

**POLITECNICO DI TORINO**

**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il  
Territorio**

Tesi di Laurea Magistrale

**Campagna di analisi sperimentali in sito per  
la valutazione degli effetti indotti da volate  
di mine in vista dell'ampliamento di un  
cantiere estrattivo a giorno**



**Relatori**

Prof. Ing. Marilena Cardu  
Ing. Paolo Froni

**Candidato**

Simone Bellone

Ottobre 2019



# Sommario

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>5</b>
<b>PREMESSA</b> .....	<b>6</b>
<b>INQUADRAMENTO DEL SITO ESTRATTIVO</b> .....	<b>6</b>
<i>Ubicazione</i> .....	6
<i>Finalità della coltivazione: il polo industriale di Robilante</i> .....	8
<i>Quadro geologico</i> .....	10
<i>Litostratigrafia</i> .....	12
<i>Assetto geologico – strutturale</i> .....	13
Deformazione duttile .....	14
Deformazione fragile .....	16
Modello geologico – strutturale .....	18
<b>METODO E TECNICA DI COLTIVAZIONE</b> .....	<b>21</b>
<i>Cronistoria</i> .....	21
Disponibilità della materia prima e scelta del sito .....	21
Prima fase della cava: 1965 - 1990 .....	22
Seconda fase della cava: 1990 - 2002 .....	24
Terza fase della cava: 2002 - 2024 .....	26
<i>Stato attuale dei lavori</i> .....	28
Perforazione .....	30
Abbattimento .....	31
Rimozione dell'abbattuto .....	34
Frantumazione e trasporto allo stabilimento .....	35
Organizzazione del personale .....	38
<i>Parco macchine</i> .....	39
<b>RECUPERO AMBIENTALE</b> .....	<b>40</b>
<i>Obbiettivi di intervento</i> .....	40
<i>Analisi delle operazioni lavorative per il recupero ambientale</i> .....	40
Modellamento delle morfologie .....	41
Sistemazioni idrauliche .....	42
Preparazione del terreno .....	43
Inerbimento e impianto di alberi .....	43
Tempistica d'intervento .....	43
<b>SCOPO DEL LAVORO</b> .....	<b>45</b>
<b>FOCALIZZAZIONE DEL PROBLEMA</b> .....	<b>45</b>
<i>Premessa</i> .....	45
<i>Stato attuale dell'autorizzazione</i> .....	45
<i>Ampliamento dell'autorizzazione di coltivazione</i> .....	46
<i>Disturbi sismici e rumore ai centri abitati</i> .....	49
<b>QUADRO TEORICO</b> .....	<b>51</b>
<b>VIBRAZIONI</b> .....	<b>51</b>
<i>Introduzione</i> .....	51
<i>Definizione e parametri</i> .....	51
<i>Onde sismiche</i> .....	54
<i>Il sensore sismico</i> .....	57
<i>Legge di sito</i> .....	58
<i>Tecniche per ridurre le vibrazioni</i> .....	60
<b>RUMORE</b> .....	<b>61</b>
<i>Introduzione</i> .....	61
<i>Grandezze acustiche fondamentali</i> .....	62
Suono e sensazione sonora .....	63
Velocità di propagazione del suono .....	64

Pressione sonora .....	65
Potenza sonora e intensità sonora .....	67
Livelli di pressione, intensità e potenza sonora .....	69
Livello sonoro equivalente.....	70
Fonometria .....	71
<b>QUADRO NORMATIVO .....</b>	<b>74</b>
QUADRO NORMATIVO SULLE VIBRAZIONI .....	74
QUADRO NORMATIVO SUL RUMORE .....	77
<i>Inquinamento acustico</i> .....	77
Classificazione del territorio .....	77
Valori limite di immissione e di emissione.....	78
Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento da rumore .....	79
<i>Esposizione al rumore</i> .....	80
Valori limite .....	80
Valutazione del rischio.....	80
Misure di prevenzione e protezione.....	81
Utilizzo dei dispositivi di protezione individuale.....	81
Metodologia di misura ed analisi.....	81
<b>STRUTTURA E METODO DELLA RICERCA .....</b>	<b>83</b>
CAMPAGNA DI MISURAZIONI SPERIMENTALI PER LA DETERMINAZIONE DI UNA LEGGE DI SITO .....	83
<i>Utilizzo dell'esplosivo nell'abbattimento di produzione</i> .....	83
<i>Strumentazione e scelta del posizionamento per la misura</i> .....	83
ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI VIBROMETRICI .....	86
<i>Determinazione della legge di sito</i> .....	86
CAMPAGNA DI MISURAZIONE SPERIMENTALE DEL RUMORE .....	87
<i>Inquinamento acustico</i> .....	87
Strumentazione e modalità di misura del rumore .....	87
Valori misurati nei punti ricettori .....	88
<b>DISCUSSIONE DEI RISULTATI .....</b>	<b>90</b>
VIBRAZIONI.....	90
INQUINAMENTO ACUSTICO.....	92
ESPOSIZIONE AL RUMORE .....	94
<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>95</b>
<b>FONTI BIBLIOGRAFICHE E SITOGRAFIA.....</b>	<b>96</b>
<b>APPENDICE .....</b>	<b>97</b>
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	97
<i>Sismografo Nomis SM</i> .....	97
Caratteristiche tecniche.....	97
<i>Sismografo Instantel MiniMate DS-077</i> .....	98
Caratteristiche tecniche.....	98
<i>Fonometro Bruel &amp; Kjaer 2260 Investigator</i> .....	99
Caratteristiche tecniche.....	99
SCHEDE TECNICHE DEGLI ESPLOSIVI .....	104
<b>ALLEGATI .....</b>	<b>108</b>
• SCHEDE DELLE MISURAZIONI OTTENUTE DAI SISMOGRAFI .....	108
• TAVOLE .....	108

## Introduzione

Il desiderio di avvicinarmi alla realtà lavorativa, dopo aver trascorso gli anni di studio all'interno delle strutture del Politecnico di Torino, mi ha spinto alla ricerca di una tesi da sviluppare in collaborazione con un'azienda che avesse lo sguardo volto ad un contesto nazionale ed internazionale, ma, allo stesso tempo, insediata nel territorio di mia provenienza, ossia la provincia di Cuneo. Con grande entusiasmo ho accettato la proposta della Buzzi Unicem S.p.A., la quale mi ha consentito di approfondire il tema oggetto del presente elaborato, che si innesta all'interno di un più ampio progetto aziendale tutt'ora in fase di progettazione e sviluppo.

Nello scenario odierno dei cantieri estrattivi a giorno, si presta sempre maggiore attenzione ai temi della sostenibilità e dell'impatto ambientale, nonché alla sicurezza dei luoghi e dei lavoratori. Questi aspetti, giustamente, sono ormai diventati imprescindibili, e vanno presi in considerazione nello sviluppo e nella progettazione di qualunque programma aziendale.

La ricerca è stata svolta con l'obiettivo di valutare i possibili effetti di disturbo ambientale legati alle volate di mine, in vista di un ampliamento del cantiere, nei confronti dei ricettori che lo circondano. In particolare, sono due i fenomeni studiati e analizzati: le vibrazioni e il rumore.

Anzitutto viene descritto il contesto attuale della cava, analizzando le condizioni geologico – strutturali dell'ammasso roccioso ed evidenziandone le principali caratteristiche e criticità. Si analizzano il metodo di coltivazione per fette orizzontali discendenti, la tecnica Drill & Blast impiegata e gli interventi per il recupero ambientale delle aree esaurite, senza tralasciare un excursus storico sui 54 anni di vita del sito estrattivo.

Si prosegue con un'analisi teorica dei due fenomeni fisici, per comprendere quali sono le grandezze fondamentali su cui concentrarsi e le relazioni fisico-matematiche che intercorrono tra i parametri in gioco. Sono analizzate e studiate le modalità di misura ed elaborazione dei dati raccolti per ottenere un risultato finale esaustivo.

La valutazione di entrambi i disturbi è condotta attraverso valutazioni e misure sperimentali in sito. Per quanto concerne le vibrazioni, viene ricavata una legge di sito per descrivere nel modo più esaustivo il fenomeno di propagazione delle onde sismiche all'interno dell'ammasso roccioso. La velocità di vibrazione particellare, o *peak particle velocity (ppv)*, indotta da numerose volate è misurata attraverso geofoni tridimensionali; in seguito i dati sono elaborati statisticamente ed è ricavata una formula analitica per relazionare la *ppv* con la *distanza R* volata – ricettore e la *carica per ritardo (CPD)*. L'obiettivo è ricavare la massima *CPD* utilizzabile durante il brillamento, per evitare danni agli edifici o alle strutture civili, essendo noti la distanza a cui si trova il ricettore e la *ppv* limite, in accordo con la normativa italiana.

Per quanto riguarda il rumore, si procede, tramite un fonometro, con la misurazione in campo dei livelli di pressione sonora presso gli obiettivi sensibili. I valori riscontrati vanno confrontati con quelli limite previsti dalla normativa, che dovranno essere rispettati anche nella nuova configurazione di cantiere prevista con l'ampliamento. L'obiettivo è quello di stimare quale sarà l'impatto acustico sui ricettori e verificare il rispetto dei livelli assoluti di immissione.

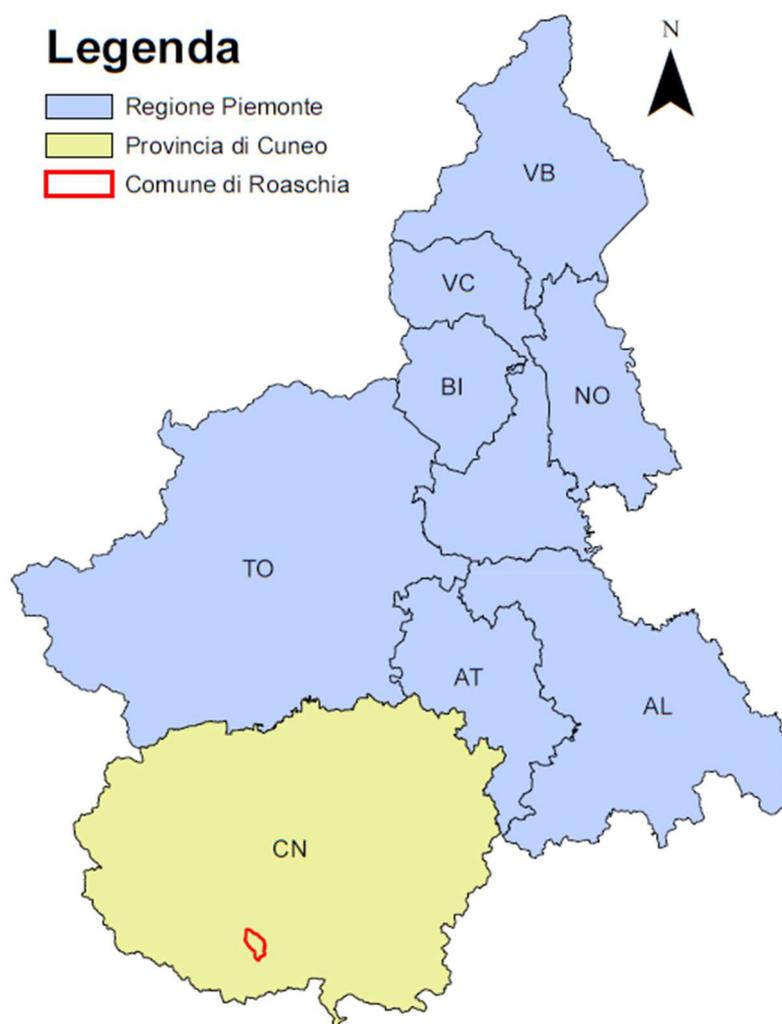
Infine, si riportano i risultati dell'esposizione al rumore in materia di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori nei luoghi di lavoro.

## Premessa

### *Inquadramento del sito estrattivo*

#### *Ubicazione*

La cava di calcare di proprietà della Buzzi Unicem S.p.a. è situata in Piemonte, in Provincia di Cuneo ed in particolare all'interno del territorio comunale di Roaschia (fig. 1).



*Figura 1 - Collocazione del Comune di Roaschia.*

Il sito è ubicato nel settore terminale della valle di Roaschia, immediatamente a monte dello sbocco nella valle principale denominata Gesso.

La sua posizione è riportata nell'estratto della carta tecnica regionale in figura 2.

L'area si estende su entrambi i versanti della valle tra le quote estreme di 740 e 970 m s.l.m. circa.

In particolare, sul versante destro idrografico è situata la zona estrattiva storica denominata Ciapelaruta, sfruttata fino all'anno 2008, mentre sul versante sinistro del torrente Biale sono ubicati i cantieri Monfranco e Tabanot, rispettivamente situati nella zona Nord-Ovest e Sud dell'area estrattiva. Con l'avanzare della coltivazione e l'abbassamento altimetrico dei fronti di scavo, i due cantieri si sono uniti nel 2008 e ora sono connessi tramite un unico grande piazzale di cava alla quota di 785 m.

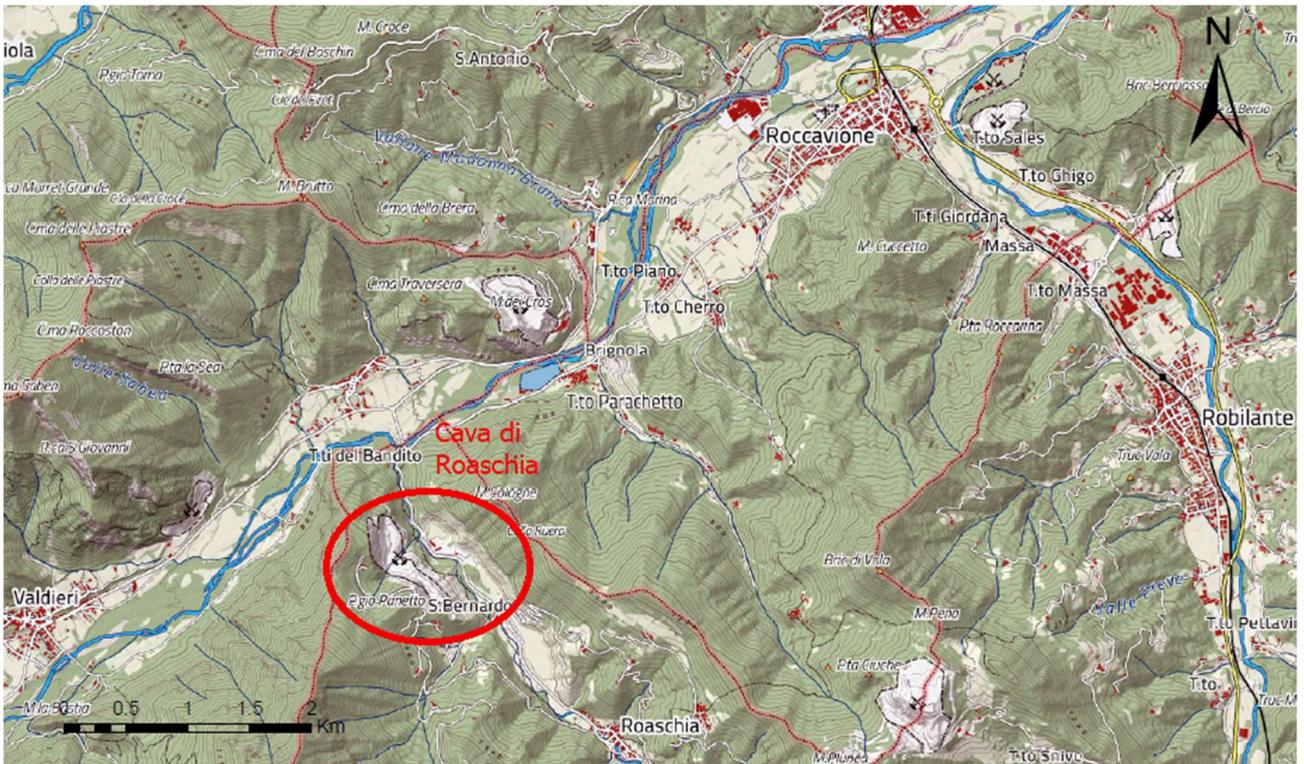


Figura 2 - Localizzazione del sito di estrazione. Estratto dalla BDTRE (1:50000) di Cuneo.

In figura 3 è riportata con maggiore dettaglio una ripresa aerea del sito estrattivo.



Figura 3 - Ripresa aerea del sito estrattivo (agosto 2017).

### ***Finalità della coltivazione: il polo industriale di Robilante***

La Cava di Roaschia costituisce la fonte di alimentazione principale della materia prima utilizzata nello stabilimento di Robilante per la produzione del cemento.

La cava fornisce calcare puro (tenore in  $\text{CaCO}_3$  pari al 98%) che, miscelato con lo “scisto” apporto di allumina, silice e ossidi di ferro coltivato nella Cava Gavota - Noisa di Robilante – Rocca-vione, consente di ottenere la farina cruda con caratteristiche adatte alla produzione del clinker e quindi del cemento. Il rapporto tra calcare e scisto nella composizione della miscela è di 3 a 1. Inoltre, vanno ulteriormente menzionate le aggiunte di correttivi, ossia silice, allumina, ossidi di ferro che si attestano sul 4% circa del totale della miscela.

Il processo attraverso il quale viene prodotto il legante idraulico è per “via secca”, ossia le materie prime vengono introdotte nel forno di cottura allo stato di polvere secca dopo essere state macinate ed omogeneizzate. All’uscita del forno si ottiene il clinker che, trovandosi sottoforma di prills, deve essere macinato e ridotto in polvere. Successivamente può essere commercializzato tal quale, oppure miscelato essenzialmente con del gesso, che ha la funzione di regolatore dei tempi di presa: si compone in tal maniera la polvere di cemento base. Da qui, con la variazione percentuale delle componenti o con l’aggiunta di additivi e/o correttivi, si producono le diverse qualità di cemento.

Nell’ultimo ventennio, la produzione annuale di calcare ha toccato un massimo di 2 255 564 t nel 2004, ma, in seguito, l’andamento è stato in costante decrescita fino al 2012, anno in cui si è lievemente affievolita la morsa della crisi economico – finanziaria del 2008. Infatti, dal 2012 ad oggi la produzione è ancora ai minimi, ma risulta stabile attorno ad 1 000 000 di t estratte (fig. 4).

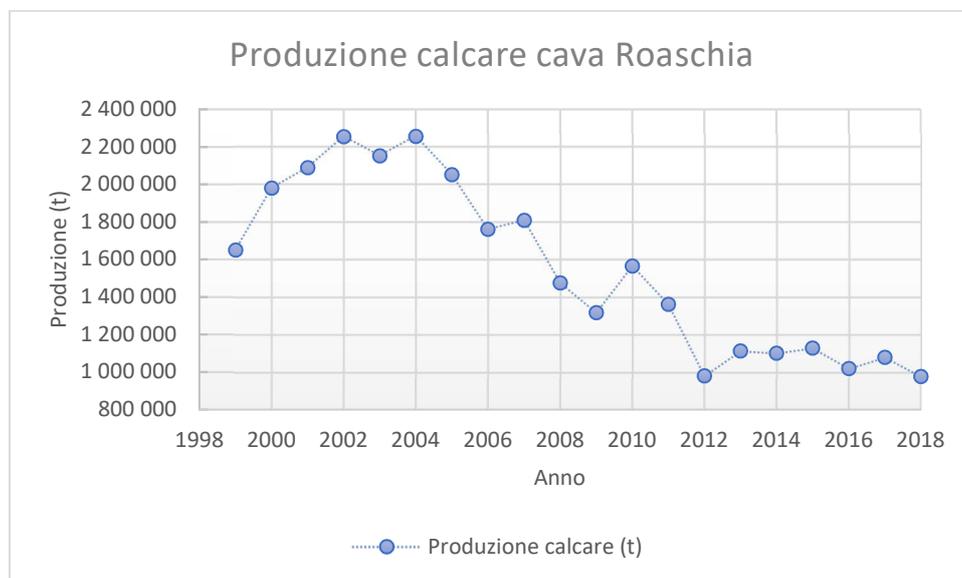


Figura 4 - Andamento della produzione di calcare dal 1999 al 2018.

Per quanto riguarda la produzione dello scisto calcareo nella cava Gavota – Noisa vale un ragionamento analogo al precedente: la massima produttività si è registrata nell’anno 2003 ed è progressivamente diminuita - tranne un picco di produttività nel 2010 – fino al 2017 (fig. 5).

I volumi estratti sono circa il 25 - 30 % rispetto a quelli della cava di Roaschia.

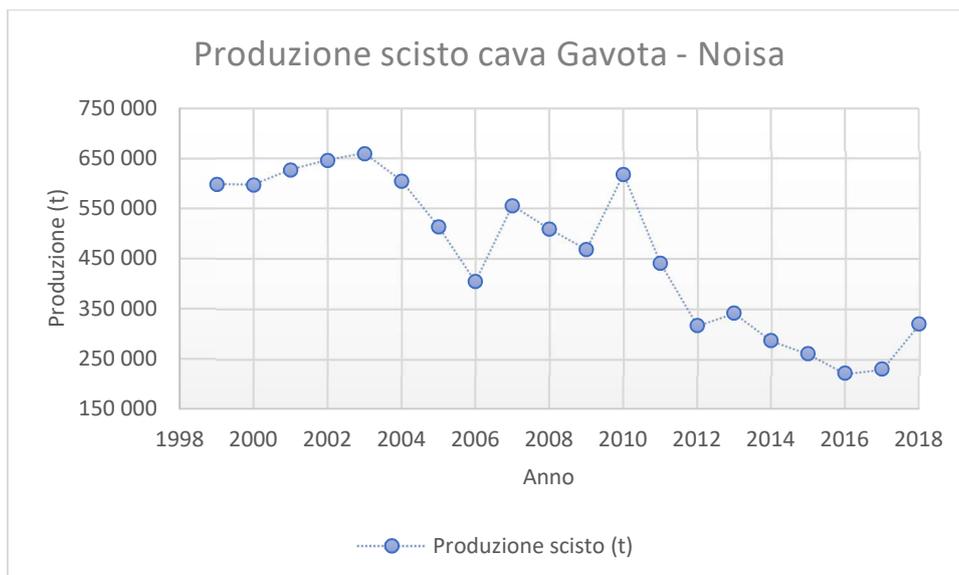


Figura 5 - Andamento della produzione di scisto dal 1999 al 2018.

L'impianto di produzione del clinker, insieme al giacimento sfruttato dalla Cava di Roaschia e da quella di Robilante – Roccavione, fa parte di un'unica unità industriale impostata secondo un preciso disegno imprenditoriale che aveva l'obiettivo di innestarsi nel mercato di produzione del cemento all'inizio degli anni '960.

La produzione dello stabilimento di Robilante si è sviluppata parallelamente alla crescita della Cava di Roaschia, insieme con la produzione integrativa della Cava di Robilante – Roccavione. Infatti, le date significative del progresso in stabilimento possono essere così individuate:

- 1965 attivazione del Forno 1 da 900 t/d di clinker;
- 1970 attivazione del Forno 2 da 2200 t/d di clinker;
- 1976 attivazione del Forno 3 da 3500 t/d di clinker.

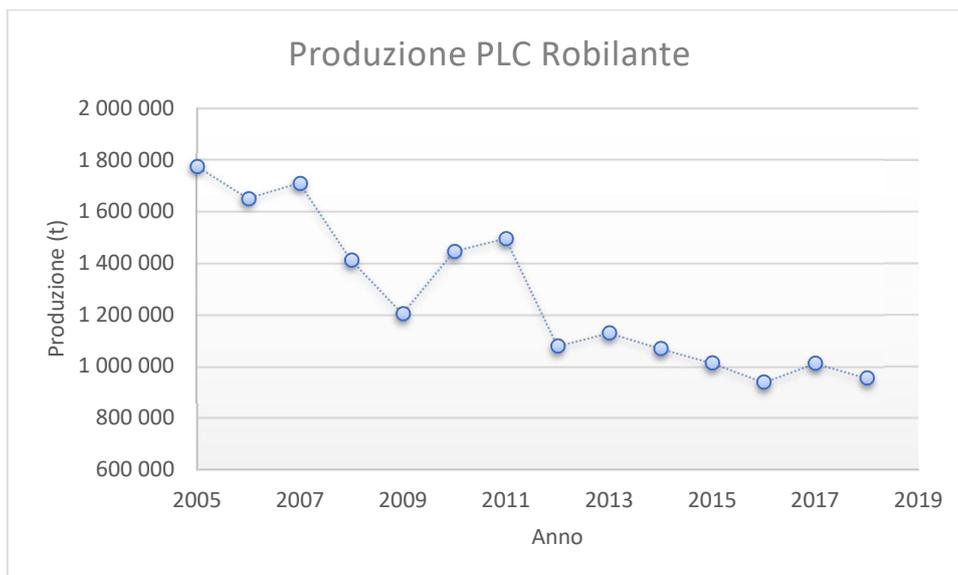
Contemporaneamente, a partire dal 1965, si è intrapresa la coltivazione del giacimento di calcare di Roaschia.

In considerazione della potenzialità dei giacimenti, si è subito notata la possibilità di una duratura attività produttiva, sfociata nel corso degli anni in un costante aggiornamento degli impianti per mantenere un alto standard tecnologico e di sicurezza, soprattutto per quanto riguarda i sistemi di controllo del processo, allo stesso livello di impianti di nuova concezione. Ciò ha permesso di garantire un efficace controllo delle emissioni con livelli di inquinanti ampiamente al di sotto dei limiti minimi stabiliti dalle leggi vigenti. Fondamentale è stata ed è la componente di formazione del personale che ha contribuito significativamente al raggiungimento di tali obiettivi.

La cementeria produce cemento tipo Portland e Portland composito nelle tre classi di resistenza normalizzata (32,5 – 42,5 – 52,5 N/mm<sup>2</sup>), suddivise a loro volta in sottoclassi in funzione dei tempi di raggiungimento delle caratteristiche di resistenza, della lavorabilità, del colore, etc.

Come parametro di produzione viene considerato il PLC, ossia la quantità totale di clinker più il totale del cemento, meno la quantità di clinker necessaria per ottenere il cemento.

Il grafico di figura 6 mostra la produzione di PLC dello stabilimento negli ultimi anni, a partire dal 2005. Il trend risulta in costante decrescita, causato principalmente dai sempre minori investimenti nel settore edilizio e infrastrutturale, che porta ancora con sé gli strascichi della crisi economico – finanziaria del 2008.



*Figura 6 - Andamento della produzione nella cemeniera di Robilante.*

Il polo impiega attualmente circa 200 addetti tra cave e stabilimento.

### ***Quadro geologico***

La cartografia geologica ufficiale è rappresentata dal foglio geologico alla scala 1:100000 n. 90 – Demonte della Carta Geologica d'Italia (CGI), osservabile in figura 7. Infatti, questo settore, comprendente l'area della cava di Roaschia, non è attualmente coperto dal progetto CARG alla scala 1:50000.

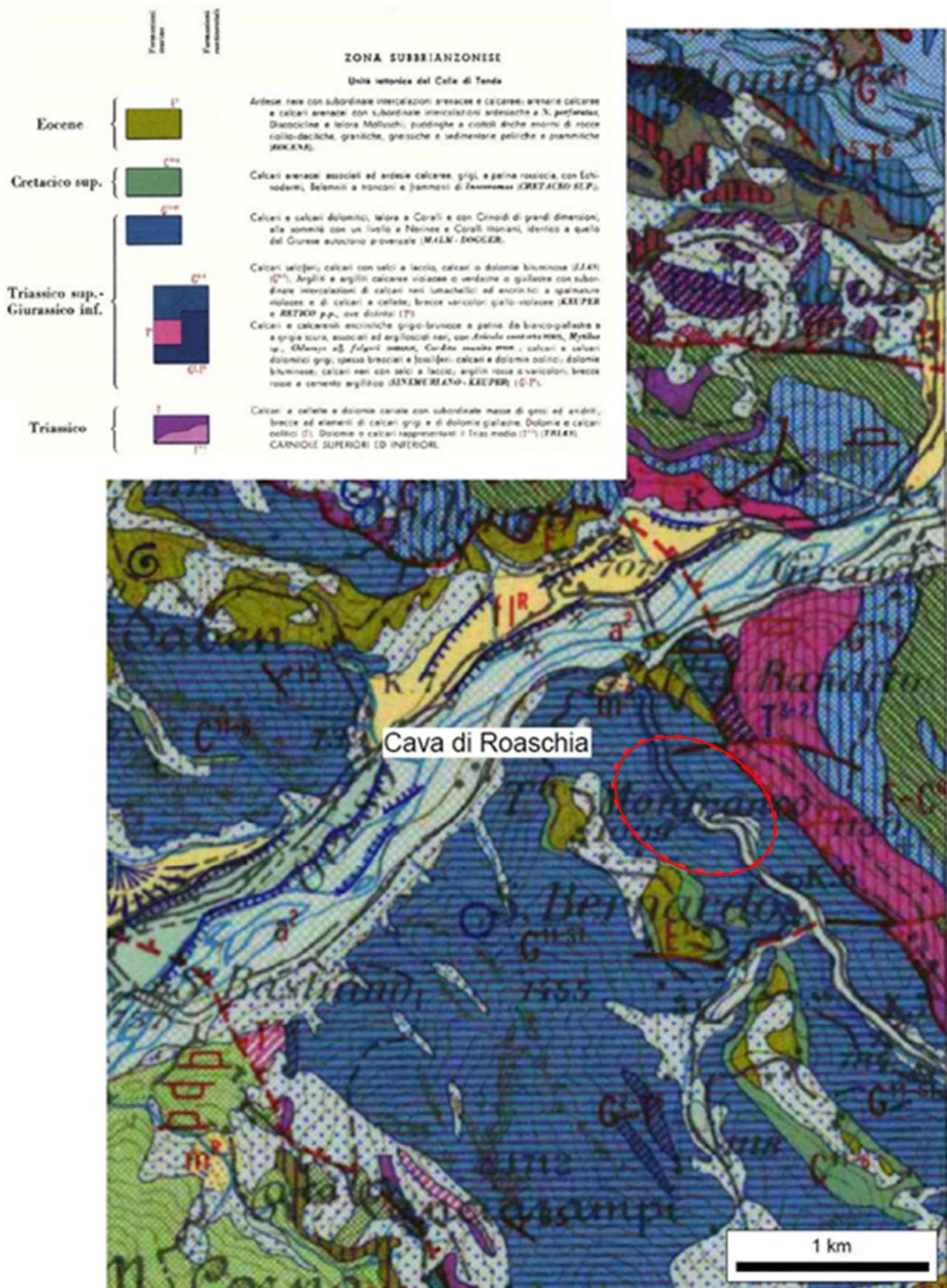


Figura 7 - Inquadramento geologico della Cava di Roaschia tratto dal Foglio Demonte della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000.

La descrizione geologica della cava è riportata nella relazione geologica di Gasco & Vai (2018):

*“La cava di Roaschia è impostata in calcari appartenenti al Dominio Brianzonese Ligure il quale è a sua volta suddiviso in Dominio Sub-Brianzonese o Brianzonese Esterno verso SW e in Dominio Brianzonese s.s. o Brianzonese Interno verso NE.*

*I calcari coltivati nella cava appartengono all’Unità Tettonica del Colle di Tenda, costituita da sedimenti di età Meso-Cenozoica. La successione sedimentaria è formata alla base da calcari e dolomie con lenti di gessi e anidriti (Triassico medio-inferiore), seguiti da calcari, calcareniti e dolomie con livelli di argilloscisti neri (Triassico superiore), calcari selciferi e dolomie con livelli di argilloscisti (Giurassico inferiore), calcari e calcari dolomitici (Giurassico medio-superiore), calcari arenacei con livelli pelitici (Cretacico superiore) ed infine argilliti ed argilloscisti con intercalazioni arenacee e calcaree associati a puddinghe e conglomerati poligenici (Eocene).”*

### **Litostratigrafia**

La litostratigrafia è stata descritta a partire dal basso stratigrafico, ricorrendo sia ad analisi visive del fronte sia ai dati provenienti dalle indagini geognostiche eseguite nell’anno 2015.

La successione, visibile in figura 8, presenta argilloscisti affioranti (viola, grigio-verdi e neri) a cui seguono delle alternanze tra calcari neri e argilloscisti grafitici per uno spessore massimo di 15 m. Successivamente si osservano dolomie brune con stratificazione mal riconoscibile ed intensamente fratturate per uno spessore inferiore ai 15 m. Il contatto con le rocce precedentemente riconosciute è di tipo tettonico. Le dolomie passano gradualmente al litotipo sovrastante che consiste in calcari nocciola-grigi in bancate di spessore compreso tra 50 e 70 m a cui seguono dei calcari grigio-neri in strati massimi di 20 cm intercalati da vene di calcite per uno spessore totale di circa 70 m. Seguono calcareniti di colore beige-grigio in contatto stratigrafico, con spessore generalmente inferiore a 10 m o talvolta assenti. A tetto dei calcari – e delle calcareniti dove presenti - si trovano argilloscisti e filladi carbonatiche per uno spessore massimo di 60 – 70 m altamente sfaldate e spesso così alterate superficialmente da formare un suolo fertile sul pendio dove la vegetazione attecchisce molto rapidamente. Infine, al di sopra sono presenti dei conglomerati poligenici *mud supported* con clasti aventi dimensioni fino a 25 cm che raggiungono uno spessore di 120 m presso Poggio Panetto, ossia nella zona meridionale della cava.

Si rileva anche la presenza di depositi quaternari suddivisi in tre diverse tipologie:

1. depositi eluvio-colluviali, con spessori moderati, generalmente inferiori ad 1 m: danno origine a suoli ben sviluppati se ricchi in fillosilicati, raramente sviluppati se derivanti da rocce carbonatiche;
2. depositi detritici: sono costituiti esclusivamente da clasti di rocce carbonatiche di dimensione inferiore a 50 cm alla base delle pareti calcaree e negli impluvi che incidono i calcari stessi. Sono sintomo della generalizzata fratturazione dell’ammasso roccioso;
3. depositi alluvionali: sono legati alla presenza dei corsi d’acqua. In particolare, lungo il torrente Biale sono poco sviluppati (massimo 5 – 10 m) e talvolta è affiorante il substrato.

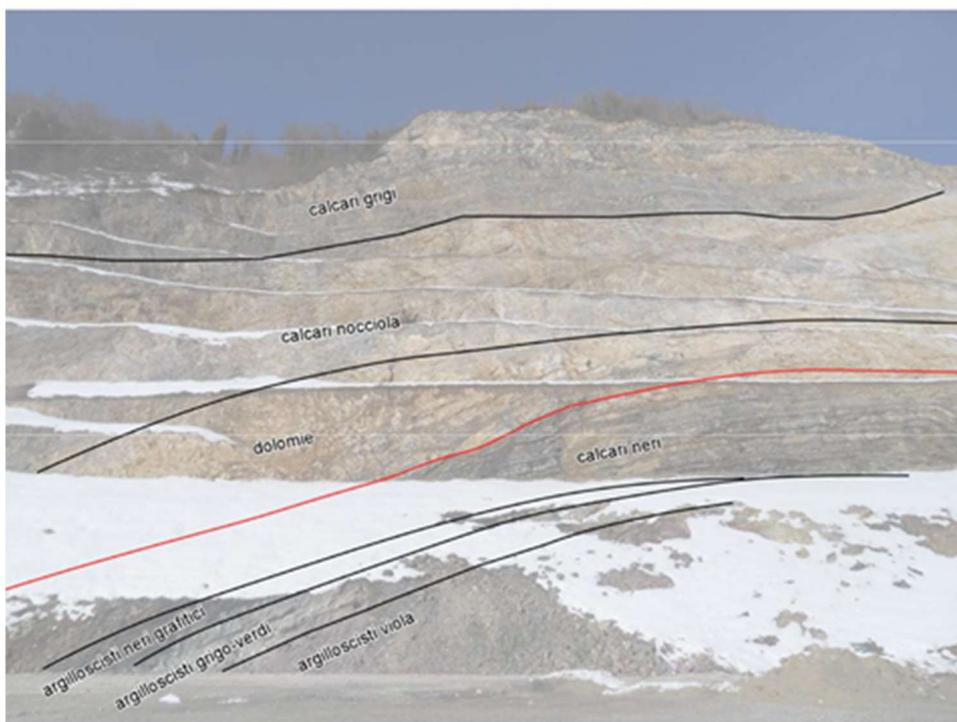


Figura 8 - Panoramica del fronte Monfranco dal gradone di quota 815 m con sovrapposizione dei limiti tra diversi litotipi. In rosso è tracciato il contatto tettonico.

### ***Assetto geologico – strutturale***

L'area di cava mostra una certa complessità strutturale dovuta principalmente alla presenza di diversi sistemi di faglie ben visibili in corrispondenza dei fronti della coltivazione ma poco evidenti esternamente all'area estrattiva. In particolare, si presentano due principali eventi deformativi duttili e un sistema tettonico fragile molto intenso. I diversi litotipi complicano ulteriormente l'assetto poiché

reagiscono in maniera differente allo stress deformativo: infatti, i calcari tendono a preservare la natura stratigrafica e mostrano con evidenza la deformazione fragile, mentre i litotipi ricchi in fillosilicati (argilloscisti) risultano così alterati da rendere irriconoscibili le strutture primarie e reagiscono alla deformazione fragile con zone di taglio piuttosto che singole faglie. Nel seguito si analizzano nel dettaglio questi due comportamenti deformativi.

### **Deformazione duttile**

A partire dai rilievi e dall'analisi geologica, la stratificazione St mostra un'immersione prevalente verso SE e S con un'inclinazione di 20 – 35° e subordinatamente verso NE o SW con inclinazione maggiore di 70°. Si può notare ancora una concentrazione più diradata di poli che indicano comunque numerose superfici immergenti a NE con inclinazione di 25 – 40° (fig. 9).

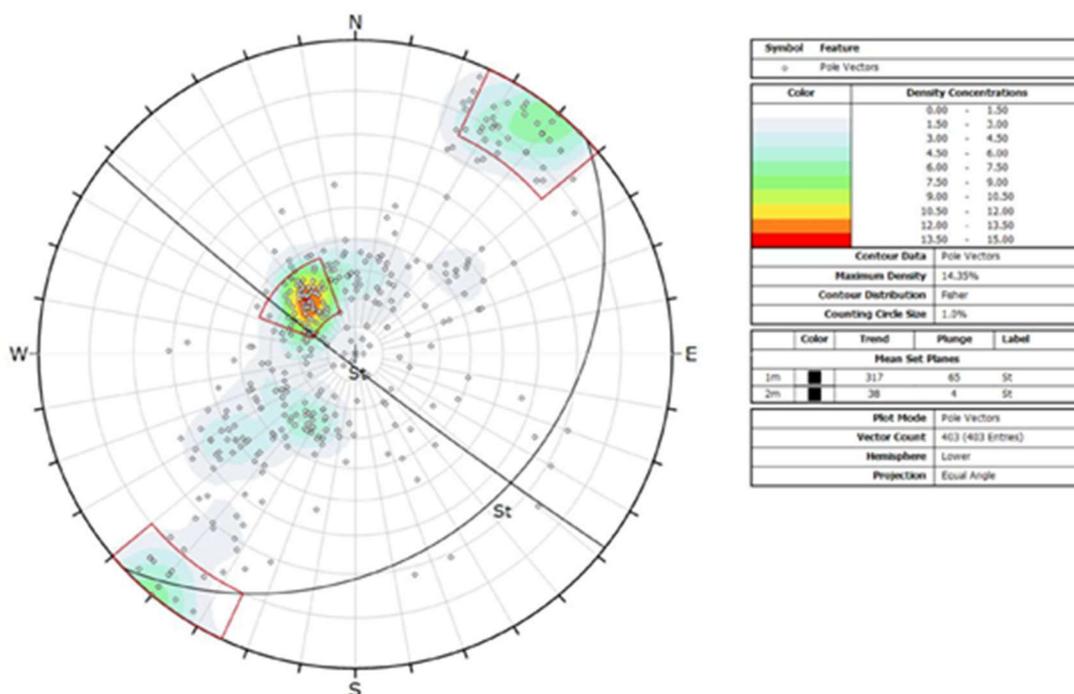


Figura 9 - Proiezione equiareale della stratificazione St (Gasco & Vai, Relazione geologica, 2018).

Per quanto riguarda la prima fase deformativa  $D_1$ , il clivaggio  $S_1$  immerge prevalentemente verso S con inclinazione di 15 – 40° e subordinatamente verso NE con inclinazione di 15 – 30° (fig. 10). La rappresentazione dei poli delle superfici assume la stessa dispersione dei poli della stratificazione St (fig. 9). La presenza di una linea di intersezione è stata interpretata come asse delle pieghe che hanno originato il clivaggio stesso. Tali assi hanno direzione NW – SE con bassa inclinazione (< 30°). Le pieghe sono riscontrabili principalmente nei calcari e associate ad intensa fratturazione: sono ben visibili in presenza di vene di calcite piegate secondo isoclinali.

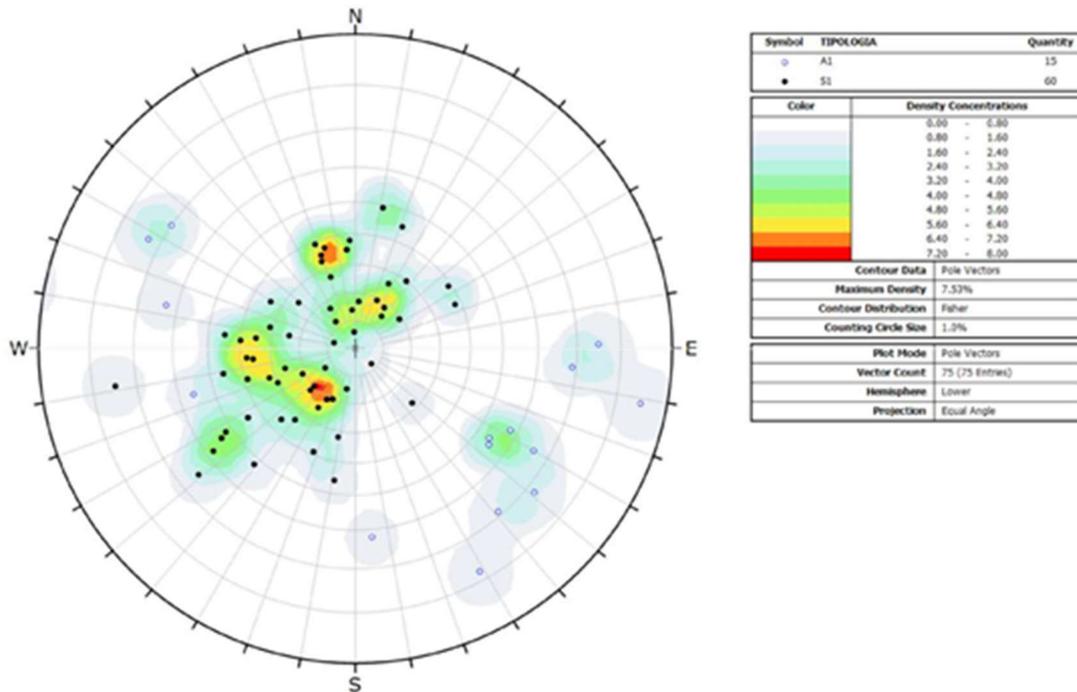


Figura 10 - Proiezione equiareale degli assi A1 e del clivaggio S1 (Gasco & Vai, Relazione geologica, 2018).

Nella fase deformativa D<sub>2</sub> le pieghe incurvano la stratificazione St e il clivaggio S<sub>1</sub>. Tali pieghe sono da mesoscopiche a macroscopiche, come visibile sul fronte Monfranco. Questa fase deformativa è responsabile della presenza di un nucleo di antiforme nell'impluvio tra il fronte Monfranco e il fronte Tabanot, che ha portato ad affiorare gli argilloscisti, non previsti nell'originario progetto di coltivazione.

Una struttura sinforme è invece riscontrabile in corrispondenza di Poggio Panetto, dove a nucleo si incontrano gli scisti carbonatici e i conglomerati (sezioni geologiche A, B, F di Tavola 7 in allegato). Nelle pieghe, negli argilloscisti e nelle filladi carbonatiche, è localmente sviluppato un clivaggio S<sub>2</sub>. Dall'analisi della distribuzione dei poli della stratificazione in figura 9, l'involuppo dei poli tramite le due ciclografiche indica la presenza di pieghe alla macroscale con assi immergenti verso SE con inclinazione compresa tra 15 e 35° e con piano assiale immergente verso S-SW con inclinazione di 45-65°. Le stesse considerazioni possono essere fatte con i poli della scistosità di fase D<sub>1</sub> (fig. 10). L'orientazione macroscopica degli elementi descritti nella fase deformativa D<sub>2</sub> coincide con i dati di figura 11 misurati in corrispondenza della piega.

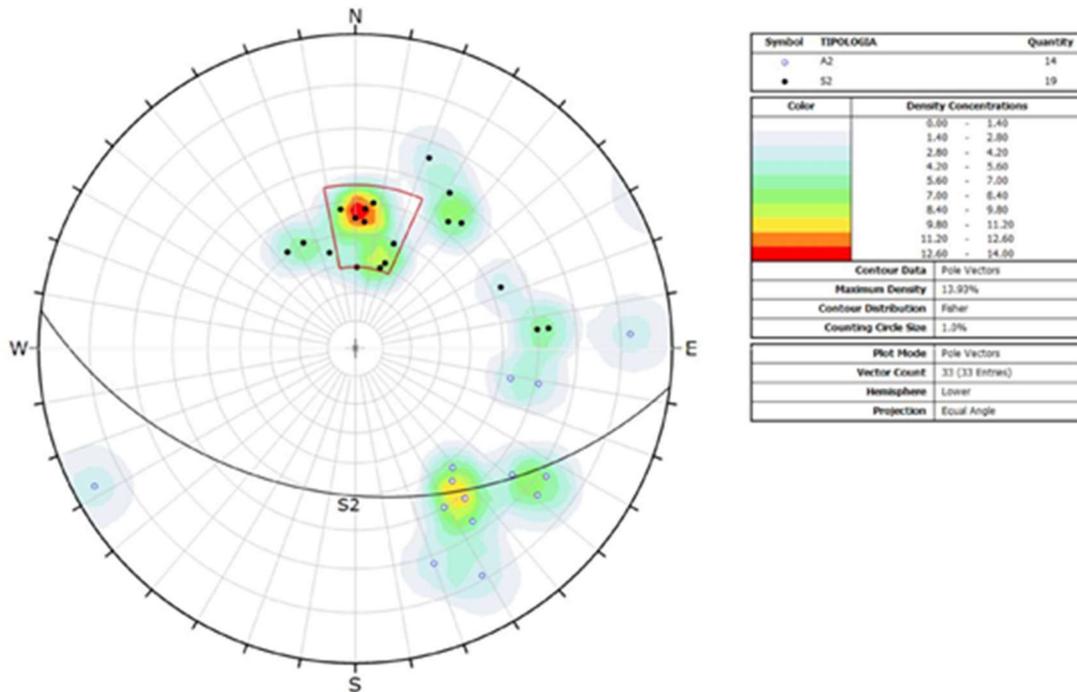


Figura 11 - Proiezione equiareale degli assi A<sub>2</sub> e del clivaggio S<sub>2</sub> della fase deformativa D<sub>2</sub> (Gasco & Vai, *Relazione geologica*, 2018).

Infine, dall'analisi della dispersione degli elementi strutturali delle fasi D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub> (figure 10 e 11), si osserva una certa dispersione dei poli anche in direzione NW - SE che indica la presenza di una fase deformativa D<sub>3</sub> con piano assiale sub-verticale con direzione NE - SW. Questo è visibile nella sezione E dove la cresta della cerniera dell'antiforme D<sub>2</sub> viene deformata da praticamente orizzontale (in zona Monfranco) a immergere a SE di 30° circa (al di sotto di Tabanot).

### **Deformazione fragile**

In primo luogo, è doveroso ricordare come la deformazione fragile appaia nei litotipi presenti nella cava. Le faglie sono visibili con maggiore difficoltà nei litotipi ricchi in fillosilicati per via della loro duttilità e facilità con cui assorbono le deformazioni e per questo le zone di faglia sono ampie e composte da numerose superfici. Nei calcari risultano invece breccie tettoniche a clasti di calcare in matrice carbonatica.

I sistemi di faglia principali sono quattro e sono individuabili nello stereogramma della figura 12. In particolare, le faglie del sistema F4 sono molto frequenti e persistono su entrambi i fronti di produzione.

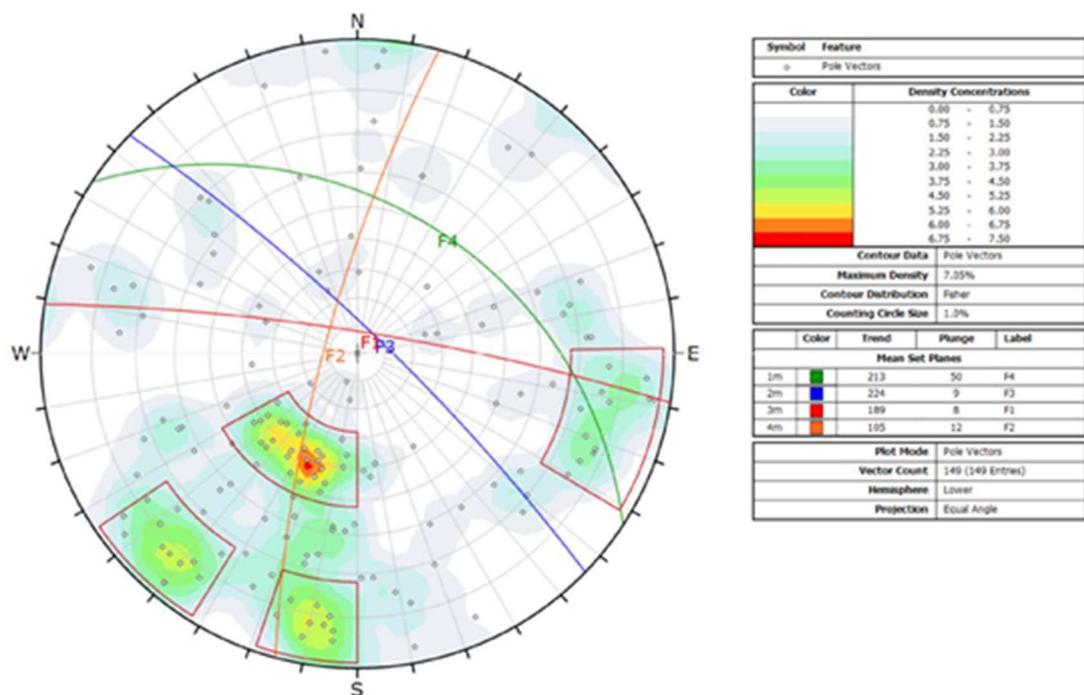


Figura 12 - Proiezione equiareale delle superfici di faglia (Gasco & Vai, Relazione geologica, 2018).

