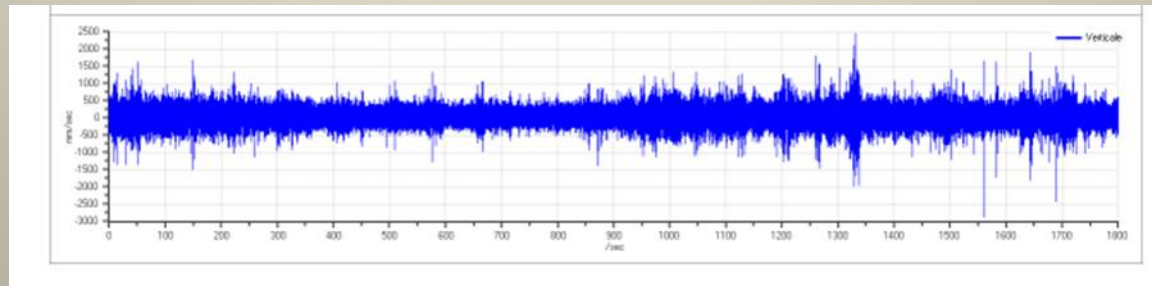




# LE VIBRAZIONI NEI CANTIERI: DALLA PROGETTAZIONE AL MONITORAGGIO



**LA GALLERIA TURISTICA DELLE GROTTI DI VILLANOVA**  
**difficile equilibrio tra vibrazioni e speleotemi**

*Dott. Geol. Andrea Mocchiutti*

Milano, 14 aprile 2015

# Gli spaghetti

- Sono delle stalattiti formate da un tubo naturale di concrezione di calcite, all'interno della quale circola l'acqua di infiltrazione (fistolosa)
- Diametro esterno tra i 5 e i 10 mm
- Hanno un canale centrale continuo del diametro da 2 a 6 mm
- Possono essere lunghi fino a 6 m; (nel caso in esame max. 2,5)

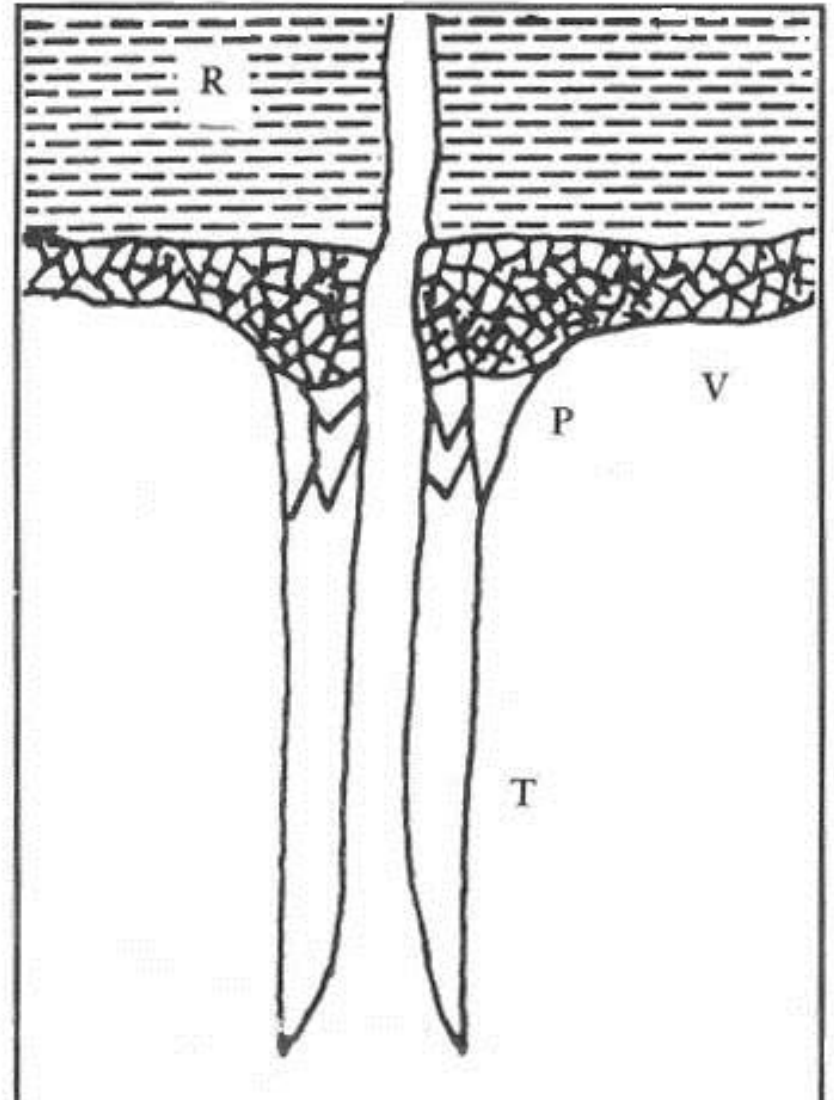




**GEOMOK**  
GEOLOGY | ENGINEERING | ENVIRONMENT

Geomok S.r.l.  
Via Chisimaio, 141 33100 Udine (UD) Tel./Fax 0432 501628  
C.F./P.I./R.I. 02583570300 Cap.Soc. 40.000,00 € REA UD-272264  
[www.geomok.it](http://www.geomok.it) [info@geomok.it](mailto:info@geomok.it)

- R = roccia
- V = velo di calcite che ricopre la parete
- P = collare policristallino (formato da più cristalli incollati e diversamente orientati) alla base della concrezione
- T = tubo monocristallino (formato da un'unica struttura cristallina continua di calcite – carbonato di calcio neutro,  $\text{CaCO}_3$  – o, raramente, di aragonite)



# Il problema

- A Villanova, per ampliare il percorso turistico già esistente all'interno delle grotte, abbiamo realizzato una galleria che ora costituisce l'uscita di un percorso circolare

