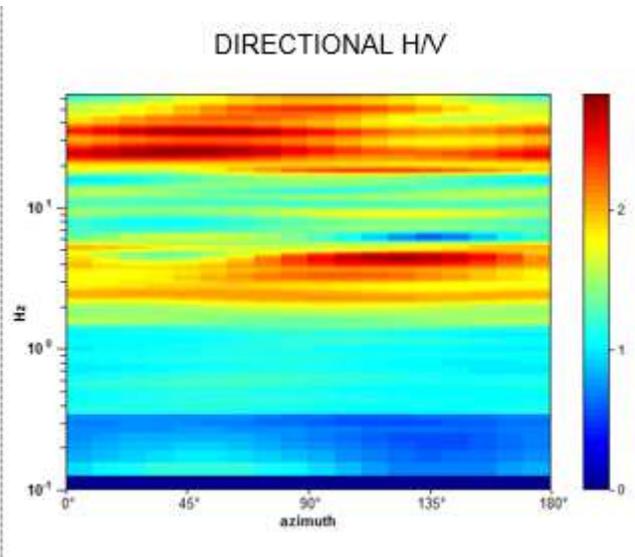


Figura 3.2: analisi direzionale del rumore

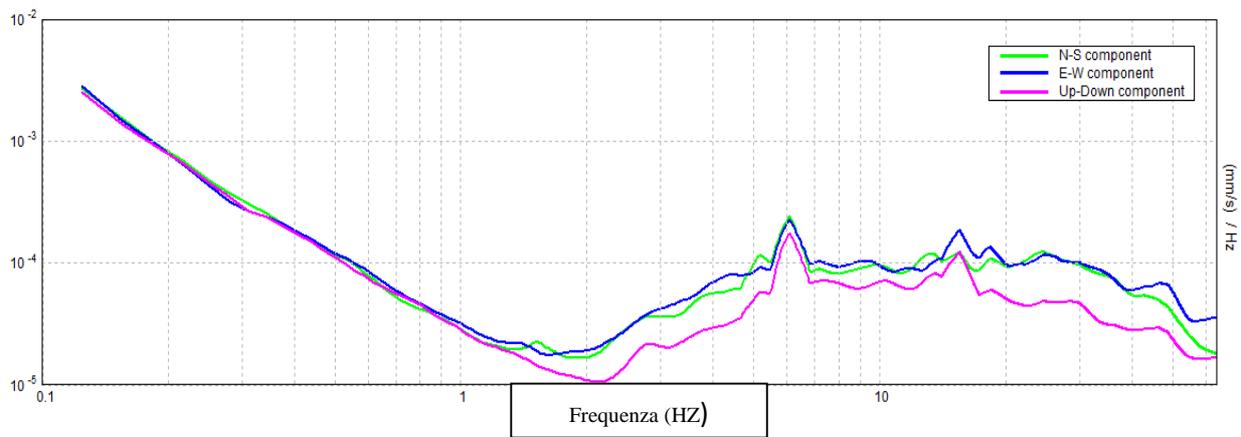


Figura 3.3: spettri delle 3 componenti

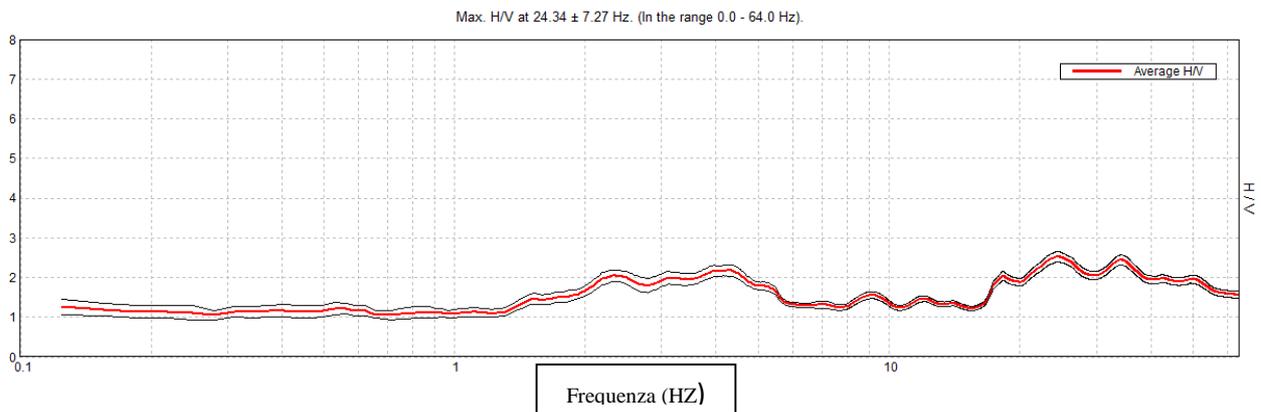


Figura 3.4: rapporto H/V

Una delle misure effettuate (HV) ha subito notevole influenza da rumore antropico. Tutte le tracce escludono la presenza di un netto contrasto di impedenza acustica nel sottosuolo. Non si individuano picchi di risonanza.

In termini di interpretazione del contrasto di impedenza acustica responsabile, eventuali picchi riscontrati, adottando secondo l'ipotesi $\lambda/4$ una funzione di trasferimento di tipo:

$$F(\omega) = 1/\cos(\omega H/V_s)$$

La frequenza naturale (F_n) di vibrazione dello strato di terreno corrisponde ai massimi della funzione di amplificazione:

$$F_n = \omega_n / 2\pi (V_s/4H)$$

con H profondità del rifrattore e V_s velocità delle onde sismiche di taglio, si può imporre la risonanza del sistema secondo la seguente relazione con T periodo proprio del suolo:

$$T = 2\pi/\omega = 4H/V_s$$

La situazione più pericolosa in termini di fenomeni di amplificazione si verifica quando la frequenza dell'eccitazione armonica (ω) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato (ω_n). Quando si verifica tale condizione ($\omega = \omega_n$) si ha la risonanza dello strato, ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito. È quindi di fondamentale importanza porre attenzione ai fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei fabbricati.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

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

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{Freq. naturale edificio} - \text{Freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

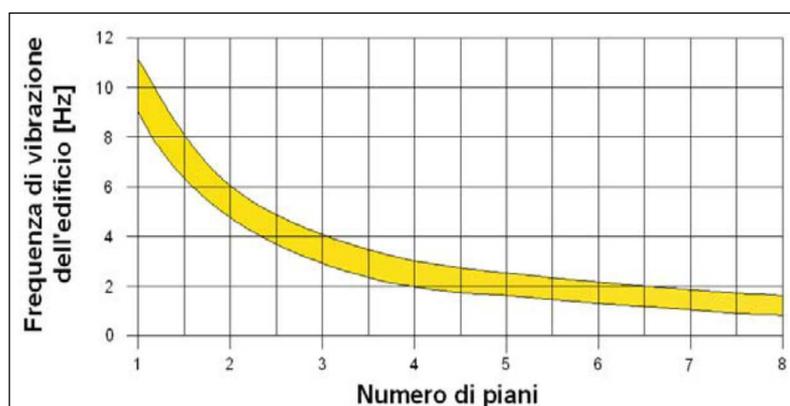


Tabella riassuntiva delle frequenze registrate in un range da 0,0 a 64,0 Hz:

Sito di indagine	Frequenza max H/V
HV	2,3 Hz 4 Hz; 9 Hz; 24,34 Hz

Conclusioni HV

Tutte le misurazioni sono state testate per validarne l'efficacia tramite i parametri suggeriti dal Progetto Europeo SESAME:

Max. H/V at 24.34 ± 7.27 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	24.34 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	37976.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1170 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$	16.063 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.53 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.29877 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$7.27315 < 1.21719$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1327 < 1.58$	OK	

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

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

La prova si è svolta in condizioni di basso rumore antropico (vicinanza ad una strada con moderato traffico- sorgente primaria antropica di disturbo)

Sulla base di queste considerazioni, il sito in esame presenta diversi picco di risonanza riscontrabile a **2,3 Hz** 4 Hz; 9 Hz; 24,34 Hz; i dati appaiono propri di un graduale e progressivo miglioramento delle condizioni meccaniche del sottosuolo sino a rilevanti profondità.

La frequenza propria del terreno si pone a F_0 **2,3 Hz**.

Cison di Valmarino, 22/08/2015

il Geologo
dott. Simone Bortolini

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA

dott. geol. SIMONE BORTOLINI via San Vito, 9/A Cison di Valmarino (TV)

tel. 338-1977870

e-mail simonebortolini@libero.it

Relazione

Indagine sismica passiva HVSR

finalizzata all'individuazione delle [frequenze](#) caratteristiche di risonanza di sito.

CDM HVSR 27

CROCETTA DEL MONTELLO

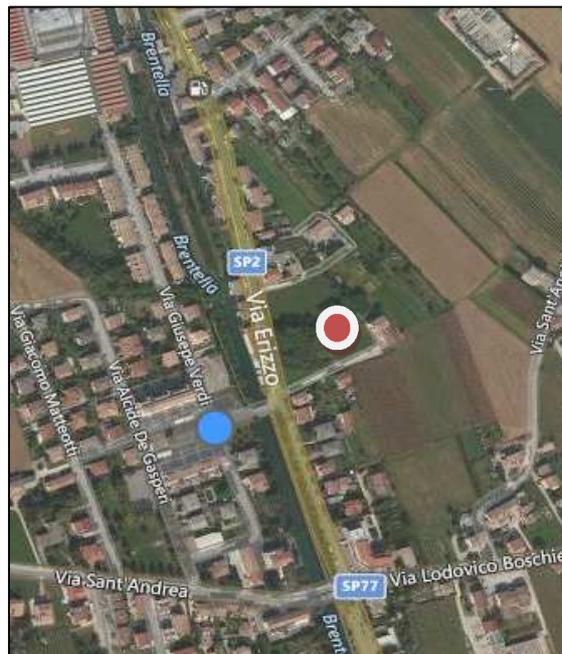
Via Erizzo

Coordinate WGS84

Lat. N 45,827343 Long. E 12,035915

Coordinate ED50

Lat. N 45,828242 Long. E 12,036915



il Geologo

dott. Simone Bortolini

TECNICA DI MISURE ED INTERPRETAZIONE HVSR (tramite TROMINO)

Tale prospezioni sismica si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi), dunque, non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

In particolar modo con la tecnica a “Stazione Singola” viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero “Horizontal to Vertical Spectral Ratios) (Nakamura, Y. [1989]). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f) di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media (V_s) delle onde sismiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato. Si possono inoltre effettuare delle considerazioni di tipo “qualitativo” molto utili in merito a possibili interferenze tra le frequenze risonanti del suolo e degli edifici sovrastanti.

Per la valutazione del periodo proprio di risonanza del sottosuolo è stata utilizzata la tecnica a stazione singola Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Kanai, 1957; Igarashi 1970; Nakamura 1989) che permette di estrarre informazioni relative alla frequenza di vibrazione del suolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremori ambientali. La misura di rumore sismico della durata di 26 minuti per ogni punto di misura è stata eseguita con una frequenza di campionamento a 128 Hz.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Hardware

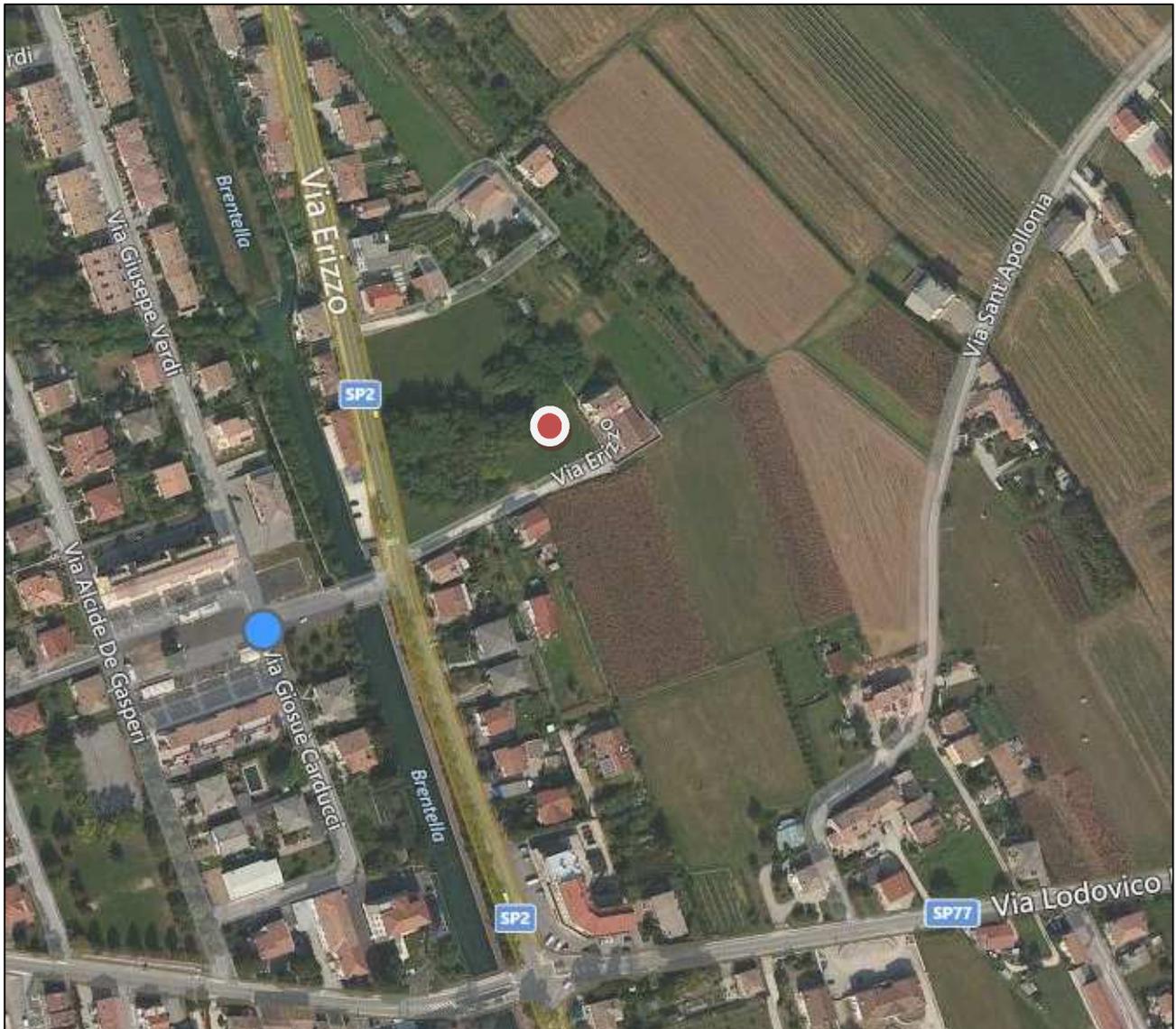
È stato utilizzato un tromografo digitale modello “Tromino” (Micromed srl) avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0.1 a 256 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit) e primo-processing interno. La livellazione micrometrica dello strumento è stata assicurata per ogni misura tramite bolla di precisione agendo sui tre punti di appoggio (punte) ed orientando uno dei 3 sensori di acquisizione (ortogonali tra loro) verso il N magnetico.

Software

Per le analisi dei dati acquisiti è stato adottato l'apposito software Grilla.

Periodo proprio di risonanza del suolo (HV)

La foto aerea mostra l'ubicazione della indagine denominata HV () indicante il punto di acquisizione di rumore sismico ambientale finalizzata alla definizione del periodo proprio del suolo.



Nello studio specifico degli effetti di sito, la frequenza di campionamento utilizzata è di 128 Hz, con tempi di misura dell'ordine di 26 minuti.

Per la misura, oltre allo spettro H/V, è palesata la trasformata delle singole componenti, l'analisi direzionale e temporale del rumore sismico acquisito.

