

RESTAURO CONSERVATIVO DI PALAZZO CREPADONA

DESTINATO ALLA NUOVA MEDIATECA DELLE DOLOMITI

- PROGETTAZIONE ESECUTIVA DEI LAVORI DI RESTAURO, OPERE EDILI, STRUTTURALI, IMPIANTISTICHE E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

**COMMITTENTE****COMUNE DI BELLUNO**

Piazza Duomo, 1 – 32100 Belluno
C.F.: 00132550252 – P. IVA: 00132550252

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

arch. Carlo Erranti

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI**ARTECO ARCHITECTURE ENGINEERING CONSULTING**

c.so S. Anastasia n.38 - VERONA

ORDINE
degli
ARCHITETTI
PIANIFICATORI
PAESAGGISTI
e
GEOMETRI
VERONA



Antonella Milani
n. 729
sette zone
settore Schillettara
T/O

arch. Antonella Milani

ARTECO
ARCHITECTURE - ENGINEERING - CONSULTING
LUIGI CALCAGNI
MAURIZIO ZERBATO
LUCIANO CENNA
ANTONELLA MILANI

Studio di Ingegneria MAZZORAN TILOCA DE LOTTO

piazza Castello n.4 - BELLUNO



ing. Ludovico De Lotto

MTD
studio di ingegneria
Mazzoran Tiloca De Lotto

ING. PIETRO CANTON

piazza Piloni n.12 - BELLUNO



ing. Pietro Canton

STUDIO BORTOT

via Cal de Formiga n.12b - SANTA GIUSTINA (BL)



per.ind. Beppino Bortot
per.ind. Daniele De Bona

**studio
bortot**
PROGETTAZIONE IMPIANTI TECNOLOGICI

R. STUDIO

via Marmolada n.2/o - ALLEGHE (BL)



ing. Felice Gaiardo

R studio
felice gaiardo ingegnere
francesco riva architetto

ING. CHIARA BARATTIN

via General Cantore n.34 - ALPAGO (BL)



ing. Chiara Barattin

RELAZIONE GEOLOGICA E
INDAGINI SISMICHE

DATA

05.09.2018

AGGIORNAMENTI**ALLEGATO****204**

Comune di Belluno

P.zza Duomo n°1
P. IVA 00132550252

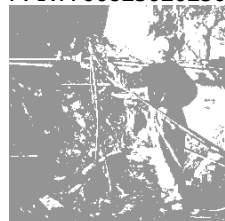
Progetto esecutivo: "*Restauro conservativo di Palazzo Crepadona
destinata alla nuova mediateca delle Dolomiti*"

Relazione geologica

PROGETTO ARCHITETTONICO

STRUTTURE
STUDIO MTD BELLUNO

GEOLOGO:
ENNIO DA ROIT
VIA SAN LORENZO 26
32100 BELLUNO
TEL 0437/941591
r.m. 333 8048156
C.F.DRT NNE 59R30 A757S
P. IVA 00823020250



COLLAUDATORE STRUTTURE

enniodaroit@geoinform.191.it
enniodaroit@epap.sicurezza.postale.it



Belluno, 5 settembre 2018

Sommario

1	INTRODUZIONE.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3	MODELLO GEOLOGICO	4
3.1	Caratteristiche geomorfologiche	4
3.2	Aspetti geolitologici generali	4
3.3	Aspetti idrogeologici.....	5
3.4	Stabilità dell'area	5
3.5	Caratterizzazione sismica del sito	5
4	RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO E SCHEMATIZZAZIONE DEI PARAMETRI FISICO MECCANICI	7
4.1	Indagine geognostica.....	7
4.2	Analisi granulometriche di laboratorio	8
4.3	Prova penetrometrica dinamica SPT e prove di resistenza alla punta ed al taglio con strumenti portatili.....	8
4.4	Terreni di fondazione.....	9
4.5	Caratterizzazione dei terreni secondo il metodo di Bustamante Doix	11

3 MODELLO GEOLOGICO

3.1 Caratteristiche geomorfologiche

Il palazzo della Crepadona si trova all'interno del nucleo antico della città di Belluno.

Tutta l'area appartiene alla morfostruttura fluviale creata per deposizione delle alluvioni antiche in sponda destra del Fiume Piave, la cui quota media si innalza rispetto all'alveo attivo attuale di circa 40 m.

Sulla scorta dei dati in ns possesso (sondaggio eseguito in corrispondenza dell'ex palazzo della Banca d'Italia, sondaggi geognostici eseguiti negli anni settanta al contorno del Palazzo dei Rettori, confinante con La Crepadona) e con i dati del sondaggio specifico eseguito, ove si riscontra la presenza di sedimenti alluvionali caratterizzati dalla sola presenza di elementi di ghiaia calcarea e dolomitica, non è escluso che nell'evoluzione e sviluppo ultimo del terrazzo sul quale sorge Belluno abbia concorso il torrente Ardo, prima del suo abbassamento in quota sino all'alveo attuale.

Il terrazzo, eroso nel quaternario per abbassamento del letto attivo del Piave e dell'affluente Ardo ad est, presenta una forma stretta ed allungata verso sud est con analoga direzione di declivio (*vedi figura 2*) ed è delimitato ad est dalla valle erosiva del T. Ardo e ad ovest dal Piave stesso.

In particolare nel dettaglio topografico, il fabbricato si situa nella parte centrale della morfostruttura deposizionale promontorio, a 140 m dal ciglio della scarpata morfologica rivolta verso la valle del T. Ardo (*vedi figura 1, 2*) uno dei pochi elementi naturali non oblitterati dall'urbanizzazione.

3.2 Aspetti geolitologici generali

Il fabbricato si fonda pertanto sul potente materasso alluvionale antico costituito da ghiaie sabbioso limose. I depositi alluvionali sono costituiti mediamente dalla sovrapposizione di orizzonti ghiaioso sabbiosi e ciottolosi, subordinati livelli o lenti di limo argilloso, con buon grado di addensamento e con frequenti banchi conglomeratici cementati a volte osservabili sui lati delle scarpate morfologiche rivolte verso il Piave e il torrente Ardo.

In riferimento ai dati litologici e stratigrafici dei sondaggi noti, anche se nessuno di essi ha raggiunto il substrato roccioso, ed in base all'analisi dei dati ricavati con l'indagine sismica diretta, si ha motivo di ritenere che lo spessore della coltre dei depositi copertura nel sito di interesse sia non inferiore a 90 - 100 m.

Il substrato roccioso è infatti osservabile in alveo del t. Ardo, a monte del ponte per Borgo Prà e in destra orografica del F. Piave con un'interruzione di affioramenti tra i due punti indicante un possibile paleoalveo del F. Piave.

Il substrato roccioso è costituito dall'alternanza di litotipi calcareo marnosi, calcarenitici, argillitici e marnosi appartenenti alla Formazione litostratigrafica del "Flysch di Belluno".

3.3 Aspetti idrogeologici

Non vi sono dati certi sull'assetto idrogeologico sotterraneo ad ogni modo il minimo livello di falda è ben al di sotto del piano di posa delle fondazioni. La natura granulometrica grossolana delle alluvioni e la forma morfologica di alto strutturale non consentono la presenza e la permanenza di un'eventuale tavola d'acqua.

Con la perforazione di foro di sondaggio non è stata intercettata alcuna falda idrica quanto meno sino alla profondità raggiunta dal foro geognostico ossia 25 m da p.c.

3.4 Stabilità dell'area

L'area per quanto affermato nei precedenti paragrafi non presenta allo stato attuale motivi per essere definita instabile.

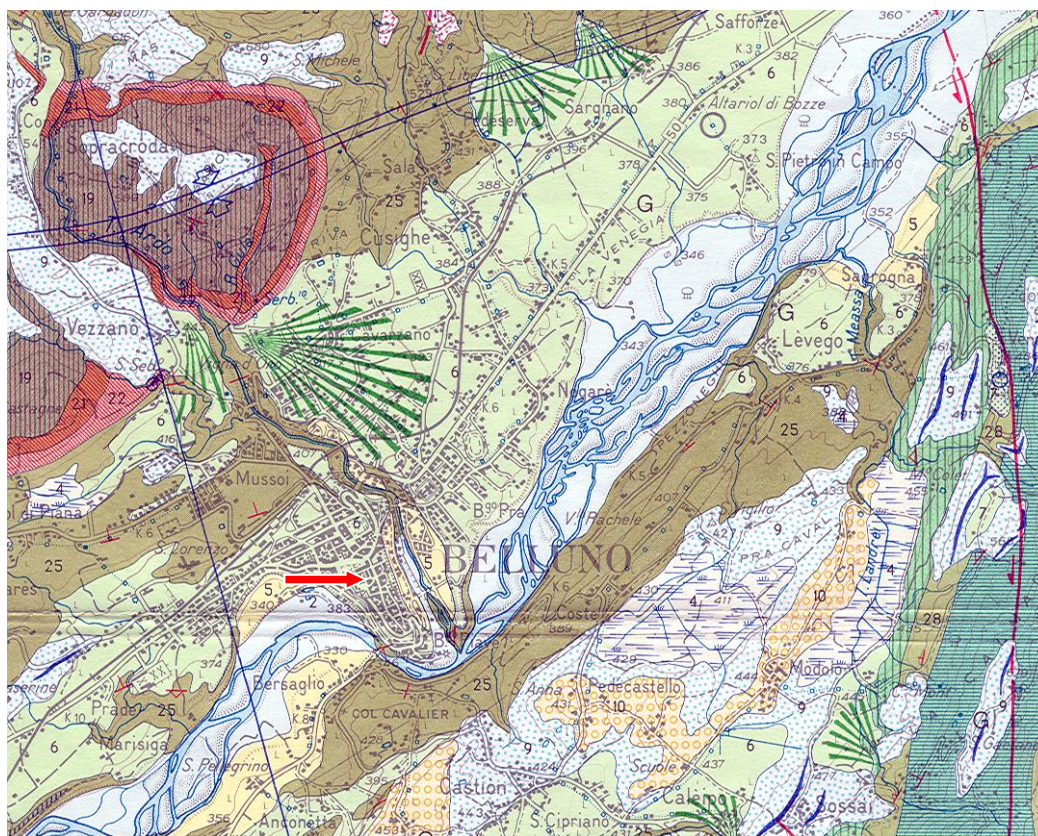
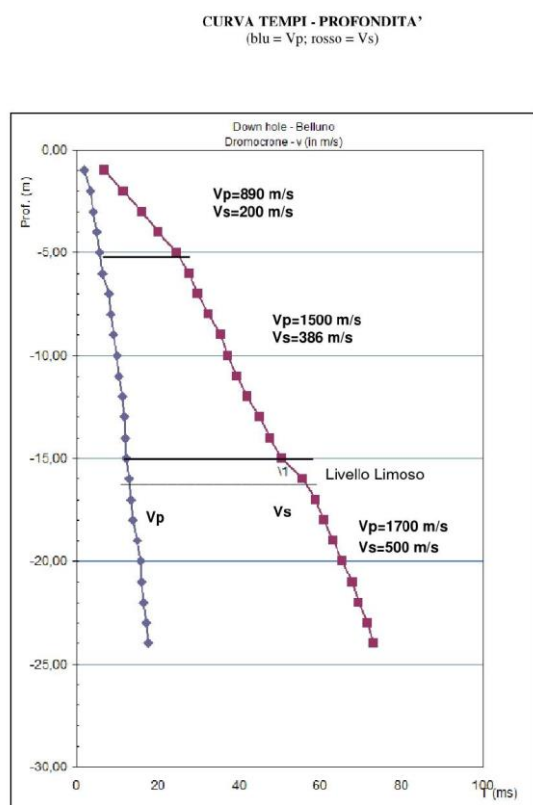


Figura 2 Estratto dalla Carta Geologica d'Italia, alla scala 1: 50.000, Fg. Belluno.

3.5 Caratterizzazione sismica del sito

Sulla base della O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 e secondo quanto previsto dalla D.G.R.V. n.67 del 3 dicembre 2003 – “Nuova classificazione sismica del territorio regionale: direttive”, il territorio comunale di Belluno è inserito in **Zona sismica 2**.

Per la valenza economica e civile del fabbricato la Crepadona, e per motivi litostratigrafici e strutturali del sottosuolo, con possibile presenza di un paleo alveo del F. Piave sotto il centro cittadino, con conseguenti effetti cosiddetti di sito in occasione di terremoto, la caratterizzazione sismica è stata ricavata, ai sensi del Decreto 17.01.2018, *Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni* dal Geologo F. Marinoni, mediante un studio di Risposta Simica Locale. Con l'individuazione delle velocità delle onde di taglio ottenute con tecnica down hole all'interno del foro di sondaggio geognostico (misure eseguite dal geologo Farinatti Enrico), con la determinazione delle frequenze proprie di vibrazione del terreno con tecnica HSRV per mezzo di un tomografo portatile e mediante l'interpretazione dei dati litostratigrafici e sismici disponibili nella letteratura geologica locale sono stati ricavati, con appositi *software*, gli accelerogrammi di output ed i corrispettivi spettri di risposta, in riferimento ai tre stati limite considerati Stato Limite di Operatività (SLO) Stato limite di Danno (SLD) e Stato Limite di Salvaguardia della vita (SLV) i rispettivi (vedi relazione tecnica simica).



Descrizione	Spessore [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Ghiaia e sabbia sciolta	5,0	1800	200	0,35	EPRI (93), 0-20 ft
Ghiaia e sabbia poco addensata	10,0	1800	380	0,35	EPRI (93), 20-50 ft
Ghiaia e sabbia addensata	20,0	1800	450	0,35	EPRI (93), 50-120 ft
Ghiaia compatta (conglomerato ?)	70,0	1850	600	0,35	EPRI (93), 120-250 ft

Figura 3. Prospetto delle velocità di taglio.

Figura 4. Diagramma delle velocità delle onde primarie (Vp) e secondarie (Vs) ricavate con tecnica *down hole*

In sintesi si ha che le accelerazioni orizzontali attese in superficie mostrano dei picchi elevati con valori nettamente superiori, a determinate frequenze, in tutti e tre gli stati limiti, a quelli corrispondenti agli spettri semplificati riferiti ad un suolo di categoria C come suggeriti nelle normativa ministeriale ed ottenibili con l'approccio semplificato in base alla sommatoria delle varie velocità delle onde di taglio dei primi trenta metri di sottosuolo per i vari sismostrati individuati (vedi figure 3, 4 e 5).

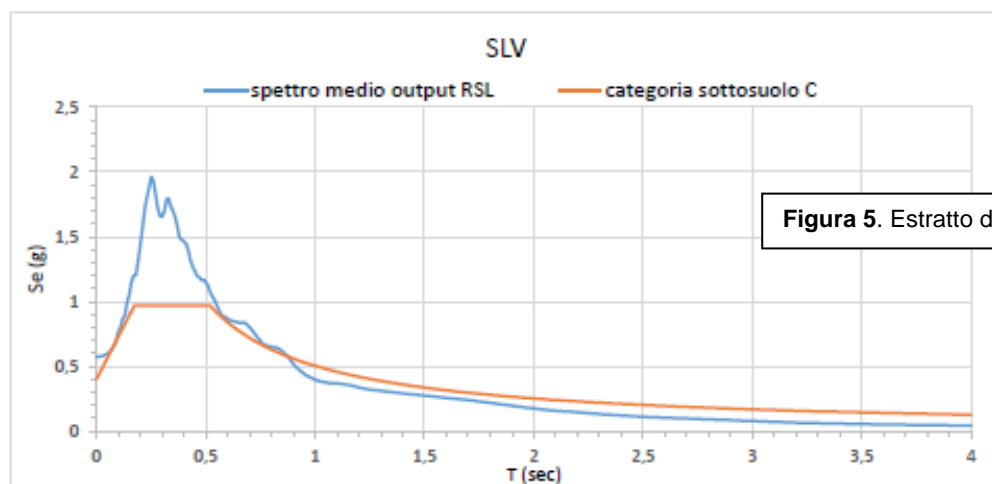


Figura 5. Estratto da relazione tecnica, spettro SLV

Per esempio dall'analisi dello spettro relativo allo SLV evidenzia che in corrispondenza dei periodi $T = 0,25-0,33$ s l'accelerazione orizzontale $Se(g)$ raggiunge valori prossimi a $2 g \approx (20 \text{ m/s}^2)$.

Le misure di rumore sismico ambientale con tecnica a stazione singola HVSR eseguite nella zona circostante Palazzo Crepadona, hanno consentito di stabilire che i picchi di risonanza si trovano a frequenze di 1,5, 2,5, 5 e 7 Hz e con amplificazioni (H/V) comprese tra 2 e 3.

La categoria topografica è T 1 (pendii con inclinazione media $i < 15^\circ$) poiché la morfologia generale è piuttosto lineare e continua, senza rilevanti cambi di pendenza e il ciglio di scarpata fluviale verso la valle del torrente Ardo dista circa 140 m.

4 RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO E SCHEMATIZZAZIONE DEI PARAMETRI FISICO MECCANICI

4.1 Indagine geognostica

All'esterno del palazzo della Crepadona, in Via Crepadoni, davanti al portone centrale, nel periodo tra il 7 e il 9 agosto 2018, è stato eseguito dalla ditta specializzata Son.Geo di Erto e Casso (PN) un sondaggio geognostico a carotaggio utilizzando una perforatrice idraulica modello Beretta T43 montata su cingoli, avente coppia massima in testa pari a 620 Kgxm.

Per il campionamento del terreno è stato utilizzato un carotiere semplice con diametro esterno pari a 101 mm e per il sostegno del foro sono stati utilizzati tubi rivestimento in acciaio recuperati al termine della perforazione con diametro esterno pari a 127 mm.

All'interno del foro di sondaggio è stato posizionato un tubo in P.V.C. di diametro utile interno pari a 3" necessario per l'esecuzione dell'indagine sismica diretta "down hole".

Le modalità esecutive della perforazione meccanica, delle prove nei fori di sondaggio e la definizione litologica dei campioni di carota estratti sono state eseguite nel rispetto della normativa AGI

“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche” e procedura di riferimento ISSMFE. La descrizione litologica del foro di sondaggio e la relativa documentazione fotografica sono contenute in appendice A

4.2 Analisi granulometriche di laboratorio

All'interno delle cassette catalogatrici sono stati prelevati n° 3 campioni di terreno rimaneggiato, dei quali due alle quote di m 3,5 e 4,5 di esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche SPT ed il terzo a m 13,50 m di profondità rappresentativo della litologia media più profonda. Le analisi di laboratorio sono state eseguite dal laboratorio certificato GeoFormula S.r.l. che ha ricavato i fusi granulometrici ed i limiti di Atterberg per la classificazione H.R.B. AASTHO M145 (H.R.B.: Highway research Board). I diagrammi e le risultanze analitiche sono contenuti in Appendice B.

4.3 Prova penetrometrica dinamica SPT e prove di resistenza alla punta ed al taglio con strumenti portatili

Nella coltre dei depositi di copertura, all'interno del foro di sondaggio, sono state effettuate delle prove penetrometriche dinamiche SPT (Standard Penetration Test).

La prova è compresa negli standard ASTM, American Society for Testing and Materials) ed è universalmente riconosciuta è utilizzata per la verifica della resistenza del terreno alla penetrazione di una punta. In questo cantiere, in presenza continua di elementi ghiaiosi è stata utilizzata al posto del campionatore Raymond una punta conica, detta “puntazza” (la metodologia ISSMFE non consente l'utilizzo della punta conica).

Infine i valori normalizzati $(N_1)_{60}$ dei colpi N_{spt} hanno consentito di ricavare per correlazioni varie diversi parametri geotecnici caratterizzanti i terreni indagati.

Le prove eseguite, secondo la procedura di riferimento ISSMFE, permettono di ottenere i parametri geotecnici sulla base della risposta del terreno alla penetrazione per infissione di una punta per 15 cm (1 piede), per mezzo della battuta di un maglio del peso di circa 63 kg, lasciato cadere da un'altezza di 75 cm. Le prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite con “puntazza” (punta chiusa) hanno verificato il grado di addensamento del terreno, caratteristica che è correlabile all'angolo d'attrito interno del materiale.

Sui campioni di carota costituiti dalle frazioni fini limo argillose appena estratti dal foro e privi di granuli di ghiaia sono state svolte delle prove geotecniche con strumenti portatili utili per ricavare delle proprietà indici del terreno, la resistenza alla compressione semplice UCS.

I risultati sono contenuti nel prospetto sottostante.

h da p.c. [m]	UCS [Kg/cm ²] Punta d= 6,4 mm	UCS [Kgf] Punta d= 10 mm
4,20 4,72	0,9-1,2	2,4-2,7
Prospetto 1. Prove UCS		

Dal valore di resistenza della punta da 10 mm compresi tra 2,4 e 2,7 kg si ricava la coesione non drenata $C = 0,4 \text{ Kg/cm}^2$

Sondaggio	Profondità da p.c. inizio prova SPT [m]	Campioni rimaneggiati	Litologia {%} Classificazione AGI classificazione H.R.B. AASTHO M145	N° colpi	Nspt	(N1)60	Angolo di resistenza al taglio efficace di picco φ' [°]	Modulo di deformazione E_0 [MPa]	Velocità onde di taglio V_s [m/s]
1	3,5	x	Ghiaia (51,9) con sabbia (29,4) limosa 18,7 A1b	6,12,21	33	23	33	43	217
1	5	x	Ghiaia (63,6) con sabbia (23,9) limosa (12,5) A2-4	15,25,22	47	28	42	54	246
1	6,5	-	Ghiaia con sabbia limosa	18,21,27	48	25	42	55	260
1	9,5	-	Ghiaia con sabbia e limo	23,26,30	56	24	42	60	287
1	13,5	x	Ghiaia (63,5) con sabbia (18,1) e limo (18,3) A2-4	-----	--	--	--	-----	-----
Prospetto 2. i numeri della colonna della litologia indicano la percentuale in peso della singola frazione granulometrica nella frazione limo è contenuta anche la frazione argillosa.									

Campione	C1	C2	C3
Profondità da testa foro	3,5	4,5	13,5
Limo e argilla [%]	18,7	12,5	18,3
Sabbia [%]	29,4	23,9	12,3
Ghiaia [%]	51,9	63,6	41,3
Limiti di Atterberg			
Limite di liquidità	22	22	23
Limite di plasticità	16	15	15
Indice di plasticità	6	7	8
Classificazione H.R.B. AASTHO M145	A1 b	A2-4	A2-4

Prospetto 3. Valori dei limiti di Atterberg.

4.4 Terreni di fondazione

La sequenza litologica riscontrata è alquanto monotona, poiché sotto un primo strato di arido di riporto e limi scuri neri con probabile presenza di sostanze organiche, si intercettano **ghiaie con sabbie o sabbiose limose**, con orizzonti di spessore inferiore a 0,50 m di limi sabbiosi.

I parametri φ (angolo di resistenza al taglio efficace di picco), E_0 (modulo di deformazione) V_s (velocità delle onde di taglio) riportati nel prospetto 2 sono stati ricavati indirettamente dall'elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT e pertanto hanno un significato indicativo.

In base alla classificazione H.R.B. AASTHO M145 delle terre i campioni analizzati sono classificati **A 1b** e **A 2-4** con giudizio per impiego come sottofondo "da eccellente a buono" essendo ghiaie limoso sabbiose con preponderante frazione ghiaiosa (63-41 %) e subordinate frazioni limo (12-18 %)

sabbiose (12-30 %).

Per quanto riguarda i limiti di Atterberg si osserva che l'indice di plasticità I_p è relativamente basso indicando un contenuto un basso contenuto della frazione argillosa e quindi limitata compressibilità del deposito.

Nella carta delle plasticità del diagramma di Casagrande i terreni analizzati sono definiti ML, limi inorganici a bassa plasticità.

Allo strato superficiale limoso di colore nero, intercettato nel sondaggio tra 1 e 2 m di profondità da p.c. sono attribuibili i seguenti parametri

natura terreno	Peso di volume [KN/m ³]	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata Cu [KPa]	Permeabilità primaria
Limo argilloso – limo sabbioso	18-19	28-30	40	Bassa -nulla

Ai terreni indagati sono attribuibili i parametri geotecnici contenuti al prospetto 2.

I valori parametrici sopra riportati sono desunti, per analogia con terreni simili, dalla letteratura specialistica in materia geotecnica consultata (Joseph E. Bowles, *“Fondazioni”*, *“Progetto ed analisi”*, Mc Graw-Hill; Pietro Colombo e Francesco Colleselli *“Elementi di geotecnica”*, Zanichelli), e dall'esperienza maturata in terreni analoghi.

L'assetto litologico riscontrato è confrontabile con quello ricavato con altre indagini dirette eseguite nel 1970 sui tre lati liberi del Palazzo dei Rettori, ora palazzo della prefettura.

Copia della relazione geologica contenente la descrizione litologica dei fori di sondaggio è stata gentilmente concessa dall'Amministrazione Provinciale di Belluno per l'uso specifico. La relazione è a firma del geologo Gianangelo Cargnel e del titolare della ditta specializzata che a suo tempo aveva eseguito le perforazioni geom. Romolo Bardin della ditta Bardin S.p.A.

Allora erano stati eseguiti 11 fori di sondaggio dei quali solo il n° 11 ad andamento verticale, ubicato in via Catullo Tommaso, tra la torre dell'orologio e la torre civica. Risulta, pertanto, il foro più vicino al palazzo della Crepadona e quindi utilizzabile per analogia di genesi dei terreni di fondazione.

In dettaglio il foro n°11 aveva raggiunto la profondità di 20,60 m con la seguente sequenza litologica riportata in relazione:

- da 0,00 a 1,50 m: riporto ossidato;
- da 1,50 a 2,50 m: ciottoli a spigoli vivi, cementati (magrone);
- da 2,50 a 3,70 m: alluvione sabbiosa (depositi alluvionali);

da 3,70 a 5,00 limi argillosi con ciottoli;

da 5,00 a 20,60 alluvione poligenica in sabbie grossolane.

4.5 Caratterizzazione dei terreni secondo il metodo di Bustamante Doix

I terreni di fondazione per opere di sottofondazione o di ancoraggio possono essere caratterizzati sulla base del metodo di Bustamante-Diox, 1985.

In riferimento alle tipologie di sottosuolo riscontrate si riportano nel prospetto sottostante i principali parametri geotecnici caratteristici, necessari al dimensionamento delle opere di fondazione con:

- k : coefficiente di permeabilità;
- T_{amm} : resistenza tangenziale ammissibile all'interfaccia malta-terreno, nel caso di iniezione globale unica (I.G.U.);
- α : coefficiente maggiorativo del diametro di perforazione adottato, nel caso di iniezione globale unica (I.G.U.). in tal modo è possibile ottenere il diametro di perforazione con la formula $D_s = \alpha D$ ove D è il diametro della perforazione.

Tipo di terreno		k (m/s)	T_{amm} (MPa)	Coefficiente α	Quantità minima di miscela consigliata
Depositi di copertura	Limi sabbioso argilloso	$10^{-5} \div 10^{-3}$	$0,05 \div 0,10$	1.1-1.2	$1,5 V_s$
Depositi di copertura	Ghiaie e sabbie	10^{-4}	$0,10 \div 0,25$	1.1-1,4	$1,5 V_s$
Prospetto 2 – Parametri ricavati dai grafici di Bustamante Doix.					