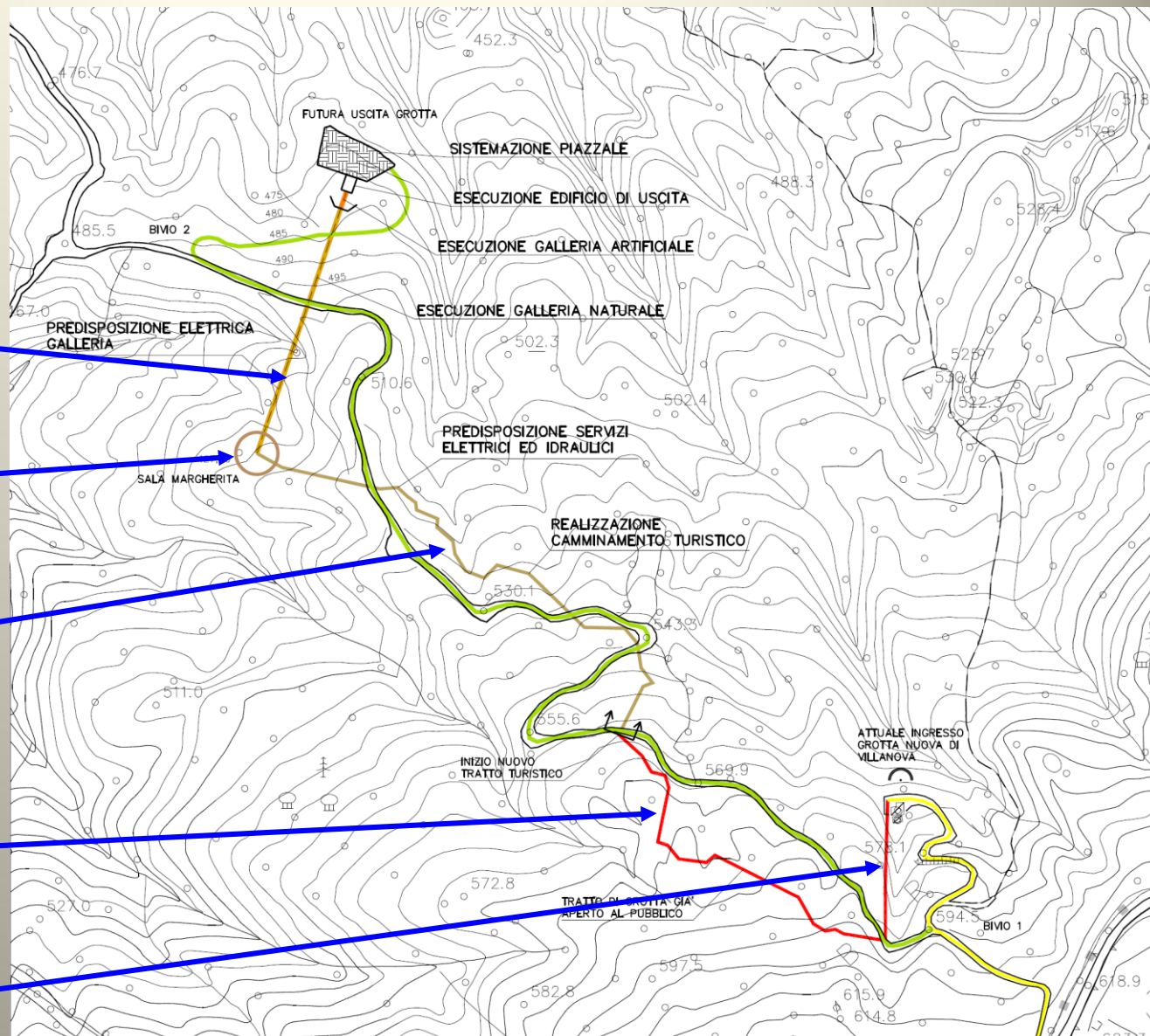
**Costruzione  
galleria di uscita**

**Monitoraggio  
vibrometrico  
e ambientale**

**Prolungamento  
percorso  
turistico**

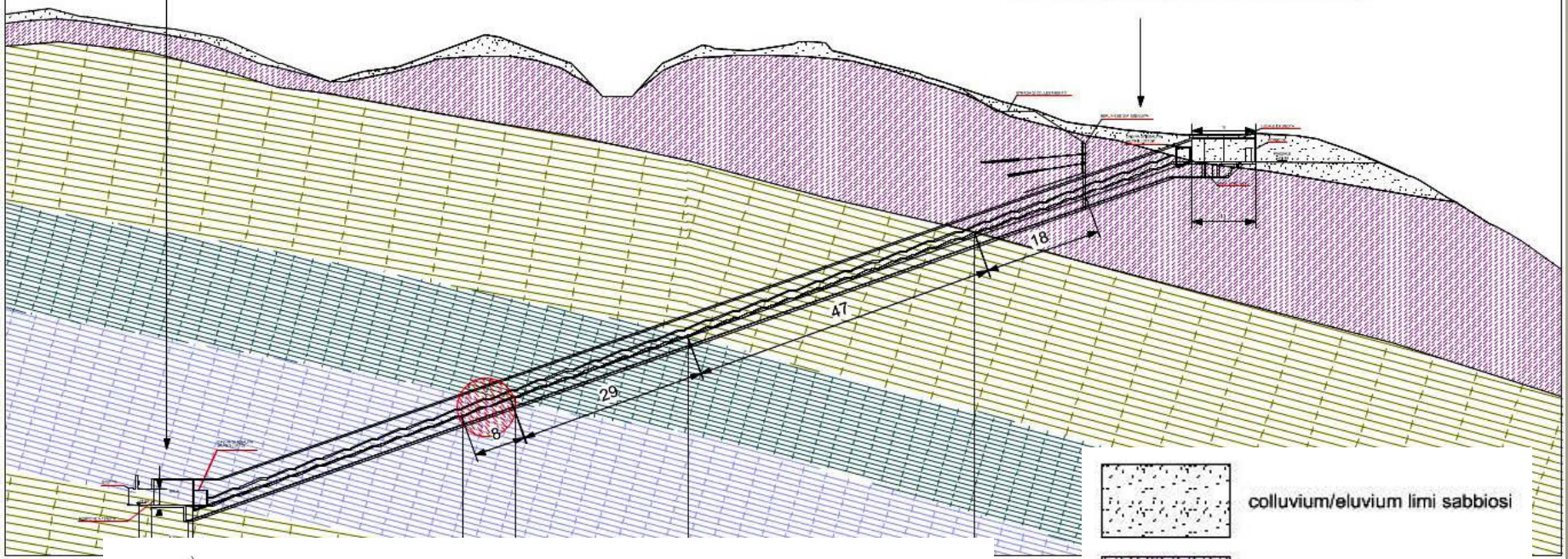
**Percorso  
turistico già  
attivo**

**Galleria  
esistente -  
ingresso**

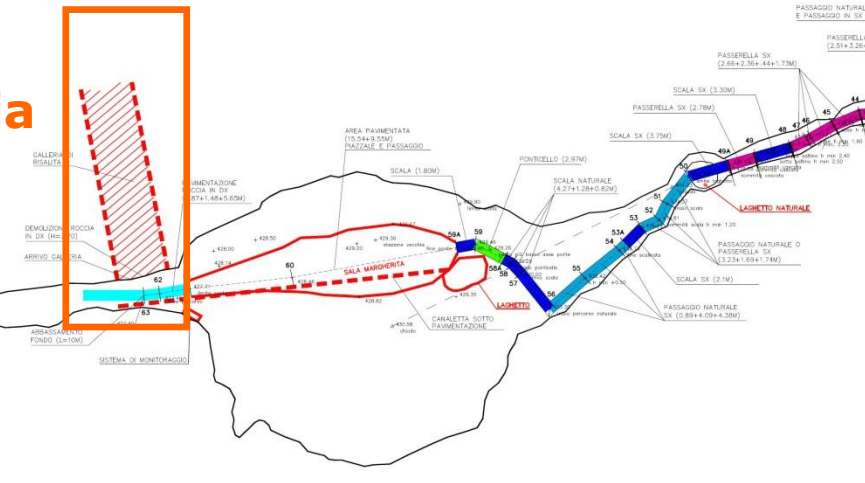


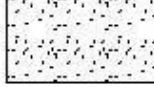





STAZIONE MONITORAGGIO VIBROMETRICO FISSO  
ALL'INTERNO DELLA CAVITA'

STAZIONE DI MONITORAGGIO VIBROMETRICO  
IN ASSE GALLERIA SULLA VERTICALE DELLA VOLATA



**Galleria  
uscita**



-  colluvium/eluvium limi sabbiosi
-  flysch molto alterato  
(V<sup>a</sup> categoria Bieniawski)
-  flysch marnoso-arenaceo  
(III<sup>a</sup> categoria Bieniawski)
-  calcarenite  
(II-III<sup>a</sup> categoria Bieniawski)
-  breccia calcarea  
(I<sup>a</sup> categoria Bieniawski)
-  zona fratturata