In correlazione alle faglie sono stati individuati cinque sistemi di discontinuità, elencati di seguito e rappresentati in figura 13 (Gasco & Vai, 2018):

1. sistema J1: è costituito da superfici immergenti verso N-NNW con inclinazione di 40-70°, con una discreta dispersione dei poli;
2. sistema J2: è costituito da superfici coniugate con direzione circa N-S con inclinazione > 65° e prevalentemente immergenti verso W. La maggior parte delle superfici immerge comunque verso W;
3. sistema J3: immerge verso NE con inclinazione di 50-80° e presenta notevole dispersione dei poli;
4. sistema J4: immerge prevalentemente verso ENE con inclinazione di 20-40°, è poco evidente e potrebbe rappresentare un sottosistema di J3;
5. sistema J5: immerge verso SE con inclinazione di 25-45°.

Si nota inoltre la presenza di numerosi giunti dispersi, i quali sono così diradati da non poter essere classificati all'interno di un sistema unico.

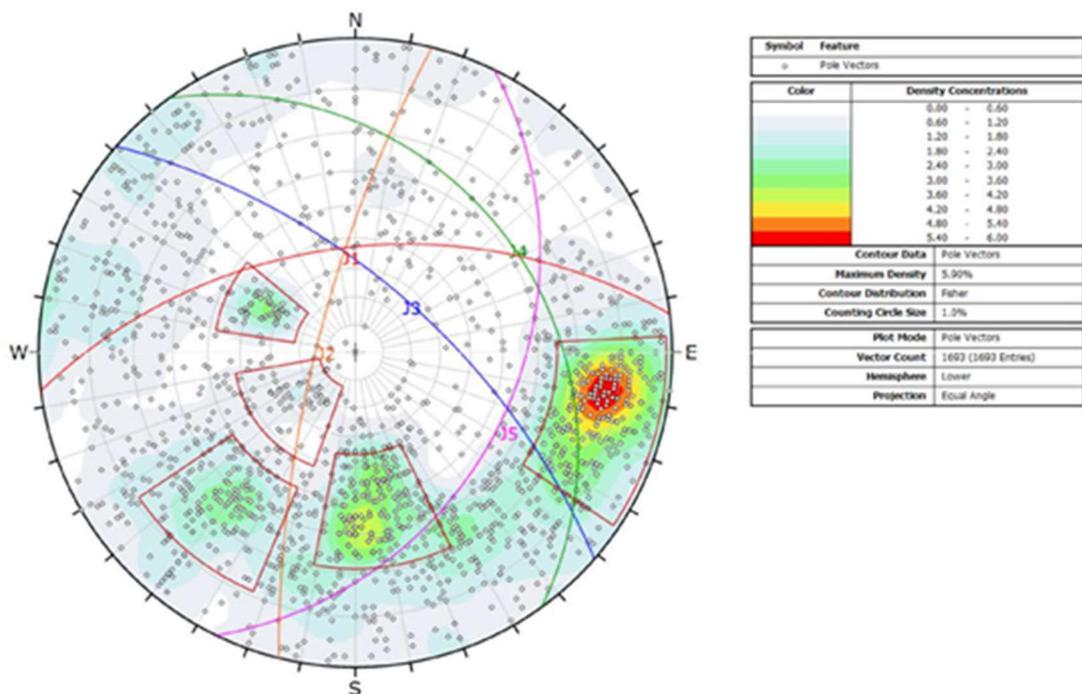


Figura 13 - Proiezione equiareale delle superfici di frattura (Gasco & Vai, Relazione geologica, 2018).

### Modello geologico – strutturale

La zona di cava presenta numerosi sistemi di faglie facilmente visibili sui fronti di scavo e ciò determina una discreta complessità strutturale dell'ammasso roccioso. La Tavola 6 (Gasco & Vai, 2018) riportata in allegato, descrive la composizione geologica dell'area e visualizza i principali sistemi di faglia presenti. Nella Tavola 7 (Gasco & Vai, 2018) riportata in allegato, sono state riprodotte le sezioni geologiche più rappresentative tralasciando i depositi eluvio – colluviali per apprezzare al meglio l'andamento del substrato roccioso. È stata inoltre riportata la topografia finale per valutare le interferenze con le strutture geologiche a seguito della coltivazione.

Dalla successione stratigrafica si evince che gli strati sono deformati da pieghe con asse immergente verso SE a lieve angolo ( $15 - 35^\circ$ ) e piano assiale immergente a SW con inclinazioni che arrivano a  $40 - 45^\circ$ . Sono presenti due strutture sinformi alternate da una struttura antiforme, la quale mostra un angolo tra i fianchi più stretto in corrispondenza dei litotipi meno competenti (argilloscisti) (sezioni B, C, D).

Le faglie principali appartengono ai sistemi F1 e F3, particolarmente evidenti sul fronte Tabanot. Nello specifico, appartenente al sistema F1, si trova una struttura costituita da numerose superfici che converge verso l'impluvio e che prosegue verso W nel cantiere Monfranco, con direzione circa E – W e inclinazione subverticale.

Sempre in corrispondenza dell'impluvio, è presente una faglia del sistema F2 con direzione NE – SW immergente verso NW con inclinazione di  $60 - 70^\circ$  e cinematismo trascorrente destro.

Tuttavia, le strutture di maggiore interesse appartengono al sistema F4.

La prima di queste è costituita da una faglia con direzione NW – SE (sezioni A, B) ed immergente verso NE con inclinazione superiore a  $70^\circ$  in zona Tabanot. Questa faglia affiora nella parte centrale del fronte a quota 840 m (fig. 14).



*Figura 14 – Particolare della faglia del sistema F4 affiorante a quota 840 m. La fotografia è stata scattata da quota 830 m sulla pedata del gradone sottostante.*

Una seconda faglia molto continua con giacitura simile a quella precedentemente descritta è presente lungo i gradoni tra le quote 820 e 845 m. Si distende per 250 m circa ed è caratterizzata da un'inclinazione di 40 – 45° (fig. 15). Nelle immediate vicinanze della superficie principale di faglia l'ammasso roccioso è densamente fratturato in blocchi dal volume medio di 2 – 4 dm<sup>3</sup>. Questa superficie di faglia è associata a superfici di frattura subparallele ad essa e nel settore meridionale interessa anche i due gradoni superiori fino a quota 860 m circa.



*Figura 15 - Particolare della faglia del sistema F4 affiorante a quota 835 m.*

La direzione della faglia è subparallela all'orientazione dei fronti e la sua inclinazione di 40 - 45° comporta che tale superficie tagli diversi gradoni secondo lo schema riportato in figura 16. Con l'evolvere della coltivazione verso il basso, la superficie interessa gradualmente la parte superiore dei gradoni.

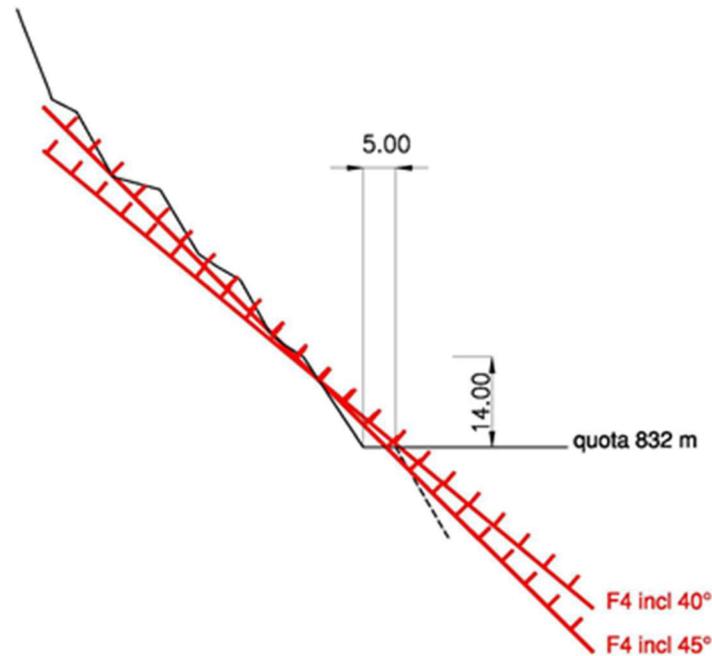


Figura 16 - Rappresentazione schematica dei rapporti di intersezione tra la faglia F4 e la configurazione finale dei gradoni.

Essendo caratterizzate da una giacitura a franapoggio, queste faglie hanno subito degli interventi di chiodatura e rinforzo con funi e reti corticali per stabilizzare e consolidare i volumi di roccia potenzialmente instabili.

Infine, è da citare che l'area tra i due fronti Monfranco e Tabanot è caratterizzata da un'intensa fratturazione dovuta all'intersezione tra più superfici di faglia appartenenti ai sistemi F1 e F2.

Inoltre, nel settore meridionale del piazzale Monfranco affiora una faglia con direzione N ed inclinazione di 75 – 80° che taglia il sistema F4 e che ha originato un'intensa fratturazione in concomitanza con la piega antiforme (fig. 17).



Figura 17 - Intersezione della superficie di faglia N 75 - 80° (sistema F1) e faglia del sistema F4.

### ***Metodo e tecnica di coltivazione***

In linea generale le attività di scavo per fette discendenti consistono in azioni cicliche che iniziano con la rimozione dello sterile di copertura tramite escavatore; esso viene temporaneamente accantonato in un'area dedicata, per essere successivamente riutilizzato per la realizzazione di manufatti (quali piste, cordoli protettivi, ...) ma soprattutto per il recupero ambientale dei gradoni. Raggiunto il giacimento, si procede alla coltivazione del materiale utile secondo la metodologia definita in fase di progetto. Nel caso in esame, il metodo previsto è per fette orizzontali discendenti; la tecnica adottata è mediante l'impiego di esplosivo, da cui risulta un sistema di scavo ciclico. Tramite un fornello di gettito, l'abbattuto viene trasportato al frantoio ad urto dove viene ridotto di pezzatura e condotto in cemenzeria su un nastro trasportatore.

Le operazioni di recupero morfologico e vegetazionale avvengono contemporaneamente a quelle di estrazione.

Nei paragrafi successivi si analizzano nel dettaglio le fasi del ciclo produttivo, con attenzione anche alle modifiche e ai miglioramenti ottenuti nel corso degli anni.

### ***Cronistoria***

#### ***Disponibilità della materia prima e scelta del sito***

Le rocce calcaree rientrano nella categoria dei minerali industriali, che per definizione sono materiali dotati di basso valore unitario e che hanno la caratteristica interessante di essere prodotti e commercializzati in "quantitativi industriali", originando, conseguentemente, grandi volumi di fatturato. Nel caso specifico, costituiscono una litologia abbastanza diffusa sui rilievi montani compresi tra la Valle Stura di Demonte e la Val Vermentagna. Tuttavia, la zona in cui i calcari hanno da sempre suscitato

un forte interesse per la produzione di cemento è la bassa valle Gesso: proprio in quell'area nacquero nella seconda metà del '900 diversi cantieri di estrazione e produzione di tale materiale. Infatti, l'utilizzo del calcare ad elevato tenore di  $\text{CaCO}_3$  consente di confezionare artificialmente, con l'aggiunta di minerali che non troverebbero alcun impiego in altri settori, una farina cruda per la produzione del cemento con caratteristiche controllate e in quantità che non sarebbe possibile soddisfare con l'utilizzo di minerali naturali (contenuti, per esempio, nella marna), poco diffusi e generalmente presenti in giacimenti di dimensioni modeste.

Le motivazioni che stimolano interesse verso i giacimenti della Valle Gesso sono da ricercarsi nell'assetto geologico e minerario e nell'alta qualità della materia prima, che la rendono ideale per uno sfruttamento industriale.

In particolare, i motivi essenziali sono due:

- caratteristiche geochemiche del calcare, tali da renderlo idoneo alla produzione di cemento (elevata purezza, con percentuali minime o nulle di magnesio, zolfo e potassio);
- dimensioni degli ammassi e giaciture rispetto al rilievo montuoso tali da garantire l'estrazione di grandi quantità di materiale.

Soprattutto i vincoli di carattere geochemico limitano notevolmente i potenziali giacimenti di calcare sfruttabili a due sole formazioni geologiche (Calcari del Malm – Dogger del Brianzone e del Sub-brianzone), tra quelli che comunque avrebbero cubature minime per rendere proficua la coltivazione.

Altre motivazioni accessorie ma non meno importanti sono le seguenti:

- condizioni di quota altimetrica del sito ed esposizione dei versanti che consentano la coltivazione durante tutto l'anno (o gran parte di esso);
- condizioni di accesso e possibilità di collegamento con la cementeria che siano tecnicamente ed economicamente sostenibili;
- localizzazione in una valle secondaria, di limitato o scarso interesse per lo sfruttamento agricolo e relativamente lontana dagli assi vallivi di maggior fruizione turistica.

Poiché il giacimento all'imbocco della breve Valle di Roaschia possiede queste caratteristiche e peculiarità, venne selezionato come sito sfruttabile per la produzione di calcare per lo stabilimento Buzzi Unicem di Robilante negli anni '960.

### ***Prima fase della cava: 1965 - 1990***

La coltivazione nella Cava di Roaschia si sviluppò a partire dal 1965, in contemporanea con l'avviamento del primo forno di produzione del clinker a Robilante, interessando l'ammasso di calcari affiorante sulla fascia medio-inferiore del versante destro della Valle di Roaschia.

La progettazione prevede lo sfruttamento con metodo a gradoni multipli montanti nel settore della Cava 1, ossia quell'area con baricentro 500 m a monte della frazione di Tetto Bandito, all'imbocco della valle.

In base a tale metodo, la coltivazione iniziò dal basso per progredire arretrando e innalzandosi alle quote progressivamente superiori (fig. 18). I gradoni erano spesso caratterizzati da una limitata pedata, per consentire al materiale caduto dall'alto di raccogliersi nel piazzale di base. Ciò presuppone che l'inclinazione globale della cava fosse maggiore dell'angolo di naturale declivio del materiale

abbattuto. La percentuale di abbattuto che rimaneva sui gradoni, che si attestava sul 20%, veniva spinta verso il basso grazie a mezzi meccanici.

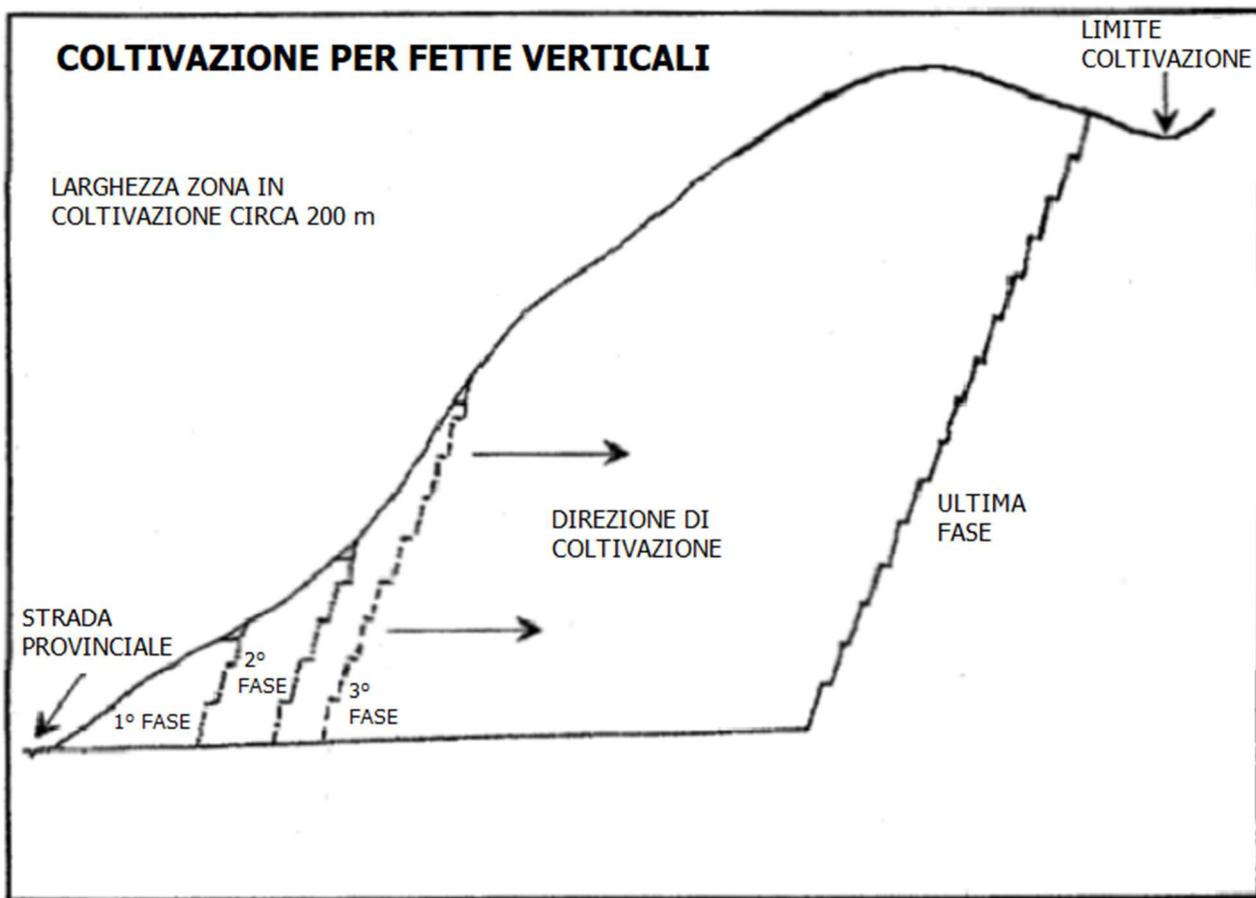


Figura 18 - Rappresentazione del metodo di coltivazione per fette verticali montanti. (Froni, "Ciclo tecnologico per la produzione del cemento", 2018)

Questa metodologia fu attuata poiché presentava alcuni vantaggi immediati:

1. minima movimentazione del materiale, che raggiungeva il piazzale per gravità;
2. ridotto investimento iniziale;
3. immediata produzione.

Presentava però una serie di problematiche:

1. difficoltà a garantire la sicurezza delle lavorazioni, dovendo i mezzi d'opera operare spesso in spazi angusti ed essendo sovente le pareti subverticali e di notevole altezza;
2. complessità nella gestione del cantiere;
3. notevole impatto ambientale e paesaggistico;
4. disagi per il recupero ambientale a causa dei pendii ripidi e della stabilità delle opere, soprattutto le rampe; inoltre, il recupero fu attuabile solo nelle fasi finali della coltivazione o a coltivazione conclusa.

Per quanto concerne il trasporto dell'abbattuto dal fronte all'impianto di frantumazione, esso veniva convogliato per gravità fino al piazzale di base e successivamente alimentato al frantoio mobile tramite pala caricatrice gommata. Il materiale frantumato raggiungeva poi, tramite un breve nastro trasportatore, il nastro principale collocato in galleria.

In realtà, fino al 1975, il trasporto del calcare alla cemeniera avvenne su gomma, per evidenti ragioni di semplicità e flessibilità, ma la modalità prevista fin dai primi tempi fu quella di ricorrere a un nastro trasportatore, attraverso una galleria di lunghezza 5688 m, che consentiva di raggiungere direttamente lo stabilimento di Robilante, senza interferire con la viabilità locale. Furono necessari, però, 10 anni prima che la galleria fosse completata, superando le difficoltà geomorfologiche e geostrutturali delle formazioni attraversate, e che il nastro in sotterraneo fosse installato e messo in funzione.

Ad opera realizzata e funzionante, i vantaggi furono immediati, sia di carattere tecnico – economico, sia ambientale:

- eliminazione dalla circolazione viaria di circa 35 camion, per un totale di circa 400 cicli/d, sulla strada pubblica di collegamento tra la Valle di Roaschia e lo stabilimento di Robilante, con tutti i disturbi connessi al passaggio dei mezzi nel centro abitato di Roccavione;
- miglioramento netto del bilancio energetico legato ai trasporti, grazie al minor consumo di energia conseguito con l'eliminazione del trasporto su ruota.

La giacitura del banco di calcare, immergente fino alla quota di 900 m sotto ad un banco di dolomie in sovrascorrimento tettonico, permise la coltivazione della sola porzione più superficiale e comportò una migrazione graduale dei fronti verso Sud. Il successivo cantiere fu dunque impostato ancora a gradoni montanti nel settore denominato Cava 2, ossia nell'area del versante adiacente alla Cava 1 fino alla vallecchia secondaria di Tetto Rei.

### ***Seconda fase della cava: 1990 - 2002***

All'inizio degli anni '90 venne progettato lo sfruttamento del giacimento di Ciapelaruta, adiacente alle precedenti aree estrattive, fino all'area denominata Tetti Gheina. Un'innovazione nel progetto fu il passaggio alla coltivazione per fette orizzontali discendenti, movimentazione del materiale attraverso un fornello di gettito, frantumazione in una caverna sotterranea ed estrazione tramite un nastro trasportatore nella galleria di base. Lo splateamento quindi avveniva dall'alto verso il basso e generalmente solo al termine dell'esaurimento di una platea si poteva accedere alla successiva (fig. 19).

A differenza del metodo precedente, gli investimenti iniziali risultarono maggiori perché si dovettero realizzare piste di arrocco di maggiore lunghezza, opere sotterranee e, in caso di presenza di uno strato sterile di copertura, esso doveva essere rimosso, con un ritardo nella produzione di materiale utile.

Allo stesso tempo, però, i vantaggi furono rilevanti:

1. la gestione del cantiere risultò semplificata;
2. vi fu un incremento della sicurezza nelle operazioni di cava poiché nessun addetto operava sotto i fronti di scavo. Inoltre, i mezzi lavoravano su un ampio piazzale e su una platea che si restringeva solamente nella fase terminale della coltivazione;
3. l'impatto paesaggistico fu notevolmente ridotto in quanto il cantiere occupava l'altezza di una sola fetta (15 m) e non l'intero pendio del giacimento, come in precedenza;
4. il recupero era contestuale alla coltivazione e ciò garantiva un limitato impatto ambientale e paesaggistico.

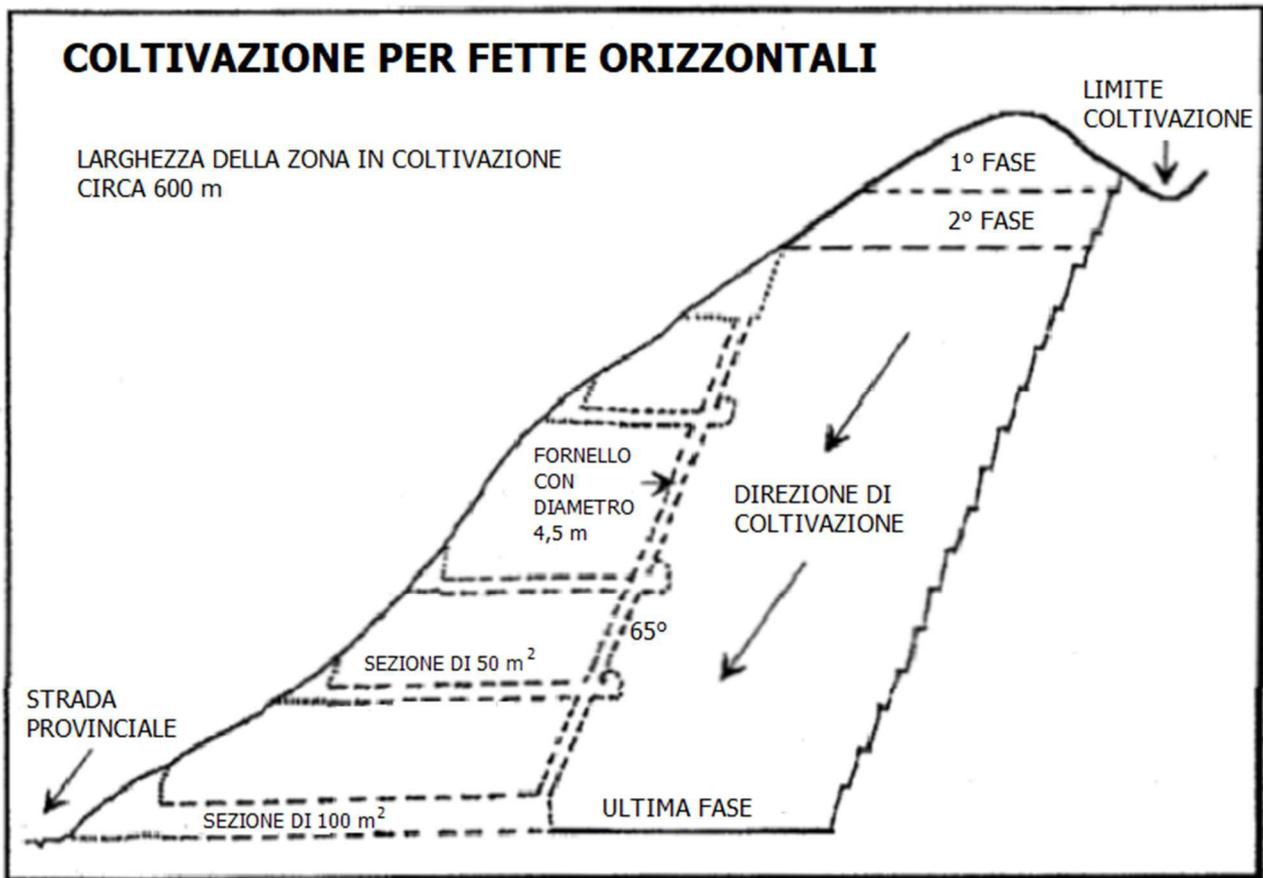


Figura 19 - Rappresentazione del metodo di coltivazione per fette orizzontali discendenti. (Froni, "Ciclo tecnologico per la produzione del cemento", 2018)

Un'ulteriore modifica a livello progettuale riguardò la movimentazione dell'abbattuto dal fronte all'impianto di frantumazione. Prima dell'inizio della coltivazione, doveva essere creata l'infrastruttura sotterranea costituita da un fornello di gettito subverticale che conferiva il materiale ad un impianto di frantumazione ospitato all'interno di un camerone. Infine, una galleria di base doveva connettere la caverna con il piazzale esterno e alloggiare il nastro trasportatore secondario, che raggiungeva quello principale. L'unico trasporto su gomma (pala gommata più dumper o sola pala gommata) fu quindi limitato al breve tratto compreso tra il fronte e la bocca del fornello. In tal modo venne eliminato ogni disturbo all'ambiente circostante, in quanto il sistema non produceva polveri e la fonte principale di rumore (il frantoio primario) fu limitata a quanto accadeva in caverna.

La scelta del sistema fornello di gettito – frantumazione in caverna – galleria di estrazione in automatico apparì e appare ancora oggi la più valida e idonea configurazione per minimizzare le interferenze con l'ambiente esterno.

In particolare, nel cantiere di Ciapellaruta fu impostato un unico fornello con una galleria di base di estrazione del materiale dal camerone di frantumazione, oltre ad altre tre gallerie a quote superiori utilizzate per lo scavo del fornello e per la manutenzione straordinaria, come rappresentato nella precedente figura 19. In primis furono scavate con l'esplosivo le 4 gallerie: quella di base aveva lunghezza di 200 m e sezione di 100 m<sup>2</sup>, mentre le tre superiori lunghezza a mano a mano decrescente e sezione di 50 m<sup>2</sup>. Successivamente fu realizzato il fornello unendo le estremità delle gallerie di accesso: esso aveva una lunghezza di 170 m circa, inclinazione di 65° e diametro di 5 m.

Pochi anni più tardi, data la necessità di programmare lo sviluppo dell'estrazione su una durata compatibile con le dimensioni ormai assunte dal polo industriale e dato l'incremento di richiesta di materia

prima calcarea della cementeria, si iniziò a organizzare la graduale espansione dell'area di cava anche sul fronte opposto, in località Tetti Monfranco, dove ispezioni geologiche avevano rilevato la presenza di un ammasso di calcari di rilevanti dimensioni e di buona qualità. Il progetto venne avviato con molta gradualità nel 1987, adottando lo stesso metodo di coltivazione del cantiere di Ciapelaruta e prestando particolare attenzione agli aspetti del recupero ambientale, come richiesto dalle amministrazioni locali.

### ***Terza fase della cava: 2002 - 2024***

A distanza di 15 anni dall'apertura del nuovo cantiere venne fatta una verifica della capacità di sviluppo della cava, al fine di valutare le riserve residue nell'ambito dell'area compromessa e di prospettarne l'esaurimento e la sistemazione finale, nel quadro della programmazione dell'intera area industriale produttiva. Lo studio venne effettuato nel 2002, ed emerse che le riserve ancora presenti erano da sfruttare completamente, sia nell'area di Ciapelaruta, sia nel cantiere Monfranco: nel primo caso si prevede un ribasso del piazzale finale, nel secondo l'arretramento del limite superiore del fronte di scavo e l'espansione meridionale nel futuro cantiere denominato Tabanot.

Analizzando con maggiore attenzione lo Studio di Impatto Ambientale redatto, approvato e firmato nell'anno 2002, il giacimento ancora sfruttabile (Ambrogio, Basiglio, Piovano, 2002) “...prende in considerazione le riserve di minerale ancora coltivabili nell'ambito delle aree già individuate dai precedenti progetti e quelle messe in luce da recenti indagini,” garantendo calcare a sufficienza per i successivi 20 anni.

Il programma del progetto prevede sostanzialmente le seguenti azioni (Ambrogio, Basiglio, Piovano, Studio di Impatto Ambientale, 2002):

- *“esaurimento del cantiere di Ciapelaruta con smantellamento dei relativi impianti*
- *impostazione di un fornello di gettito alle spalle del fronte di Monfranco e ripresa della coltivazione ad una quota superiore di circa 50 metri rispetto al limite attuale*
- *ribasso della porzione superiore di giacimento fino alle quote delle spianate oggi attive*
- *ribasso finale attuato per singole fette fino alle quote minime stabilite nel precedente progetto.”*

Dal punto di vista evolutivo, la coltivazione si sviluppò in quattro periodi corrispondenti a quattro quinquenni successivi:

#### ▪ **Periodo 1 (2004 - 2009)**

Cantiere Ciapelaruta: a partire dalla quota del piazzale attivo (795 m), il nuovo progetto prevede l'abbassamento parzialmente in fossa, fino alla quota 760 m, invece dei 780 m previsti dal progetto che era allora in vigore.

Fu previsto inoltre lo smantellamento dell'impianto di frantumazione in caverna, che poi venne montato nella camera di frantumazione di Tabanot a partire dalla seconda metà del 2005, e del relativo nastro in galleria, che occupavano parte del giacimento ancora da sfruttare.

Nelle operazioni terminali venne predisposto un piazzale lungo la strada provinciale con destinazione d'uso finale turistico – ricreativa.

Cantiere Monfranco: in primis furono eseguiti i lavori preparatori per l'ampliamento dell'area di estrazione in direzione SE in quello che venne definito successivamente cantiere Tabanot. A partire dalla quota 990 m venne realizzato, con la tecnica del raise borer (fig. 20), il primo fornello di lunghezza 140 m, inclinato di 70° sull'orizzontale e con diametro 4,5 m, raggiungendo la galleria di base di quota 860 m. In questo scavo di sezione di circa 100 m<sup>2</sup> e 15 m di profondità, venne installato un impianto di estrazione a piastre che caricava direttamente i dumper che trasportavano il tout – venant al fornello di Monfranco.

Questa configurazione durò fino a quando nel 2005 venne smontato l'impianto di frantumazione di Ciapelaruta, che dopo alcune modifiche ed integrazioni, venne collocato nella posizione attuale nella camera di frantumazione di Tabanot a quota 746 m. Il fornello inferiore (lungo 110 m, inclinato di 70° sull'orizzontale, diametro di 4,5 m), venne realizzato a partire dalla quota 845 m per raggiungere il camerone sopracitato. Il collegamento fra i due fornelli venne eseguito realizzando una tramoggia in roccia fra le quote 860 m e 845 m e nella galleria di quota 845 m venne installato un impianto di estrazione a piastre accoppiato ad un nastro trasportatore in gomma di 2000 mm di larghezza (fig. 21).

Contemporaneamente, nel settore Nord fu effettuato un lieve arretramento del ciglio superiore del fronte risalendo di circa 50 m in quota, al fine di ottenere una riprofilatura generale per migliorare la stabilità globale e l'impatto visivo.



*Figura 20 - Raise borer utilizzato per lo scavo del fornello.*



*Figura 21 - A sinistra, tramoggia in roccia che connette il fornello superiore a quello inferiore; a destra, impianto di estrazione e nastro trasportatore per la movimentazione dell'abbattuto dal fornello superiore a quello inferiore.*

- **Periodo 2 (2009 – 2014)**

Nell'anno 2008, mentre il cantiere Monfranco manteneva la sua massima capacità produttiva, il cantiere Ciapelaruta terminò la sua attività e l'area di cava venne restituita al comune di Roaschia l'anno successivo.

Nel cantiere Tabanot l'estrazione si impose mediante il ribasso delle fette sommitali fino alla quota di 860 m, corrispondente alla base del fornello superiore (che venne quindi eliminato). La coltivazione proseguì giungendo alla quota minima raggiunta in precedenza nell'adiacente cantiere Monfranco di 845 m, realizzando così un'unica grande spianata di coltivazione asservita dal fornello inferiore.

- **Periodo 3 (2014 – 2019)**

Lo sfruttamento del giacimento continuò secondo lo schema ormai consolidato del ribasso per fette orizzontali fino alla quota di 785 m circa, mantenendo uniti i piazzali del cantiere Monfranco e del cantiere Tabanot.

- **Periodo 4 (2019 – 2024)**

In riguardo all'ultimo quinquennio, si è appena ottenuta l'autorizzazione per procedere con il ribasso della quota del piazzale di estrazione fino al limite inferiore, stabilito a quote decrescenti, da SE verso NW, di 750 e 735 m. Verranno interamente smantellati i due fornelli (Monfranco e Tabanot), nonché le due caverne che ospitano i due frantumatori primari. Tali impianti, per un breve periodo, dovranno essere installati esternamente, in attesa che si raggiunga la quota finale.

È in corso di progettazione l'espansione meridionale della cava in posizione adiacente al cantiere Tabanot, verso Tetto Viale. Il progetto, in fase di definizione, permetterebbe di aumentare la vita utile della cava e di fornire regolarmente materia prima allo stabilimento di Robilante per i successivi 25 anni.

### ***Stato attuale dei lavori***

Per garantire lo sfruttamento ottimale del giacimento si adotta il metodo, ormai consolidato da anni, di coltivazione per fette orizzontali discendenti mediante fornello, ossia il materiale è estratto tramite graduale abbassamento del piazzale di scavo fino a raggiungere la quota finale progettata, lasciando in posto la geometria finale del pendio a gradoni. Infatti, la coltivazione procede con l'abbattimento di singole fette dallo spessore di 15 m mantenendo un piazzale frontale che faciliti le operazioni, soprattutto quelle di manovra dei mezzi (fig. 22).



*Figura 22 - Vista del piazzale di cava dai gradoni di Monfranco. Sulla destra sono visibili i gradoni parzialmente recuperati del cantiere Tabanot. In centro a sinistra l'officina e gli impianti di partenza del nastro e sullo sfondo i gradoni esauriti del fronte in sponda orografica destra.*

L'esperienza ha dimostrato che con tale metodo è possibile ottenere innegabili vantaggi in termini di circoscrizione dell'area compromessa, rapidità nei risultati del recupero ambientale, agevolazione delle operazioni di scavo e trasporto dell'abbattuto, miglioramento della sicurezza all'interno dell'area di cantiere.

Il ciclo operativo di cava comprende le seguenti attività:

1. Perforazione dei fori da mina;
2. Abbattimento con esplosivo con innesco microritardato;
3. Smarino e caricamento dell'abbattuto su dumper, trasporto e scarico nel fornello di gettito;
4. Frantumazione in impianto in caverna;
5. Invio del calcare mediante nastri alla cementeria.

Lo scavo avviene tramite esplosivo. Il materiale abbattuto viene trasportato con mezzi gommati al fornello dove giunge ad un frantoio all'interno di un camerone raggiungibile da una galleria di base. La pezzatura del calcare viene ridotta fino ad ottenere una granulometria eterogenea minore di 6 cm. Un nastro trasportatore in sotterraneo, dalla lunghezza di 6 km circa, convoglia il materiale al cementificio.

Si noti che il materiale estratto, essendo di ottima qualità, viene sfruttato integralmente, senza scarto di alcuna frazione sterile.

## Perforazione

La perforazione di fori di diametro  $\varnothing = 101$  mm (4 pollici) e inclinazione  $70^\circ$  avviene sulla pedata superiore del gradone grazie all'azione di macchine perforatrici top hammer a roto-percussione su carri di fabbricazione Ingersoll - Rand.

La lunghezza dei fori varia da 6 – 7 m nelle volate di apertura del piazzale fino a 15 m nelle volate standard di produzione. La maglia di tiro consolidata nel corso degli anni ha una spalla  $V = 2$  m ed un interasse tra le mine  $E = 3$  m. In superficie, la spalla risulta così ridotta (rispetto all'indicazione di 4 m suggerita dalla formula  $V = 40 \varnothing$ ) per un semplice motivo: durante lo sgombero della volata precedente, l'escavatore disaggia con la benna il materiale fratturato, rimasto sulla superficie verticale del gradone, fino a trovare il calcare più compatto. Nella parte alta del gradone riesce ad asportare uno spessore maggiore di materiale rispetto alla parte bassa. Quindi, la spalla  $V = 2$  m in superficie, corrisponde ad uno spessore crescente verso il piede, fino a raggiungere 3 – 4 m. Inoltre, le file di fori sono sfalsate, in modo che i fori della fila pari siano intestati centralmente rispetto ai fori della fila dispari. Ciò consente una migliore frammentazione del materiale (maglia di tiro triangolare) (fig. 23).

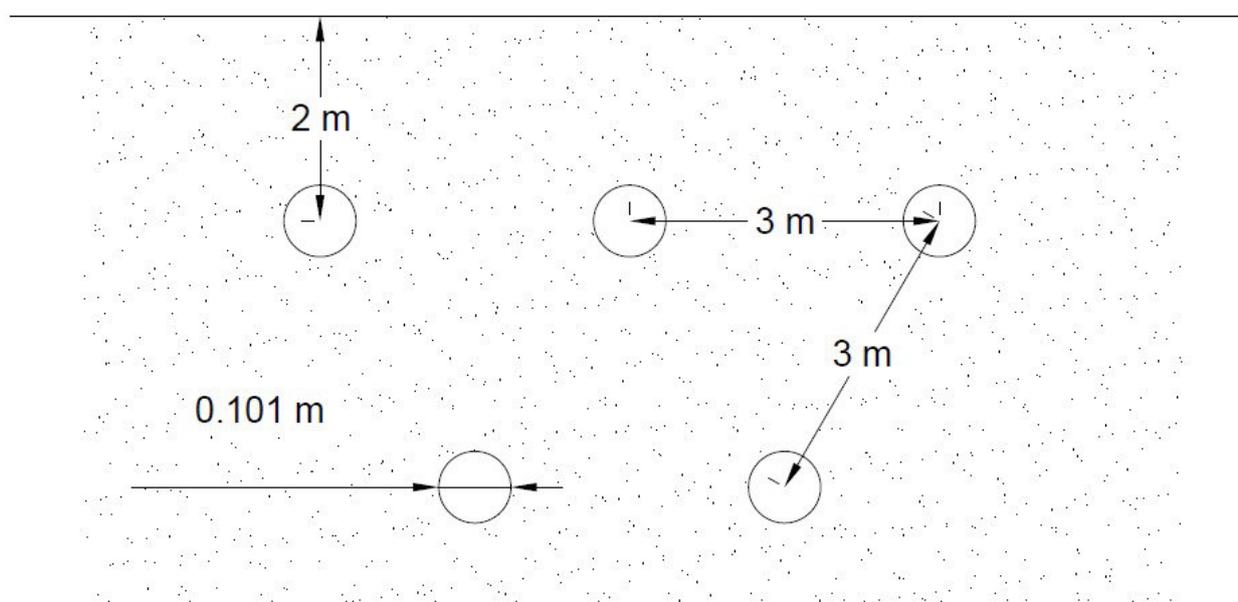


Figura 23 - Maglia di perforazione.

In totale il numero di fori varia da volata a volata, ma si può assumere con buona approssimazione che in quelle di splateamento e apertura del piazzale sia di circa 70 - 80, mentre per le volate standard sul gradone vari da 35 a 45.

Le aste di perforazione hanno lunghezza di 3,660 m e l'utensile è a bottoni di widia. L'allontanamento del detrito avviene per circolazione diretta a secco: l'aria compressa viene iniettata all'interno delle aste dove a fondo foro spinge verso l'alto il detrito che passa tra la parete del foro e le aste, e raggiunge la superficie. Il materiale di spurgo viene captato da un impianto di aspirazione che depolverizza l'aria e lo deposita accanto alla perforatrice (fig. 24).

Le perforatrici impiegate nella cava, montate su un carrier cingolato e dotate di una slitta di guidaggio, hanno le seguenti caratteristiche:

- Impianto di climatizzazione e filtrazione dell'aria per garantire un miglior comfort all'operatore e preservarlo dalle polveri;

- Insonorizzazione con materiale fono-assorbente, che garantisce il livello sonoro di sicurezza all'interno dell'abitacolo;
- Impianto di aspirazione e captazione dei detriti di perforazione;
- Azionamento idraulico con unità motrice centrale costituita da un motore a combustione interna;
- Estintore antincendio.



Figura 24 - A sinistra, vista frontale della perforatrice; a destra, vista dall'alto della fase di perforazione. Si nota il detrito di perforazione accanto ai fori.

La perforazione segue delle fasi cicliche, riassunte nel seguito:

1. Posizionamento della macchina;
2. Intesto del foro;
3. Aggiunta di aste;
4. Estrazione della batteria di aste a foro ultimato.

Tale procedimento viene effettuato e seguito dall'operatore (che si trova all'interno della cabina) tramite un quadro centrale di comando e di controllo. Durante questa fase non avvengono altre operazioni nei pressi del gradone.

### **Abbattimento**

Nella fase di abbattimento si eseguono le seguenti operazioni:

1. Caricamento dei fori con esplosivo;
2. Posizionamento degli inneschi;
3. Brillamento della volata.

L'esplosivo deve essere precedentemente ordinato e raggiunge la cava il mattino stesso in cui si prevede di sparare. Le tipologie impiegate sono due: EXEM 100, un'emulsione che svolge il ruolo di booster; EURANFO 77, è un detonante secondario sordo (schede tecniche in appendice).

I detonatori, del tipo NONEL, sono inseriti all'interno della cartuccia di emulsione, a costituire il primer, che viene calato in foro per primo. Si inseriscono poi le successive cartucce, in colonna. Per ottenere 3 cariche separate in ciascun foro, si ricorre al borrhaggio intermedio realizzato mediante il

detrito di perforazione (fig. 25). Infatti, come si può osservare in figura 25, la carica viene frazionata lungo foro, limitando così la quantità di esplosivo che detona simultaneamente al fine di non generare eccessive vibrazioni che possano colpire i ricettori sensibili.



*Figura 25 - Fasi del caricamento: inserimento del detonatore nell'emulsione; introduzione della cartuccia di EXEM 100 in foro; introduzione dell'ANFO in foro; divisione delle cariche con borraggio intermedio.*

Il sistema d'innesco è del tipo NONEL con ritardi in foro da 500 ms e connessioni di superficie con ritardo da 25 e 42 ms. L'obiettivo è ritardare ogni carica contenuta in ogni foro in modo che la detonazione non avvenga simultaneamente. Contrariamente a quanto viene generalmente descritto in letteratura, si innesca prima la carica superficiale, poi quella intermedia e per ultima la carica a fondo foro, seguendo una sequenza dall'alto verso il basso (fig. 26). Questa variazione è stata decisa in seguito a misure vibrometriche che hanno evidenziato un minore impatto se la successione avveniva dall'alto al basso. Inoltre, anche l'analisi della frammentazione dell'abbattuto non ha riportato variazioni negative con questo schema.

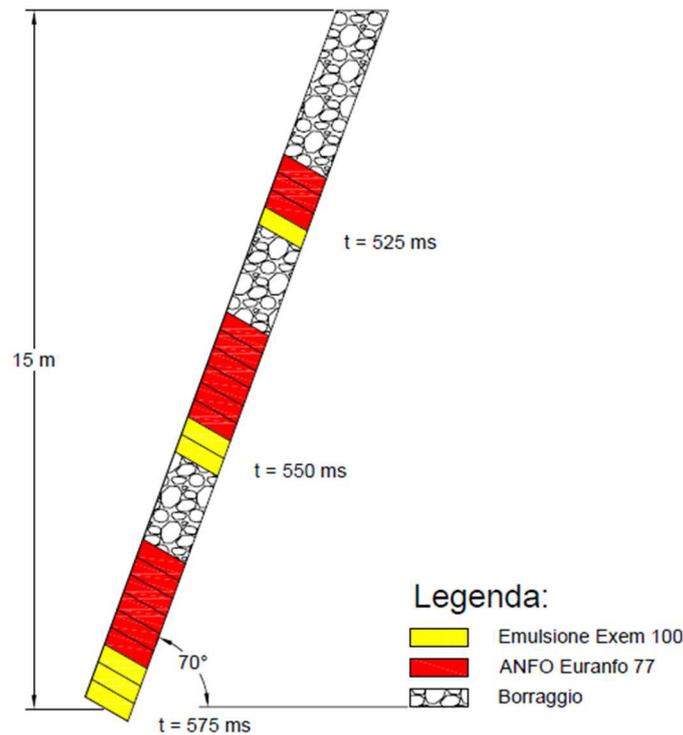


Figura 26 - Schema di caricamento del foro. Sono indicati i ritardi a cui detonano le cariche.

Nel dettaglio, ogni carica in foro viene innescata da una singola unità di connessione in superficie. L'impulso che arriva dalla linea di tiro innescando la prima unità di connessione. L'impulso prosegue innescando la carica a bocca foro del primo foro e la relativa unità di connessione da 25 ms che, a sua volta, innescando la carica intermedia dello stesso foro e la sua unità da 25 ms, la quale innescerà la carica a fondo foro e l'unità di connessione che andrà ad attivare la carica a bocca foro del secondo foro e così via (fig. 27). In tal modo il sistema è estremamente flessibile e adattabile anche a volate dalle geometrie irregolari.

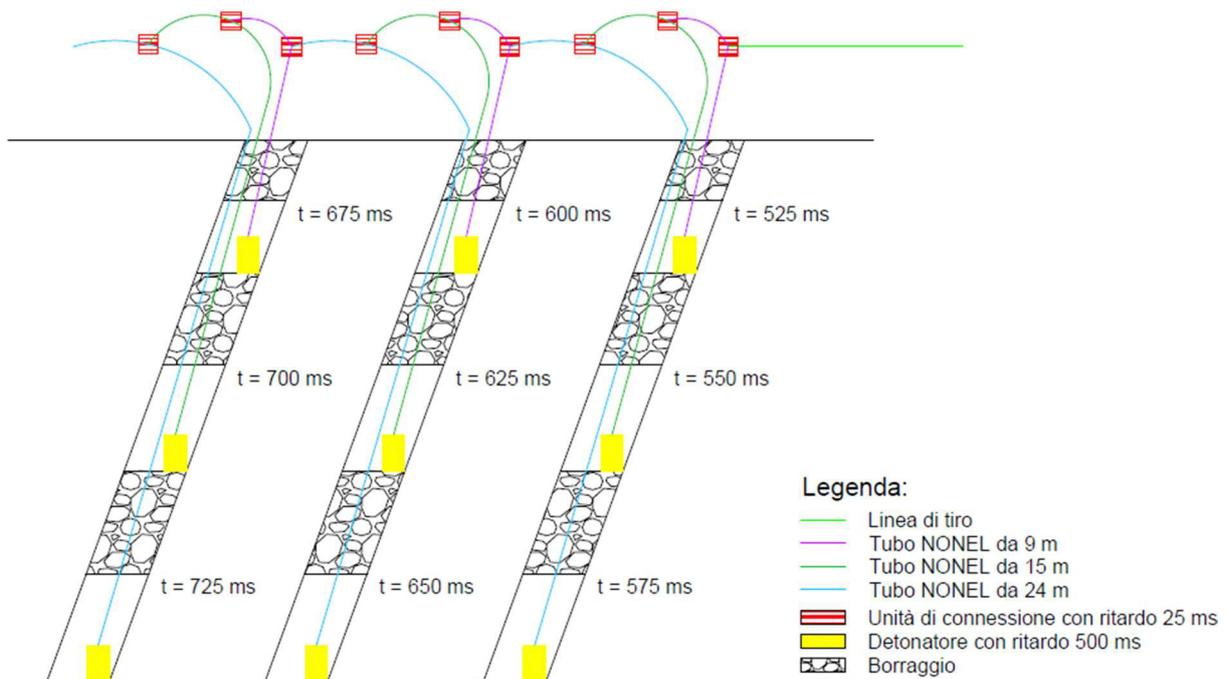


Figura 27 - Esempificazione della connessione e della sequenza di brillamento delle cariche nei primi 3 fori.

La sequenza di brillamento, vista dall'alto, ha la seguente configurazione (fig. 28):

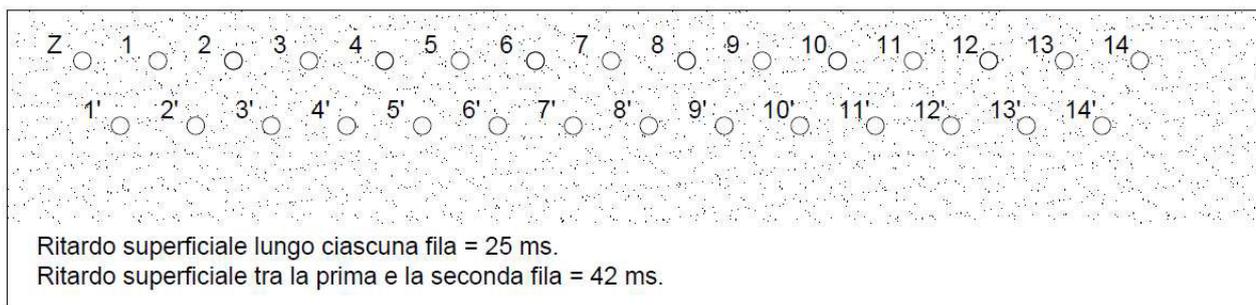


Figura 28 - Sequenza di brillamento delle mine.

Il brillamento è l'operazione più delicata, soprattutto dal punto di vista della sicurezza. Quando la sirena annuncia l'imminenza dello sparo, vengono sospese tutte le attività lavorative, l'intero personale viene evacuato in un luogo sicuro, viene interrotto temporaneamente il traffico stradale sulla strada provinciale in corrispondenza dell'area di cava e gli addetti allo sparo si proteggono dietro appositi ripari da eventuali proiezioni accidentali di roccia.

Infine, terminata la volata, un nuovo suono di sirena annuncia la fine del brillamento e tutte le attività lavorative riprendono regolarmente.

### ***Rimozione dell'abbattuto***

Il volume di roccia abbattuto/volata si aggira mediamente su  $3100 \text{ m}^3$  che, considerando una massa volumica pari a  $2,5 \text{ t/m}^3$ , corrispondono a  $6750 \text{ t}$  di roccia. Il materiale risulta frammentato con una pezzatura dalle dimensioni di una ghiaia fine fino a blocchi di  $8 - 9 \text{ dm}^3$  (fig. 29).



Figura 29 - Volume di roccia frammentata in seguito al brillamento.