La quantità minima di miscela cementizia consigliata è quantificabile, in rapporto alla natura litologica del terreno in $1,5 V_s$ per i limi argillosi, sabbiosi e per le ghiaie dove $V_s = L_s x d_s^2 / 4$ e $d_s = \alpha x d$ con L_s lunghezza del tratto iniettato.

Belluno, 5 settembre 2018

Ennio Da Roit
OGRV 318

- Descrizione litologica dei fori di sondaggio
- Documentazione fotografica delle casse campioni



Ubicazione del foro di sondaggio S 1 in Via Crepadoni



Foto n° 02. Sondaggio n° 1. Cassa n° 1 da 0,00 a 5,00 m.

s.p.t.+ C.R.: prova penetrometrica dinamica + campione rimaneggiato



Foto n° 03. Sondaggio n° 1. Cassa n° 2 da 05,00 a 10,00 m.



Foto n° 04. Sondaggio n° 1. Cassa n° 3 da 10,00 a 15,00 m.



Foto n° 05. Sondaggio n° 1. Cassa n° 4 da 15,00 a 20,00 m.



Foto n° 06. Sondaggio n° 1 Cassa n° 05 da 20,00 a 25,00 m.

Legenda campionamenti:						
Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Campioni	DESCRIZIONE	S.P.T.	
0,15	0,15			Manto conglomeratico bituminoso		
0,75	0,90			Riporto arido, ghiaia eterometrica con sabbia.		
0,40	1,30			Ghiaia con sabbia e limo o limosa. La matrice fine limo argillosa è di colore nero.		
0,50	1,80			Limo sabbioso argilloso poco consistente di colore nero scuro		
0,20	2,00			Limo sabbioso, argilloso e ghiaioso di colore marrone chiaro nocciola.		
0,40	2,40			Ghiaia ciottolosa limosa		
1,00	3,40		3,50	Sabbia con ghiaia e limo.	3,5	
0,80	4,20			Ghiaia medio fine sabbioso limosa addensata (Nspt= 33) passante a sabbia con ghiaia. Elementi con forma da subarrotondata a spigolosa.	6,12,21	
0,50	4,70		4,50	Limo argilloso consistente marrone (UCS = 0,9-12 daN/cm ²) a plastico con orizzonti di 3 4 cm di ghiaia medio fine con limo argilloso.		
0,20	4,90			Ghiaia con ciottoli e sabbia	5,0	
1,65	6,55			Ghiaia spigolosa con sabbia addensata limosa (Nspt= 47-48) e limo di colore grigio, verde chiaro.	15,25,22	
1,45	8,00			Limo con ghiaia e sabbia.	6,5	
0,40	8,40			Ghiaia con sabbia debolmente limosa	18,21,27	
0,40	8,80			Sabbia e limo con ghiaia o ghiaiosa		
1,60	10,40			Ghiaia subarrotondata con sabbia e limo o limosa di colore marrone chiaro e nocciola. Elementi calcarei e saltuariamente arenacei.	9,5	
3,50	13,90		13,50	Ghiaia con elementi subarrotondati e ghiaie con limo di colore marrone chiaro nocciola.	23,26,30	
0,40	14,30			Limo sabbioso ghiaioso con orizzonti di spessore attorno a 5 cm di solo limo.		
1,00	15,30			Ghiaia con sabbia debolmente limosa		
1,70	17,00			Ghiaia con sabbia e limo		
5,50				Ghiaia con sabbia e limosa passante a ghiaia con sabbia e limo.		

Compilatore stratigrafie
Ennio Da Roit

Committente: Comune di Belluno

Località: Via Crepadoni Belluno
Data inizio/fine: 07/08-09/08/2018
Attrezzatura: Perf. idraulica Beretta
Lunghezza perforazione (m): 25,0

Quota del p.c. s.l.m.(m): 385
Scala 1:100
Sigla: S 1

Legenda campionamenti: <div><div></div>=rimaneggiato<div></div>=S.P.T.<div></div>=da vane test<div></div>=a percussione<div></div>=indisturbato a pressione<div></div>=indisturbato rotativo</div>					
Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Campioni	DESCRIZIONE	S.P.T.
	21 5,50			Ghiaia con sabbia e limosa passante a ghiaia con sabbia e limo.	
	22 22,50 0,40 22,90			Limo sabbioso consistente di colore marrone chiaro nocciola.	
	23 2,10			Ghiaia con sabbia e limo	
	24 25,00			Foro strumentato con tubo PVC diametro utile 3" per prove sismiche down hole	
	25				

- Analisi granulometriche di laboratorio



GeoFormula S.r.l.

C.F. e P.IVA 01056560251

Tel/Fax +39.0437.969202

www.geoformula.it - info@geoformula.it

Via Meassa, 277 - 32100 Belluno (BL)

Sistema qualità certificato da Certification Europe

Client registration N°2011/1286 - Certificate reference N°A/4

Art.59 - DPR 380/2001 - Circolare 7618/2010

Aut. Min. esecuzione e certificazione prove geotecniche su terre N° 7207

P.MOD.300 - rev.00 - gennaio 2011

Certificato n.

1013-01/18

Data

27.08.2018

Oggetto

Restauro conservativo di Palazzo Crepadona destinato alla nuova mediateca delle Dolomiti.

Richiedente

dott. geol. Da Roit Ennio

Via San Lorenzo, 26 - 32100 Belluno - (BL)

Impresa

-

esecutrice

-

ANALISI GRANULOMETRICA DI UNA TERRA MEDIANTE CRIVELLI E SETACCI (CNR BU N. 23)

**Campione
in prova**

1) Sondaggio S1 - Campione C1 (da 3,50 a 4,00 m)

Data della consegna 09.08.2018

20.08.2018

Fine prova: 21.08.2018

Massa totale [g] = 1019

Setacci e crivelli [mm]	0,075	0,180	0,425	2	5	10	15	25	30	
Massa trattenuta [g]	48	88	164	110	173	132	96	17	0	
Percentuale trattenuta [%]	4,7	8,6	16,1	10,8	17,0	13,0	9,4	1,7	0,0	
Percentuale passante [%]	18,7	23,5	32,1	48,2	59,0	76,0	88,9	98,3	100	

Note

Sperimentatore

dott. Maria Moya

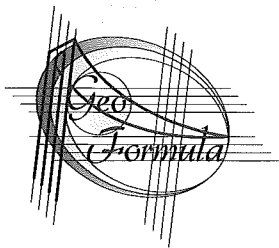
Il Responsabile del Laboratorio

dott. Alberto Forcolin

Direttore del Laboratorio

dott. geol. Simone Mercanzin

Pag. 1 di 2



GeoFormula S.r.l.

C.F. e P.IVA 01056560251

Tel/Fax +39.0437.969202

www.geoformula.it - info@geoformula.it

Via Meassa, 277 - 32100 Belluno (BL)

Sistema qualità certificato da Certification Europe

Client registration N°2011/1286 – Certificate reference N°A/4

Art.59 - DPR 380/2001 - Circolare 7618/2010

Aut. Min. esecuzione e certificazione prove geotecniche su terre N° 7207

P.MOD.300 - rev.00 - gennaio 2011

Certificato n.

1013-01/18

Data

27.08.2018

ANALISI GRANULOMETRICA DI UNA TERRA MEDIANTE CRIVELLI E SETACCI (CNR BU N. 23)

Rappresentazione grafica

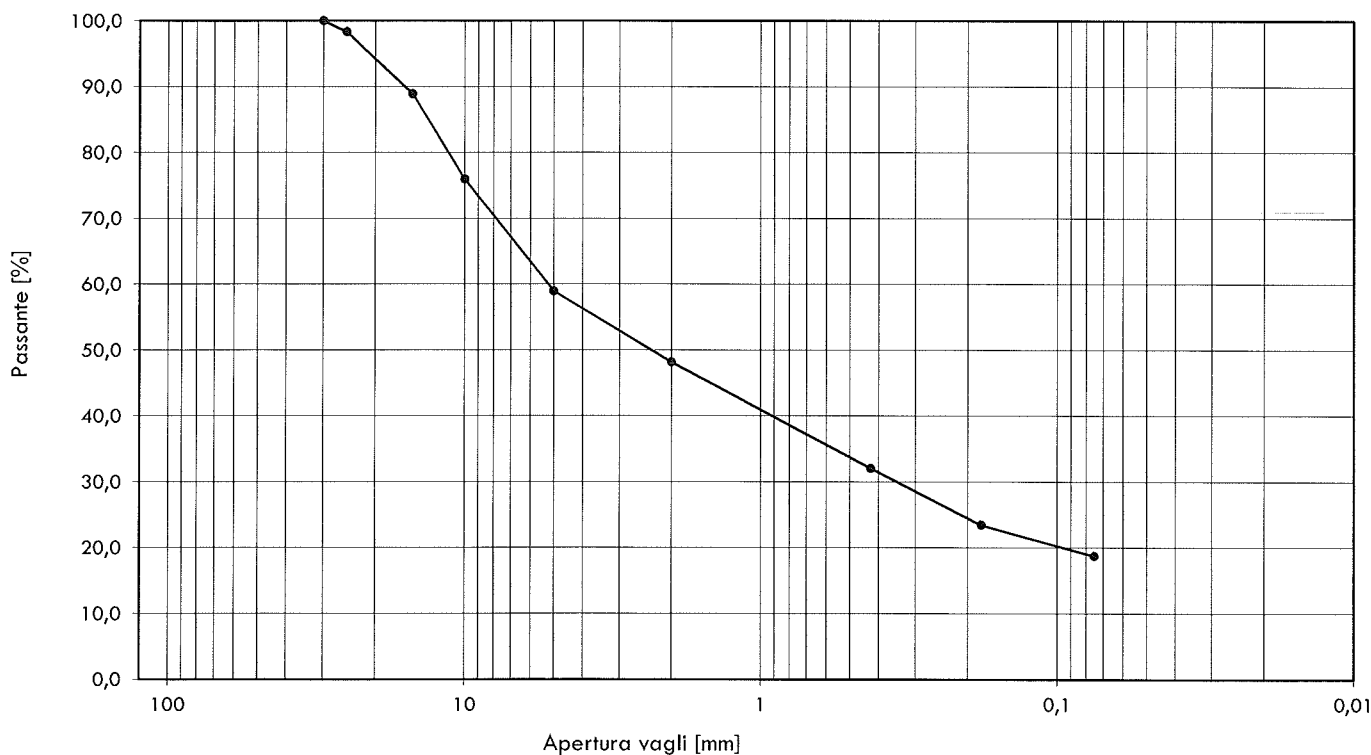
Campione
in prova

1) Sondaggio S1 - Campione C1 (da 3,50 a 4,00 m)

Data della consegna 09.08.2018

20.08.2018

Fine prova: 21.08.2018



Note

I risultati di prova del presente documento si riferiscono esclusivamente ai campioni sottoposti a prova.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente documento senza autorizzazione di GeoFormula S.r.l.

Sperimentatore

dott. Maria Motta

Responsabile del Laboratorio

dott. Alberto Forcolin

Direttore del Laboratorio

dott. geol. Simone Mercanzin

**GeoFormula S.r.l.**

C.F. e P.IVA 01056560251

Tel/Fax +39.0437.969202

www.geoformula.it - info@geoformula.it

Via Meassa, 277 - 32100 Belluno (BL)

Sistema qualità certificato da Certification Europe

Client registration N°2011/1286 - Certificate reference N°A/4

Art.59 - DPR 380/2001 - Circolare 7618/2010

Aut. Min. esecuzione e certificazione prove geotecniche su terre N° 7207

P.MOD.301 - rev.00 - gennaio 2011

Certificato n.

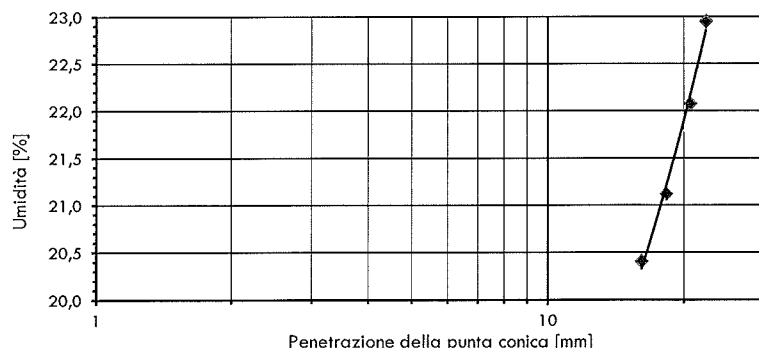
1013-02/18

Data

27.08.2018

Oggetto Restauro conservativo di Palazzo Crepadona destinato alla nuova mediateca delle Dolomiti.**Richiedente** dott. geol. Da Roit Ennio
Via San Lorenzo, 26 - 32100 Belluno - (BL)**Impresa
esecutrice** -**DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI ATTERBERG (UNI CEN ISO/TS 17892-12)****Campione
in prova** 1) Sondaggio S1 - Campione C1 (da 3,50 a 4,00 m)**Data della consegna** 09.08.2018**Inizio prova:** 21.08.2018**Fine prova:** 21.08.2018

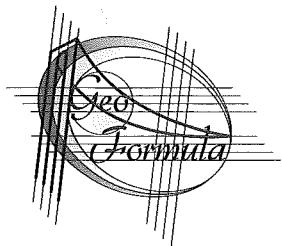
LIMITE LIQUIDO (punta conica 80g/30°)				
Verifica n.	1	2	3	4
Tara [g]	2,21	2,28	2,20	2,36
Peso umido lordo [g]	7,52	8,76	10,88	9,11
Peso secco lordo [g]	6,62	7,63	9,31	7,85
Umidità [%]	20,4	21,1	22,1	23,0
Penetrazione punta conica [mm]	16,1	18,3	20,7	22,4



LIMITE PLASTICO		
Verifica n.	1	2
Tara [g]	2,25	2,45
Peso umido lordo [g]	4,28	4,39
Peso secco lordo [g]	4,01	4,12
Umidità [%]	15,3	16,2

Limite liquido (W_L) = 22Limite plastico (W_P) = 16Indice di plasticità (I_P) = 6**CLASSIFICAZIONE SECONDO
H.R.B. AASTHO M 145
A1-b****Note** I risultati di prova del presente documento si riferiscono esclusivamente ai campioni sottoposti a prova.
E' vietata la riproduzione anche parziale del presente documento senza autorizzazione di Geoformula S.r.l.Sperimentatore
dott. Maria MottaResponsabile del Laboratorio
dott. Alberto ForcolinDirettore del Laboratorio
dott. geol. Simone Mercanzin

Pag. 1 di 1



GeoFormula S.r.l.

C.F. e P.IVA 01056560251

Tel/Fax +39.0437.969202

www.geoformula.it - info@geoformula.it

Via Meassa, 277 - 32100 Belluno (BL)

Sistema qualità certificato da Certification Europe

Client registration N°2011/1286 - Certificate reference N°A/4

Art.59 - DPR 380/2001 - Circolare 7618/2010

Aut. Min. esecuzione e certificazione prove geotecniche su terre N° 7207

P.MOD.300 - rev.00 - gennaio 2011

Certificato n.

1014-01/18

Data

27.08.2018

Oggetto Restauro conservativo di Palazzo Crepadona destinato alla nuova mediateca delle Dolomiti.

Richiedente dott. geol. Da Roit Ennio
Via San Lorenzo, 26 - 32100 Belluno - (BL)

**Impresa
esecutrice** -

ANALISI GRANULOMETRICA DI UNA TERRA MEDIANTE CRIVELLI E SETACCI (CNR BU N. 23)

**Campione
in prova** 1) Sondaggio S1 - Campione C2 (da 5,00 a 5,50 m)

Data della consegna 09.08.2018

21.08.2018

Fine prova: 22.08.2018

Massa totale [g] = 1082

Setacci e crivelli [mm]	0,075	0,180	0,425	2	5	10	15	25	30	40	
Massa trattenuta [g]	39	60	160	116	157	85	151	74	105	0	
Percentuale trattenuta [%]	3,6	5,5	14,8	10,7	14,5	7,9	14,0	6,8	9,7	0,0	
Percentuale passante [%]	12,5	16,1	21,6	36,4	47,1	61,6	69,5	83,5	90,3	100	

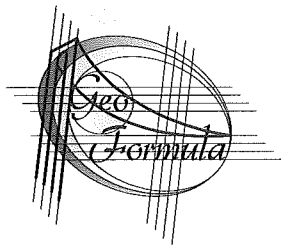
Note

Sperimentatore
dott. Maria Moro

Il Responsabile del Laboratorio
dott. Alberto Forcolin

Direttore del Laboratorio
dott. geol. Simone Mercanzin

Pag. 1 di 2



Certificato n.

1014-01/18

Data

27.08.2018

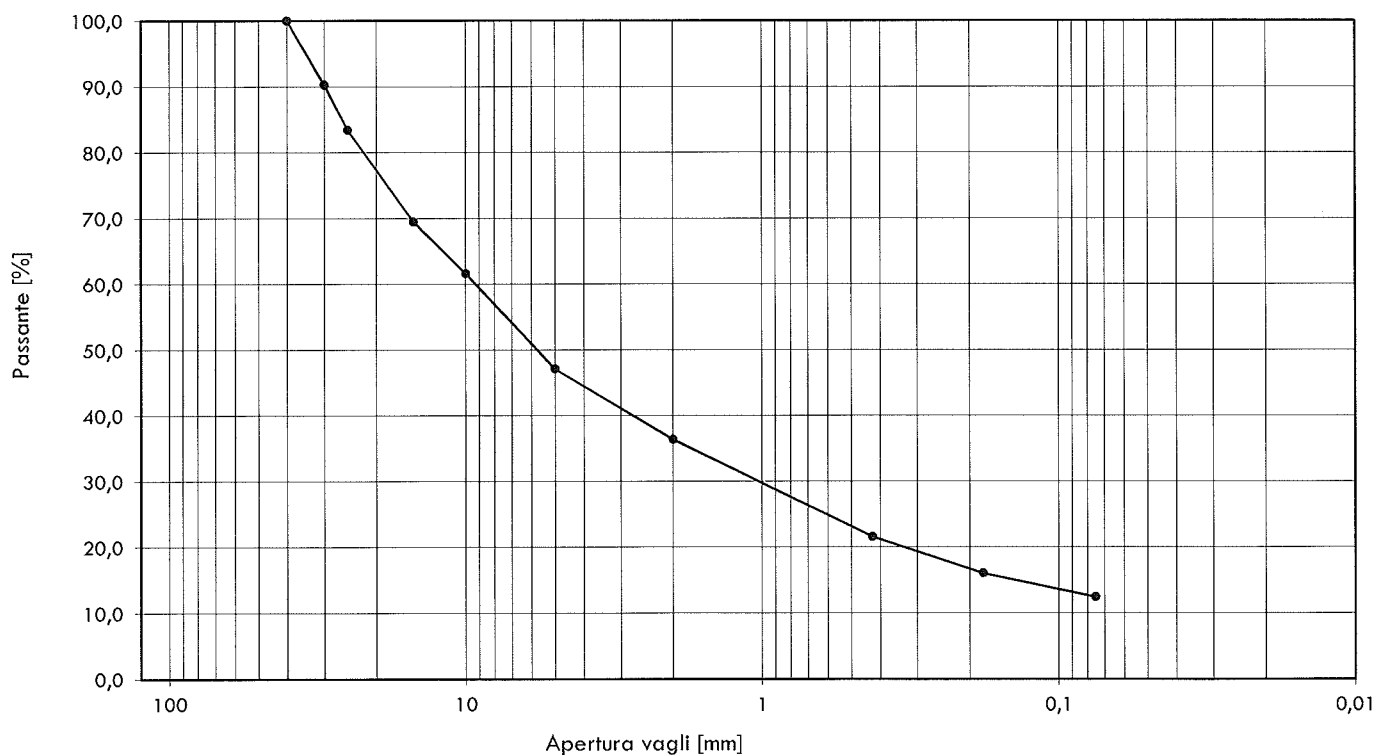
ANALISI GRANULOMETRICA DI UNA TERRA MEDIANTE CRIVELLI E SETACCI (CNR BU N. 23)**Rappresentazione grafica**Campione
in prova

1) Sondaggio S1 - Campione C2 (da 5,00 a 5,50 m)

Data della consegna 09.08.2018

21.08.2018

Fine prova: 22.08.2018

**Note**

I risultati di prova del presente documento si riferiscono esclusivamente ai campioni sottoposti a prova.
E' vietata la riproduzione anche parziale del presente documento senza autorizzazione di Geoformula S.r.l.

Sperimentatore

dott. Matteo Mori

Responsabile del Laboratorio

dott. Alberto Forcolin

Direttore del Laboratorio

dott. geol. Simone Mercanzin

**GeoFormula S.r.l.**

C.F. e P.IVA 01056560251

Tel/Fax +39.0437.969202

www.geoformula.it - info@geoformula.it

Via Meassa, 277 - 32100 Belluno (BL)

Sistema qualità certificato da Certification Europe

Client registration N°2011/1286 - Certificate reference N°A/4

Art.59 - DPR 380/2001 - Circolare 7618/2010

Aut. Min. esecuzione e certificazione prove geotecniche su terre N° 7207

P.MOD.301 - rev.00 - gennaio 2011

Certificato n.

1014-02/18

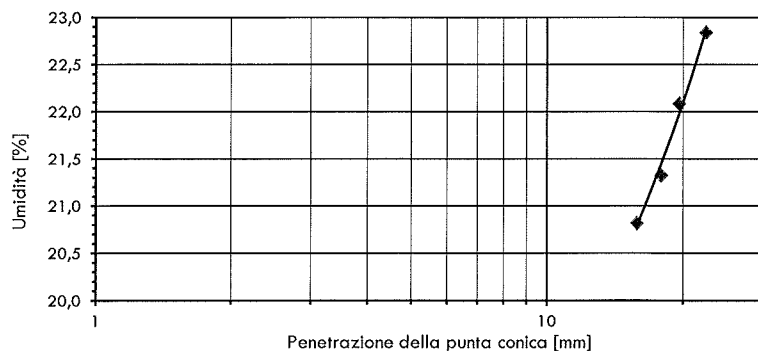
Data

27.08.2018

Oggetto Restauro conservativo di Palazzo Crepadona destinato alla nuova mediateca delle Dolomiti.**Richiedente** dott. geol. Da Roit Ennio
Via San Lorenzo, 26 - 32100 Belluno - (BL)**Impresa** -
esecutrice -**DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI ATTERBERG (UNI CEN ISO/TS 17892-12)****Campione** 1) Sondaggio S1 - Campione C2 (da 5,00 a 5,50 m)
in prova**Data della consegna** 09.08.2018**Inizio prova:** 22.08.2018**Fine prova:** 22.08.2018

LIMITE LIQUIDO (punta conica 80g/30°)				
Verifica n.	1	2	3	4
Tara [g]	2,22	2,22	2,36	2,25
Peso umido lordo [g]	8,72	11,72	10,32	7,52
Peso secco lordo [g]	7,60	10,05	8,88	6,54
Umidità [%]	20,8	21,3	22,1	22,8
Penetrazione punta conica [mm]	15,8	17,9	19,6	22,5

LIMITE PLASTICO		
Verifica n.	1	2
Tara [g]	2,45	2,21
Peso umido lordo [g]	4,87	4,62
Peso secco lordo [g]	4,56	4,30
Umidità [%]	14,7	15,3

Limite liquido (W_L) = 22Limite plastico (W_P) = 15Indice di plasticità (I_P) = 7**CLASSIFICAZIONE SECONDO
H.R.B. AASTHO M 145
A2-4****Note** I risultati di prova del presente documento si riferiscono esclusivamente ai campioni sottoposti a prova.
E' vietata la riproduzione anche parziale del presente documento senza autorizzazione di Geoformula S.r.l.Sperimentatore
dott. Maria MoroResponsabile del Laboratorio
dott. Alberto ForcolinDirettore del Laboratorio
dott. geol. Simone Mercanzin

Pag. 1 di 1



GeoFormula S.r.l.

C.F. e P.IVA 01056560251

Tel/Fax +39.0437.969202

www.geoformula.it - info@geoformula.it

Via Meassa, 277 - 32100 Belluno (BL)

Sistema qualità certificato da Certification Europe

Client registration N°2011/1286 - Certificate reference N°A/4

Art.59 - DPR 380/2001 - Circolare 7618/2010

Aut. Min. esecuzione e certificazione prove geotecniche su terre N° 7207

P.MOD.300 - rev.00 - gennaio 2011

Certificato n.

1015-01/18

Data

27.08.2018

Oggetto Restauro conservativo di Palazzo Crepadona destinato alla nuova mediateca delle Dolomiti.

Richiedente dott. geol. Da Roit Ennio
Via San Lorenzo, 26 - 32100 Belluno - (BL)

**Impresa
esecutrice** -

ANALISI GRANULOMETRICA DI UNA TERRA MEDIANTE CRIVELLI E SETACCI (CNR BU N. 23)

**Campione
in prova** 1) Sondaggio S1 - Campione C3 (da 13,50 a 14,00 m)

Data della consegna 09.08.2018

23.08.2018

Fine prova: 24.08.2018

Massa totale [g] = 1110

Setacci e crivelli [mm]	0,075	0,180	0,425	2	5	10	15	25	30	40	
Massa trattenuta [g]	41	49	111	86	110	80	165	98	167	0	
Percentuale trattenuta [%]	3,7	4,4	10,0	7,7	9,9	7,2	14,9	8,8	15,0	0,0	
Percentuale passante [%]	18,3	22,0	26,4	36,4	44,1	54,1	61,3	76,1	85,0	100	

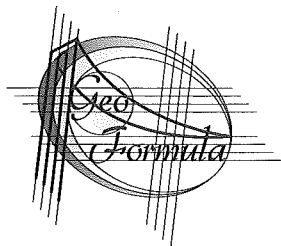
Note

Sperimentatore
dott. Martin Moro

Il Responsabile del Laboratorio
dott. Alberto Forcolin

Direttore del Laboratorio
dott. geol. Simone Mercanzin

Pag. 1 di 2



Certificato n.