Analisi HV

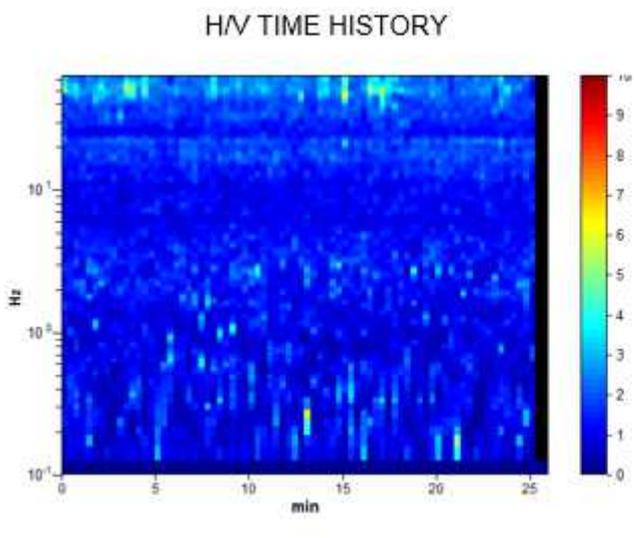


Figura 3.1: analisi temporale del rumore

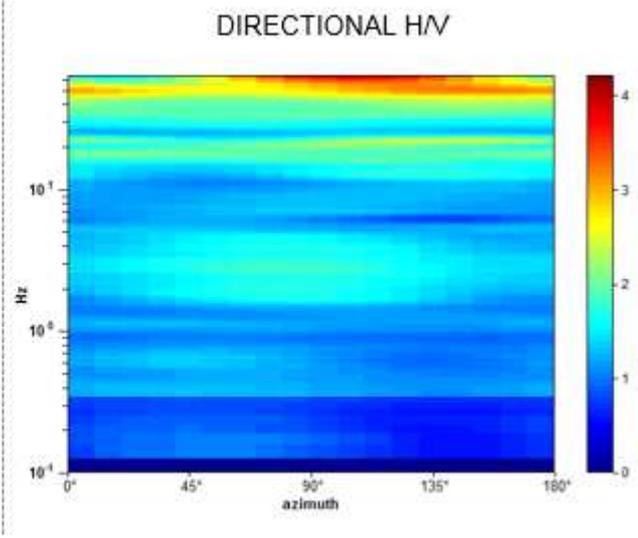


Figura 3.2: analisi direzionale del rumore

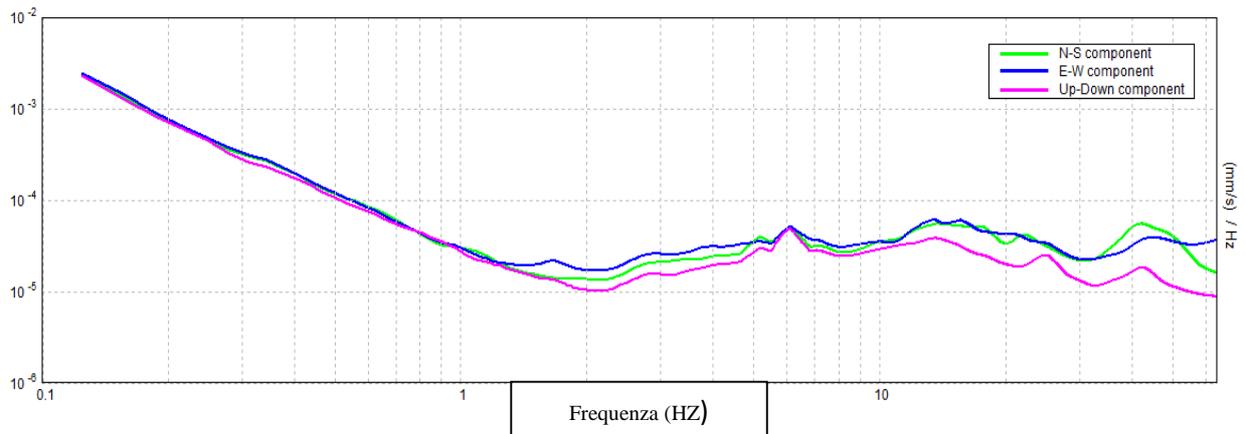
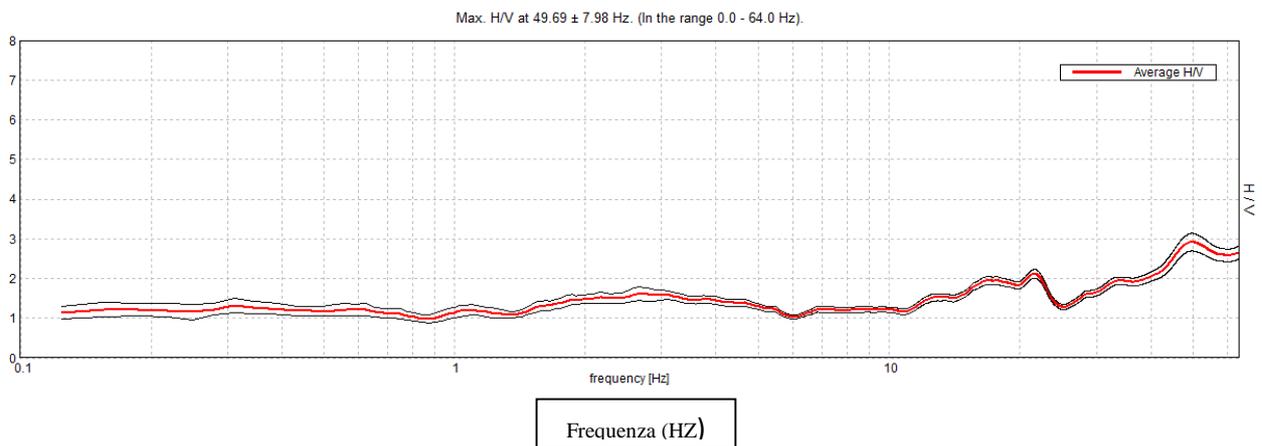


Figura 3.3: spettri delle 3 componenti



Max. HV at 49.69 ± 7.98 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

Figura 3.4: rapporto H/V

Una delle misure effettuate (HV) ha subito notevole influenza da rumore antropico. Tutte le tracce escludono la presenza di un netto contrasto di impedenza acustica nel sottosuolo. Non si individuano picchi di risonanza.

In termini di interpretazione del contrasto di impedenza acustica responsabile, eventuali picchi riscontrati, adottando secondo l'ipotesi $\lambda/4$ una funzione di trasferimento di tipo:

$$F(\omega) = 1/\cos(\omega H/V_s)$$

La frequenza naturale (F_n) di vibrazione dello strato di terreno corrisponde ai massimi della funzione di amplificazione:

$$F_n = \omega_n / 2\pi (V_s/4H)$$

con H profondità del rifrattore e V_s velocità delle onde sismiche di taglio, si può imporre la risonanza del sistema secondo la seguente relazione con T periodo proprio del suolo:

$$T = 2\pi/\omega = 4H/V_s$$

La situazione più pericolosa in termini di fenomeni di amplificazione si verifica quando la frequenza dell'eccitazione armonica (ω) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato (ω_n). Quando si verifica tale condizione ($\omega = \omega_n$) si ha la risonanza dello strato, ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito. È quindi di fondamentale importanza porre attenzione ai fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei fabbricati.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

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

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{Freq. naturale edificio} - \text{Freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

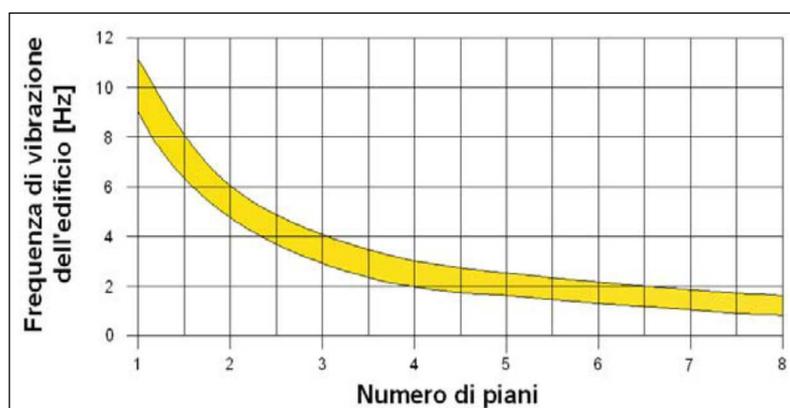


Tabella riassuntiva delle frequenze registrate in un range da 0,0 a 64,0 Hz:

Sito di indagine	Frequenza max H/V
HV	1,2 Hz 2,6 Hz 22 Hz 49,69 Hz

Conclusioni HV

Tutte le misurazioni sono state testate per validarne l'efficacia tramite i parametri suggeriti dal Progetto Europeo SESAME:

Max. H/V at 49.69 ± 7.98 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	49.69 > 0.50	OK	
$\Omega_c(f_0) > 200$	77512.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1254 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$	27.188 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.92 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.16055 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	7.97734 < 2.48438		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2223 < 1.58	OK	

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

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

La prova si è svolta in condizioni di basso rumore antropico (vicinanza ad una strada con moderato traffico- sorgente primaria antropica di disturbo)

Sulla base di queste considerazioni, il sito in esame presenta diversi picco di risonanza riscontrabile a **1,2 Hz** 2,6 Hz 22 Hz 49,69 Hz; i dati appaiono propri di un graduale e progressivo miglioramento delle condizioni meccaniche del sottosuolo sino a rilevanti profondità.

La frequenza propria del terreno si pone a F_0 **1,2 Hz**.

Cison di Valmarino, 22/08/2015

il Geologo
dott. Simone Bortolini

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA

dott. geol. SIMONE BORTOLINI via San Vito, 9/A Cison di Valmarino (TV)

tel. 338-1977870

e-mail simonebortolini@libero.it

Relazione

Indagine sismica passiva HVSR

finalizzata all'individuazione delle [frequenze](#) caratteristiche di risonanza di sito.

CDM HVSR 28

CROCETTA DEL MONTELLO

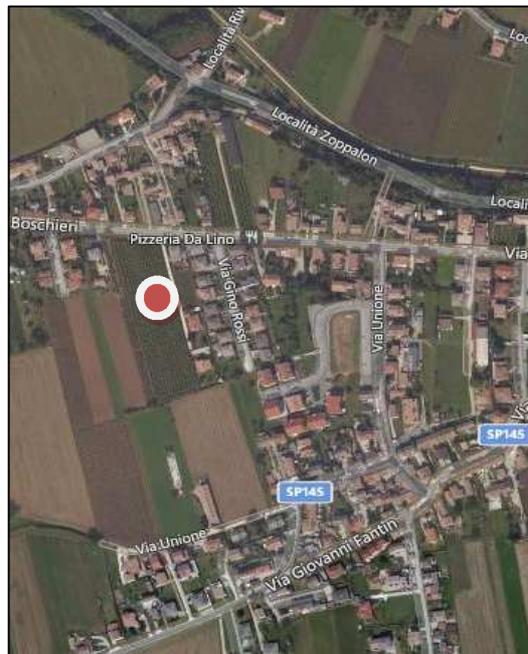
Via Gino Rossi

Coordinate WGS84

Lat. N 45,824978 Long. E 12,0478

Coordinate ED50

Lat. N 45,825877 Long. E 12,048800



il Geologo

dott. Simone Bortolini

TECNICA DI MISURE ED INTERPRETAZIONE HVSR (tramite TROMINO)

Tale prospezioni sismica si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi), dunque, non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

In particolar modo con la tecnica a “Stazione Singola” viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero “Horizontal to Vertical Spectral Ratios) (Nakamura, Y. [1989]). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f) di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media (V_s) delle onde sismiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato. Si possono inoltre effettuare delle considerazioni di tipo “qualitativo” molto utili in merito a possibili interferenze tra le frequenze risonanti del suolo e degli edifici sovrastanti.

Per la valutazione del periodo proprio di risonanza del sottosuolo è stata utilizzata la tecnica a stazione singola Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Kanai, 1957; Igarashi 1970; Nakamura 1989) che permette di estrarre informazioni relative alla frequenza di vibrazione del suolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremori ambientali. La misura di rumore sismico della durata di 26 minuti per ogni punto di misura è stata eseguita con una frequenza di campionamento a 128 Hz.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Hardware

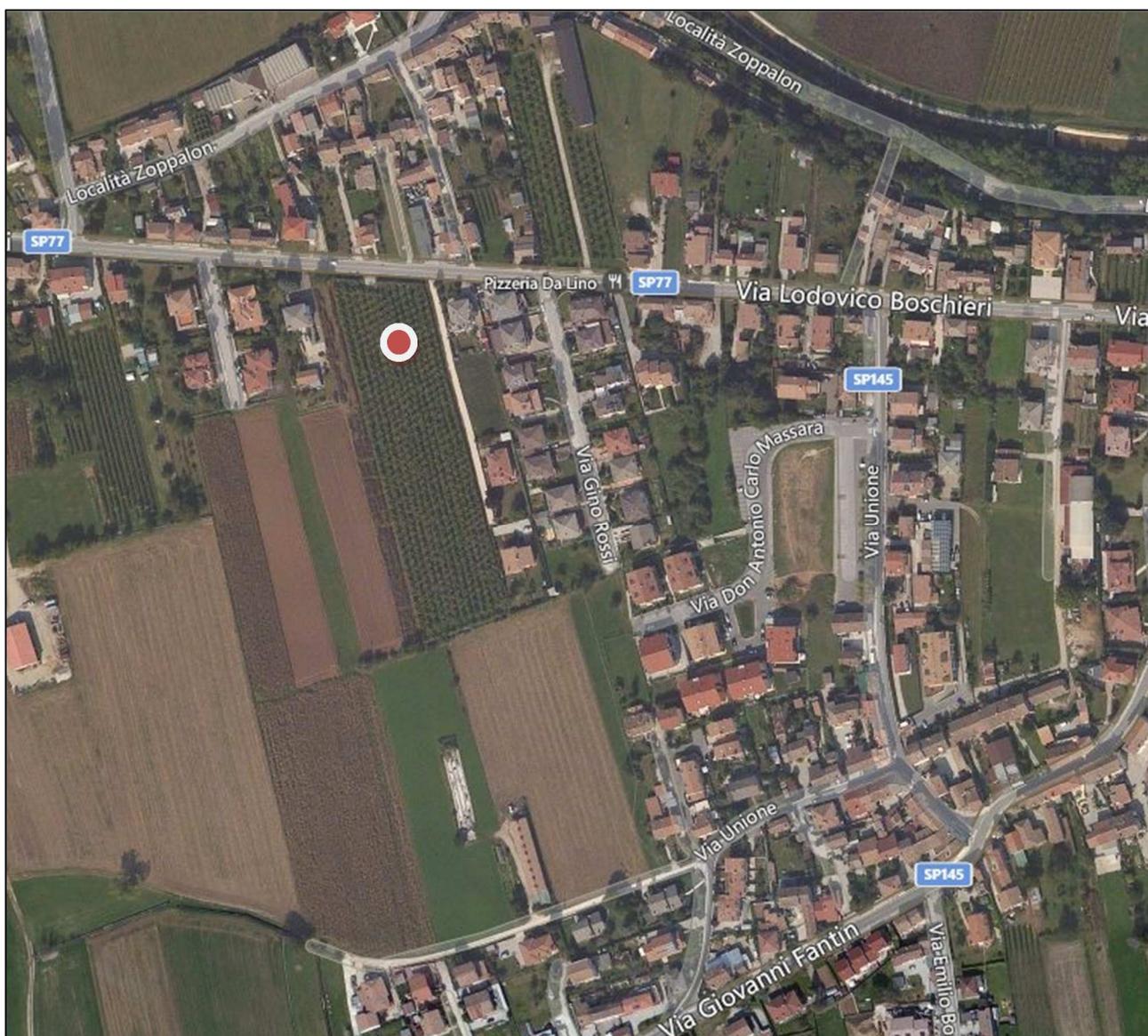
È stato utilizzato un tromografo digitale modello “Tromino” (Micromed srl) avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0.1 a 256 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit) e primo-processing interno. La livellazione micrometrica dello strumento è stata assicurata per ogni misura tramite bolla di precisione agendo sui tre punti di appoggio (punte) ed orientando uno dei 3 sensori di acquisizione (ortogonali tra loro) verso il N magnetico.