Eventuali blocchi di dimensioni maggiori vengono lasciati in posto e sottoposti ad abbattimento secondario con martello demolitore, mentre si ricorre al patarraggio nel caso di livellamento del piazzale di lavoro.

Il volume abbattuto viene caricato sui mezzi di trasporto tramite escavatore cingolato a benna rovescia o con pala caricatrice. L'escavatore si posiziona su un'area leggermente sopraelevata rispetto alla quota del piazzale, al di sopra di una porzione di materiale abbattuto, in modo da essere agevolato

nelle manovre di riempimento e svuotamento della benna nel cassone del dumper. Anche la pala caricatrice partecipa alla rimozione dell'abbattuto sia caricando il cassone del dumper, se la distanza dal punto di scarico è superiore a 70 m, sia trasportando direttamente la bennata nell'area di stoccaggio se la distanza è inferiore (fig. 30).



Figura 30 – Escavatore, pala caricatrice e dumper impiegati nella fase di sgombero.

Successivamente alla rimozione dell'abbattuto, l'escavatore che si è posizionato nei pressi del fronte di scavo, opera un disgiungimento della parete, raschiando con la benna la superficie verticale del gradone per eliminare il materiale instabile che non si è distaccato per effetto della volata, in maniera da lasciare in posto un pendio di roccia integra. Quest'operazione è fondamentale per due motivi:

1. Per mettere in sicurezza l'area antistante il fronte riducendo il pericolo di caduta materiale e massi;
2. Per lasciare un gradone regolare, in modo che le operazioni successive (perforazione di una nuova volata) non risentano di irregolarità dovute a volumi di roccia erroneamente frammentati dalla volata precedente. Se dovesse verificarsi questa seconda circostanza, il rischio di proiezioni indesiderate potrebbe aumentare notevolmente.

I mezzi circolano sui piazzali e lungo le piste di carreggio muniti di apposita segnaletica stradale. La larghezza di 8 – 10 m e una pendenza massima del 10 – 12% permettono un loro agevole incrocio e passaggio. Durante i periodi secchi le piste vengono regolarmente irrorate d'acqua per impedire il sollevamento della polvere.

Generalmente, il trasporto avviene direttamente ai fornelli di gettito, creando un cumulo al di sopra di essi in modo da garantire sempre un apporto costante di materiale al frantoio.

### ***Frantumazione e trasporto allo stabilimento***

Il fornello denominato "fornello 1" del cantiere Monfranco si trova attualmente alla quota del piazzale di 803 m, ha un diametro di 6 m, è inclinato rispetto all'orizzontale di 70° e ha una lunghezza di circa 38 m. Convoglia il materiale in un camerone di base con quota del piano posta a 745 m al cui interno sono installati i macchinari per l'estrazione e la frantumazione del calcare. In particolare, un estrattore vibrante recupera il materiale accumulato in una tramoggia e lo incanala su un vibrovaglio che indirizza la componente di pezzatura maggiore nel frantoio bi-rotore ad urto Hazemag AP6 (fig. 31). Le caratteristiche principali del frantoio sono due motori da 745 kW con 6 martelli ciascuno, con una produttività potenziale di 1400 t/h.

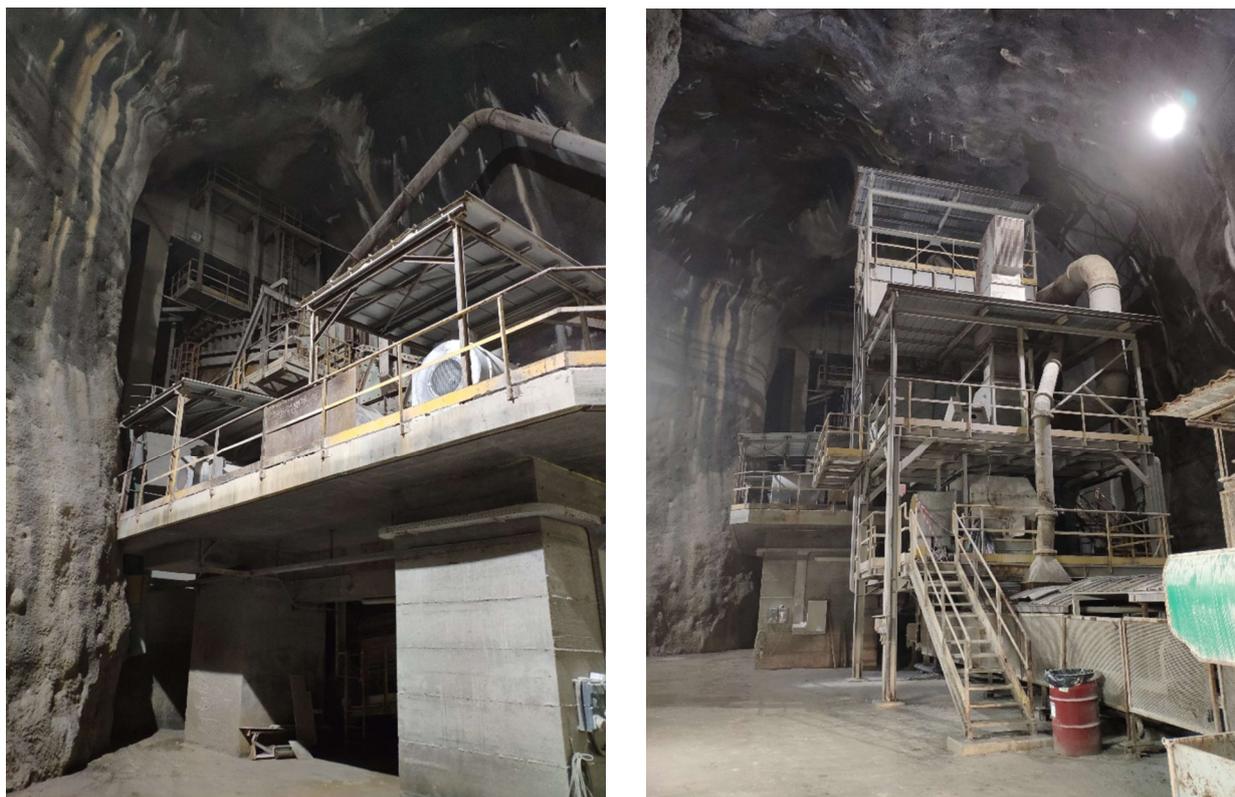


Figura 31 - Frantoio ad urto Hazemag AP6 collocato all'interno del camerone di base.

Il prodotto in uscita ha una granulometria variabile dalle dimensioni di una ghiaia (5 cm) a quelle dell'argilla (< 0.002 mm), ma la componente prevalente, circa l'80%, è minore di 25 mm (fig. 32). Il materiale viene poi convogliato su un nastro Vackem che percorre la galleria di base, attraversa in sopraelevata la strada Provinciale per Roaschia fino alla stazione di partenza del nastro Stereoduc, che a sua volta trasferisce il calcare alla cementeria di Robilante percorrendo una galleria sotterranea lunga circa 6 km (fig. 33).

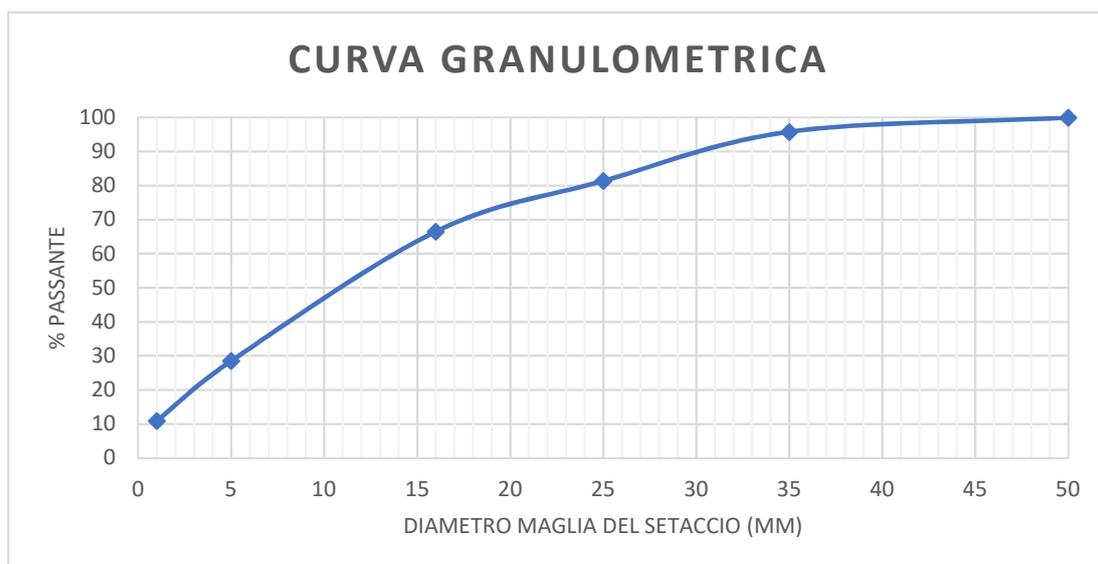


Figura 32 - Curva granulometrica del calcare in uscita dal frantoio.



*Figura 33 - Calcare in uscita dal frantoio; nastro trasportatore in uscita dalla galleria di base e in sopraelevata sulla strada provinciale; stazione di partenza del nastro Stereoduc.*

Il secondo fornello presente in cava nel settore Tabanot, denominato “fornello 3” (il “fornello 2” si trovava a quote superiori ed è stato smantellato con l’abbassamento del fronte di scavo), si trova alla quota di 802 m. Ha un diametro di 4,50 m, è inclinato sull’orizzontale di 70° ed ha una lunghezza residua di 35 m circa (fig. 34).



*Figura 34 - Vista dall'alto del fornello 3 sul piazzale del cantiere Tabanot.*

Come in precedenza, anche il fornello 3 termina in un camerone a quota 746 m dotato di impianto di frantumazione. Vi si trova, infatti, la stessa tipologia impiantistica con gli stessi modelli delle singole macchine. Da questo impianto il calcare percorre su un nastro trasportatore una galleria di 200 m di lunghezza che raggiunge il nastro Vackem proveniente dal cantiere Monfranco: i nastri si uniscono e il prodotto viene trasportato fino alla cementeria dal nastro Stereoduc. I due frantoi, per motivi di potenza elettrica, non possono marciare contemporaneamente, ma la capacità produttiva reale degli impianti è comunque superiore a 1000 t/h.

L'intero sistema impiantistico è mantenuto in depressione da quattro filtri a maniche: due sono siti nel camerone di Monfranco a ridosso dell'impianto di frantumazione per la sua depolverizzazione, uno si trova nel camerone di Tabanot e l'ultimo presso lo scarico del nastro di galleria sul nastro Vackem.

Infine, per assicurare una corretta e permanente aerazione sotterranea, è presente un impianto di ventilazione azionato da due motori.

### ***Organizzazione del personale***

La cava è attualmente organizzata su un turno da 7 ore giornaliere (6.00 – 13.00) dal lunedì al venerdì, ossia 35 ore/settimana. Raramente si lavora su due turni giornalieri (6.00 – 13.00 e 13.30 – 20.30) e al sabato. Il personale impiegato è di 11 operai ed intermedi, 1 impiegato sorvegliante a giornata e 1 direttore dei lavori. L'organigramma della cava risulta dunque molto semplice: al direttore del cementificio di Robilante, rappresentante della Società esercente, risponde il direttore responsabile dei lavori di cava a cui, a sua volta, rispondono direttamente i sorveglianti. Questi ultimi sono responsabili delle attività inerenti alla gestione tecnica della coltivazione, della manutenzione dei fabbricati, delle macchine e degli impianti, della conduzione dei lavori di ammodernamento e modifiche organizzative e della gestione dei servizi generali e dei lavori vari.

La ripartizione del reparto è quindi la seguente:

- Direttore responsabile n° 1 a giornata

- Sorvegliante / Capo cava n° 1 a giornata
- Sorvegliante dei lavori di cava n° 2 a turno
- Addetti ai mezzi movimento terra n° 9 a turno

Nella figura 35 è riportato l'andamento dei dipendenti nella cava di Roaschia a partire dall'anno 1997 fino al 2019.

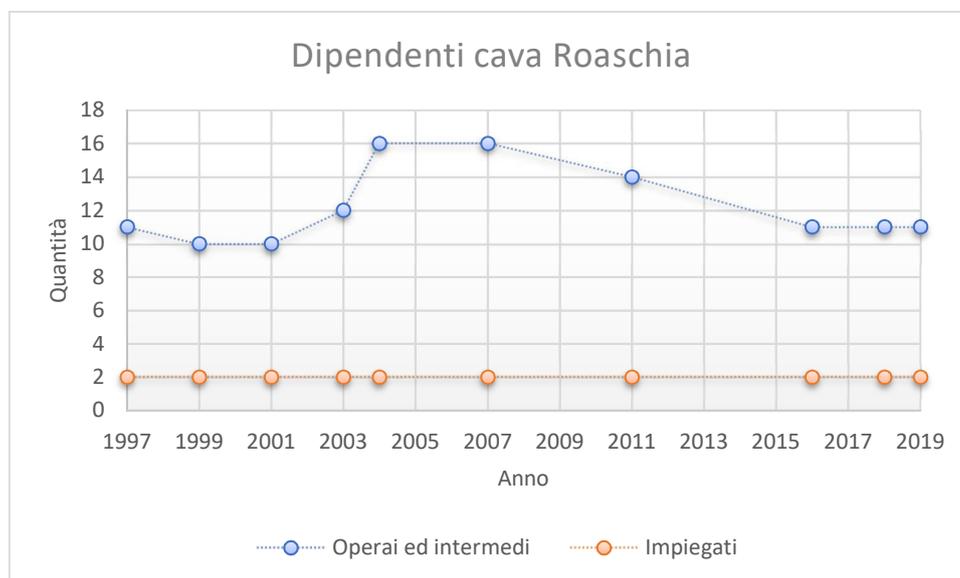


Figura 35 - Andamento del personale di cava Roaschia.

### ***Parco macchine***

Le macchine dedicate alle operazioni di cava sono le seguenti:

- N. 1 perforatrice INGERSOLL RAND ECM680
- N. 1 perforatrice ATLAS COPCO ECM660 (costruzione INGERSOLL RAND)
- N. 1 perforatrice INGERSOLL RAND LMEAC – 600CR
- N. 1 escavatore idraulico CAT 374F
- N. 1 escavatore idraulico HITACHI Zaxis 350LN, dotato di martellone demolitore
- N. 1 escavatore idraulico KOMATSU PC 1250 SP-8
- N. 1 pala gommata VOLVO L50E
- N. 1 pala gommata KOMATSU Tipo WA 320-5
- N. 2 pala gommata CAT 988H
- N. 1 dumper rigido PERLINI DP 366E
- N. 2 dumper articolato 6X6 ASTRA ADT 40
- N. 1 dumper KOMATSU HD 405-7
- N.1 autocisterna IVECO TRAKKER HI-LAND AD-380T36W
- N. 1 TOYOTA HILUX 4X4 dotato di cisterna per il gasolio
- N. 2 FIAT PANDA 4x4 per il trasporto del personale

## ***Recupero ambientale***

### ***Obiettivi di intervento***

L'obiettivo principe del progetto di recupero ambientale è il reinserimento del sito estrattivo nell'ambito naturale e paesaggistico che lo ospita. Per il raggiungimento di questo risultato si devono mettere in atto delle azioni che consistono principalmente nel modellare la morfologia dei fronti di cava e dei piazzali e avviare una graduale ricomposizione di una copertura vegetale simile a quella presente nelle zone vergini circostanti.

L'obiettivo prioritario da raggiungere nel breve termine consiste nel contenimento dei processi erosivi dovuti all'alterazione del profilo naturale del pendio e dalla mancanza di una coltre vegetale che assolva a tale funzione. Le operazioni da svolgere possono essere riassunte così (Ambrogio, Basiglio, Piovano, Studio di Impatto Ambientale, 2002):

- *“... ricostituzione dello strato di suolo destinato ad ospitare la copertura vegetale*
- *... regimazione delle acque di scorrimento superficiale attuata con il rimodellamento delle superfici*
- *... consolidamento dello strato superficiale del suolo con inerbimenti estensivi di specie a rapido insediamento*
- *... contenimento del trasporto solido di materiali inerti veicolato dalle acque di ruscellamento sui fronti ancora da recuperare con la realizzazione di aree di decantazione e barriere vegetali filtranti.”*

Invece, nel medio e lungo periodo, si tenta di reinserire l'area degradata all'interno del contesto naturalistico territoriale con conseguente riduzione dell'impatto visivo. Si opta dunque per ricomporre il manto vegetale attraverso inerbimenti e impianti di specie arbustive e arboree prettamente autoctone.

### ***Analisi delle operazioni lavorative per il recupero ambientale***

Sulla base dell'esperienza già maturata nel cantiere esaurito di Ciapelaruta, che ha dato dei buoni risultati finali dal punto di vista dell'attecchimento vegetale e paesaggistico (fig. 36), si intende procedere seguendo le medesime linee d'intervento, precedentemente introdotte, anche per i prossimi recuperi ambientali.



Figura 36 - Condizioni del recupero ambientale dei gradoni esauriti e del piazzale del cantiere di Ciapelaruta. La vegetazione risulta ricca e rigogliosa.

### ***Modellamento delle morfologie***

Gli elementi morfologici introdotti prevedono uno specifico modellamento delle superfici in grado di garantire la maggior continuità possibile tra le linee artificiali generate dallo scavo e assicurare un'ideale preparazione del substrato per la crescita della vegetazione. Le operazioni comprendono la riduzione della pendenza media finale, l'interruzione dei gradoni con tagli, rampe e ripiani irregolari, la creazione di riporti a cono sulle pedate e la formazione di un raccordo morbido con le aree al margine dei fronti.

In generale, il modellamento geomorfologico deve portare il sito alla miglior "naturalità", in armonia con l'ambiente circostante. Stonano i tagli regolari dei gradoni artificiali, perciò si introducono elementi di rottura a creare una movimentazione delle superfici, seguendo, per esempio, un'alternanza di tipologie di modellamento (Ambrogio, Basiglio, Piovano, Studio di Impatto Ambientale, 2002):

- *“fronte a gradoni di altezza standard di 15 metri con alzate inclinate a 75° e superficie media a 55°, con pedate larghe circa 6 metri da ricaricare con riporto di sterile e terra sulla pedata disposto a cono contro parete*
- *porzioni di fronte a gradoni di dimensioni ridotte da profilare con alzate di 5 metri e pedate di 3 metri, da ricaricare con sterili e terra e da rinverdire, in modo da realizzare una copertura più omogenea*
- *aree di fronte roccioso con profilo a 45°, con pedate limitate a 1-2 metri e con ripiani e anfrattuosità diffuse su tutta la superficie, da ricaricare leggermente con terra e rinverdire a macchie sul modello dei popolamenti rupestri delle pareti naturali vicine*

- *rampe residue delle piste di cava, da ricoprire con sterili e terra ed inerbire per mantenere una possibilità di accesso.”*

Per quanto riguarda i piazzali, essi vengono modellati con ondulazioni e modesti dislivelli per simulare un terreno naturale, ma anche attrezzati in parte con aree di pubblico dominio (area verde, parco giochi, ...).

### ***Sistemazioni idrauliche***

L'operazione di sistemazione idraulica è fondamentale per minimizzare il dilavamento delle pareti dei gradoni e l'erosione dei suoli introdotti per la crescita vegetale. Sulle pedate piane dedicate alla viabilità si sagoma il riporto con leggera pendenza verso monte per favorire l'infiltrazione delle acque meteoriche ed evitare il dilavamento e si realizza una canaletta per la raccolta e il deflusso delle acque in eccesso.

Anche per quanto riguarda i piazzali, si favorisce la pendenza verso monte, in modo da aumentare la superficie che possa dissipare il carico attraverso l'infiltrazione nel suolo permeabile.

Lungo le rampe vengono realizzate delle canalette di sgrondo dotate di deviazioni trasversali per lo scarico sui versanti o sul piazzale di base e quindi nella rete idrica naturale, previa decantazione in un'apposita vasca.

Infine, l'alveo del rio Monfranco viene rimodellato, contestualmente con l'avanzare della coltivazione, con l'esecuzione di barriere trasversali in massi per contenere il trasporto solido. Le scarpate laterali vengono rivegetate con siepi e cespugli (fig. 37).



*Figura 37 - Opere di sistemazione idraulica del Rio Monfranco. È in atto la rivegetazione delle sponde laterali.*

### ***Preparazione del terreno***

Affinché la vegetazione possa crescere rigogliosa, è necessario preparare uno strato agrario adatto alle operazioni di rinverdimento. Su tutte le superfici orizzontali (piazzi, pedate dei gradoni) e su quelle lievemente inclinate, al massimo di 30° (coni di riporto, ripiani e nicchie sulle alzate), viene collocato uno spessore di terriccio vegetale di 20 – 30 cm o di 10 cm, il quale appoggia sempre su uno strato di sottofondo di materiale sterile sciolto, il cui spessore può variare in funzione dello spazio disponibile e dell'inclinazione della fascia da recuperare.

### ***Inerbimento e impianto di alberi***

L'inerbimento ha una doppia funzione: prima che naturalistica, ha la capacità di consolidare il terreno superficiale e proteggerlo dall'azione erosiva degli agenti atmosferici.

L'intervento riguarda le superfici pianeggianti o lievemente inclinate, fino a quelle inclinate a 45°: l'obiettivo è creare una cortina erbosa stabile e duratura. Per questo motivo il miscuglio deve includere specie diverse di erbe dotate di elevata capacità di produzione di biomassa, di consolidamento del terreno grazie a prolungati apparati radicali e di adattabilità a substrati poveri.

Per la semina, la tecnica maggiormente utilizzata è l'idrosemina, che garantisce l'attecchimento in condizioni di potenziale siccità o di erosione da ruscellamento.

L'impianto di alberi avviene principalmente sulle superfici orizzontali, in forma diffusa sulle pedate dei gradoni e a macchia sulle aree di piazzale. La scelta delle specie avviene tenendo conto delle condizioni agronomiche e dell'esposizione delle diverse aree.

Nel cantiere di Ciapelaruta, come indicato da Ambrogio, Basiglio, Piovano (2002), per esempio, si scelgono delle specie aridoresistenti in quanto il versante è esposto al sole durante le ore più calde della giornata (la rovello, l'acero campestre, il bagolaro, l'emero, la betulla, il biancospino, ...); nell'area di Monfranco e Tabanot, in zone esposte a N – NE, si selezionano specie resistenti al freddo e con capacità di consolidamento del terreno (la betulla, il sorbo montano, il nocciolo, il frassino, il faggio, il maggiociondolo, il biancospino).

Sui piazzali di base, le migliori condizioni di umidità del suolo e la possibilità di creare uno strato agrario di maggiore spessore consentono di impiantare delle specie più esigenti (il frassino maggiore, l'acero montano e il ciliegio, il sanguinello, il nocciolo, ...).

### ***Tempistica d'intervento***

I tempi di intervento sono strettamente connessi con i lavori di avanzamento della coltivazione, e vanno eseguiti parallelamente ad essi. All'esaurimento di una fetta di giacimento corrisponde l'inizio del suo recupero ambientale, garantendo tempi brevi per un'immediata riqualificazione ambientale. Questo è un notevole vantaggio, fruibile grazie alla scelta del metodo di coltivazione.

Esaurito il giacimento, si procederà al recupero ambientale degli ultimi spazi, ossia degli ultimi gradoni e piazzali di base. Il completamento dei lavori si potrà realizzare nell'arco di 2 – 4 anni (fig. 38).



*Figura 38 - 4 fasi successive del recupero ambientale:*

- 1. Risultato dell'inerbimento tramite idrosemina dopo 10 mesi;*
- 2. Condizione di inerimento dopo 2 anni circa;*
- 3. Vegetazione presente sul gradone dopo 3/4 anni;*
- 4. La crescita delle specie arboree definisce il gradone pienamente recuperato dopo una decina di anni.*

## Scopo del lavoro

### *Focalizzazione del problema*

#### *Premessa*

Come esposto al capitolo precedente, la cava di Roaschia utilizza l'esplosivo per l'abbattimento del calcare e, in misura molto minore, per alcuni lavori preparatori alla coltivazione.

L'impiego di esplosivo per la coltivazione risulta insostituibile a causa della tenacità della roccia e dei volumi giornalieri da estrarre e approvvigionare alla cemenzeria.

In passato erano state sperimentate delle tecniche di preminaggio con deboli cariche esplosive volte a disgregare la roccia in posto seguite da scavo meccanico, ma non hanno dato risultati soddisfacenti. Contestualmente all'utilizzo dell'esplosivo, nasce il problema delle vibrazioni indotte dalle volate, le quali si propagano nell'ammasso roccioso fino a raggiungere, potenzialmente, alcuni obbiettivi sensibili che potrebbero subire dei danni. Nel caso in questione si tratta di abitazioni civili, perlopiù dislocate in borgate sui versanti della valle che circondano l'area autorizzata per l'estrazione. La maggioranza di queste abitazioni sono state costruite con edilizia rurale utilizzando prevalentemente materiali lapidei senza alcun uso di calcestruzzo armato; hanno quindi scarsa resistenza alle sollecitazioni sismiche. Ulteriore aggravante è che generalmente sono state oggetto di ristrutturazione svolta unicamente a migliorare il comfort e lo spazio abitativo (allargamenti di porte e finestre, rimozione di muri interni e innalzamento del soffitto).

Inoltre, la presenza stessa del cantiere è potenziale fonte di disturbo acustico per tutti i ricettori che circondano l'area di coltivazione.

#### *Stato attuale dell'autorizzazione*

L'ultimo progetto di coltivazione sottoposto a procedura di Valutazione di Impatto Ambientale e approvato nell'anno 2002 era suddiviso in lotti quinquennali. Il 1° gennaio 2019 si è entrati nel quarto e ultimo quinquennio, ossia nella cosiddetta fase dei "15 – 20 anni".

La situazione attuale, suddivisa per cantieri, è così sintetizzabile (Perucca & Bargerò, 2018):

- Cantiere di Ciapelaruta: la coltivazione e le operazioni di recupero ambientale sono ultimate e le aree risultano quasi completamente svincolate, come descritto nel D.C.C. del Comune di Roaschia n. 62 del 9/8/2010.

Vengono ancora utilizzate alcune aree di estensione limitata:

- La porzione di piazzale occupata dagli edifici adibiti ad uffici e officina e dalla stazione di partenza del nastro Stereoduc verso la cemenzeria;
  - La porzione di piazzale utilizzata per lo stoccaggio di tout-venant proveniente da cave esterne;
  - Una fascia di terreno su cui giace una porzione di un vecchio nastro trasportatore.
- Cantiere di Monfranco: la coltivazione è avvenuta per splateamenti successivi fino alla quota attuale del piazzale di 786 m. Nell'area SO del cantiere si è rilevata la presenza di lenti magnesiache negli ultimi cinque anni: ciò rende necessario lavorare sull'intero fronte del cantiere o miscelare il materiale con quello proveniente dalla produzione Tabanot per diminuire la dannosa e alta concentrazione di magnesio nel prodotto abbattuto.

Per il cantiere Monfranco, entrare nel quarto quinquennio significa proseguire le operazioni di abbattimento realizzando tre ulteriori gradoni che avranno una pendenza massima di 65°. Si abbasserà l'attuale quota del piazzale, sempre per splateamenti, fino a quota 735 m come previsto nella V.I.A., mantenendo una leggera pendenza in direzione NE per favorire il deflusso delle acque. L'abbassamento totale sarà quindi di 50 m circa.

L'accesso al cantiere sarà garantito dall'attuale pista esistente, baricentrica rispetto al piazzale che unisce i due cantieri. Con un unico piazzale sarà sempre possibile l'accesso ai due fornelli da entrambi i cantieri, soluzione utile sia in caso di guasto degli impianti di frantumazione, sia per rendere più agevole il miscelamento dei materiali in presenza di variazioni di chimismo puntuali.

- Cantiere di Tabanot: le operazioni di coltivazione sono iniziate nel 2013 da quota 870 m e hanno raggiunto il piazzale attuale alla quota 786 m. Nell'ultimo biennio esso è stato il fronte produttivo principale, dove attualmente si è ultimato lo sfruttamento dell'ultima fetta sovrastante il suddetto piazzale. È in questo settore che affiorano maggiormente le superfici di faglia. Infatti, a valle della porzione consolidata, sono state realizzate pedate con larghezza di 6 m per abbassare la pendenza complessiva del pendio a favore di una maggiore stabilità globale.

Con il prosieguo della coltivazione si intende abbassare l'attuale quota del piazzale fino a 750 m sempre col metodo ormai consolidato delle fette orizzontali discendenti, dando un'inclinazione al piazzale finale in direzione NE e collegandolo con quello di Monfranco a formare un unico e ampio piazzale di base. Anche in questo caso si prevedono tre gradoni i cui fronti avranno una pendenza complessiva minore di 65°, pedate di almeno 5 m di larghezza, per un abbassamento totale di circa 40 m.

Il cantiere Tabanot, dato l'elevato sviluppo altimetrico e planimetrico, continuerà ad avere due vie d'accesso. La prima, e principale, è quella condivisa con il cantiere Monfranco per accedere al piazzale a quota 786 m; la seconda si estende nell'area meridionale del cantiere e vi si accede tramite un'entrata marginale a quota 985 m nei pressi di Tetto Tabanot.

Per quanto riguarda la geometria finale dei fronti, sono previste lievi modifiche rispetto a quanto descritto ed approvato nella V.I.A. dell'anno 2002. Originariamente i gradoni avevano altezza standard di 15 m e inclinazione di 70°, con una pendenza globale del fronte di 55°. Tuttavia, in seguito all'elaborazione del modello geologico del versante e ad un'approfondita analisi dei risultati, in concomitanza con i limiti previsti dalla nuova e più restrittiva normativa in materia di progettazione (NTC 2018) rispetto a quella in vigore 15 anni fa, si è ritenuto necessario ridurre la pendenza del fronte. I gradoni avranno inclinazione di 65° sull'orizzontale, pedate con maggiore larghezza, pari a 5 o 6 m a seconda dei settori, con conseguente riduzione dell'inclinazione globale del pendio a 50°. Come riportato nel Progetto di coltivazione sottoscritto da Perucca & Bargerò (2018), *“nella modellazione numerica si è tenuto conto della presenza delle differenti unità litologico-geotecniche individuate nella caratterizzazione geotecnica, degli elementi geologico-strutturali di maggiore importanza e degli eventuali sistemi di discontinuità predisponenti cinematismi instabili, in funzione dell'importanza che gli stessi hanno alla scala della stabilità globale.”*

### ***Ampliamento dell'autorizzazione di coltivazione***

Dato l'enorme investimento in impianti, macchinari, personale, tecnologia e ricerca, si vuole sfruttare il più possibile il polo di Robilante – Roaschia. L'autorizzazione vigente prevede lo sfruttamento

della risorsa calcare fino all'anno 2024. Il limite autorizzativo corrente (linea blu) è visibile in figura 39.

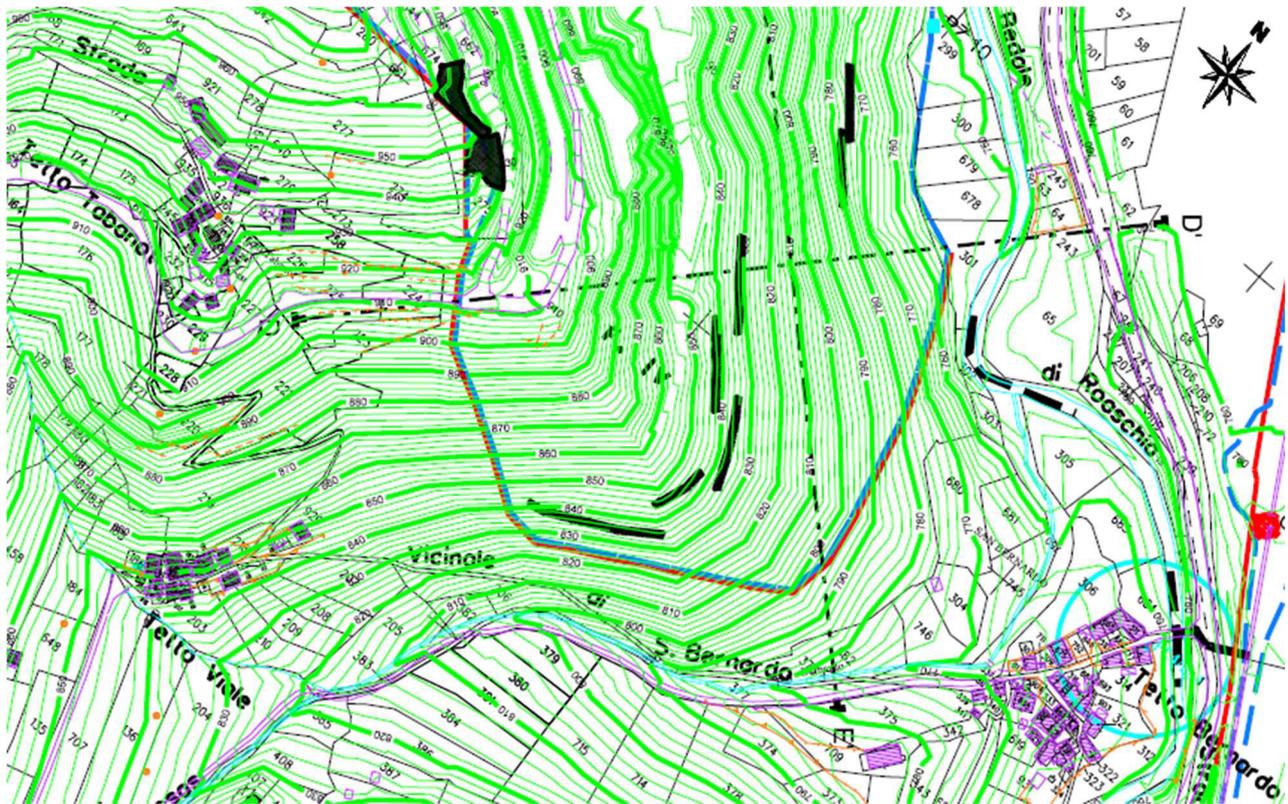


Figura 39 - Dettaglio dell'area meridionale del cantiere Tabanot. La linea blu indica il limite autorizzativo attuale.

Un rilevante studio geologico, condotto attraverso numerosi sondaggi geognostici, ha evidenziato come il giacimento sfruttabile sia ancora ampio e di buona qualità. Dunque, è in fase di progettazione l'ampliamento dell'area estrattiva sulla sinistra orografica, nella zona meridionale del cantiere Tabanot. L'estensione si realizzerebbe principalmente in direzione di Tetto Tabanot e Tetto Viale, fino a comprendere la prima delle due borgate, le quali sono già di proprietà della Buzzi Unicem S.p.A., al fine di sfruttare la porzione di giacimento insistente in sponda sinistra del vallone di San Bernardo compreso tra i tre tetti di San Bernardo, Viale e Tabanot. Il progetto non ha ancora assunto una forma finale esecutiva, ma l'ipotesi più concreta prevede l'ampliamento autorizzativo nei confini mostrati in figura 40 (linea blu).

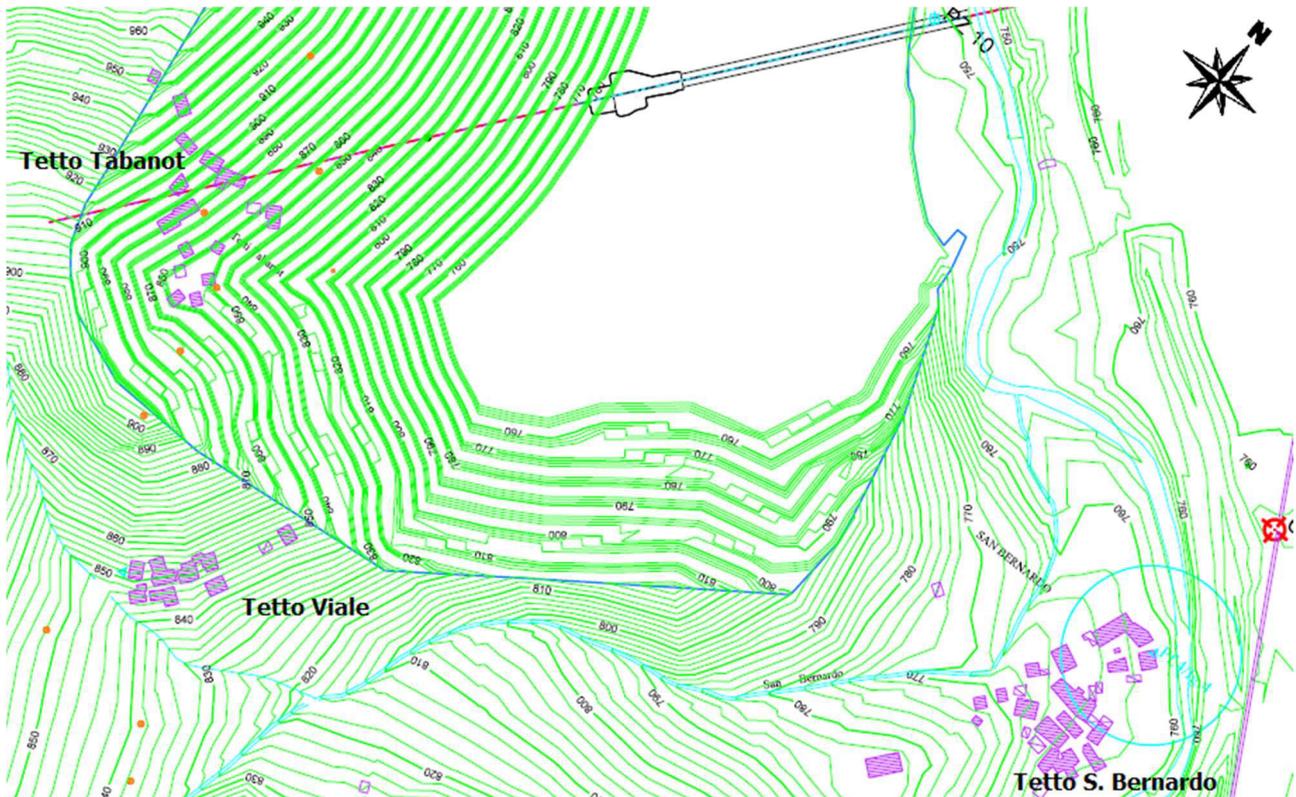


Figura 40 - Dettaglio dell'ipotesi di progetto di ampliamento del cantiere Tabanot nella zona meridionale.

Risulta evidente quanto il cantiere si ritroverà prossimo alle borgate, non tanto nella fase iniziale quando la coltivazione avverrà alla quota 980 m, ma piuttosto nella seconda metà del periodo quando si scenderà attorno a 800 m, soprattutto frontalmente alla frazione di S. Bernardo.

Infatti, le abitazioni più prossime al cantiere si troverebbero ad una distanza in linea d'aria compresa tra 100 e 110 m. La seguente rappresentazione raffigura lo stato attuale dell'autorizzazione e visualizza la posizione delle borgate rispetto al nuovo limite autorizzativo (fig. 41).

L'apporto di calcare derivante da questa porzione permetterebbe di mantenere attiva la cemeniera di Robilante per almeno i prossimi 25 anni.



Figura 41 - La linea rossa rappresenta il limite autorizzativo attuale; la linea blu il limite autorizzativo previsto dall'ampliamento.

### ***Disturbi sismici e rumore ai centri abitati***

In seguito all'ampliamento, ma soprattutto con l'avvicinamento del cantiere al confine meridionale dell'autorizzazione, le operazioni di coltivazione si localizzerebbero sempre più in vicinanza del centro abitato di Tetto San Bernardo. La distanza minima che si verrebbe a raggiungere con il cantiere sarebbe di 100 - 110 m circa. Tetto Tabanot, invece, è stato interamente acquistato da Buzzi Unicem S.p.A. e nell'ipotesi di progetto è prevista la totale demolizione dei cadenti edifici rimasti, per cui non si presenta nessun problema rispetto a tali costruzioni. Anche Tetto Viale è di proprietà dell'azienda, mentre la stessa procedura non può essere applicata alla frazione di S. Bernardo, dove solo alcuni edifici sono di proprietà della società, e altri appartengono a cittadini privati.

La normativa, tra le altre prescrizioni, impone di preservare le costruzioni evitando qualsiasi tipo di danno strutturale derivante dalla propagazione delle vibrazioni indotte dall'utilizzo di esplosivo e di rispettare i limiti di inquinamento acustico. In particolare, per quanto riguarda le vibrazioni, le leggi in vigore prevedono il rispetto del parametro *velocità particellare di picco (ppv)*, ossia la velocità alla quale vibrano le particelle del terreno in seguito ad un evento sismico artificiale, mentre per l'inquinamento acustico va garantito un livello di immissione della pressione acustica non superiore ad un dato valore limite.

L'obiettivo del presente elaborato è verificare che, con l'organizzazione, le metodologie e le tecniche impiegate attualmente in cantiere, si rispettino i limiti imposti dalla legge italiana sulle vibrazioni e sul rumore.

Nei prossimi capitoli si analizzeranno nel dettaglio i due succitati fenomeni, sia dal punto di vista teorico, sia dal punto di vista normativo.

## Quadro teorico

### *Vibrazioni*

#### *Introduzione*

Le vibrazioni del suolo sono parte integrante del processo di coltivazione tramite esplosivo. L'accelerazione improvvisa della roccia, causata dalla rapida espansione dei gas a seguito della detonazione, induce stress dinamici sulle pareti del foro che si espandono nell'ammasso roccioso circostante.

La detonazione delle cariche, come noto, non è in grado di limitare il proprio effetto all'obiettivo desiderato, ossia il distacco e la frammentazione di un determinato volume di roccia, ma circa il 40% dell'energia liberata a seguito dell'innescò dell'esplosivo si dissipa nell'ammasso. Il livello di energia, poiché essa viene usata nel processo di rottura, diminuisce durante la fratturazione finché risulta insufficiente per deformare plasticamente la roccia o fratturarla ulteriormente, e genera uno sforzo al di sotto dei suoi limiti elastici di resistenza. Gli sforzi indotti entro tali limiti non provocano la rottura del materiale ma generano onde sismiche.

Immaginando che l'area circostante la volata sia un semispazio piano, le onde sismiche si propagano con fronti semisferici dal foro, e successivamente si attenuano dato che la loro energia si distribuisce su una massa sempre crescente di roccia e si allontanano dal punto di origine. In particolare, è proprio sulla superficie che si registrano le vibrazioni più intense, poiché, all'interfaccia tra mezzi con proprietà elastiche diverse, si generano onde superficiali (onde di Rayleigh) che invece non si registrano all'interno dell'ammasso roccioso.

I manufatti, che hanno generalmente una resistenza e rigidità molto inferiore rispetto a quella della roccia, possono subire dei danni anche gravi se la volata non è stata progettata correttamente, nonostante si trovino ad una distanza rilevante dalla volata stessa.

Si analizzano nel seguito le caratteristiche principali delle vibrazioni.

#### *Definizione e parametri*

Una vibrazione è definita come lo spostamento di una porzione di materia rispetto ad una posizione iniziale di riposo causata da un evento perturbante, e che successivamente torna alla posizione di quiete grazie all'intervento di forze di richiamo.

I tre elementi caratterizzanti una vibrazione sono:

1. La massa vibrante, rappresentata dalle particelle del suolo o dell'ammasso roccioso;
2. L'elemento perturbante, ossia l'onda sismica causata dalla detonazione;
3. La forza di richiamo, individuabile nella forza elastica propria del mezzo.

La forma più semplice per descrivere una vibrazione è il moto armonico:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \Phi) \quad (1)$$

dove:

x = spostamento al tempo t

A = ampiezza dello spostamento (m)

$\omega$  = frequenza angolare (rad/s)

t = tempo (s)

$\Phi$  = angolo di fase (rad)

T = periodo o tempo necessario per una oscillazione completa (s)

$f = 1/T =$  frequenza o numero di oscillazioni che avvengono nell'unità di tempo (Hz).

Generalmente l'angolo di fase  $\Phi$  risulta di scarso interesse quando il fenomeno vibratorio è rappresentato da una singola onda, mentre assume maggiore importanza in caso di fenomeni di interferenza. La vibrazione può essere definita univocamente da due parametri: l'ampiezza  $A$  e la frequenza  $f$ . L'ampiezza fornisce il massimo valore di spostamento che può assumere la funzione, mentre la frequenza rappresenta il numero di oscillazioni compiute nell'unità di tempo (fig. 42).

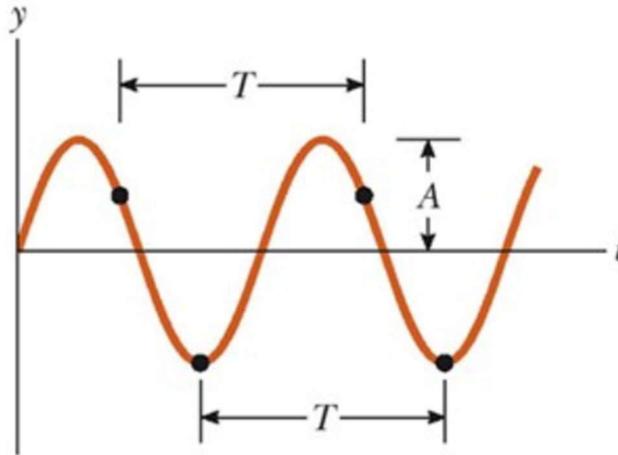


Figura 42 - Onda sinusoidale in funzione del tempo.

Un altro parametro importante è la lunghezza d'onda  $\lambda$ , che è definita come la distanza da un qualunque punto dell'onda fino allo stesso punto del ciclo successivo (fig. 43). Di solito la si misura da cresta a cresta o da ventre a ventre e viene espressa con la seguente formulazione:

$$\lambda = vT = \frac{v}{f} \quad (m) \quad (2)$$

dove:

$v =$  velocità dell'onda (m/s)

$T =$  periodo (s)

$f =$  frequenza (Hz).

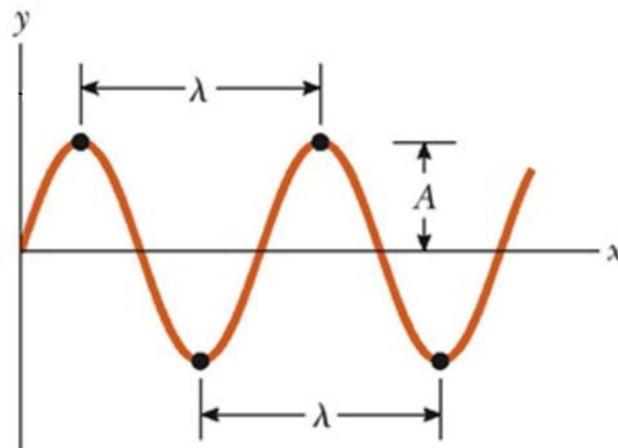


Figura 43 - Onda sinusoidale in funzione dello spazio.

In molti casi, una vibrazione può essere descritta in modo soddisfacente con l'utilizzo di parametri diversi tra loro, in funzione del tipo di fenomeno che si sta analizzando. Quando un'onda sismica mette in oscillazione le particelle del mezzo, esse si muovono con una certa velocità e accelerazione dalla loro posizione di quiete. Infatti, i parametri caratterizzanti una vibrazione sono lo spostamento, la velocità e l'accelerazione, che si definiscono nel seguente modo:

- Spostamento: la distanza che percorre una particella dalla sua posizione di equilibrio; è misurata in millimetri (mm).
- Velocità: è la velocità con la quale le particelle si muovono quando lasciano la loro posizione di riposo (mm/s).
- Accelerazione: è il tasso di variazione di velocità. La forza esercitata dall'onda sismica sulle particelle è proporzionale all'accelerazione impressa alle particelle stesse; è misurata in frazioni di "g" o in  $\text{mm/s}^2$  ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Le equazioni che specificano velocità e accelerazione si ricavano rispettivamente per derivazione dello spostamento e della velocità. Viceversa, spostamento e velocità si ottengono rispettivamente per integrazione della velocità e dell'accelerazione (fig. 44):

$$x(t) = A \sin(\omega t) \quad (3)$$

$$v(t) = A\omega \cos(\omega t) \quad (4)$$

$$a(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t) \quad (5)$$

La velocità delle particelle è il parametro considerato generalmente come il miglior indicatore del danno e gli standard normativi internazionali in questo settore sono basati sulla velocità. Infatti, la maggior parte dei sismografi per la misurazione di vibrazioni in campo estrattivo forniscono come parametro indicativo la velocità particellare di picco.

Inoltre, la caratterizzazione può essere data nel dominio del tempo oppure nel dominio della frequenza. La seconda è la scelta prevalente e verrà utilizzata anche in questo studio.

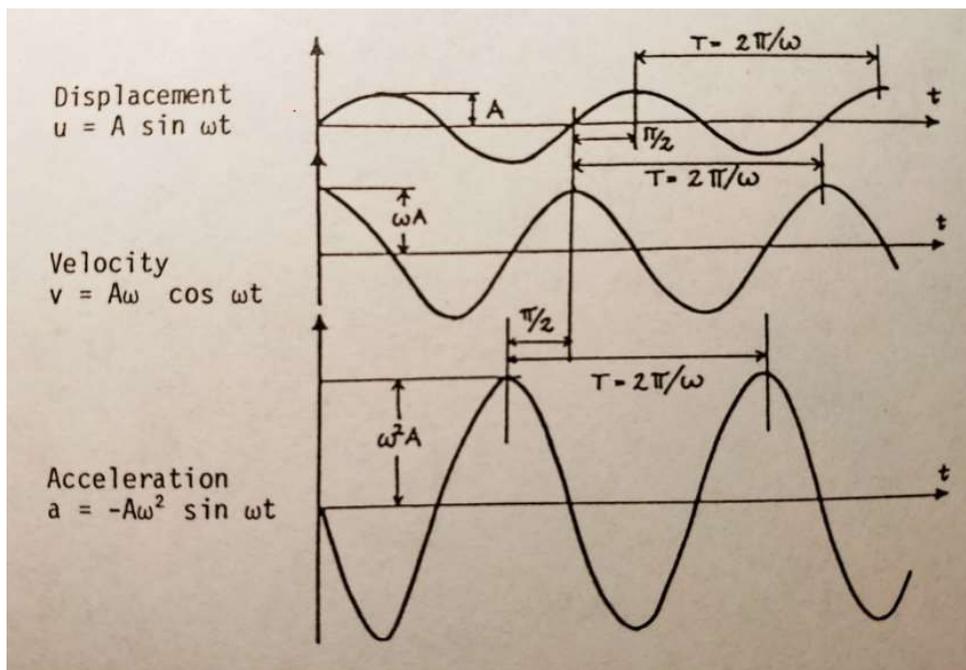


Figura 44 - L'oscillazione armonica e i suoi parametri fondamentali. (Atlas Powder Company – Field Technical Operations, Explosives and Rock Blasting, 1987, p. 339)

## Onde sismiche

Le onde elastiche rappresentano un trasferimento di energia da un punto della roccia ad un altro. Inizialmente ci deve essere una forza che genera uno spostamento del mezzo dalla sua posizione di equilibrio e che introduce quindi nuova energia nel materiale. Se il mezzo risponde con proprietà plastiche, l'energia viene assorbita nella deformazione e vengono propagate solamente delle leggere onde smorzate. Se il materiale esibisce una risposta elastica, l'azione di disturbo provocata dall'immissione di energia genera un'oscillazione delle particelle del mezzo attorno alla loro posizione di riposo. Si crea una condizione di oscillazione e il disturbo viene trasmesso da un elemento ad un altro, causando la propagazione del moto ondulatorio all'interno del mezzo, esattamente come se ogni particella fosse connessa alle altre da un sistema di molle (fig. 45).

