



DICAM

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

RISULTATI DELLE MISURE DI VIBRAZIONI INDOTTE DA VOLATE NELLA CAVA FARAONA TRAVEDONA MONATE (VA)

Prof. Ing. Paolo BERRY

Ordinario di Ingegneria e Sicurezza degli Scavi

Ing. Stefano BONDUÀ

Ricercatore di Ingegneria e Sicurezza degli Scavi

Bologna, 11 Luglio 2014

ALMA MATER STUDIORUM • UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

AMMINISTRAZIONE • VIALE RISORGIMENTO, 2 - 40136 BOLOGNA - ITALIA - TEL. +39 051 2093237 - 2093502 - FAX +39 051 2093253

VIA TERRACINI, 28 - 40131 BOLOGNA - ITALIA - TEL. +39 051 2090312 - FAX +39 051 2090322

www.dicam.unibo.it - C.F. 80007010376 - P.IVA 01131710376



1. PREMESSA

Su richiesta del Prof. Alberto Montanari, il 15 maggio 2014 sono state eseguite, all'interno della proprietà del Sig. Stella, in via Faraona, 100, Travedona Monate, Varese, misure di vibrazioni, indotte da volate in una cava a cielo aperto.

In questa relazione si forniscono i valori di accelerazione del moto delle particelle indotto dalle detonazione delle cariche confinate in foro e loro interpretazione in termini di effetti sull'edificio.

2. CATENA DI MISURA

Per le indagini è stata utilizzata una catena di misura composta da:

- 7 (sette) accelerometri PCB, 3 tridimensionali e quattro verticali;
- 3 (tre) condizionatori di segnale PCB, uno è modello 441A101 e due sono modello 480B21;
- 1 (uno) registratore di segnale AGILENT E8408AVXI mainframe (frequenza di acquisizione con la massima risoluzione pari a 51.2 kPts/s/channel).

Le caratteristiche degli accelerometri sono nella seguente tabella:

Tabella 1 – ACCELEROMETRI. g = acc. gravità. Componenti vettore: V = verticale, L = long. T = trasversale					
	Model	SerialNumber	Comp. Vett.	mV/g	Range
1	M356A16	SN17896	L	96,3	0.5-5000Hz
2	M356A16	SN17896	T	99,8	0.5-5000Hz
3	M356A16	SN17896	V	99,7	0.5-5000Hz
4	M356A16	SN19228	L	101,3	0.5-5000Hz
5	M356A16	SN19228	T	100,7	0.5-5000Hz
6	M356A16	SN19228	V	98,2	0.5-5000Hz
7	M356A16	SN19229	L	97,7	0.5-5000Hz
8	M356A16	SN19229	T	103,3	0.5-5000Hz
9	M356A16	SN19229	V	99,2	0.5-5000Hz
10	M353B33	SN70178	V	104,0	1.0-4000Hz
11	M353B33	SN70178	V	102,7	1.0-4000Hz
12	M353B33	SN70179	V	101,5	1.0-4000Hz
13	M353B43	SN76784	V	300,7	1.0-2000Hz

3. DATI DELLE VOLATE

La cava denominata "Faraona" produce un granulato per cementificio ottenuto con la tecnica della "perforazione e sparo".

Per quanto riguarda la progettazione della campagna di misure e per l'interpretazione dei valori di accelerazione misurati sono state richieste, preliminarmente e con largo anticipo, la planimetria della cava, la carta del territorio a piccola scala, contenente cava ed edificio sottoposto a monitoraggio e la pianta aggiornata e di dettaglio di quest'ultimo.

Prima delle misure non è stato disponibile alcun documento o elemento di conoscenza utile per gli scopi della richiesta e, ad oggi, è stata messo a disposizione solo un



documento in formato pdf contenente la pianta catastale dell'edificio (documento inadeguato per gli scopi).