Software

Per le analisi dei dati acquisiti è stato adottato l'apposito software Grilla.

Periodo proprio di risonanza del suolo (HV)

La foto aerea mostra l'ubicazione della indagine denominata HV () indicante il punto di acquisizione di rumore sismico ambientale finalizzata alla definizione del periodo proprio del suolo.



Nello studio specifico degli effetti di sito, la frequenza di campionamento utilizzata è di 128 Hz, con tempi di misura dell'ordine di 26 minuti.

Per la misura, oltre allo spettro H/V, è palesata la trasformata delle singole componenti, l'analisi direzionale e temporale del rumore sismico acquisito.

Analisi HV

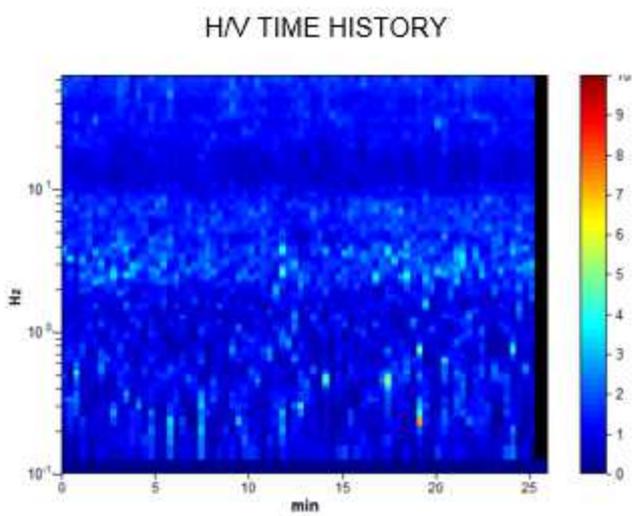


Figura 3.1: analisi temporale del rumore

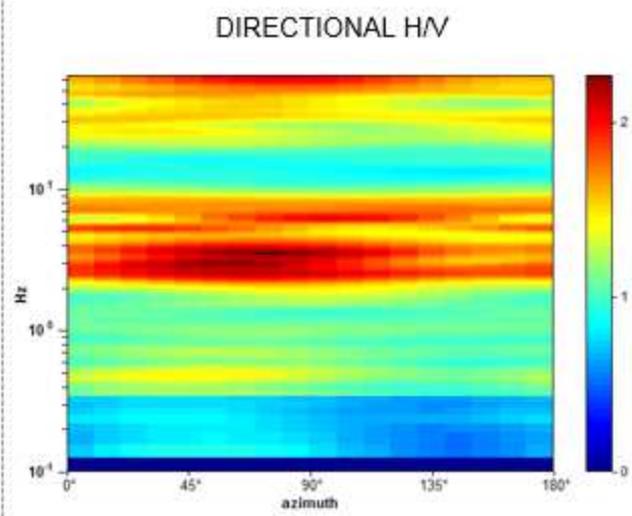


Figura 3.2: analisi direzionale del rumore

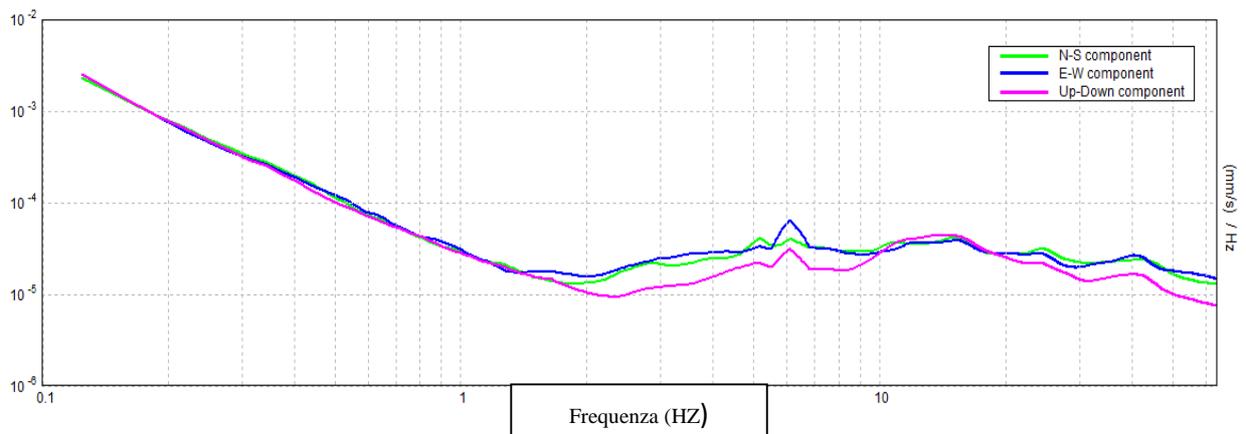


Figura 3.3: spettri delle 3 componenti

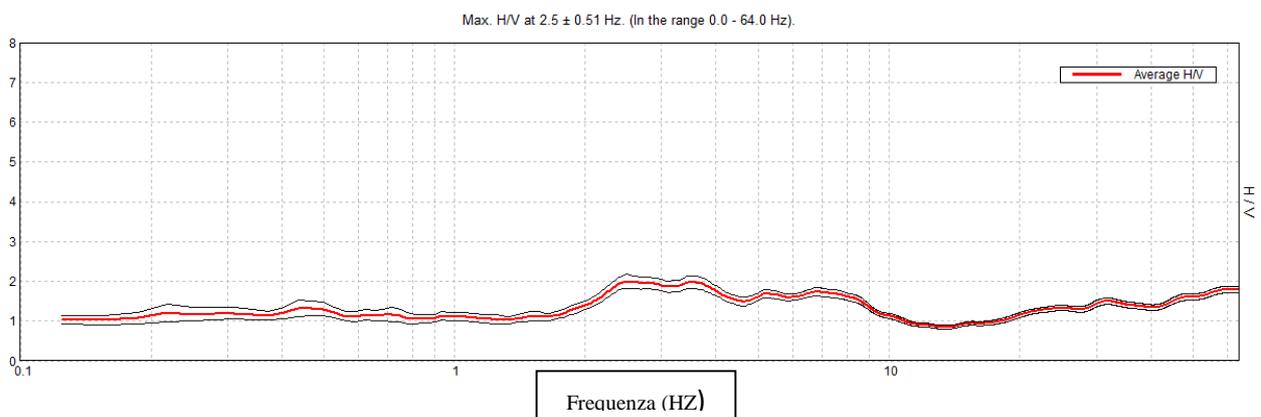


Figura 3.4: rapporto H/V

Una delle misure effettuate (HV) ha subito notevole influenza da rumore antropico. Tutte le tracce escludono la presenza di un netto contrasto di impedenza acustica nel sottosuolo. Non si individuano picchi di risonanza.

In termini di interpretazione del contrasto di impedenza acustica responsabile, eventuali picchi riscontrati, adottando secondo l'ipotesi $\lambda / 4$ una funzione di trasferimento di tipo:

$$F(\omega) = 1/\cos(\omega H/V_s)$$

La frequenza naturale (F_n) di vibrazione dello strato di terreno corrisponde ai massimi della funzione di amplificazione:

$$F_n = \omega_n / 2\pi (V_s/4H)$$

con H profondità del rifrattore e V_s velocità delle onde sismiche di taglio, si può imporre la risonanza del sistema secondo la seguente relazione con T periodo proprio del suolo:

$$T = 2\pi/\omega = 4H/V_s$$

La situazione più pericolosa in termini di fenomeni di amplificazione si verifica quando la frequenza dell'eccitazione armonica (ω) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato (ω_n). Quando si verifica tale condizione ($\omega = \omega_n$) si ha la risonanza dello strato, ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito. È quindi di fondamentale importanza porre attenzione ai fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei fabbricati.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

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

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{Freq. naturale edificio} = \text{Freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

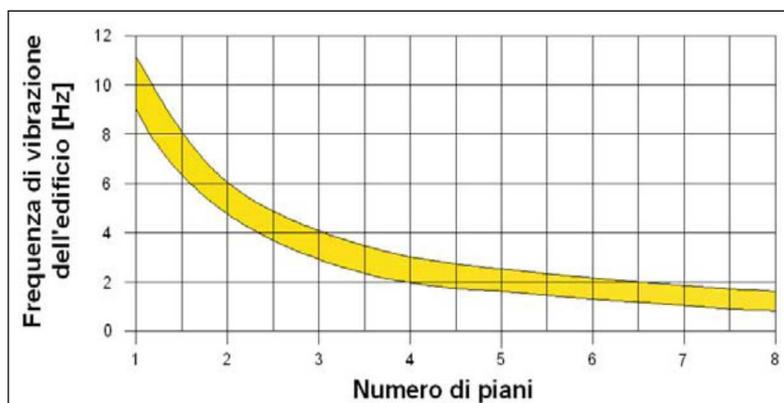


Tabella riassuntiva delle frequenze registrate in un range da 0,0 a 64,0 Hz:

Sito di indagine	Frequenza max H/V
HV	2,5 Hz 3,5 Hz 5 Hz 7 Hz

Conclusioni HV

Tutte le misurazioni sono state testate per validarne l'efficacia tramite i parametri suggeriti dal Progetto Europeo SESAME:

Max. H/V at 2.5 ± 0.51 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	2.50 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3900.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz	Exceeded 0 out of 121 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.00 > 2		NO
$f_{peak} [A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.20512 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.51281 < 0.125		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1748 < 1.58	OK	

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

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

La prova si è svolta in condizioni di basso rumore antropico (vicinanza ad una strada con moderato traffico- sorgente primaria antropica di disturbo)

Sulla base di queste considerazioni, il sito in esame presenta diversi picco di risonanza riscontrabile a **2,5 Hz** 3,5 Hz 5 Hz 7 Hz; i dati appaiono propri di un graduale e progressivo miglioramento delle condizioni meccaniche del sottosuolo sino a rilevanti profondità.

La frequenza propria del terreno si pone a F_0 **2,5 Hz**.

Cison di Valmarino, 22/08/2015

il Geologo
dott. Simone Bortolini

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA

dott. geol. SIMONE BORTOLINI via San Vito, 9/A Cison di Valmarino (TV)

tel. 338-1977870

e-mail simonebortolini@libero.it

Relazione

Indagine sismica passiva HVSR

finalizzata all'individuazione delle [frequenze](#) caratteristiche di risonanza di sito.

CDM HVSR 29

CROCETTA DEL MONTELLO

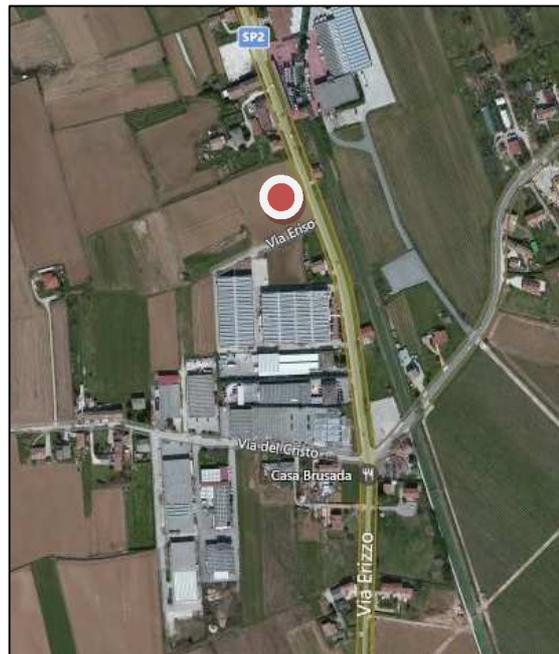
Via Eriso

Coordinate WGS84

Lat. N 45,815406 Long. E 12,037499

Coordinate ED50

Lat. N 45,816306 Long. E 12,038499



il Geologo

dott. Simone Bortolini

TECNICA DI MISURE ED INTERPRETAZIONE HVSR (tramite TROMINO)

Tale prospezioni sismica si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi), dunque, non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

In particolar modo con la tecnica a “Stazione Singola” viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero “Horizontal to Vertical Spectral Ratios) (Nakamura, Y. [1989]). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f) di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media (V_s) delle onde sismiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato. Si possono inoltre effettuare delle considerazioni di tipo “qualitativo” molto utili in merito a possibili interferenze tra le frequenze risonanti del suolo e degli edifici sovrastanti.

Per la valutazione del periodo proprio di risonanza del sottosuolo è stata utilizzata la tecnica a stazione singola Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Kanai, 1957; Igarashi 1970; Nakamura 1989) che permette di estrarre informazioni relative alla frequenza di vibrazione del suolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremori ambientali. La misura di rumore sismico della durata di 26 minuti per ogni punto di misura è stata eseguita con una frequenza di campionamento a 128 Hz.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Hardware

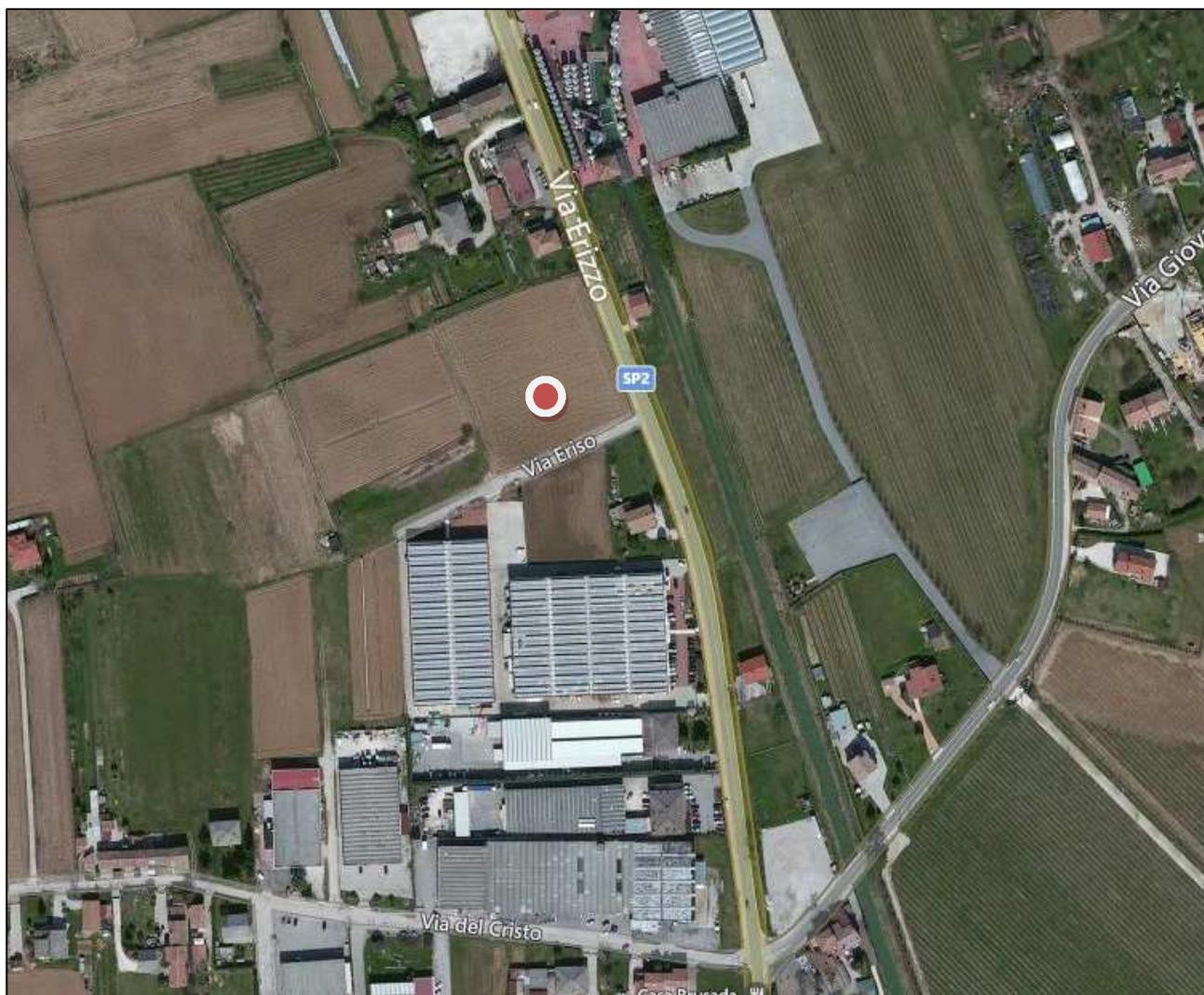
È stato utilizzato un tromografo digitale modello “Tromino” (Micromed srl) avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0.1 a 256 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit) e primo-processing interno. La livellazione micrometrica dello strumento è stata assicurata per ogni misura tramite bolla di precisione agendo sui tre punti di appoggio (punte) ed orientando uno dei 3 sensori di acquisizione (ortogonali tra loro) verso il N magnetico.