1015-01/18

Data

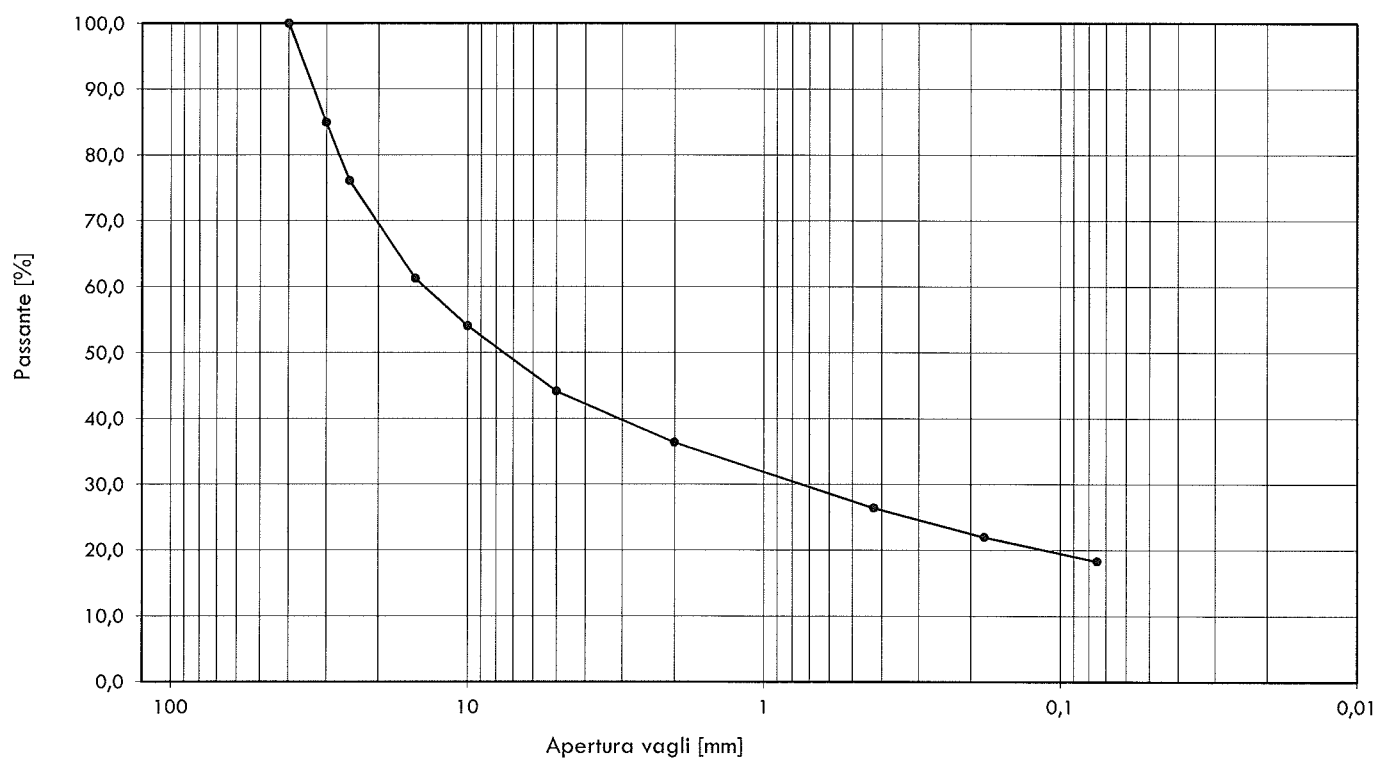
27.08.2018

ANALISI GRANULOMETRICA DI UNA TERRA MEDIANTE CRIVELLI E SETACCI (CNR BU N. 23)**Rappresentazione grafica****Campione
in prova**

1) Sondaggio S1 - Campione C3 (da 13,50 a 14,00 m)

Data della consegna 09.08.2018

23.08.2018

Fine prova: 24.08.2018**Note**

I risultati di prova del presente documento si riferiscono esclusivamente ai campioni sottoposti a prova.

E' vietata la riproduzione anche parziale del presente documento senza autorizzazione di Geoformula S.r.l.

Sperimentatore

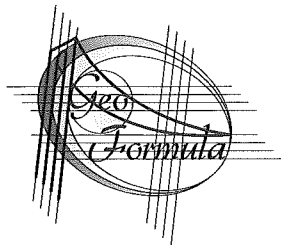
dott. Matteo Moro

Responsabile del Laboratorio

dott. Alberto Forcolin

Direttore del Laboratorio

dott. geol. Simone Merzanzin



Certificato n.

1015-02/18

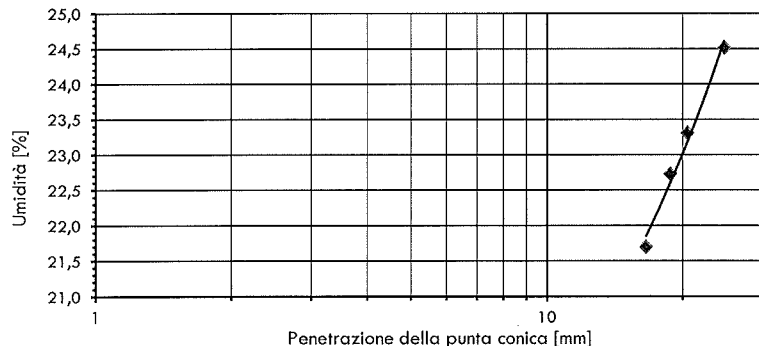
Data

27.08.2018

Oggetto Restauro conservativo di Palazzo Crepadona destinato alla nuova mediateca delle Dolomiti.**Richiedente** dott. geol. Da Roit Ennio
Via San Lorenzo, 26 - 32100 Belluno - (BL)**Impresa
esecutrice** -**DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI ATTERBERG (UNI CEN ISO/TS 17892-12)****Campione
in prova** 1) Sondaggio S1 - Campione C3 (da 13,50 a 14,00 m)**Data della consegna** 09.08.2018**Inizio prova:** 24.08.2018**Fine prova:** 24.08.2018

LIMITE LIQUIDO (punta conica 80g/30°)				
Verifica n.	1	2	3	4
Tara [g]	2,36	2,25	2,28	2,27
Peso umido lordo [g]	9,65	8,73	8,84	11,26
Peso secco lordo [g]	8,35	7,53	7,60	9,49
Umidità [%]	21,7	22,7	23,3	24,5
Penetrazione punta conica [mm]	16,6	18,8	20,5	24,7

LIMITE PLASTICO		
Verifica n.	1	2
Tara [g]	2,27	2,28
Peso umido lordo [g]	4,43	4,98
Peso secco lordo [g]	4,15	4,62
Umidità [%]	14,9	15,4

Limite liquido (W_L) = 23Limite plastico (W_P) = 15Indice di plasticità (I_P) = 8**CLASSIFICAZIONE SECONDO
H.R.B. AASTHO M 145
A2-4****Note** I risultati di prova del presente documento si riferiscono esclusivamente ai campioni sottoposti a prova.
E' vietata la riproduzione anche parziale del presente documento senza autorizzazione di Geoformula S.r.l.

Sperimentatore

dott. Maria Moka

Responsabile del Laboratorio

dott. Alberto Forcolin

Direttore del Laboratorio

dott. geol. Simone Mercanzin

Pag. 1 di 1

Committente: Comune di Belluno

**RELAZIONE INERENTE LO STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE
NELL'AREA DEL PALAZZO CREPADONA A BELLUNO**

IL GEOLOGO

Dr. Francesco Marinoni



The image shows a handwritten signature in blue ink that reads "Francesco Marinoni". Overlaid on the signature is a circular blue stamp. The stamp contains the text "ORDINE DEI GEOLOGI" at the top, "Dr. Geol." in the center, "FRANCESCO MARINONI" below that, and "N° 237" at the bottom. The outer ring of the stamp also contains the text "REGIONE DEL VENETO".

SETTEMBRE 2018

STUDIO GEOLOGICO

Dr. Francesco Marinoni - Galleria Roma, 10 - 35020 Albignasego (PD) – Cell. 348 3366872

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	INDAGINE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE.....	2
3	ANALISI DEL RUMORE SISMICO AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA (TECNICA HVSR)	4
3.1.	RISULTATI OTTENUTI CON LE MISURE HVSR	5
4.	CARATTERISTICHE SISMOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO	6
5.	MODELLAZIONE SISMICA.....	7
6.	CURVE DINAMICHE DEI MATERIALI	9
7.	ANALISI DI DISAGGREGAZIONE.....	11
8.	ESTRAZIONE INPUT SISMICI	12
9.	EFFETTI MORFOLOGICI – ELEMENTI TETTONICI	14
10.	RISULTATI OTTENUTI: ACCELEROGRAMMI E SPETTRI DI OUTPUT.....	14

RELAZIONE INERENTE LO STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE NELL'AREA DEL "PALAZZO CREPADONA" A BELLUNO

1. PREMESSA

Per incarico del Comune di Belluno, è stato eseguito uno studio di Risposta Sismica Locale (RSL) relativamente al sito ove sorge il "Palazzo Crepadona", tra Via Ripa e Via Crepadoni, nel centro storico di Belluno (Figura 1). All'interno dell'edificio è prevista la costruzione di una struttura con funzione protettiva dello spazio aperto esistente all'interno del Palazzo.

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa delle suddette condizioni locali, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

L'analisi di RSL mediante modellazione numerica, è stata preferita rispetto l'approccio semplificato basato sulla definizione delle categorie di sottosuolo proposto nel D.M. 17 gennaio 2018 aggiornamento delle *"Norme tecniche per le costruzioni"*, in condizioni del sottosuolo chiaramente identificabili, per i seguenti motivi:

- Classificazione sismica del Comune di Belluno in classe 2;
- Tipologia delle opere in progetto;
- Struttura del sottosuolo potenzialmente in grado di generare significative amplificazioni sismiche.

Al fine di ricavare i parametri necessari da inserire nel software di elaborazione è stata effettuata un'accurata ricerca bibliografica, per cercare di ricostruire la struttura del sottosuolo in un'area sufficientemente estesa intorno al sito in esame. Sono state inoltre eseguite le seguenti indagini geofisiche, durante il mese di agosto 2018:

- Prova Down Hole in corrispondenza del sondaggio geognostico eseguito a fianco del palazzo
- Studio del rumore sismico ambientale con tecnica a stazione singola "HVSr": sono state effettuate n. 10 stazioni di misura

L'ubicazione delle misure sismiche è riportata nella Figura 3 allegata.

L'elaborazione ed il confronto tra le varie indagini ha consentito di ricostruire il modello sismostratigrafico del sottosuolo, che è stato poi utilizzato nelle successive elaborazioni. La valutazione della RSL, è stata fatta impiegando un software basato su un codice di calcolo che

consente di effettuare le modellazioni sia in caso di geometria del sottosuolo riconducibile ad uno schema monodimensionale, sia bidimensionale.

Per quanto riguarda gli aspetti geologici si rimanda alla specifica relazione redatta dal Dr. Geol. Ennio Da Roit. In questa sede, si sottolinea che il territorio in esame è costituito da una coltre di depositi alluvionali a granulometria prevalentemente ghiaioso sabbiosa, al letto dei quali è presente il substrato lapideo rappresentato dalle rocce del Flysch di Belluno. Lo spessore della copertura alluvionale non è noto nell'area di indagine, ma le informazioni di carattere bibliografico indicano che in questa zona è probabile la presenza di un paleoalveo del Piave, in corrispondenza del quale le alluvioni potrebbero avere spessore dell'ordine di un centinaio di metri.

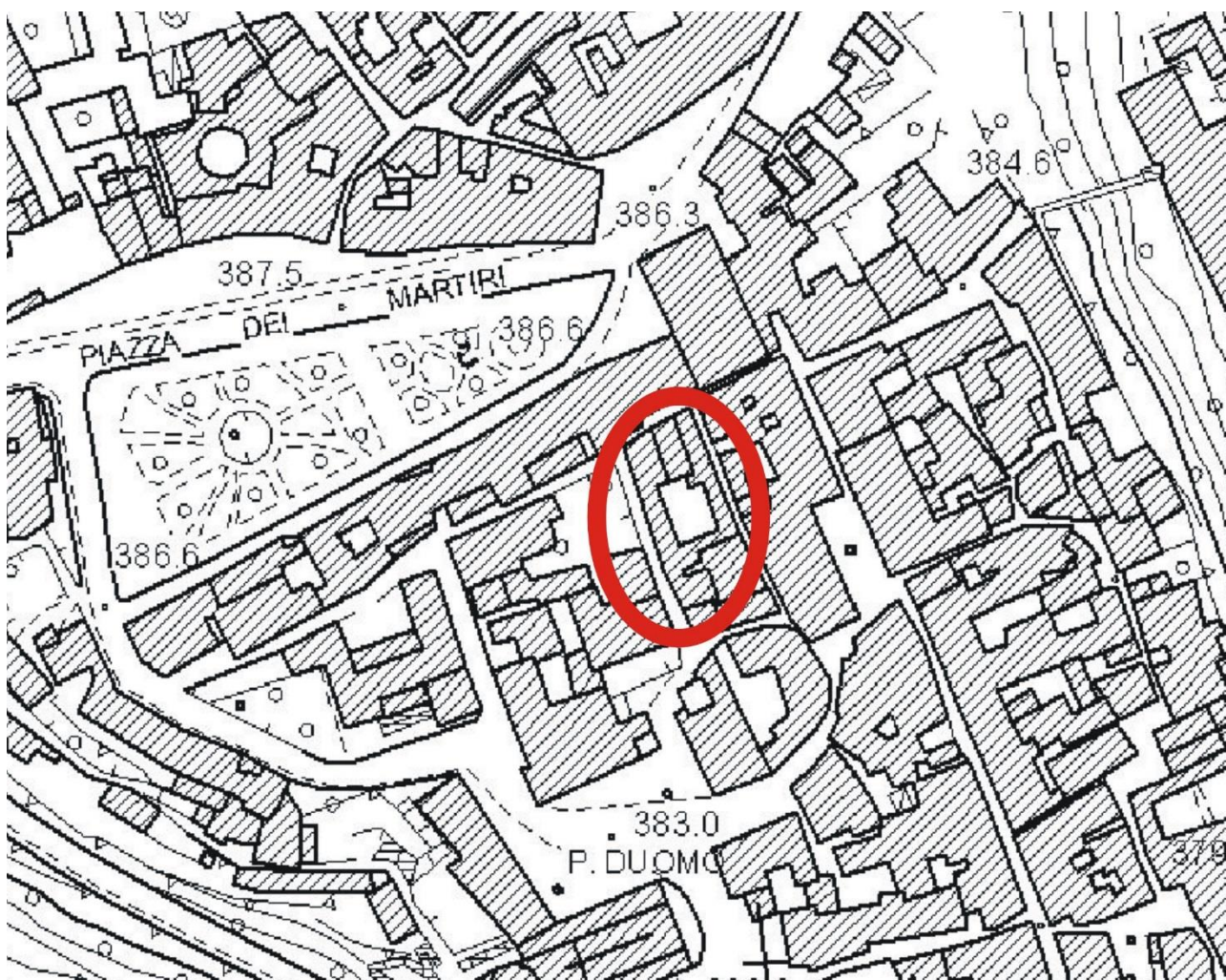


Figura 1: ubicazione dell'area di indagine

2. INDAGINE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE

In corrispondenza del sondaggio geognostico ubicato a fianco del palazzo Crepadona, lungo Via Crepadoni, è stata eseguita una prova sismica in foro con tecnica Down Hole il giorno 29 agosto 2018. Il sondaggio geognostico, terminata la fase di carotaggio a scopo stratigrafico, era stato opportunamente attrezzato per lo svolgimento di questa prova. Il Down Hole è stato eseguito per

ricavare il modello di distribuzione della velocità delle onde di taglio (V_s) nel sottosuolo, parametro fondamentale da inserire nel software per la valutazione della RSL. La scelta di questa tecnica è stata fatta oltre che per la sua precisione, anche perché le condizioni logistiche non consentivano di utilizzare altre tecniche (MASW, rifrazione).

La prova Down Hole è stata eseguita dalla Ditta Indago s.n.c. di Rovigo, il cui rapporto illustrativo è allegato a fine testo (Allegato 1).

Nella seguente Figura 2 è riportato il risultato della prova, sintetizzabile nel diagramma indicativo dell'andamento delle onde sismiche di compressione (V_p) e delle onde sismiche di taglio (V_s), in funzione della profondità.

CURVA TEMPI - PROFONDITA'
(blu = V_p ; rosso = V_s)

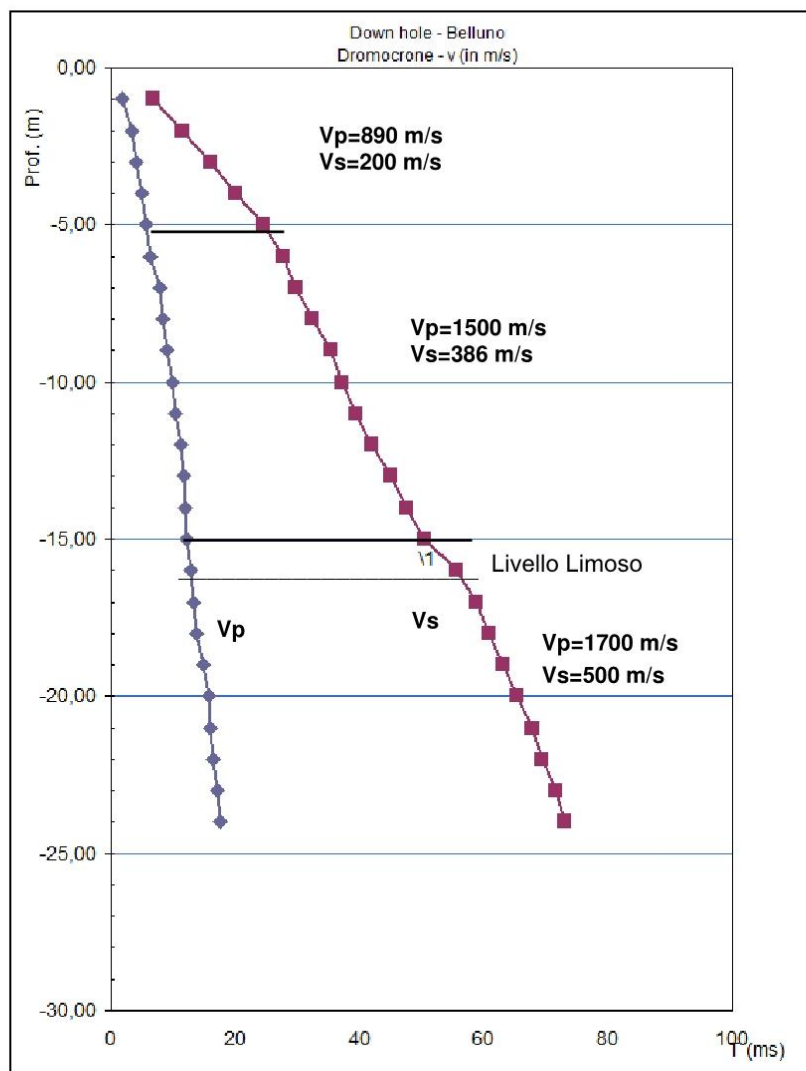


Figura 2: risultati della prova Down Hole

UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE



Prova Down Hole



2

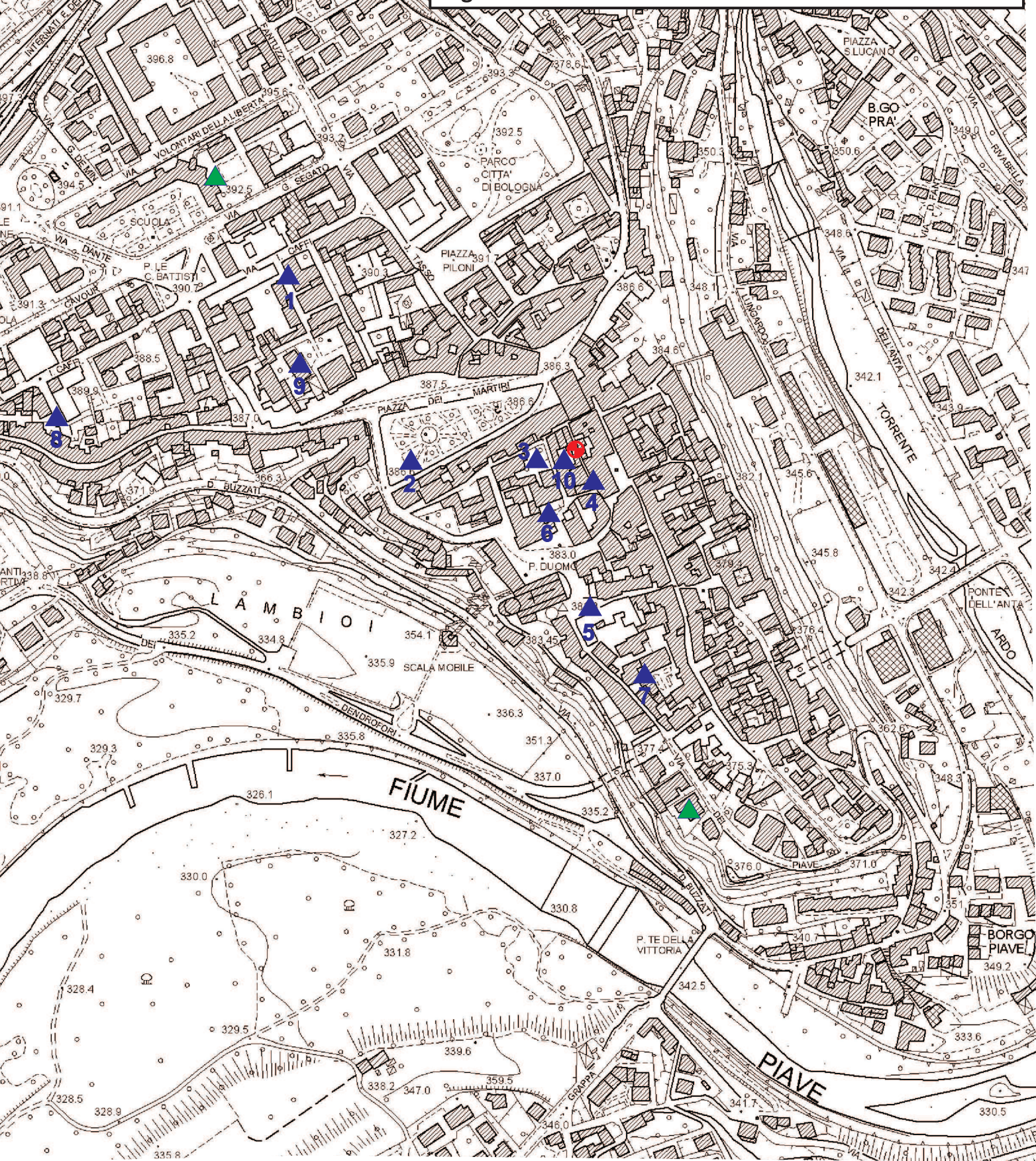
Stazione di misura HVSR eseguita nel corso di questo studio



Stazione di misura HVSR eseguita nel corso di precedenti studi

Figura 3

SCALA 1 : 5000



3 ANALISI DEL RUMORE SISMICO AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA (TECNICA HVSR)

La campagna di acquisizione di rumore sismico si prefigge due scopi: la ricostruzione della profondità dei principali contrasti di impedenza acustica del sottosuolo e l'individuazione di particolari frequenze di risonanza dei suoli.

E' noto dalla letteratura, alla quale fa riferimento il presente paragrafo, che il rumore sismico è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P ed S negli strati superficiali. Il rumore sismico, onnipresente e continuo, viene prodotto principalmente dal vento, da perturbazioni atmosferiche, da onde oceaniche e marine. Anche le industrie e il traffico veicolare producono localmente rumore sismico ma, in genere, solo a frequenze relativamente alte, superiori ad alcuni Hz, che vengono attenuate piuttosto rapidamente. La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, Kanai, 1957; Igarashi, 1970; Nakamura, 1989) permette di estrarre informazioni relative al sottosuolo 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 (rumore sismico).

La natura generatrice del rumore sismico registrato, e dei relativi picchi dei rapporti spettrali, è tuttora molto discussa in ambito scientifico: i microtremori non sono costituiti esclusivamente da onde di volume (P e S), ma principalmente da onde di superficie, in particolare di Rayleigh (Lachet and Bard, 1994). Se assumiamo che in un semispazio i 2 strati differiscano, in modo rilevante, in termini di velocità sismica e densità (contrasto di impedenza acustica), e che la risonanza sia legata alla lunghezza d'onda (λ) incidente pari a 4 volte lo spessore h del primo strato (ipotesi $\lambda/4$), si può ricavare una stima della profondità del rifrattore sismico dal riconoscimento della frequenza di risonanza propria del sottosuolo. In altri termini, nota la frequenza di risonanza (f) propria del sito, ricavata dal rapporto spettrale H/V e la stima delle V_s , è possibile determinare lo spessore (h) di una coltre sedimentaria soprastante un bedrock sismico, applicando la relazione $f = V_s / 4 h$.

Le misure sono state effettuate con un sismografo modello SR04S3 "Geobox" prodotto dalla Ditta SARA S.r.l.. Si tratta di un tromografo digitale avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0,1 a 100 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit). Lo strumento viene posizionato sul terreno orientandolo verso il Nord magnetico ed assicurandone la livellazione micrometrica tramite bolla di precisione, agendo sui tre punti di appoggio. Lo strumento è gestito da p.c. portatile per mezzo del software "Seismowin", fornito dalla ditta costruttrice. Le misure hanno avuto durata di variabile tra 15 e 25 minuti; la frequenza di campionamento è stata mantenuta pari a 200 Hz.

I dati acquisiti sono stati trattati con il software di elaborazione di microtremori "Geopsy" (Sesame Projet), in accordo con le direttive europee del progetto SESAME per il trattamento e l'elaborazione delle tecniche di analisi di rumore sismico a stazione singola. I segnali acquisiti sono stati suddivisi in finestre temporali di 20 s. Dal computo spettrale sono stati esclusi gli eventi transienti più evidenti, legati al rumore antropico

Va ricordato che dai rapporti spettrali ricavati con questa metodologia non è possibile stabilire i fattori di amplificazione sismica, per la valutazione dei quali necessitano analisi più complesse.

3.1. RISULTATI OTTENUTI CON LE MISURE HVSR

Nella planimetria di Figura 3 si trova l'ubicazione delle stazioni HVSR, mentre nell'Allegato 2 sono riportati i grafici ottenuti dall'analisi spettrale, così suddivisi:

- Analisi direzionale del rumore sismico
- Andamento delle singole componenti spettrali del moto (Verticale, N - S, E - O)
- Rapporto H/V del rumore sismico (in rosso media, in nero deviazione standard)

La tabella seguente riassume i risultati delle misure HVSR eseguite nel corso di questo studio.

N° stazione	Località	Frequenza (Hz)	Ampiezza
1	Via Caffi (parcheggio)	3,5	2,1
2	Piazza dei Martiri	1,3; 3; 6,3	2,2; 2,5; 3
3	Via Ripa - Via Cipro	1,1; 2,7; 7	2,9; 2,6; 3,2
4	Via Crepadoni	1,7 - 2,3	1,9 - 2,2
5	Piazza Duomo	1,3; 2,3; 4	1,8; 2,2; 2,2
6	Via Catullo Tomaso	1,7 - 2,8	2 - 2,2
7	Piazza S. Lucano	2,1; 5,3	2,4; 2,4
8	Via Caffi (ovest)	3,8	2,9
9	Via Caffi	2,8 - 3,5	2,5 - 2,3
10	Palazzo Crepadona	1,5; 2,9; 5	1,6; 2,3; 2

Nota: i valori separati da un tratto (-) sono indicativi di un intervallo di frequenze

I diagrammi rappresentativi l'andamento del rapporto H/V relativamente alle stazioni eseguite, sono risultati coerenti, consentendo di stabilire l'attendibilità delle misure. L'esame dei risultati ottenuti con queste misure consente di fare le seguenti considerazioni.

- In quasi tutti i diagrammi si osserva la presenza di più picchi di risonanza. Tale fenomeno può essere dovuto alla presenza di più contrasti di impedenza all'interno della copertura alluvionale. Il picco posto alla frequenza più bassa è stato correlato con il contatto tra la copertura ed il substrato lapideo.
- La maggior parte dei picchi si caratterizza per bassi valori di ampiezza, normalmente compresi tra 2 e 3.