Pertanto, il 15 maggio 2014, prima delle volate è stato eseguito un accurato sopralluogo in cava, nel territorio circostante e nell'edificio; si sono acquisite informazioni sul tipo e sulla geometria di volata, sui quantitativi e sul tipo di esplosivo (Figura 1) che si sarebbero utilizzati, sul tipo di innesco (Figura 2), sulla collocazione geografica e topografica dei fronti da abbattere (Figura 3). Non avendo a disposizione la documentazione richiesta si è rilevata schematicamente e con notevoli approssimazioni il perimetro della villetta (Figura 4) e si è valutata qualitativamente la distanza degli accelerometri dal baricentro di ciascuna delle due volate (Figura 5), ivi compresa l'orientazione della componente longitudinale dei tre accelerometri tridimensionali rispetto a ciascuna delle due sorgenti delle vibrazioni.



Figura 1 – Cartucce esplosivo



Figura 2 – Testa – foro con cartuccia inserita. Il tubicino rosso è del sistema di innesco non elettrico



Figura 3 – Sito volata 1

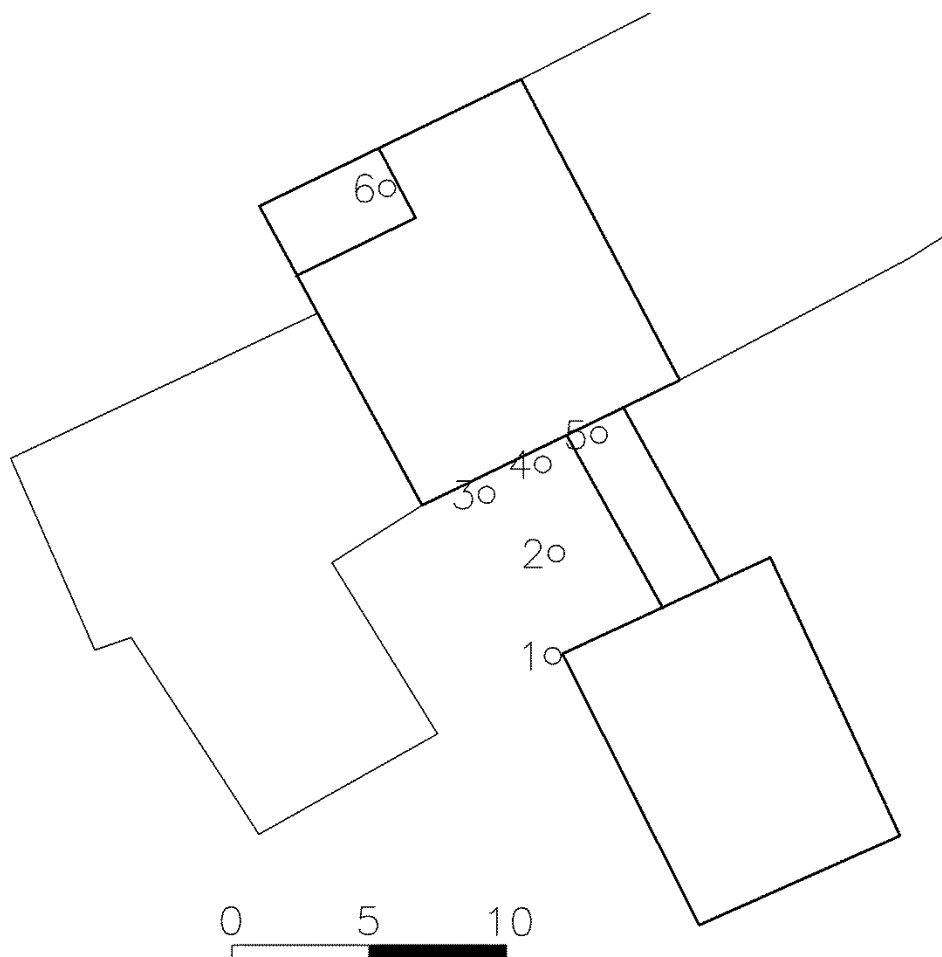