Software

Per le analisi dei dati acquisiti è stato adottato l'apposito software Grilla.

Periodo proprio di risonanza del suolo (HV)

La foto aerea mostra l'ubicazione della indagine denominata HV () indicante il punto di acquisizione di rumore sismico ambientale finalizzata alla definizione del periodo proprio del suolo.



Nello studio specifico degli effetti di sito, la frequenza di campionamento utilizzata è di 128 Hz, con tempi di misura dell'ordine di 26 minuti.

Per la misura, oltre allo spettro H/V, è palesata la trasformata delle singole componenti, l'analisi direzionale e temporale del rumore sismico acquisito.

Analisi HV

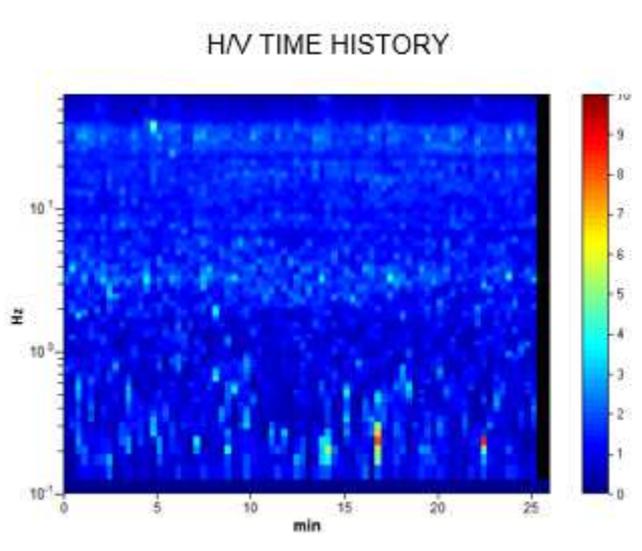


Figura 3.1: analisi temporale del rumore

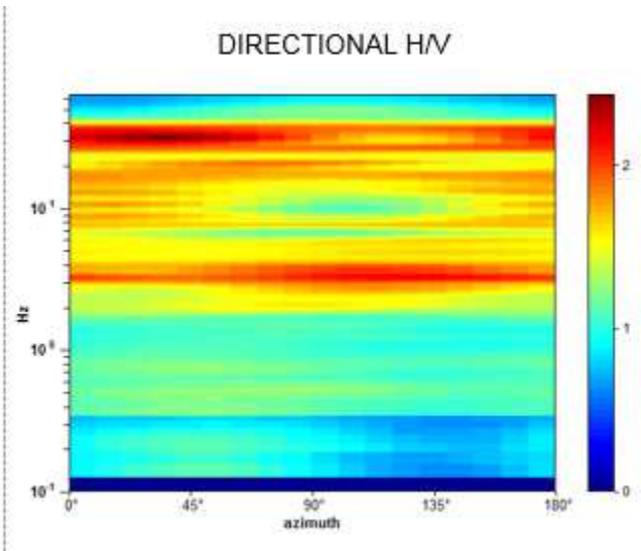


Figura 3.2: analisi direzionale del rumore

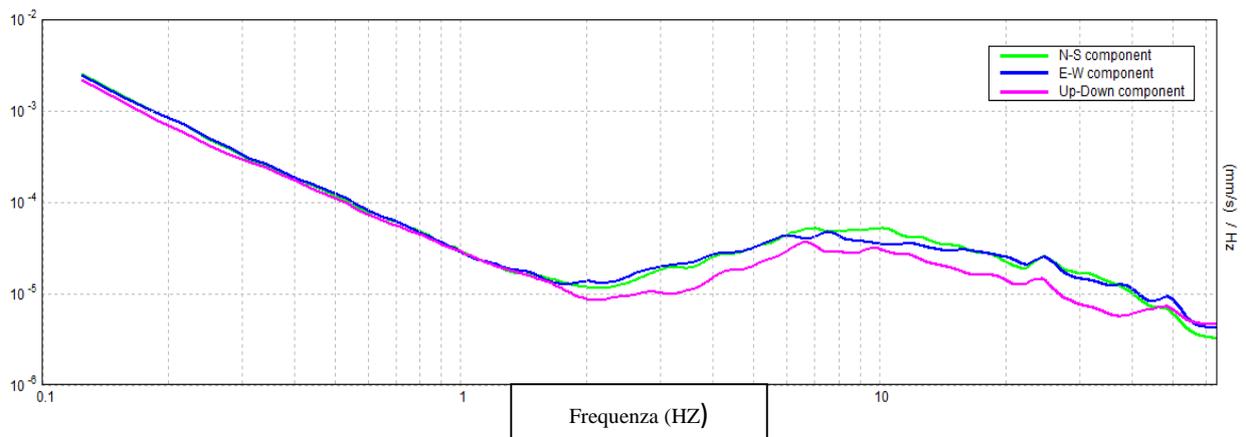


Figura 3.3: spettri delle 3 componenti

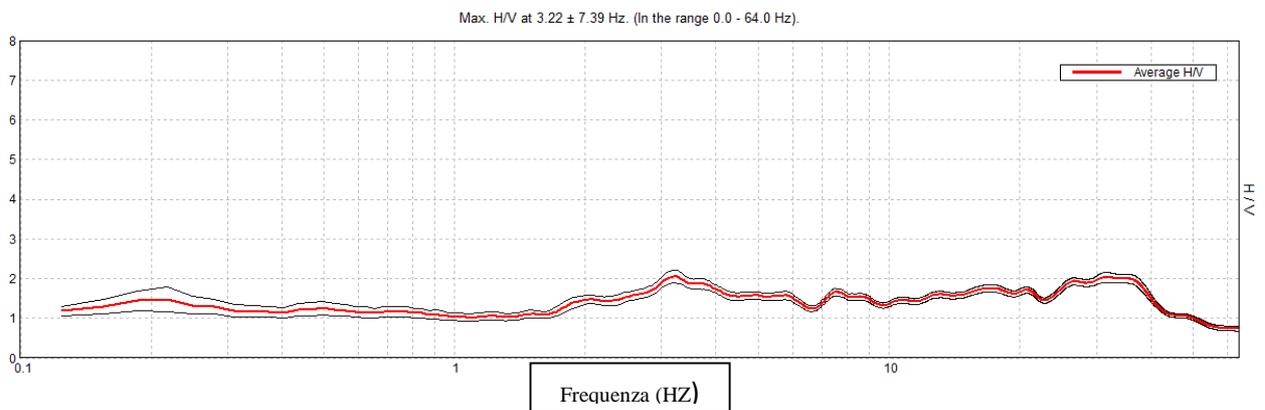


Figura 3.4: rapporto H/V

Una delle misure effettuate (HV) ha subito notevole influenza da rumore antropico. Tutte le tracce escludono la presenza di un netto contrasto di impedenza acustica nel sottosuolo. Non si individuano picchi di risonanza.

In termini di interpretazione del contrasto di impedenza acustica responsabile, eventuali picchi riscontrati, adottando secondo l'ipotesi $\lambda / 4$ una funzione di trasferimento di tipo:

$$F(\omega) = 1/\cos(\omega H/V_s)$$

La frequenza naturale (F_n) di vibrazione dello strato di terreno corrisponde ai massimi della funzione di amplificazione:

$$F_n = \omega_n / 2\pi = (V_s/4H)$$

con H profondità del rifrattore e V_s velocità delle onde sismiche di taglio, si può imporre la risonanza del sistema secondo la seguente relazione con T periodo proprio del suolo:

$$T = 2\pi/\omega = 4H/V_s$$

La situazione più pericolosa in termini di fenomeni di amplificazione si verifica quando la frequenza dell'eccitazione armonica (ω) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato (ω_n). Quando si verifica tale condizione ($\omega = \omega_n$) si ha la risonanza dello strato, ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito. È quindi di fondamentale importanza porre attenzione ai fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei fabbricati.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

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

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{Freq. naturale edificio} = \text{Freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

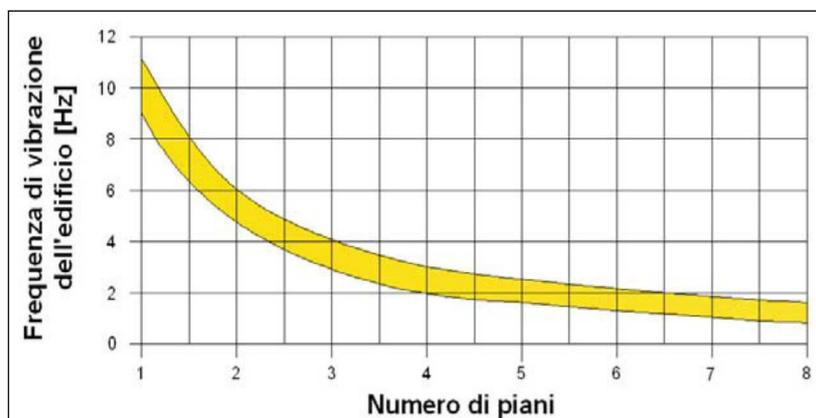


Tabella riassuntiva delle frequenze registrate in un range da 0,0 a 64,0 Hz:

Sito di indagine	Frequenza max H/V
HV	3,22 Hz 7,5 Hz

Conclusioni HV

Tutte le misurazioni sono state testate per validarne l'efficacia tramite i parametri suggeriti dal Progetto Europeo SESAME:

Max. H/V at 3.22 ± 7.39 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_W$	3.22 > 0.50	OK	
$N_c(f_0) > 200$	5021.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 156 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$	1.094 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.05 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	2.29677 < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	7.39274 < 0.16094		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1621 < 1.58	OK	

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

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

La prova si è svolta in condizioni di basso rumore antropico (vicinanza ad una strada con moderato traffico- sorgente primaria antropica di disturbo)

Sulla base di queste considerazioni, il sito in esame presenta diversi picco di risonanza riscontrabile a **3,22 Hz** e 7,5 Hz; i dati appaiono propri di un graduale e progressivo miglioramento delle condizioni meccaniche del sottosuolo sino a rilevanti profondità.

La frequenza propria del terreno si pone a F_0 **3,22 Hz**

Cison di Valmarino, 22/08/2015

il Geologo
dott. Simone Bortolini

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA

dott. geol. SIMONE BORTOLINI via San Vito, 9/A Cison di Valmarino (TV)

tel. 338-1977870

e-mail simonebortolini@libero.it

Relazione

Indagine sismica passiva HVSR

finalizzata all'individuazione delle [frequenze](#) caratteristiche di risonanza di sito.

CDM HVSR 30

CROCETTA DEL MONTELLO

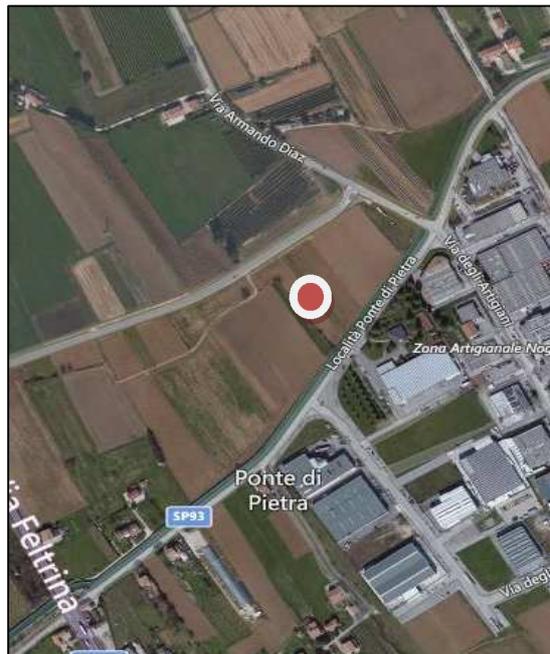
Via Armando Diaz

Coordinate WGS84

Lat. N 45,814 Long. E 12,020225

Coordinate ED50

Lat. N 45,814900 Long. E 12,021225



il Geologo

dott. Simone Bortolini

TECNICA DI MISURE ED INTERPRETAZIONE HVSR (tramite TROMINO)

Tale prospezioni sismica si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi), dunque, non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

In particolar modo con la tecnica a “Stazione Singola” viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero “Horizontal to Vertical Spectral Ratios) (Nakamura, Y. [1989]). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f) di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media (V_s) delle onde sismiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato. Si possono inoltre effettuare delle considerazioni di tipo “qualitativo” molto utili in merito a possibili interferenze tra le frequenze risonanti del suolo e degli edifici sovrastanti.