- Per lo scavo della galleria è stato deciso, dopo lunga discussione, di utilizzare l'esplosivo, che produce delle onde meccaniche che si trasmettono nel terreno e che vanno a scuotere la grotta e tutto ciò che sta al suo interno
- Tra le costruzioni naturali della grotta, quelle che sono sembrate le più delicate e sensibili alle esplosioni sono proprio gli spaghetti
- In letteratura non abbiamo trovato nulla che ci desse delle indicazioni su quale livello di esplosioni e delle vibrazioni da esse indotte fosse potenzialmente dannoso per gli spaghetti

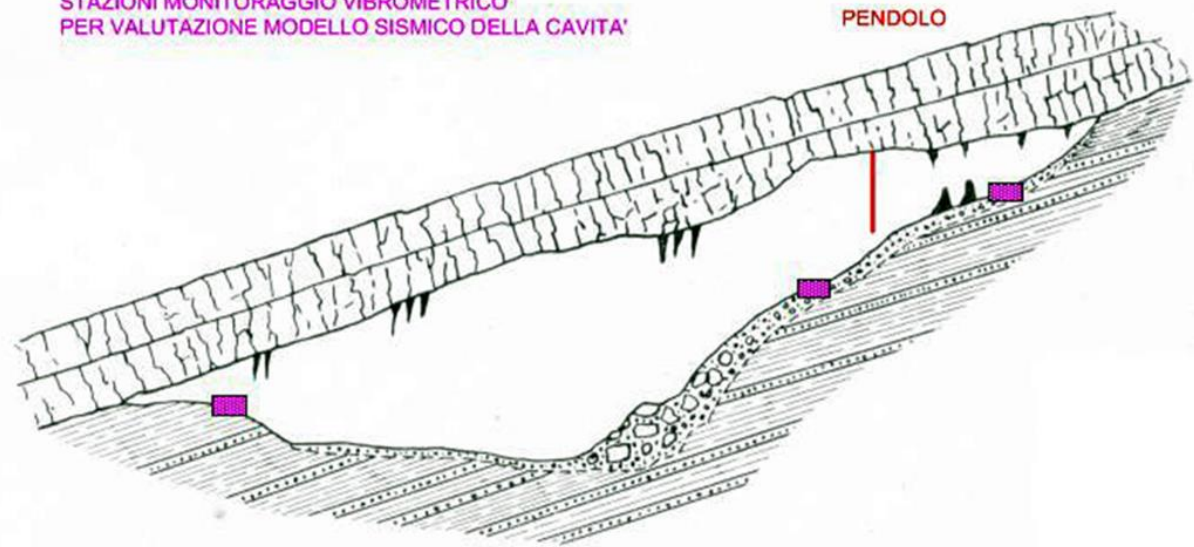
- E allora, “da bravi ingegneri e geologi”, abbiamo deciso da un lato, di monitorare le vibrazioni che si trasmettono in grotta a causa delle esplosioni e, dall’altro, di modellare in modo teorico gli spaghetti per cercare di capire quali vibrazioni sono, almeno teoricamente, in grado di romperli.