Figura 4 – Planimetria con indicazione della posizione dei sensori

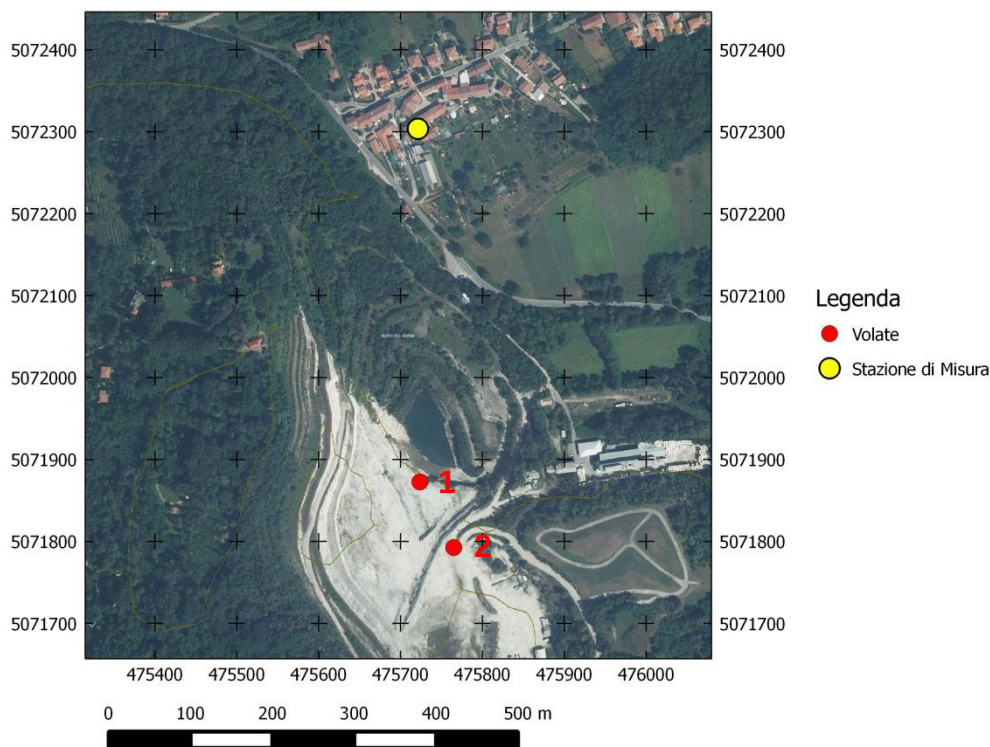


Figura 5 – Ortofoto dell'edificio e delle due volate

Le due volate in programma, da innescare in sequenza, erano caratterizzate dai seguenti elementi:

- volata n° 1:
 - 36 fori a quota 284 m slm (quota intesto fori), posti su 2 file parallele con spaziatura, spalla e borrhaggio di 2,5 m (maglia quadrata), quantitativo di esplosivo 7,64 kg/foro. innesco non elettrico e ritardi di 25 ms per ogni foro, che equivale a dire 7,64 kg per ritardo;
- volata n° 2:
 - 48 fori a quota 293 m slm (quota intesto fori), posti su 2 file parallele con spaziatura, spalla e borrhaggio di 2,5 m (maglia quadrata), quantitativo di esplosivo 7,64 kg/foro; innesco non elettrico e ritardi di 25 ms per ogni foro, che equivale a dire 7,64 kg per ritardo

Sono state utilizzate cartucce PREMEX (Figura 1) aventi dimensioni 50x600 e peso di 1389 g. Ogni foro (Figura 2), verticale e lungo 5,5 m, è stato caricato con 5,5 cartucce pressate in foro con un calcatoio in legno.