Per la valutazione del periodo proprio di risonanza del sottosuolo è stata utilizzata la tecnica a stazione singola Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Kanai, 1957; Igarashi 1970; Nakamura 1989) che permette di estrarre informazioni relative alla frequenza di vibrazione del suolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremori ambientali. La misura di rumore sismico della durata di 26 minuti per ogni punto di misura è stata eseguita con una frequenza di campionamento a 128 Hz.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Hardware

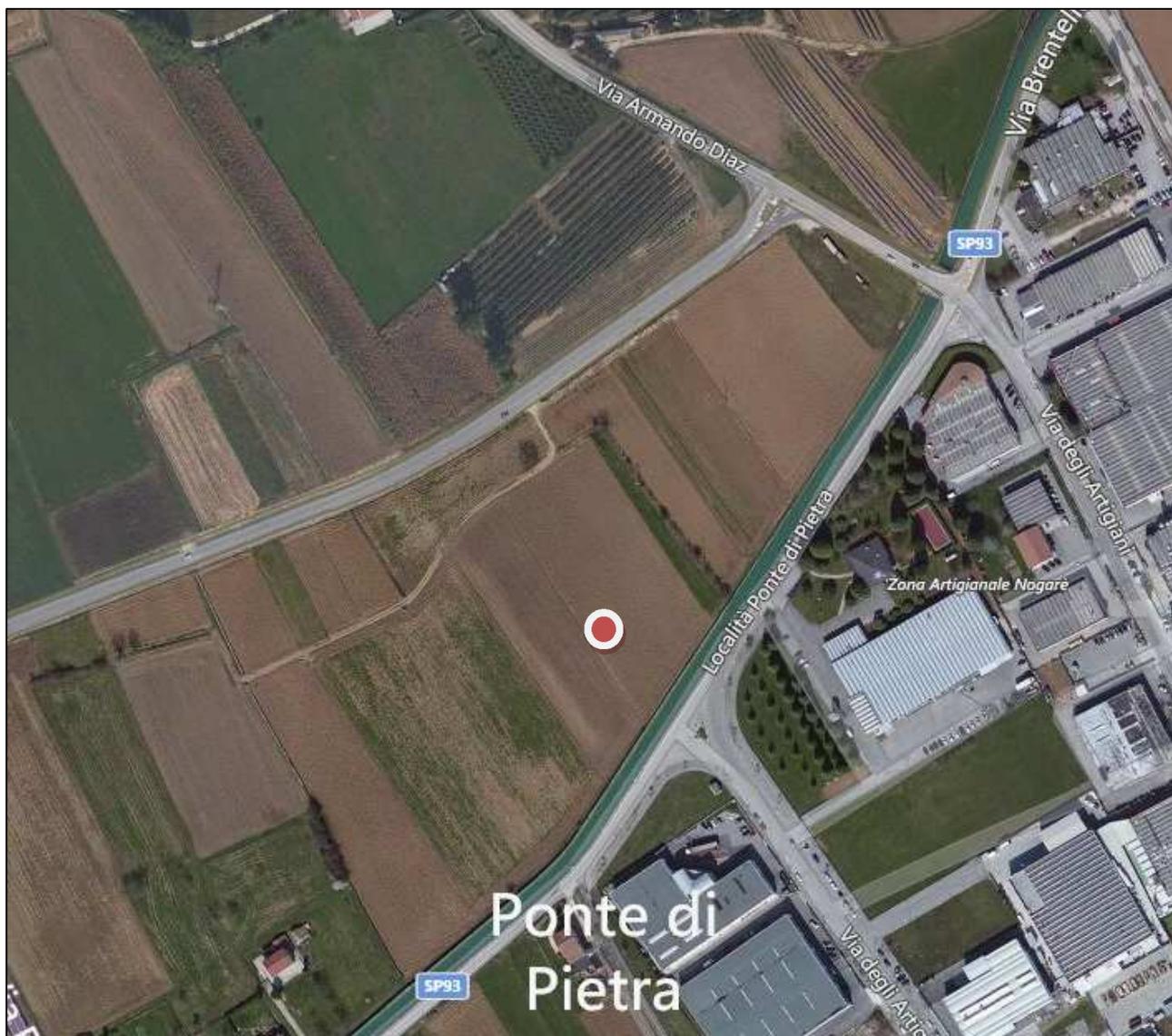
È stato utilizzato un tromografo digitale modello “Tromino” (Micromed srl) avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0.1 a 256 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit) e primo-processing interno. La livellazione micrometrica dello strumento è stata assicurata per ogni misura tramite bolla di precisione agendo sui tre punti di appoggio (punte) ed orientando uno dei 3 sensori di acquisizione (ortogonali tra loro) verso il N magnetico.

Software

Per le analisi dei dati acquisiti è stato adottato l'apposito software Grilla.

Periodo proprio di risonanza del suolo (HV)

La foto aerea mostra l'ubicazione della indagine denominata HV () indicante il punto di acquisizione di rumore sismico ambientale finalizzata alla definizione del periodo proprio del suolo.



Nello studio specifico degli effetti di sito, la frequenza di campionamento utilizzata è di 128 Hz, con tempi di misura dell'ordine di 26 minuti.

Per la misura, oltre allo spettro H/V, è palesata la trasformata delle singole componenti, l'analisi direzionale e temporale del rumore sismico acquisito.

Analisi HV

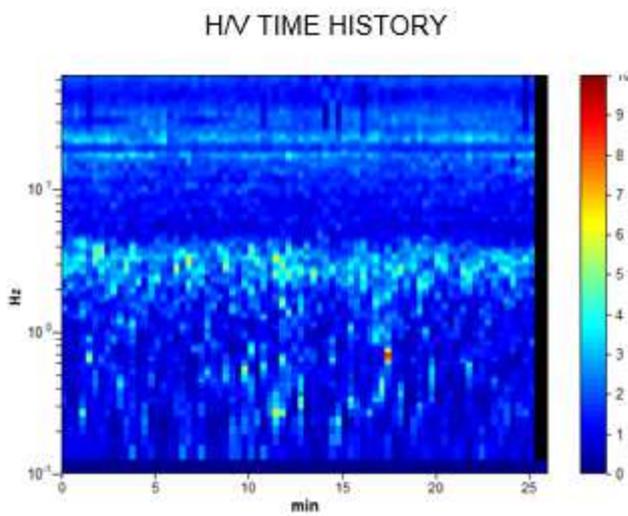


Figura 3.1: analisi temporale del rumore

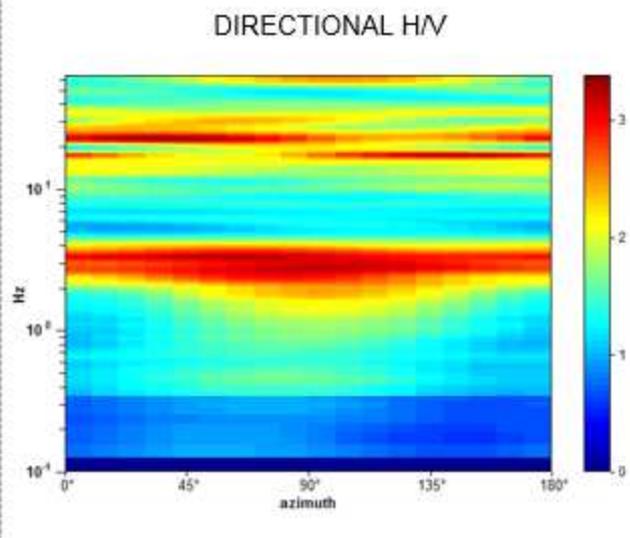


Figura 3.2: analisi direzionale del rumore

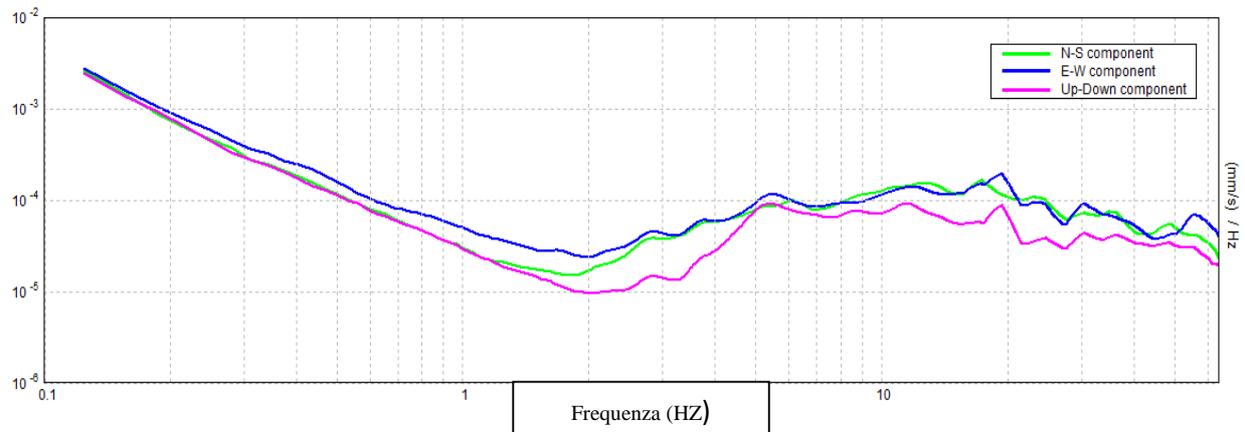


Figura 3.3: spettri delle 3 componenti

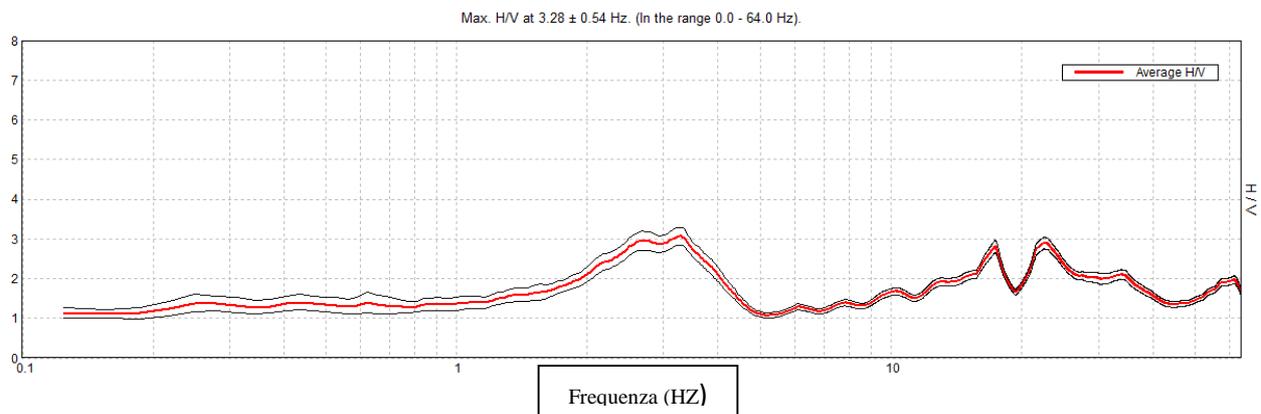


Figura 3.4: rapporto H/V

Una delle misure effettuate (HV) ha subito notevole influenza da rumore antropico. Tutte le tracce escludono la presenza di un netto contrasto di impedenza acustica nel sottosuolo. Non si individuano picchi di risonanza.

In termini di interpretazione del contrasto di impedenza acustica responsabile, eventuali picchi riscontrati, adottando secondo l'ipotesi $\lambda / 4$ una funzione di trasferimento di tipo:

$$F(\omega) = 1/\cos(\omega H/V_s)$$

La frequenza naturale (F_n) di vibrazione dello strato di terreno corrisponde ai massimi della funzione di amplificazione:

$$F_n = \omega_n / 2\pi (V_s/4H)$$

con H profondità del rifrattore e V_s velocità delle onde sismiche di taglio, si può imporre la risonanza del sistema secondo la seguente relazione con T periodo proprio del suolo:

$$T = 2\pi/\omega = 4H/V_s$$

La situazione più pericolosa in termini di fenomeni di amplificazione si verifica quando la frequenza dell'eccitazione armonica (ω) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato (ω_n). Quando si verifica tale condizione ($\omega = \omega_n$) si ha la risonanza dello strato, ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito. E' quindi di fondamentale importanza porre attenzione ai fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei fabbricati.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

Freq. naturale edificio _ 10 Hz / numero piani

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

Freq. naturale edificio - Freq. fondamentale di risonanza del sito

ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

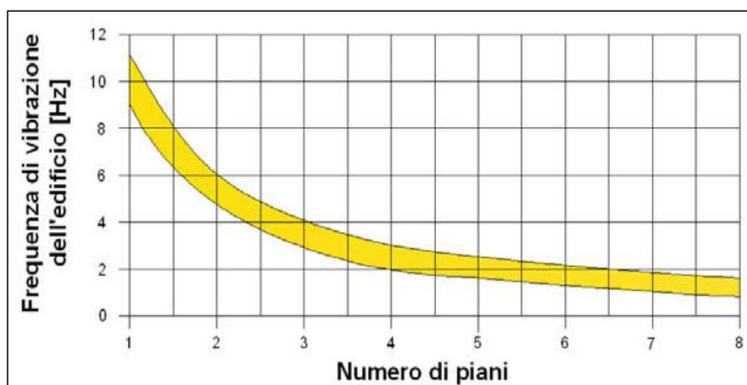


Tabella riassuntiva delle frequenze registrate in un range da 0,0 a 64,0 Hz:

Sito di indagine	Frequenza max H/V
HV	3,28 Hz 18 Hz 22 Hz

Conclusioni HV

Tutte le misurazioni sono state testate per validarne l'efficacia tramite i parametri suggeriti dal Progetto Europeo SESAME:

Max. H/V at 3.28 ± 0.54 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	3.28 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	5118.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 158 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$	1.281 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$	4.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.07 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.16493 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.54118 < 0.16406$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2244 < 1.58$	OK	

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

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

La prova si è svolta in condizioni di basso rumore antropico (vicinanza ad una strada con moderato traffico- sorgente primaria antropica di disturbo)

Sulla base di queste considerazioni, il sito in esame presenta diversi picco di risonanza riscontrabile a **3,28 Hz**, 18 Hz e 22 Hz; i dati appaiono propri di un graduale e progressivo miglioramento delle condizioni meccaniche del sottosuolo sino a rilevanti profondità.

La frequenza propria del terreno si pone a F_0 **3,28 Hz**.

Cison di Valmarino, 22/08/2015

il Geologo
dott. Simone Bortolini

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA

dott. geol. SIMONE BORTOLINI via San Vito, 9/A Cison di Valmarino (TV)

tel. 338-1977870

e-mail simonebortolini@libero.it

Relazione

Indagine sismica passiva HVSR

finalizzata all'individuazione delle [frequenze](#) caratteristiche di risonanza di sito.

CDM HVSR 31

CROCETTA DEL MONTELLO

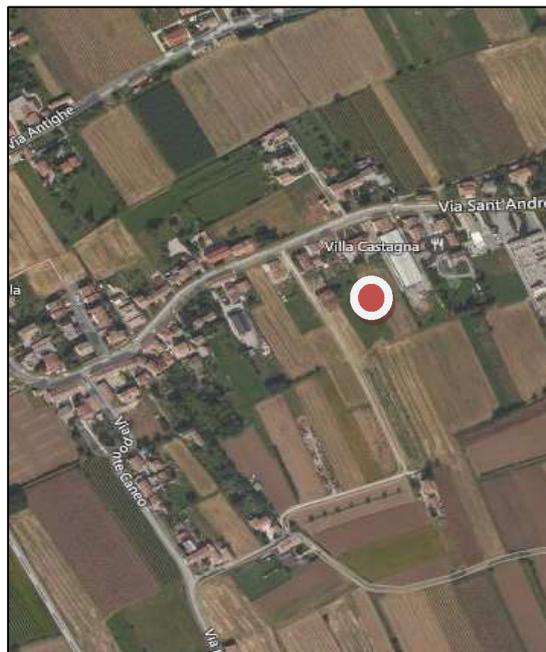
Via Sant' Andrea

Coordinate WGS84

Lat. N 45,823615 Long. E 12,026512

Coordinate ED50

Lat. N 45,824515 Long. E 12,027512



il Geologo

dott. Simone Bortolini

TECNICA DI MISURE ED INTERPRETAZIONE HVSR (tramite TROMINO)

Tale prospezioni sismica si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi), dunque, non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

In particolar modo con la tecnica a “Stazione Singola” viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero “Horizontal to Vertical Spectral Ratios) (Nakamura, Y. [1989]). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f) di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media (V_s) delle onde sismiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato. Si possono inoltre effettuare delle considerazioni di tipo “qualitativo” molto utili in merito a possibili interferenze tra le frequenze risonanti del suolo e degli edifici sovrastanti.