# Il monitoraggio

- Scopo: comprendere la vibrazione indotta in grotta in funzione della quantità di esplosivo utilizzata, della sequenza dei tempi di innesco e della durata totale dello scoppio.
- Sono state misurate le velocità di vibrazione delle particelle in grotta correlate alle frequenze mediante apparecchiature tipiche del rilievo vibrometrico (3D: V,L,T, digitali, con campionamento di 2048 c/s) accoppiate alla struttura della grotta (bancone calcarenitico) all'interno della grotta (3 strumentazioni a pavimento per permettere una stima dell'attenuazione del segnale con la distanza)

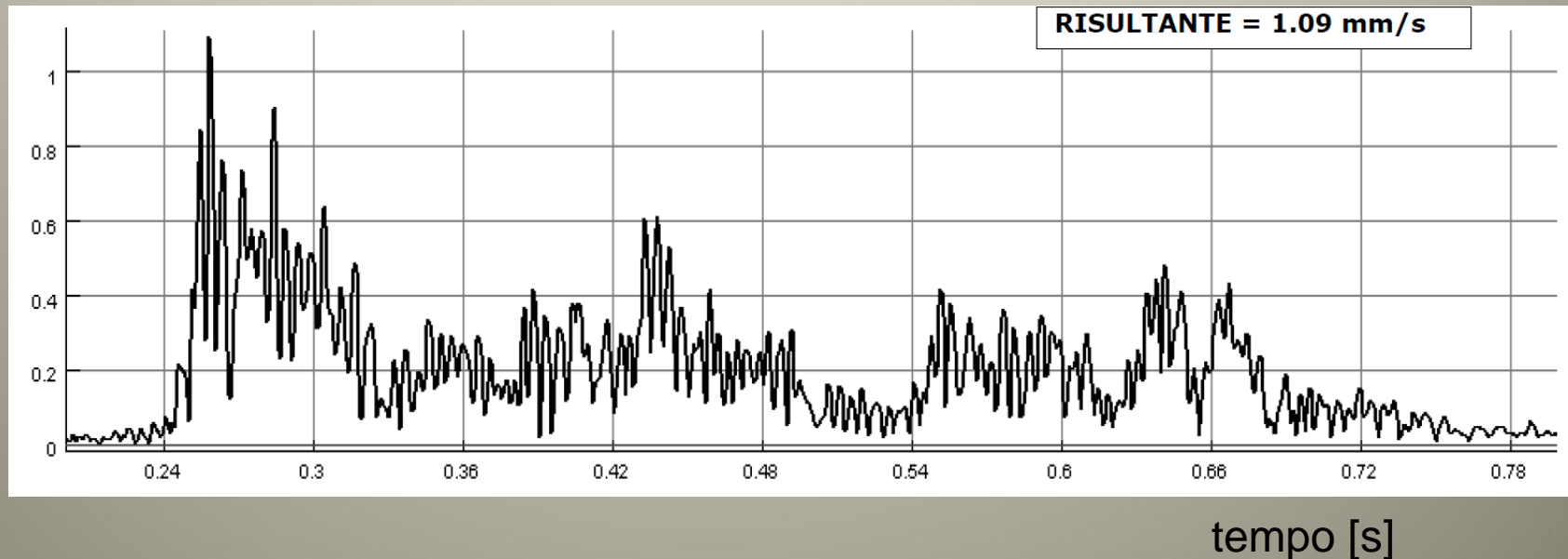


STAZIONI MONITORAGGIO VIBROMETRICO  
PER VALUTAZIONE MODELLO SISMICO DELLA CAVITA'