Sulla base dei dati di volata (quantitativo di esplosivo in kg per ritardo) e distanza sorgente – ricettore si è calcolato il valore della distanza scalata (D_s):

$$D_s = \frac{D}{\sqrt{Q}} = 154,5 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-0,5}$$

D = Lunghezza (m) del percorso sismico

Q = Quantità (kg) di esplosivo per ritardo

La distanza è stata valutata utilizzando l'ortofoto di Figura 5, considerando (cautelativamente) la distanza in linea d'aria tra i due punti: giallo (casa), rosso (volata n° 1) e non il reale percorso sismico.

4. POSIZIONE DEGLI ACCELEROMETRI

Il manufatto sottoposto ai controlli vibrometrici è composto di piano terra e piano sopraelevato ed è inserito in un complesso di “villini a schiera”. La morfologia del terreno su cui è fondato l'edificio è localmente pianeggiante, mentre l'area limitrofa, interessata dall'attività estrattiva, ha la morfologia tipica di un rilievo collinare e la cava si sviluppa attualmente “a fossa”.

Nell'edificio sono stati installati:

- 3 accelerometri triassiali (3 canali per trasduttore);
- 3 accelerometri uniassiali a componente verticale (3 canali in totale)

e la loro posizione è indicativamente segnata nella pianta schematica di Figura 4 che, in assenza della documentazione richiesta, è stata ricavata riprendendo dal sito internet del Servizio Cartografico Regionale un'ortofoto che conteneva l'immagine dell'edificio. Pertanto la pianta di Figura 4 è da intendersi qualitativa.

Gli accelerometri (Figure 6 e 7) sono stati appoggiati, nei diversi punti, con tre piedini di altezza regolabile per ottenere la verticalità dell'accelerometro e con l'interposizione, tra piedini e accelerometri, di basi in ottone o in alluminio, per realizzare l'accoppiamento ottimale terreno – trasduttore accelerometrico. I sensori sono stati installati con asse verticale ottenuto attraverso i tre piedini di appoggio e controllo della verticalità con livella. Poiché la cava non era visibile dall'edificio, l'asse longitudinale degli accelerometri triassiali è stato orientato verso la sorgente delle vibrazioni, con bussola, in base alle informazioni acquisite in loco.

In Tabella 2 sono riportati i dati relativi alla rete dei sensori collocati secondo lo schema indicato in Figura 4. Per i trasduttori triassiali che misurano la vibrazione delle particelle secondo tre componenti mutuamente ortogonali, si sono indicate con **V** la componente verticale, **T** la componente trasversale alla linea congiungente sorgente – sensore, **L** la



componente longitudinale diretta secondo la linea congiungente sorgente – sensore. Per i trasduttori uniassiali, che misurano solo la componente verticale del moto si è utilizzata solo la lettera **V**.

Tabella 1 – Posizione sensori				
Canali	Assi	Sensore	Descrizione Posizione	Numeri in FIG. 4
1	L	SN17896	soglia di casa, porta sul cortile interno	5
2	T	SN17896	soglia di casa, porta sul cortile interno	5
3	V	SN17896	soglia di casa, porta sul cortile interno	5
4	V	SN70179	marciapiede, sul cortile interno	4
5	V	SN70178	terreno, sul cortile interno	2
6	V	SN76784	marciapiede sul cortile interno	3
9	L	SN19228	marciapiede pertinenza della casa, sul cortile interno	1
10	T	SN19228	marciapiede pertinenza della casa, sul cortile interno	1
11	V	SN19228	marciapiede pertinenza della casa, sul cortile interno	1
12	L	SN19229	Porta di ingresso all'edificio	6
13	T	SN19229	Porta di ingresso all'edificio	6
14	V	SN19229	Porta di ingresso all'edificio	6



Figura 6 – Posizione del sensore triassiale indicato nella schema di Fig. 5 con il n° 6 (ingresso della casa)



Figura 7 – Posizione del sensore triassiale indicato nella schema di Fig. 5 con il n° 1

5. MISURA DELLE VIBRAZIONI INDOTTE

La registrazione (con la massima risoluzione di campionamento) degli eventi sismici associati alle due volate consecutive è iniziata non appena si è udito il segnale acustico che, per legge, precede la volata (3 suoni di sirena); pertanto, nella registrazione sono visibili accelerazioni dopo circa 21 secondi dal suono della sirena. La procedura è stata adottata anche per la volata n° 2, ma, la mancata segnalazione dell'innescò della volata da parte del fochino, non ha permesso di eseguire la registrazione degli eventi sismici indotti.