Per la valutazione del periodo proprio di risonanza del sottosuolo è stata utilizzata la tecnica a stazione singola Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Kanai, 1957; Igarashi 1970; Nakamura 1989) che permette di estrarre informazioni relative alla frequenza di vibrazione del suolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremori ambientali. La misura di rumore sismico della durata di 26 minuti per ogni punto di misura è stata eseguita con una frequenza di campionamento a 128 Hz.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Hardware

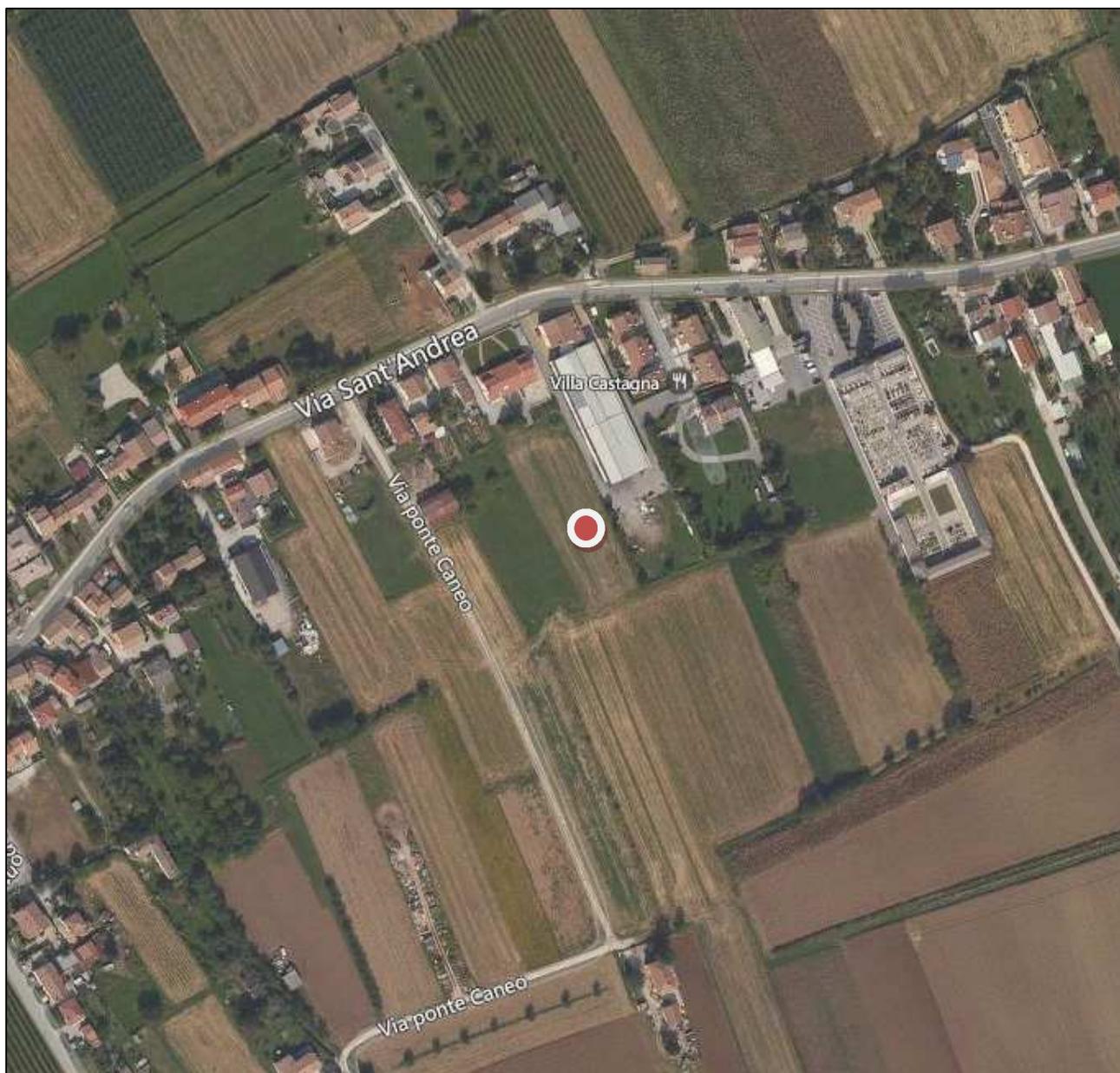
È stato utilizzato un tromografo digitale modello “Tromino” (Micromed srl) avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0.1 a 256 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit) e primo-processing interno. La livellazione micrometrica dello strumento è stata assicurata per ogni misura tramite bolla di precisione agendo sui tre punti di appoggio (punte) ed orientando uno dei 3 sensori di acquisizione (ortogonali tra loro) verso il N magnetico.

Software

Per le analisi dei dati acquisiti è stato adottato l'apposito software Grilla.

Periodo proprio di risonanza del suolo (HV)

La foto aerea mostra l'ubicazione della indagine denominata HV () indicante il punto di acquisizione di rumore sismico ambientale finalizzata alla definizione del periodo proprio del suolo.



Nello studio specifico degli effetti di sito, la frequenza di campionamento utilizzata è di 128 Hz, con tempi di misura dell'ordine di 26 minuti.

Per la misura, oltre allo spettro H/V, è palesata la trasformata delle singole componenti, l'analisi direzionale e temporale del rumore sismico acquisito.

Analisi HV

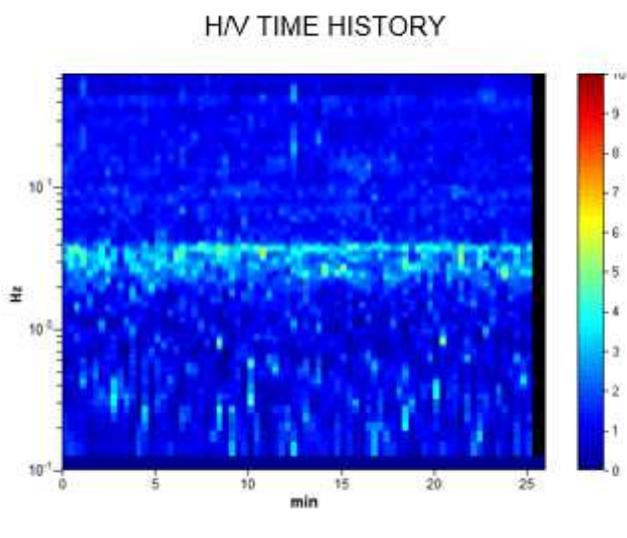


Figura 3.1: analisi temporale del rumore

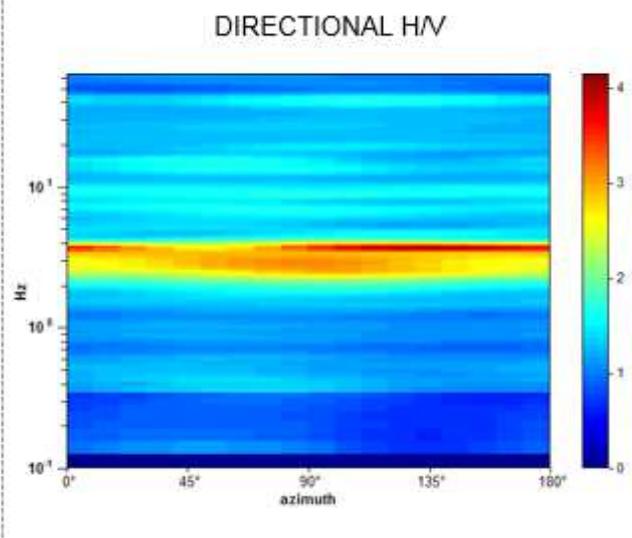


Figura 3.2: analisi direzionale del rumore

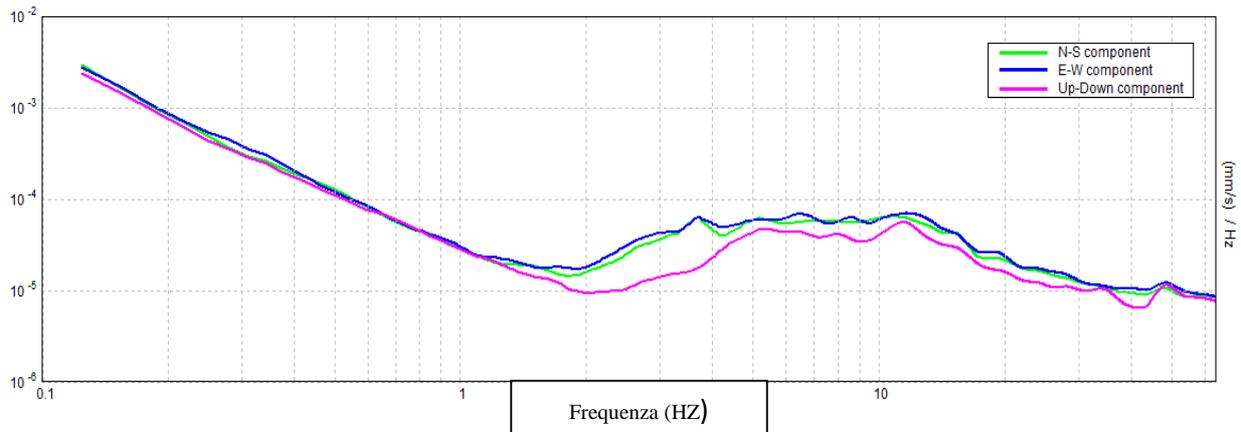


Figura 3.3: spettri delle 3 componenti

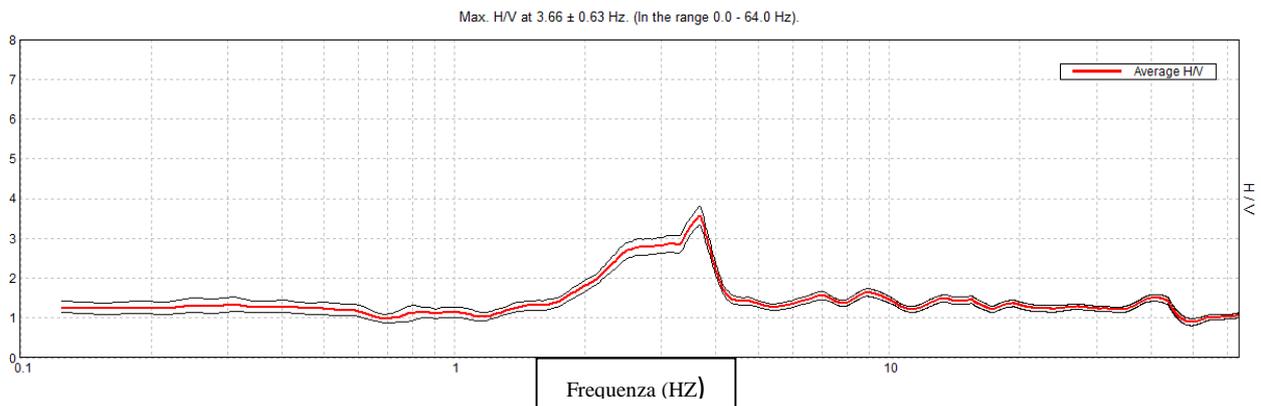


Figura 3.4: rapporto H/V

Una delle misure effettuate (HV) ha subito notevole influenza da rumore antropico. Tutte le tracce escludono la presenza di un netto contrasto di impedenza acustica nel sottosuolo. Non si individuano picchi di risonanza.

In termini di interpretazione del contrasto di impedenza acustica responsabile, eventuali picchi riscontrati, adottando secondo l'ipotesi $\lambda/4$ una funzione di trasferimento di tipo:

$$F(\omega) = 1/\cos(\omega H/V_s)$$

La frequenza naturale (F_n) di vibrazione dello strato di terreno corrisponde ai massimi della funzione di amplificazione:

$$F_n = \omega_n / 2\pi (V_s/4H)$$

con H profondità del rifrattore e V_s velocità delle onde sismiche di taglio, si può imporre la risonanza del sistema secondo la seguente relazione con T periodo proprio del suolo:

$$T = 2\pi/\omega = 4H/V_s$$

La situazione più pericolosa in termini di fenomeni di amplificazione si verifica quando la frequenza dell'eccitazione armonica (ω) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato (ω_n). Quando si verifica tale condizione ($\omega = \omega_n$) si ha la risonanza dello strato, ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito. È quindi di fondamentale importanza porre attenzione ai fenomeni di “doppia risonanza”, cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei fabbricati.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

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

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{Freq. naturale edificio} - \text{Freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

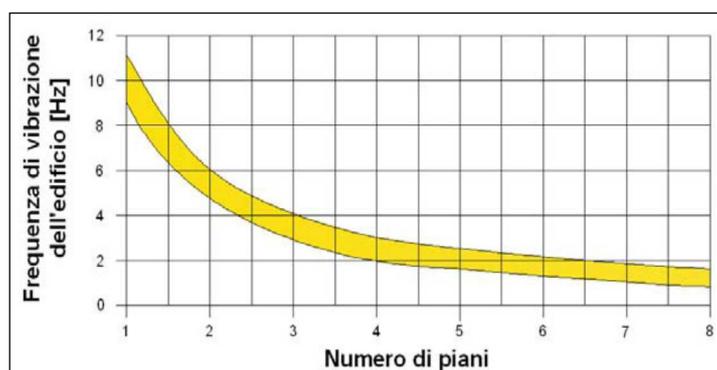


Tabella riassuntiva delle frequenze registrate in un range da 0,0 a 64,0 Hz:

Sito di indagine	Frequenza max H/V
HV	3, 66Hz 7 Hz 9 Hz

Conclusioni HV

Tutte le misurazioni sono state testate per validarne l'efficacia tramite i parametri suggeriti dal Progetto Europeo SESAME:

Max. H/V at 3.66 ± 0.63 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	3.66 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	5703.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz	Exceeded 0 out of 176 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$	1.969 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$	4.156 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.58 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.17148 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.62696 < 0.18281$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2356 < 1.58$	OK	

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

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

La prova si è svolta in condizioni di basso rumore antropico (vicinanza ad una strada con moderato traffico- sorgente primaria antropica di disturbo)

Sulla base di queste considerazioni, il sito in esame presenta diversi picco di risonanza riscontrabile a **3, 66Hz**, 7 Hz e 9 Hz; i dati appaiono propri di un graduale e progressivo miglioramento delle condizioni meccaniche del sottosuolo sino a rilevanti profondità.

La frequenza propria del terreno si pone a F_0 **3, 66 Hz**.

Cison di Valmarino, 22/08/2015

il Geologo
dott. Simone Bortolini

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA

dott. geol. SIMONE BORTOLINI via San Vito, 9/A Cison di Valmarino (TV)

tel. 338-1977870

e-mail simonebortolini@libero.it

Relazione

Indagine sismica passiva HVSR

finalizzata all'individuazione delle [frequenze](#) caratteristiche di risonanza di sito.

CDM HVSR 32

CROCETTA DEL MONTELLO

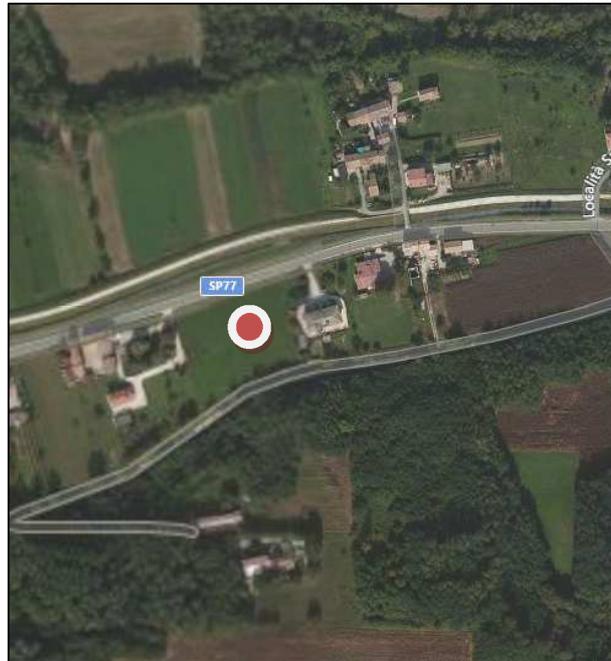
Stradone del Bosco di Cavalieri di San Marco

Coordinate WGS84

Lat. N 45,828612 Long. E 12,078818

Coordinate ED50

Lat. N 45,829511 Long. E 12,079817



il Geologo

dott. Simone Bortolini

TECNICA DI MISURE ED INTERPRETAZIONE HVSR (tramite TROMINO)

Tale prospezioni sismica si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi), dunque, non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

In particolar modo con la tecnica a “Stazione Singola” viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero “Horizontal to Vertical Spectral Ratios) (Nakamura, Y. [1989]). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f) di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media (V_s) delle onde sismiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato. Si possono inoltre effettuare delle considerazioni di tipo “qualitativo” molto utili in merito a possibili interferenze tra le frequenze risonanti del suolo e degli edifici sovrastanti.