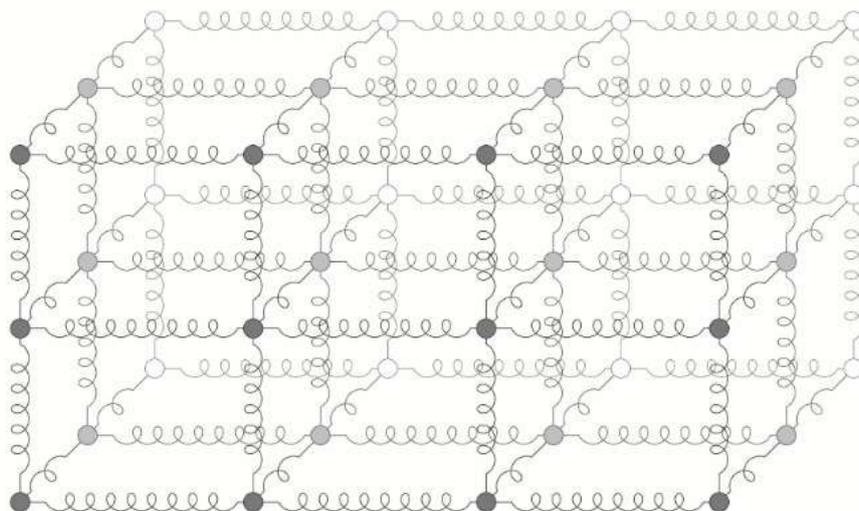


Figura 45 - Modello di un corpo elastico tridimensionale. (<https://tex.stackexchange.com/questions/327413/drawing-a-3d-mass-spring-system-in-tikz-asymptote>)

Si può assumere che questo modello sia valido per il terreno e per la roccia. Infatti, si hanno rottura e deformazioni plastiche permanenti solamente se si supera il limite del carico di rottura. Se tale soglia non viene superata, a rimozione del carico, le deformazioni si annullano e le proprietà elastiche riportano il materiale alle condizioni iniziali. Questa è la condizione che si verifica ad una distanza maggiore di circa  $40 \varnothing$  nella roccia in seguito alla detonazione dell'esplosivo.

L'energia trasmessa dalle onde sismiche subisce delle attenuazioni determinate dall'aumento della distanza dal punto di origine, dalle caratteristiche del suolo, dalla geologia, dal tipo di onda, dalla frequenza, dall'angolo di incidenza, dalle proprietà elastiche del mezzo, dalla diffusione sferica. Inoltre, in natura, un mezzo perfettamente continuo e omogeneo non esiste, dunque l'energia subisce delle perdite addizionali a causa delle caratteristiche dell'ammasso roccioso o del terreno in cui si propaga, dipendenti dall'evoluzione geologica e strutturale, dalla presenza di discontinuità, scistosità e così via.

Durante il moto vibratorio, non vi è né movimento né trasporto di materia: le particelle oscillano e ruotano attorno alle loro posizioni di equilibrio e non si muovono attraversando il mezzo.

Le onde sismiche prodotte sono di tre diverse tipologie (Arato, 2006):

- Onde longitudinali o “onde P”.

Vengono chiamate “P” perché sono le prime che vengono registrate dalla strumentazione durante un evento sismico. Sono onde longitudinali di compressione: il moto delle particelle si sviluppa in direzione parallela alla direzione di propagazione dell’onda e il mezzo subisce delle successive azioni di compressione e trazione. La propagazione avviene sfericamente, ossia in tutte le direzioni dal punto di generazione e, in seguito al passaggio di questo tipo di onda, si ottengono unicamente delle variazioni di volume (fig. 46).



Figura 46 - Rappresentazione dell'onda longitudinale di compressione.

La *velocità di propagazione* delle onde P  $C_p$  è funzione delle caratteristiche meccaniche del mezzo:

$$C_p = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 - 2\nu) \cdot (1 + \nu)}} \quad (m/s) \quad (6)$$

dove:

E = modulo di Young (Pa)

$\nu$  = coefficiente di Poisson

$\rho$  = densità del mezzo ( $kg/m^3$ ).

- Onde trasversali o “onde S”.

Sono dette “S” perché costituiscono il secondo arrivo in un evento sismico. Sono onde trasversali di taglio in quanto le particelle sollecitate si muovono trasversalmente rispetto alla direzione di propagazione e subiscono sforzi di taglio. Anche le onde trasversali sono onde di volume e si propagano sfericamente dal punto di origine (fig. 47).



Figura 47 - Rappresentazione dell'onda trasversale di taglio.

La *velocità di propagazione*  $C_s$  anche in questo caso dipende dalle proprietà meccaniche del mezzo ed è inferiore alla velocità delle onde P:

$$C_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho^2(1 + \nu)}} \quad (m/s) \quad (7)$$

dove:

G = modulo di taglio (Pa)

$\rho$  = densità del mezzo ( $kg/m^3$ )

E = modulo di Young (Pa)

$\nu$  = coefficiente di Poisson.

- Onde di Rayleigh.

All'interfaccia tra mezzi con proprietà elastiche notevolmente diverse (per esempio, all'interfaccia tra suolo e aria, tra suolo e acqua, o tra strati di materiali molto diversi tra loro), si sviluppano differenti onde superficiali. Nel brillamento delle mine, le più importanti onde superficiali sono le onde di Rayleigh o "onde R". Le particelle soggette a queste onde descrivono un moto ellittico retrogrado composto da moti sia trasversali che longitudinali, nel quale la componente verticale della velocità ha il suo massimo appena al di sotto della superficie e diminuisce piuttosto rapidamente con la profondità (fig. 48).



Figura 48 - Rappresentazione dell'onda di Rayleigh.

La velocità  $C_r$  delle onde di Rayleigh è inferiore a quella delle onde S, e può essere determinata in funzione di  $C_s$  secondo la seguente formula:

$$C_r \approx C_s \frac{0.86 + 1.14\nu}{1 + \nu} \quad (m/s) \quad (8)$$

dove:

$C_s$  = velocità delle onde S (m/s)

$\nu$  = coefficiente di Poisson.

### ***Studio e analisi delle onde vibratorie***

Come accennato in precedenza, e come dettagliato in seguito (al paragrafo riguardante la normativa italiana), i parametri fondamentali per analizzare le vibrazioni sono la *velocità particellare*, o *peak particle velocity (ppv)*, e la *frequenza f*.

Innanzitutto, occorre precisare che esistono due velocità caratteristiche associate a questo fenomeno: la prima descrive la velocità di propagazione dell'onda, cioè la velocità alla quale il disturbo si diffonde nel mezzo elastico, che dipende dalla densità e dalle proprietà elastiche del mezzo; la seconda è la velocità particellare, che descrive il moto di oscillazione delle particelle attorno alla loro posizione di equilibrio quando l'onda sismica le eccita. La velocità dell'onda è sempre di alcuni ordini di

grandezza superiore rispetto alla velocità delle particelle: il range varia tra 400 e 6000 m/s per l'onda sismica e tra 0,1 e 100 mm/s per la *ppv*. Nello studio delle vibrazioni si considera sempre la velocità particellare.

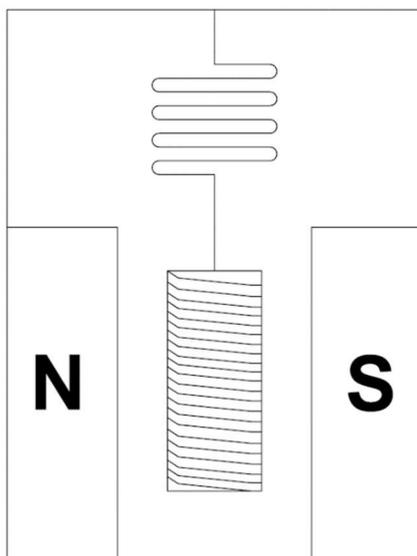
### ***Il sensore sismico***

Lo strumento che ha il compito di registrare e misurare accuratamente il moto vibratorio del suolo è il sismografo, che è composto da due componenti principali, il sensore e il registratore.

Il sensore, o geofono, è solitamente di tipo triassiale, ossia contiene al suo interno tre sensori indipendenti tra loro disposti ortogonalmente: due giacciono sul piano orizzontale mentre il terzo è orientato sulla verticale. Ciascun sensore misura il moto lungo la propria direzione, cioè fornisce la componente del moto sul proprio asse.

Ogni sensore è un generatore di tensione. Generalmente si tratta di un trasduttore elettromagnetico che converte il moto vibratorio in tensione elettrica. Basandosi sul principio dell'induzione elettromagnetica, descritto dalla legge di Faraday, per il quale se un conduttore si muove all'interno di un campo magnetico genera una certa differenza di potenziale, il sensore possiede un solenoide, sospeso ad una molla, libero di muoversi all'interno di magneti fissi che generano un campo magnetico costante (fig. 49). Quando il suolo a contatto col sensore vibra, anche i magneti solidali al contenitore vibrano, mentre, per inerzia, il solenoide non si mette in movimento. Il risultato è che ogni moto relativo tra magneti e solenoide genera una tensione elettrica proporzionale alla velocità relativa di movimento tra i due elementi. Va da sé che se la vibrazione è debole, la tensione elettrica generata sarà bassa, mentre se la vibrazione è decisa e rapida, la tensione sarà più alta. Il sensore possiede un sistema di smorzamento del moto del solenoide, altrimenti una volta messo in moto tenderebbe a muoversi continuamente e risulterebbe difficile fermarlo per acquisire nuove misure.

La tensione generata raggiunge il registratore dove viene riconvertita in moto e visualizzata graficamente: la registrazione è formata da tre tracce, ciascuna per ogni sensore.



*Figura 49 - Meccanismo del sensore.*

La tipologia di sismografo maggiormente utilizzata attualmente è quella digitale. Il segnale elettrico generato da ogni sensore viene digitalizzato, ossia campionato con frequenza di circa 1 ms (1024 campionamenti/secondo). Per ogni istante di tempo il sismografo calcola il vettore risultante, dato dalla somma delle tre componenti misurate secondo la seguente relazione:

$$S = \sqrt{(V^2 + L^2 + T^2)} \quad (mm/s) \quad (9)$$

dove:

S = velocità risultante

V = componente verticale della velocità (mm/s)

L = componente longitudinale della velocità (mm/s)

T = componente trasversale della velocità (mm/s).

Molti sismografi non forniscono solamente il valore della velocità particellare di picco, ma la calcolano in modo continuo e la restituiscono in funzione della frequenza della vibrazione confrontandolo immediatamente con i limiti imposti dalla normativa vigente. Inoltre, all'interno del file, vengono stampati altri risultati quali il valore massimo per ogni componente, lo spostamento massimo, l'accelerazione massima, il livello sonoro se dotato di microfono, ...

### **Legge di sito**

L'ammasso roccioso non è, ovviamente, un mezzo omogeneo e isotropo, per cui non è semplice prevedere l'entità delle vibrazioni che si possono riscontrare ad una distanza prestabilita: è chiaro che le onde sismiche generate subiscono delle attenuazioni differenti dovute alle caratteristiche geologico-meccaniche dell'ammasso, quali l'immersione e la direzione delle discontinuità, oltre alla foliazione e alla fratturazione del materiale. Anche la scistosità, la distanza esistente tra diversi piani di debolezza e la variazione del livello dell'acquifero superficiale influenzano la trasmissione delle vibrazioni. Inoltre, altri fattori influenti sono la geometria della volata (l'interasse tra i fori, la spalla, la sottoperforazione, la direzione di innesco della volata), la tipologia dell'esplosivo impiegato, il suo accoppiamento rispetto alle pareti del foro, la temporizzazione impiegata per l'innesco della volata. Per ovviare alla presenza di così tanti fattori variabili (sarebbe impossibile controllare singolarmente l'effetto di ciascuno), si impiega una legge empirica, detta legge di sito, allo scopo di prevedere gli effetti indotti da volate di mine in termini di velocità di vibrazione, correlando la carica che detona simultaneamente alla distanza tra la volata e l'obiettivo sensibile.

Numerosi studi sperimentali hanno ricercato un'espressione analitica che descrivesse la propagazione delle onde sismiche. Secondo quanto riferito da Singh & Vogt (1998), questi sono i risultati più rilevanti:

- L'equazione dell'USBM (United State Bureau of Mines) considera una geometria cilindrica delle cariche. Ogni dimensione lineare va scalata con la radice quadrata della massa della carica, da cui la *ppv* è funzione della distanza scalata, definita come la distanza reale divisa per la radice quadrata della carica:

$$ppv = K \cdot \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-B} \quad (mm/s) \quad (10)$$

dove:

ppv = velocità particellare di picco (mm/s)

R = distanza baricentro della volata – obiettivo (m)

Q = quantità di esplosivo (kg)

K, B = costanti di sito da determinare con analisi di regressione.

- L'equazione di Ambraseys – Hendron si applica per geometrie e cariche sferiche. La distanza scala con la radice cubica della carica. La formula è la seguente:

$$ppv = K \cdot \left( \frac{R}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-B} \quad (mm/s) \quad (11)$$

- L'Indian Standard Institution (1973) suggerisce una relazione empirica dove la  $ppv$  è funzione della distanza scalata definita come la carica divisa per la radice cubica del quadrato della distanza:

$$ppv = K \cdot \left( \frac{Q}{R^{2/3}} \right)^B \quad (mm/s) \quad (12)$$

- Ghosh & Daemen considerano i numerosi fenomeni anelastici che causano una diminuzione dell'energia durante la propagazione dell'onda, oltre che all'attenuazione geometrica. Essi propongono una riformulazione della (10) e (11) incorporando il fattore  $e^{-\alpha R}$  che contiene il coefficiente di *attenuazione anelastica*  $\alpha$ :

$$ppv = K \cdot \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-B} \cdot e^{-\alpha R} \quad (mm/s) \quad (13)$$

$$ppv = K \cdot \left( \frac{R}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-B} \cdot e^{-\alpha R} \quad (mm/s) \quad (14)$$

- Numerosi studi sperimentali (Davies & al., (1964); Attewell (1964); Birch & Chaffer (1983); Daemen & al., (1983)) non considerano particolari simmetrie della carica e propongono un'equazione generica espressa analiticamente come:

$$v = K \cdot R^a \cdot W^b \quad (mm/s) \quad (15)$$

dove:

$v$  = velocità particellare di picco (mm/s)

$K, a, b$  = costanti di sito da determinare sperimentalmente.

In questo studio, si considera quest'ultima equazione generale: per predire affidabilmente la  $ppv$  è necessario ricavare sperimentalmente le costanti  $K, a$  e  $b$  facendo dei tiri di prova, in vicinanza del luogo di brillamento, in modo da ricavare le costanti caratteristiche di quel sito. Infatti, tali costanti sono sito-specifiche.

Ponendo la (15) in forma logaritmica si ottiene:

$$\log v = \log K + a \log R + b \log W \quad (16)$$

Solitamente si assume che la costante  $b$  sia uguale a  $-\frac{a}{2}$ , da cui si ottiene:

$$\log v = \log K + a \log \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right) \quad (17)$$

oppure,

$$v = K \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^a \quad (18)$$

A questo punto, le due costanti da determinare sono  $K$  e  $a$ .

La formula empirica (18) mette in relazione la *ppv* con la *distanza scalata*  $\frac{R}{\sqrt{W}}$  pari al rapporto fra la *distanza*  $R$  dalla volata e la *carica per ritardo*  $W$ .

Considerando la (17) si nota che rappresenta l'equazione di una retta  $y = K + ax$ . Le costanti di sito si possono facilmente ricavare plottando i valori individuati sperimentalmente dalle misurazioni della velocità in funzione della distanza scalata su un diagramma log – log. Tramite una regressione lineare ai minimi quadrati si traccia la retta che meglio approssima i punti discreti.  $K$  si deduce dal valore dell'intercetta sull'asse delle ordinate in corrispondenza dell'ascissa 1 e  $a$  coincide al coefficiente angolare della retta.

In molti casi, la dispersione dei dati di velocità è così ampia che per ottenere una legge di sito statisticamente valida sarebbero necessari numerosi dati. Quando ciò risulta complicato per questioni pratiche di misurazione, piuttosto che di tempo o di investimento economico, si interviene aggiungendo un fattore di sicurezza, oppure utilizzando una retta più cautelativa rispetto a quella della regressione lineare (sarà traslata maggiormente verso l'alto e verso destra sul diagramma bilogarithmico).

Ottenuta la legge di sito specifica e conoscendo i limiti di *ppv* imposti dalla normativa, la si può impiegare in due modi:

- Conoscendo la *distanza*  $R$  a cui si trova l'obiettivo sensibile rispetto alla volata, si calcola la *massima carica*  $W$  che può detonare simultaneamente (*CPD*, *carica per ritardo*);
- Imponendo una certa *carica per ritardo*  $W$ , si calcola la minima *distanza*  $R$  a cui devono stare le mine rispetto agli obiettivi sensibili da proteggere.

### ***Tecniche per ridurre le vibrazioni***

Sono molti i fattori e le variabili che contribuiscono alla propagazione delle vibrazioni, ciascuno con un diverso grado di rilevanza. I più significativi sono sicuramente la carica per ritardo, la sequenza dei microritardi utilizzata per l'innescò, la precisione dei detonatori, seguiti dall'accoppiamento dell'esplosivo in foro e dalla geometria del brillamento.

In seguito, vengono analizzate alcune tra le più efficaci tecniche che riducono sensibilmente il disturbo vibratorio:

1. Sequenziare le mine della volata con detonatori microritardati.  
L'USBM ha condotto delle ricerche che indicano che due cariche, per essere considerate cariche separate, ossia da non sovrapporre i propri effetti sismici, devono essere temporizzate con un ritardo maggiore o uguale a 8 ms. La volata va progettata in modo che ogni mina detoni con un ritardo rispetto alla precedente, evitando la sovrapposizione delle onde sismiche. I detonatori microritardati hanno dei ritardi standard, come si può visualizzare nella seguente tabella che riporta la serie NONEL UNIDET:

Tabella 1 - Caratteristiche dei detonatori NONEL UNIDET

**NONEL UNIDET**

Unità	Detonatore		Unità di connessione			
	Codice	U 475	U 500	UB 0	UB 17	UB 25
Ritardo, ms	475	500	0	17	25	42
Colore	Giallo/Rosso	Giallo/Verde	Giallo	Blu	Rosso	Verde
Simbolo grafico	—	—				

2. Brillamento frazionato.

Un'ingente quantità di esplosivo per ritardo è probabilmente la principale causa che influisce sull'ampiezza della velocità particellare. Ogni riduzione nel quantitativo di esplosivo, in concomitanza con diametri di foro minori, riduzione dell'altezza del gradino e minore accoppiamento esplosivo – parete del foro, riduce la probabilità di danno. Questa tecnica consiste nel suddividere l'esplosivo all'interno del foro separandolo in cariche distinte, intervalate da borraggio intermedio. Si ottengono due o tre cariche per foro, ognuna delle quali sarà innescata dal proprio detonatore microritardato. Considerando che lo scarto di precisione dei detonatori NONEL è di 8 ms, per esempio, utilizzando l'unità di connessione UB 25 (25 ms di ritardo) per separare le cariche, si rispetta il distacco di almeno 8 ms raccomandato dall'USBM. Questa tecnica viene applicata nella cava di Roaschia.

3. Adozione del presplitting.

Precedentemente l'inizio della coltivazione, questa tecnica ha lo scopo di creare un setto che separi il volume di roccia destinato alla produzione per limitare la trasmissione delle vibrazioni all'ammasso roccioso retrostante. Questa frattura interrompe la trasmissione delle vibrazioni nella direzione degli obiettivi sensibili preservandone la loro integrità. La progressione della detonazione della volata, dove possibile, dovrebbe avvenire allontanandosi dai ricettori.

4. Limitare l'utilizzo di esplosivo al solo ammasso roccioso duro e compatto, se gli strati di copertura possono essere rimossi con l'utilizzo di altri mezzi.

**Rumore**

**Introduzione**

Lo studio dei suoni ma soprattutto dei rumori in campo ambientale compete al settore dell'acustica. Nei cantieri di coltivazione mineraria deve assumere un ruolo fondamentale lo studio e il controllo del rumore derivante dalle diverse attività svolte, sia per la salvaguardia dei lavoratori, sia per preservare l'ambiente circostante dall'inquinamento acustico. Innanzitutto, occorre distinguere tra suono e rumore.

Dal punto di vista fisico, suono e rumore hanno la stessa natura, quella di un fenomeno di trasporto energetico meccanico tramite onde di pressione che si propagano in un mezzo elastico (fluido o liquido) di frequenza tale da essere percepite dall'orecchio umano.

La distinzione tra suono e rumore diventa invece più complessa quando si tratta di darne una valutazione, poiché dipendente dal giudizio soggettivo. Per esempio, avvicinandosi ad un'officina meccanica, un passante potrebbe trovare sgradevole il rumore prodotto dal motore di un'auto mentre per il

meccanico risulta di fondamentale importanza sentire il suono emesso dall'autovettura per comprenderne la natura del problema.

In linea generale, il suono è un fenomeno acustico chiaro e netto che provoca una sensazione sonora piacevole o comunque non fastidiosa, mentre il rumore è associato ad un fenomeno di disturbo e può essere definito come qualsiasi fenomeno acustico che non contenga informazioni utili per l'ascoltatore e quindi interferisca con la sua attività od interessi.

In ogni caso, la valutazione acustica legata al cantiere viene effettuata dal punto di vista fisico oggettivo, esaminando i parametri fondamentali per l'analisi del fenomeno, senza prendere in considerazione la distinzione tra suono e rumore appena menzionata.

Si analizzano ora tali parametri dandone una concisa descrizione.

### **Grandezze acustiche fondamentali**

Per descrivere le grandezze fondamentali è necessario richiamare alcuni concetti relativi al moto armonico. Infatti, l'onda sinusoidale è rappresentativa della propagazione delle onde di pressione nel mezzo nei suoi termini più semplici (fig. 50).

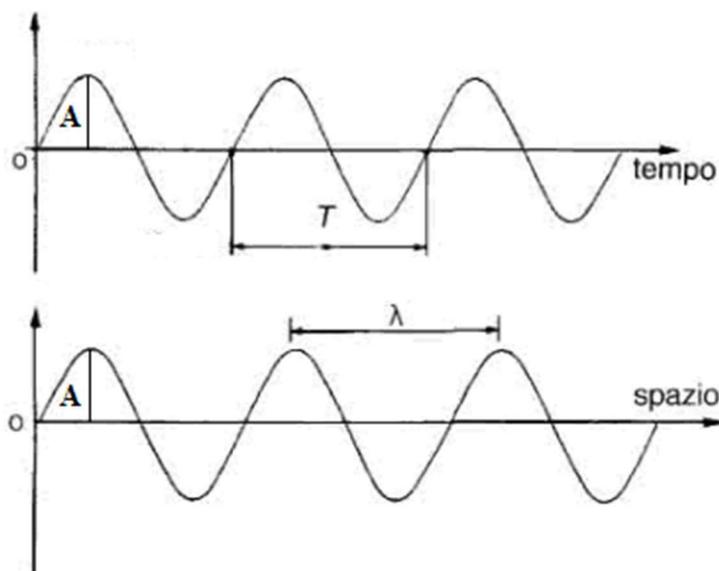


Figura 50 - Rappresentazione grafica dell'onda sinusoidale.

Il moto armonico è caratterizzato da alcune grandezze fisiche che ne descrivono le caratteristiche:

- Periodo  $T$ : tempo impiegato per compiere un'oscillazione completa (s);
- Frequenza  $f$ : numero di oscillazioni complete compiute nell'unità di tempo (Hz);
- Ampiezza  $A$ : spostamento massimo rispetto alla posizione di quiete (m);
- Lunghezza d'onda  $\lambda$ : distanza tra due punti omologhi successivi (m);
- Pulsazione  $\omega$ : velocità angolare (rad/s).

Periodo e frequenza sono legati dalla seguente relazione:

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Hz}) \quad (19)$$

Se si considera il moto circolare uniforme che genera, per proiezione, il moto armonico (fig. 51), la pulsazione è l'angolo al centro descritto nell'unità di tempo dal raggio vettore e vale:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (\text{rad/s}) \quad (20)$$

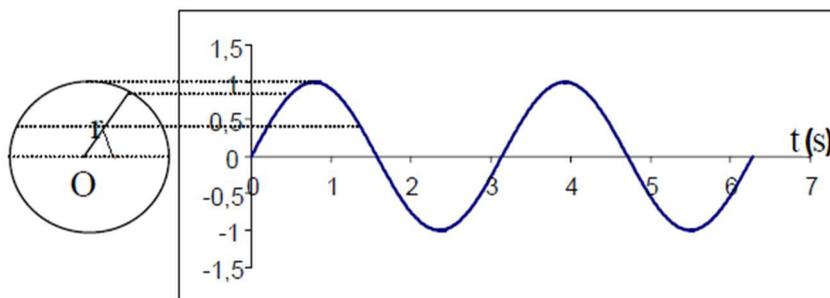


Figura 51 - Rappresentazione grafica del moto armonico. (Boccia, Dispense di fisica tecnica 2 – Parte I: Acustica, 2013)

### Suono e sensazione sonora

Come accennato in precedenza, il *suono* è un fenomeno di trasporto energetico provocato da una sorgente sonora che propaga onde di pressione meccaniche in un mezzo elastico, con una velocità dipendente dalle caratteristiche del mezzo stesso. Dal punto di origine, la sorgente genera una rapida successione di compressioni ed espansioni del mezzo (fluido o solido) senza trasporto di materia. Nei fluidi, che non trasmettono sforzi di taglio, la vibrazione ha sempre direzione parallela alla direzione di propagazione dell'onda sonora per cui si avranno solamente onde longitudinali (fig. 52); nei solidi, che invece trasmettono anche sforzi di taglio, oltre alla componente longitudinale, la vibrazione avviene anche in direzione ortogonale rispetto alla direzione dell'onda, per cui si parla di onde trasversali. In questa trattazione verranno approfonditi gli aspetti principali riguardanti le sole onde longitudinali.

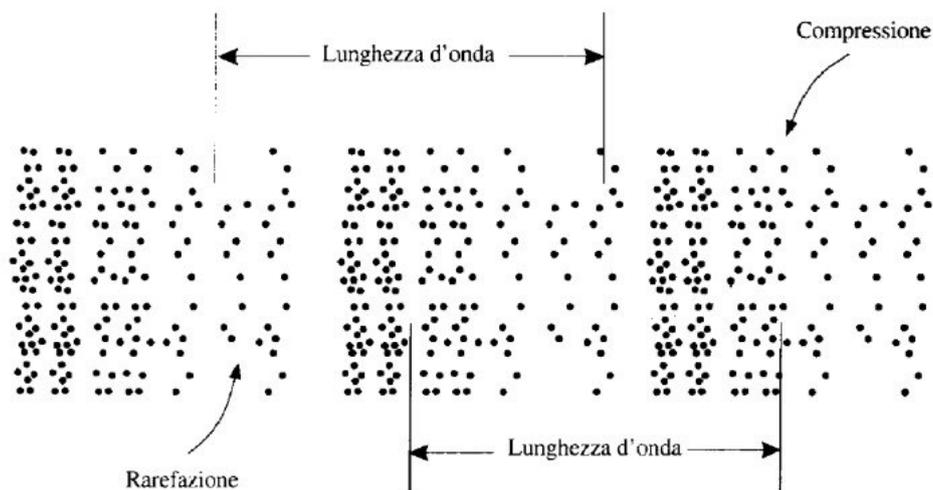


Figura 52 - propagazione dell'onda sonora longitudinale. (Boccia, Dispense di fisica tecnica 2 – Parte I: Acustica, 2013)

Affinché il fenomeno nasca e si propaghi è necessaria la presenza di una sorgente sonora e di un mezzo elastico che ne consenta la propagazione, ed è proprio per questo motivo per cui il suono non si diffonde nel vuoto. A livello molecolare, le particelle entrate in vibrazione trasmettono la perturbazione a quelle adiacenti oscillando intorno alla loro posizione di equilibrio.

Viene definita *sorgente sonora* qualsiasi strumento o apparecchio in grado di provocare direttamente o indirettamente variazioni di pressione con determinate caratteristiche che si elencheranno a breve.

La *sensazione sonora* descrive l'effetto prodotto dal suono come viene percepito dall'orecchio umano. Il fenomeno sonoro provoca una sensazione sonora in presenza di un organo ricevente (l'orecchio umano), secondo le caratteristiche di risposta dell'organo stesso, cioè in funzione della propria sensibilità.

C'è da osservare che non tutti i fenomeni vibratorii sono percepiti dall'orecchio umano come suono, ma soltanto le vibrazioni con frequenze tra i 16 Hz e i 20 kHz producono una sensazione sonora. L'orecchio umano medio è infatti sordo ai fenomeni dello stesso tipo caratterizzati da frequenze minori di 16 Hz (infrasuoni) e maggiori di 20 kHz (ultrasuoni).

Inoltre, quando un suono o un rumore si propaga all'interno di un mezzo elastico, si verificano variazioni estremamente lievi della pressione e della densità intorno alla condizione di quiete, che però sono sufficienti a produrre una sensazione sonora. La variazione di pressione percettibile si aggira tra  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (soglia di udibilità) e 20 Pa (soglia del dolore) (fig. 53).

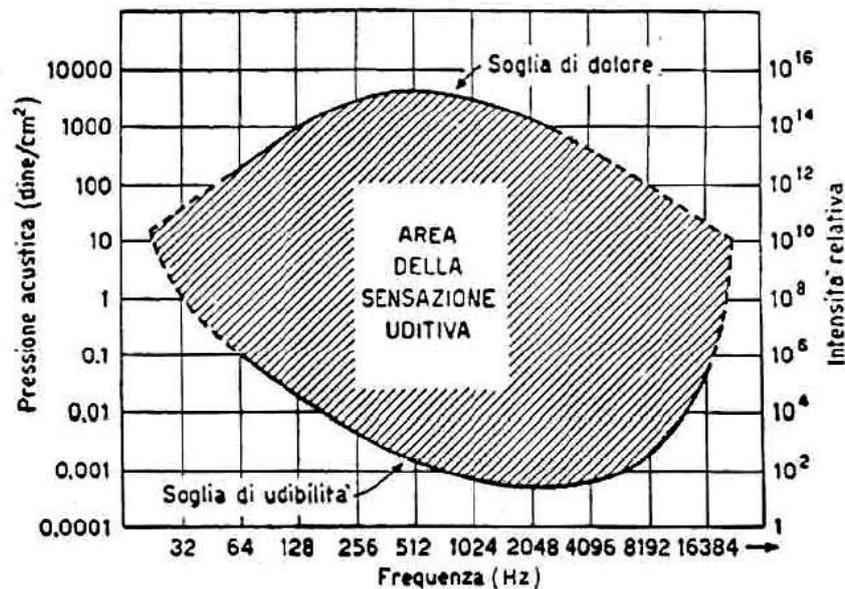


Figura 53 - Area della sensazione uditiva dell'orecchio umano. (Boccia, Dispense di fisica tecnica 2 – Parte I: Acustica, 2013)

### Velocità di propagazione del suono

La velocità con la quale si propagano le onde acustiche dipende unicamente dalle caratteristiche elastiche del mezzo di trasmissione e non dalla frequenza. Per le onde longitudinali vale la seguente relazione:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (\text{m/s}) \quad (21)$$

dove:

$E$  = modulo di elasticità del mezzo (Pa)

$\rho$  = densità del mezzo ( $\text{kg/m}^3$ ).

Considerando invece le grandezze dell'onda, la *lunghezza d'onda*  $\lambda$  dipendente dalla *frequenza*  $f$  e dalla *velocità* di propagazione nel mezzo  $c$ :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{m}) \quad (22)$$

Per quanto riguarda la velocità nell'aria, dove il suono si propaga attraverso un'onda di pressione longitudinale, essa dipende dalla temperatura secondo la seguente formula:

$$c = \sqrt{\gamma RT} \quad (m/s) \quad (23)$$

dove:

$\gamma$  = esponente dell'isentropica, pari al rapporto tra i calori specifici a pressione costante e a volume costante, del mezzo di trasmissione ( $\gamma = 1,4$  per l'aria)

R = rapporto fra la costante universale dei gas ed il peso molecolare ( $R = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$  per l'aria)

T = temperatura (K).

In tabella 2 si riportano alcuni valori caratteristici della velocità del suono in mezzi di trasmissione differenti:

Tabella 2 - Velocità di propagazione del suono in diversi mezzi.

Mezzo di trasmissione	c (m/s)
Aria (20°C)	343
Acqua (20°C)	1484
Acciaio	5000
Alluminio	5820
Marmo	3800
Ferro	5000
Sughero	500

### Pressione sonora

Si è detto che la propagazione del suono avviene tramite vibrazioni delle particelle intorno alla loro posizione di equilibrio. Tali vibrazioni non avvengono in tutti i punti con la stessa fase e ciò genera un addensamento delle particelle in alcune zone e una rarefazione in altre. Ponendosi in un punto del mezzo, quindi, si avranno variazioni di densità e di pressione intorno ai valori nelle condizioni indisturbate, in funzione del tempo.

Si definisce *pressione acustica*  $\Delta p$  lo scostamento della *pressione*  $p$  attorno al suo valore di equilibrio che, per l'aria, generalmente è rappresentato dalla *pressione atmosferica*  $p_a$ :

$$\Delta p(t) = p(t) - p_a \quad (Pa) \quad (24)$$

Le onde sonore, perciò, sono perturbazioni periodiche della pressione intorno al valore di riferimento. Si tratta di perturbazioni molto piccole che danno luogo ad una sensazione sonora se caratterizzate da valori delle grandezze nel campo dell'udibile. La variazione di pressione rispetto al valore della pressione atmosferica che produce una sensazione sonora va da  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  Pa fino a una decina di Pa.

Tuttavia, la forma d'onda di un suono reale è una curva complessa, più o meno periodica, molto irregolare e quindi di difficile comprensione. Esistono però delle sorgenti reali in grado di produrre un suono molto semplice e di facile comprensione detto tono puro, rappresentabile con buona approssimazione da una semplice senoide. Il diapason è una di queste (fig. 54). Inoltre, il tono è detto puro se l'onda sonora è composta da una sola frequenza.



Figura 54 - Diapason. ([https://www.optikascience.com/catalogue/img/p/3/8/9/8/3898-thickbox\\_default.jpg](https://www.optikascience.com/catalogue/img/p/3/8/9/8/3898-thickbox_default.jpg))

L'oscillazione nel tempo del braccio del diapason è rappresentata matematicamente dalla funzione:

$$y = A \sin(2\pi f \cdot t) \quad (25)$$

e anche la corrispondente variazione di pressione che si propaga tramite onde segue una legge sinusoidale:

$$\Delta p = \Delta p_0 \sin(2\pi f \cdot t) \quad (26)$$

dove:

$\Delta p_0$  = ampiezza della variazione di pressione.

Suoni dello stesso tono puro ma di diverso volume si differenziano per diversi valori di ampiezza. In riferimento alla figura 55, dato che l'energia trasportata dall'onda è direttamente proporzionale al quadrato dell'ampiezza, risulta evidente che l'onda di ampiezza maggiore trasporta una maggiore quantità di energia. Ma se si volessero rappresentare i due fenomeni con il valore medio della pressione, si otterrebbe, per entrambi i suoni, lo stesso valore, e ciò non è rappresentativo del fenomeno. Inoltre, se il segnale dell'onda fosse complesso, diventerebbe ambigua la definizione dell'ampiezza media e l'utilizzo del valore istantaneo massimo non sarebbe rappresentativo della percezione dell'orecchio umano.

Allora, risulta conveniente passare ai valori medi energetici o valore medio efficace e ottenere un valore di pressione medio efficace che corrisponde abbastanza bene a quello percepito dall'uomo:

$$p_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \Delta p^2(t) \cdot dt} \quad (27)$$

dove:

T = tempo di integrazione

$\Delta p$  = variazione di pressione.

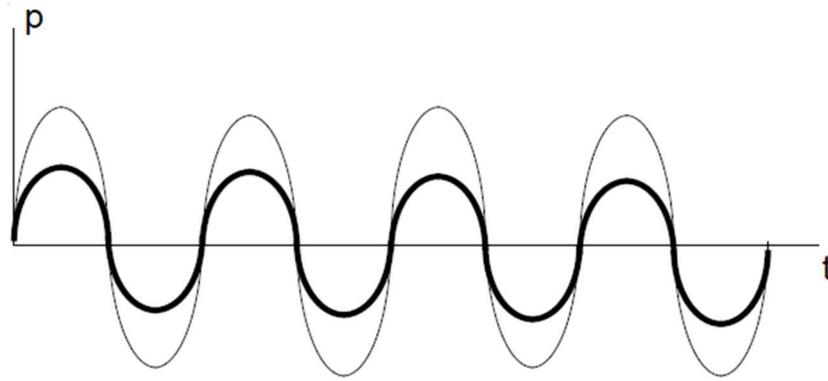


Figura 55 - Rappresentazione di due toni puri. (Boccia, Dispense di fisica tecnica 2 – Parte I: Acustica, 2013)

Si introduce ora il concetto di *impedenza acustica*  $Z$ , dato dal rapporto tra la *pressione acustica*  $p$  e la *velocità di vibrazione*  $u$  delle particelle del mezzo:

$$Z = \frac{p}{u} \quad (\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}) \quad (28)$$

dove:

$p$  = pressione acustica (Pa);

$u$  = velocità di vibrazione (m/s).

Questa grandezza descrive la resistenza che il mezzo, nel quale l'onda si propaga, oppone alla sollecitazione di una forza come, nel caso specifico, la pressione del suono.

Nel caso di onde piane o onde in campo lontano, si dimostra che l'impedenza acustica assume un valore reale dato dalla formula:

$$Z = \frac{p}{u} = \rho \cdot c \quad (\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}) \quad (29)$$

dove:

$\rho$  = densità del mezzo ( $\text{kg/m}^3$ );

$c$  = velocità di propagazione dell'onda sonora nel mezzo (m/s).

### **Potenza sonora e intensità sonora**

Si è menzionato che le onde di pressione costituenti il suono trasferiscono energia meccanica da un punto ad un altro dello spazio senza trasporto di massa. Si definisce *potenza sonora*  $W$  l'energia sonora irradiata nell'unità di tempo da una sorgente e la si misura in Watt (W). La potenza sonora è una grandezza univoca per descrivere una sorgente sonora, indipendentemente da dove essa sia posta. In tabella 3 si riportano alcuni esempi di potenza sonora sviluppata da differenti sorgenti:

Tabella 3 - Ordine di grandezza della potenza sonora di differenti sorgenti.

<b>Sorgente</b>	<b>Potenza sonora (W)</b>
Aereo turbogetto con postbruciatori	$10^5$
Aereo turbogetto (3200 kg spinta)	$10^4$
Aereo turboelica 4 motori	$10^2$ - $10^3$
Orchestra di 75 elementi – piccolo valore eff.	10
Martello pneumatico	1
Piano	$10^{-1}$ -1

Radio a tutto volume	$10^{-1}$
Passaggio auto su strada	$10^{-2}$
Ventilatore assiale	$10^{-3}$
Voce – grido	$10^{-4}$ - $10^{-3}$
Voce – livello di conversazione medio	$10^{-6}$ - $10^{-5}$
Voce – sussurro molto lieve	$10^{-9}$

La potenza sonora emessa da una sorgente si irradia in tutte le direzioni dando origine in ogni punto dello spazio circostante ad una intensità sonora.

Come riportato da Boccia (2013):

*L'intensità sonora è una grandezza vettoriale (al contrario della pressione sonora o della potenza sonora che sono grandezze scalari) che esprime il valore e la direzione del flusso netto di potenza sonora in una certa posizione dello spazio ed in un certo istante  $t$ .*

*Si definisce esattamente intensità sonora istantanea in un punto  $P$ , valutata nella direzione  $r$  formante un angolo  $\theta$  con la direzione di propagazione dell'onda sonora (data dal vettore velocità di vibrazione delle particelle  $u$ ), l'energia sonora che attraversa, nel tempo infinitesimo  $dt$ , la generica superficie di area  $dA$  immersa nel fluido [fig. 56]:*

$$I_{\theta}(x, y, z, t) = \frac{dE}{dA \cdot dt} \quad (30)$$

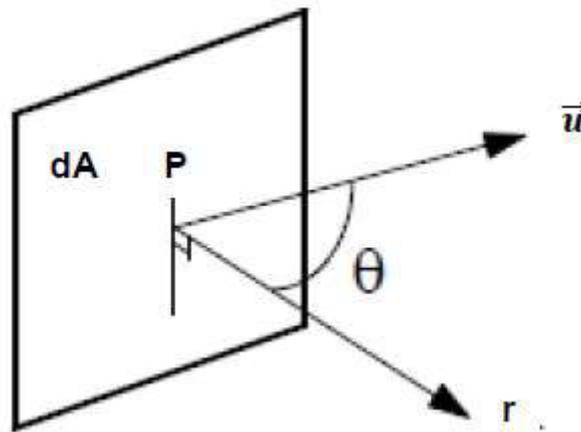


Figura 56 - Energia sonora incidente sull'area infinitesima  $dA$  nella direzione  $r$ . (Boccia, Dispense di fisica tecnica 2 – Parte I: Acustica, 2013)

Si noti che l'energia nell'unità di tempo è una potenza:

$$I_{\theta}(x, y, z, t) = \frac{dW}{dA} \quad (W/m^2) \quad (31)$$

Per esempio, considerando una sorgente omnidirezionale, l'energia sonora viene diffusa su superfici sferiche il cui centro è la sorgente sonora ed il cui raggio cresce con la propagazione del suono:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (W/m^2) \quad (32)$$

Introducendo la pressione sonora, l'intensità sonora istantanea nella direzione determinata dall'angolo  $\theta$  equivale al prodotto della pressione sonora per la componente  $u \cdot \cos\theta$  della velocità delle particelle nella direzione ortogonale alla superficie. Per onde piane, o sferiche e cilindriche a distanza sufficiente da poter essere considerate piane, ricavando la  $u$  dalla formula (29), si ottiene l'espressione:

$$I_{\theta}(x, y, z, t) = p \cdot u \cdot \cos \theta = p \cdot \frac{p}{\rho \cdot c} \cdot \cos \theta = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \cdot \cos \theta \quad (W/m^2) \quad (33)$$

L'intensità risulta massima quando  $\theta = 0^\circ$ , cioè quando la direzione di propagazione dell'onda è normale alla superficie.

### **Livelli di pressione, intensità e potenza sonora**

I valori di pressione sonora e di intensità sonora che generano una sensazione uditiva, dalla soglia di udibilità al di sotto della quale non si percepisce alcun suono, alla soglia del dolore che rappresenta il caso limite di sopportazione, possono variare, alla frequenza di 1000 Hz, tra i seguenti valori:

- $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa,  $I_0 = 10^{-12}$  W/m<sup>2</sup> per la soglia di udibilità;
- $p_{sd} = 20$  Pa,  $I_{sd} = 1$  W/m<sup>2</sup> per la soglia del dolore.

Se si scegliesse la pressione o l'intensità come grandezza atta a valutare i fenomeni acustici, sarebbe necessario costruire delle scale di rappresentazione con milioni di divisioni dato che le scale dei parametri variano di molti ordini di grandezza. In questo caso allora si è ricorso ad una scala di unità convenzionale, il livello.

Il metodo consiste nel confrontare il valore di una *grandezza*  $G$  facendone il rapporto con un valore di riferimento  $G_0$  della stessa grandezza, passando poi al logaritmo decimale di tale rapporto, con il *Bel* ( $B$ ) come unità di misura. Se la scala ne risultasse troppo contratta, è sufficiente moltiplicare il logaritmo per un coefficiente costante (10 nel caso dei livelli acustici) e ottenere una scala più ampia con unità di misura il *deciBel* ( $dB$ ):

$$L = 10 \log \frac{G}{G_0} \quad (dB) \quad (34)$$

In acustica si assumono come valori di riferimento per la *pressione sonora*, l'*intensità* e la *potenza* quelli relativi alla soglia di udibilità, quindi  $p_0$ ,  $I_0$  e  $W_0$ . Misurati nella scala dei *deciBel*, si ottiene così una suddivisione della scala in un numero ragionevole di divisioni:

- per la soglia di udibilità:  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa,  $I_0 = 10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>,  $W_0 = 10^{-12}$  W a cui corrisponde un livello pari a 0 dB.

Esempio:  $L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log 1 = 0$ ;

- per la soglia del dolore:  $p_{sd} = 20$  Pa,  $I_{sd} = 1$  W/m<sup>2</sup>,  $W_{sd} = 1$  W a cui corrisponde un livello pari a 120 dB.

Esempio:  $L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{1}{10^{-12}} = 10 \log 10^{12} = 120$ .

Quindi, il livello di intensità sonora misurato in *deciBel* è definito dalla seguente espressione:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (dB) \quad (35)$$

In termini di pressione sonora, sostituendo la relazione (33) che intercorre tra intensità e pressione nella (35), si ottiene il livello di pressione:

$$L_p = 10 \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (dB) \quad (36)$$

I livelli di intensità e pressione coincidono solo per propagazione in campo aperto o in campo chiuso anecoico e quando le condizioni ambientali sono uguali a quelle di riferimento, ossia  $Z = 400 \text{ kg/m}^2\text{s}$ . In condizioni normali ( $p_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa}$  e  $t = 20^\circ\text{C}$ ),  $Z$  non si discosta di molto dal valore di  $400 \text{ kg/m}^2\text{s}$ : con buona approssimazione dunque i livelli coincidono.

### **Livello sonoro equivalente**

I rumori si possono suddividere in tre categorie, a livello costante, a livello fluttuante ed a livello impulsivo. I rumori a livello costante presentano variazioni massime di livello sonoro di 5 dB. I rumori fluttuanti sono caratterizzati da fluttuazioni superiori ai 5 dB e durata superiore a 1 s. Rumori con durata inferiore a 1 s ad un livello sonoro elevato sono detti impulsivi.

Poiché in ambiente industriale il rumore è generalmente di tipo fluttuante e impulsivo, non è corretto valutarlo rifacendosi al valore massimo e al valore minimo del livello sonoro: occorre definire un valore opportunamente mediato e rappresentativo della finestra temporale che contraddistingue l'evento stesso.

Boccia (2013) definisce "il livello equivalente [...] come quel livello sonoro costante durante un certo intervallo di tempo che trasporta la stessa quantità di energia di quello variabile relativo allo stesso periodo di tempo." Il livello equivalente viene indicato con  $L_{eq}$  (fig. 57).

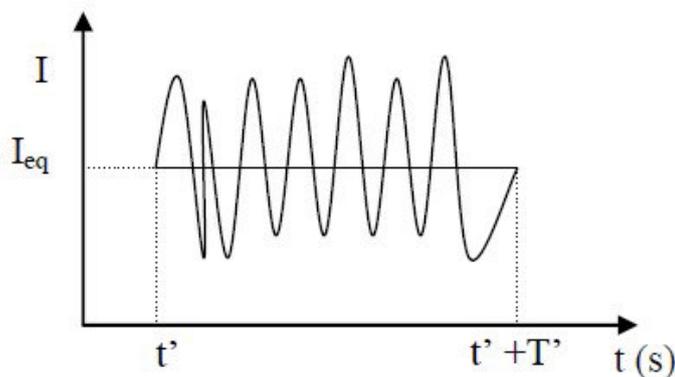


Figura 57 - Rappresentazione del rumore fluttuante e del livello equivalente in un intervallo di tempo  $T'$ . (Boccia, Dispense di fisica tecnica 2 – Parte I: Acustica, 2013)

Infatti, nel caso di rumori fluttuanti è utile e pratico definire il livello costante di pressione sonora dell'evento in un certo intervallo di tempo che possiede la stessa energia del rumore originale.

In pratica, per calcolare il livello equivalente di un certo rumore, prima si determina l'intensità sonora equivalente, ossia l'intensità di valore costante che ha lo stesso contenuto energetico dell'intensità variabile nello stesso arco di tempo:

$$\int_0^T I(t) dt = I_{eq} T \quad (37)$$

da cui, per integrazione sull'intervallo di tempo  $T$ :

$$I_{eq} = \frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt \quad (38)$$

Seguendo la (35), infine si ottiene il livello equivalente (fig. 58):

$$L_{eq} = 10 \log \frac{I_{eq}}{I_0} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{I(t)}{I_0} dt \right) = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (39)$$

dove:

T = intervallo di tempo di integrazione;

p(t) = valore istantaneo della pressione sonora;

p<sub>0</sub> = valore di riferimento della pressione (2 · 10<sup>-5</sup> Pa).

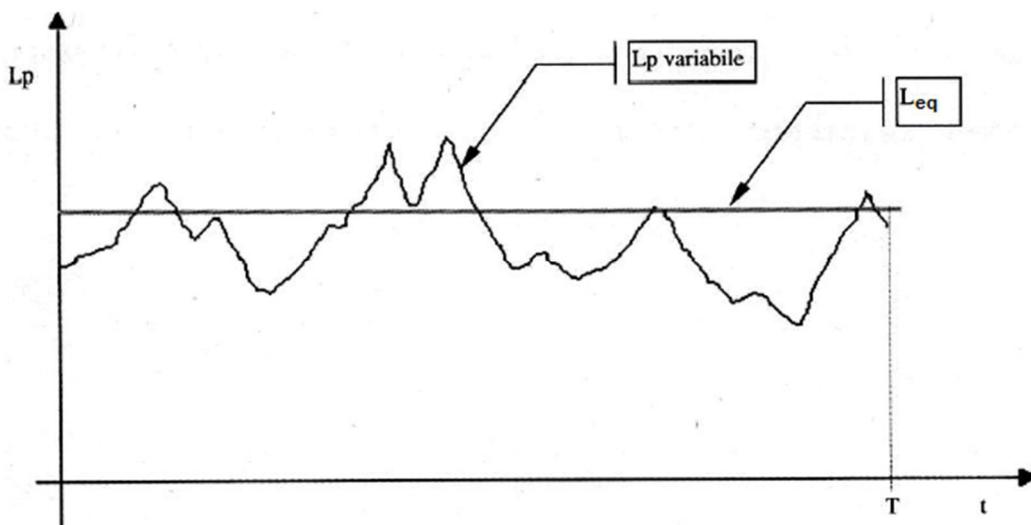


Figura 58 - Rappresentazione del livello di pressione variabile e del rispettivo livello equivalente. (Boccia, Dispense di fisica tecnica 2 – Parte I: Acustica, 2013)

In termini di rischio da danno uditivo, il livello sonoro equivalente corrisponde a quel livello costante che provocherebbe all'udito umano, in un dato periodo di tempo, gli stessi effetti del rumore in esame.