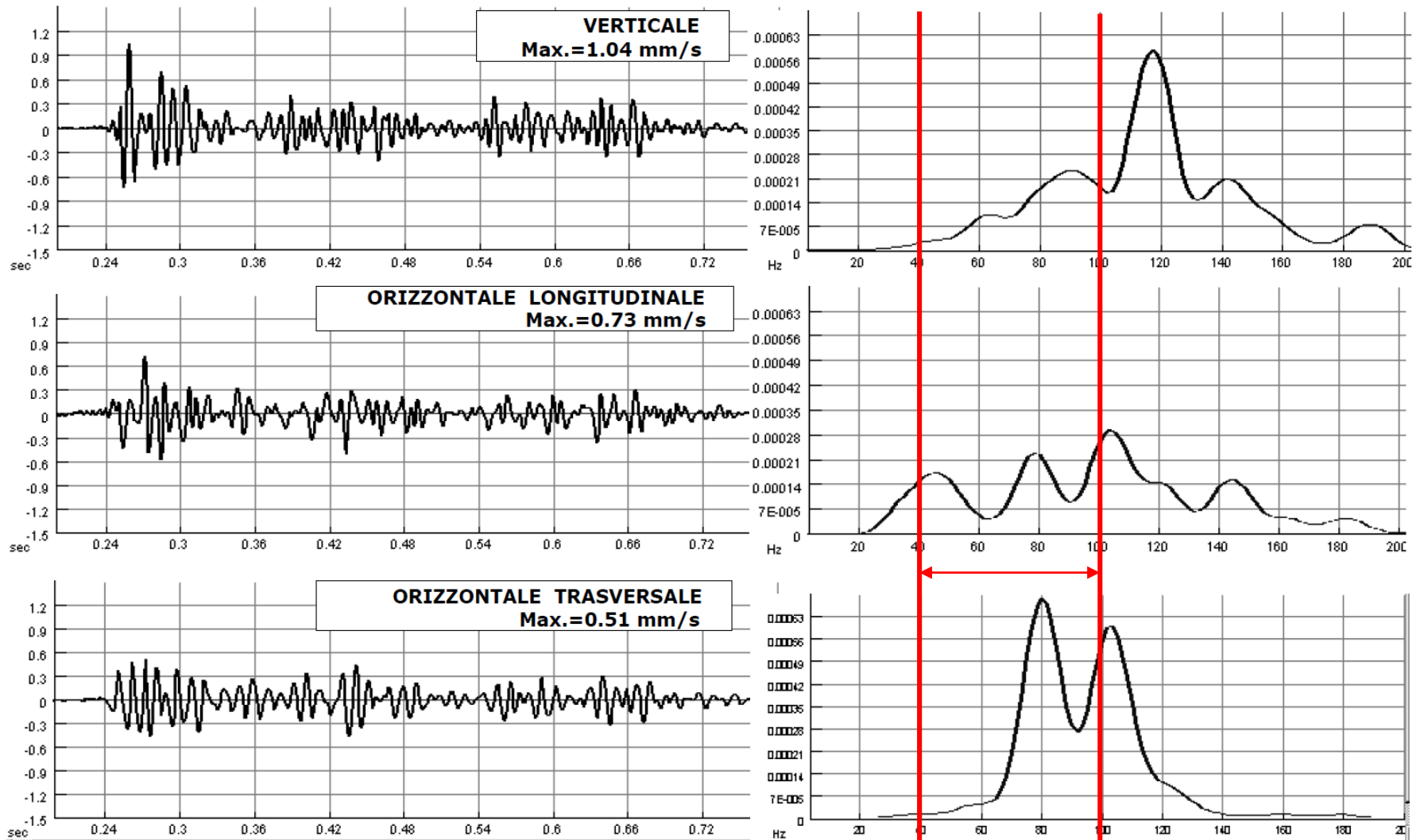


SEZIONE MORFOLOGICA SALA "REGINA MARGHERITA"  
(tratta da "La regione carsica di Villanovain Friuli", E. Feruglio)

- Durante lo scoppio viene misurata la velocità e la relativa frequenza delle particelle di terreno, con una velocità minima di 0,25 mm/s (soglia strumentale) e una frequenza di campionamento tale da ottenere una risoluzione in frequenza nello spettro del segnale di 0,2 Hz (segnali filtrati con filtro passa-banda tra 8 e 200 Hz)
- Grazie alle misure iniziali si è compreso che il segnale significativo nel terreno aveva una durata di circa 0,500 s, con il massimo di velocità raggiunto nella fase iniziale e con una durata di circa 0,060 s



# funzione di risposta



## GROTTA di VILLANOVA – 22 LUGLIO 2011: SCAVO DELLA GALLERIA DI ACCESSO (AD ESPLOSIVO)

GEOMOK Srl (Udine): Controllo delle sollecitazioni indotte

Ubicazione del p.to di misura: ENTRO la GROTTA

Strumentazione: InstanTel Inc., Canada mod. MiniMate Plus (no.Inv. BE15913) + GEO V,L,T

Acquisizione: freq. (c/s):2048 – soglia di trigger (mm/s):0.25 - finestra di registrazione (s): 2

**Date/Time** Tran at 09:55:38 October 12, 2011  
**Trigger Source** Geo: 0.250 mm/s  
**Range** Geo : 31.7 mm/s  
**Record Time** 3.0 sec at 2048 sps  
**Job Number:** 1

**Serial Number** BE15913 V 10.20-8.17 MiniMate Plus  
**Battery Level** 6.9 Volts  
**Unit Calibration** Uninitialized  
**File Name** \_\_TEMP.EVT

### Notes

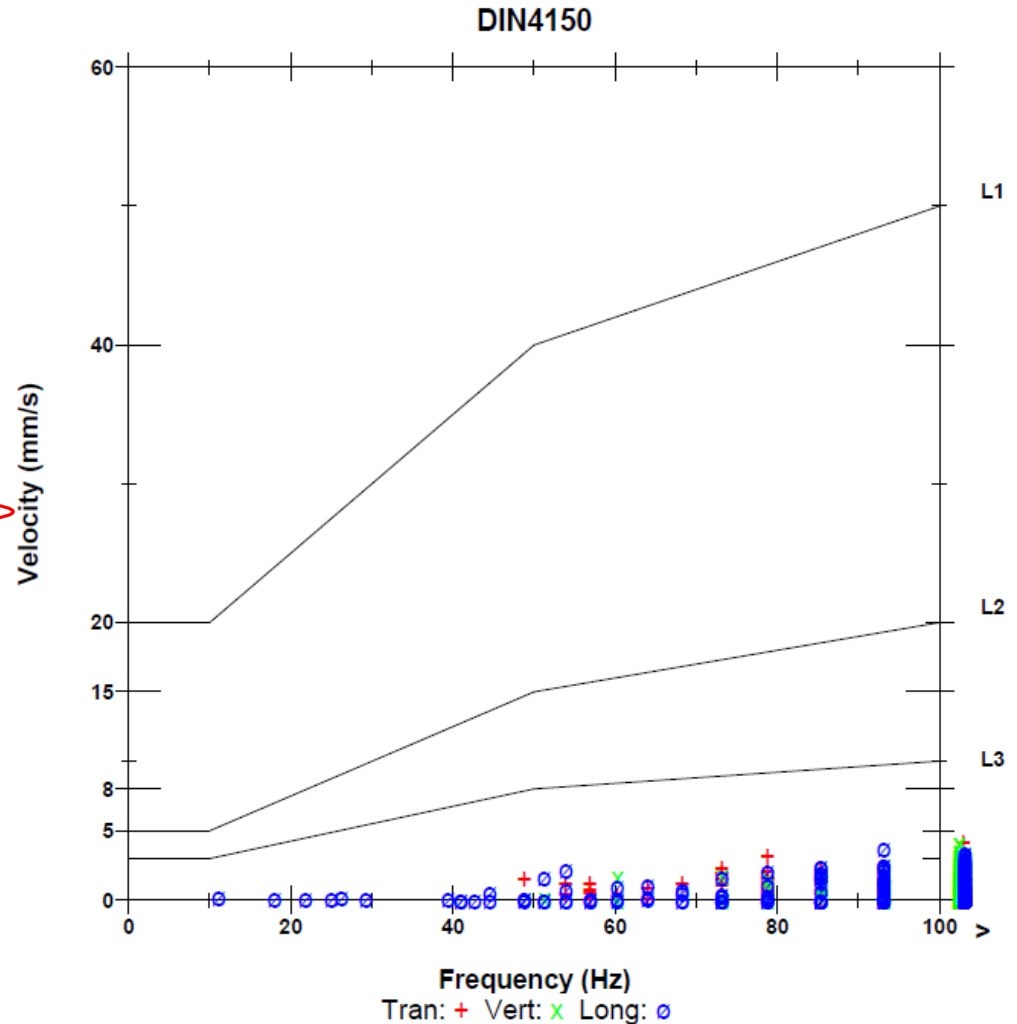
**Location:**  
**Client:** Prevedello galleria Villanova  
**User Name:** Geomok S.r.l.  
**General:**