Per la valutazione del periodo proprio di risonanza del sottosuolo è stata utilizzata la tecnica a stazione singola Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Kanai, 1957; Igarashi 1970; Nakamura 1989) che permette di estrarre informazioni relative alla frequenza di vibrazione del suolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremori ambientali. La misura di rumore sismico della durata di 26 minuti per ogni punto di misura è stata eseguita con una frequenza di campionamento a 128 Hz.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Hardware

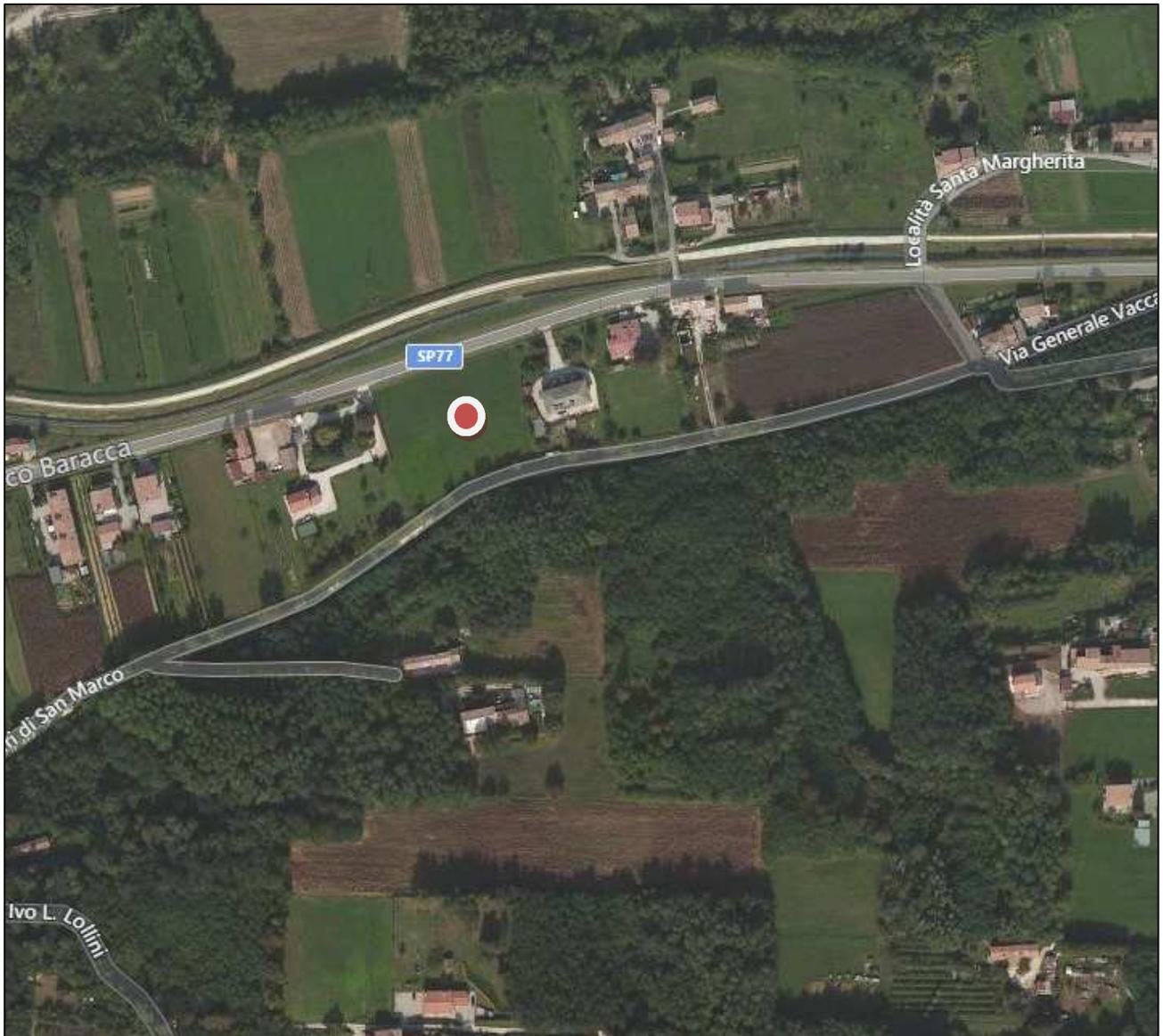
È stato utilizzato un tromografo digitale modello “Tromino” (Micromed srl) avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0.1 a 256 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit) e primo-processing interno. La livellazione micrometrica dello strumento è stata assicurata per ogni misura tramite bolla di precisione agendo sui tre punti di appoggio (punte) ed orientando uno dei 3 sensori di acquisizione (ortogonali tra loro) verso il N magnetico.

Software

Per le analisi dei dati acquisiti è stato adottato l'apposito software Grilla.

Periodo proprio di risonanza del suolo (HV)

La foto aerea mostra l'ubicazione della indagine denominata HV () indicante il punto di acquisizione di rumore sismico ambientale finalizzata alla definizione del periodo proprio del suolo.



Nello studio specifico degli effetti di sito, la frequenza di campionamento utilizzata è di 128 Hz, con tempi di misura dell'ordine di 26 minuti.

Per la misura, oltre allo spettro H/V, è palesata la trasformata delle singole componenti, l'analisi direzionale e temporale del rumore sismico acquisito.

Analisi HV

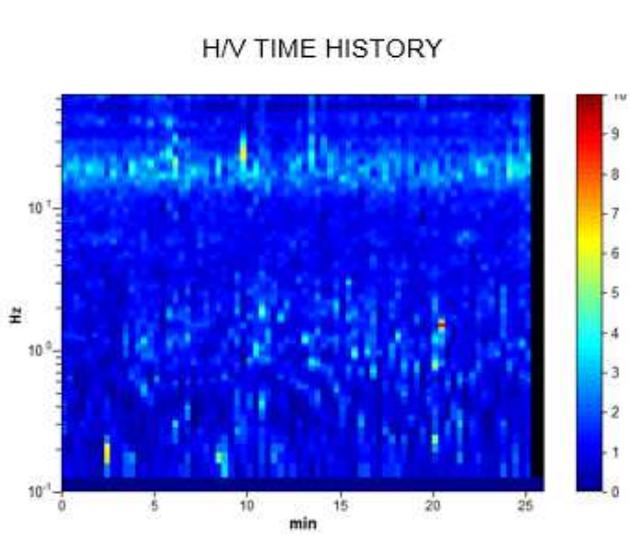


Figura 3.1: analisi temporale del rumore

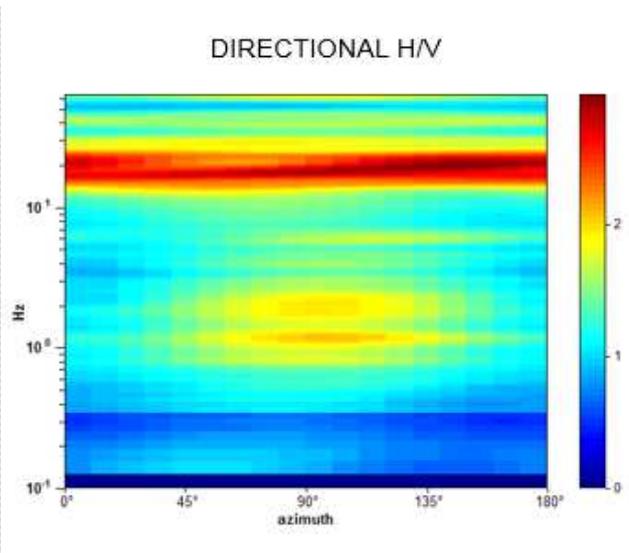


Figura 3.2: analisi direzionale del rumore

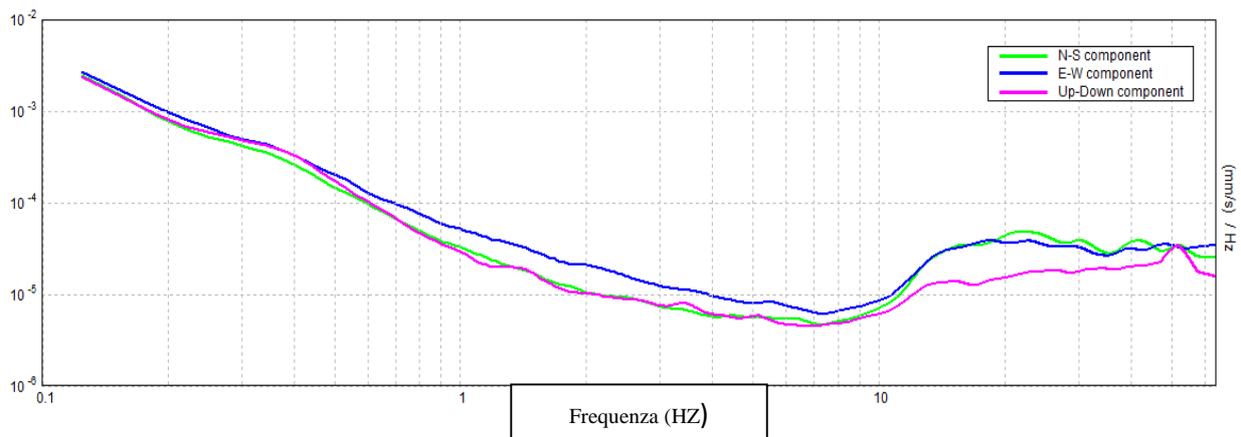


Figura 3.3: spettri delle 3 componenti

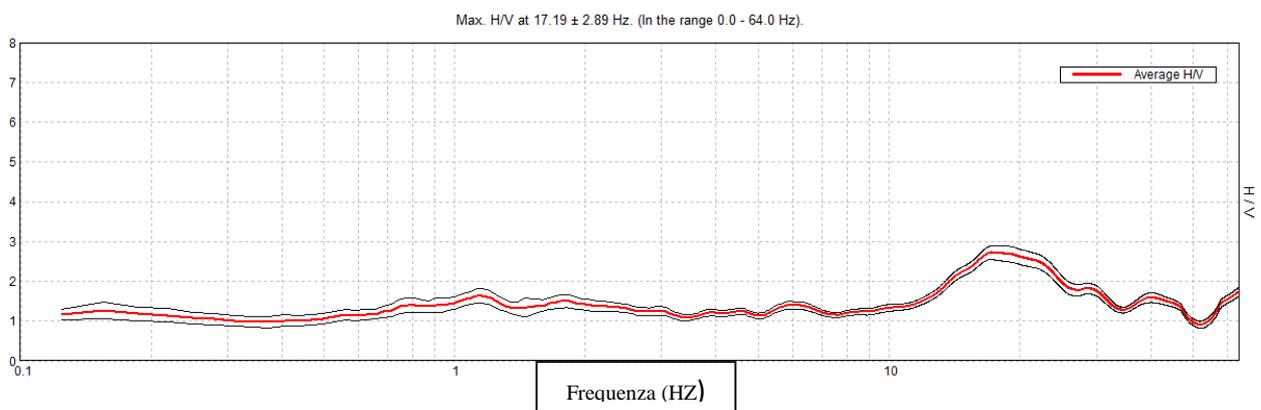


Figura 3.4: rapporto H/V

Una delle misure effettuate (HV) ha subito notevole influenza da rumore antropico. Tutte le tracce escludono la presenza di un netto contrasto di impedenza acustica nel sottosuolo. Non si individuano picchi di risonanza.

In termini di interpretazione del contrasto di impedenza acustica responsabile, eventuali picchi riscontrati, adottando secondo l'ipotesi $\lambda / 4$ una funzione di trasferimento di tipo:

$$F(\omega) = 1/\cos(\omega H/V_s)$$

La frequenza naturale (F_n) di vibrazione dello strato di terreno corrisponde ai massimi della funzione di amplificazione:

$$F_n = \omega_n / 2\pi (V_s/4H)$$

con H profondità del rifrattore e V_s velocità delle onde sismiche di taglio, si può imporre la risonanza del sistema secondo la seguente relazione con T periodo proprio del suolo:

$$T = 2\pi/\omega = 4H/V_s$$

La situazione più pericolosa in termini di fenomeni di amplificazione si verifica quando la frequenza dell'eccitazione armonica (ω) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato (ω_n). Quando si verifica tale condizione ($\omega = \omega_n$) si ha la risonanza dello strato, ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito. E' quindi di fondamentale importanza porre attenzione ai fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei fabbricati.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

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

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{Freq. naturale edificio} = \text{Freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

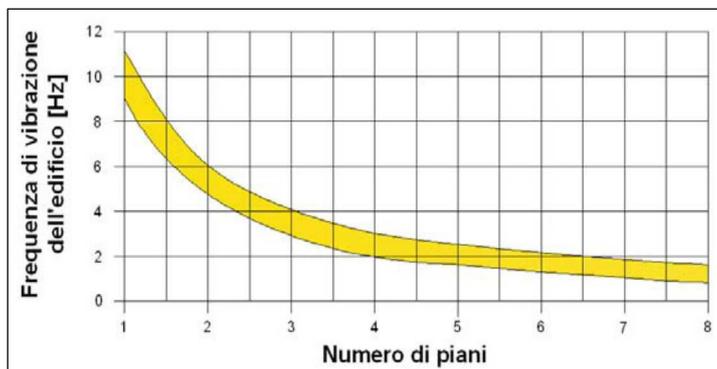


Tabella riassuntiva delle frequenze registrate in un range da 0,0 a 64,0 Hz:

Sito di indagine	Frequenza max H/V
HV	1, 2 Hz 17,19 Hz

Conclusioni HV

Tutte le misurazioni sono state testate per validarne l'efficacia tramite i parametri suggeriti dal Progetto Europeo SESAME:

Max. H/V at 17.19 ± 2.89 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_W$	17.19 > 0.50	OK	
$n_C(f_0) > 200$	26812.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 826 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	10.813 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	32.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.72 > 2	OK	
$f_{\text{DRK}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.16828 < 0.05$		NO
$\sigma_f < z(f_0)$	2.89233 < 0.85938		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1723 < 1.58	OK	

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

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

La prova si è svolta in condizioni di basso rumore antropico (vicinanza ad una strada con moderato traffico- sorgente primaria antropica di disturbo)

Sulla base di queste considerazioni, il sito in esame presenta diversi picco di risonanza riscontrabile a **1, 2 Hz**, 17,19 Hz; i dati appaiono propri di un graduale e progressivo miglioramento delle condizioni meccaniche del sottosuolo sino a rilevanti profondità.

La frequenza propria del terreno si pone a F_0 **1, 2 Hz**.

Cison di Valmarino, 29/10/2015

il Geologo
dott. Simone Bortolini

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA

dott. geol. SIMONE BORTOLINI via San Vito, 9/A Cison di Valmarino (TV)

tel. 338-1977870

e-mail simonebortolini@libero.it

Relazione

Indagine sismica passiva HVSR

finalizzata all'individuazione delle [frequenze](#) caratteristiche di risonanza di sito.