- Come risulta dalla tabella, sono stati inseriti anche picchi caratterizzati da valori di ampiezza inferiori a 2. Tale scelta deriva dall'ipotesi che questi picchi siano espressione del passaggio tra la copertura alluvionale ed il substrato lapideo. Il fatto che l'ampiezza sia limitata deriva dal probabile basso contrasto di impedenza sismica esistente tra le due tipologie di materiali.
- Nel settore situato tra Piazza dei Martiri e Piazza Duomo i picchi di risonanza a più bassa frequenza si collocano su valori compresi tra 1,3 e 1,5 Hz, per cui lo spessore dei terreni quaternari dovrebbe essere di 100 - 120 m. A Nord e Sud di questo settore, le frequenze dei picchi aumentano, indicando una progressiva diminuzione dello spessore dei terreni alluvionali.
- Le misure eseguite nella zona circostante Palazzo Crepadona mostrano che i picchi di risonanza si trovano a frequenze di 1,5, 2,5, 5 e 7 Hz e sono tutti caratterizzati da amplificazioni comprese tra 2 e 3.

4. CARATTERISTICHE SISMOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO

Il modello sismostratigrafico del sottosuolo utilizzato per le analisi numeriche, è stato desunto dalla stratigrafia del sondaggio geognostico, dai dati ricavati dalla bibliografia, dai risultati delle misure con le tecniche HVSR e Down Hole e per confronto con altre indagini sismiche eseguite nel territorio comunale.

Come illustrato in precedenza, le informazioni bibliografiche indicano la probabile presenza di un paleoalveo del F. Piave in corrispondenza del centro abitato di Belluno. Le indagini geofisiche eseguite con la tecnica HVSR hanno consentito di ricostruire in modo, seppure approssimativo la struttura del sottosuolo. In particolare, è emerso che nella zona compresa tra Piazza dei Martiri e Piazza Duomo, il materasso alluvionale dovrebbe avere uno spessore dell'ordine di 100 - 120 metri. Più a Nord nella zona del parcheggio di Via Caffi lo spessore delle alluvioni è di circa 25 - 40 metri (stazioni HVSR n. 1 e 9), mentre verso Sud nella zona di Piazza S. Lucano, dovrebbe attestarsi intorno a 60 metri (HVSR n. 7).

L'area in esame ricade nel settore centrale di questa struttura dove il substrato lapideo si approfondisce. La geometria ricostruita e la considerazione che il tetto del bedrock sismico sembra avere un andamento abbastanza regolare in corrispondenza della zona di indagine, hanno suggerito di utilizzare una modellazione di tipo monodimensionale per valutare la RSL nella zona del Palazzo Crepadona. E' stato così adottata la sequenza sismostratigrafica illustrata nella tabella seguente.

Descrizione	Spessore [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Ghiaia e sabbia sciolta	5,0	1800	200	0,35	EPRI (93), 0-20 ft
Ghiaia e sabbia poco addensata	10,0	1800	380	0,35	EPRI (93), 20-50 ft
Ghiaia e sabbia addensata	20,0	1800	450	0,35	EPRI (93), 50-120 ft
Ghiaia compatta (conglomerato ?)	70,0	1850	600	0,35	EPRI (93), 120-250 ft

Per il bedrock sismico è stata adottata una V_s pari a 800 m/s.

5. MODELLAZIONE SISMICA

In corrispondenza del sito indagato, è stato realizzato uno studio di Risposta Sismica Locale (RSL) con l'obiettivo di definire, attraverso simulazioni numeriche della propagazione del moto sismico dal basamento roccioso alla superficie, gli accelerogrammi attesi a piano campagna ed i relativi spettri di risposta.

Per quanto riguarda le coordinate del sito utilizzate per ricavare i parametri sismici di input si può fare riferimento alla tabella seguente

Nome sito	Latitudine	Longitudine	Quota (m slm)
Belluno Crepadona	46,139	12,218	385

Relativamente al manufatto in progetto sono stati utilizzati i seguenti parametri forniti dai progettisti:

Classe d'uso	Vita nominale	Cu
III	75 anni	1,5

Lo studio di risposta sismica locale è stato condotto utilizzando il software LSR2D vers. 4.2.0, prodotto dalla ditta Stacec s.r.l., che consente di eseguire simulazioni di propagazione del moto sismico in depositi di terreno stratificati ed in condizioni di campo libero, utilizzando geometrie modimensionali o bidimensionali.

Il comportamento non lineare e dissipativo del terreno (riduzione della rigidezza a taglio G e incremento dello smorzamento D , all'aumentare delle deformazioni di taglio indotte dal sisma) è tenuto in conto attraverso un approccio lineare equivalente, ovvero il codice esegue una serie di analisi lineari complete in tensioni totali aggiornando iterativamente la rigidezza e lo smorzamento del terreno al crescere delle deformazioni, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza.

Il codice di calcolo LSR2D, alla stregua di software ben noti dalla comunità scientifica (es. QUAD4 e QUAD4M), consente di effettuare anche una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo e tenendo conto della deformabilità del substrato.

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette

problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico.

La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.

In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata $\dot{\gamma}$, secondo la relazione:

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$$

dove:

- G : Modulo di taglio;
- η : viscosità del mezzo.

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidezza e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza.

I parametri di input necessari all'esecuzione di un'analisi di risposta sismica locale sono:

- gli accelerogrammi di input.
- il modello stratigrafico del terreno;
- per ogni strato:
 - il peso dell'unità di volume γ_n
 - la rigidezza a taglio iniziale G_0
 - le curve di decadimento del modulo di taglio $G(\gamma)$ e di incremento del damping (smorzamento) $D(\gamma)$, dove γ = deformazione a taglio
 - la velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s).

Le analisi con il software LSR2D sono state condotte considerando un coefficiente di smorzamento pari al 5 %; la procedura iterativa è stata condotta fino ad ottenere un errore inferiore all' 1 %, sia per il modulo di taglio, sia per lo smorzamento.

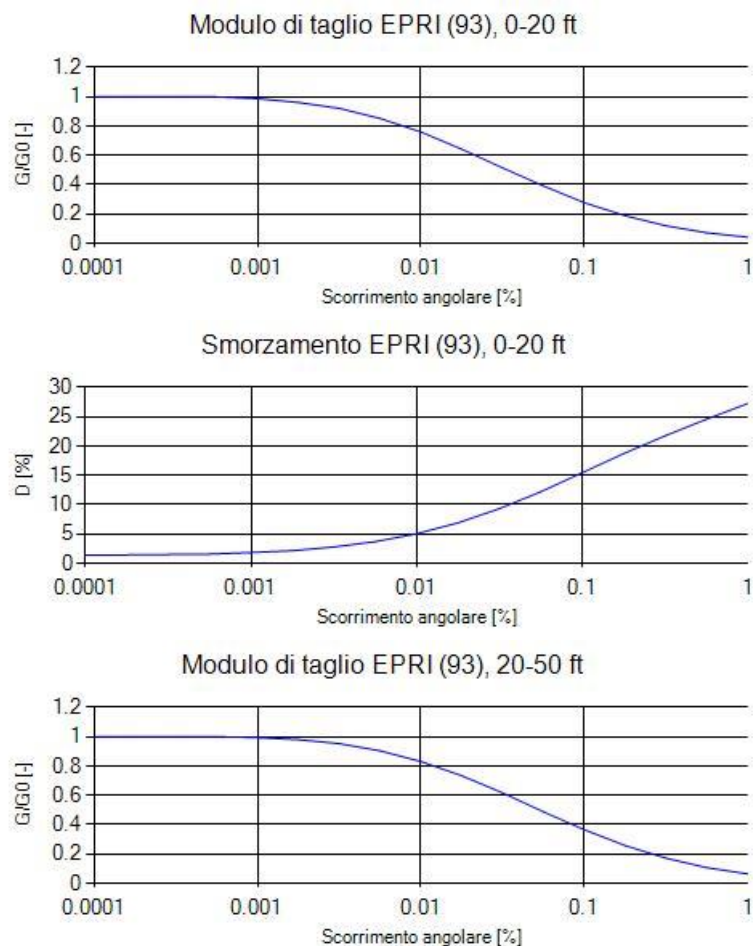
6. CURVE DINAMICHE DEI MATERIALI

All'aumentare del livello di deformazione angolare raggiunta dal terreno si ha una diminuzione del modulo di taglio G ed un aumento del rapporto di smorzamento D . Tale comportamento può essere descritto, per ogni tipo di materiale presente nella stratigrafia, da due curve di decadimento una relativa a G ed una D .

Nel caso in esame, non essendo in possesso di prove dinamiche eseguite su campioni raccolti in sito (colonne risonanti, taglio ciclico, ecc...) che restituiscano le curve dinamiche G/G_0 e il Damping, si sono adottati modelli disponibili in bibliografia e contenute nell'archivio del software interpretativo.

Per i terreni ghiaioso-sabbiosi, sono state utilizzate le curve del comportamento dinamico EPRI (1993), che sono fornite in funzione della profondità dello strato considerato.

Di seguito si riportano le curve di riferimento utilizzate nell'analisi.



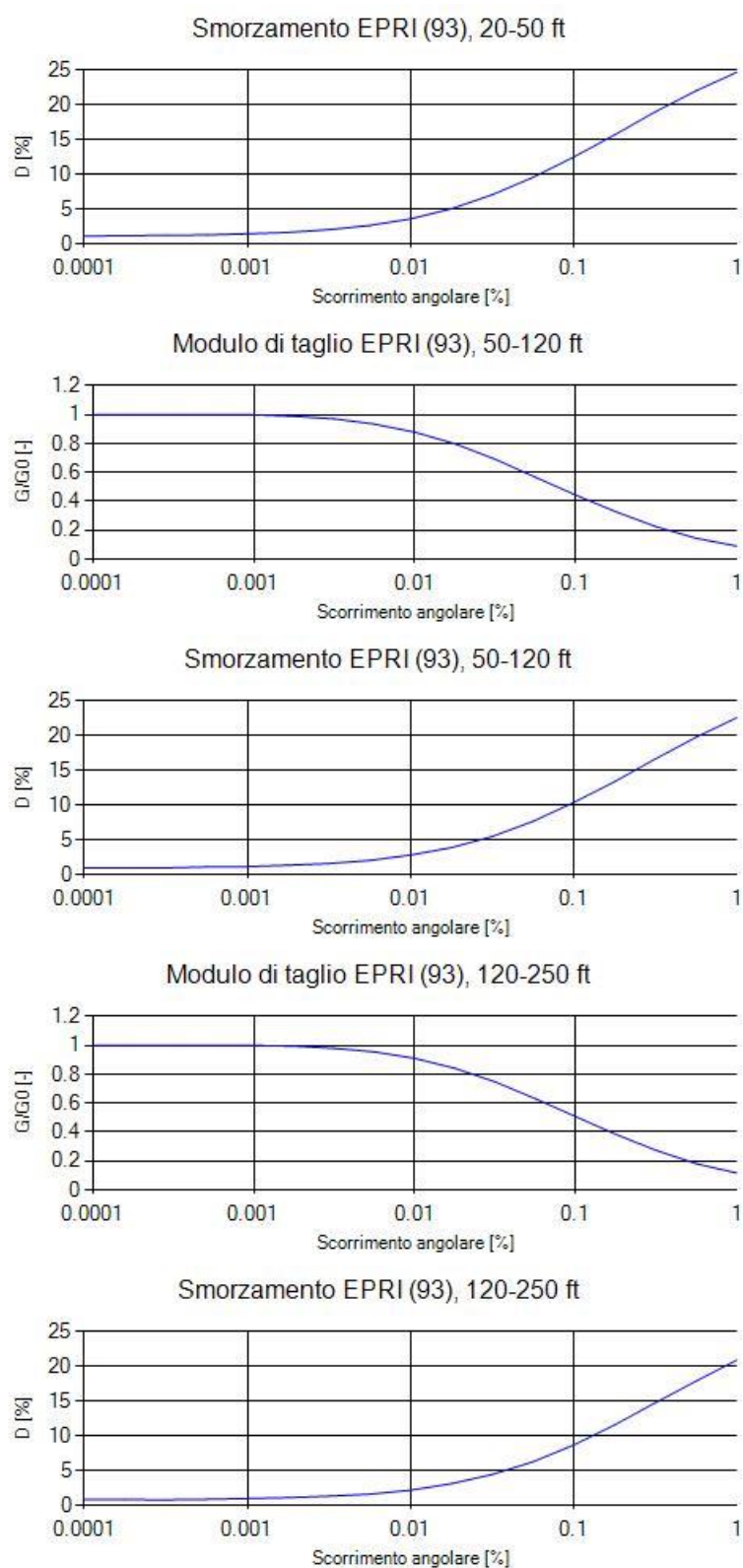


Figura 4: Curve dinamiche G/G_0 e Damping utilizzate nelle modellazioni

7. ANALISI DI DISAGGREGAZIONE

La disaggregazione della pericolosità sismica è una operazione che consente di determinare il contributo di varie sorgenti sismogenetiche alla pericolosità sismica del sito in esame. Per questo tale analisi viene condotta in termini di magnitudo (M) e distanza (R).

L'analisi di disaggregazione è stata condotta a partire dalla banca dati presente nel sito dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/> (Mappe interattive della pericolosità sismica) dove inserendo le coordinate dell'area in esame, vengono restituiti dei diagrammi come quelli riportati nelle Figure 5, 6 e 7, relativi ai tre stati limite considerati (SLO), (SLD) e (SLV); da questi diagrammi si ricavano le coppie di valori M e R che saranno poi utilizzati nella successiva fase di estrazione degli accelerogrammi di input.

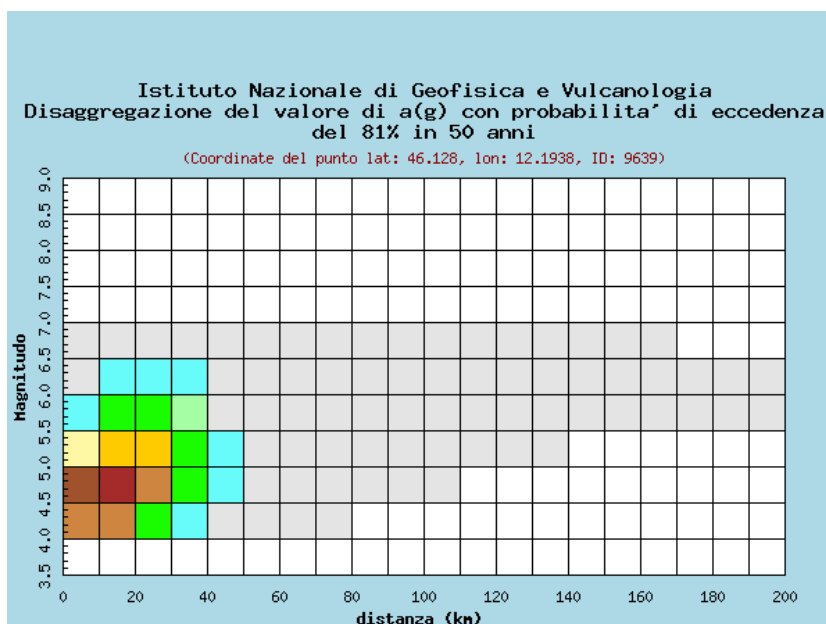


Figura 5: Analisi di disaggregazione del sito in esame SLO

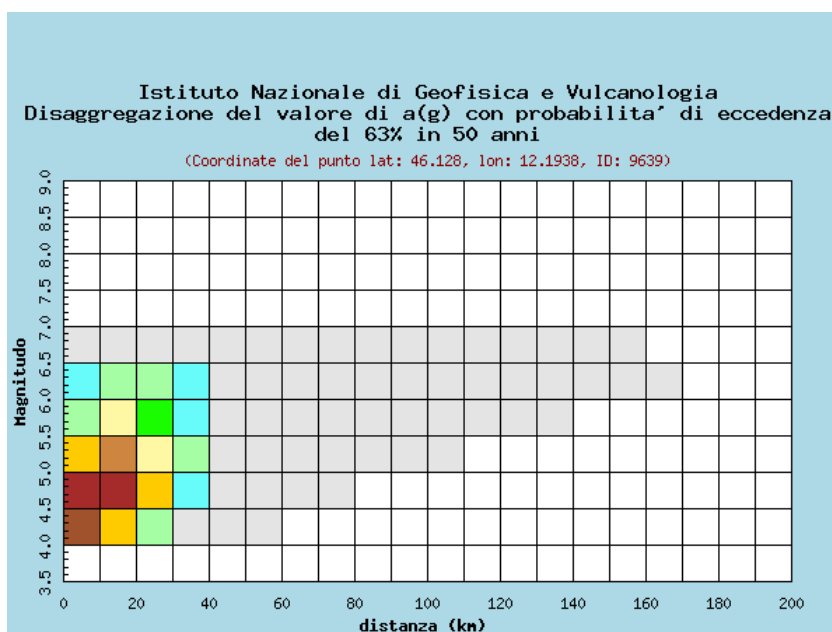


Figura 6: Analisi di disaggregazione del sito in esame SLD

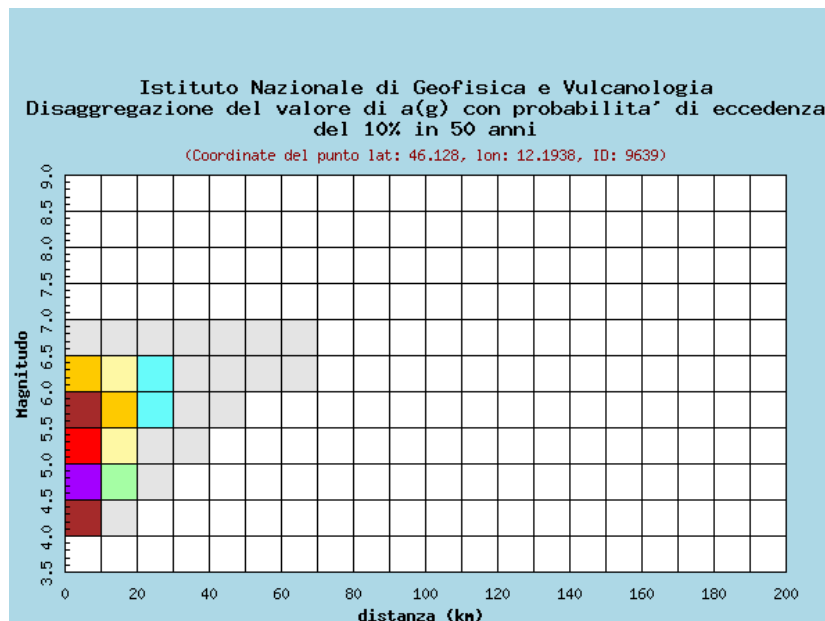


Figura 7: Analisi di disaggregazione del sito in esame SLV

8. ESTRAZIONE INPUT SISMICI

Sono stati utilizzati come moti di input 7 accelerogrammi naturali come specificato nel paragrafo 3.2.3.6 delle NTC 2018, che vieta in studi di RSL, l'utilizzo di accelerogrammi artificiali.

Il software utilizzato per questa operazione   REXEL beta 3.5 (Iervolino, Galasso, Cosenza), che permette l'estrazione degli accelerogrammi previa definizione di una serie di parametri:

- Target spectrum utilizzato: suolo tipo A
- I parametri di disaggregazione
- I parametri derivanti dalla scelta progettuale
- Le tolleranze max e min rispetto allo spettro target.

Seguendo questa procedura   stato estratto un set di 7 accelerogrammi per ogni stato limite considerato. Il set di accelerogrammi scelto per l'analisi   quello che, data la natura delle sorgenti sismogenetiche della zona in oggetto, meglio rappresenta un probabile terremoto di progetto.

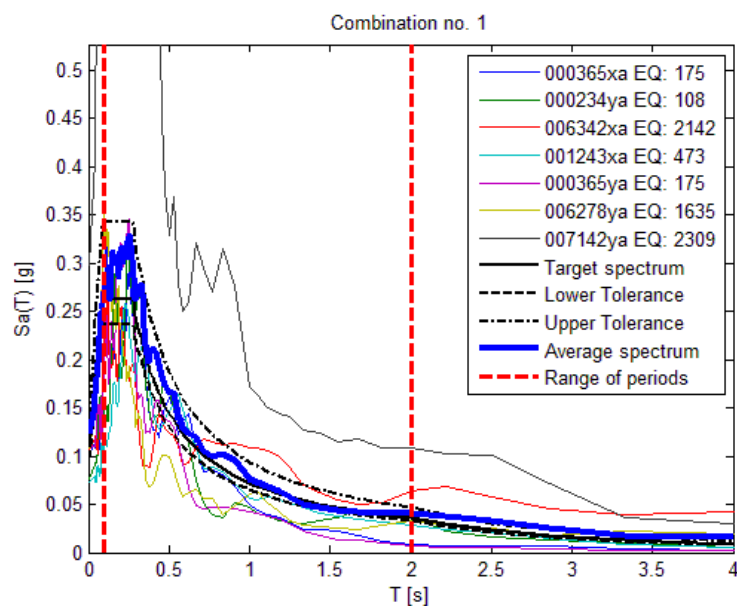


Figura 8: Combinazione degli spettri dei sette accelerogrammi di input estratti (SLO).

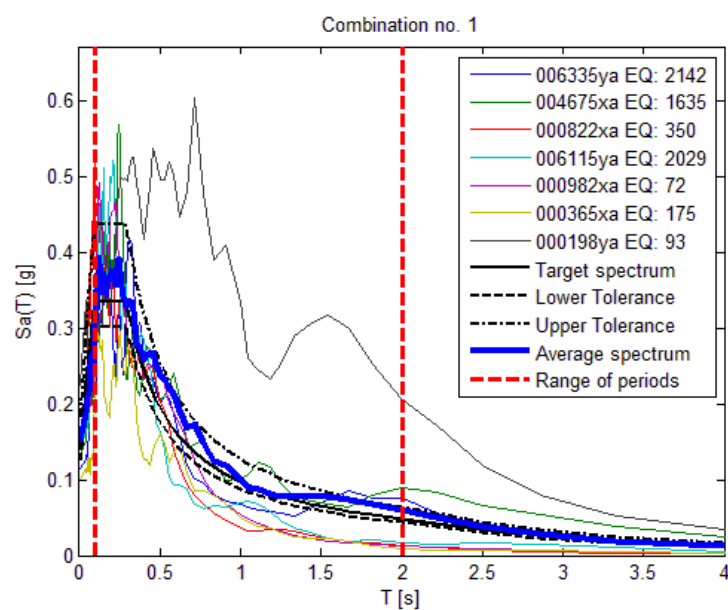


Figura 9:- Combinazione degli spettri dei sette accelerogrammi di input estratti (SLD).

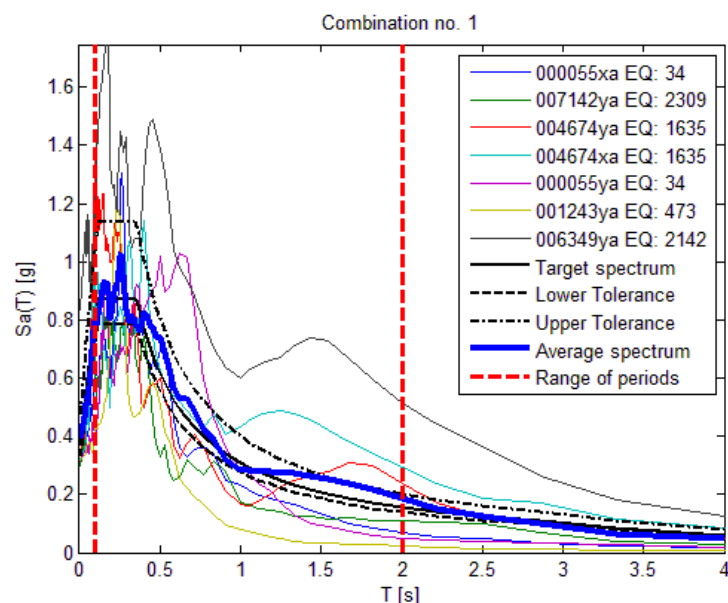


Figura 10: Combinazione degli spettri dei sette accelerogrammi di input estratti (SLV).

9. EFFETTI MORFOLOGICI – ELEMENTI TETTONICI

Le analisi eseguite per verificare l'eventuale insorgenza di amplificazioni causate dalle scarpate del terrazzo alluvionale che delimitano il centro abitato di Belluno, indicano che per l'area in esame non si attendono amplificazioni di tipo morfologico.

Per quanto riguarda gli aspetti tettonici, nello studio di Microzonazione Sismica di 1° livello del Comune di Belluno, è segnalato il tracciato di una "Faglia inversa non attiva (presunta)", in corrispondenza dello spigolo Nordovest di Piazza dei Martiri.

10. RISULTATI OTTENUTI: ACCELEROGRAMMI E SPETTRI DI OUTPUT

L'analisi di RSL è stata condotta utilizzando il software LSR2D 4.2.0, implementando il modello sismostratigrafico desunto dalle varie indagini geognostiche e geofisiche, come descritto nei paragrafi precedenti. A questo proposito si ricorda che la ricostruzione della geometria del bedrock sismico è indicativa, poiché si è basata su indagini sismiche di superficie e dati bibliografici, non essendo disponibili dati geognostici diretti sufficientemente profondi; inoltre, le caratteristiche sismiche degli strati più profondi sono state ipotizzate per confronto con situazioni geologicamente simili. Pertanto, nell'eventualità che altri interventi richiedano una valutazione più precisa delle amplificazioni di sito, si consiglia di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche, tali da consentire la conoscenza più precisa di tutti i parametri.