### Extended Notes

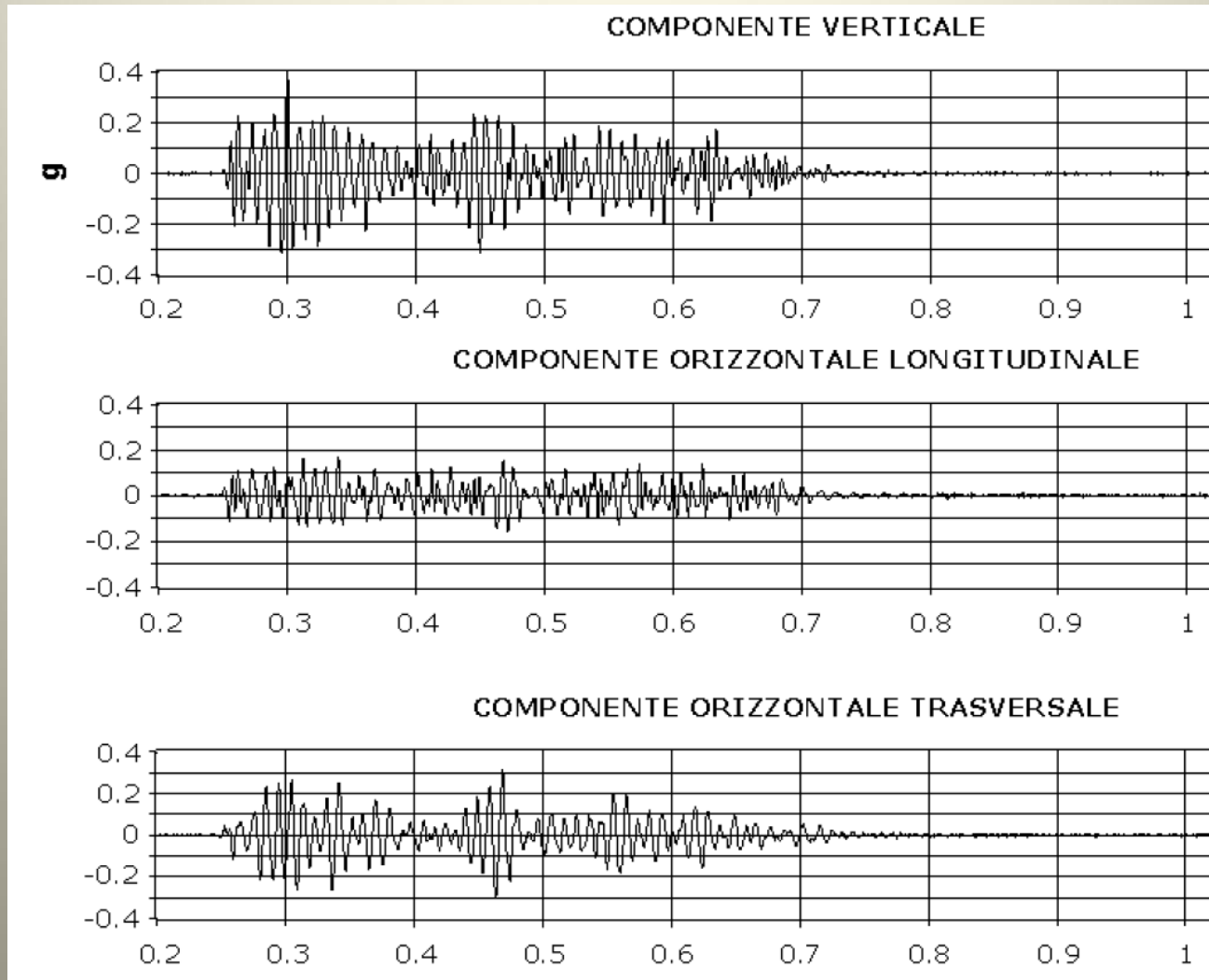
**Microphone** Linear Weighting  
**PSPL** 1.25 pa.(L) at 0.324 sec  
**ZC Freq** 102 Hz  
**Channel Test** Check (Freq = 0.0 Hz Amp = 0 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	4.19	4.10	3.73	mm/s
ZC Freq	102	128	93	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.321	0.027	0.324	sec
Peak Acceleration	0.245	0.394	0.288	g
Peak Displacement	0.00645	0.00504	0.00578	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.5	7.5	Hz
Overswing Ratio	4.1	3.8	4.1	

Peak Vector Sum 4.44 mm/s at 0.321 sec

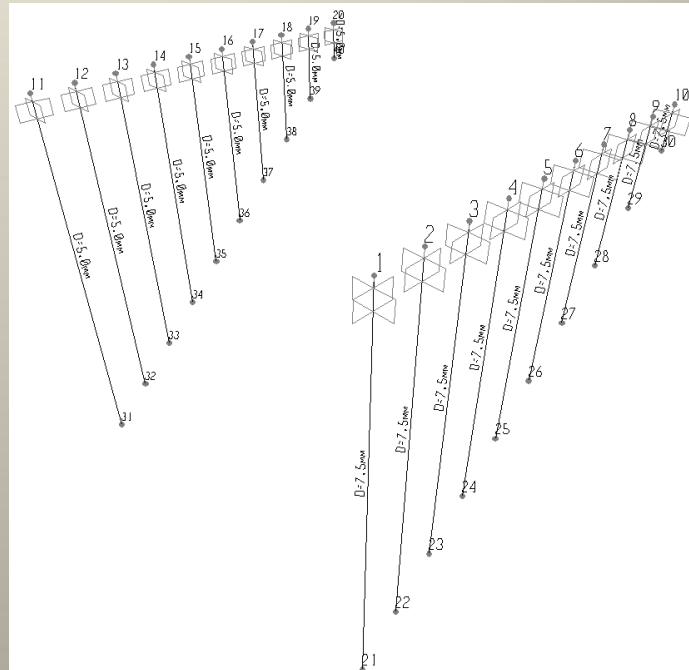


- in termini di accelerazione:

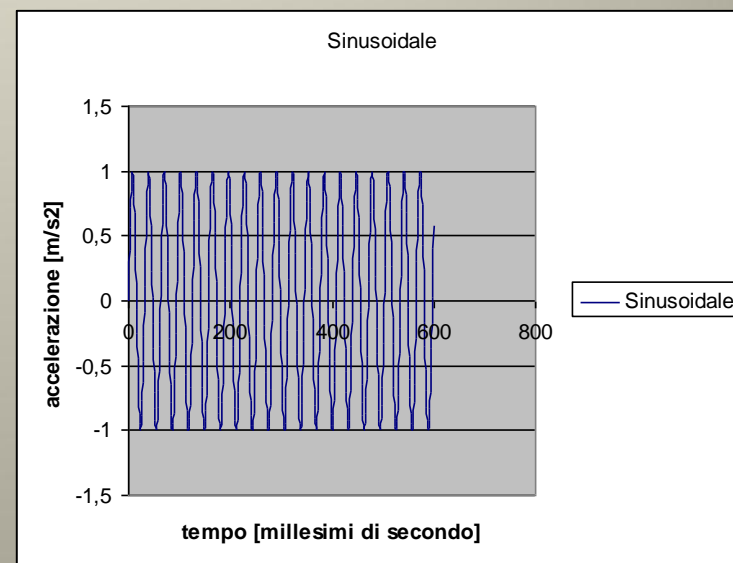
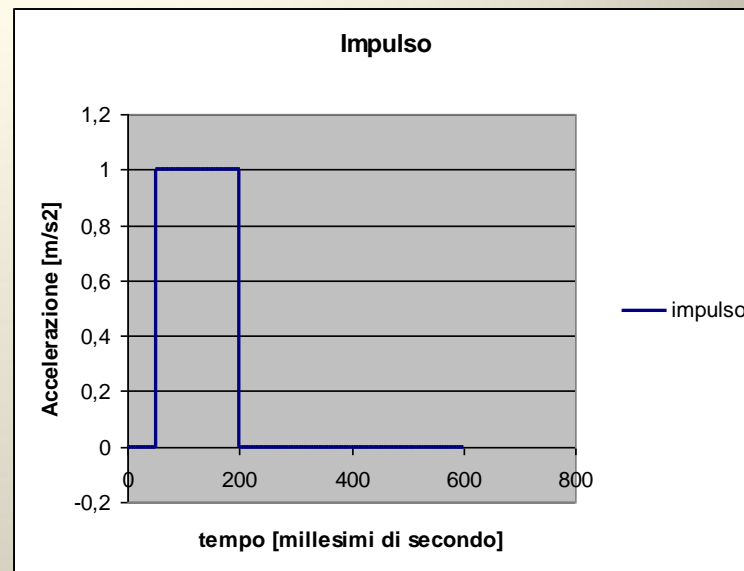


# Il modello teorico

- Scopo: comprendere quale livello di accelerazione può mettere in crisi gli spaghetti provocando in essi un momento flettente pari a quello di rottura
- Modello fem: cilindretti verticali incastrati alla base lunghi da 10 a 100 cm del diametro esterno di 5 e 7, 5 mm e spessore delle pareti di, rispettivamente, 0,75 e 1,00mm
- Smorzamento pari al 1%
- Parametri meccanici:
  - $\gamma$  = 27 kN/m<sup>3</sup>
  - $E$  = 40000 MPa
  - $\sigma_{\text{compressione}}$  = 50 MPa
  - $\sigma_{\text{trazione}}$  = 7 MPa