### Fonometria

Lo strumento che si utilizza per la valutazione dei livelli di pressione sonora è il fonometro. Tale apparecchio è in grado di misurare il valore quadratico medio della *pressione sonora*  $p(t)$  all'istante di tempo attuale, il quale, mediato su un periodo di *tempo*  $T$  corrispondente alla durata del campionamento, assume la seguente formulazione:

$$p(t) = \sqrt{\frac{1}{t} \int_{t-T}^t p^2(\tau) d\tau} \quad (Pa) \quad (40)$$

dove:

$\tau$  = variabile tempo;

$t$  = istante di tempo attuale considerato.

In seguito, il fonometro fornisce il rispettivo valore del livello in dB:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (dB) \quad (41)$$

Dal momento che la normativa sull'inquinamento acustico prevede la misura dei *livelli equivalenti*  $L_{eq}$ , i fonometri sono dotati di microprocessori in grado di eseguire le opportune integrazioni temporali per fornire il risultato desiderato. Il calcolo del  $L_{eq}$  si ottiene mediante la formula:

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \quad (dB) \quad (42)$$

dove:

$t_2 - t_1$  = tempo di campionamento;

$p(t)$  = valore efficace della pressione sonora all'istante  $t$ .

In realtà, il dispositivo va ad elaborare  $n$  campioni della pressione efficace; per cui, l'operazione che svolge è una media discreta delle pressioni sui diversi intervalli di tempo considerati:

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{p^2}{p_0^2} \right) \quad (dB) \quad (43)$$

### ***Propagazione del suono in campo libero***

La condizione di campo libero si verifica quando il suono si propaga in assenza di ostacoli che causino fenomeni di assorbimento, diffrazione o riflessione. Le onde sonore si allontanano dalla sorgente subendo il solo fenomeno della divergenza geometrica, cioè dell'attenuazione dovuta al fatto che, aumentando la distanza, aumenta la superficie di propagazione.

Nella realtà esistono numerose tipologie di sorgenti sonore, con differenti forma, dimensione, direttività, spettro di emissione, variabilità nel tempo. Per semplificarne lo studio, si schematizzano con buona approssimazione a tre tipologie:

- sorgente puntiforme (propagazione del suono con divergenza sferica);
- sorgente lineare (propagazione del suono con divergenza cilindrica);
- sorgente piana (le onde rimangono piane al variare della distanza).

Una sorgente viene considerata puntiforme, lineare o piana non solo dalla sua forma, ma anche dalle dimensioni e dalla distanza relativa sorgente – ricevitore.

Analizzando una sorgente puntiforme, si considera costante l'energia che si propaga, ma l'intensità sonora diminuisce perché si distribuisce su una superficie sempre maggiore. Considerando due *superfici sferiche*  $S_1$  e  $S_2$  concentriche di raggi  $r_1$  e  $r_2$ , ed indicando con  $I_1, I_2, p_1, p_2$ , le *intensità* e le *pressioni sonore* rispettivamente di due punti generici  $P_1$  e  $P_2$  sulle superfici, si ha:

$$W = I_1 S_1 = I_2 S_2 \quad (W) \quad (44)$$

da cui:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{4\pi r_2^2}{4\pi r_1^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{p_1^2}{p_2^2} \quad (45)$$

da cui si deduce che l'intensità sonora si riduce con il quadrato della distanza.

L'attenuazione per divergenza sferica  $\Delta L$  tra i due punti  $P_1$  e  $P_2$  si può ricavare nel modo seguente: dalla (45) si ricava la pressione sonora nel punto  $P_2$ :

$$p_2 = p_1 \frac{r_1}{r_2} \quad (Pa) \quad (46)$$

Il livello di pressione sonora ne punto  $P_2$  si ricava sostituendo la (46) nella (36):

$$L_2 = 20 \log \frac{p_2}{p_0} = 20 \log \left( \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{p_1}{p_0} \right) \quad (dB) \quad (47)$$

Conoscendo il livello nel punto  $P_1$  (calcolato con la (36)) e combinato con la (47) si ottiene:

$$\Delta L = L_1 - L_2 = 20 \log \frac{r_2}{r_1} \quad (48)$$

Da quest'ultimo risultato si verifica facilmente che, data una sorgente con un certo livello sonoro costante, raddoppiando la distanza, il livello sonoro misurato diminuisce di 6 dB.

## Quadro Normativo

### *Quadro normativo sulle vibrazioni*

Il problema delle vibrazioni sui fabbricati, derivante da attività industriali o estrattive, non è al giorno d'oggi disciplinato in Italia da alcuna Legge o Decreto Legge nazionale o Legge regionale. Secondo quanto riferito da Galfrè & Giraudò (2008), ne consegue che la valutazione degli effetti delle vibrazioni sulle strutture e i limiti massimi che possono essere ammessi, possono essere riferite alle regole dell'arte. Generalmente, in campo tecnico si considera conforme alla regola dell'arte ciò che rispetta le norme tecniche esistenti in tale settore.

In Italia le norme tecniche più impiegate sono emanate dall'ente di certificazione UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) e dall'ente CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), le quali non hanno carattere cogente se non richiamate espressamente da una legge o da un decreto o da un disciplinare contrattuale. Tuttavia, possono rappresentare l'espressione della regola dell'arte e quindi valgono come buon riferimento per comprendere se le vibrazioni sono compatibili con l'integrità dei bersagli sensibili.

Il CNR non ha mai emanato norme relativamente alle vibrazioni, mentre l'ente UNI ha emanato in passato le norme UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo" e le norme UNI 9916-1991 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", l'ultima versione delle quali risale al 2004.

Tutti gli altri Stati europei ed extraeuropei hanno emanato normative nazionali molto precise e cogenti riguardanti i limiti massimi delle vibrazioni che possono essere indotte sugli edifici. Tali norme internazionali propongono in funzione del campo di frequenza interessato dal fenomeno, valori di riferimento della velocità di vibrazione, superati i quali possono verificarsi danni sugli edifici. Inoltre, valutano separatamente i casi in cui la natura del fenomeno è di tipo continuo o transitorio. Nel caso specifico, lo sparo discontinuo di mine è un fenomeno del tutto transitorio, di breve durata e pertanto si possono escludere problemi di fatica e amplificazioni dovute a risonanze nelle strutture interessate. Le norme internazionali non si differenziano di molto tra di loro e le UNI 9614 – 9916 ne ricalcano lo schema, in particolare richiamano le DIN 4150-3 tedesche, così come può essere verificato leggendo l'Appendice D (punto D.1) della UNI 9916. Altre principali normative di settore sono la BS 7385 britannica e la SN 640312a svizzera, che sono meno cautelative rispetto alla norma tedesca.

Le normative definiscono come parametro di riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni sui fabbricati il valore di picco della somma vettoriale delle componenti delle velocità di vibrazione ( $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$ ) registrate alla fondazione (*peak particle velocity*, *ppv*).

Con  $v_x$  si indica la velocità longitudinale, parallela alla direzione volata – fabbricato,  $v_y$  è la velocità trasversale sull'asse perpendicolare a quello longitudinale e  $v_z$  è la componente della velocità verticale.

La DIN 4150-3 considera tre classi di edifici per le quali identifica i seguenti valori di riferimento della velocità di oscillazione *ppv* (tab. 4 e fig. 59):

Tabella 4 - DIN 4150-3 - Valori di riferimento per la velocità di oscillazione al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni (mm/s)

CLASSE	TIPO DI EDIFICIO	VALORI DI RIFERIMENTO PER VELOCITÀ DI OSCILLAZIONE (PPV)			
		Frequenze alle fondazioni			Ultimo solaio orizzontale
		Da 1 a 10 Hz	Da 10 a 50 Hz	Da 50 a 100*	Tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, costruzioni per costruzioni strutturalmente simili	20	da 20 a 40	da 40 a 50	40
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	da 5 a 15	da 15 a 20	15
3	Edifici che per loro particolare sensibilità alle vibrazioni non rientrano nelle precedenti classificazioni e che sono da tutelare in modo particolare	3	da 3 a 8	da 8 a 10	8

\*Per frequenze superiori ai 100 Hz possono essere adottati come minimo i valori per 100 Hz

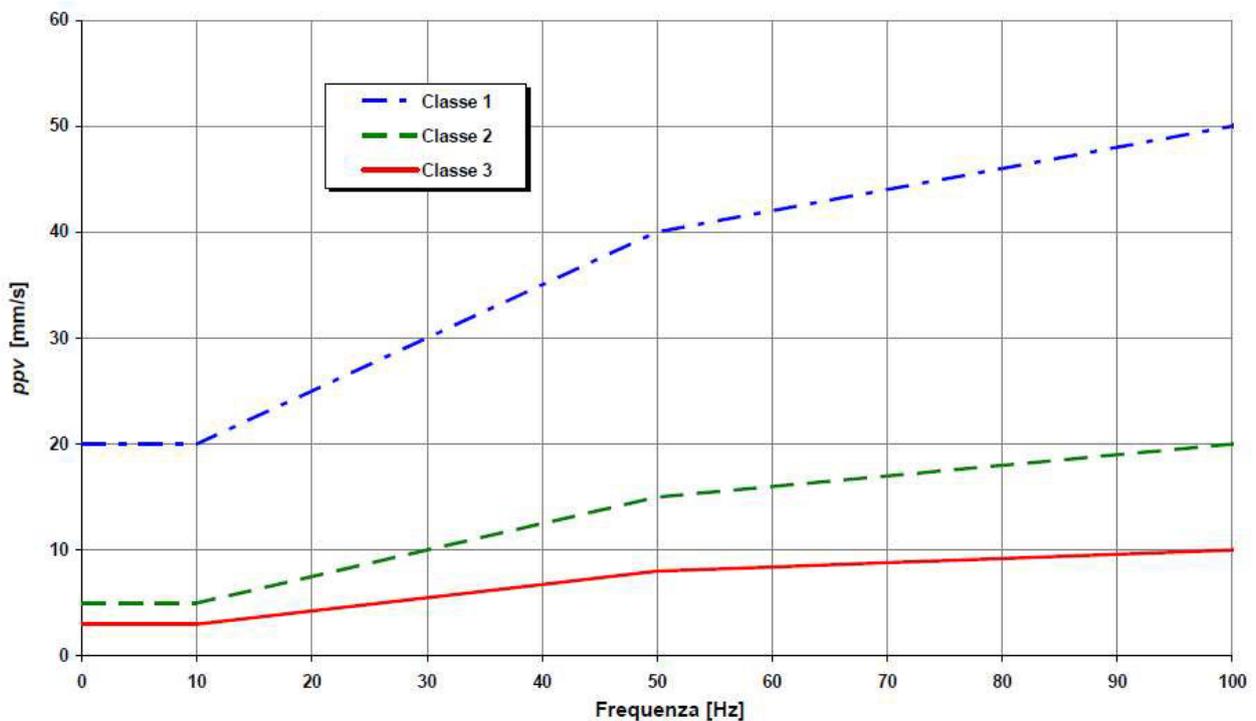


Figura 59 - Rappresentazione grafica dei valori di riferimento della ppv in funzione della frequenza per la valutazione degli effetti sulle costruzioni (DIN 4150-3).

La BS 7385 risulta meno cautelativa rispetto alla precedente norma DIN 4150-3 e identifica solo due classi di strutture alle quali assegna i valori di riferimento espressi in tabella 5:

Tabella 5 - BS 7385 - Valori di riferimento della velocità di oscillazione al fine di valutare l'azione delle vibrazioni sulle costruzioni (mm/s).

CLASSE	TIPO DI EDIFICIO	VALORI DI RIFERIMENTO PER VELOCITÀ DI OSCILLAZIONE (PPV)		
		Frequenze alle fondazioni		
		Da 4 a 15 Hz	Da 15 a 40 Hz	Da 40 a 250 Hz
1	Strutture industriali e commerciali a telaio o rinforzate	50		
2	Edifici residenziali o piccoli edifici commerciali con struttura non rinforzata	Da 15 a 20	Da 20 a 50	50
Nota 1: per la classe 2, a frequenze minori di 4 Hz, non si deve superare uno spostamento massimo di 0,6 mm.				

Infine, la SN 640312 considera quattro classi di edifici e propone, per vibrazioni transitorie, valori di riferimento superiori rispetto alla DIN 4150-3 e lievemente più restrittivi della BS 7385 (tab. 6).

Tabella 6 - SN 640312 - Valori di riferimento della velocità di oscillazione al fine di valutare l'azione delle vibrazioni transitorie e occasionali sulle costruzioni (mm/s)

CLASSE	TIPO DI EDIFICIO	VALORI DI RIFERIMENTO PER VELOCITÀ DI OSCILLAZIONE (PPV)		
		Frequenze alle fondazioni		
		Da 8 a 30 Hz	Da 30 a 60 Hz	Da 60 a 150 Hz
A	Costruzioni molto poco sensibili (per esempio ponti, gallerie, fondazioni di macchine)	45	60	90
B	Costruzioni poco sensibili (per esempio edifici industriali in calcestruzzo armato o metallici) costruiti a regola d'arte e con manutenzione adeguata	30	40	60
C	Costruzioni normalmente sensibili (per esempio edifici residenziali in muratura di cemento, calcestruzzo armato o mattoni, edifici amministrativi, scuole, ospedali, chiese in pietra naturale o mattoni intonacati) costruiti a regola d'arte e con manutenzione adeguata	15	20	30
D	Costruzioni particolarmente sensibili (per esempio monumenti storici e soggetti a tutela, case con soffitti in gesso, edifici della classe C nuovi o ristrutturati)	7,5	10	15

Vista la cautela dei limiti di *ppv* rispetto alle altre normative europee, e visto che la normativa italiana richiama le norme tedesche, si ritiene che possano essere presi come riferimento valido i valori espressi dalle UNI 9916 – 9614 e DIN 4150-3 per stabilire se le vibrazioni prodotte da volate di mine sono compatibili con l'integrità delle strutture.

Per quanto riguarda invece le infrastrutture sotterranee presenti nella cava, non essendo una categoria coperta esplicitamente dalla normativa tedesca, si terrà conto delle indicazioni riportate nella legge svizzera SN 640312.

## ***Quadro normativo sul rumore***

### ***Inquinamento acustico***

In materia di rumore, la pubblicazione della Legge 26/10/1995 n° 447 "*Legge quadro sull'inquinamento acustico*" ha determinato l'attuale contesto normativo italiano definito successivamente dal D.P.C.M. 14/11/1997 "*Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore*".

La normativa che definisce univocamente il concetto di "normale tollerabilità" è il D.P.C.M. 1/3/1991 "*Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno*", ripreso e aggiornato in seguito dal D.P.C.M. 14/11/1997 "*Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore*".

In riferimento a quanto descritto nel D.P.C.M. 14/11/1997 "*Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore*", risultano importanti le seguenti definizioni:

1. Criteri per la classificazione del territorio in funzione della sua destinazione d'uso, ricalcando quanto già previsto dal precedente D.P.C.M. 1/3/1991;
2. Valori limite di emissione delle sorgenti sonore, valori limite assoluti di immissione ed i valori di qualità, in funzione delle classi di destinazione d'uso del territorio e del periodo di riferimento (diurno o notturno);
3. Criteri di applicabilità dei valori limite differenziali di immissione.

### ***Classificazione del territorio***

Secondo le indicazioni del Decreto succitato, il territorio comunale dovrebbe essere suddiviso utilizzando le sei classi definite nel seguito:

- a) Classe I: Aree particolarmente protette**  
Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo e allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ...
- b) Classe II: Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale**  
Rientrano in questa categoria le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali e artigianali.
- c) Classe III: Aree di tipo misto**  
Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione e presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza

di attività industriali: aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.

**d) Classe IV: Aree di intensa attività umana**

Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, elevata presenza di attività commerciali e uffici e presenza di attività artigianali: le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie, le aree portuali, le aree con limitata presenza di piccole industrie.

**e) Classe V: Aree prevalentemente industriali**

Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.

**f) Classe VI: Aree esclusivamente industriali**

Rientrano in questa categoria le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi.

Inoltre, il D.P.C.M. 14/11/1997 prevede che la zonizzazione territoriale comporti classi di aree contigue le une alle altre; questo significa che, per esempio, un'area urbanistica di classe V "Area prevalentemente industriale" non possa immediatamente confinare con un'area dichiarata di classe II "Area destinata ad uso prevalentemente residenziale". Inoltre, la legge n° 447/95 considera comunque valide le zonizzazioni già elaborate dai Comuni in base al D.P.C.M. 1/03/1991, prima dell'entrata in vigore della legge stessa.

**Valori limite di immissione e di emissione**

Per ciascuna classe, il Decreto associa i "limiti massimi di immissione" dei livelli sonori equivalenti (tab. 7), che non possono essere superati di giorno (dalle ore 06.00 alle ore 22.00) e di notte (dalle ore 22.00 alle ore 06.00):

Tabella 7 - Valori limite assoluti di immissione secondo il D.P.C.M. 14/11/1997.

<b>Valori limite assoluti di immissione – <math>L_{eq}</math> in dB(A)</b>			
<b>Classi di destinazione d'uso del territorio</b>		<b>Giorno</b>	<b>Notte</b>
I	Aree particolarmente protette	50	40
II	Aree prevalentemente residenziali	55	45
III	Aree di tipo misto	60	50
IV	Aree di intensa attività umana	65	55
V	Aree prevalentemente industriali	70	60
VI	Aree esclusivamente industriali	70	70

Tali limiti devono essere rilevati e rispettati presso il ricettore.

I limiti assoluti indicati in tabella 7 non sono applicati all'interno delle rispettive fasce di pertinenza per le infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime, aeroportuali, gli autodromi, le piste motoristiche di prova e quelle destinate ad attività sportive; in questo caso, i limiti sono stabiliti con appositi decreti attuativi che fissano anche l'estensione delle fasce sopra elencate.

Un'importante innovazione del D.P.C.M. 14/11/1997 riguarda l'introduzione dei "valori limite di emissione", in aggiunta al costante rispetto dei livelli di immissione, ossia dei livelli sonori che non

devono essere superati negli spazi esterni ai confini dell'attività produttiva da cui proviene il rumore. Secondo l'art. 2, comma 2, di tale Decreto, *“I valori limite di emissione delle singole sorgenti fisse (...) sono quelli indicati nella tabella (...) e si applicano a tutte le aree del territorio ad esse circostanti, secondo la rispettiva classificazione in zone”* (tab. 8). Il comma 3 dello stesso articolo recita che *“I rilevamenti e le verifiche sono effettuati in corrispondenza degli spazi utilizzati da persone e comunità.”*

Tabella 8 - Valori limite di emissione secondo il D.P.C.M. 14/11/1997.

<b>Valori limite di emissione – <math>L_{eq}</math> in dB(A)</b>			
<b>Classi di destinazione d'uso del territorio</b>		<b>Giorno</b>	<b>Notte</b>
I	Aree particolarmente protette	45	35
II	Aree prevalentemente residenziali	50	40
III	Aree di tipo misto	55	45
IV	Aree di intensa attività umana	60	50
V	Aree prevalentemente industriali	65	55
VI	Aree esclusivamente industriali	65	65

Secondo l'art. 2 – comma 2 e) della legge 447/95, tali livelli devono essere misurati in prossimità della sorgente sonora. Nel caso di uno stabilimento (quindi anche per un'area estrattiva), esso stesso viene considerato come sorgente e le misure fonometriche dovrebbero essere effettuate in prossimità della recinzione esterna.

Oltre ai limiti massimi assoluti di immissione ed emissione relativi alle singole zone urbanistiche, il D.P.C.M. 14/11/1997 prevede che per le zone non esclusivamente industriali (classe VI) debba essere rispettato anche un livello differenziale pari a 5 dB(A) di giorno ed a 3 dB(A) di notte tra il livello equivalente del rumore ambientale e quello del rumore residuo (il livello sonoro equivalente in dB(A) prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo dopo aver disattivato le specifiche sorgenti disturbanti) misurato all'interno del locale “disturbato” a finestre aperte.

Inoltre, l'art. 4, comma 2, prevede che *“Le disposizioni [precedenti] non si applicano nei seguenti casi, in quanto ogni effetto del rumore è da ritenersi trascurabile:*

- a) *Se il rumore misurato a finestre aperte sia inferiore a 50 dB(A) durante il periodo diurno e 40 dB(A) durante il periodo notturno;*
- b) *Se il livello del rumore ambientale misurato a finestre chiuse sia inferiore a 35 dB(A) durante il periodo diurno e 25 dB(A) durante il periodo notturno.”*

### ***Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento da rumore***

Il Decreto Ministeriale 16/3/1998 descrive l'attrezzatura e le modalità con le quali deve essere effettuato il rilievo fonometrico.

L'art. 2 precisa le specifiche che deve possedere il fonometro, ossia appartenere alla classe 1 delle norme EN 60651/1994, mentre l'art. 3, allegato B, descrive le modalità di misura del rumore: *“I rilievi di rumorosità devono (...) tenere conto delle variazioni sia dell'emissione sonora delle sorgenti che della loro propagazione. Devono essere rilevati tutti i dati che conducono ad una descrizione delle sorgenti che influiscono sul rumore ambientale nelle zone interessate dall'indagine.”* Infatti, i rilievi fonometrici si eseguono per un tempo sufficiente a garantire una valutazione statisticamente rappresentativa del fenomeno esaminato.

Il microfono, dotato di schermo antivento, va orientato nella direzione della sorgente e collocato all'altezza del ricettore e ad una distanza maggiore di 1 m da eventuali superfici interferenti come muretti, muri perimetrali, pareti di roccia... Le misurazioni vanno effettuate in assenza di precipitazioni atmosferiche e di vento con velocità maggiore di 5 m/s.

### ***Esposizione al rumore***

#### ***Valori limite***

Il Decreto Legislativo 9/04/2008 n° 81, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, al Titolo VIII riguardante la protezione da agenti fisici, e in particolare al capo II dello stesso titolo, determina i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione al rumore durante l'orario lavorativo soprattutto per l'udito.

Nell'articolo 189 del D. Lgs. 81/08 vengono stabiliti i seguenti limiti di esposizione giornaliera al rumore ( $L_{EX, 8h}$ ) per ogni lavoratore o gruppo omogeneo di lavoratori:

- Valore limite di esposizione:  $L_{EX, 8h} = 87$  dB(A), valore di picco max = 140 dB(C);
- Valore superiore di azione:  $L_{EX, 8h} = 85$  dB(A), valore di picco max = 137 dB(C);
- Valore inferiore di azione:  $L_{EX, 8h} = 80$  dB(A), valore di picco max = 135 dB(C).

dove:

valore limite di esposizione = valore giornaliero oltre il quale una persona non può essere esposta;

valori di azione = valori da cui devono essere applicati uno o più provvedimenti di prevenzione e protezione specificati all'art. 192 dello stesso decreto.

Va specificato che nell'applicazione dei valori limite di esposizione, la determinazione dell'effettiva esposizione del lavoratore deve tener conto dell'attenuazione prodotta dai dispositivi di protezione individuale (DPI) indossati. Invece, i valori di esposizione che fanno scattare i valori di azione non tengono in considerazione l'utilizzo dei DPI.

#### ***Valutazione del rischio***

Il Datore di Lavoro deve procedere alla valutazione del rischio di esposizione al rumore per identificare i luoghi e i lavoratori a cui debbano applicarsi le relative misure di prevenzione e protezione. In particolare, devono essere presi in considerazione:

- Il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, inclusa ogni esposizione a rumore impulsivo;
- I valori limite di esposizione ed i valori di attenzione;
- Gli effetti sulla salute e sicurezza derivanti da interazione tra rumore e sostanze ototossiche, vibrazioni e segnali acustici di avvertimento o altri suoni da osservare al fine di ridurre il rischio;
- Le informazioni sull'emissione di rumore provviste dal produttore dell'attrezzatura di lavoro;
- Il prolungamento del periodo di esposizione al rumore oltre l'orario di lavoro consueto;
- La disponibilità di dispositivi di protezione con adeguate caratteristiche di attenuazione.

In seguito alla valutazione secondo i suddetti criteri, se si ritiene che il livello possa superare i valori inferiori di azione, il datore di lavoro deve procedere alla misurazione dei livelli sonori a cui sono sottoposti i lavoratori. L'analisi e i risultati vanno resi sul documento di valutazione dei rischi che, in conformità all'art. 28 del D. Lgs. 81/08, deve almeno contenere:

- I criteri adottati per la valutazione stessa;
- L'individuazione delle misure di prevenzione e protezione e dei DPI da adottare;
- Il programma delle misure ritenute opportune per garantire nel tempo i livelli di sicurezza.

### ***Misure di prevenzione e protezione***

Se in seguito alla valutazione dei rischi risultano superamenti nei valori inferiori di azione, il datore di lavoro deve eliminare o ridurre al minimo i rischi alla fonte, in ogni caso a livelli inferiori ai valori limite di esposizione, applicando le seguenti disposizioni:

- Adottare altri metodi di lavoro che implicano una minore esposizione al rumore;
- Scegliere attrezzature e strumenti che emettano il minor rumore possibile;
- Progettare le strutture e le aree di lavoro adottando misure di smorzamento e isolamento per il rumore strutturale, e tecniche di contenimento, quali schermature, involucri o rivestimenti in materiale fonoassorbente per il rumore trasmesso per via aerea;
- Formare e informare i lavoratori sull'uso corretto delle attrezzature;
- Programmare una manutenzione opportuna, sia degli strumenti e dei sistemi, sia delle strutture e degli impianti.

Inoltre, le aree di lavoro dove la rumorosità supera il livello inferiore di azione, devono essere segnalate attraverso appositi segnali, indicati nella norma UNI 7545-22 "Segni grafici per i segnali di pericolo – Rumore".

### ***Utilizzo dei dispositivi di protezione individuale***

Qualora i livelli non possano essere abbattuti al di sotto dei valori inferiori di azione tramite le misure di prevenzione e protezione, l'art. 193 stabilisce che i lavoratori debbano essere forniti dei dispositivi di protezione individuale (DPI). I DPI devono essere messi a disposizione nel caso di superamento dei valori inferiori di azione, mentre si esige che vengano indossati se il lavoratore è esposto a livelli pari o maggiori del valore superiore d'azione.

Si tiene conto dell'attenuazione prodotta solo al fine di valutare l'efficienza e il rispetto del valore limite di esposizione. I DPI sono considerati adeguati se mantengono un livello di rischio minore o uguale al valore inferiore di azione.

### ***Metodologia di misura ed analisi***

Nella valutazione del livello sonoro di esposizione dei lavoratori, l'art. 190 del D. Lgs. 81/08 richiede di misurare il rumore a cui sono soggetti gli operatori nell'arco della giornata di 8 ore ( $L_{EX,8h}$ ), o della settimana di 40 ore lavorative nel caso vi sia una notevole variazione del livello sonoro durante le giornate della settimana stessa. La norma UNI 9432 richiede preliminarmente l'acquisizione di informazioni importanti per una corretta valutazione delle rilevazioni fonometriche, ossia:

- I cicli tecnologici, le modalità di esecuzione del lavoro, i mezzi e i materiali utilizzati;
- La variabilità delle lavorazioni;
- Le caratteristiche del rumore (fluttuante, impulsivo, ciclico, costante, ...);
- Le condizioni acustiche al contorno alla postazione di misura;
- Le postazioni occupate ed i tempi di permanenza nelle stesse;
- I periodi di pausa e riposo.

In relazione alle diverse attività svolte dagli operatori, si adottano diverse metodologie per avere una misurazione attendibile:

- Per il lavoratore che esegue le proprie mansioni da una “postazione fissa”, si esegue il rilievo in tale posizione, e il valore del livello sonoro misurato corrisponde a quello di esposizione.
- Per il lavoratore che esegue le sue mansioni in diverse postazioni, si eseguono i rilievi del  $L_{eq}$  per ogni posto e, valutato il tempo di permanenza in ogni luogo, si calcola il livello di esposizione tramite media logaritmica ponderata.
- Per il lavoratore che non occupa postazioni fisse ma si muove in aree definite, il rilievo avviene seguendo l’operatore per un tempo sufficiente ad avere un  $L_{eq}$  stabile oppure misurando più valori di  $L_{eq}$  per ottenerne un valore medio.
- Per il lavoratore che esegue mansioni cicliche, si effettua la misurazione per la durata intera del ciclo e il valore  $L_{eq}$  ottenuto rappresenta il livello sonoro di esposizione di tale ciclo lavorativo.

## Struttura e metodo della ricerca

### *Campagna di misurazioni sperimentali per la determinazione di una legge di sito*

#### *Utilizzo dell'esplosivo nell'abbattimento di produzione*

Nel corso della coltivazione, nella cava di Roaschia vengono usualmente utilizzati per l'abbattimento dei quantitativi di esplosivo variabili tra 1500 e 2000 kg per volata. Tale quantità non può in ogni caso eccedere il limite giornaliero autorizzato dalla Polizia Mineraria, che è di 2500 kg.

Per ridurre l'effetto delle vibrazioni indotte, negli ultimi due decenni è stato sempre adottato il brillamento frazionato della carica mediante tiro microritardato.

Fino all'estate del 2000 veniva utilizzato il tiro elettrico con miccia detonante in foro, ottenendo la detonazione simultanea di tutta la carica in foro. Gli effetti sismici erano considerevoli, poiché a detonare simultaneamente era una quantità di esplosivo che poteva raggiungere i 62 kg. Inoltre, anche il rumore provocato dalla miccia detonante era elevato.

In seguito, al fine di ottenere un maggior controllo della volata e degli effetti di vibrazione e di rumore, è stato introdotto l'innescio di tipo NONEL. La carica, sia nei fori da 15 m che in quelli da 7 - 8 m, viene frazionata rispettivamente in due e tre parti intervallate dal borraggio intermedio. Ciascuna porzione è microritardata e detona ad istanti diversi, limitando notevolmente la propagazione delle vibrazioni.

#### *Strumentazione e scelta del posizionamento per la misura*

Per la misurazione delle vibrazioni sono stati utilizzati due sismografi dotati di geofono triassiale, le cui caratteristiche principali sono riassunte in tabella 9 (le specifiche tecniche complete sono riportate in Appendice):

*Tabella 9 - Caratteristiche principali dei sismografi utilizzati.*

<b>Modello del sismografo</b>	<b>Intervallo di misura</b>	<b>Intervallo di misura frequenza</b>	<b>Numero campionamenti massimo</b>
Instantel MiniMate DS-077	127 (mm/s)	2-250 Hz	1024 campioni/s
Nomis SM	254 (mm/s)	2-400 Hz	1024 campioni/s

Particolare attenzione va prestata nel posizionare gli strumenti, in quanto bisogna cercare di tenere conto delle seguenti esigenze:

- Monitorare gli eventi vibrometrici a distanze diverse per ottenere un insieme di punti facilmente correlabile da una curva di tendenza lineare. Infatti, in cantiere la *CPD* è pressoché costante e ciò significa che, per ottenere dati su un ampio range di *distanza scalata*  $\frac{R}{\sqrt{W}}$ , è necessario far variare il più possibile la *distanza* *R* al fine di ridurre a priori la formazione di una nuvola di dati concentrati nello stesso punto che restituirebbe una curva di tendenza con bassa correlazione.
- Collocare i sensori solidali al terreno in continuità con l'ammasso roccioso in posizione orizzontale, possibilmente in un luogo sicuro da proiezioni o crolli; nel caso specifico i geofoni sono sempre stati posizionati a monte della volata, alla stessa quota alla quale avveniva il brillamento;

- Orientare il sensore concordemente per tutte le rilevazioni, cioè rivolgerlo verso la volata in modo che la componente longitudinale dell'onda sia perpendicolare al fronte d'onda.

La campagna di misurazioni è stata eseguita monitorando 22 diverse volate, eseguite dal 26 marzo 2019 al 23 luglio 2019. In figura 60 vengono rappresentate schematicamente due configurazioni di acquisizione dei dati: le volate monitorate sono avvenute in due porzioni ben precise dell'area di cava (aree gialle), mentre in rosso vengono riportate le posizioni occupate dai sismografi, a distanze definite.



*Figura 60 - Schema di due differenti volate con il posizionamento delle stazioni di monitoraggio relative.*

Per assicurare un maggiore accoppiamento con il terreno, i sensori di entrambi i sismografi, posizionati a contatto con l'ammasso roccioso, sono stati coperti con un sacco di sabbia (fig. 61 - 62).



*Figura 61 - Posizionamento del sismografo Instantel MiniMate DS-077.*



Figura 62 - A sinistra, posizionamento della stazione di monitoraggio Nomis SM; a destra, particolare del geofono posizionato sotto il sacco di sabbia.

Un altro parametro importante è la *carica per ritardo (CPD)*. Nella configurazione di caricamento del foro utilizzata (fig. 26), essa corrisponde alla carica di fondo e si attesta su valori che variano da 13.88 kg per le volate di profilatura, fino a 20.82 kg per le volate di produzione all'asciutto e fino a 24.98 kg per le volate di produzione in caso di presenza di acqua in foro. Infatti, l'ANFO è un esplosivo sensibile all'acqua e rischia di non detonare se si impregna d'acqua. Per evitare tale inconveniente, esso si sostituisce con l'Exem 100 che è un'emulsione insensibile all'acqua con una densità maggiore dell'ANFO.

Nella seguente tabella si riassume il posizionamento dei sismografi per ogni rilevazione, indicando la distanza dal baricentro della volata e la massima CPD (tab. 10):

Tabella 10 - Distanza di posizionamento dei sismografi rispetto al baricentro della volata.

DATA	DISTANZA NOMIS (m)	DISTANZA INSTANTEL (m)	CPD (kg)
26-mar	-	50	14.58
28-mar	-	50	22.90
29-mar	-	30	24.98
04-apr	70	50	14.58
05-apr	50	70	18.74
23-apr	44	30	20.82
30-apr	100	150	16.66
03-mag	31.5	-	16.66
09-mag	22	43	20.82
15-mag	95	48	14.58
16-mag	60	-	18.74

21-mag	60	110	22.92
22-mag	23	15	20.82
30-mag	80	75	22.92
31-mag	70	30	20.82
13-giu	35	-	20.82
18-giu	25	25	13.88
25-giu	100	-	18.74
04-lug	100	100	18.74
10-lug	70	70	14.58
12-lug	~ 80 m (in galleria)	70	20.82
23-lug	-	90	14.58

Le tre volate del 26, 28 e 29 marzo e quella del 23 luglio non sono state registrate dal sismografo Nomis in quanto era in manutenzione; le volate del 3 e 16 maggio e del 13 e 25 giugno non sono state registrate dal sismografo Instantel a causa di problemi alla batteria.

### ***Analisi ed elaborazione dei dati vibrometrici***

#### ***Determinazione della legge di sito***

La legge di sito si ricava diagrammando i dati sperimentali su un piano cartesiano bilogarithmico e interpolando linearmente i punti. Dall'equazione della retta interpolante si ottengono i parametri di sito della legge.

Si ricorda che, applicando i logaritmi alla legge di sito, si ottiene la seguente formulazione con aspetto lineare:

$$\log v = \log K + a \log \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right) \quad (49)$$

Dunque, il primo passo da compiere è diagrammare in scala logaritmica i dati raccolti e rappresentati dalla coppia *ppv* – *distanza scalata* (fig. 63).

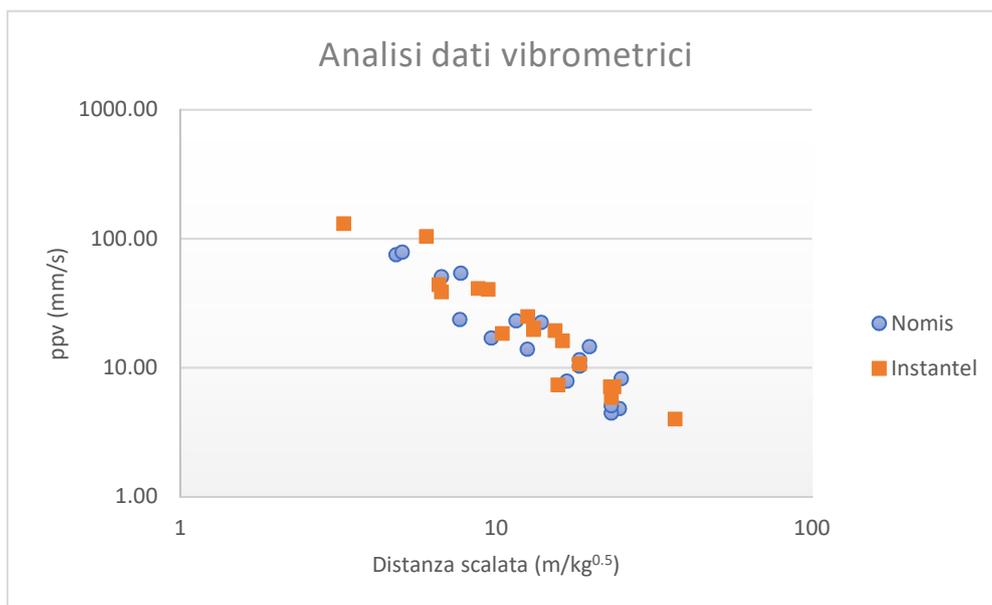


Figura 63 - Diagramma dei valori misurati della ppv in funzione della distanza scalata.

Le costanti  $K$  e  $a$  vengono individuate per regressione lineare. Il parametro  $K$  si ricava sapendo che  $\log(K)$  coincide con l'intercetta della retta in corrispondenza dell'ascissa di valore 1, mentre il parametro  $a$  corrisponde al coefficiente angolare (fig. 64):

$$\log K = 2,9896 \Rightarrow K = 10^{2,9896} = 976,34$$

$$a = -1,5707$$

In questo caso, quindi, è stata ottenuta la seguente legge di sito:

$$ppv = 976,34 \cdot \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-1,57} \quad (mm/s) \quad (50)$$

Per verificare l'affidabilità dell'analisi statistica si ricorre al coefficiente di correlazione della curva  $R^2$  che assume un valore di 0,90, dimostrando un'ottima correlazione.

Tutte le misurazioni sono state inglobate in un'unica legge di sito per ottenere un risultato il più affidabile e rappresentativo possibile.

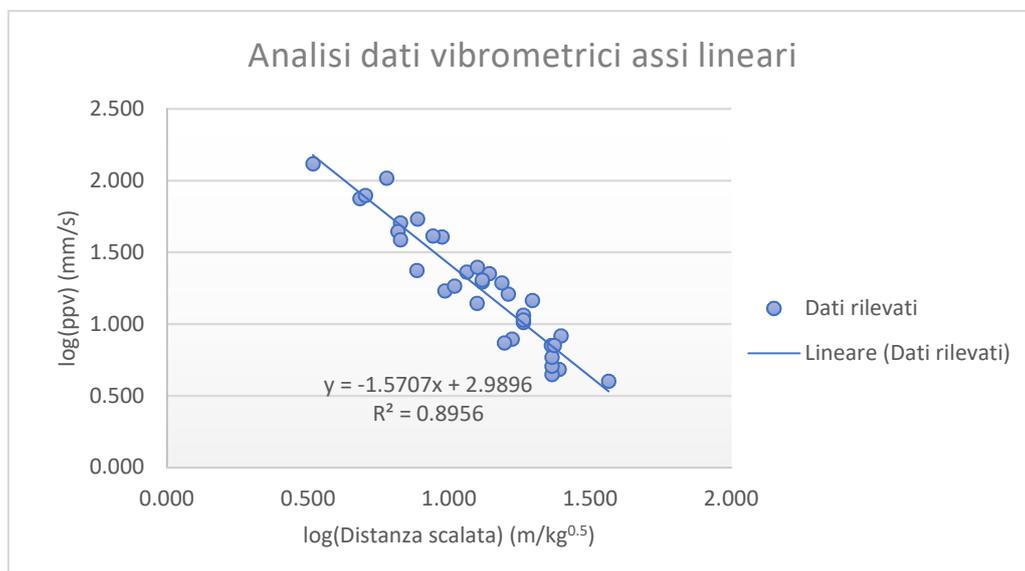


Figura 64 - Interpolazione lineare e espressione analitica della retta. Si visualizza anche il coefficiente di correlazione della curva  $R^2$ .

## ***Campagna di misurazione sperimentale del rumore***

### ***Inquinamento acustico***

#### ***Strumentazione e modalità di misura del rumore***

Il rilievo fonometrico è stato eseguito con strumenti conformi ai requisiti del D.M. 16/3/1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico":

- Fonometro microfono con analizzatore Bruel & Kjaer 2260 Investigator (fig. 65);
- Calibratore di livello sonoro Bruel & Kjaer modello CAL4231.

Il fonometro è stato verificato prima e dopo la misura con il calibratore di livello sonoro: le misure non sono variate per cui sono ritenute valide.



*Figura 65 - Fonometro Bruel & Kjaer 2260 Investigator.*

Le attività più rilevanti ai fini dell'inquinamento acustico circostante il sito sono la frantumazione, il trasporto del materiale sui nastri trasportatori e l'impiego di macchine, in particolare la perforatrice. Nel caso specifico, il rumore ha caratteristiche essenzialmente stazionarie. In conformità a quanto riportato nel D.M. 16/3/1998, per ottenere una valutazione rappresentativa del fenomeno acustico, il livello sonoro equivalente in dB(A) è stato misurato per un tempo sufficientemente ampio, ossia finché sul display dello strumento venivano visualizzate variazioni non superiori a 0,1 dB(A). Il microfono, con il cappuccio antivento inserito, è stato posizionato a distanza maggiore di 1 m dalle superfici limitrofe ai punti di misura e orientato verso la sorgente di rumore, cioè in direzione del cantiere in quel momento attivo.

### ***Valori misurati nei punti ricettori***

I rilievi sono stati eseguiti in sette diversi punti circostanti la cava, nei quali si trovano i ricettori più prossimi all'area di estrazione. Tali ricettori sono stati scelti in corrispondenza di insediamenti abitativi, in posizione rappresentativa in relazione alle emissioni acustiche del sito produttivo (fig. 66).



Figura 66 - Individuazione dei punti di misura circostanti l'area estrattiva.

Il rilievo è stato eseguito il 4 aprile 2019 e in tabella 11 si riportano i dati descrittivi e i valori misurati.

Tabella 11 - Valori misurati nei punti di rilievo.

Punto	Descrizione	Livelli sonori diurni misurati
		$L_{eq}$ dB(A)
A	S. Bernardo strada sopra le case	49,1
B	Tetto Viale, dietro il forno	44,9
C	Tetto Piglione, cappella Madre del redentore	37,6
D	Tetto Tabanot, centro borgata	42,2
E	Tetto Monfranco, centro borgata	38,8
F	Tetto Rei, traliccio	43,3
G	Tetto Bandito	51,1

## Discussione dei risultati

### Vibrazioni

La legge di sito ricavata descrive la propagazione delle vibrazioni nell'ammasso roccioso calcareo della cava di Roaschia.

Analizzando il cuore del problema, come citato in precedenza, l'ampliamento autorizzativo porterà il cantiere ad una distanza minima dalle abitazioni civili di 100-110 m. Per questa tipologia di manufatti la normativa DIN 4150-3 prevede un limite di 5 mm/s alle frequenze più basse (da 1 a 10 Hz), che va innalzandosi a 15 mm/s per le frequenze medie (da 10 a 50 Hz), fino al valore soglia di 20 mm/s oltre i 100 Hz. Inoltre, si considera il limite di 45 mm/s imposto dalla normativa svizzera SN 640312 per quanto riguarda le infrastrutture poco sensibili come quelle sotterranee, poiché nel cantiere esistono, ed è prevista anche la realizzazione, nella zona di ampliamento, di un fornello connesso ad un camerone e alla rispettiva galleria di base.

Attraverso la rappresentazione grafica di figura 67, è possibile individuare la massima quantità di esplosivo utilizzabile in funzione della distanza a cui si trova l'obiettivo sensibile e del limite di *ppv* imposto dalla legge:

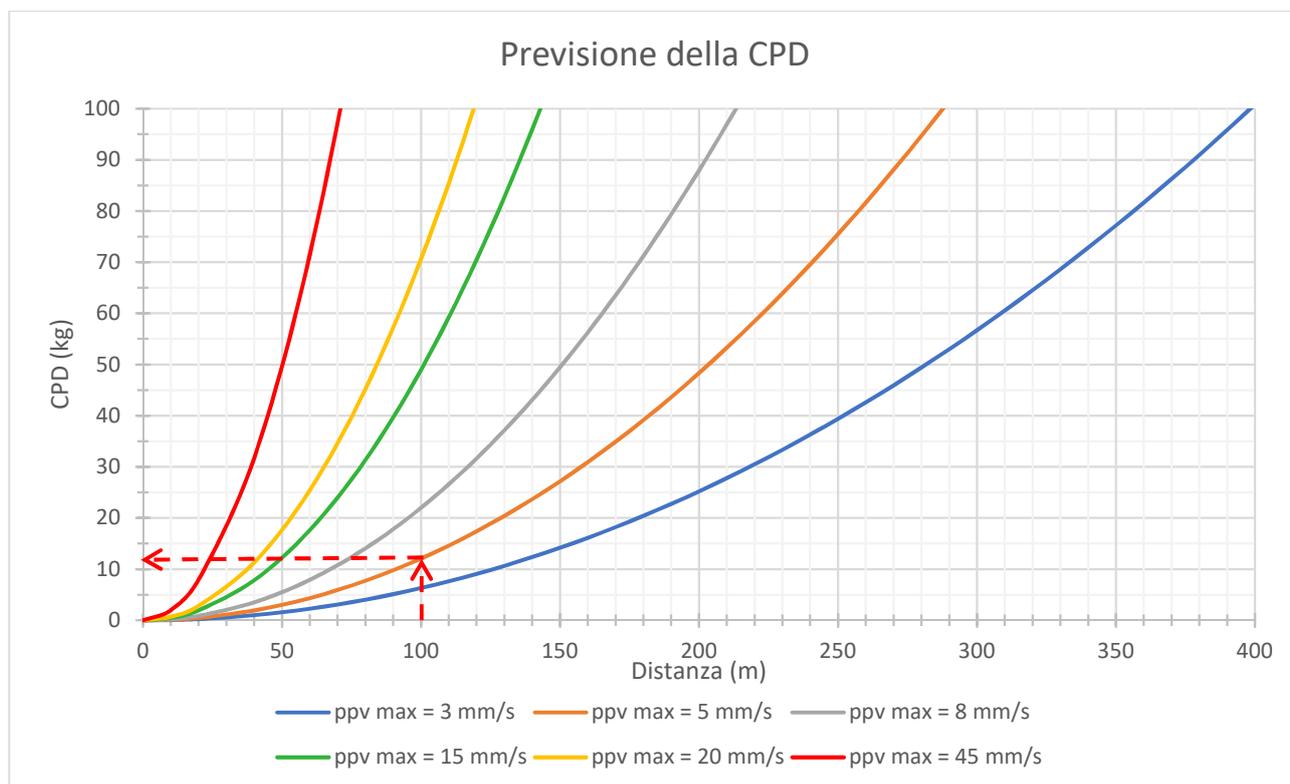


Figura 67 - Grafico per la determinazione della massima carica istantanea in funzione della distanza e del limite di velocità adottato.

Le CPD con cui attualmente si opera in cantiere variano tra 10 kg e 25 kg a seconda della tipologia di volata e delle condizioni al contorno. A favore di sicurezza, si considera la CPD massima di 25 kg. Dal grafico in figura 67 risulta che le distanze da rispettare per evitare danni o lesioni alle diverse classi di strutture sono:

- Edifici sensibili da tutelare: ~ 200 m;
- Edifici di civile abitazione: ~ 145 m;

- Edifici industriali: ~ 60 m;
- Strutture poco sensibili (gallerie): ~ 35 m.

Con il quantitativo di esplosivo attualmente impiegato, risulta evidente che la distanza delle abitazioni di 100 m dal cantiere è inferiore a quella minima di sicurezza di 145 m. Pertanto, tramite lo stesso grafico, si ricava che la *CPD* massima dovrà essere di circa 12 kg (freccette rosse).

La stima della *ppv* in funzione della distanza e della *CPD* viene eseguita attraverso il seguente abaco (fig. 68):

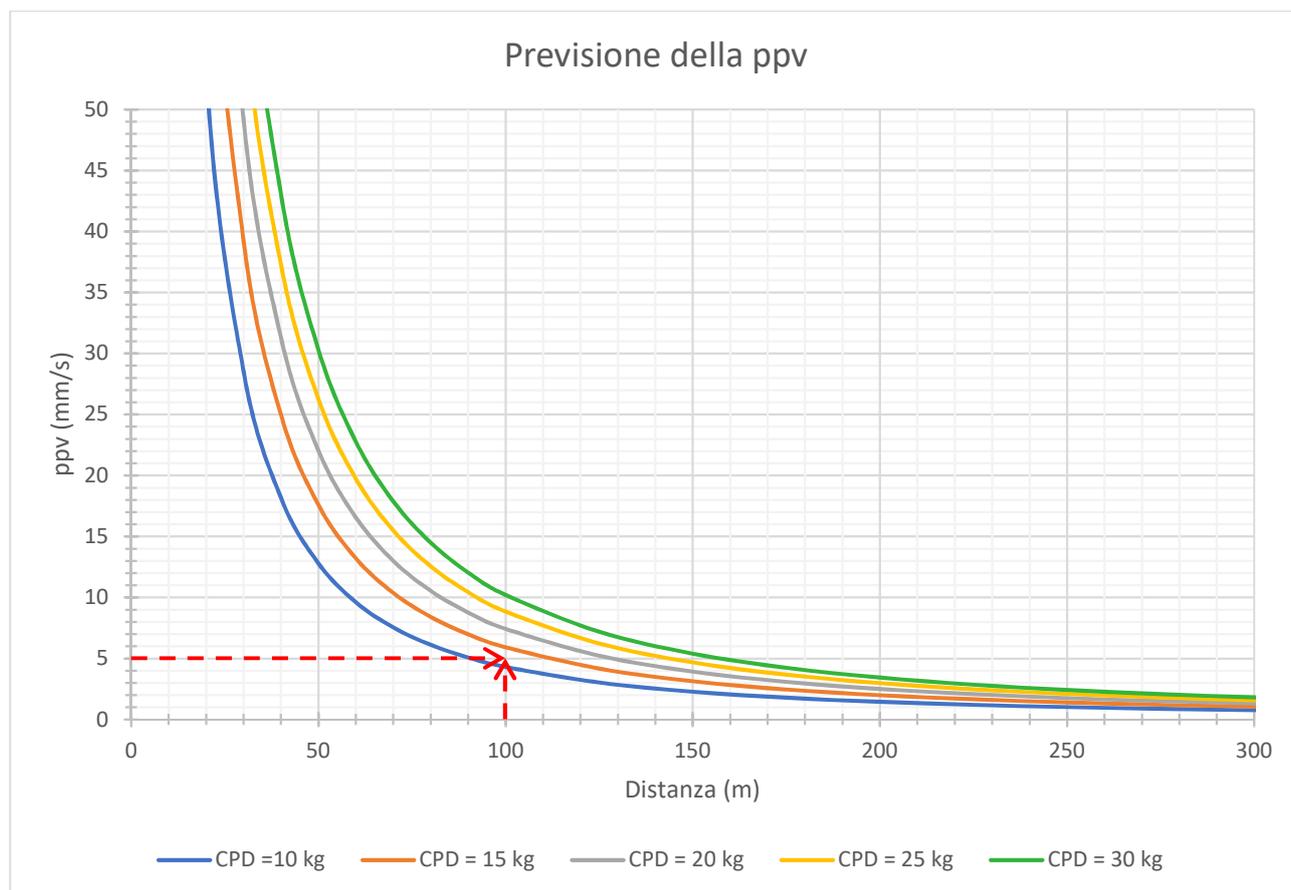


Figura 68 - Grafico per la determinazione della *ppv* in funzione della distanza dell'obiettivo e della carica istantanea impiegata (*CPD*).