SLO

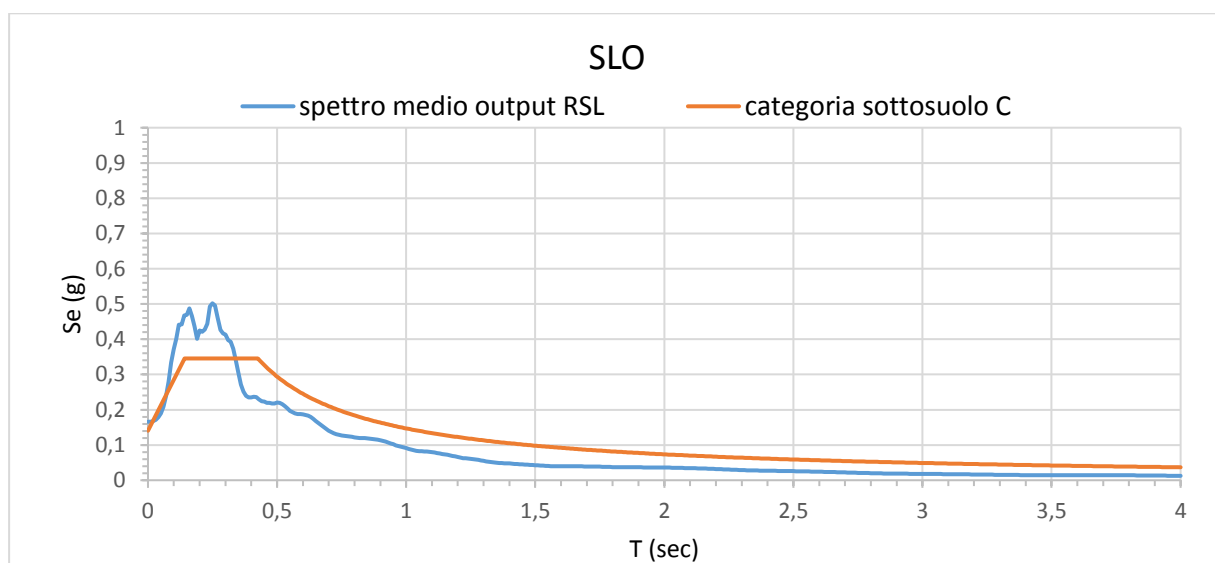
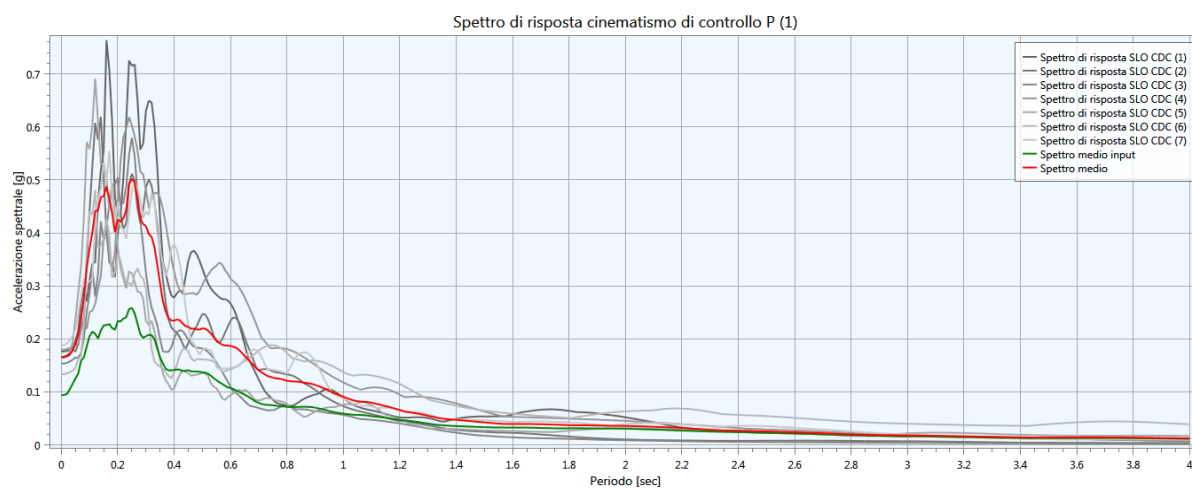
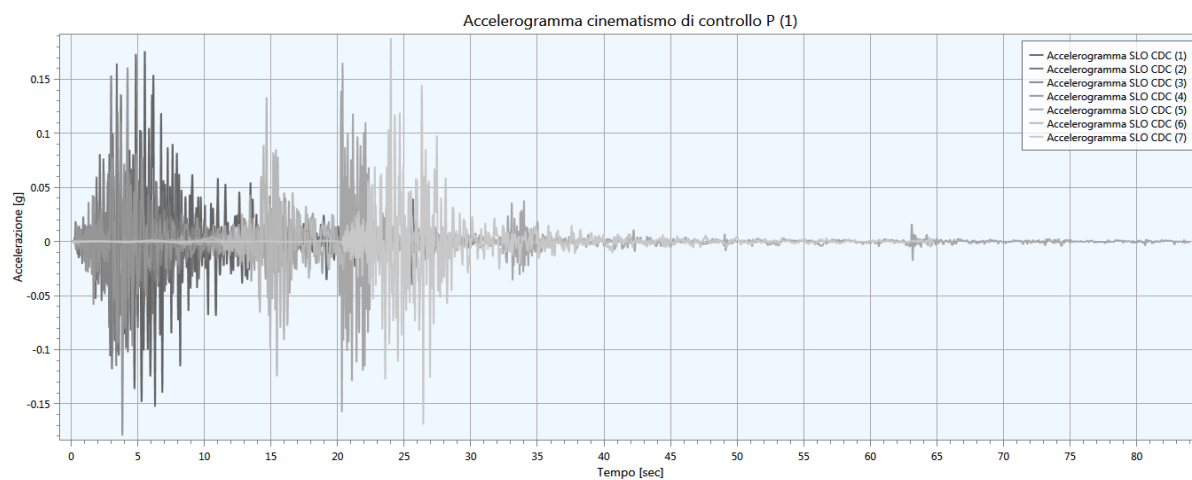
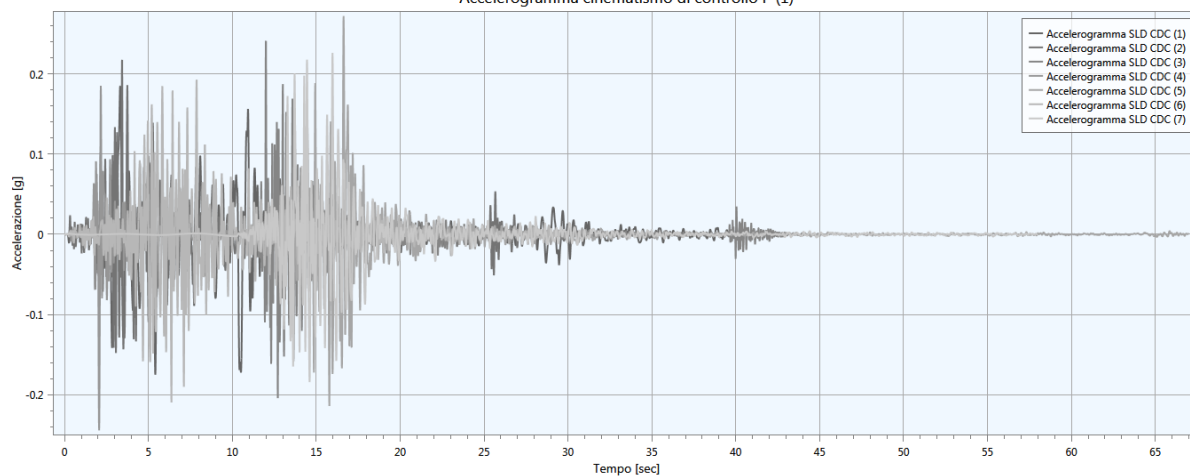


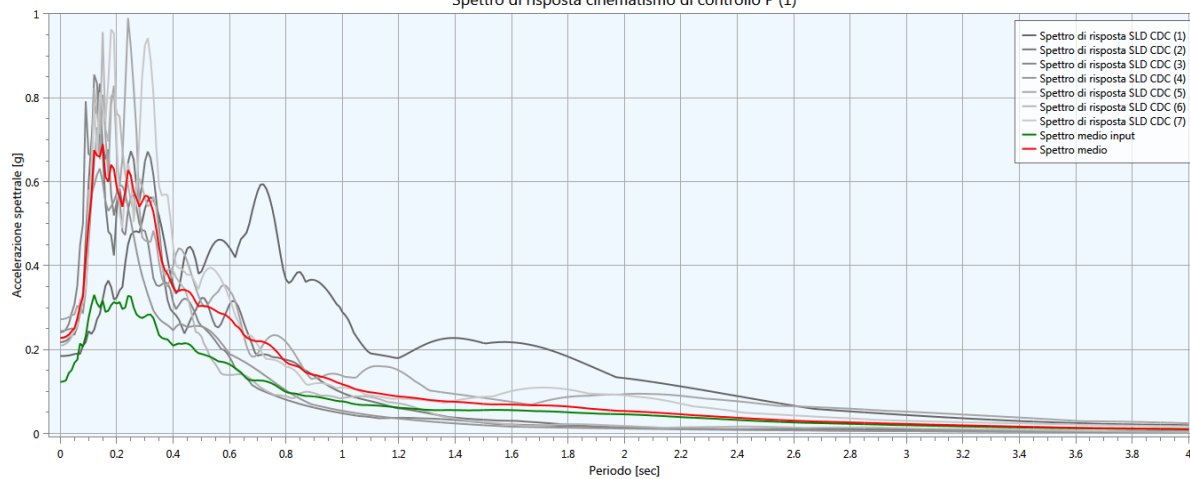
Figura 11: accelerogrammi e spettri relativi all'analisi SLO

SLD

Accelerogramma cinematico di controllo P (1)



Spettro di risposta cinematico di controllo P (1)



SLD

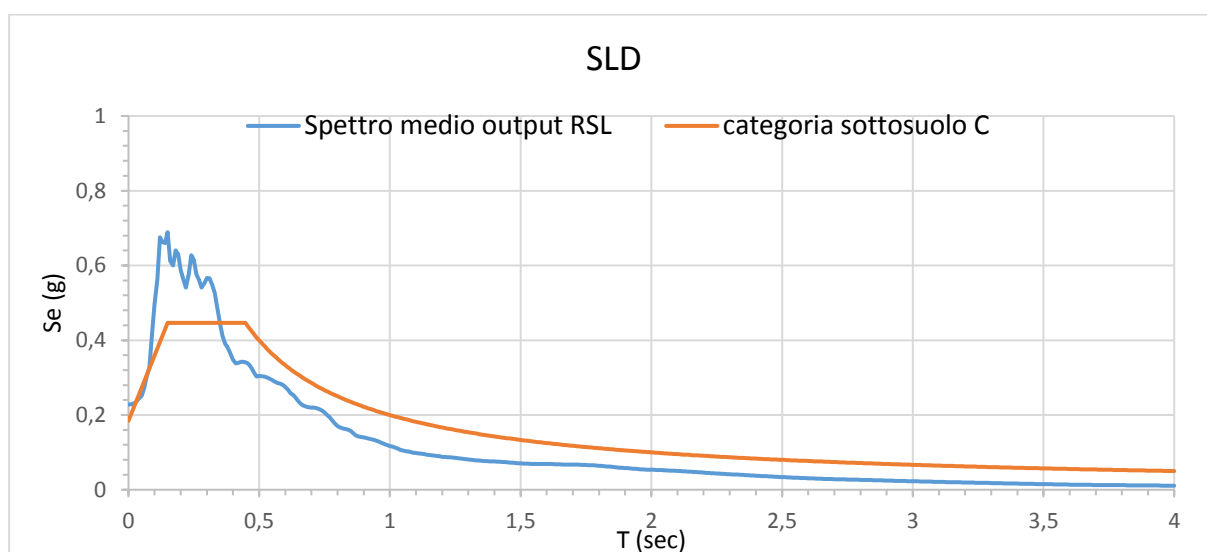


Figura 12: accelerogrammi e spettri relativi all'analisi SLD

SLV

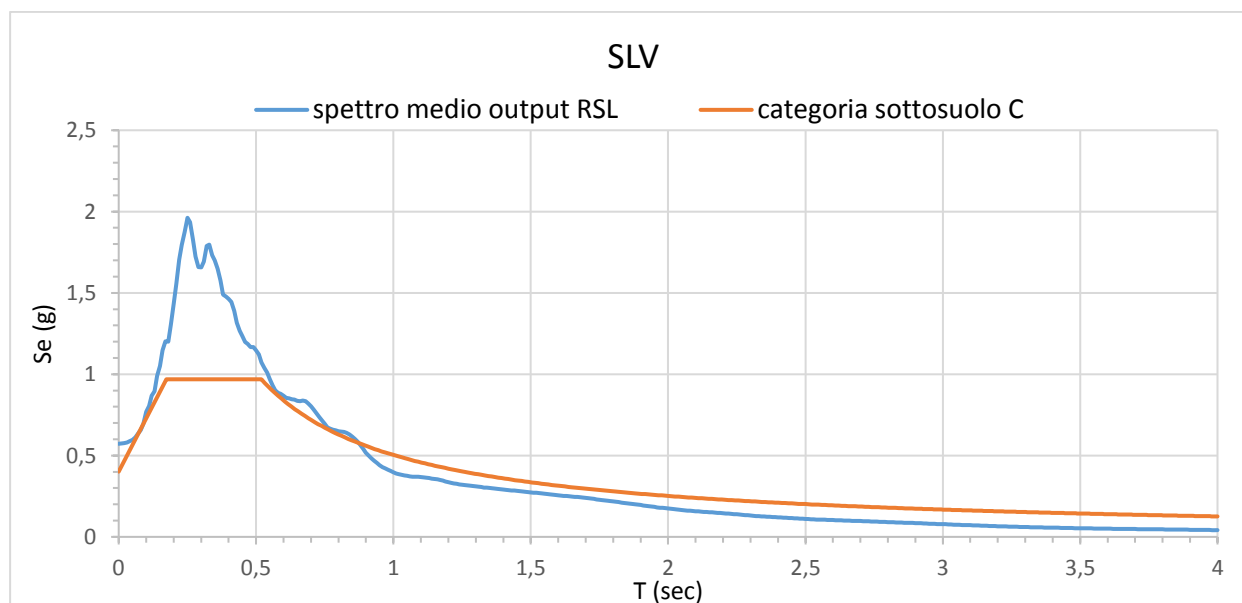
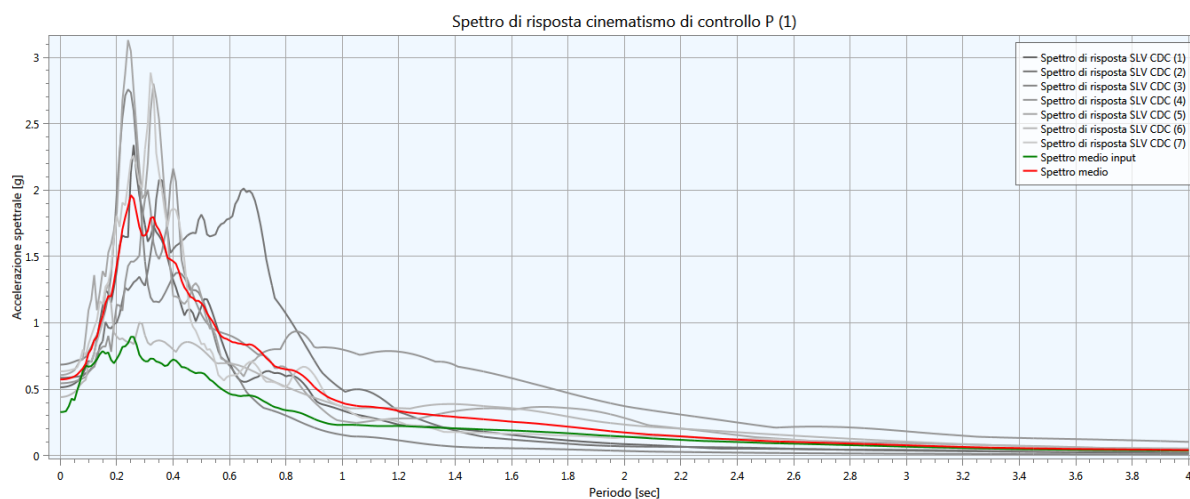
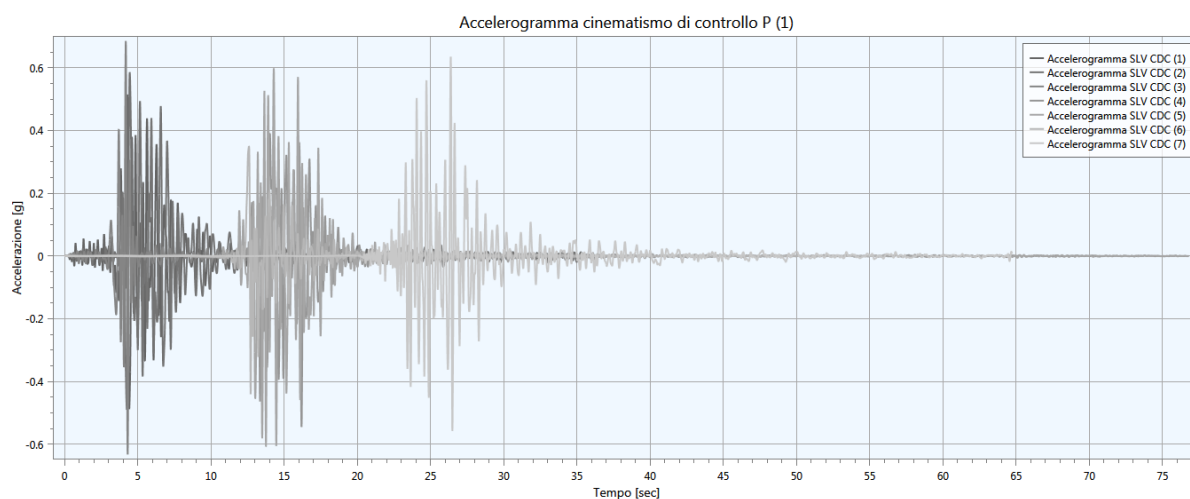


Figura 13: accelerogrammi e spettri relativi all'analisi SLV

I risultati delle analisi sono riassunti nelle Figure 11, 12 e 13, relative ai tre stati limite considerati: Stato Limite di Operatività (SLO), Stato Limite di Danno (SLD) e Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV). Per ogni figura sono riportati:

- accelerogrammi di output;
- spettri di risposta, compresi lo spettro medio di input e lo spettro medio di output;
- spettro medio di output confrontato con lo spettro relativo alla categoria di sottosuolo "C" secondo le NTC 2018.

L'esame dei risultati, sintetizzati nelle figure precedenti, mostrano una risposta in termini di accelerazioni alla superficie caratterizzata da picchi elevati, con valori di accelerazione orizzontale decisamente maggiori di quelli corrispondenti agli spettri semplificati tipici di un profilo litologico di categoria "C", che, in prima approssimazione, potrebbe essere rappresentativo dell'assetto sismostratigrafico relativo all'area in esame.

Le maggiori differenze si osservano nei seguenti tratti di curve:

- Per le analisi SLO e SLD nell'intervallo di periodo compreso tra 0,07 e 0,35 secondi
- Per l'analisi SLV nell'intervallo di periodo compreso tra 0,14 e 0,53 secondi

In particolare l'analisi SLV evidenzia come nell'intervallo tra 0,25 e 0,33 secondi l'accelerazione (a_g) raggiunga valori compresi tra 1,96 e 1,8 g.

Le misure di rumore sismico ambientale con tecnica a stazione singola HVSR eseguite nella zona circostante Palazzo Crepadona, hanno consentito di stabilire che i picchi di risonanza si trovano a frequenze di 1,5, 2,5, 5 e 7 Hz e sono tutti caratterizzati da amplificazioni comprese tra 2 e 3.

Albignasego, settembre 2018

Dr. Francesco Marinoni


ALLEGATO 1

INDAGINE DOWN HOLE



IND.A.G.O. s.n.c.

Indagini e Opere Ambientali e Geologiche

via Balzan, 1 - 45100 Rovigo - tel. 0425-25185

www.indago-rovigo.it

RAPPORTO TECNICO:

OGGETTO: INDAGINE DOWN HOLE PRESSO UN SITO IN VIA CREPADONI, A BELLUNO

REGIONE: VENETO **COMUNE:** BELLUNO (BL)



AUTORI:	COMMITTENTE:	DATA:
Dott. Geol. Enrico Farinatti	Dott. Geol. Francesco Marinoni	Agosto 2018

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. Cenni sul metodo Down-Hole (DH).....	3
3. Elaborazioni.....	5
3. Risultati.....	7
ALLEGATI	9

1. PREMESSA

Lo scrivente, su incarico della Dott.Geol. Francesco Marinoni, ha eseguito un'indagine geofisica secondo la metodologia Down – Hole, in corrispondenza di 1 foro di sondaggio attrezzato con tubo in PVC profondo 25 m da p.c. a Belluno (BL), in via Crepadoni.

2. Cenni sul metodo Down-Hole (DH)

Il metodo utilizzato consiste nella misura del tempo necessario per le onde P e S di spostarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie in prossimità della bocca foro, e i ricevitori, posti all'interno del foro di sondaggio (fig. 1).

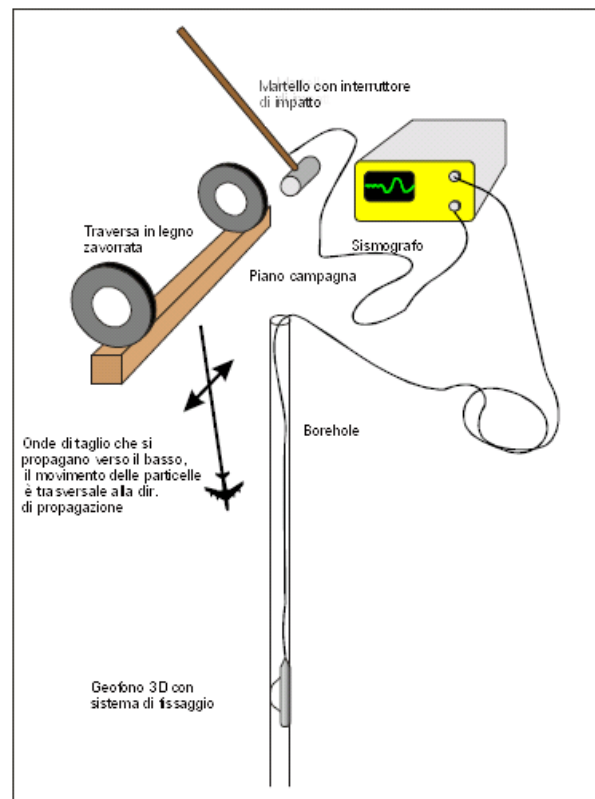


Fig. 1: configurazione per le misure effettuate relativamente alle onde di taglio. Data la logistica le travi in legno sono state poste longitudinalmente al foro e non trasversalmente come indica la figura.

Le componenti indispensabili per una misura DH accurata consistono in:

- una sorgente meccanica (massa battente) in grado di generare onde elastiche ricche di energia e direzionali;

- un geofono tridimensionale (o a più componenti), con appropriata risposta in frequenza, dotato di un sistema di ancoraggio alle pareti del tubo-foro;
- un sistema di controllo dell'orientazione dei geofoni in foro (bussola elettronica) ovvero l'utilizzo di un geofono da foro con diversi sensori posti orizzontalmente (nella fattispecie si è utilizzato un geofono con 4 componenti orizzontali e 1 verticale);
- un sismografo multicanale, in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale su memoria di massa;
- un trasduttore (trigger) alloggiato nella sorgente necessario per l'identificazione dell'istante di partenza della sollecitazione dinamica mediante massa battente.

Per le misure in questione è stato utilizzato un sismografo a 48 canali mod. ABEM Terraloc Pro a 24 bits con scarico dei dati direttamente su memoria interna. Di seguito si riportano le tabelle con il dettaglio dell'hardware e del software utilizzato:

n°	Strumentazione per le prove Down-Hole
1	Sismografo ABEM "Terraloc Pro" 48 ch - 24 bit ABEM Instrument - Sweden
1	Cavo di collegamento per il geofono a 5 componenti
1	Geofono 5D da foro GEOTOMOGRAPHIE mod. bgk5, a frequenza propria di 10 Hz, munito di ancoraggio pneumatico alla parete del foro
1	Mazza di battuta
1	Hammer switch per dispositivo time-break + geofoni verticali
	Cavi e prolunghe per collegamenti vari

Software per interpretazione dati sismici		
Seis TW	ABEM - Sweden	Sistema di gestione del sismografo Terraloc Pro, acquisizione e registrazione dei dati sismici
Geogiga Front-End	Geogiga Corp. - Canada	Editing dati sismici
GeoTomographie Sort & CO	Geotomographie - Germania	Sismica in foro
Software per editing		
Word 2007	Microsoft	Editor di testi
Excel 2007	Microsoft	Foglio di calcolo

In corrispondenza della verticale indagata sono state effettuate separatamente energizzazioni e registrazioni per onde P e per onde S con spaziatura di 1 m tra misure successive.

In particolare, per la generazione delle onde S è stata utilizzata la configurazione secondo il metodo del “plus-minus”, che consiste nella energizzazione a polarità invertita degli impulsi generati con le battute sul trave in legno per la generazione di onde SH, in modo tale da mettere in evidenza le onde S rispetto alle P (che al contrario restano polarizzate nello stesso modo), sovrapponendo le registrazioni ottenute (All. 1). In pratica, per ogni acquisizione delle onde S sono state operate 2 battute agli estremi opposti di un trave in legno, opportunamente zavorrato, mediante massa battente da 10 kg.

In corrispondenza di ogni livello di misura si è provveduto a bloccare il geofono 5D alle pareti del foro, accertandosi che non vi fossero slittamenti.

I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati e vengono fornite due elaborazioni distinte: le curve tempi/profondità e le velocità di ogni intervallo.

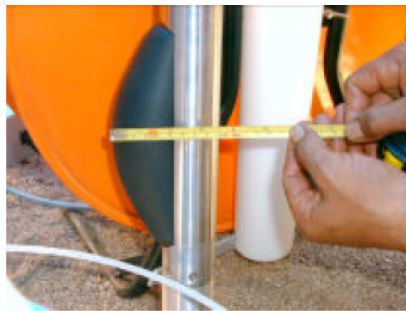


Fig. 2: sistema di ancoraggio alle pareti del foro

3. Elaborazioni

In fase di acquisizione sono stati utilizzati i seguenti parametri:

- finestra di registrazione 164 ms
- tempo (frequenza) di campionamento 0.02 ms (50000 Hz).

Per poter interpretare le misure in modo adeguato, occorre prima di tutto correggere i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde, dal momento che il punto di battuta non coincide con il ricevitore (offset utilizzato = 2 m). Se d è la distanza della sorgente dall'asse, r la distanza tra la sorgente e il geofono 5D, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula:

$$t_{corr} = z / r \times t$$

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico tempi vs profondità in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali (vedere grafici allegati).

Il metodo delle velocità di intervallo consente di calcolare le velocità sismiche in corrispondenza di ogni intervallo di misura e quindi, nel presente caso, per ogni metro di profondità. Questo metodo consente di visualizzare puntualmente l'andamento delle velocità e quindi la presenza di livelli particolarmente "veloci" o "lenti".

Le velocità di intervallo vengono calcolate con l'espressione:

$$V_{p,s} = (r_2 - r_1) / (t_{2corr} - t_{1corr})$$

Unico svantaggio di questo metodo è che non tiene conto dei casi in cui $t_2 < t_1$, inoltre nell'interpretazione si assume che i percorsi tra il punto di energizzazione e il punto di acquisizione siano rettilinei e non subiscano rifrazioni: questo porta talvolta a errori nella stima dei valori del coefficiente di Poisson (così come di altri parametri elastici e delle velocità stesse).

Per ogni livello sono poi stati calcolati i seguenti parametri:

Peso di Volume $\gamma_{din} = 0.51 \times V_p^{0.19}$ (V_p in m/s e γ_{din} t/mc)

Coefficiente di Poisson $\nu = [0.5 \times (V_p/V_s)^2 - 1] / [(V_p/V_s)^2 - 1]$

Modulo di taglio $G = \rho V_s^2$

Modulo di Young $E = 2G(1 + \nu)$

Costante di Lamè $\lambda = (\nu \times E) / [(1 + \nu) \times (1 - 2\nu)]$

Modulo di Volume (Bulk) $K = \lambda \times (2/3G)$.

In particolare, Il coefficiente di Poisson dinamico è stato calcolato a partire dalla velocità delle onde longitudinali V_p e di taglio V_s , poiché tra i moduli elastodinamici è l'unico che non richiede la conoscenza della densità per la sua determinazione.

In teoria è considerato stress indipendente e pertanto, nei vari campi di sforzo-deformazioni può assumere valori diversi (il campo di deformazioni oggetto di indagine geofisica è di circa 10^{-6}).

In questo campo di deformazione il limite minimo non è rappresentato dal valore di 0.25 tipico di corpi perfettamente elastici, ma può assumere anche valori negativi, come nel caso di sedimenti incoerenti, saturi in aria in cui la disposizione dei granuli è a porosità maggiore di quella esagonale (cosa che in alcuni livelli si verifica nella presente prova).