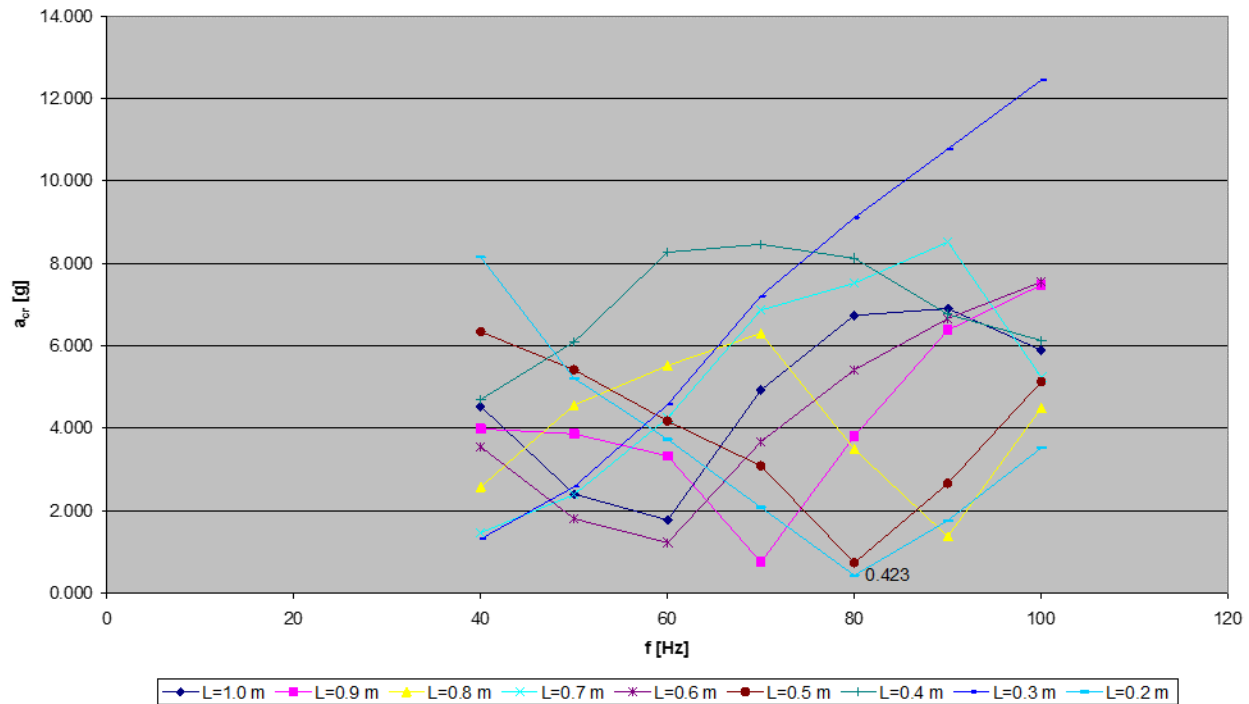


- 2 tipi di forzanti:
- Impulsivo a gradino (8 forzanti a durata variabile da 1/1000 s a 600/1000 s e accelerazione pari a 1 m/s<sup>2</sup>)
- Sinusoidale (7 forzanti a frequenza variabile da 40 a 100 Kz, della durata di circa 0,6s e accelerazione pari a 1 m/s<sup>2</sup> )
- L'analisi è di tipo time-history lineare con sovrapposizione modale



- Caso per caso e in funzione delle frequenze proprie del singolo elemento e delle sue caratteristiche geometriche e meccaniche, si è determinata l'accelerazione che porta alla rottura flessionale e la frequenza relativa
- Il taglio nell'elemento non è risultato dimensionante
- Sono stati estratti dei grafici che illustrano lo spettro delle accelerazioni che, a seconda della lunghezza dell'asta e della frequenza mettono in crisi lo spaghetti.

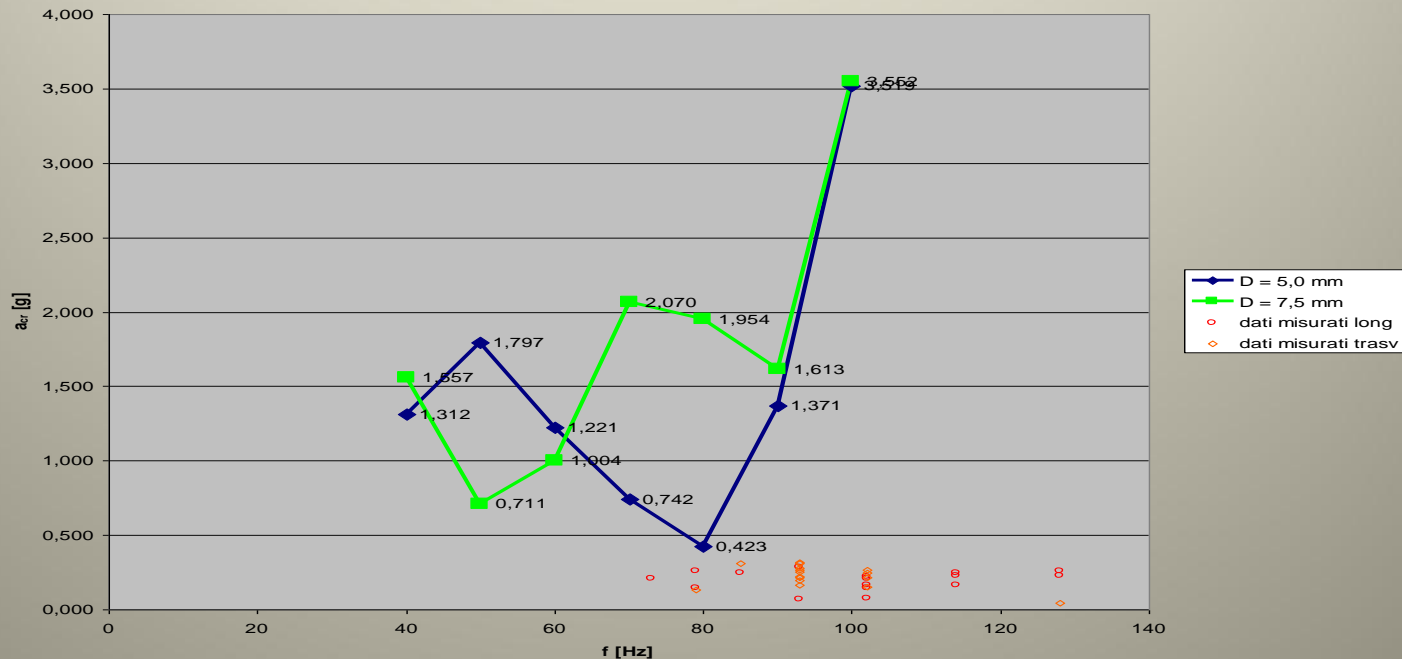
Spettro delle accelerazioni (D = 5.0 mm)



# Risultato operativo

- Abbiamo costruito dei diagrammi che, in funzione della frequenza, forniscono l'accelerazione minima orizzontale che provoca la rottura di un qualche elemento tra quelli studiati (involuppo di minimo dei grafici sopra presentati)

Spettro di minima delle accelerazioni





<http://messaggeroveneto.gelocal.it/udine>

Sei in: UDINE > CRONACA > APERTO UN NUOVO PERCORSO NELLE GROTTE...

## Aperto un nuovo percorso nelle grotte di Villanova - Le foto

*Domenica 1 marzo si apre la stagione turistica. La visita guidata ora avrà una durata di circa 1 ora e 30 minuti e la grotta sarà aperta, per il mese di marzo, nei giorni festivi di Barbara Cimbaro*

 GROTTE DI VILLANOVA

25 febbraio 2015



464

 Condividi

4

 Tweet

0

 +1

0

 LinkedIn