Partendo da una distanza di 100 m, si ha ulteriore conferma che con una *CPD* pari a 25 kg si ottiene un valore di velocità particellare di circa 9 mm/s, superando il limite di 5 mm/s imposto dalla normativa DIN 4150-3. Infatti, come rappresentato in figura 68, e concordemente al risultato precedente, la carica istantanea non deve superare 12 kg.

In base ai risultati ottenuti, si propone un piano di tiro per le volate che si troveranno ad una distanza inferiore a 145 m da almeno un ricettore. Partendo dal presupposto che il diametro di perforazione  $\varnothing = 101$  mm (4 pollici) non può variare in quanto significherebbe sostituire le perforatrici, la maglia di perforazione rimane identica a quella attuale, ossia *spalla*  $V = 2$  m con un *interasse*  $E = 3$  m e inclinazione dei fori di  $70^\circ$  rispetto all'orizzontale. Si interviene dunque sulla *CPD* che deve rimanere entro 12 kg. Inoltre, come già si procede attualmente in vicinanza delle strutture sotterranee, si preferisce dimezzare la lunghezza del foro a 7,5 m per evitare di avere un frazionamento eccessivo in 5 o addirittura 6 cariche per foro.

Sulla base statistica delle volate studiate, si ricava un *consumo specifico di esplosivo* o *powder factor PF* medio pari a  $0,35 \text{ kg/m}^3$ , mentre il *volume V* abbattuto da una mina di lunghezza 7,5 m è circa  $68 \text{ m}^3$ . La *carica totale W* per mina si ottiene moltiplicando il *PF* per il *volume V*:

$$W = PF \cdot V \quad (\text{kg}) \quad (51)$$

da cui  $W = 23,80 \text{ kg}$ .

Frazionando la *carica totale W* in 3 parti, si ottiene la seguente configurazione di caricamento, con una carica di fondo pari a 11,80 kg (il peso di una cartuccia di Exem 100 è 2,78 kg, mentre quella di Euranfo 77 pesa 2,08 kg) (fig. 69):

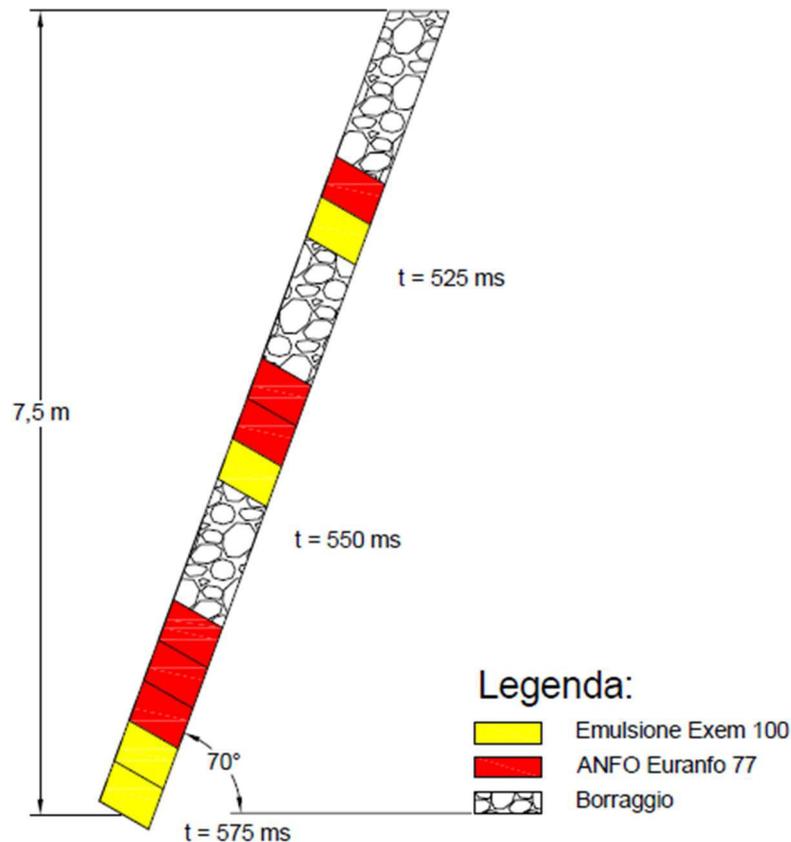


Figura 459 - Configurazione di caricamento per le volate con distanza inferiore a 145 m dai ricettori.

### ***Inquinamento acustico***

Nell'area di cava, le mansioni vengono svolte su due turni lavorativi, dalle 6.00 alle 13.00 e dalle 13.30 alle 20.30, dal lunedì al venerdì. Ciò significa che, dal punto di vista normativo, secondo il D.P.C.M. 14/11/1997, la propagazione avviene sempre in orari diurni e non notturni.

Per quanto riguarda invece la classificazione territoriale, tutti i punti di misurazione si trovano in classe III "area di tipo misto".

Le misurazioni, essendo state rilevate nei ricettori, devono rispettare i valori limite assoluti di immisione diurni corrispondenti alla relativa classe territoriale di appartenenza, ossia deve verificarsi  $L_{eq} < 60 \text{ dB(A)}$ . In tabella 12 sono riportati i risultati e i confronti:

Tabella 12 - Valori misurati nei punti di rilievo e confronto con i valori limite assoluti di immissione diurni.

Punto	Descrizione	Livelli sonori diurni misurati	Valori limite assoluti diurni	
		$L_{eq}$ dB(A)	Classe	$L_{eq}$ dB(A)
A	S. Bernardo strada sopra le case	49,1	III	60
B	Tetto Viale, dietro il forno	44,9	III	60
C	Tetto Pignone, cappella Madre del redentore	37,6	III	60
D	Tetto Tabanot, centro borgata	42,2	III	60
E	Tetto Monfranco, centro borgata	38,8	III	60
F	Tetto Rei, traliccio	43,3	III	60
G	Tetto Bandito	51,1	III	60

In seguito alle misure preventive adottate, come la schermatura dei nastri trasportatori e la collocazione degli impianti di frantumazione in sotterraneo, che hanno diminuito la propagazione dell'energia sonora all'esterno degli impianti più rumorosi, come si può osservare in tabella 12, i livelli sonori equivalenti misurati rispettano sempre i limiti imposti dalla normativa.

Con l'inizio delle attività di coltivazione nell'ampliamento, alcuni ricettori risulteranno maggiormente esposti al disturbo acustico, soprattutto i punti A, B e D (tab. 12 e fig. 66). Considerando che sia Tetto Tabanot (che sarà incluso nell'area da sfruttare) sia Tetto Viale sono di proprietà della Buzzi, il vero ricettore sul quale merita soffermarsi è Tetto San Bernardo.

Le considerazioni più rilevanti sono sintetizzabili come segue:

- si riduce la distanza dal cantiere che, nel punto minore, sarà di 100 m circa;
- il fronte di scavo sarà frontale alle abitazioni e non più laterale;
- il cantiere utilizzerà lo stesso metodo e le stesse tecniche di coltivazione attuali;
- i macchinari impiegati saranno gli stessi attualmente in uso.

Se risulta possibile valutare la variazione di distanza per la stima di un livello sonoro, tutt'altro che semplice è analizzare come la propagazione del rumore può variare da un fronte di scavo ad un altro, all'interno di un contesto vallivo. Pertanto, in quest'analisi si tiene solamente conto della variazione della distanza, consapevoli che anche l'applicazione della formula (48) non avviene nelle condizioni di campo libero.

Dalla (48) si ricava che il *livello stimato*  $L_s$  è pari a:

$$L_s = L_m - 20 \log \left( \frac{r_s}{r_m} \right) \quad (dB) \quad (51)$$

dove:

$L_s$  = livello stimato nel ricettore (dB);

$L_m$  = livello di riferimento misurato sperimentalmente (dB);

$r_s$  = distanza stimata tra il ricettore e la sorgente (m);

$r_m$  = distanza tra il punto di misura del livello di riferimento e la sorgente (m).

Nel caso in esame il valore  $L_m = 49,1$  dB è stato misurato ad una distanza  $r_m = 350$  m. Se  $r_s = 100$  m, applicando la (51) otteniamo  $L_s = 60$  dB.

Il risultato ottenuto coincide con il valore limite assoluto diurno; saranno quindi necessari accertamenti più precisi per avere una stima più rappresentativa che possa delineare la necessità di intervenire con eventuali opere di schermatura o altre soluzioni per ridurre l'impatto acustico sul territorio.

### ***Esposizione al rumore***

Secondo quanto riportato da Campanella (2017) nella relazione tecnica sulla valutazione dell'esposizione dei lavoratori al rumore, nella cava di Roaschia, nessuna figura professionale supera il livello di esposizione di 80 dB(A) lungo le 8 ore lavorative, limite oltre il quale scatterebbe l'applicazione delle misure di prevenzione e protezione obbligatorie (tab. 13).

*Tabella 13 - Valori di esposizione delle principali figure operative della cava.*

<b>Figura</b>	<b>Livello di esposizione <math>L_{EX,8h}</math> dB(A)</b>
Direttore e assistente	79,8
Addetto mezzi di trasporto	76,2
Sorvegliante	78,2
Sondista	77,5

Inoltre, non sono stati rilevati valori istantanei della pressione acustica di picco superiori al valore inferiore di azione di 135 dB(C). Infatti, tra tutti i rilevamenti fonometrici delle lavorazioni che si svolgono all'interno della cava, il valore maggiore di *livello istantaneo di picco*  $L_{PEAK}$  dB(C) è di 132,2 dB(C), raggiunto durante il brillamento della volata.

Questo valore è volutamente considerato di durata pari a 60 s in favore di sicurezza, ma 1 minuto assume un peso estremamente ridotto nel calcolo del  $L_{EX,8h}$ , dove l'intervallo di tempo considerato è di 8 ore, non innalzando in modo significativo tale risultato.

## Conclusioni

Nell'ambito dello sviluppo e della progettazione di un nuovo piano aziendale nel settore della coltivazione mineraria, è indispensabile fornire soluzioni ambientali sostenibili e garantire la sicurezza di tutte le persone e strutture che, in qualche modo, interagiscono con il cantiere di scavo. Non si parla solamente dei lavoratori e dei fabbricati e impianti industriali utili alla produzione, ma anche di coloro che vivono o svolgono delle attività in prossimità dell'area estrattiva. L'obiettivo di questo elaborato è stato quello di prevedere e valutare gli effetti di vibrazioni e del rumore indotti da volate di mine in un cantiere a giorno sui ricettori che circondano il cantiere in vista del suo ampliamento. La ricerca è stata condotta attraverso numerose misurazioni sperimentali in sito, volte a creare una serie di dati da elaborare e da cui trarre delle conclusioni specifiche per il caso studio analizzato.

Per quanto riguarda i possibili danni agli edifici civili e alle strutture sotterranee del cantiere (fornelli, caverne e gallerie) provocati dalle vibrazioni, si è proceduto con l'acquisizione dei valori di *ppv* indotti da 22 volate, grazie a due sismografi utilizzati in contemporanea. L'elaborazione statistica dei dati ha portato ad una legge di sito specifica con un *indice di correlazione*  $R^2$  elevato, pari a 0,90. Da qui sono stati realizzati due abachi: il primo restituisce il valore della *CPD*, note la distanza volata – ricettore, e la *ppv* limite da rispettare (suggerita dalla normativa vigente); il secondo stima la *ppv* in funzione della distanza e della *CPD* impiegata.

Il ricettore più prossimo all'ampliamento della cava è la frazione di Tetto San Bernardo. Il limite di *ppv* imposto dalla normativa per le abitazioni è di 5 mm/s alle basse frequenze (1-10 Hz), mentre la minima distanza dal cantiere raggiungerà i 100 m. La massima *CPD* utilizzabile sarà di 12 kg e, a partire da questo risultato, si è proposta una configurazione di caricamento adeguata. Per quanto riguarda invece le strutture sotterranee della cava, la normativa impone una *ppv* massima di 45 mm/s, ma attualmente non si conosce ancora l'esatta posizione che tali strutture occuperanno all'interno della nuova area e dunque risulta impossibile fornire un'indicazione precisa.

Per ciò che concerne l'inquinamento acustico, Tetto S. Bernardo e gli altri ricettori nei pressi della cava si trovano nella terza classe di destinazione d'uso del territorio, per la quale è prevista una soglia di 60 dB da rispettare. Nella configurazione attuale del cantiere, tutti i ricettori registrano dei livelli sonori di immissione ampiamente inferiori al limite imposto. La valutazione in vista dell'ampliamento risulta difficoltosa. È vero che è possibile la stima del livello al variare della distanza, ma è altrettanto vero che è complesso stilare un modello previsionale che tenga in considerazione le altre variabili in un contesto montano, tra cui l'esposizione dei fronti e le diverse altimetrie tra le parti. In ogni caso si è fornita una stima basata sull'avvicinamento del cantiere a Tetto S. Berardo. Con gli stessi impianti e macchine utilizzate attualmente, si ottiene un livello sonoro di immissione di 60 dB, coincidente con il limite imposto dalla normativa. In futuro, risulta dunque necessario approfondire l'analisi per valutare con maggiore precisione la propagazione del rumore, ed intervenire eventualmente con delle misure di prevenzione e/o protezione nei confronti dei ricettori.

Infine, circa l'esposizione al rumore per la sicurezza dei lavoratori, non sono stati registrati livelli di esposizione superiori a 80 dB, oltre i quali scattano le misure di prevenzione e protezione obbligatorie. Anche il livello di picco, registrato durante la volata e pari a 132,2 dB, non oltrepassa il valore inferiore di azione di 135 dB.

## Fonti bibliografiche e sitografia

1. Ambrogio, C., Basiglio, P., Piovano, V., *Progetto di coltivazione e recupero ambientale – Studio di impatto ambientale*, 2002.
2. Duranda, M. per Buzzi Unicem S.p.A. & al., *Ampliamento cava di materiali scistosi “Gavota Noisa” – Studio di Impatto Ambientale*, 2011.
3. Vai, L. & Gasco, I., *Cava di calcare per cementeria “Roaschia” – Rinnovo del permesso di coltivazione IV quinquennio - Relazione geologica*, 2018.
4. Bargerò, M. & Perucca, F. per Buzzi Unicem S.p.A., *Cava di calcare per cemento “Roaschia” – Richiesta di rinnovo ed ampliamento – Progetto di coltivazione*, 2018.
5. Galfrè, L., Giraudò, S., *Tribunale di Cuneo - Relazione tecnica del C.T.U. nelle cause in oggetto*, 2008.
6. Berta, G., *L’esplosivo strumento di lavoro*, Milano, Italesplosivi, 1985.
7. Arato, M., *Analisi delle vibrazioni indotte da esplosivi in operazioni di scavo in roccia*, Torino, 2006.
8. Singh, P. K. & Vogt, W., *Ground Vibration: Prediction for Safe and Efficient Blasting*, in: *Erzmetall*, n° 10, pp. 677-684, 1998.
9. Boccia, O., *Dispense di fisica tecnica 2 – Parte I: Acustica*, 2013.
10. Campanella, W., *Valutazione dell’esposizione dei lavoratori al rumore – Relazione tecnica*, 2017.
11. Froni, P. per Buzzi Unicem S.p.A. & al., *Ciclo tecnologico per la produzione del cemento, capitolo 3: Attività estrattiva e di frantumazione*, 2018.
12. Atlas Powder Company – Field Technical Operations, *Explosives and Rock Blasting*, Dallas, Texas, USA, 1987, 662 pp.
13. Persson P.P., Holmberg R., Lee J., *Rock Blasting and Explosives Engineering*, CRC Press Inc., USA, 1994, 540 pp.
14. R. Holmberg Ed., A.A. Balkema Publ., *Explosives and Blasting Technique*, Proceedings of EFEE 2<sup>nd</sup> World Conference, Prague, Czech Republic, 2003.
15. International Society of Explosives Engineers, *ISEE Blasters’ Handbook*, 18<sup>th</sup> Edition, Cleveland, Ohio, USA, 2011.
16. [www.gazzettaufficiale.it](http://www.gazzettaufficiale.it)

## Appendice

### *Strumentazione utilizzata*

Vengono riportate in seguito le caratteristiche essenziali dei due sismografi utilizzati durante lo sviluppo della tesi.

#### *Sismografo Nomis SM*

##### *Caratteristiche tecniche*

<b>Canali di registrazione</b>	Quattro (4), di cui tre (3) sismici ed uno (1) aereo.
<b>Risposta in frequenza</b>	Da 2 a 400 Hz a 1024 campioni/secondo. Filtraggio antialiasing (su richiesta è possibile avere configurazione per risposta in frequenza sino a 1 Hz). L'SM se calibrato ammette errore massimo del 2% per frequenze superiori a 30 Hz e del 3% per frequenze inferiori a 30 Hz.
<b>Trasduttore sismico</b>	Velocimetro triassiale (componente verticale, orizzontale longitudinale ed orizzontale trasversale).
<b>Trasduttore di sovrappresione aerea</b>	Ad elemento ceramico tarato sino a 150 dB.
<b>Memoria</b>	Con batteria di backup al litio per la memorizzazione del sommario degli eventi, delle impostazioni e delle registrazioni nel caso in cui dovesse venire a mancare l'alimentazione elettrica principale.
<b>Orologio</b>	A 24 ore e tolleranza di 2 minuti al mese anche nel caso in cui dovesse venire a mancare l'alimentazione elettrica principale.
<b>Schermo</b>	Cristalli liquidi ad alto contrasto. Due linee di 40 caratteri per agevolare la revisione dei parametri d'impostazione dello strumento e la lettura dei dati di sintesi delle misure (valori massimi e frequenze predominanti calcolate col metodo zero-crossing).
<b>Tastiera</b>	Sei tasti da usare singolarmente o in combinazione per visione dati, revisione impostazione, output, ecc,...
<b>Stampa</b>	La stazione di monitoraggio può essere equipaggiata con una stampante portatile esterna, che emula modo IBM o Epson. Possono essere stampate sia le forme d'onda che i grafici di confronto con la normativa per le onde sismiche.
<b>Batteria</b>	Interna da 7 Volt, ricaricabile.
<b>Ricarica</b>	Un circuito di carica interno permette di ricaricare la batteria fornendo un'alimentazione compresa tra 9 e 15 Volto con un alimentatore qualsiasi.
<b>Temperatura di funzionamento</b>	L'SM può essere utilizzato ad una temperatura compresa tra -15°C e 50°C.
<b>Contenitore e peso</b>	In alluminio, per un efficace isolamento elettrico, ottimale protezione dalla ruggine e dagli agenti atmosferici e un peso contenuto che ne consente il trasporto con facilità (1,6 Kg).
<b>Dimensioni</b>	210 x 120 x 80 mm
<b>Dati sulla forma d'onda</b>	La forma d'onda completa viene registrata in una memoria che può contenere fino a 341 eventi (da evento 000 ad evento 340).
<b>Sommario dei dati</b>	Il sommario dei dati registrati include l'ora di registrazione dell'evento, la data, il livello di carica della batteria, i valori massimi rilevati, le frequenze associate e la matricola del Mini-

	Graph 7000.
<b>Frequenza di campionamento</b>	512 e 1024 campioni per secondo su ogni canale (da 32 a 4096 cps su richiesta).
<b>Unità di misura della registrazione sismica</b>	Selezionabile dall'utente: Sistema Internazionale (MM/S) o Sistema Imperiale (IPS).
<b>Fondoscala di registrazione sismica</b>	Selezionabile dall'utente: (x8) 63 mm/s (x4) 127 mm/s (x2) 254 mm/s CONFIGURAZIONE STANDARD.
<b>Fondoscala di registrazione acustica</b>	Selezionabile dall'utente: 142 dB 148 dB.
<b>Sensibilità</b>	(x8) 0,032 mm/s (x4) 0,064 mm/s (x2) 0,127 mm/s.
<b>Livelli minimi di allarme sismico (<i>trigger</i>)</b>	Varia al variare del fondoscala di registrazione sismico prescelto: (x8) 0,063 mm/s (x4) 0,127 mm/s (x2) 0,254 mm/s Possibile <i>trigger</i> manuale dalla tastiera oppure da un segnale esterno (es. nella configurazione <i>master – slave</i> ).
<b>Livelli di allarme acustico (<i>trigger</i>)</b>	Disattivabile (OFF) 106 dB 112 dB.
<b>Durata massima di registrazione</b>	9 secondi per campionamento a 1024 campioni al secondo 18 secondi per campionamento a 512 campioni al secondo.
<b>Tempo di ripristino tra due registrazioni</b>	50 ms.
<b>Test di verifica posizionamento dei trasduttori sismici (<i>autocalibrazione</i>)</b>	Dopo la registrazione di ogni evento, automaticamente (oppure manualmente) il registratore invia un impulso elettrico al trasduttore di velocità per verificare la continuità elettrica dei cavi ed il corretto posizionamento. I risultati del test vengono immagazzinati nel sommario per quell'evento.
<b>Test del trasduttore acustico</b>	Contemporaneamente al test sul trasduttore di velocità viene effettuato un test sul microfono ed i risultati sono allegati a quelli precedenti.
<b>Autocontrollo di corretto funzionamento</b>	I test di verifica dei trasduttori sono effettuati in automatico dal registratore anche dopo 84 ore di misurazione senza alcuna registrazione (ovvero nel caso in cui gli eventi misurati non abbiano mai superato la soglia di trigger).
<b>Interfacciabilità dell'unità di registrazione</b>	Via porta seriale RS232. Accesso diretto o accesso via modem o modem-GSM.
<b>Baud Rate</b>	Selezionabile dall'utente, da 1200 a 38,4 KBaud.

### ***Sismografo Instantel MiniMate DS-077***

#### ***Caratteristiche tecniche***

<b>Seismic</b>	<b>Maximum Range</b>	127 mm/s.
	<b>Trigger Levels</b>	0.254 to 127 mm/s in steps of 0.01 mm/s.
	<b>Frequency Analysis</b>	Frequency at peak, plus USBM/OSMRE, DIN 4150 or other analysis with the Blastware software.

	<b>Accuracy</b>	Calibrated to within 1% of Bruel & Kjaer reference accelerometer @ 15 Hz.
<b>Air Linear</b>	<b>Range</b>	100 to 142 dB.
	<b>Minimum Resolution</b>	$2.9 \times 10^{-4}$ .
	<b>Trigger Levels</b>	106 to 142 dB.
	<b>Frequency Analysis</b>	Frequency at Air Pressure Peak standard.
	<b>Accuracy</b>	Linear calibration to within 0.4 dB of Bruel & Kjaer reference @ 30 Hz and 127 dB.
<b>Frequency</b>	<b>Sampling Rate</b>	1024 samples per second, all channels, all record modes.
	<b>Frequency Response (-3 dB points)</b>	Seismic and Linear Air 2 to 250 Hz, independent of record time.
<b>Full Waveform Recording</b>	<b>Record Modes</b>	Manual, single shot, continuous and auto.
	<b>Fixed Record Time</b>	1 to 10 sec in 1 sec increments.
	<b>Auto Record Mode</b>	1 to 20 sec.
	<b>Cycle Time</b>	Complete data analysis and storage < 5 seconds per second record time.
<b>Event Storage</b>	<b>N° of Full Wave Events</b>	40 one-second events.
	<b>Storage Method</b>	Solid State Memory with > 10 years storage life. Events and program still retained with battery removed.
<b>Special Functions</b>	<b>Timer Operation</b>	Programmed start/stop.
	<b>Measurement Units</b>	Imperial or metric, dB or linear air pressure.
	<b>Languages</b>	English or French standard, others optional.
	<b>Microphones</b>	Disable/Enable Mic for recording.
<b>Documentations</b>	<b>Notes</b>	Full text documentation when programmed from PC or Blastmate II. Numerical documentation when programmed from unit.
<b>User Interface</b>	<b>Keyboard</b>	7 domed tactile keys.
	<b>Display</b>	2 line by 20 characters high contrast display with online help.
<b>Battery Life</b>	<b>10 days continuous recording, 25 days with timer.</b>	
<b>Physical</b>	<b>Dimensions</b>	81 x 92 x 160 mm.
	<b>Weight</b>	1.4 kg.
<b>Environmental</b>	<b>Electronics</b>	-20 to 60 °C operating.
	<b>Storage</b>	-20 to 70 °C.

## ***Fonometro Bruel & Kjaer 2260 Investigator***

### ***Caratteristiche tecniche***

Le caratteristiche tecniche descritte di seguito sono riferite all'analizzatore 2260 Investigator dotato di microfono e stadio d'ingresso e con installato il software BZ 7210 o il software BZ 7206.

#### **NORMATIVE**

Conforme alle seguenti:

- Tipo 1, CEI 60651 (1979) più emendamento 1 (1993– 02) ed emendamento 2 (2000– 10)
- Tipo 1, CEI 60804 (2000– 10)
- Classe 1, CEI 61672–1, Disegno (2001– 05)
- Classe 0, CEI 61260 (1995–07) bande d'ottava e bande in 1/3 d'ottava più emendamento 1 (2001– 09)
- Tipo 1, ANSI S1.4–1983 (R 1997) più emendamento ANSI S1.4A – 1985
- Tipo 1, ANSI S1.43–1997

- Tipo 0-C, ordine 3, gamma opzionale, ANSI S1.11–1986 (R 1993) bande d'ottava e 1/3 d'ottava
- DIN 45657 (1997– 07)

#### MICROFONO IN DOTAZIONE

**4189:** prepolarizzato a campo libero da ½ ”

**Sensibilità nominale:** –26 dB ± 1.5 dB rif1 V/Pa

**Capacitanza:** 14 pF (a 250 Hz)

#### STADIO D'INGRESSO

ZC 0026

**Cavo d'estensione:** tra lo stadio d'ingresso ed il 2260 si possono aggiungere fino ad 100 m di lunghezza, senza che le misure possano esserne influenzate

#### GAMMA DI MISURA

**Gamma lineare di funzionamento:** 80 dB regolabile per ottenere letture di fondo scala da 80 dB a 130 dB in passi di 10 dB

**Livello di picco massimo:** 3 dB sopra la lettura di fondo scala

**Limite superiore (RMS) per fattore di cresta = 10:** 17 dB al di sotto della lettura di fondo scala

**Attenuazione passiva:** l'attenuatore microfonico ZF 0023 (in dotazione) aumenta tutte le letture di fondo scala di 20 dB

#### FILTRI IN BANDE D'OTTAVA ED 1/3 D'OTTAVA

**Frequenze centrali in banda d'ottava:** da 8 Hz a 16 kHz

**Frequenze centrali in banda in 1/3 d'ottava:** da 6.3 Hz a 20 kHz

#### RILEVATORI

Rilevatori paralleli per ogni misura:

**Rilevatore a banda larga ponderato A** con tre ponderazioni temporali esponenziali (Fast, Slow, Impulse), un rilevatore di media lineare e rilevatore di picco

**Ponderazione C o L** (regolabile) come sopra per la ponderazione A

**Filtri in banda d'ottava e 1/3 d'ottava**, pre-ponderato A, C o L, ognuno con un canale rilevatore contenente un rilevatore di media lineare ed uno di media esponenziale regolabile tra Slow o Fast

**Rilevatore di sovraccarico** che monitorizza le uscite in sovraccarico di tutti i canali ponderati in frequenza

#### FILTRI DI CORREZIONE

**Incidenza sonora:** filtri incorporati per la correzione dell'incidenza sonora, frontale/random

**Schermi antivento:** filtri incorporati per la correzione dell'influenza della copertura protettiva UA 1236 e degli schermi antivento UA 0459 e UA 0237

#### LIVELLO DI RUMORE INERENTE

(Combinazione di rumore elettrico e rumore termico del microfono a 20°C). Valori tipici con il microfono in dotazione di sensibilità nominale:

Ponderazione	Rumore elettrico (2260)	Rumore termico (4189)	Rumore combinato
"A"	12.3 dB	14.6 dB	16.6 dB
"C"	14.0 dB	15.3 dB	17.7 dB
Lin. 5 Hz–20 kHz	19.2 dB	15.3 dB	20.7 dB
Lin. 3 Hz– 20 kHz	26.4 dB	15.3 dB	26.7 dB

#### MISURE

V = ponderazioni in frequenza C o L

X = ponderazioni in frequenza A, C o L Y = ponderazioni temporali S, F

N = numero

M =livello impostato

#### Per display e memorizzazione (banda larga)

Avvia data	Avvia ora	
Arresto data	Arresto ora	Mis. nr.
Tempo trasc.	Nr. di pause	Sovraccarico %
Sottogamma %	LApk(MaxP)	LVpk(MaxP)
#Picchi A>M	#Picchi>M	LAE(ASEL)
LAeq	LVEq	LAIm
LVIm	LVEq-LAeq	LAIm-LAeq
LASTm3	LAFTm3	LAITm3
LVSTm3	LVFTm3	LVITm3
LASTm5	LAFTm5	LAITm5
LVSTm5	LVFTm5	LVITm5
LASMx	LAFMx	LAIMx

LASMin	LAFMin	LAlMin
LVSMaX	LVFMax	LVIMax
LVSMIn	LVFMin	LVIMin
LXYN1	LXYN2	LXYN3
LXYN4	LXYN5	LAEp,d
Distribuzione livello		Distribuzione cumulativa
Evento nr.*	Camp. evento nr.*	

#### Per display e memorizzazione (bande d'ottava o 1/3 d'ottava)

LXeq	LXYMax	LXYMin
LXYN1*	LXYN2*	LXYN3*
LXYN4*	LXYN5*	

Distribuzione livello \* Distribuzione cumulativa \*

#### Solo per display come numeri o grafici a barre (banda larga)

LAS(SPL)	LAF(SPL)	LAl(SPL)
LVS(SPL)	LVF(SPL)	LVI(SPL)
LAS(Inst)	LAF(Inst)	LAl(Inst)
LVS(Inst)	LVF(Inst)	LVI(Inst)
LAST3	LAFt3	LAlt3
LVST3	LVFt3	LVI t3
LAST5	LAFt5	LAlt5
LVST5	LVFt5	LVI t5
LApk(Picco)	LVpk(Picco)	

#### Per memorizzazione durante la registrazione (banda larga)

Niente o

Tutti i parametri o

Tutti i parametri senza statistiche o

6 maggiori parametri:

L Aeq	L Cpk(MaxP) (o L Lpk(MaxP) se L è selezionato)
L AFMax	L Ceq (o L Leq se L è selezionato)
L AFMin	L Alm

#### Per memorizzazione durante la registrazione (spettro)

Niente o

Tutti i parametri o

Tutti i parametri senza statistiche\* o

L<sub>eq</sub> (pre-ponderazione A, C o L come selezionato)

#### Solo per display come numeri o spettri (in ottava o 1/3 d'ottava)

LXY(SPL)	LXY(Ist)
----------	----------

#### CAMPIONAMENTO PER LE STATISTICHE

La distribuzione del livello, la distribuzione cumulativa \* e le statistiche L<sub>XYN1-5</sub> \* in ottava o 1/3 d'ottava \* si basano sul campionamento L<sub>XY(Ist.)</sub> ogni 100 ms in classi con ampiezza di 1 dB su una gamma di 80 dB

La distribuzione del livello, la distribuzione cumulativa e le statistiche L<sub>XYN1-5</sub> a banda larga si basano sul campionamento L<sub>XY(Inst)</sub> ogni 10 ms in classi con ampiezza di 0.2 dB su 80 dB

#### REGISTRAZIONE VELOCE (solo con BZ 7206)

L<sub>AF(Ist.)</sub> a banda larga può essere memorizzato ogni 100 ms durante la registrazione del rumore di fondo e/o durante la registrazione di un evento

#### CALIBRAZIONE

La calibrazione iniziale viene memorizzata per il confronto con calibrazioni successive.

**Acustica:** con calibratore acustico multifunzione 4226, pistonofono 4228 e calibratore di livello sonoro 4231.

**Interna (elettrica):** segnale elettrico generato internamente, combinato con il valore digitato relativo alla sensibilità del microfono.

**CIC (Calibrazione ad iniezione di carica):** segnale elettrico generato internamente parallelo al diaframma del microfono.

- Durante la calibrazione interna o esterna, viene eseguita automaticamente una calibrazione CIC di riferimento e memorizzata per il confronto con calibrazioni CIC future
- È possibile eseguire una CIC manuale ogni qualvolta non vi sono misure in corso
- Una calibrazione CIC automatica può essere parte integrante di una autoregistrazione ed è possibile impostarne l'esecuzione sino a 4 volte ogni 24 ore
- Una calibrazione CIC automatica avvia un'interruzione "logica" in una autoregistrazione, abbreviando il periodo di misura seguente di 15s

## CONTROLLO DELLA MISURA

### Tipi di misura:

*Manuale* – misura singola controllata manualmente

*Automatica* – con tempo di misura selezionato da 1 s a 100 ore in passi di 1 s (solo con BZ7210)

*Sequenza* – ripetizione di una singola misura sino a 9999 volte (risultati memorizzati con o senza dati statistici). Tempo di misura selezionabile da 1 s a 100 ore in passi di 1 s (solo con BZ 7206) *Autoregistrazione* – una singola misura con durata selezionabile da 1 s a 100 giorni in passi di 1 s. Durata della registrazione divisa in intervalli da 1 s a 100 ore in passi di 1 s.

*Autoregistrazioni eventi* – come *Autoregistrazione*, ma con la possibilità di misurare un gruppo distinto di parametri al riconoscimento di un trigger dell'evento (solo con BZ 7206)

### Tempo trascorso:

Se la funzione Autoregistrazione non è attivata, il tempo trascorso si azzerava/avvia e si interrompe/riparte in base al rispettivo comando. Durante la funzione Autoregistrazione, il tempo trascorso continua in tempo reale, indipendentemente dalle pause effettuate nell'ambito di una misura.

### TRIGGER (solo con BZ 7206)

Sono disponibili quattro tipi di trigger dell'evento:

- *Livello* – monitorizza il valore LAF (Ist) ogni secondo. Il trigger dell'evento si verifica quando LAF (Ist) supera il livello impostato per il periodo preselezionato (entrambi definibili dall'utente con incrementi di 1 dB/1 s)
- *Tasto funzione* – uso dei tasti funzione <Avvio evento> e <Arresto evento>
- *Esterno* – + 5 V sul pin 9 dell'interfaccia seriale
- *Remoto* – comandi di avvio e arresto trasmessi tramite l'interfaccia seriale

Per tutti i trigger è possibile impostare intervalli di pre- post- trigger sino a 15 s (in incrementi di 1 s).

### DATI GPS

La misura può essere associata a una postazione mediante l'immissione di dati provenienti da un ricevitore GPS (Global Positioning System) tramite l'interfaccia seriale.

**Standard di ricezione supportati:** NMEA 0183 versione 2.20, correzione opzionale per GPS differenziale usando RTCM 104 versione 2.1

**Tasso Baud:** 4800 bps

### TEMPORIZZATORI

Possono essere impostati fino a nove temporizzatori indipendenti. Ogni temporizzatore "avvia" l'analizzatore ad una data ed ora specificate ed esegue la procedura di misura secondo le impostazioni preselezionate dall'operatore. Una misura programmata può essere ripetuta da 1 a 999 volte. È possibile combinare temporizzatori di diversi software applicativi.

### CANCELLAZIONE A RITROSO

I dati misurati compresi nei 15 secondi che precedono, possono essere cancellati dalla misura

### MARCATORI

Un marcatore per l'esclusione dei dati e quattro marcatori definibili dall'utente per commenti on-line delle categorie del suono udito durante la misura (solo per l'autoregistrazione).

I marcatori possono essere creati durante la misura, fino a 60 s dopo che il rumore è stato udito (solo con BZ 7206)

### CONTROLLO DELLA REGISTRAZIONE SONORA

Registrazione sonora (file .wav su un PC che utilizza i programmi 7815, 7820 o 7825) controllati dal 2260 tramite l'interfaccia RS-232 e l'uscita Aux. collegata la scheda sonora del PC.

Marcatori eD eventi (solo con BZ 7206) possono essere usati per controllare la registrazione sul computer

### DISPLAY DELLA MISURA

Le misure possono essere visualizzate in sei modi diversi:

**Fonometro:** un parametro principale, cinque parametri secondari più una barra analogica (sulla quale si possono effettuare operazioni di zoom)

**Distribuzione cumulativa:** per una delle bande in ottava (solo con BZ 7206) o in bande di  $1/3$  d'ottava (solo con BZ 7206), oppure per bande larghe più una barra analogica

**Distribuzione del livello:** per una delle bande in ottava (solo con BZ 7206) o in bande di  $1/3$  d'ottava (solo con BZ 7206), oppure per bande larghe. È possibile specificare l'intervallo di classe. Si possono effettuare operazioni di zoom sull'asse Y. Anche con una barra analogica

**Profilo:** gli ultimi 15 s di LAF(Inst) più una barra analogica, oppure gli ultimi 60 s con i marcatori per misure di autoregistrazione.

**Spettro:** spettro in banda d'ottava o  $1/3$  d'ottava, più due barre a banda larga e una barra per i picchi. Si possono effettuare operazioni di zoom sull'asse Y.

Le quattro rappresentazioni grafiche sono munite di cursore per la lettura.

**CIC:** display visualizzato durante o dopo la misura

### SISTEMA DI MEMORIZZAZIONE

**Disco interno:** 32 Mbyte per la memorizzazione dei software applicativi, delle regolazioni definite dall'utente e dei dati di misura

**Scheda di memoria esterna:** per la memorizzazione e il richiamo dei dati di misura e il trasferimento dei medesimi da e su PC (flash card SRAM o ATA)

**MS-DOS®:** sistema di file compatibile (dalla versione 3.3)

### USCITA/STAMPANTE SERIALE

Le regolazioni e i dati di misura possono essere stampati su stampanti IBM® Proprinter® (o compatibili) oppure su stampante grafica 2318 o stampante portatile 2322. I formati possono essere screendump, tabulari o grafici.

I dati di misura possono essere trasferiti in formato di foglio elettronico o come file binari per ulteriori elaborazioni su PC.

#### **PAGINE DI AIUTO E LINGUA**

Testo chiaro e conciso per la descrizione dei tasti e dei menu, disponibile in inglese, tedesco, francese, italiano, spagnolo e ceco

#### **OROLOGIO**

Orologio alimentato a batteria. Precisione migliore di 1 minuto al mese

#### **DISPLAY**

**Tipo:** LCD 192 × 128 a matrice di punti antiriflettente retroilluminato con compensazione interna della temperatura

#### **COLLEGAMENTO STADIO D'INGRESSO**

**Connettore:** LEMO da 10-pin

#### **USCITE AUX. (ausiliari) (2 indipendenti)**

Possono essere impostate su:

**LA(1st.):** segnale DC da 0 a 4 V aggiornato ogni 100 s.

**Riferimento:** onda quadra 4 V per la calibrazione dell'uscita

**Stato della misura:** per il trigger di apparecchiature esterne durante le misure (incl. SONY® TCD-D7/D8 e TCD-D100 DAT)

**Segnale:** dal segnale amplificato ponderato in frequenza (A, C/L)

**Evento:** dal segnale amplificato ponderato in frequenza (A, C/L), ma solo durante gli eventi

**Stato evento:** come per Stato della misura, ma solo durante gli eventi (solo con BZ 7206)

**Stato evento limitato:** come per Stato evento, ma solo con una durata massima specificata (da 1 s a 100 min.) (solo con BZ 7206)

#### **INGRESSI / USCITE (2) AC**

**Come uscita:** segnale microfonico bufferizzato non ponderato

**Impedenza d'uscita:** 2 × 200 Ω

**Carico massimo:** 47 kΩ || 200 pF (protetto da corto circuiti)

**Come ingresso normale:** alternativo all'ingresso microfonico

**Come ingresso Vibrazioni mano-braccio:** per l'uso con il Front- end a 3 canali per la vibrazione del corpo umano 1700 – letture speciali di  $a_{HW}$  in  $m/s^2$  nel display dello spettro

**Come ingresso Vibrazioni corpo umano:** per l'uso con il Front- end a 3 canali per la vibrazione del corpo umano 1700 – letture speciali di  $a_{WX}$ ,  $a_{WY}$ ,  $a_{WZ}$  e  $a_V$  in  $m/s^2$  nel display dello spettro

**Connettore:** LEMO a 3-pin (ingresso bilanciato)

#### **USCITA / INGRESSO SERIALE**

Conforme alla EIA ITIA 574 (RS 232), accoppiata come strumentazione terminale dati (DTE)

**Connettore:** maschio tipo D a 9-pin

**Tassi Baud:** 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 115200

**Lunghezza parola:** 8 bit, nessuna parità o bit di arresto

**Handshake:** nessuno, XON/XOFF, RTS/CTS

#### **INGRESSO / USCITA PCMCIA**

Computer con PCMCIA/JEIDA versione 1.0.

#### **TEMPO DI ASSESTAMENTO**

**Dall'accensione:** circa 35 s

#### **BATTERIE**

**Tipo:** 6 alcaline × LR14/C da 1.5 V

**Durata (a 20°C):** da 5 a 9 ore di funzionamento continuo

#### **ALIMENTAZIONE DC ESTERNA**

**Tensione:** regolata o continua da 10 a 14 V, massima ondulazione 100 mV

**Potenza:** 3.5 W, corrente: 300 mA, corrente di punta: 1000 mA

**Presca:** Ø5.5 mm con pin Ø2.1 mm (positivo)

#### **PESO E DIMENSIONI**

1.2 kg con batterie; 375 × 120 × 52 mm

## Schede tecniche degli esplosivi

<b>SCHEDA TECNICA</b>		<b>EURANFO 77</b>	<b>EPC-ITALIA</b>  <b>EPC GROUPE</b>
Revisione	9		
Data	29/01/2013		



### IMPIEGO

IN CAVA ED IN LAVORI DI SBANCAMENTO IN GENERE SPECIALMENTE IN ROCCIA FRATTURATA

### ASPETTO

GRANULARE DI COLORE BIANCO

### CONFEZIONAMENTO

GUAINA DI POLIETILENE

### CARATTERISTICHE TECNICHE

DENSITA'	700 ÷ 735	kg/m <sup>3</sup>
VELOCITA' DI DETONAZIONE	2.900	m/s
ENERGIA DI DETONAZIONE:		
• DI SHOCK	1,07	MJ/kg
• DEI GAS	2,18	MJ/kg
• TOTALE	3,25	MJ/kg
VOLUME DEI GAS (0 °C/Atm.)	976	l/kg
PRESSIONE DI DETONAZIONE	4.060	MPa

## LIMITI D'IMPIEGO

INNESCO:		
• DETONATORE (scala Sellier-Bellot)	N° 8	
• MICCIA DETONANTE (PETN)	≥ 12	g/m
TEMPERATURA	≥ - 5 ≤+ 50	°C
DIAMETRO CRITICO	50	mm
PRESSIONE STATICA	≤ 0,3	MPa
RESISTENZA ALL'ACQUA	PESSIMA	

## CONFEZIONAMENTO

DIMENSIONI CARTUCCE (POLIETILENE)		N° CARTUCCE PER CASSA	PESO UNITARIO kg	PESO TOTALE kg
DIAMETRO mm	LUNGHEZZA mm			
50	500	30	0,833	25
60	500	22	1,136	25
70	500	16	1,563	25
80	500	13	1,923	25
90	500	10	2,500	25
SACCO	---	1 (no scatola)	25,0	25
SACCO	---	5	5,0	25

NOTA1: I valori riportati nella tabella sono nominali e possono essere variati senza preavviso

## CLASSIFICAZIONE

• CATEGORIA	II <sup>a</sup>
• ONU	
NUMERO UN	0082
CLASSE	1.1D
• ADR/RID	
Explosivo da mina Tipo B Classe	1.1D

• PRESA D'ATTO DEL MINISTERO DELL'INTERNO	557/PAS.7123-XVJ/6/15/2005-CE/8
• PRESA D'ATTO DEL MINISTERO DELL'INTERNO	557/PAS/E/006819/XVJ/CE/C/2001
• PRESA D'ATTO DEL MINISTERO DELL'INTERNO	557/PAS/E/010987/XVJ76715/2005-CE/C/2011
• PRESA D'ATTO DEL MINISTERO DELL'INTERNO	5577PAS/E/020447/XVJ/CE/C
• RICONOSCIMENTO DEL MINISTERO DELL'INDUSTRIA	CODICE MAP 1Ab 0194 DEL 14/12/1977 0080.EXP.02.0114

SCHEDA TECNICA	
Revisione	2
Data	29/01/2013

# EXEM 100



## IMPIEGO

QUALUNQUE LAVORO DA MINA A CIELO APERTO ED IN SOTTERRANEO ANCHE IN PRESENZA DI ACQUA.

## ASPETTO

PASTOSO DI COLORE GRIGIO

## CONFEZIONAMENTO

GUAINA DI POLIETILENE

## CARATTERISTICHE TECNICHE

DENSITA'	1.270	kg/m <sup>3</sup>
VELOCITA' DI DETONAZIONE	5.500	m/s
ENERGIA DI DETONAZIONE:		
• DI SHOCK	2,30	MJ/kg
• DEI GAS	2,00	MJ/kg
• TOTALE	4,30	MJ/kg
VOLUME DEI GAS (0 °C/Atm.)	790	l/kg
PRESSIONE DI DETONAZIONE	14.300	MPa

## LIMITI D'IMPIEGO

INNESCO:		
• DETONATORE (scala Sellier-Bellot)	N° 8	
• MICCIA DETONANTE (PETN)	≥ 15	g/m
TEMPERATURA	≥ - 10 ≤+ 60	°C
DIAMETRO CRITICO	25	mm
PRESSIONE STATICA	≤ 0,35	MPa
RESISTENZA ALL'ACQUA	OTTIMA	

## CONFEZIONAMENTO

DIMENSIONI CARTUCCE (POLIETILENE)		N° CARTUCCE PER CASSA	PESO UNITARIO kg	PESO TOTALE kg
DIAMETRO mm	LUNGHEZZA mm			
30	320	100	0,25	25
30	480	63	0,40	24
35	450	50	0,50	25
40	450	42	0,60	25
50	470	25	1,00	25
60	460	16	1,56	25
70	470	12	2,10	25
80	470	9	2,80	25
90	450	8	3,15	25

NOTA 1: I valori riportati nella tabella sono nominali e possono essere variati senza preavviso

## CLASSIFICAZIONE

• CATEGORIA	II <sup>a</sup>
• ONU	
NUMERO UN	0241
CLASSE	1.1D
• ADR/RID	
Esplsoivo da mina Tipo E Classe	1.1D

• PRESA D'ATTO DEL MINISTERO DELL'INTERNO	557/P.A.S.16698-XVJ/4/12/2010	(CE10/2010)
• RICONOSCIMENTO DEL MINISTERO S.E.	CODICE 1Ab 0279 del 03 dic. 2010	
• CERTIFICATO D'OMOLOGAZIONE CE	0080.EXP.10.0018	

## **Allegati**

- *Schede delle misurazioni ottenute dai sismografi*
- *Tavole*

**Date/Time** Long at 09:47:05 March 26, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 4.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.4 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HV6G.IH0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: Marzo 28, 2019 08:51:52 (V8.12)

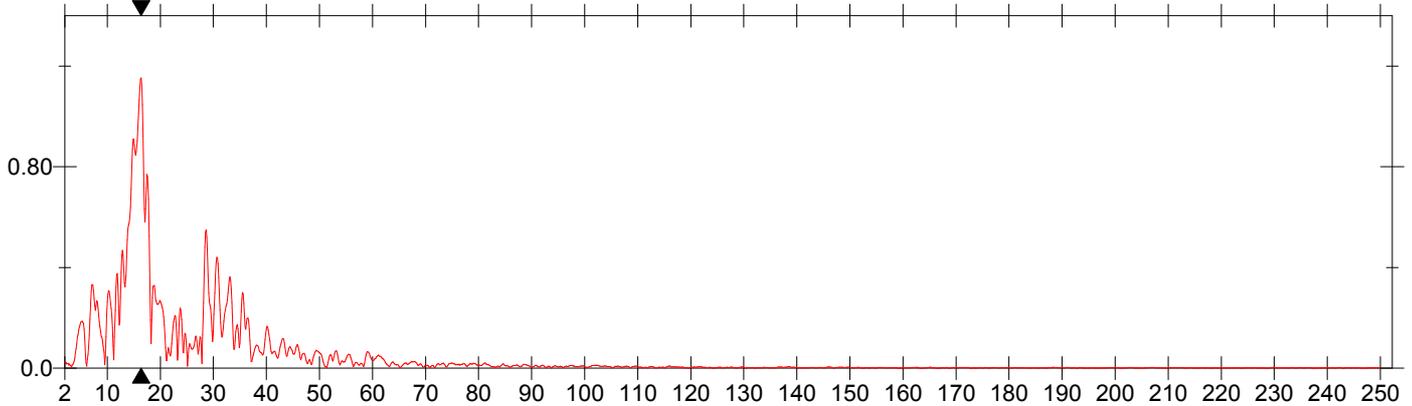
**Extended Notes**

Volata sul piazzale a quota 785.  
 Esplosivo: 1575 kg  
 Detonatori: 192  
 Fori: 86  
 Lunghezza fori: 6-7 m  
 2 cariche per foro

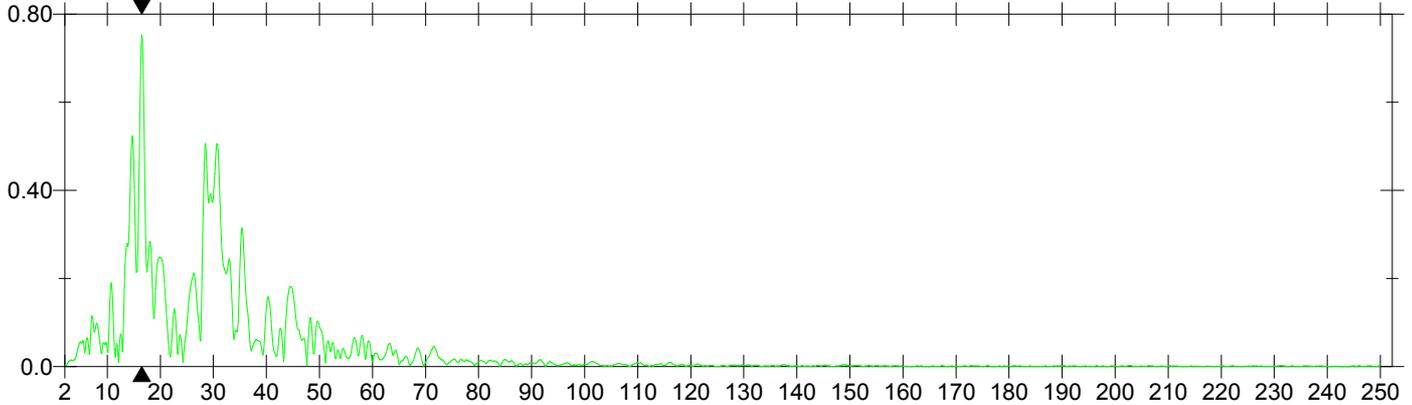
**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 50 m.  
 CPD = 14.58 kg.