In generale i valori di questo coefficiente varia tra 0.25 e 0.33, ma nei mezzi porosi il campo di variazione è molto più ampio (anche fino a 0.5).

I valori più bassi, in natura, si registrano per litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione litostatica e gas saturati; in alcuni sedimenti incoerenti e saturi.

In sostanza la procedura seguita in fase di elaborazione è la seguente:

- 1) suddivisione e ordinamento dei segnali registrati ad ogni livello per ogni canale in senso decrescente di profondità onde fornire il dato in forma aggregata come da specifiche tecniche, mediante software “Sort” (Geotomographie);
- 2) selezione dei segnali migliori relativamente alle onde SH: per ogni livello misurato si hanno a disposizione 4 registrazioni provenienti da geofoni orizzontali, delle quali è stata scelta sempre quella con ampiezza maggiore (meglio orientata rispetto al punto di energizzazione);
- 3) aggregazione dei segnali così selezionati in un unico file (operazione eseguita sia per le onde S con polarizzazione positiva che negativa, sia per le onde P) mediante software Geogiga FrontEnd;
- 4) analisi dei dati e picking, previo plottaggio sovrapposto delle onde S a diversa polarità (vedere allegato) mediante software “CO” (Cross Over) della Geotomographie;
- 5) calcolo delle velocità registrate, previa correzione per l'offset del punto di energizzazione, e dei principali moduli dinamici.

Le tabelle e i grafici allegati riguardano comunque tutte le registrazioni effettuate.

3. Risultati

La colonna utile indagata è di 25 m (effettivi 24 m per l'ingombro della sonda da foro). In allegato 1 sono riportati i tracciati relativi a onde P e onde S, la tabella dei parametri sismici, il grafico con le curve tempi-profondità e quello degli intervalli di velocità per ciascun livello indagato.

Dal punto di vista sismostratigrafico, il grafico tempi-profondità indica che il terreno può essere sostanzialmente suddiviso in 3 layers principali: il primo confinato nei primi 5 m da p.c, contraddistinto da velocità di V_p di circa 890 m/s e V_s di circa 200 m/s, valori nella norma in riferimento al contesto stratigrafico (terreni di riporto, limi e ghiaie). L'aumento repentino delle onde P è da mettere in relazione alla presenza d'acqua di falda: le onde

di compressione si propagano in acqua a circa 1400 m/s, quelle di taglio invece non si propagano nei fluidi.

Dai 5 m da p.c. fino a circa 15 m, si registra un aumento di V_p medio (1500 m/s), e di V_s medio (386 m/s). Questo layer è formato prevalentemente da ghiaie. Oltre a tale profondità e fino a fondo foro le velocità aumentano gradualmente, a parte un livello posto tra 15 e 16 m in cui si ha una flessione nelle velocità registrate, ben visibile anche nel grafico degli intervalli di velocità dove, sopra a questo livello risulta un picco di velocità molto elevato, per poi abbassarsi repentinamente: si tratta dell'effetto descritto sopra, relativamente alle traiettorie curvilinee dei raggi delle onde sismiche. Il livello a più bassa velocità coincide effettivamente con la presenza di una lente limosa. Un simile effetto si registra anche a 22 m da p.c., dove effettivamente la stratigrafia indica un'altra lente limosa.

Rovigo, Agosto 2018

Dott. Geol. Enrico Farinatti

IND.A.G.O. s.n.c.
di Meroia - Farinatti & Co.

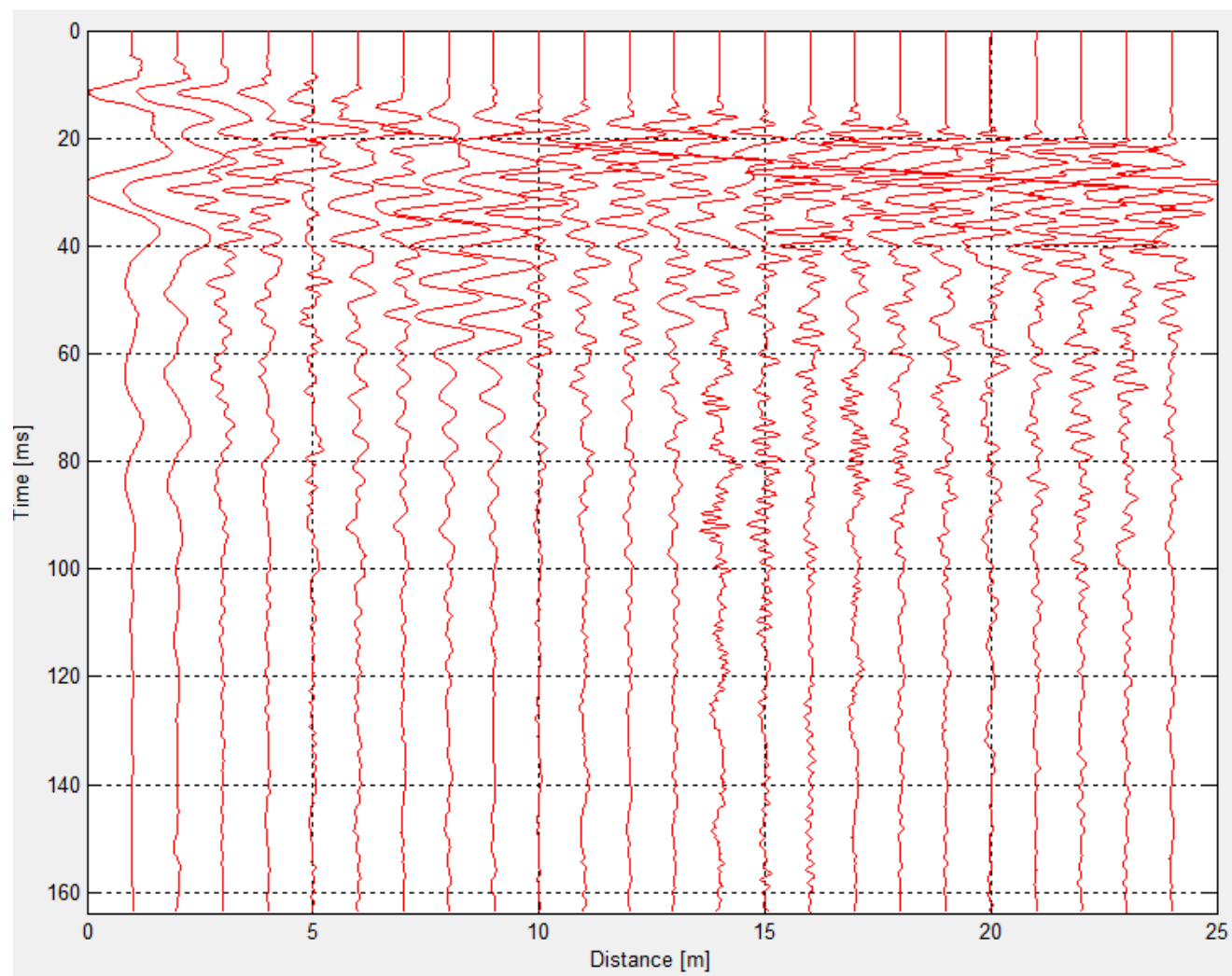

ALLEGATO 1

Indagine Down Hole



Piazzamento sul punto.

TRACCIATO ONDE P



TRACCIATO ONDE S (Plus-Minus)

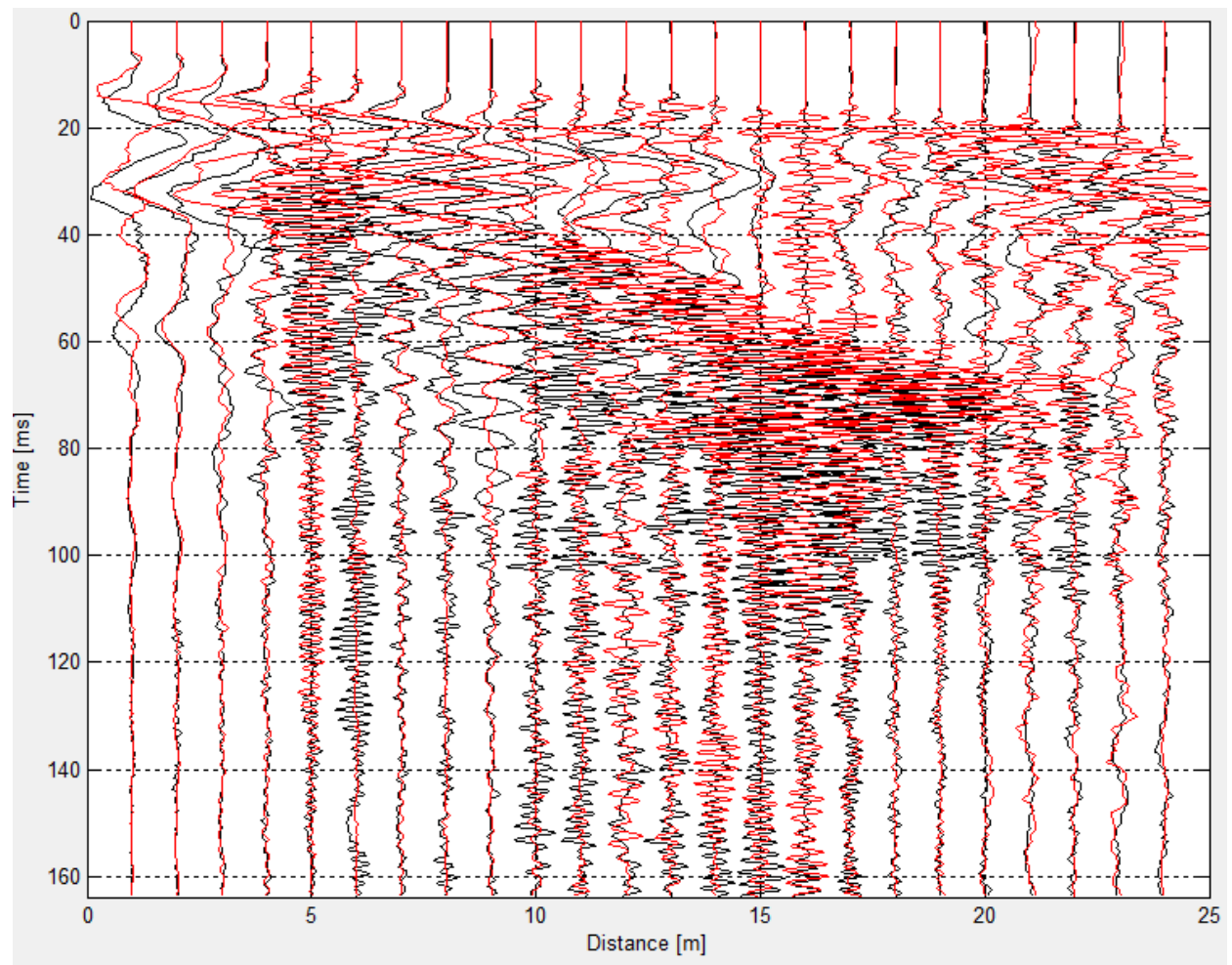


TABELLA PARAMETRI SISMICI

Prof. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	Densità (t/mc)	Poisson	G (MPa)	E (MPa)	Lamè	Bulk
-1,00	562	149	3,76	1,70	0,46	38	111	460	485
-2,00	375	125	3,00	1,57	0,44	25	71	172	189
-3,00	1034	171	6,04	1,91	0,49	56	166	1927	1964
-4,00	1059	208	5,09	1,92	0,48	83	245	1985	2040
-5,00	1274	207	6,16	1,98	0,49	85	252	3049	3105
-6,00	1416	302	4,69	2,02	0,48	184	544	3688	3811
-7,00	614	452	1,36	1,73	-0,09	353	641	-54	181
-8,00	2200	369	5,95	2,20	0,49	300	893	10051	10252
-9,00	1600	341	4,70	2,07	0,48	240	710	4826	4986
-10,00	997	504	1,98	1,89	0,33	480	1276	922	1242
-11,00	1982	446	4,44	2,16	0,47	430	1267	7617	7904
-12,00	1033	396	2,61	1,91	0,41	299	845	1436	1635
-13,00	3093	322	9,61	2,35	0,49	243	727	21977	22139
-14,00	4785	401	11,94	2,55	0,50	410	1227	57605	57878
-15,00	2527	323	7,82	2,26	0,49	236	704	13959	14117
-16,00	1685	193	8,74	2,09	0,49	78	232	5787	5839
-17,00	2554	325	7,87	2,26	0,49	239	712	14293	14452
-18,00	1724	464	3,71	2,10	0,46	453	1323	5340	5642
-19,00	863	463	1,86	1,84	0,30	395	1026	581	844
-20,00	1302	407	3,19	1,99	0,45	331	956	2714	2935
-21,00	5068	408	12,42	2,58	0,50	429	1285	65383	65669
-22,00	1735	650	2,67	2,10	0,42	890	2524	4550	5144
-23,00	1736	468	3,71	2,10	0,46	462	1349	5422	5730
-24,00	2595	653	3,98	2,27	0,47	967	2837	13364	14009

CURVA TEMPI - PROFONDITA'

(blu = V_p ; rosso = V_s)

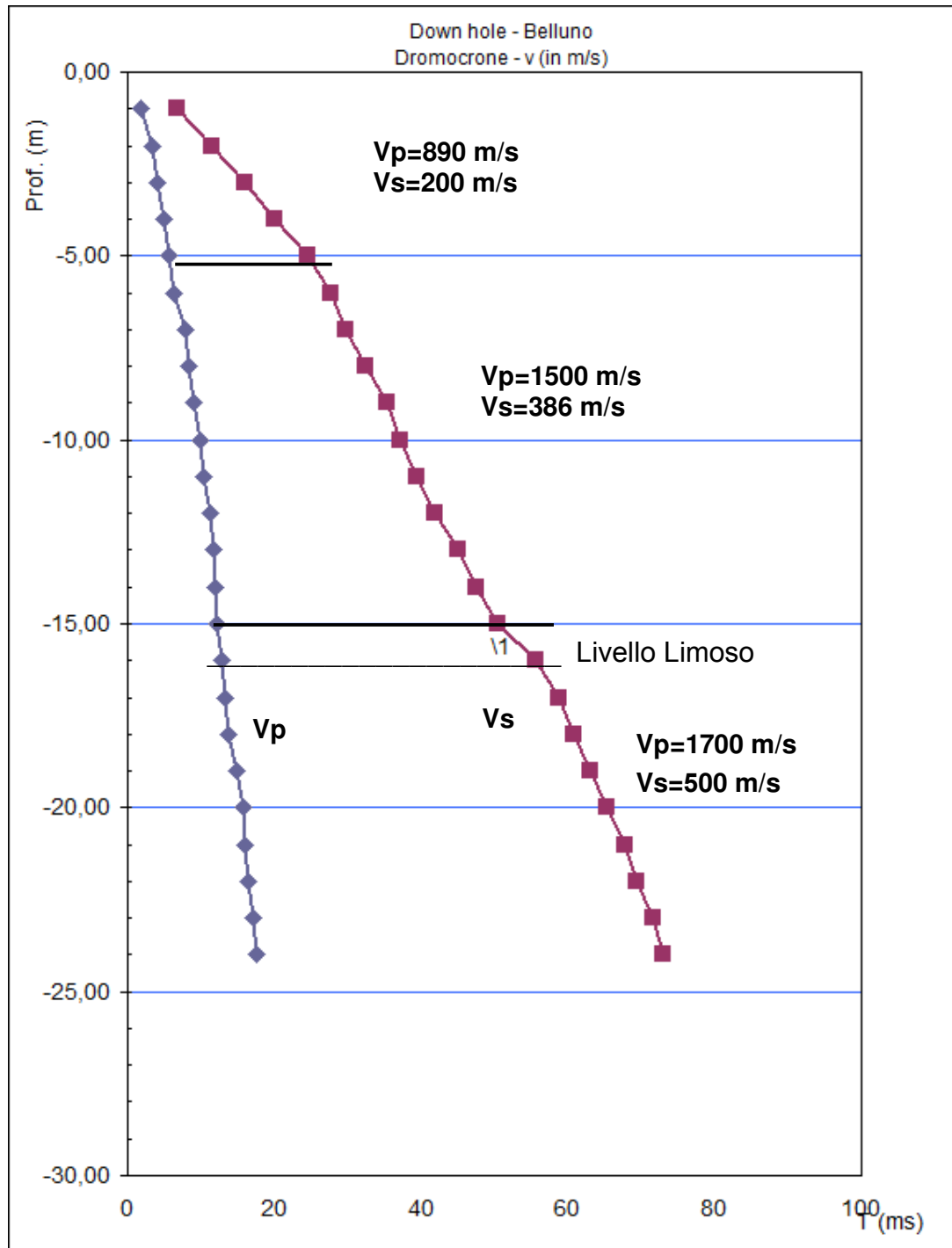
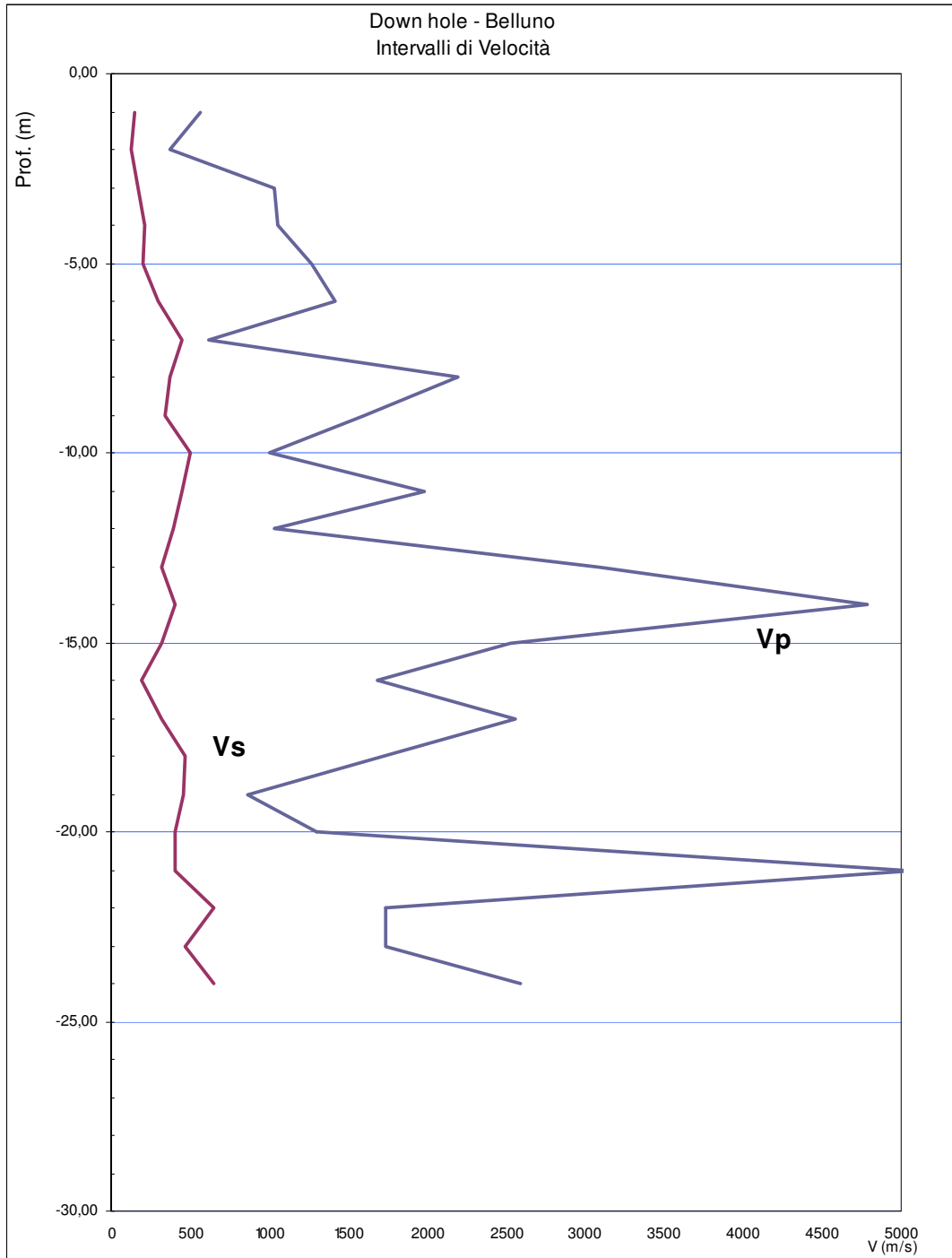


GRAFICO INTERVALLI DI VELOCITA'



ALLEGATO 2

STAZIONI DI MISURA HVSR

COMUNE DI BELLUNO

Località: - Via Caffi

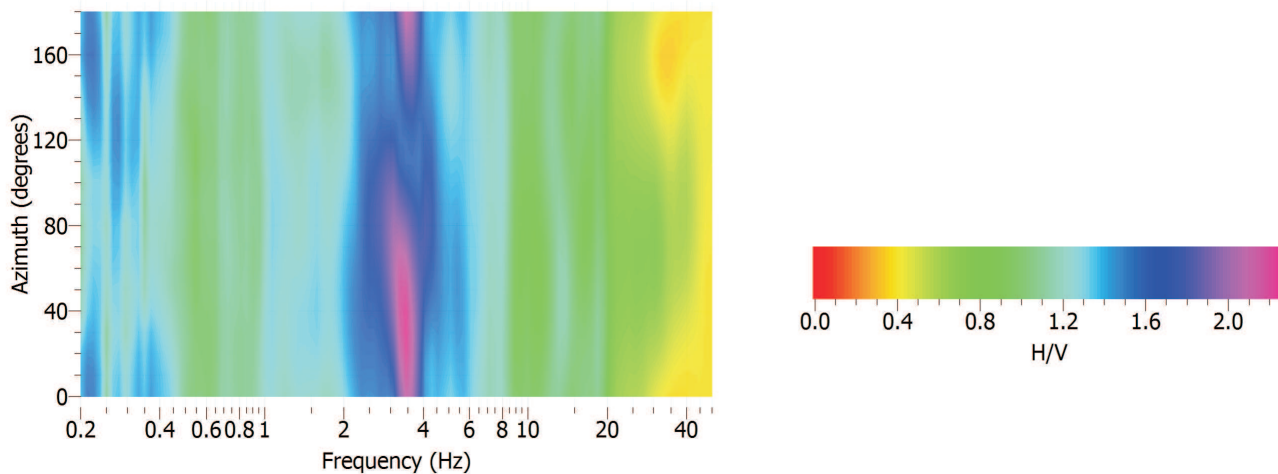
Stazione di misura HVSR N° 1

File: MT_20180813_113502.SAF

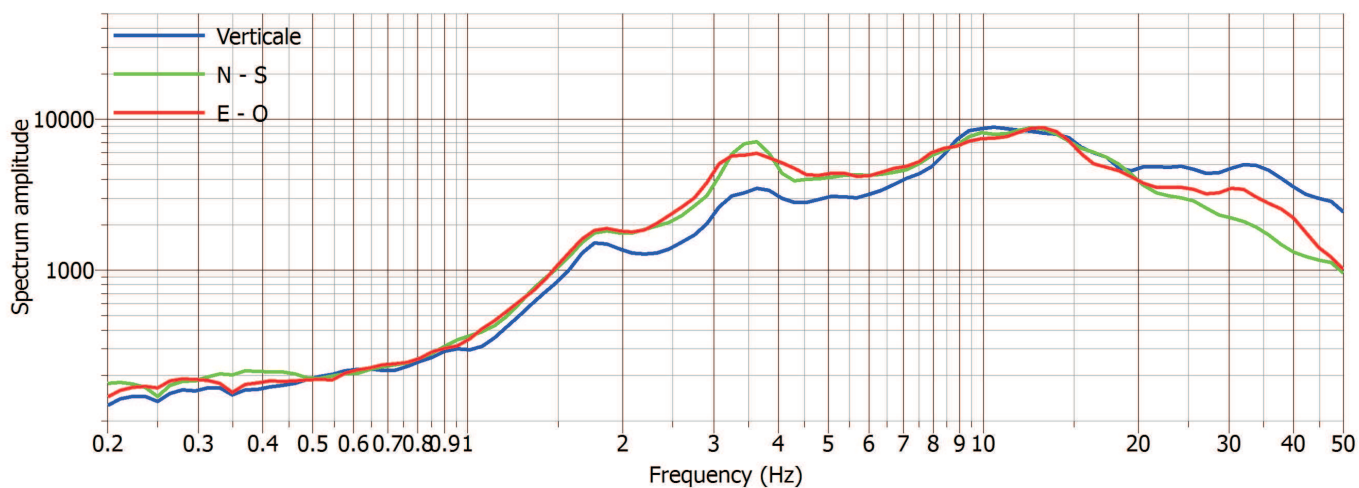
Data acquisizione: 13.08.2018

Durata tempo registrazione: 20 minuti

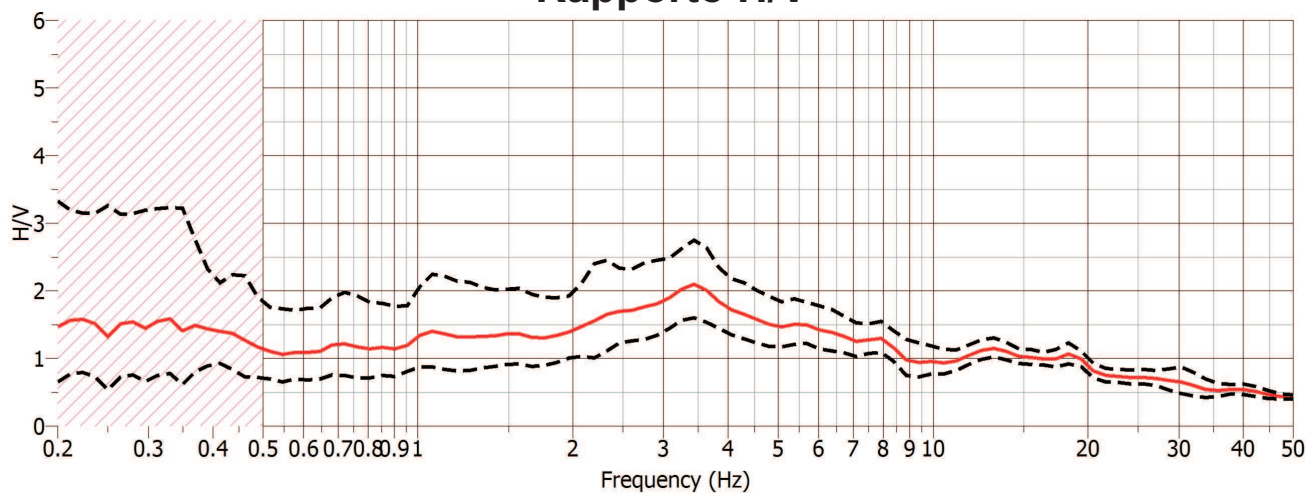
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V