CDM HVSR 33

CROCETTA DEL MONTELLO

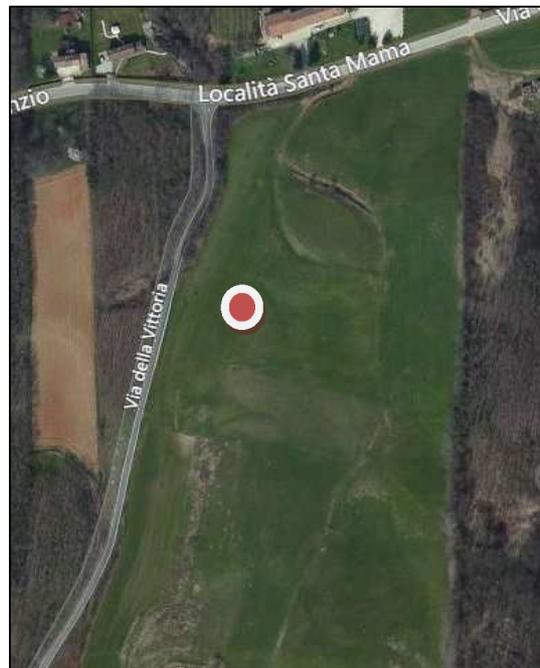
Via Della Vittoria

Coordinate WGS84

Lat. N 45,830376 Long. E 12,100018

Coordinate ED50

Lat. N 45,831275 Long. E 12,101017



il Geologo

dott. Simone Bortolini

TECNICA DI MISURE ED INTERPRETAZIONE HVSR (tramite TROMINO)

Tale prospezioni sismica si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi), dunque, non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

In particolar modo con la tecnica a “Stazione Singola” viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero “Horizontal to Vertical Spectral Ratios) (Nakamura, Y. [1989]). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f) di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media (V_s) delle onde sismiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato. Si possono inoltre effettuare delle considerazioni di tipo “qualitativo” molto utili in merito a possibili interferenze tra le frequenze risonanti del suolo e degli edifici sovrastanti.

Per la valutazione del periodo proprio di risonanza del sottosuolo è stata utilizzata la tecnica a stazione singola Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Kanai, 1957; Igarashi 1970; Nakamura 1989) che permette di estrarre informazioni relative alla frequenza di vibrazione del suolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremori ambientali. La misura di rumore sismico della durata di 26 minuti per ogni punto di misura è stata eseguita con una frequenza di campionamento a 128 Hz.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Hardware

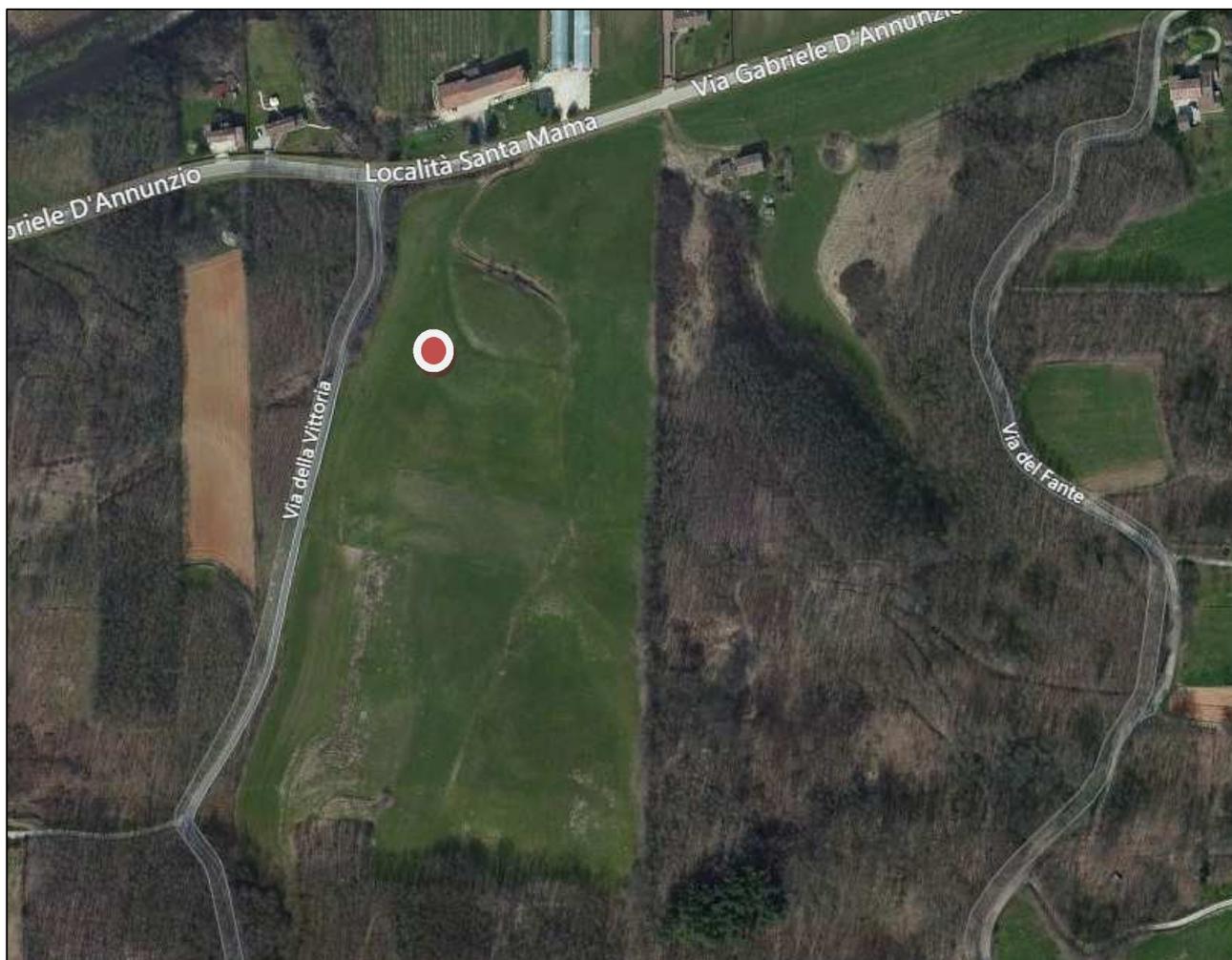
È stato utilizzato un tromografo digitale modello “Tromino” (Micromed srl) avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0.1 a 256 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit) e primo-processing interno. La livellazione micrometrica dello strumento è stata assicurata per ogni misura tramite bolla di precisione agendo sui tre punti di appoggio (punte) ed orientando uno dei 3 sensori di acquisizione (ortogonali tra loro) verso il N magnetico.

Software

Per le analisi dei dati acquisiti è stato adottato l'apposito software Grilla.

Periodo proprio di risonanza del suolo (HV)

La foto aerea mostra l'ubicazione della indagine denominata HV () indicante il punto di acquisizione di rumore sismico ambientale finalizzata alla definizione del periodo proprio del suolo.



Nello studio specifico degli effetti di sito, la frequenza di campionamento utilizzata è di 128 Hz, con tempi di misura dell'ordine di 26 minuti.

Per la misura, oltre allo spettro H/V, è palesata la trasformata delle singole componenti, l'analisi direzionale e temporale del rumore sismico acquisito.

Analisi HV

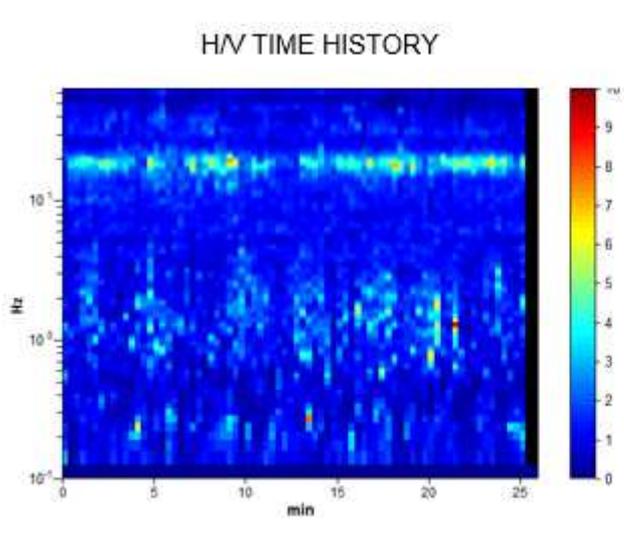


Figura 3.1: analisi temporale del rumore

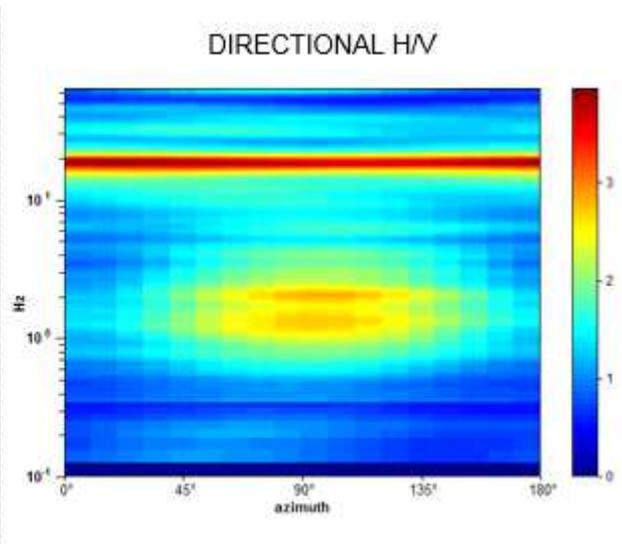


Figura 3.2: analisi direzionale del rumore

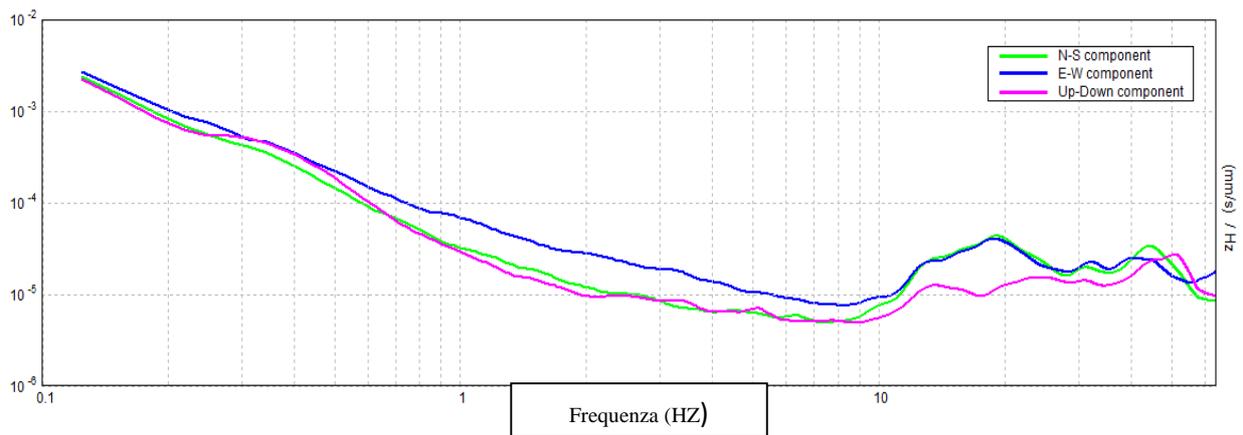


Figura 3.3: spettri delle 3 componenti

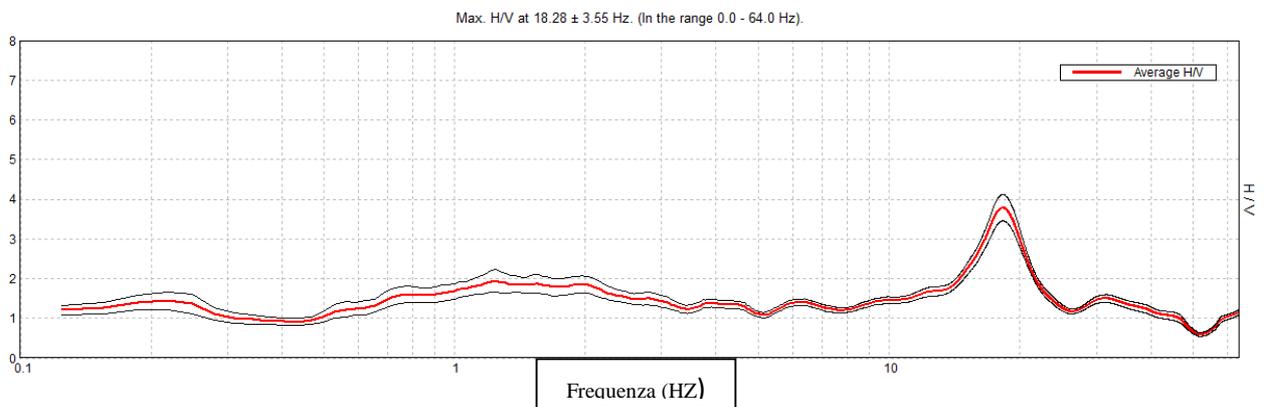


Figura 3.4: rapporto H/V

Una delle misure effettuate (HV) ha subito notevole influenza da rumore antropico. Tutte le tracce escludono la presenza di un netto contrasto di impedenza acustica nel sottosuolo. Non si individuano picchi di risonanza.

In termini di interpretazione del contrasto di impedenza acustica responsabile, eventuali picchi riscontrati, adottando secondo l'ipotesi $\lambda / 4$ una funzione di trasferimento di tipo:

$$F(\omega) = 1/\cos(\omega H/V_s)$$

La frequenza naturale (F_n) di vibrazione dello strato di terreno corrisponde ai massimi della funzione di amplificazione:

$$F_n = \omega_n / 2\pi (V_s/4H)$$

con H profondità del rifrattore e V_s velocità delle onde sismiche di taglio, si può imporre la risonanza del sistema secondo la seguente relazione con T periodo proprio del suolo:

$$T = 2\pi/\omega = 4H/V_s$$

La situazione più pericolosa in termini di fenomeni di amplificazione si verifica quando la frequenza dell'eccitazione armonica (ω) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato (ω_n). Quando si verifica tale condizione ($\omega = \omega_n$) si ha la risonanza dello strato, ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito. E' quindi di fondamentale importanza porre attenzione ai fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei fabbricati.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

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

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{Freq. naturale edificio} = \text{Freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

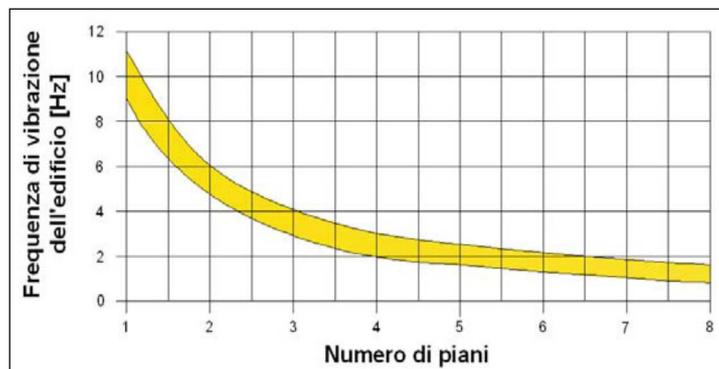


Tabella riassuntiva delle frequenze registrate in un range da 0,0 a 64,0 Hz:

Sito di indagine	Frequenza max H/V
HV	1, 2 Hz 18,28 Hz

Conclusioni HV

Tutte le misurazioni sono state testate per validarne l'efficacia tramite i parametri suggeriti dal Progetto Europeo SESAME:

Max. H/V at 18.28 ± 3.55 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_{w}$	18.28 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	28518.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 878 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	14.25 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	22.031 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.79 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.19439 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$3.55374 < 0.91406$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3326 < 1.58$	OK	

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

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

La prova si è svolta in condizioni di basso rumore antropico (vicinanza ad una strada con moderato traffico- sorgente primaria antropica di disturbo)

Sulla base di queste considerazioni, il sito in esame presenta diversi picco di risonanza riscontrabile a **1,2 Hz** e 18,28 Hz; i dati appaiono propri di un graduale e progressivo miglioramento delle condizioni meccaniche del sottosuolo sino a rilevanti profondità.

La frequenza propria del terreno si pone a F_0 **1,2 Hz**.

Cison di Valmarino, 29/10/2015

il Geologo
dott. Simone Bortolini