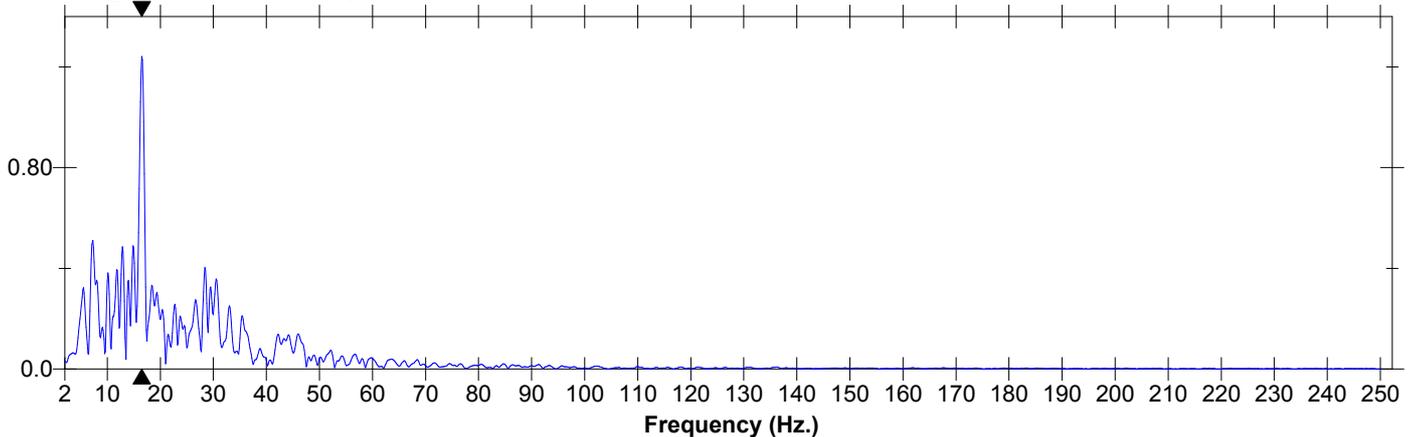
**Tran Dominant Frequency = 16.4 Hz., Amplitude = 1.15, PPV from Event = 15.5 mm/s**



**Vert Dominant Frequency = 16.5 Hz., Amplitude = 0.753, PPV from Event = 12.2 mm/s**



**Long Dominant Frequency = 16.5 Hz., Amplitude = 1.24, PPV from Event = 11.9 mm/s**



**Date/Time** Long at 09:47:05 March 26, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 4.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.4 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HV6G.IH0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: Marzo 28, 2019 08:51:52 (V8.12)

**Extended Notes**

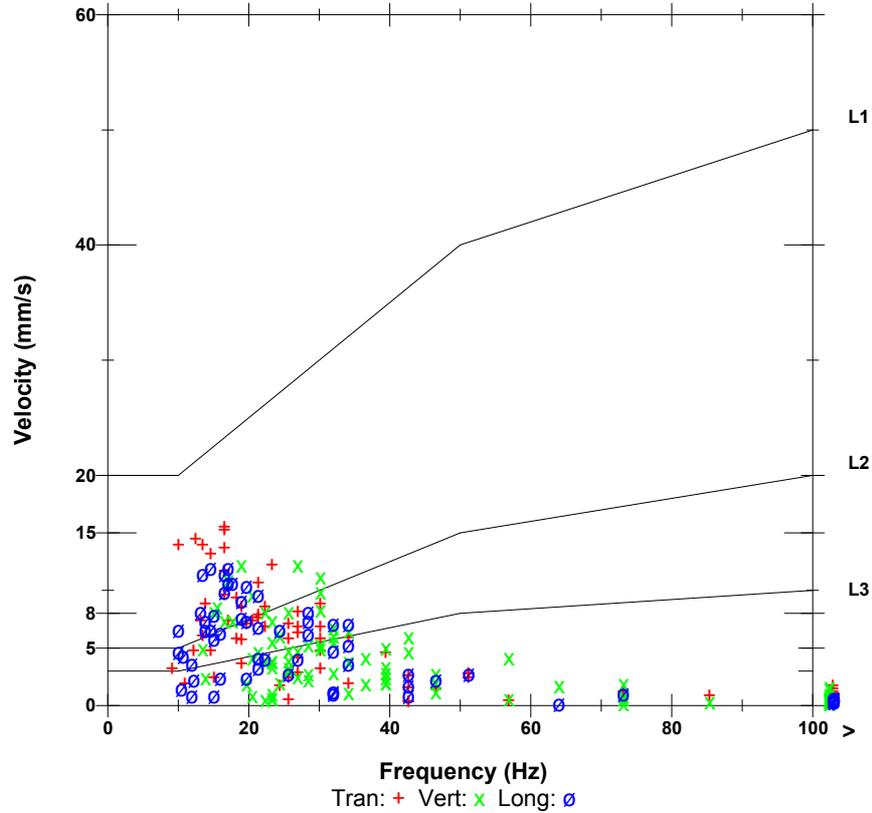
Volata sul piazzale a quota 785.  
 Esplosivo: 1575 kg  
 Detonatori: 192  
 Fori: 86  
 Lunghezza fori: 6-7 m  
 2 cariche per foro

**Post Event Notes**

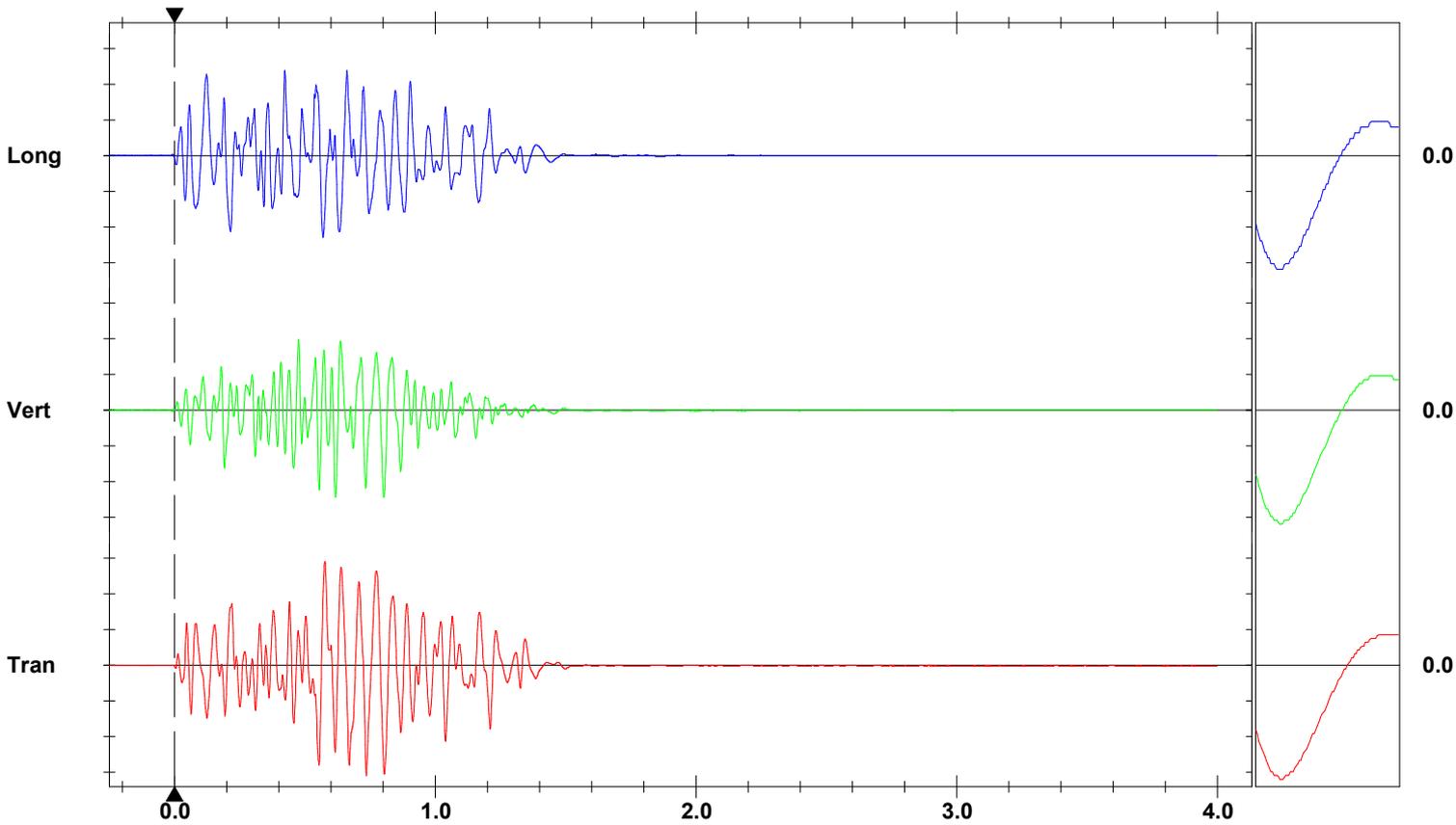
Distanza del geofono dal baricentro 50 m.  
 CPD = 14.58 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	15.5	12.2	11.9	mm/s
ZC Freq	17	27	15	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.736	0.617	0.424	sec
Peak Acceleration	0.212	0.239	0.212	g
Peak Displacement	0.147	0.0965	0.119	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.0	8.3	8.5	Hz
Overswing Ratio	3.8	3.5	3.7	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 19.7 mm/s at 0.805 sec



Time Scale: 0.20 sec/div Amplitude Scale: Geo: 5.00 mm/s/div  
 Trigger =

Sensorcheck

**Date/Time** Vert at 09:32:33 March 28, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 4.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.4 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HVA5.690

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: Marzo 28, 2019 10:20:35 (V8.12)

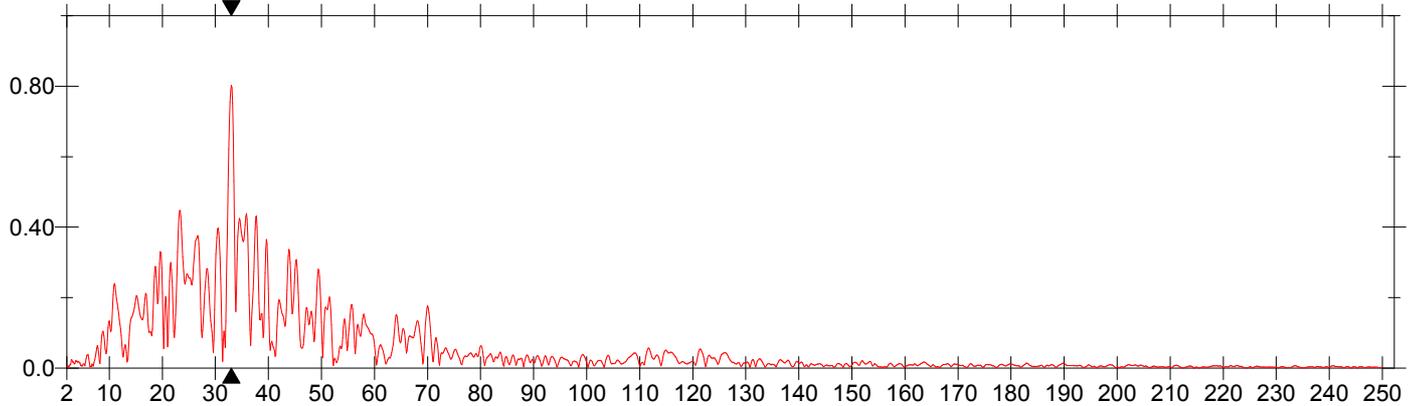
**Extended Notes**

Volata sul piazzale a quota 785.  
 Esplosivo: 1400 kg  
 Detonatori: 115  
 Fori: 30  
 Lunghezza fori: 15-16 m  
 3 cariche per foro

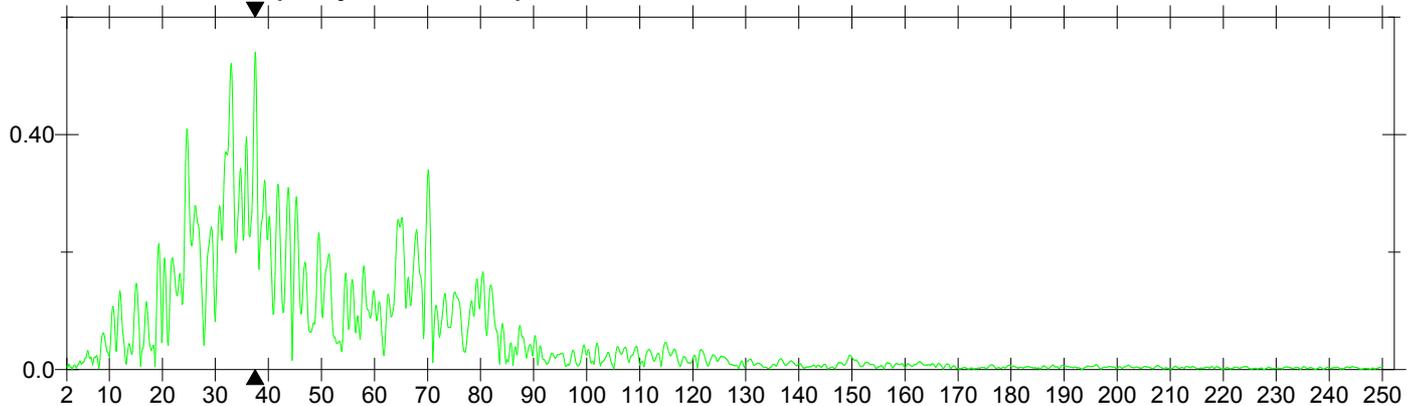
**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 50 m.  
 CPD = 22.90 kg.

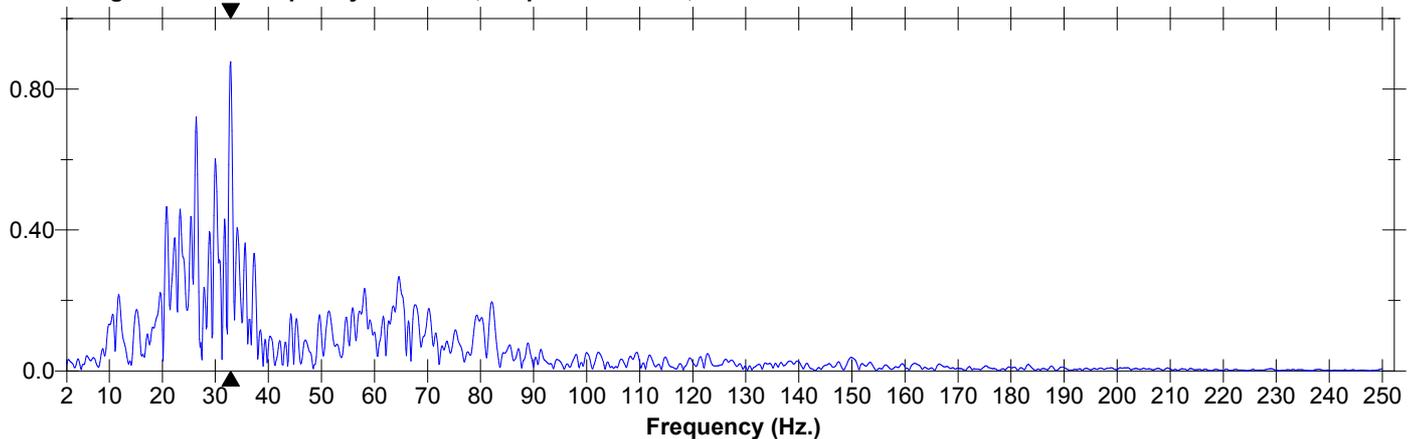
**Tran Dominant Frequency = 33.0 Hz., Amplitude = 0.802, PPV from Event = 13.0 mm/s**



**Vert Dominant Frequency = 37.5 Hz., Amplitude = 0.540, PPV from Event = 15.2 mm/s**



**Long Dominant Frequency = 32.9 Hz., Amplitude = 0.877, PPV from Event = 11.2 mm/s**



**Date/Time** Vert at 09:32:33 March 28, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 4.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.4 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HVA5.690

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: Marzo 28, 2019 10:20:35 (V8.12)

**Extended Notes**

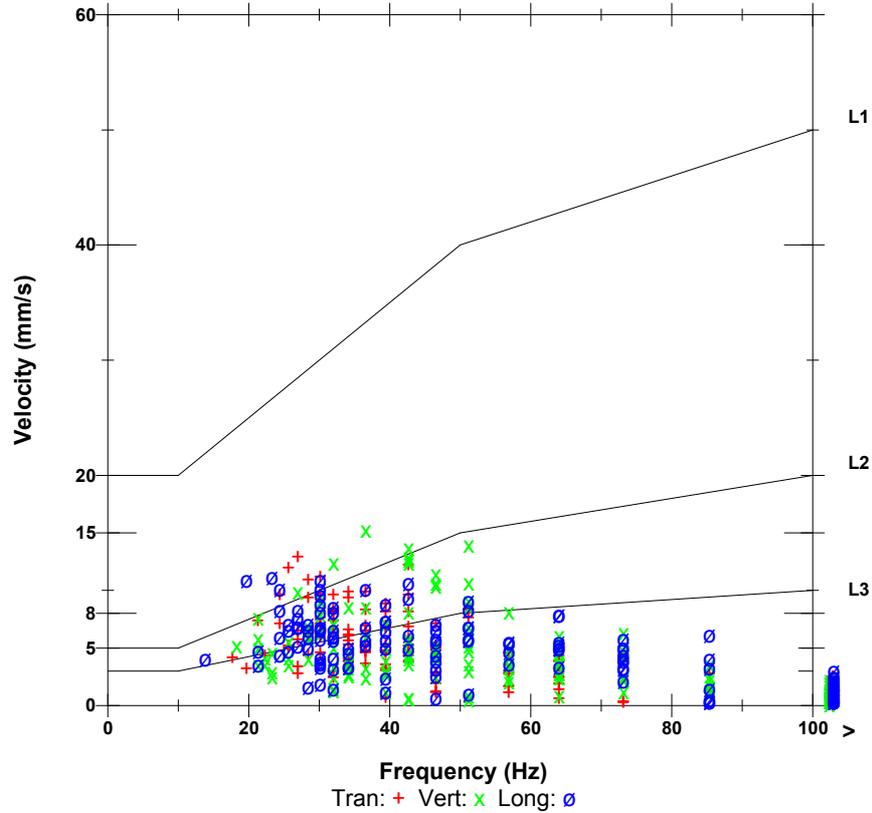
Volata sul piazzale a quota 785.  
 Esplosivo:1400 kg  
 Detonatori: 115  
 Fori: 30  
 Lunghezza fori: 15-16 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

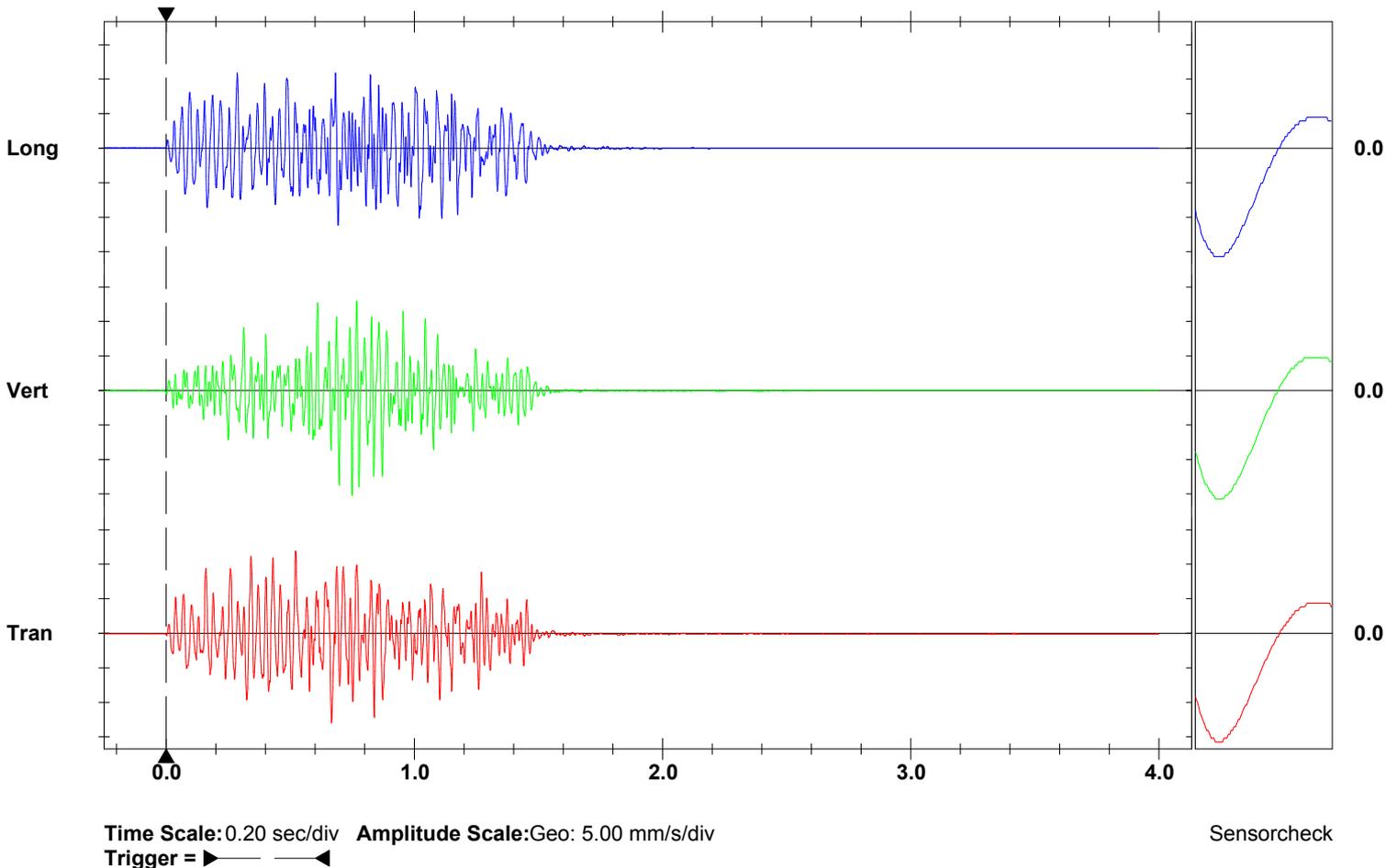
Distanza del geofono dal baricentro 50 m.  
 CPD = 22.90 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	13.0	15.2	11.2	mm/s
ZC Freq	27	37	22	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.667	0.751	0.693	sec
Peak Acceleration	0.331	0.557	0.398	g
Peak Displacement	0.0665	0.0505	0.0698	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.2	8.3	8.2	Hz
Overswing Ratio	3.7	3.5	3.6	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 18.4 mm/s at 0.751 sec



**Date/Time** Vert at 09:27:22 March 29, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.4 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HVBZ.LM0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: Marzo 29, 2019 10:21:30 (V8.12)

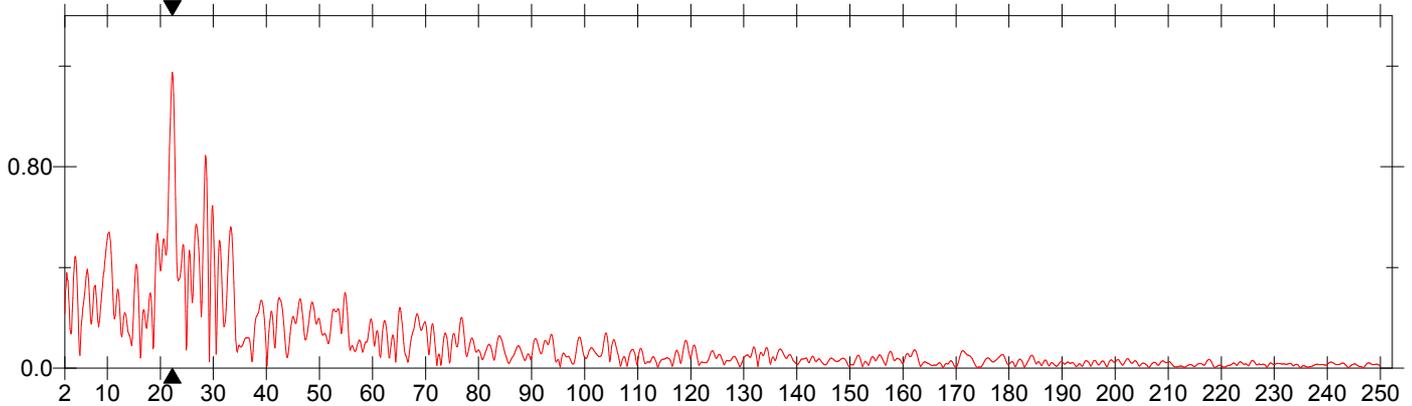
**Extended Notes**

Volata sul piazzale a quota 800.  
 Esplosivo:1350 kg  
 Detonatori: 94  
 Fori: 28  
 Lunghezza fori: 15-16 m  
 3 cariche per foro

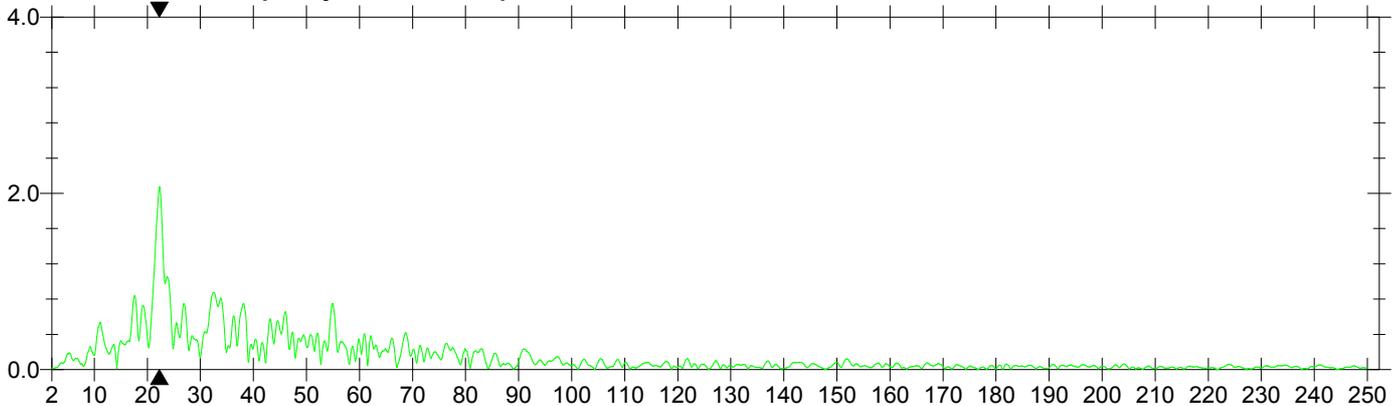
**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 30 m.  
 CPD = 24.98 kg.

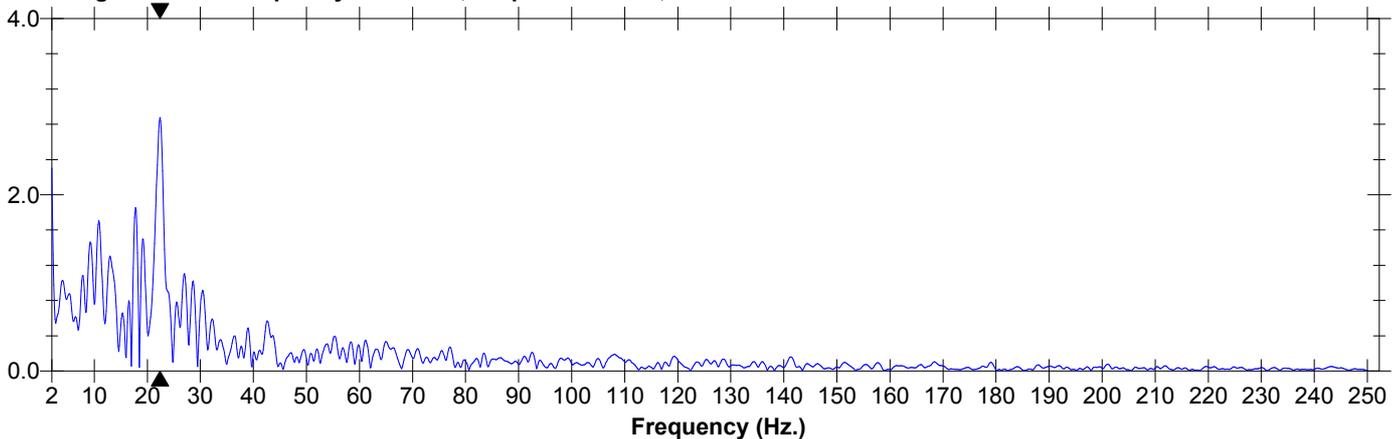
**Tran Dominant Frequency = 22.3 Hz., Amplitude = 1.18, PPV from Event = 41.7 mm/s**



**Vert Dominant Frequency = 22.3 Hz., Amplitude = 2.08, PPV from Event = 62.0 mm/s**



**Long Dominant Frequency = 22.4 Hz., Amplitude = 2.88, PPV from Event = 99.6 mm/s**



**Date/Time** Vert at 09:27:22 March 29, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.4 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HVBZ.LM0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: Marzo 29, 2019 10:21:30 (V8.12)

**Extended Notes**

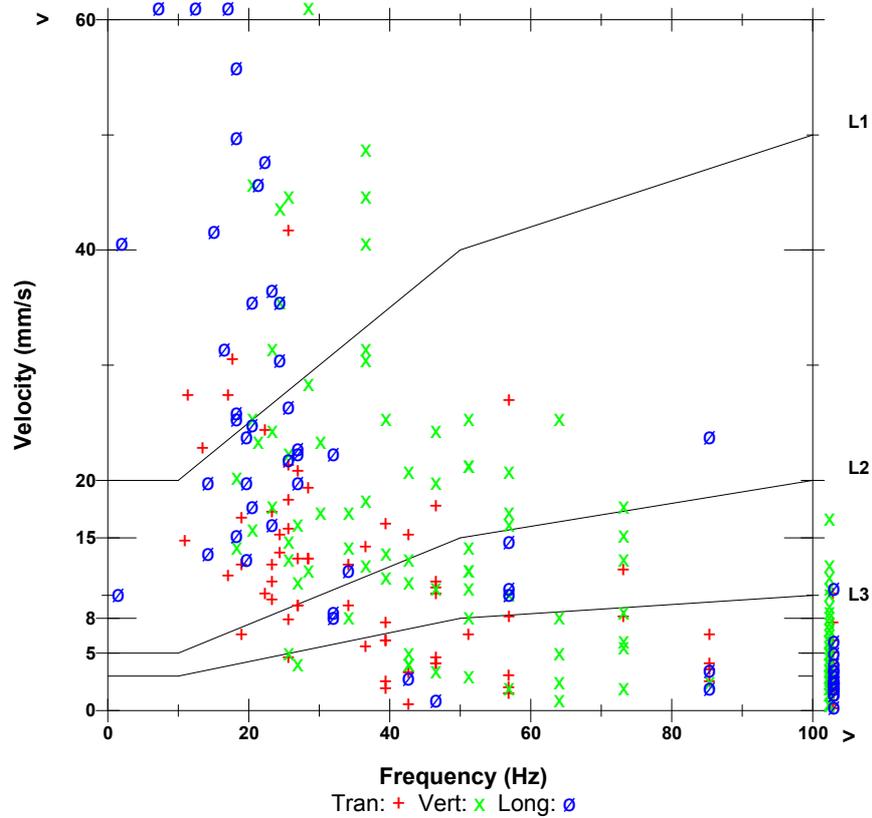
Volata sul piazzale a quota 800.  
 Esplosivo:1350 kg  
 Detonatori: 94  
 Fori: 28  
 Lunghezza fori: 15-16 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

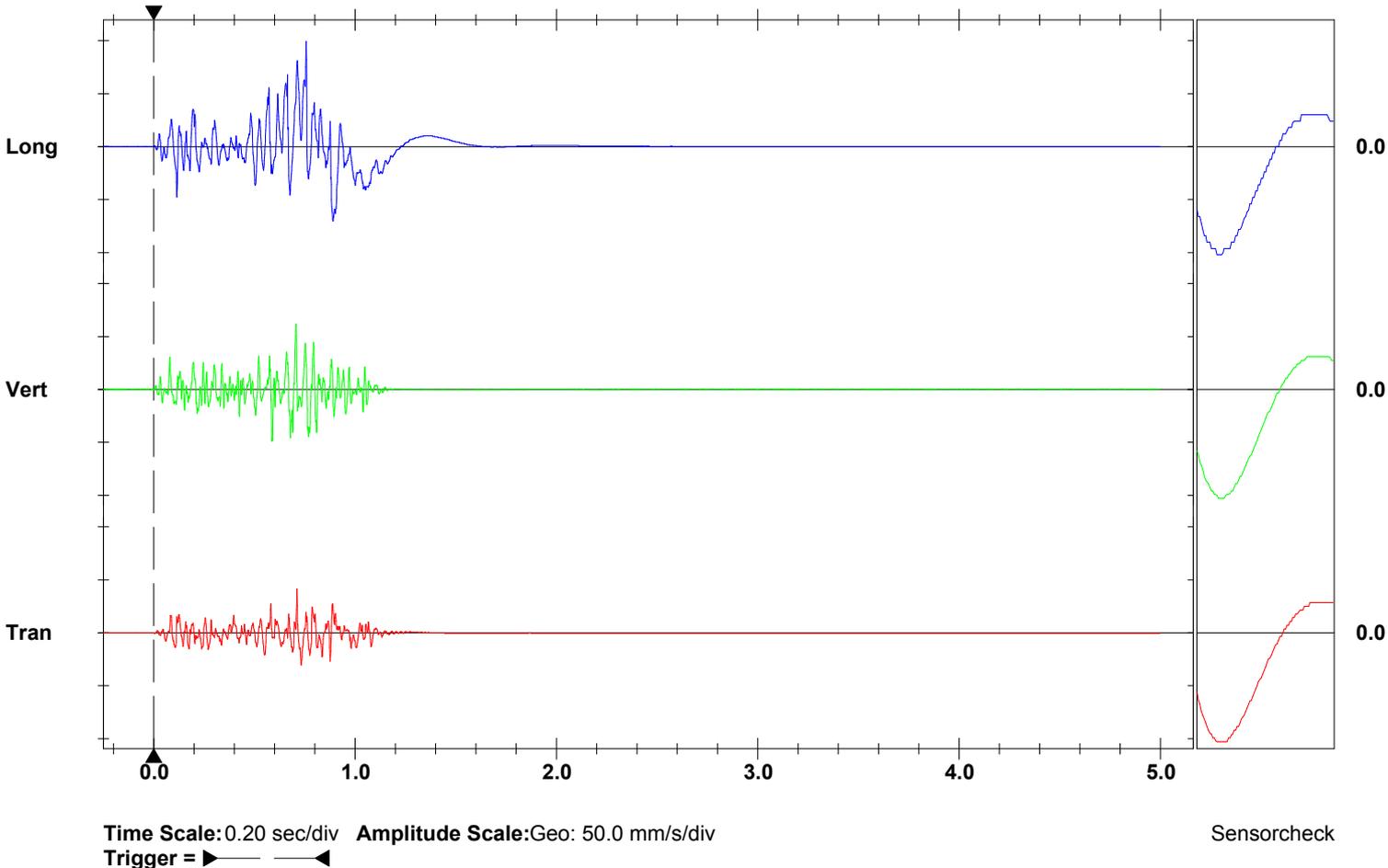
Distanza del geofono dal baricentro 30 m.  
 CPD = 24.98 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	41.7	62.0	99.6	mm/s
ZC Freq	26	28	7.0	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.713	0.708	0.758	sec
Peak Acceleration	1.70	2.97	4.56	g
Peak Displacement	0.241	0.338	2.77	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.1	8.3	8.5	Hz
Overswing Ratio	3.7	3.5	3.6	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 104 mm/s at 0.758 sec



**Date/Time** Vert at 09:05:43 April 4, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.4 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HVN2.LJ0

**Notes**

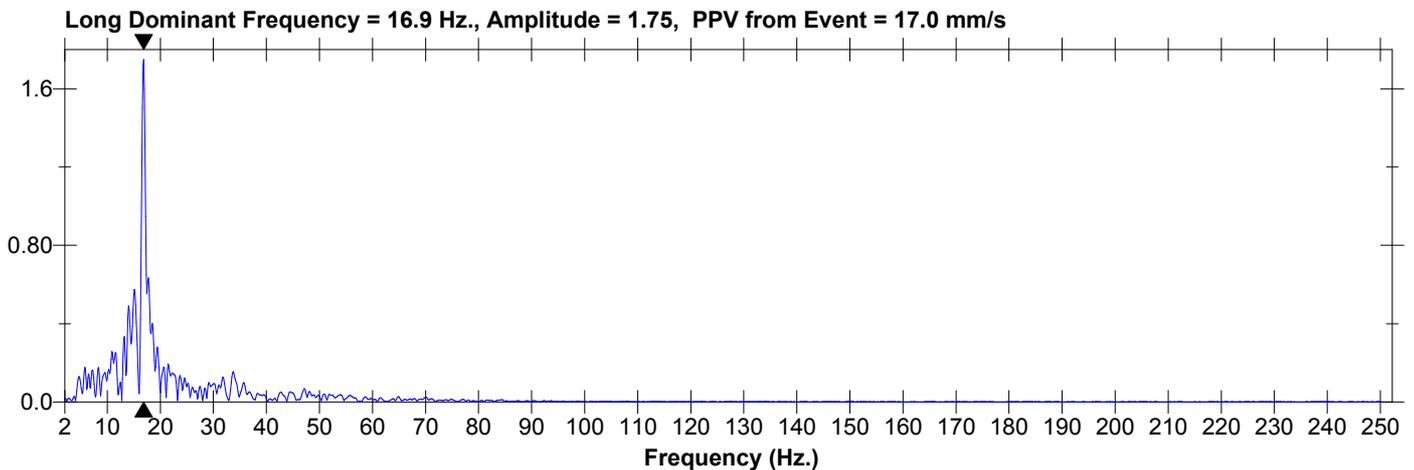
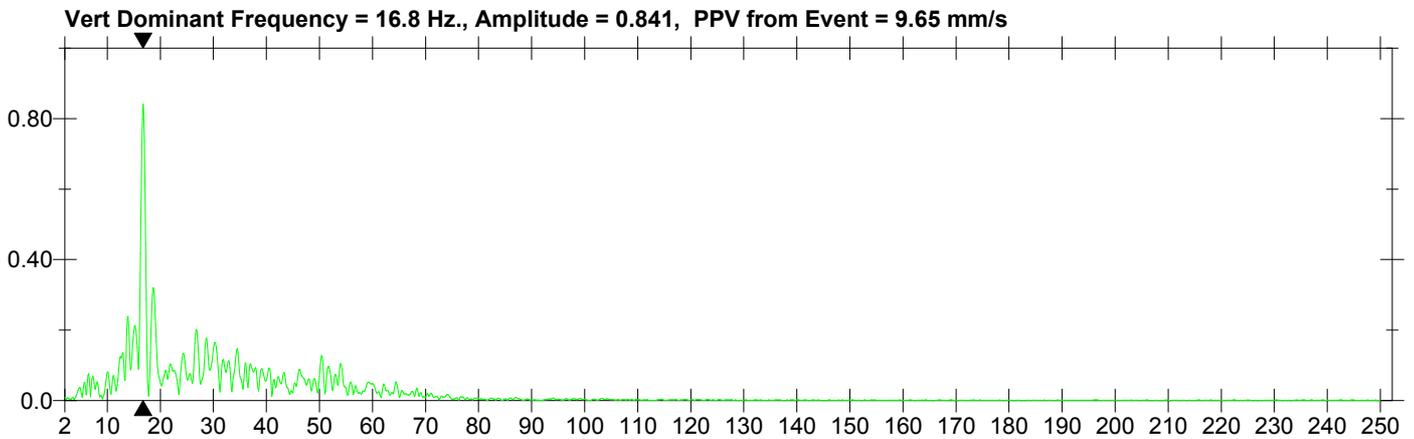
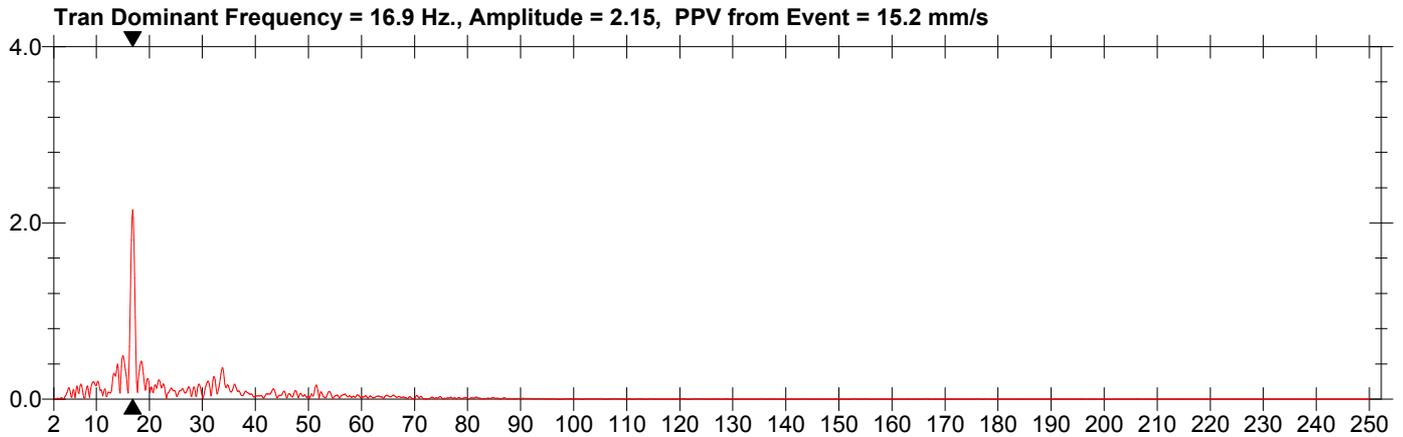
Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: April 4, 2019 13:07:44 (V8.12)

**Extended Notes**

Volata sul piazzale a quota 785.  
 Esplosivo: 1250 kg  
 Detonatori: 128  
 Fori: 58  
 Lunghezza fori: 6 - 7 m  
 2 cariche per foro

**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 50 m.  
 CPD = 14.58 kg.  
 Misurazione avvenuta alle ore 10:05:43.



**Date/Time** Vert at 09:05:43 April 4, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.4 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HVN2.LJ0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: April 4, 2019 13:07:44 (V8.12)

**Extended Notes**

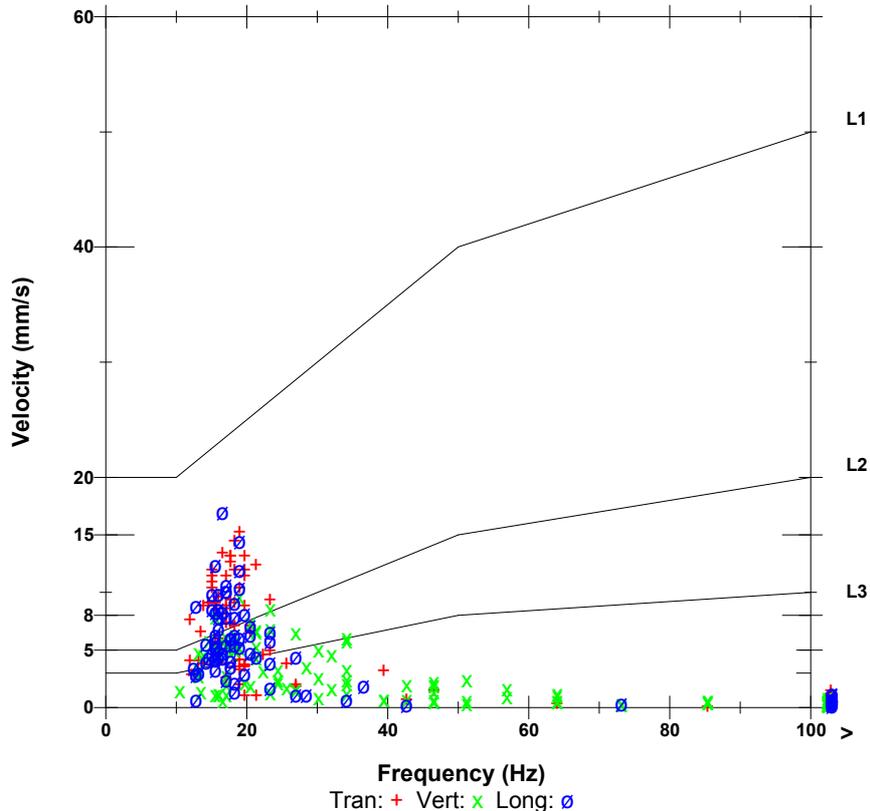
Volata sul piazzale a quota 785.  
 Esplosivo: 1250 kg  
 Detonatori: 128  
 Fori: 58  
 Lunghezza fori: 6 - 7 m  
 2 cariche per foro

**Post Event Notes**

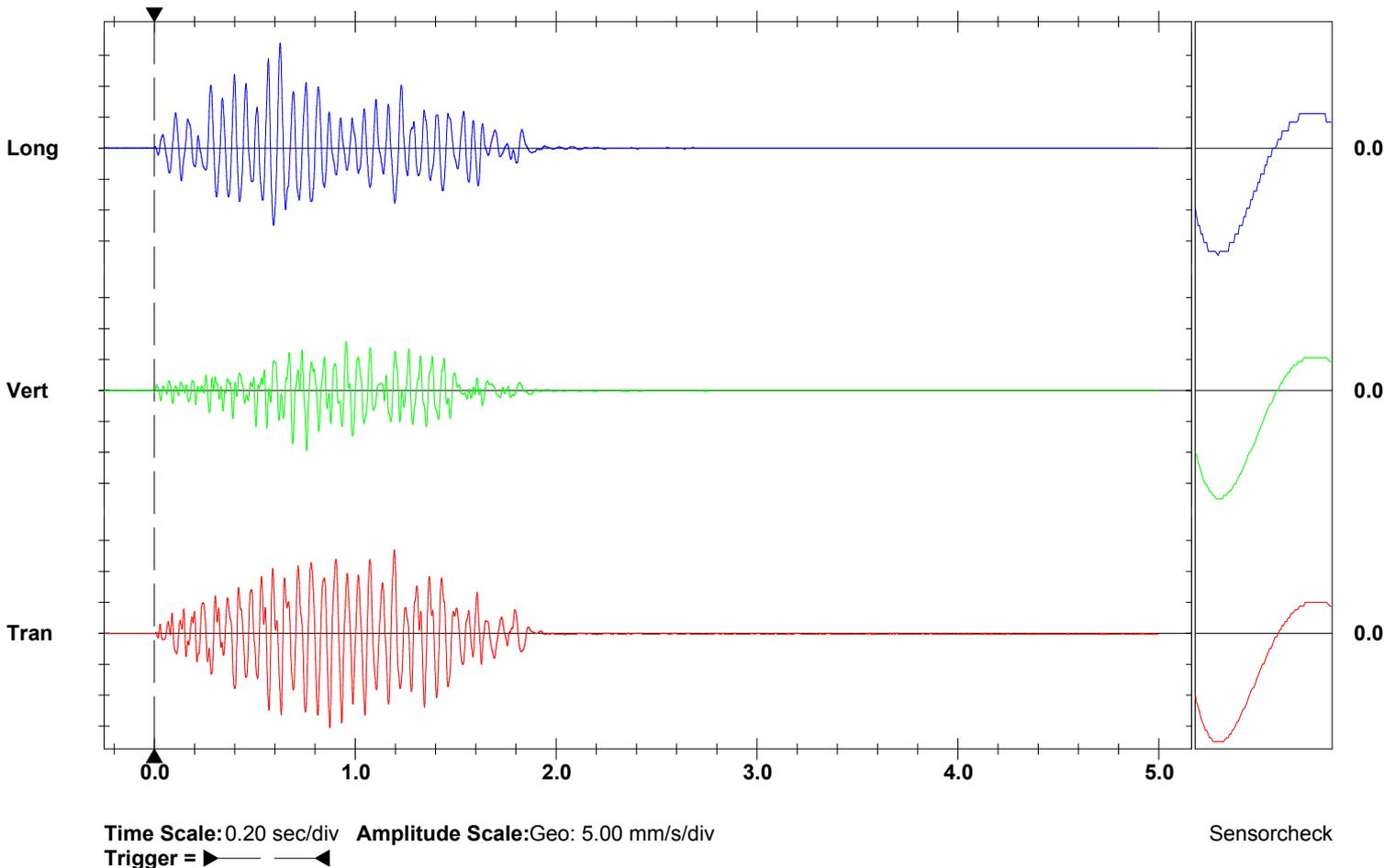
Distanza del geofono dal baricentro 50 m.  
 CPD = 14.58 kg.  
 Misurazione avvenuta alle ore 10:05:43.