I canali 10 e 11 dell'accelerometro triassiale S/N 19228, posto al punto n° 1 nello schema di Figura 4, non hanno registrato vibrazioni, associate alla volata n° 1, per un difetto di collegamento elettrico; i risultati delle misure degli altri canali sono riportati in tabella 3.

6. ANALISI DELLE REGISTRAZIONI

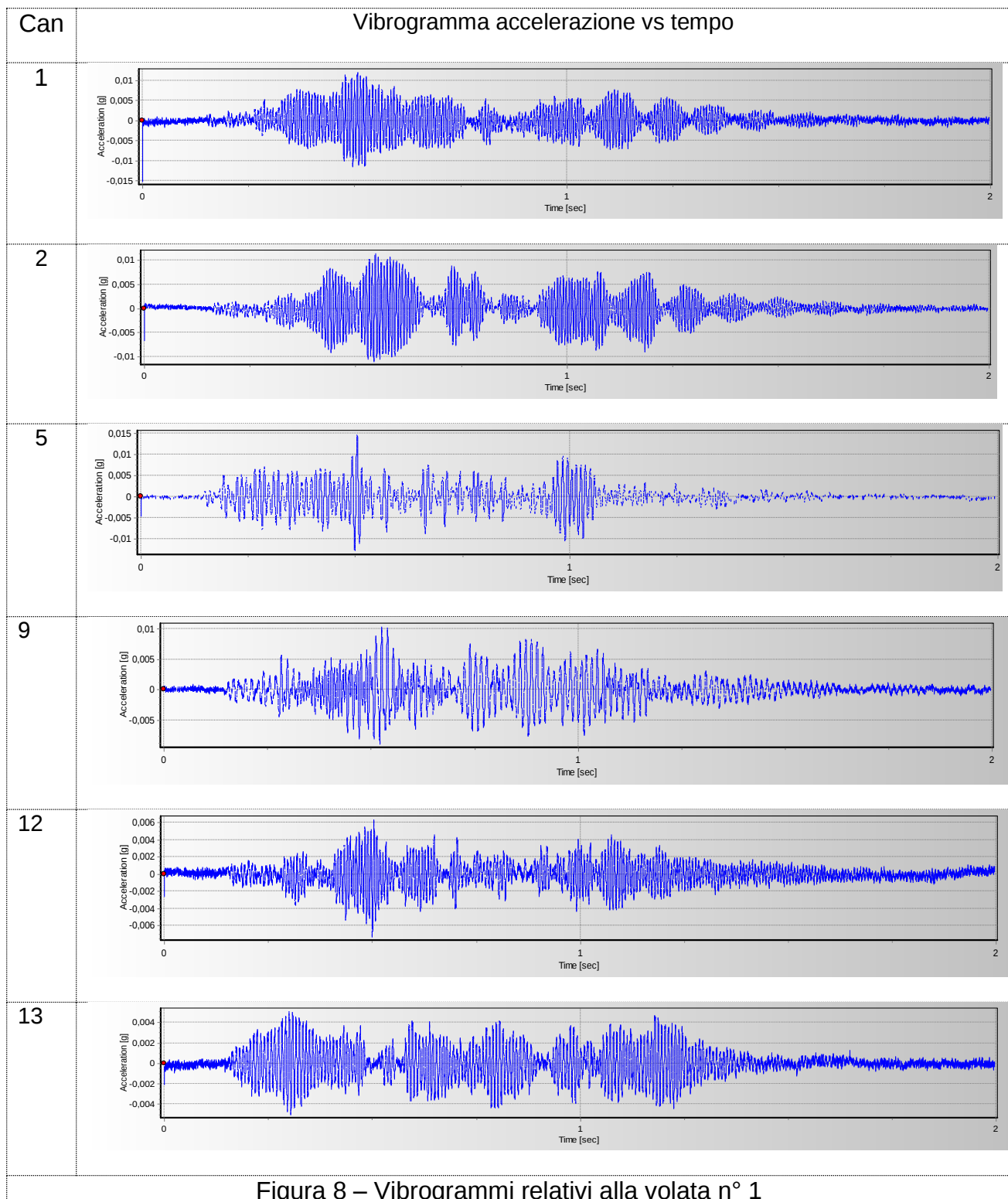
I vibrogrammi sono stati analizzati con il software SeismoSignal Versione 5.1.0. In Tabella 3 sono riportati i valori massimi di accelerazione, velocità e spostamento delle particelle. I valori di velocità e spostamento sono stati ottenuti dalle accelerazioni a seguito del trattamento dei dati digitali con FFT.