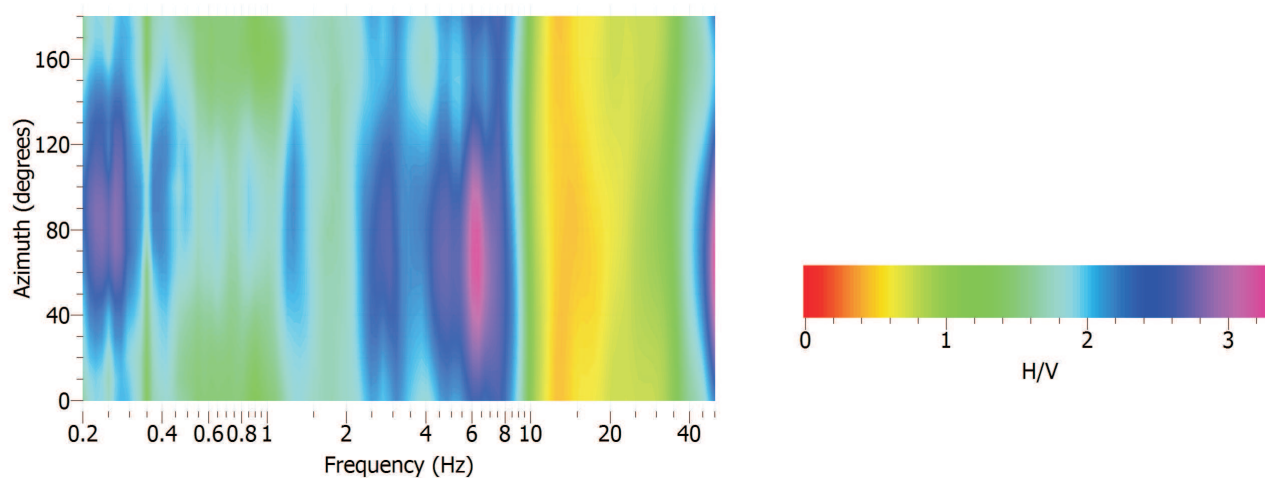


COMUNE DI BELLUNO
Località: - Piazza dei Martiri

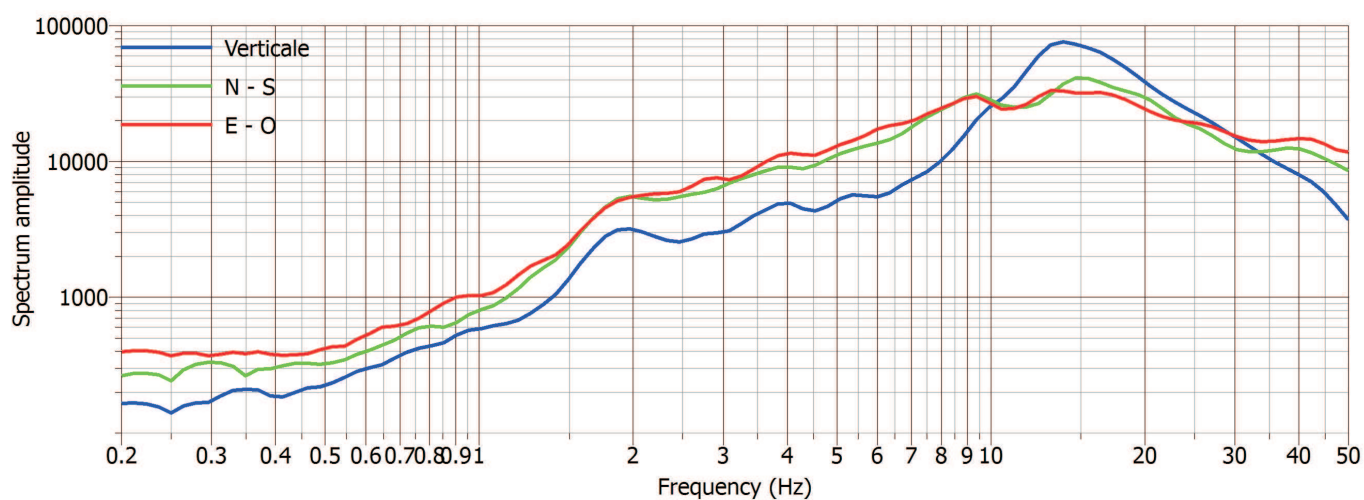
Stazione di misura HVSR N° 2

File: MT_20180817_170427.SAF
Data acquisizione: 17.08.2018
Durata tempo registrazione: 20 minuti

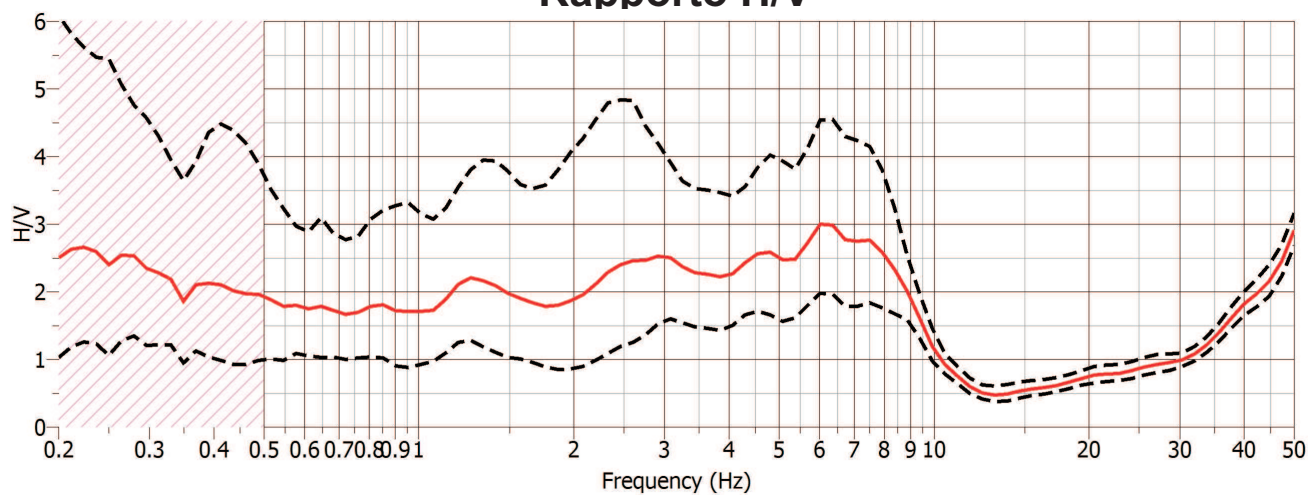
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V

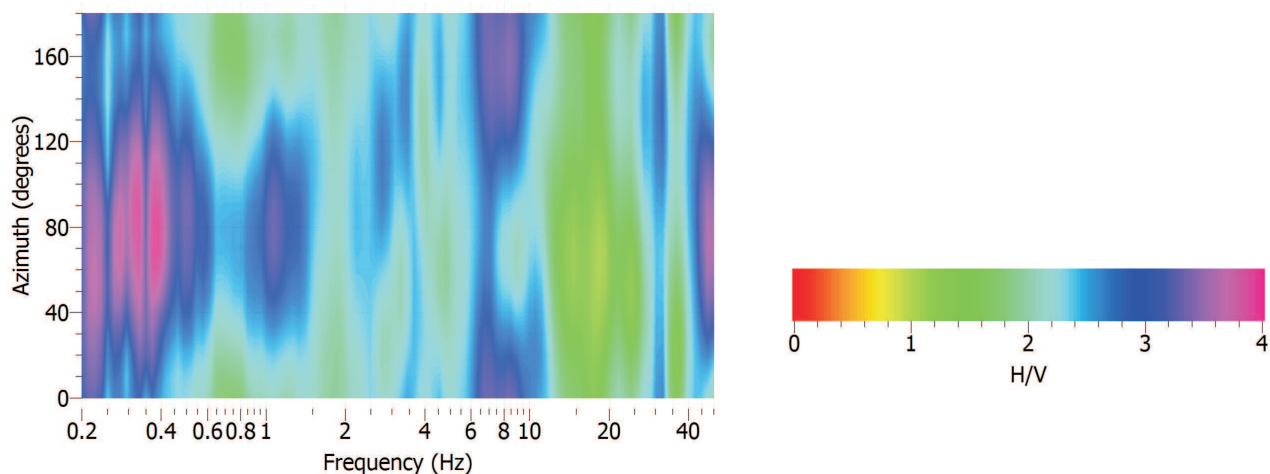


COMUNE DI BELLUNO
Località: - Via Ripa - Via Cipro

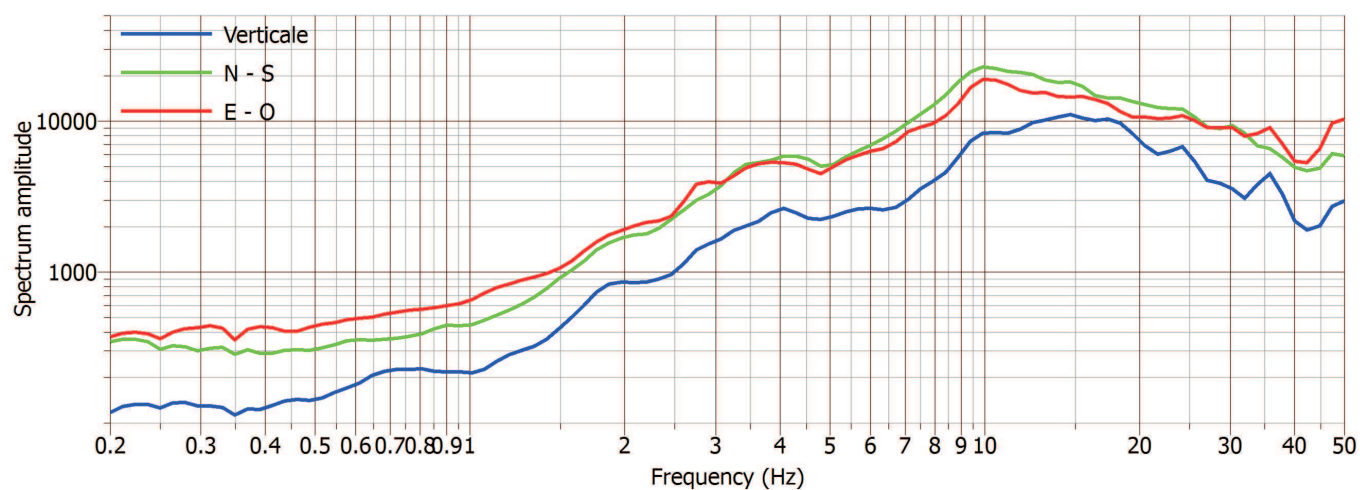
File: MT_20180817_155042.SAF
Data acquisizione: 17.08.2018
Durata tempo registrazione: 26 minuti

Stazione di misura HVSR N° 3

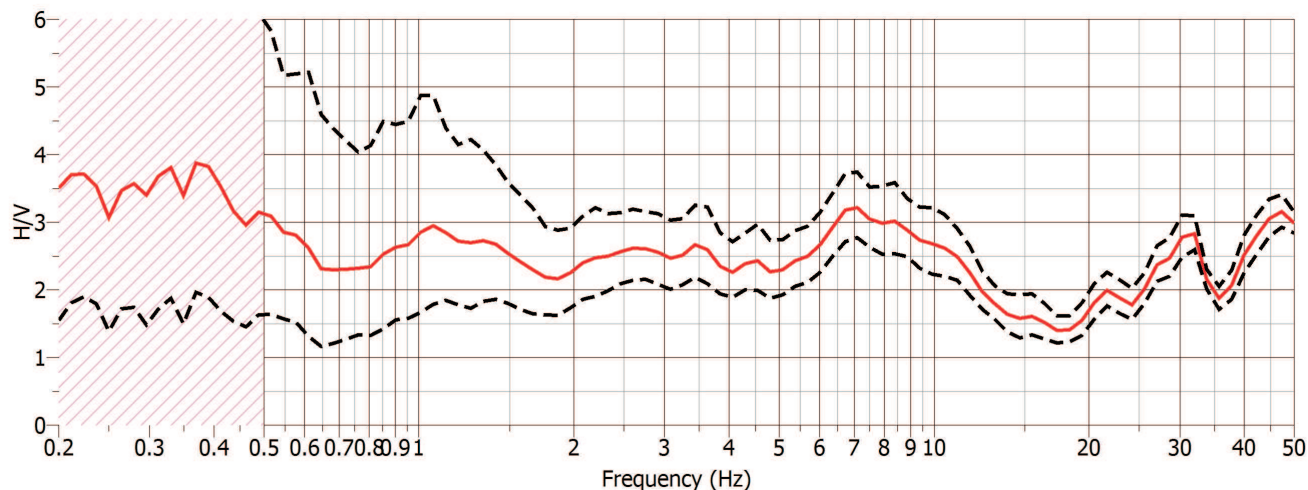
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



COMUNE DI BELLUNO
Località: - Via Crepadoni

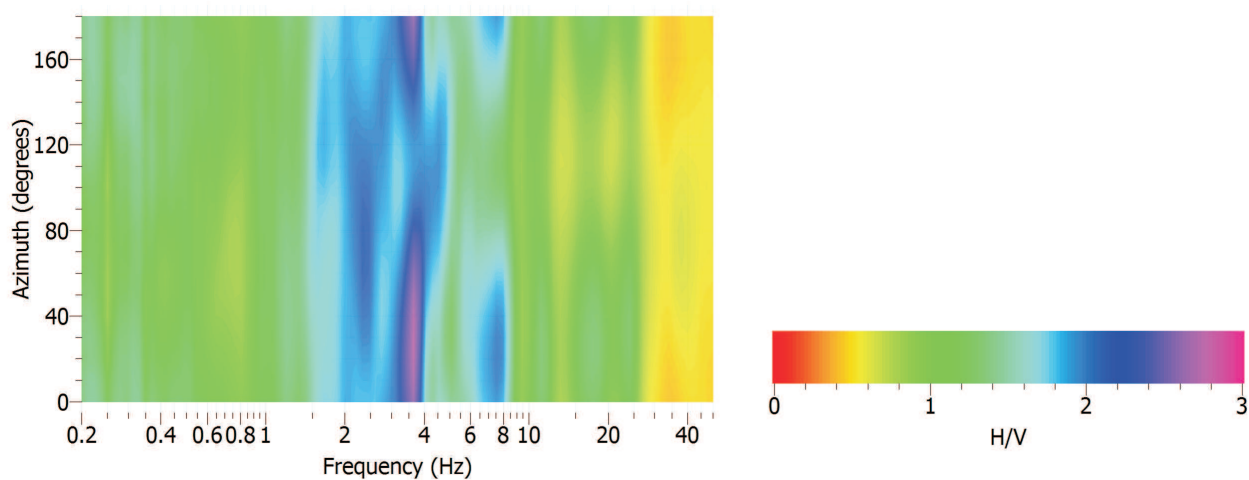
Stazione di misura HVSR N° 4

File: MT_20180813_151751.SAF

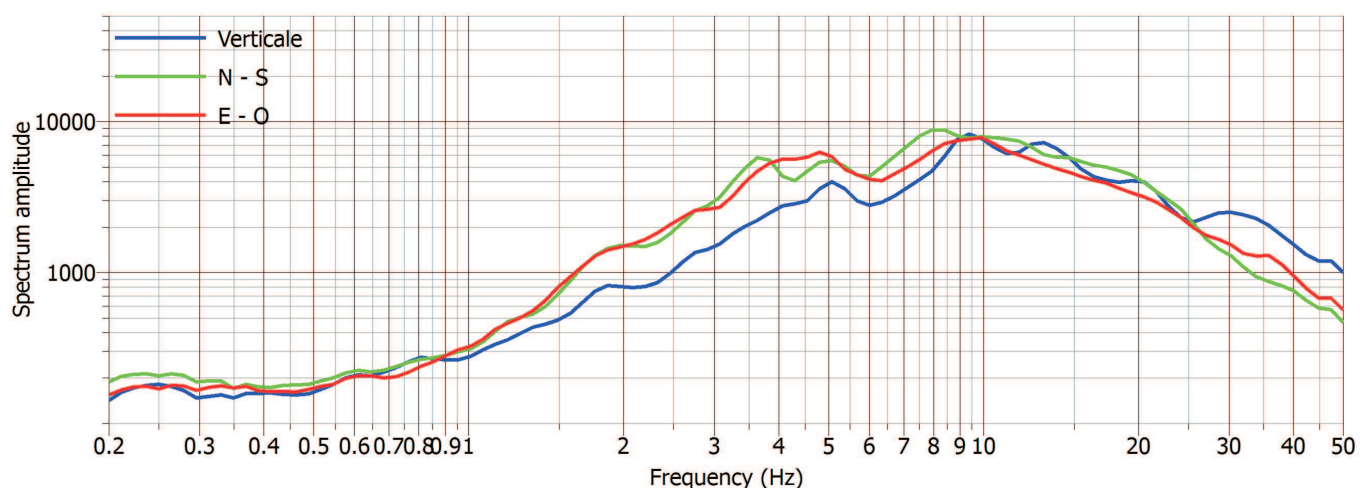
Data acquisizione: 13.08.2018

Durata tempo registrazione: 21 minuti

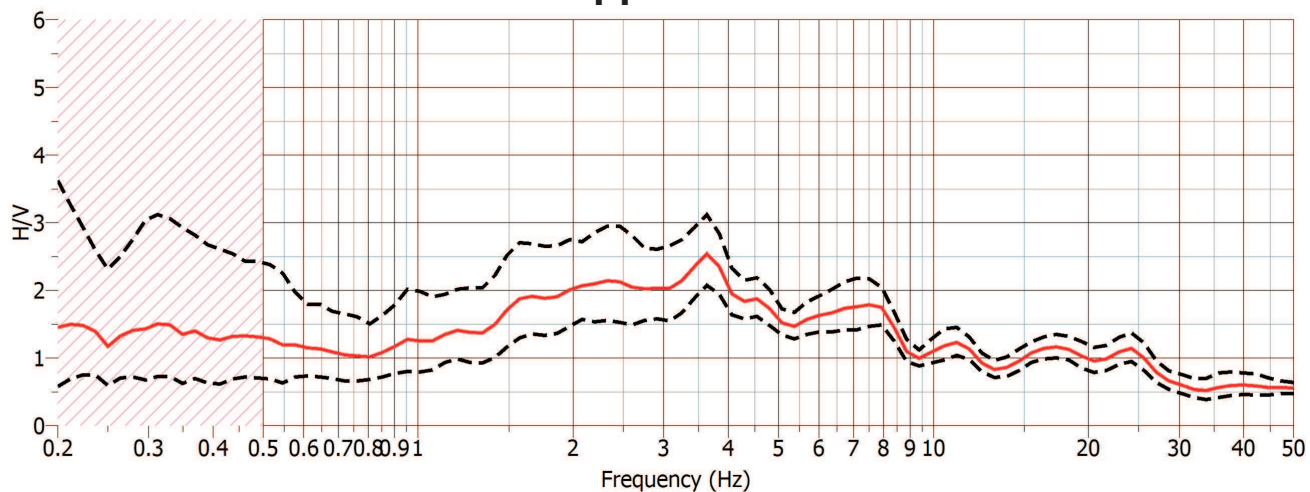
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V

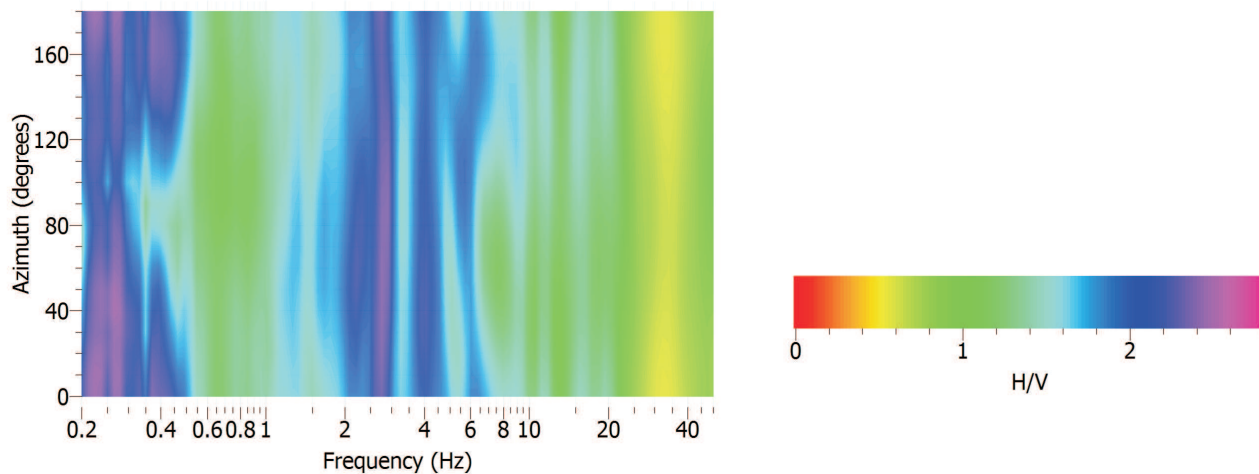


COMUNE DI BELLUNO
Località: - Piazza Duomo

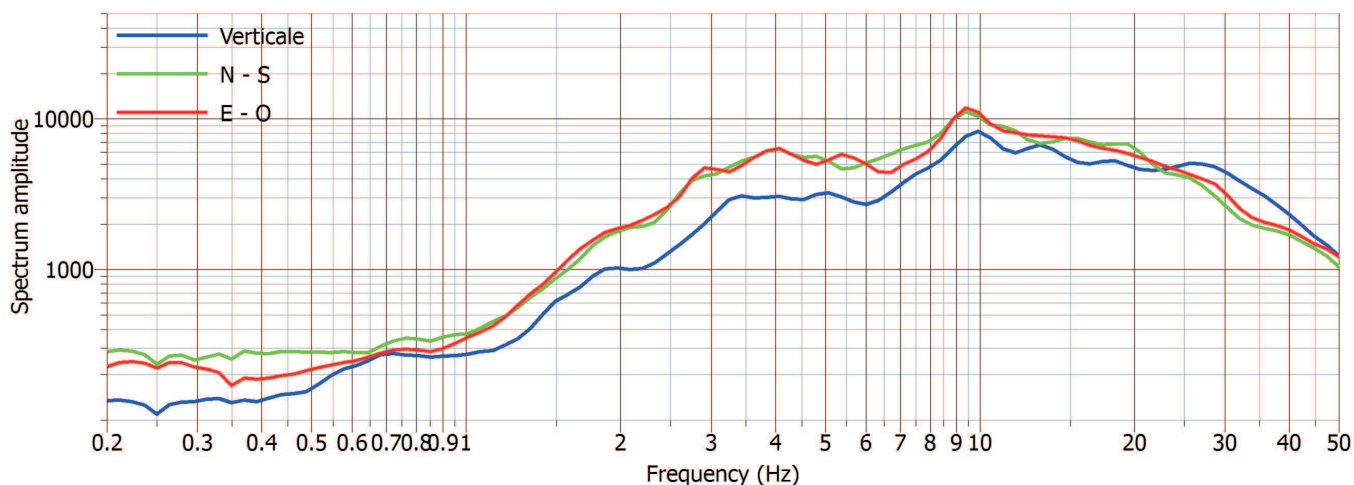
File: MT_20180817_144457.SAF
Data acquisizione: 17.08.2018
Durata tempo registrazione: 17 minuti

Stazione di misura HVSR N° 5

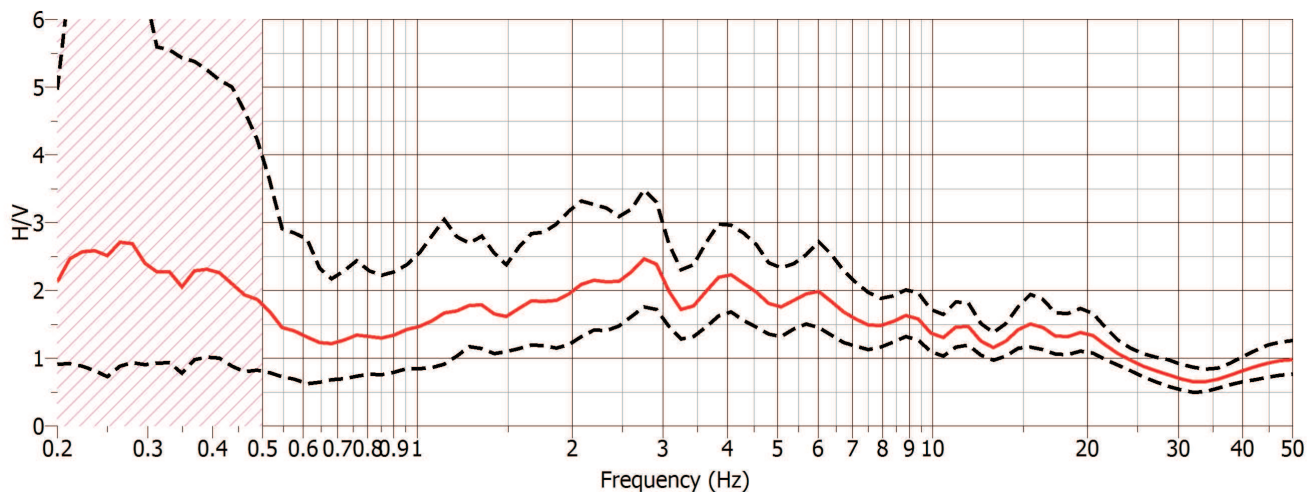
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V

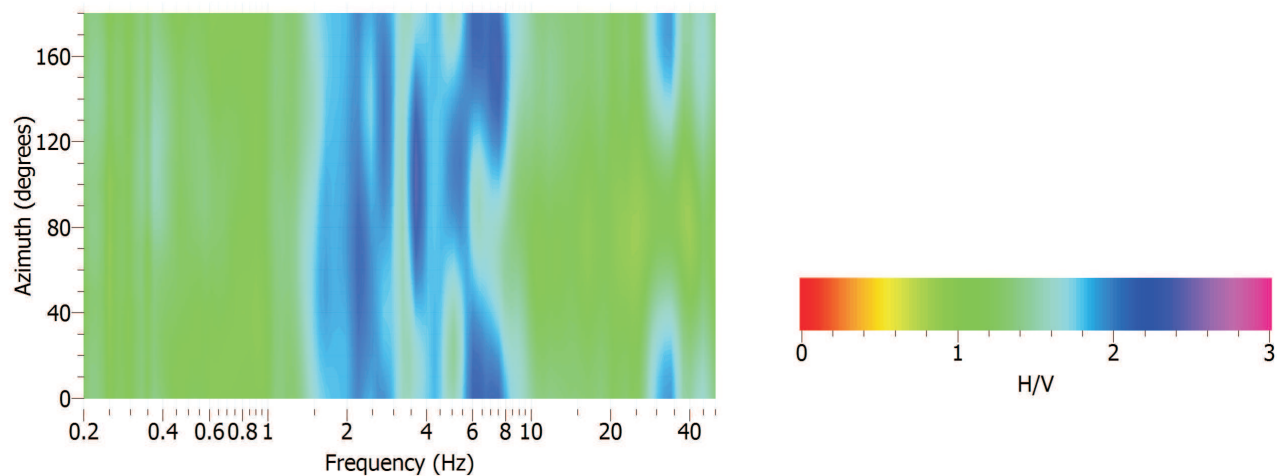


COMUNE DI BELLUNO
Località: - Via Catullo Tomaso

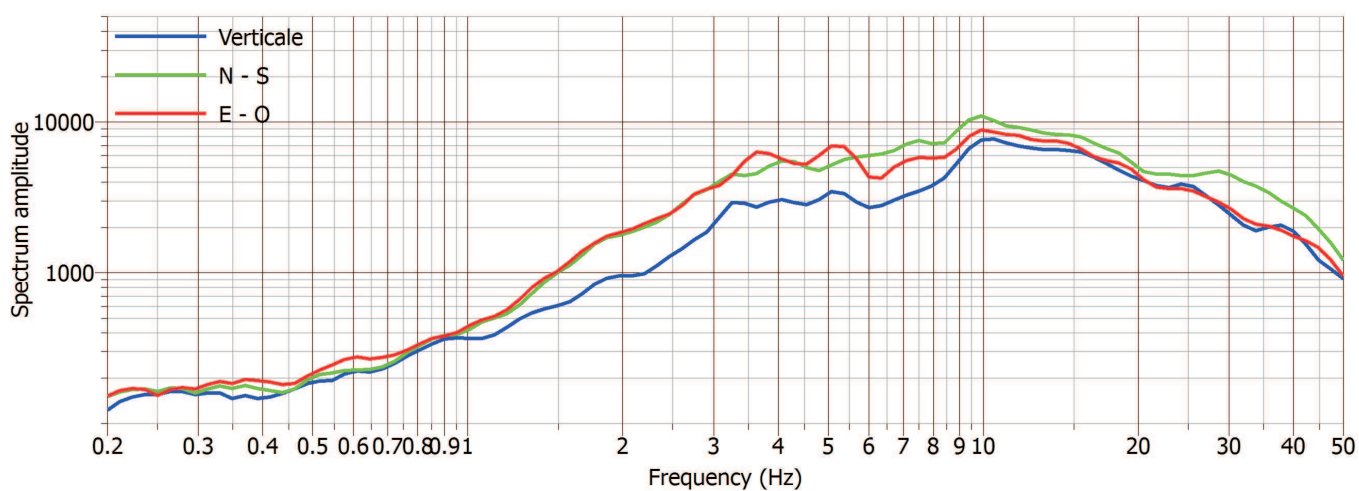
Stazione di misura HVSR N° 6

File: MT_20180813_163156.SAF
Data acquisizione: 13.08.2018
Durata tempo registrazione: 25 minuti