Tabella 2 – RISULTATI DELLE ELEBORAZIONI										
Accelerogram	Canale 01	Canale 02	Canale 03	Canale 04	Canale 05	Canale 06	Canale 09	Canale 12	Canale 13	Canale 14
Postazione	5	5	5	4	2	3	1	6	6	6
Componenti	L	T	V	V	V	V	L	L	T	V
Acceler. max (g)	0,01524	0,01132	0,00479	0,00678	0,01483	0,00590	0,01031	0,00734	0,00510	0,00687
Veloc. Max (mm/s)	0,90429	0,91021	0,84740	0,52274	0,66243	0,68878	0,34621	0,48028	0,40412	0,51110
Spostam. max (cm)	0,01709	0,01321	0,01664	0,00698	0,00499	0,00630	0,00346	0,00724	0,00587	0,00712



7. SISMOGRAMMI

Nella Figura 8 si riportano, a titolo di esempio, le immagini di alcuni sismogrammi della volata n° 1; nelle figure, l'accelerazione è espressa in termini di accelerazione di gravità (g).





8. ANALISI DEI VALORI DI VELOCITÀ

Per l'interpretazione dei risultati e per la loro utilizzazione nella valutazione degli effetti sull'edificio delle vibrazioni si è preso in considerazione (cautelativamente) il valore massimo del modulo dello pseudovettore che è così ottenuto

$$|V|_{max,pseudovettore} = \sqrt{|V|_{Vmax}^2 + |V|_{Lmax}^2 + |V|_{Tmax}^2}$$

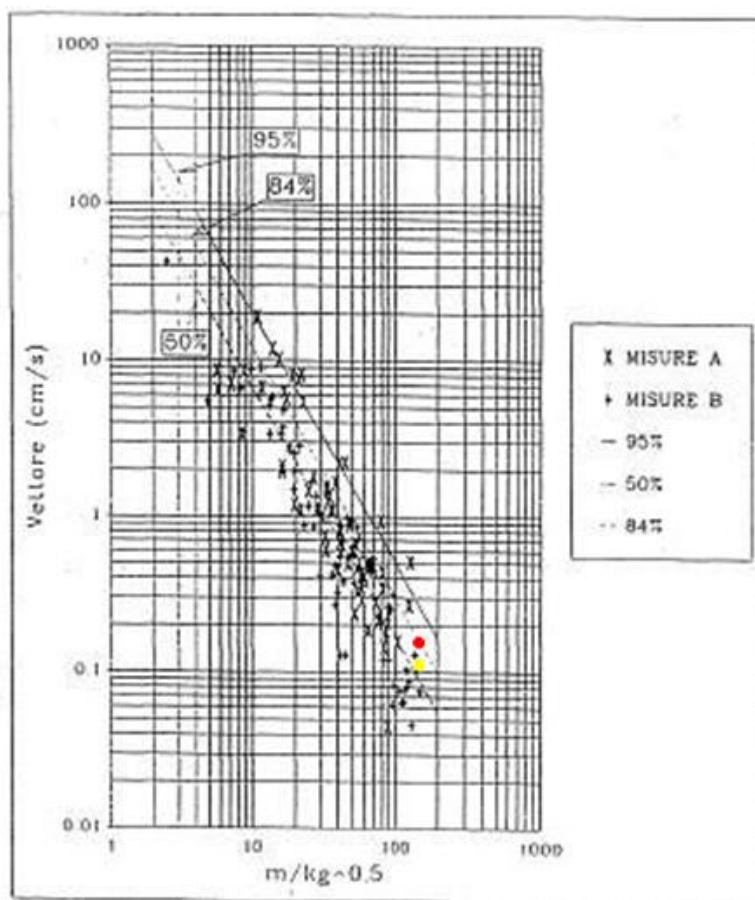
Poiché, in generale, i valori massimi dei moduli delle tre componenti vettoriali non sono contemporanei, il valore massimo del modulo dello pseudovettore è superiore al valore massimo del modulo del vettore.