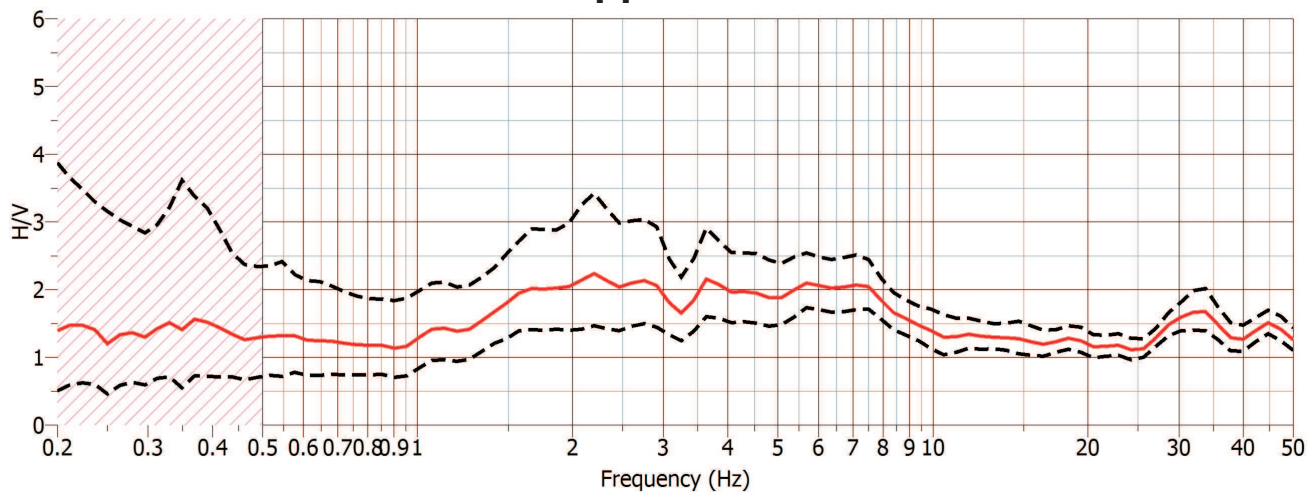
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



COMUNE DI BELLUNO
Località: - Piazza S. Lucano

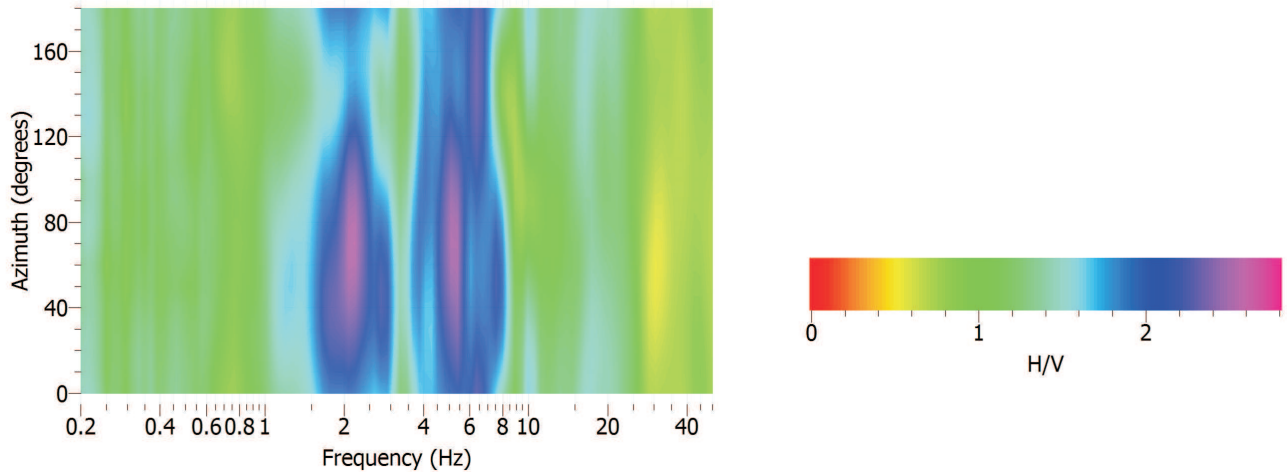
Stazione di misura HVSR N° 7

File: MT_20180813_171652.SAF

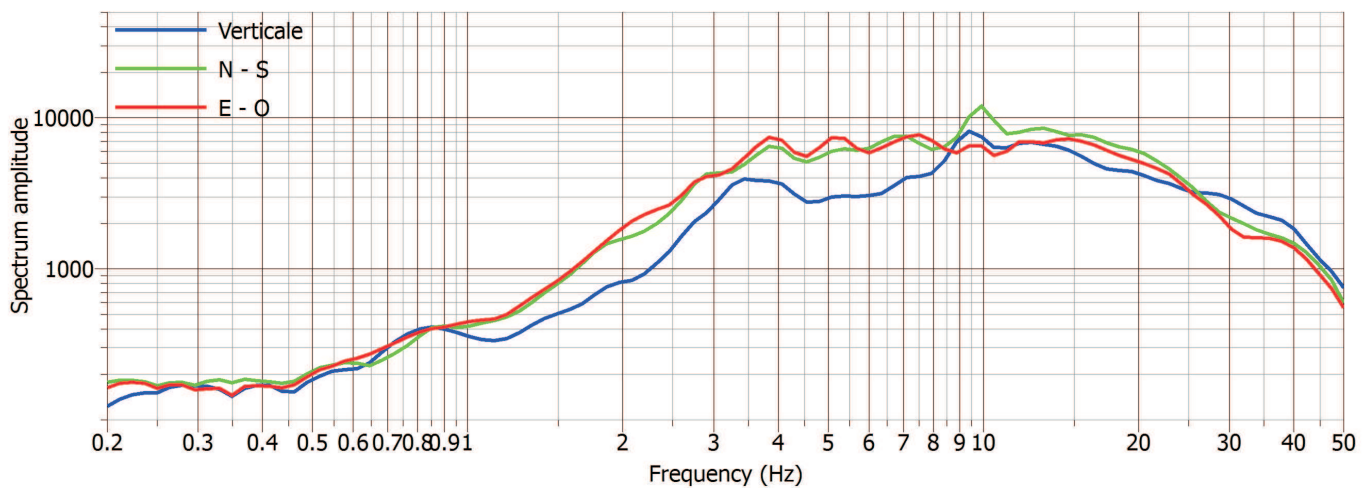
Data acquisizione: 13.08.2018

Durata tempo registrazione: 21 minuti

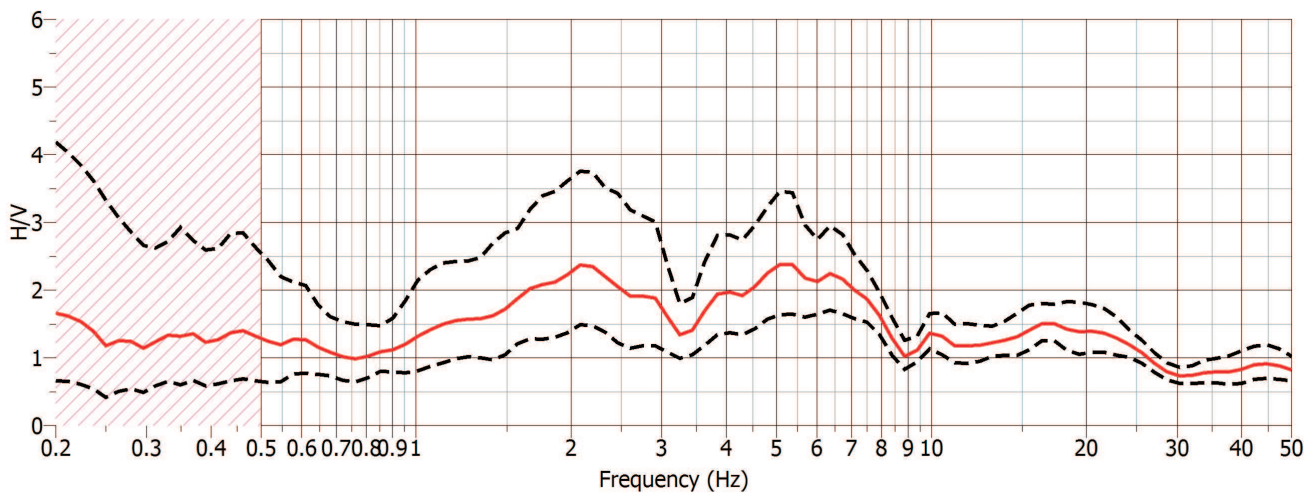
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



COMUNE DI BELLUNO

Località: - Via Ripa

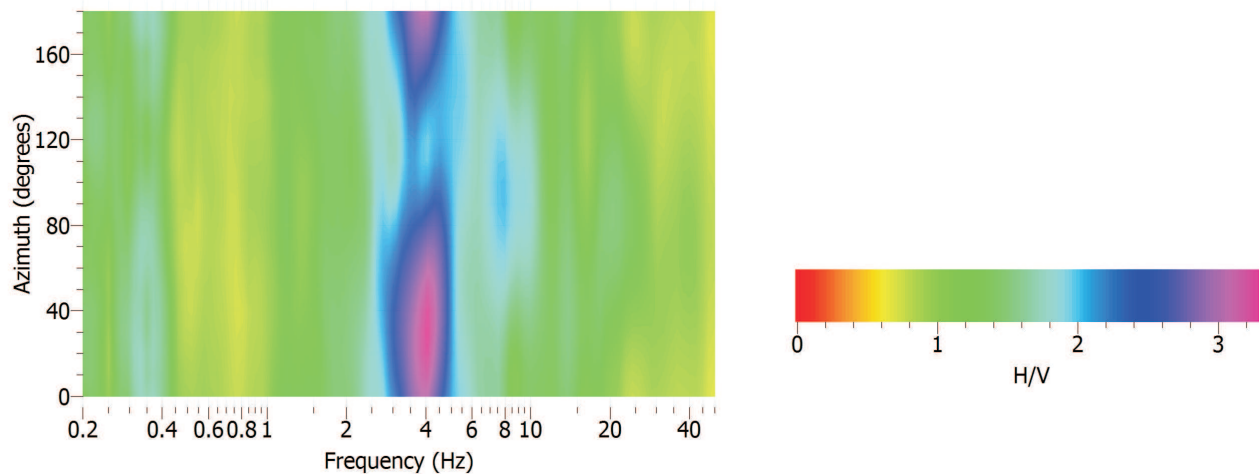
Stazione di misura HVSR N° 8

File: MT_20180813_180322.SAF

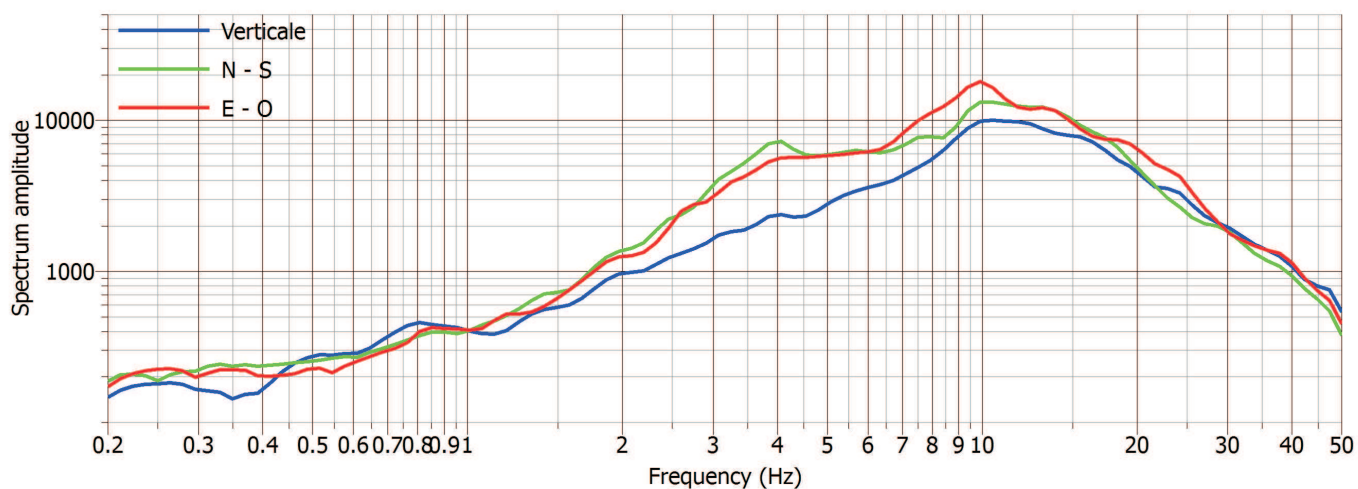
Data acquisizione: 13.08.2018

Durata tempo registrazione: 14 minuti

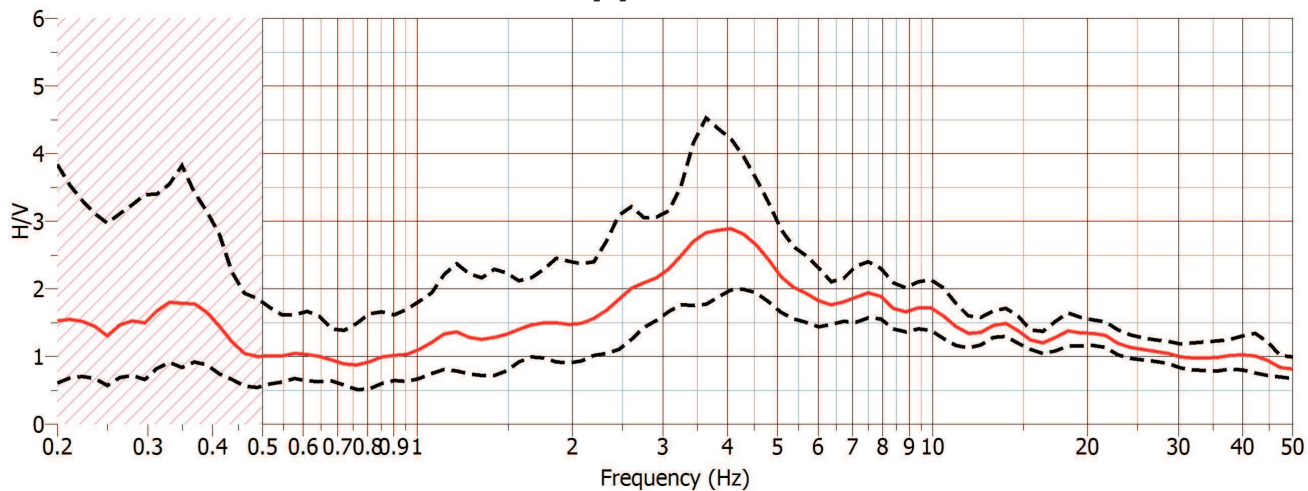
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



COMUNE DI BELLUNO

Località: - Via Caffi

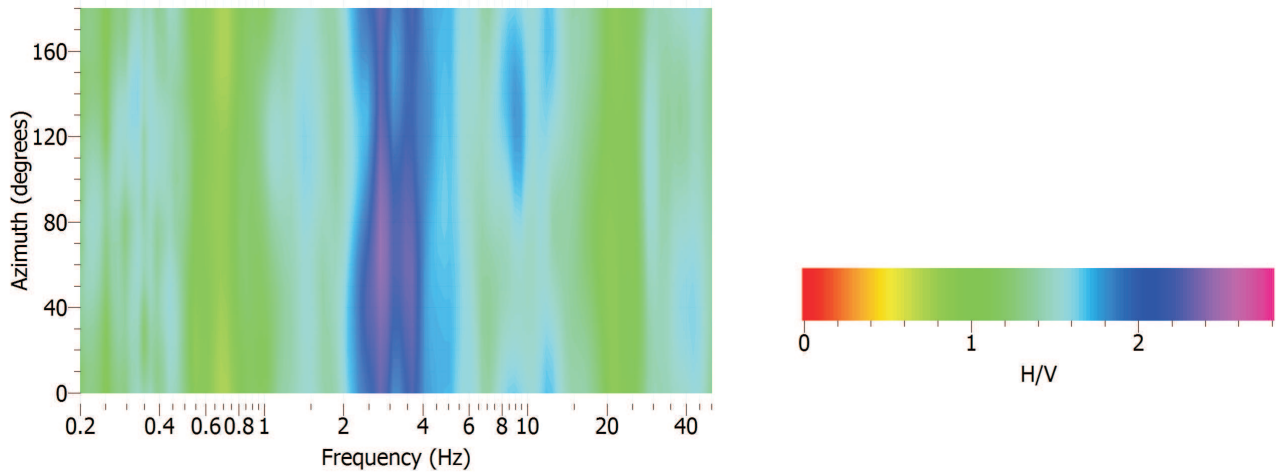
Stazione di misura HVSR N° 9

File: MT_20180817_125503.SAF

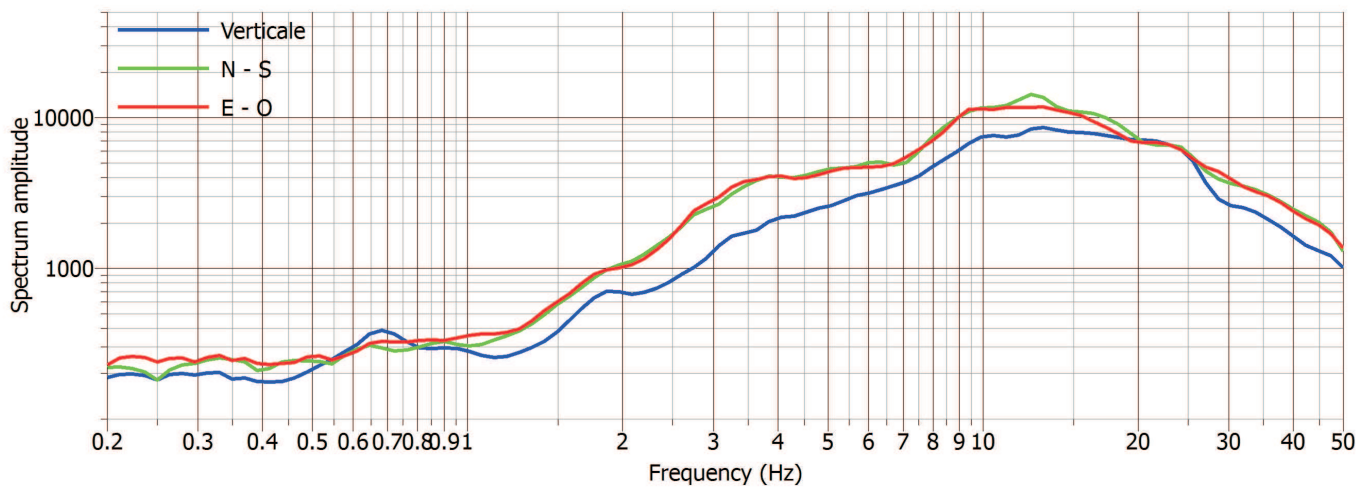
Data acquisizione: 17.08.2018

Durata tempo registrazione: 17 minuti

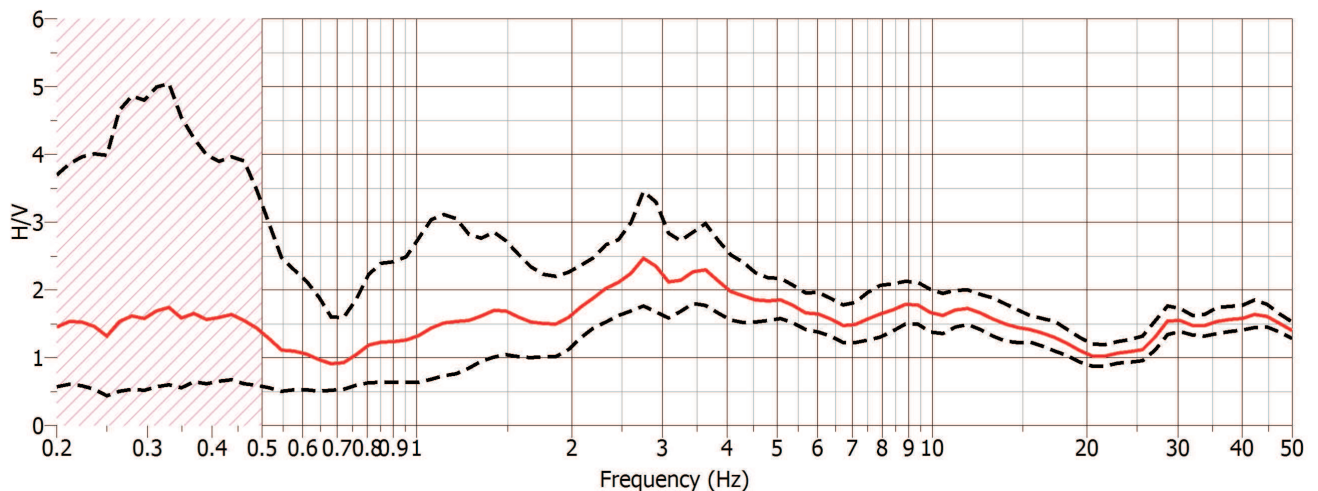
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



COMUNE DI BELLUNO
Località: Palazzo Crepadona

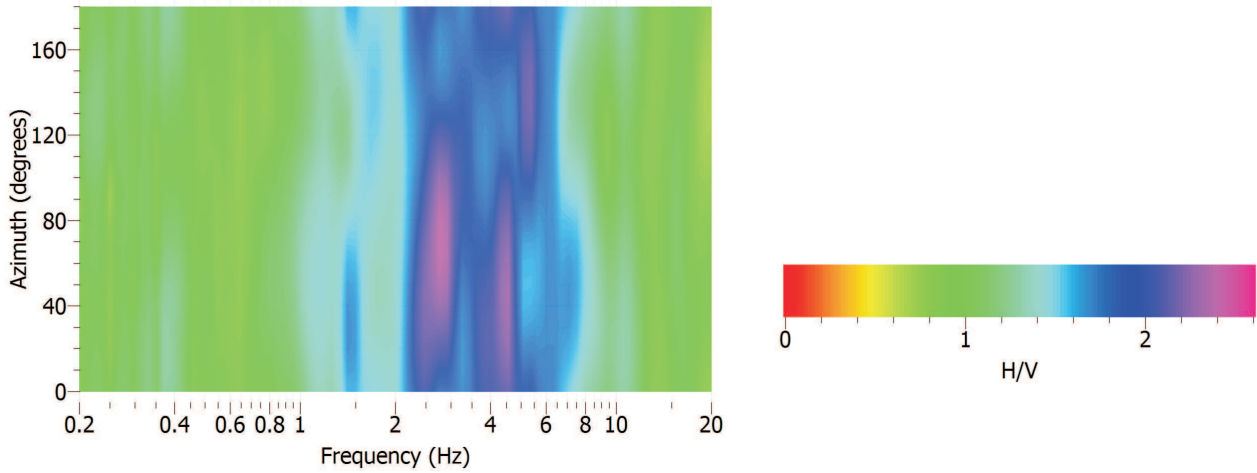
Stazione di misura HVSR N° 10

File: MT_20180829_122810.SAF

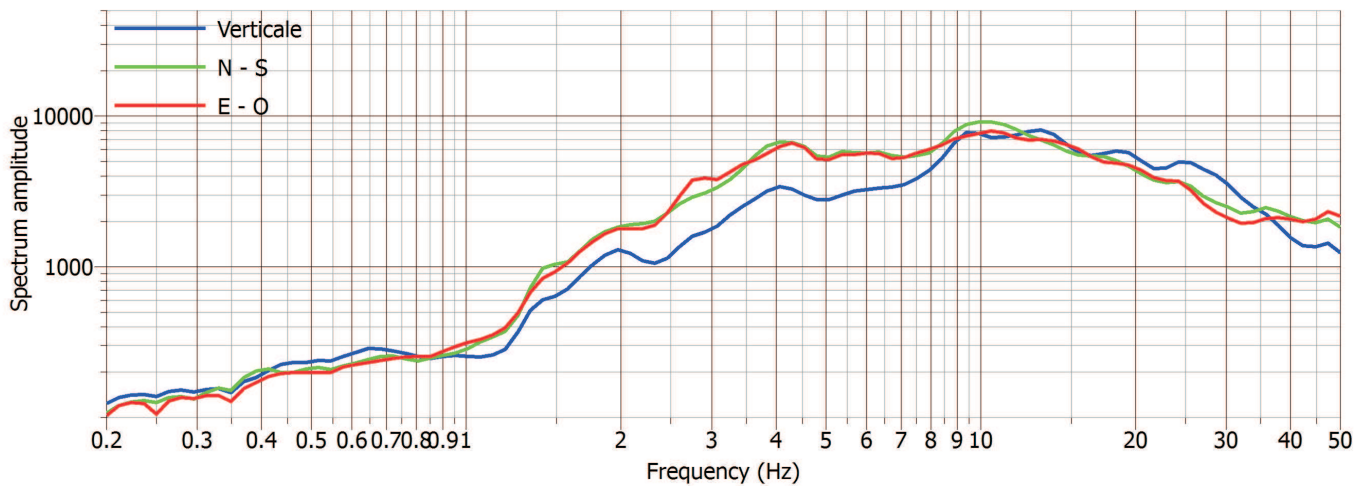
Data acquisizione: 29.08.2018

Durata tempo registrazione: 21 minuti

Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V