$$|V|_{max,vettore} = \sqrt{|V|_V^2 + |V|_L^2 + |V|_T^2}$$

Il valore massimo del modulo dello pseudovettore della velocità registrato dal sensore posto nella posizione 5 (tabella 2, Figura 4) è risultato pari a 1,54 mm/s, superiore a quello registrato nella postazione 6 (tabella 2, Figura 4) che è risultato pari a 1,18 mm/s.

Nella postazione 5 si sono registrati i valori più elevati, per ciascuna delle tre componenti, rispetto a qualsiasi altra postazione. I valori della componente verticale variano da 0,84 mm/s a 0,51 mm/s, quelli della componente longitudinale da 0,90 mm/s a 0,35 mm/s e quelli della componente trasversale da 0,91 mm/s a 0,40 mm/s. Come già scritto, del terzo accelerometro triassiale è disponibile solo il valore della componente longitudinale.

Confrontando (Figura 9) i valori 1,54 mm/s (pallino rosso) e 1,18 mm/s (pallino giallo) con i valori massimi dei moduli del vettore velocità, registrati in un elevato numero di volate in diverse cave (per tipo di materiale estratto, per disegno di volata, ecc.), emerge che sono compresi tra la retta di correlazione media (il 50 % dei valori sono inferiori a quelli previsti dalla legge di correlazione) e la retta limite per l'84 % dei valori. Si deve nuovamente ricordare che il diagramma di Figura 5 riporta valori del vettore e non dello pseudovettore, pertanto i due punti (rosso e giallo) inseriti nel diagramma hanno valori superiori a quelli realmente registrati.



$$v_{(50\%)} (\text{vettore}) = 271 \cdot D_s^{-1.6}$$

$$v_{(95\%)} (\text{vettore}) = 726 \cdot D_s^{-1.6}$$

$$\text{ove } D_s = d(m)/q (\text{kg})^{0.5}$$

Figura 9 – Sismicità risultante da spari in cava

9. CONCLUSIONI

Prendendo in considerazione le normative più diffuse che fissano valori dei livelli e delle frequenze dei fenomeni vibratorii indotti da volate (Germania, Svizzera, Francia, Svezia e Stati Uniti) i due valori massimi del modulo dello pseudovettore della velocità delle particelle 1,54 mm/s e 1,18 mm/s sono nettamente inferiori ai limiti più cautelativi imposti per strutture molto sensibili (monumenti). Occorre sottolineare che quanto rilevato è riferibile solo alle condizioni (tipo di volata, di innesco, quantitativo di esplosivo, ecc.) che hanno determinato il sisma registrato il 15 maggio 2014.

Sperimentatore
Ing. Stefano BONDUÀ

Responsabile Scientifico
Prof. Ing. Paolo BERRY