	Tran	Vert	Long	
PPV	15.2	9.65	17.0	mm/s
ZC Freq	19	20	17	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.874	0.759	0.627	sec
Peak Acceleration	0.252	0.146	0.212	g
Peak Displacement	0.127	0.0632	0.155	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.3	8.3	8.6	Hz
Overswing Ratio	3.6	3.5	3.3	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 20.3 mm/s at 0.629 sec



**Date/Time** Vert at 09:20:40 April 5, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.4 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HVOX.YG0

**Notes**

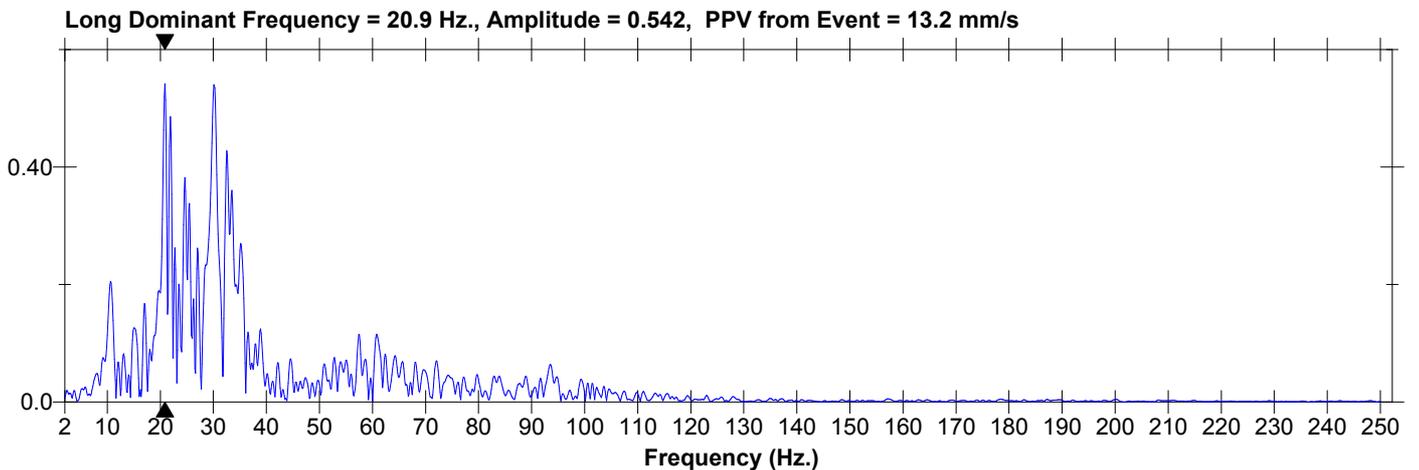
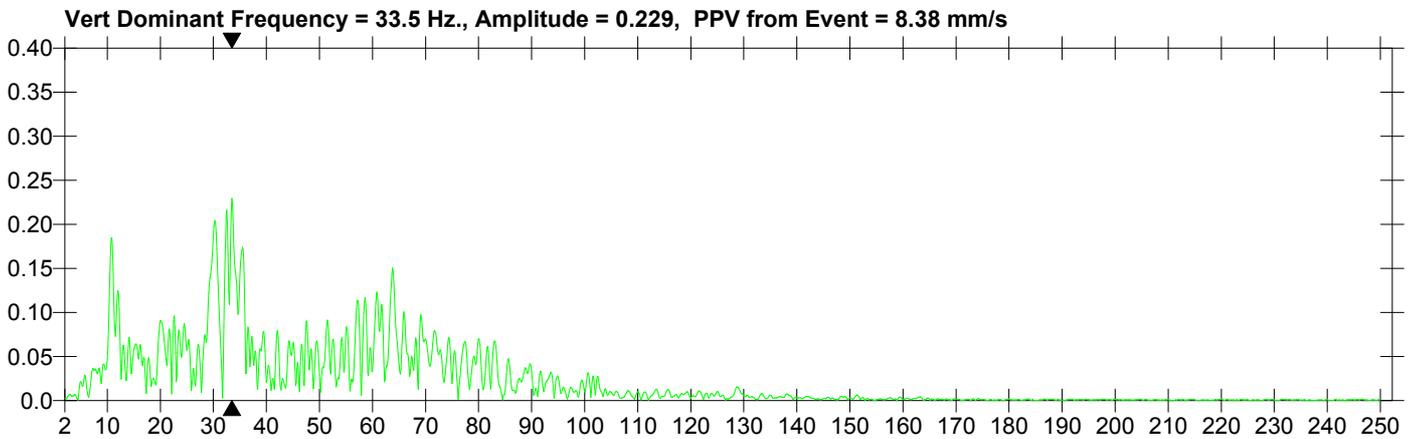
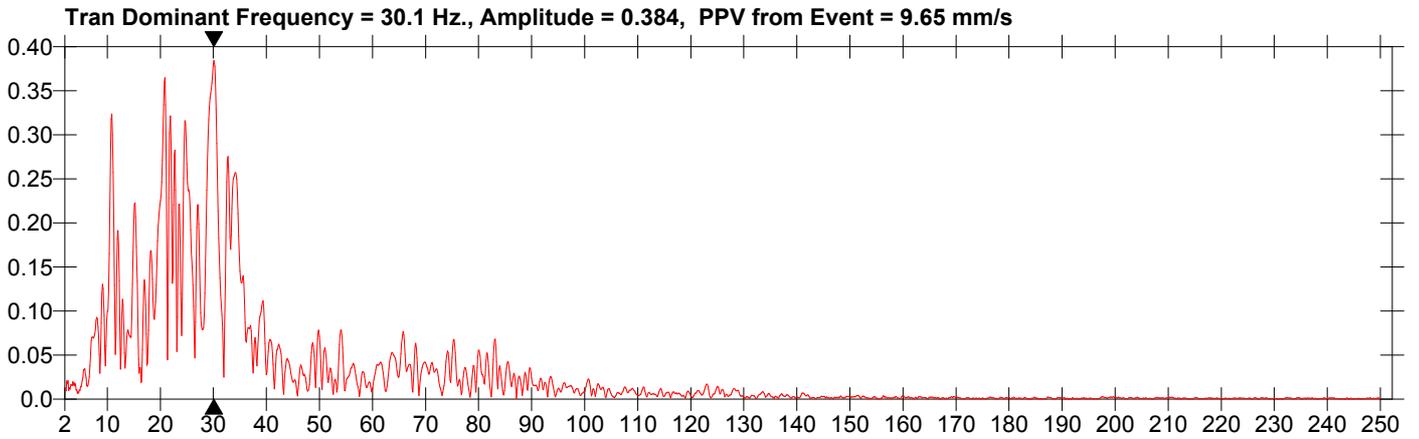
Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: April 5, 2019 10:28:49 (V8.12)

**Extended Notes**

Volata sul piazzale a quota 800 m.  
 Esplosivo: 1250 kg  
 Detonatori: 97  
 Fori: 29  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 70 m.  
 CPD = 18.74 kg.



**Date/Time** Vert at 09:20:40 April 5, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.4 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HVOX.YG0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: April 5, 2019 10:28:49 (V8.12)

**Extended Notes**

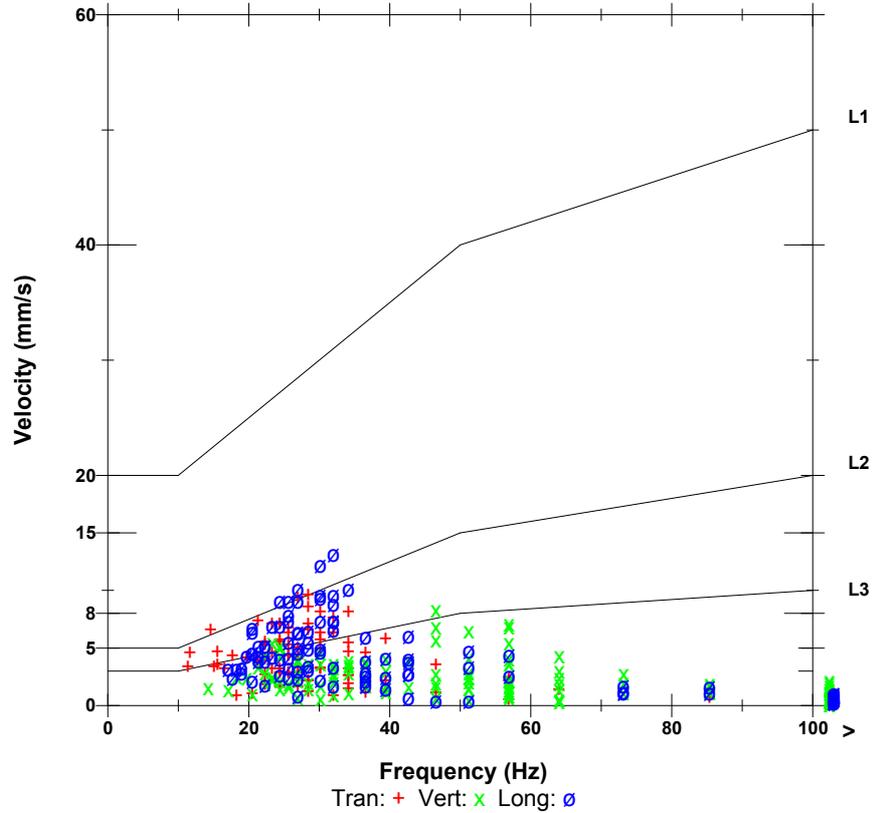
Volata sul piazzale a quota 800 m.  
 Esplosivo:1250 kg  
 Detonatori: 97  
 Fori: 29  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

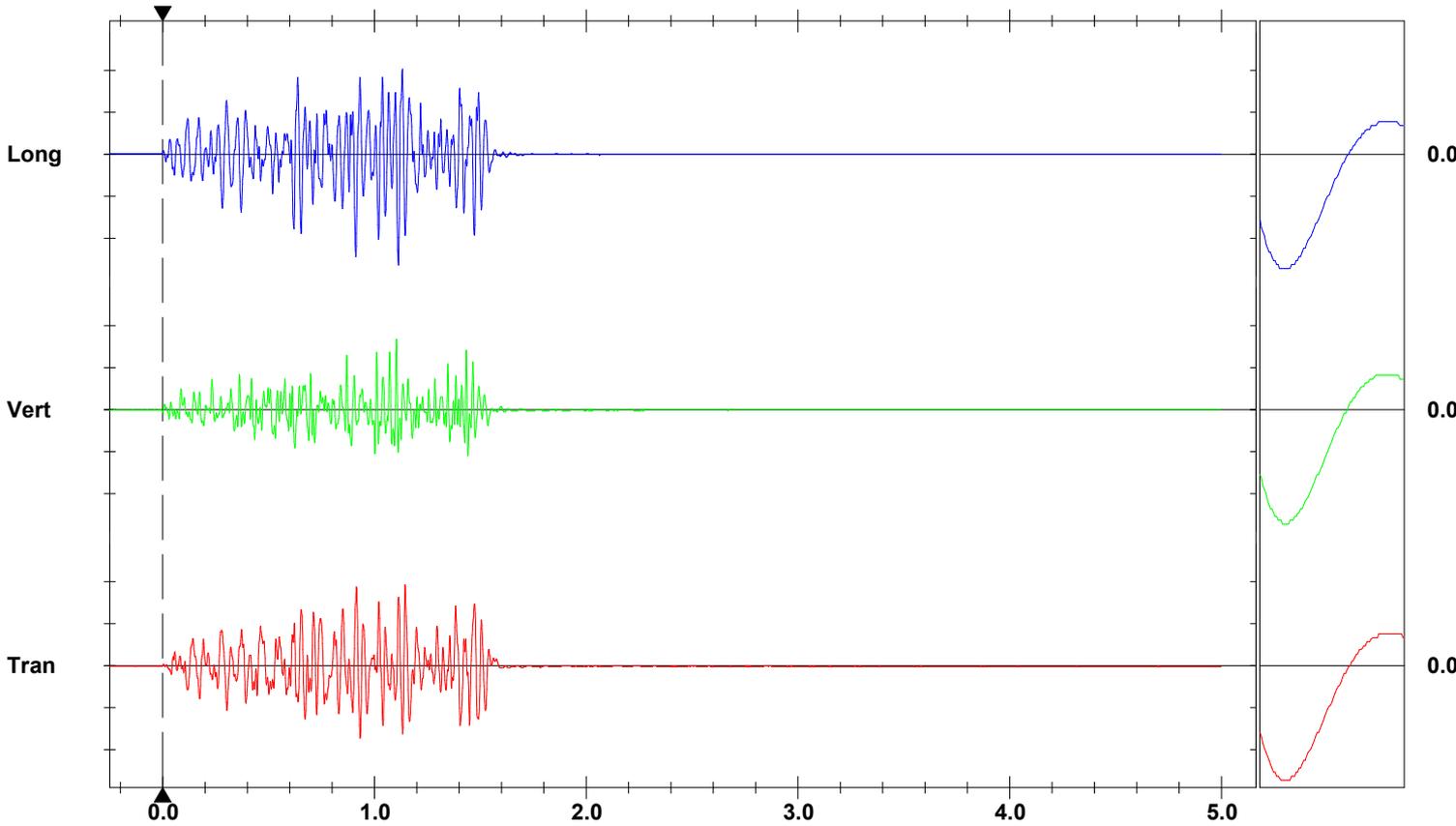
Distanza del geofono dal baricentro 70 m.  
 CPD = 18.74 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	9.65	8.38	13.2	mm/s
ZC Freq	28	47	32	Hz
Time (Rel. to Trig)	1.146	1.104	1.114	sec
Peak Acceleration	0.252	0.292	0.358	g
Peak Displacement	0.0562	0.0317	0.0686	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.1	8.3	8.2	Hz
Overswing Ratio	3.7	3.5	3.6	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 16.2 mm/s at 1.114 sec



Time Scale: 0.20 sec/div Amplitude Scale: Geo: 5.00 mm/s/div  
 Trigger =

Sensorcheck

**Date/Time** Vert at 10:43:47 April 23, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.2 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HWMD.SZ0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: April 23, 2019 11:19:20 (V8.12)

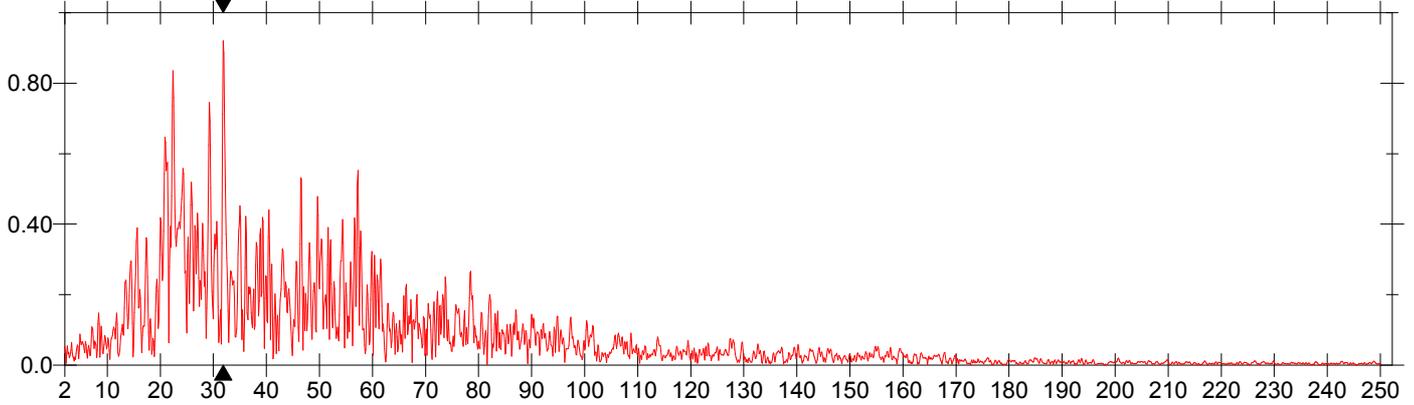
**Extended Notes**

Volata sul piazzale a quota 800 m.  
 Esplosivo:2500 kg  
 Detonatori: 195  
 Fori: 61  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

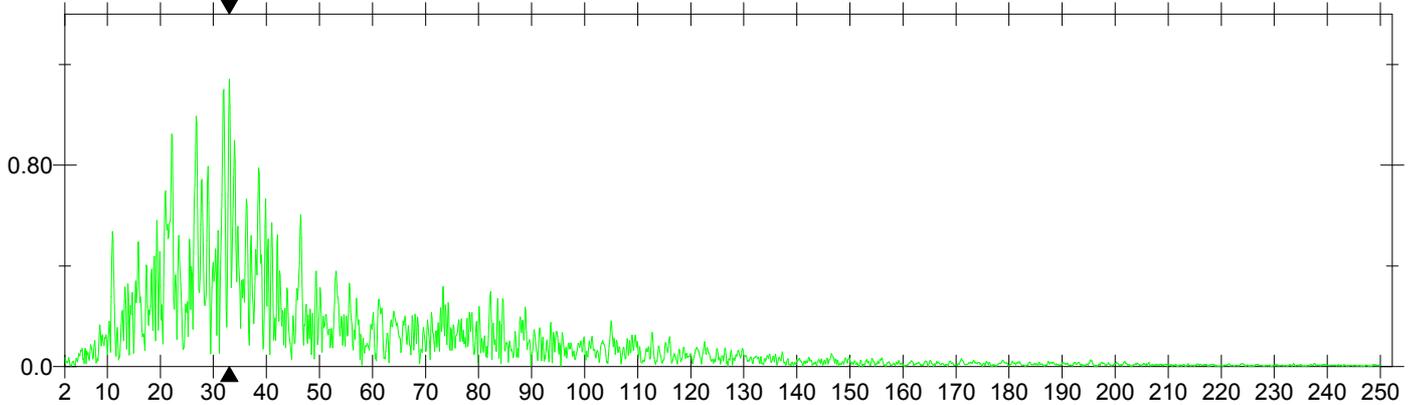
**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 30 m.  
 CPD = 20.82 kg.

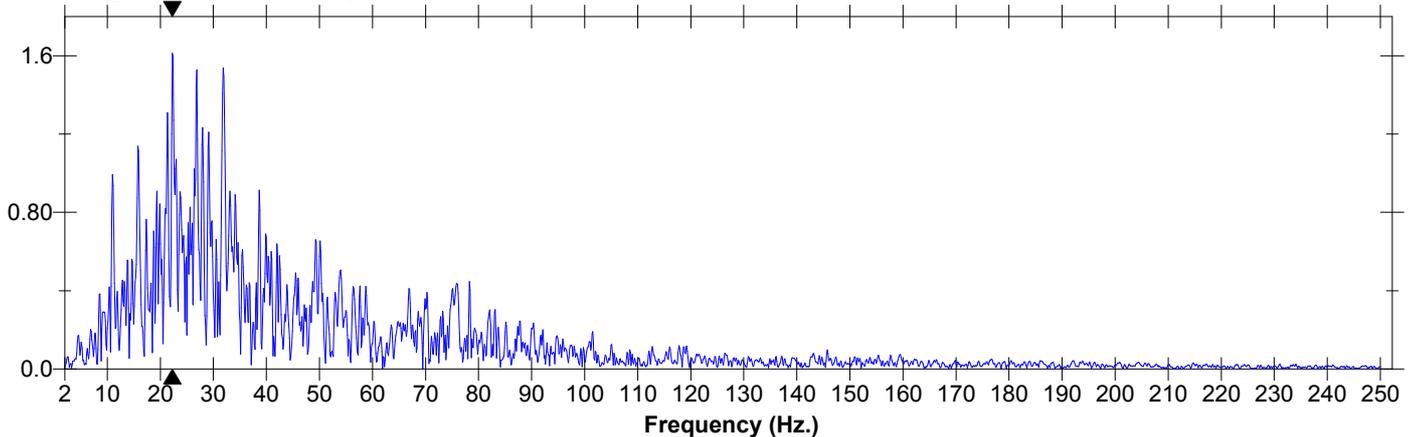
**Tran Dominant Frequency = 31.9 Hz., Amplitude = 0.921, PPV from Event = 19.3 mm/s**



**Vert Dominant Frequency = 33.0 Hz., Amplitude = 1.14, PPV from Event = 26.4 mm/s**



**Long Dominant Frequency = 22.3 Hz., Amplitude = 1.61, PPV from Event = 34.5 mm/s**



**Date/Time** Vert at 10:43:47 April 23, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.2 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HWMD.SZ0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: April 23, 2019 11:19:20 (V8.12)

**Extended Notes**

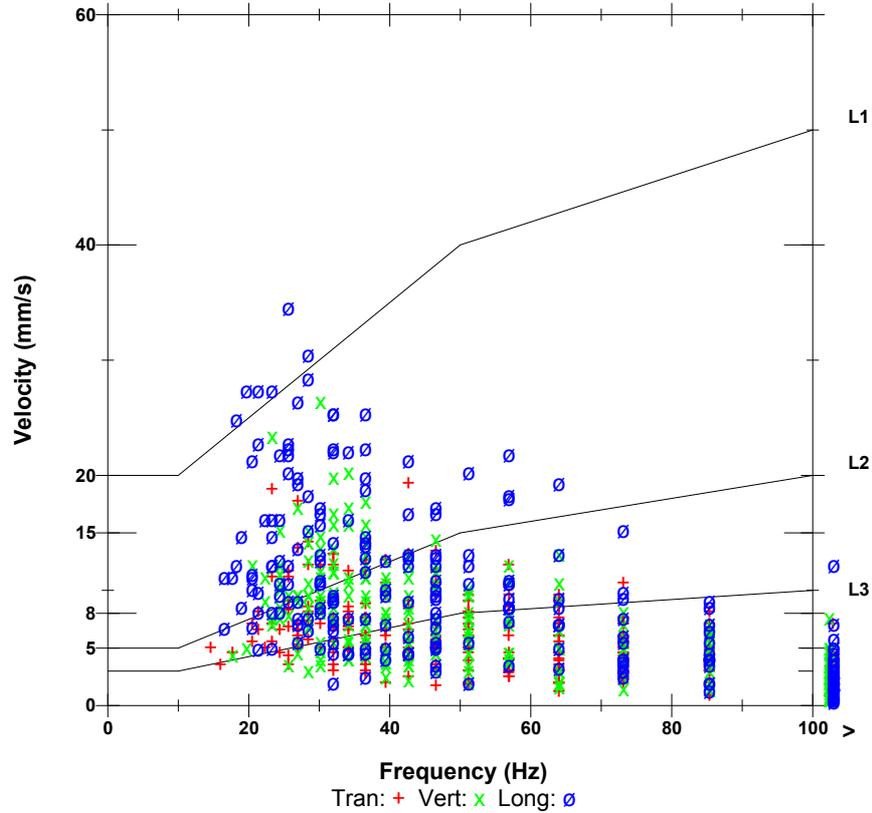
Volata sul piazzale a quota 800 m.  
 Esplosivo:2500 kg  
 Detonatori: 195  
 Fori: 61  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

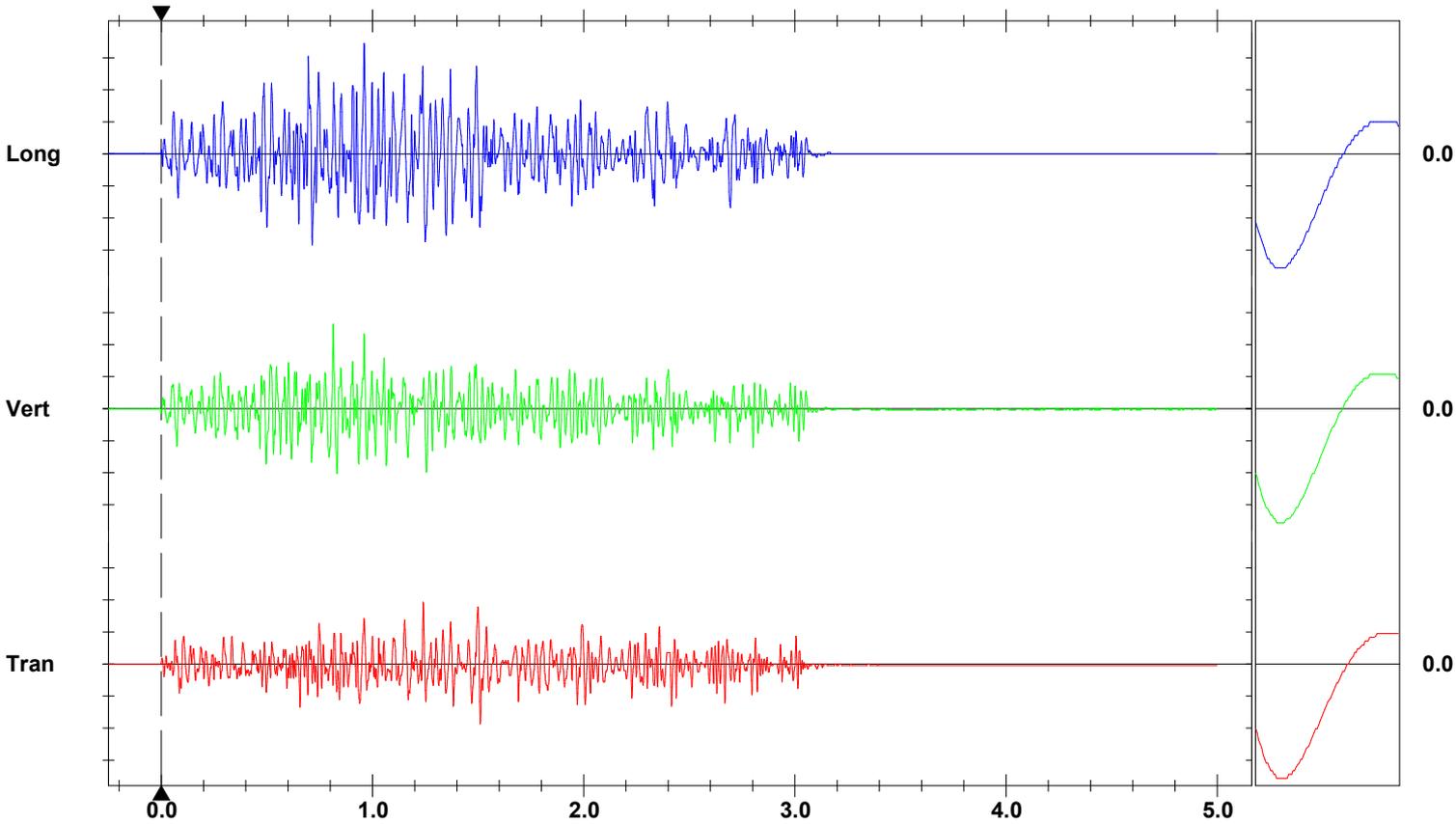
Distanza del geofono dal baricentro 30 m.  
 CPD = 20.82 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	19.3	26.4	34.5	mm/s
ZC Freq	43	30	26	Hz
Time (Rel. to Trig)	1.241	0.815	0.962	sec
Peak Acceleration	0.636	0.636	1.19	g
Peak Displacement	0.0950	0.110	0.186	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.8	8.3	8.2	Hz
Overswing Ratio	3.8	3.5	4.0	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 44.1 mm/s at 0.962 sec



Time Scale: 0.20 sec/div Amplitude Scale: Geo: 10.00 mm/s/div  
 Trigger =

Sensorcheck

**Date/Time** Vert at 10:20:38 April 30, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.1 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HWZB.EE0

**Notes**

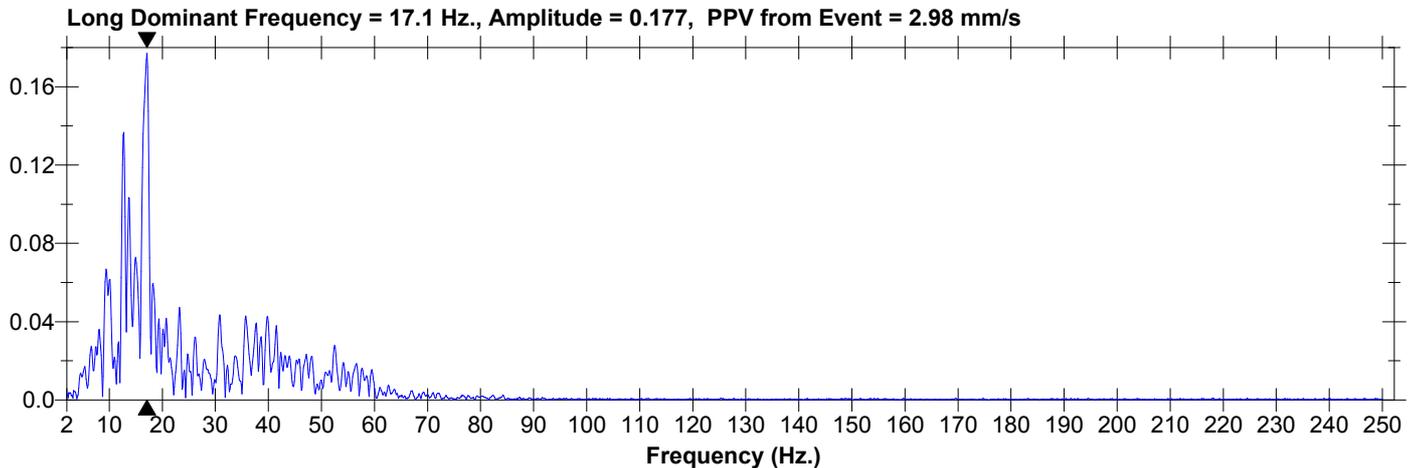
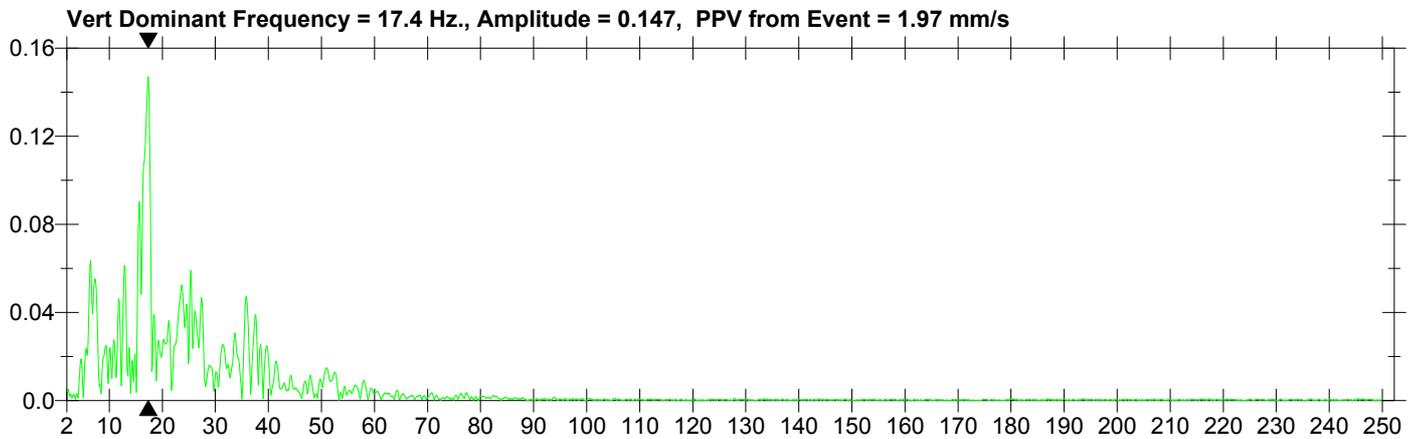
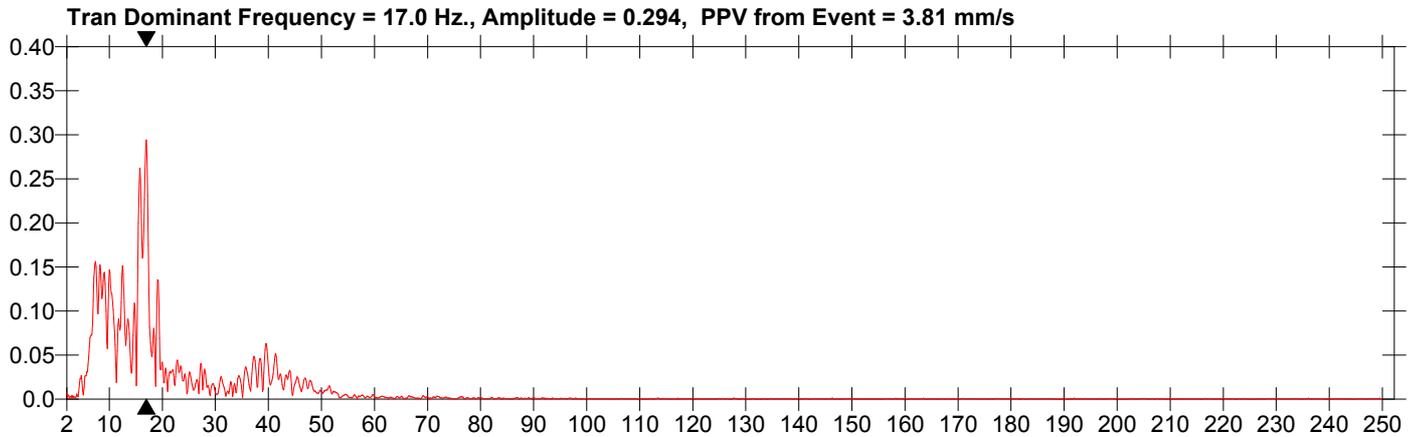
Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: April 30, 2019 11:31:09 (V8.12)

**Extended Notes**

Volata sul piazzale a quota 785 m.  
 Esplosivo: 1475 kg  
 Detonatori: 140  
 Fori: 64  
 Lunghezza fori: 7 m  
 2 cariche per foro

**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 150 m.  
 CPD = 16.66 kg.



**Date/Time** Vert at 10:20:38 April 30, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.1 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HWZB.EE0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: April 30, 2019 11:31:09 (V8.12)

**Extended Notes**

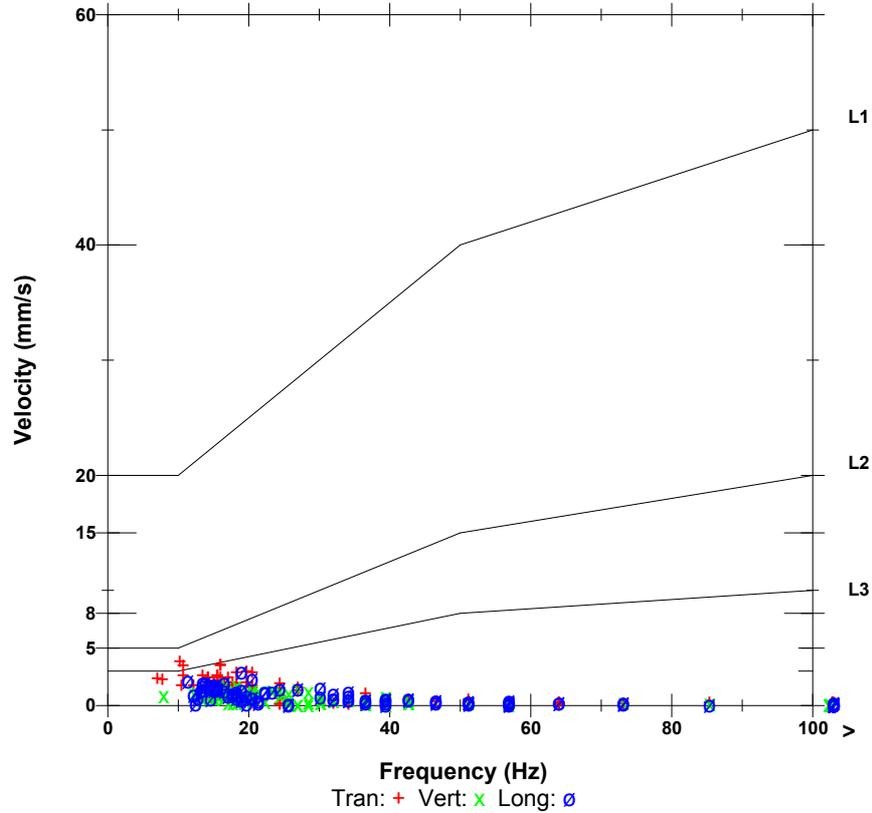
Volata sul piazzale a quota 785 m.  
 Esplosivo: 1475 kg  
 Detonatori: 140  
 Fori: 64  
 Lunghezza fori: 7 m  
 2 cariche per foro

**Post Event Notes**

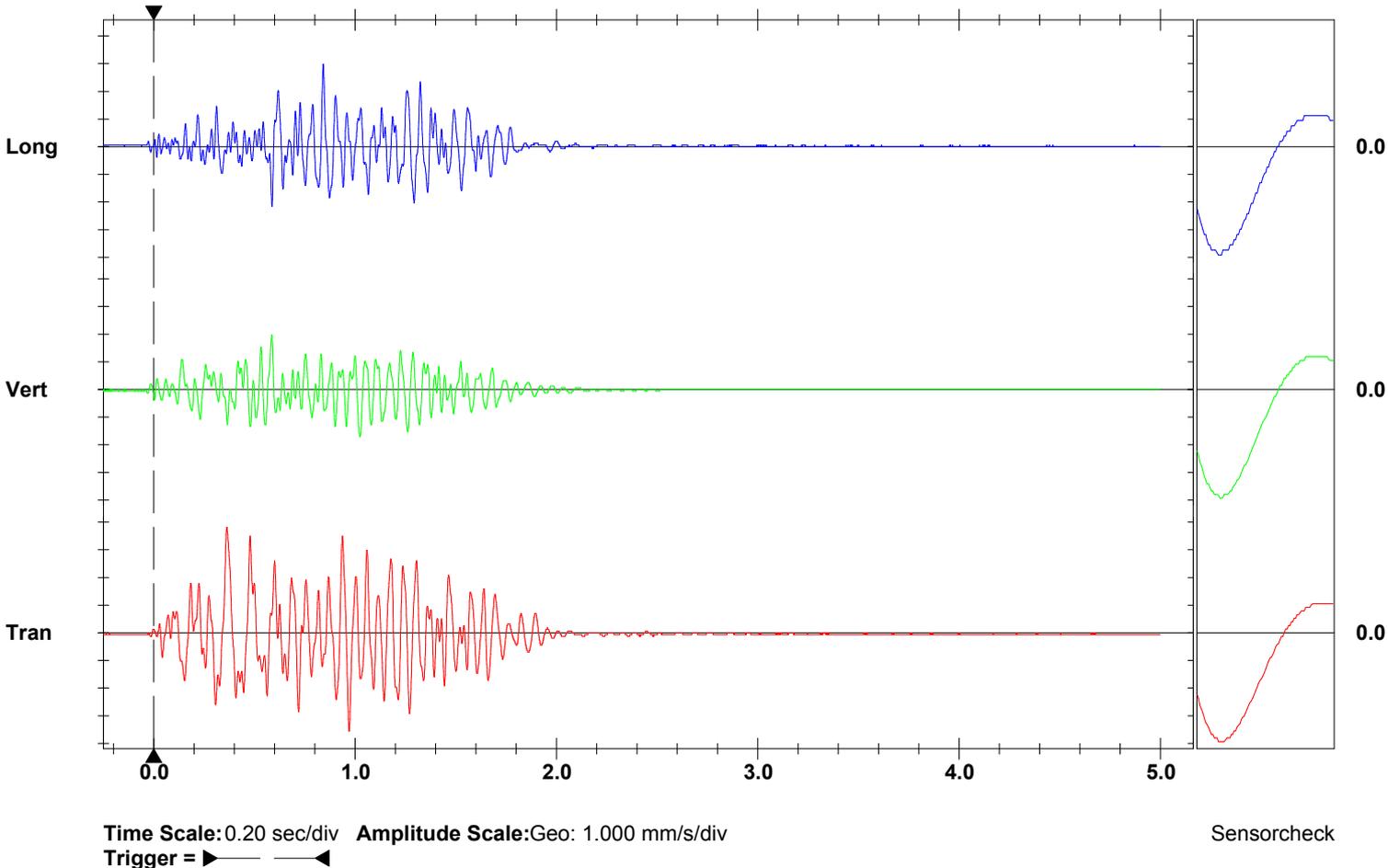
Distanza del geofono dal baricentro 150 m.  
 CPD = 16.66 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	3.81	1.97	2.98	mm/s
ZC Freq	10	16	19	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.362	0.587	0.843	sec
Peak Acceleration	0.0398	0.0265	0.0398	g
Peak Displacement	0.0514	0.0158	0.0219	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.0	8.5	8.5	Hz
Overswing Ratio	3.8	3.5	3.8	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 4.00 mm/s at 0.365 sec



**Date/Time** Long at 11:50:43 May 9, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.1 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HXG3.KJ0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: May 9, 2019 12:35:58 (V8.12)

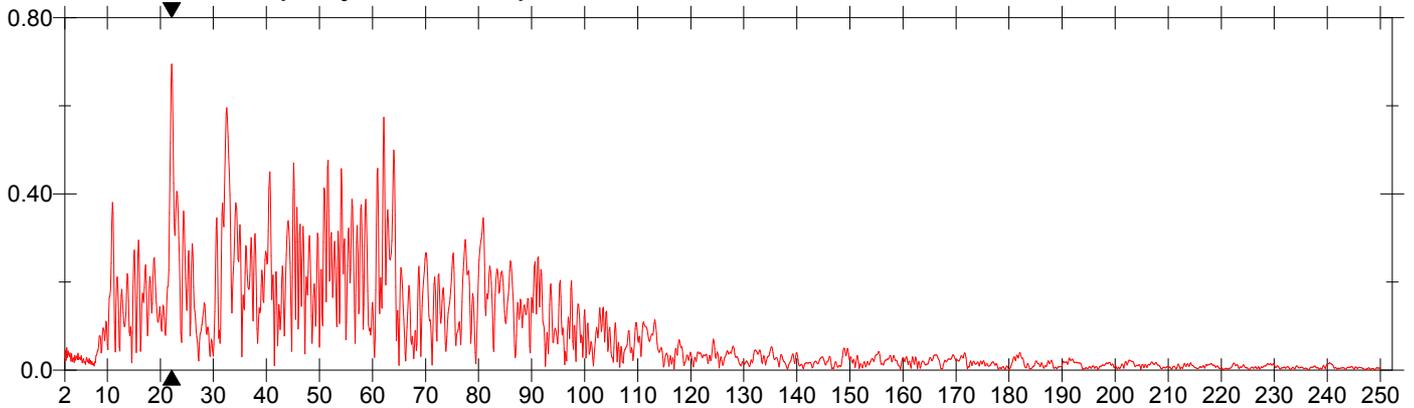
**Extended Notes**

Volata sul piazzale a quota 800 m  
 Esplosivo: 1750 kg  
 Detonatori: 138  
 Fori: 42  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

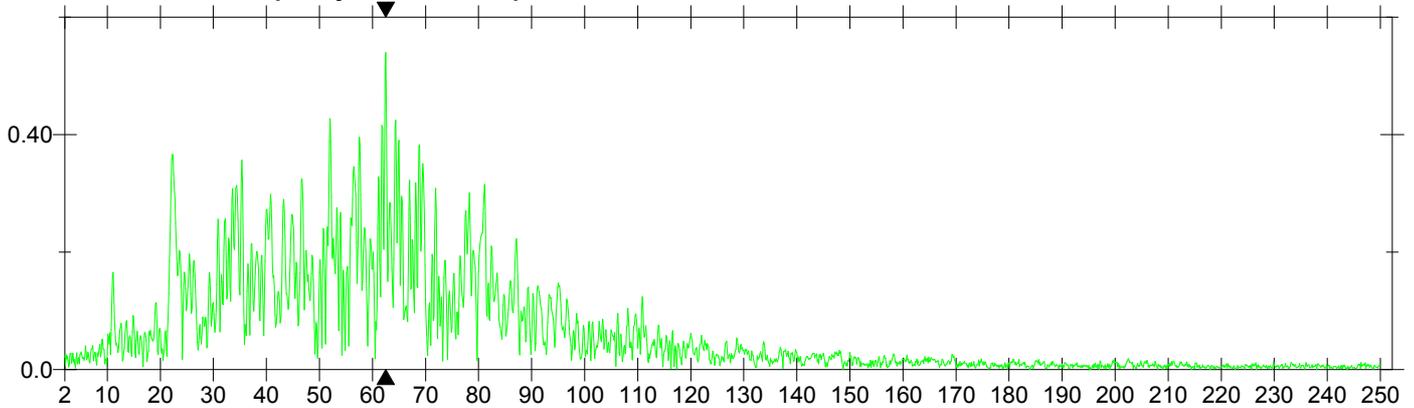
**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 43 m.  
 CPD 20.82 kg.

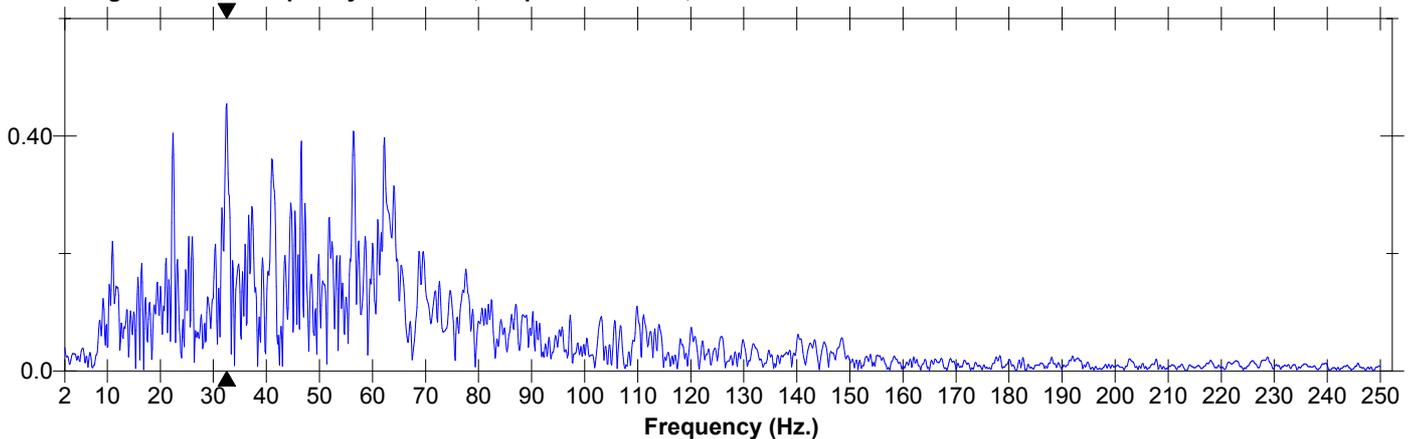
**Tran Dominant Frequency = 22.1 Hz., Amplitude = 0.695, PPV from Event = 28.4 mm/s**



**Vert Dominant Frequency = 62.5 Hz., Amplitude = 0.540, PPV from Event = 22.1 mm/s**



**Long Dominant Frequency = 32.5 Hz., Amplitude = 0.455, PPV from Event = 21.1 mm/s**



**Date/Time** Long at 11:50:43 May 9, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.1 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HXG3.KJ0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: May 9, 2019 12:35:58 (V8.12)

**Extended Notes**

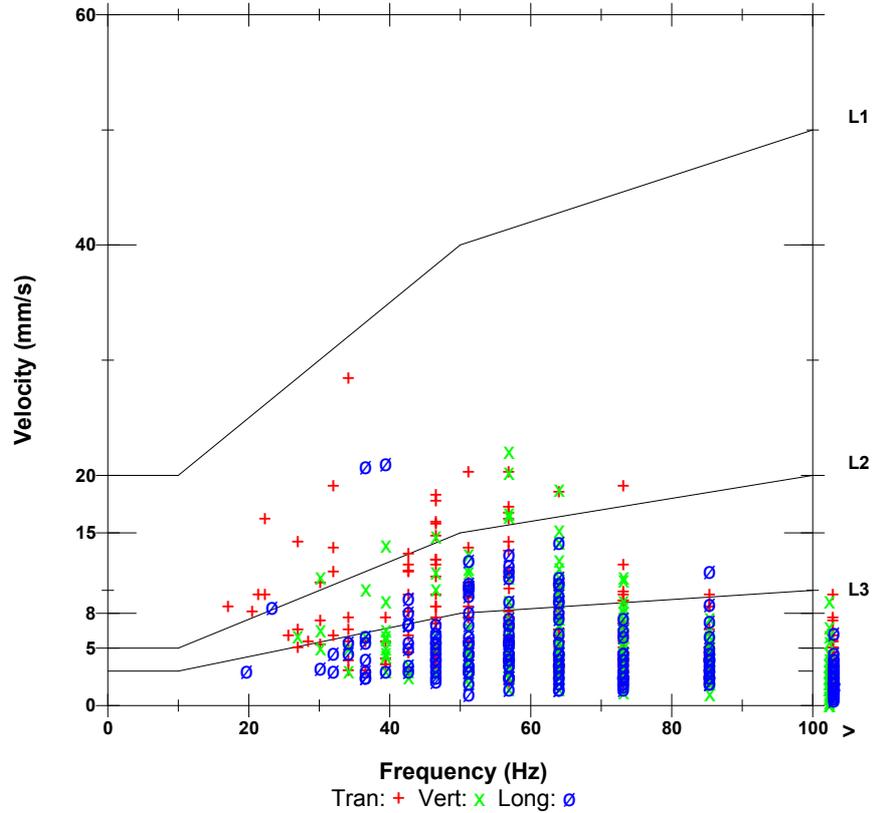
Volata sul piazzale a quota 800 m  
 Esplosivo: 1750 kg  
 Detonatori: 138  
 Fori: 42  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

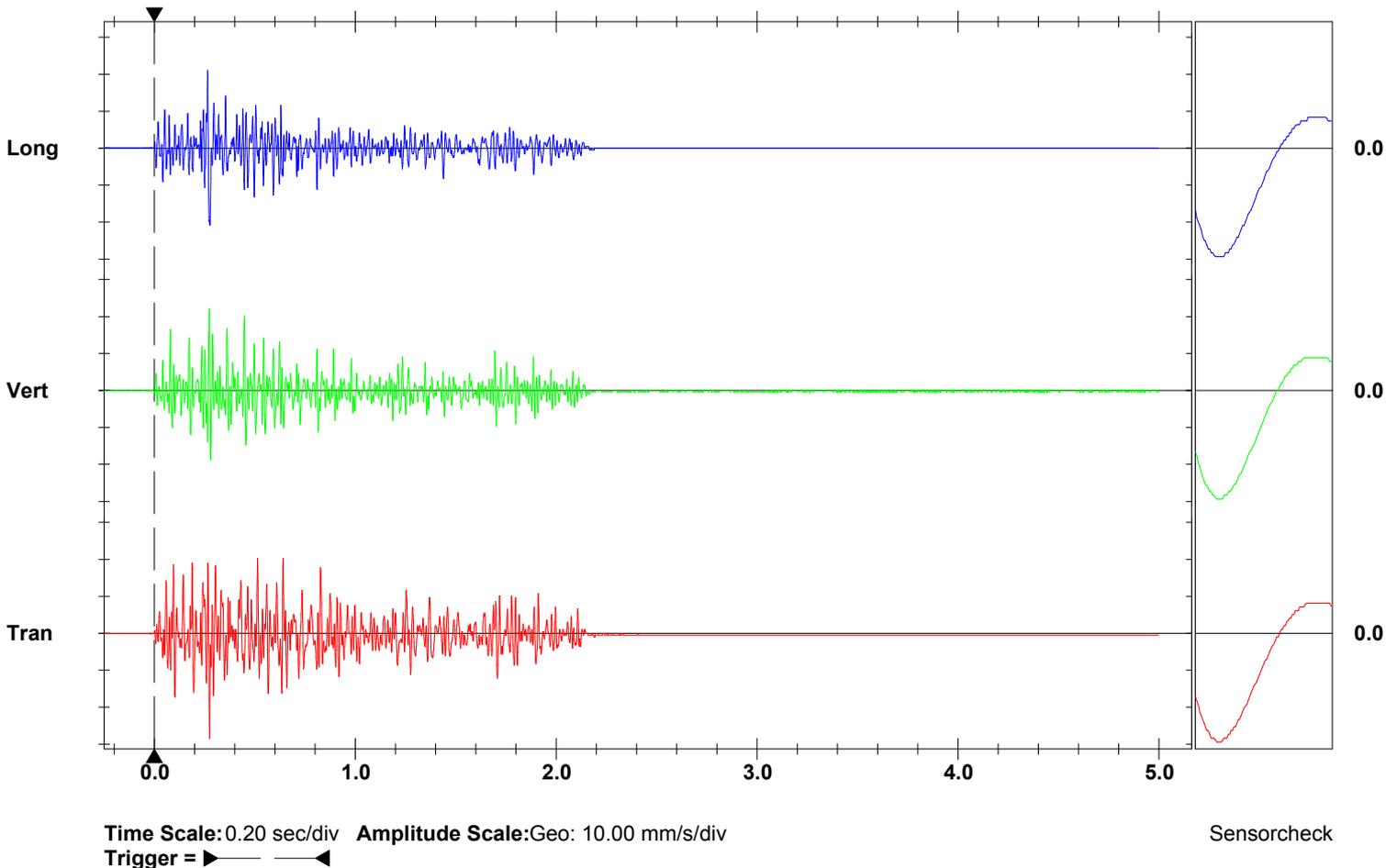
Distanza del geofono dal baricentro 43 m.  
 CPD 20.82 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	28.4	22.1	21.1	mm/s
ZC Freq	32	51	39	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.275	0.274	0.266	sec
Peak Acceleration	1.06	1.22	0.875	g
Peak Displacement	0.0859	0.0652	0.102	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.2	8.3	8.2	Hz
Overswing Ratio	3.7	3.5	3.6	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 40.5 mm/s at 0.275 sec



**Date/Time** Vert at 11:02:24 May 15, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.0 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HXR5.C00

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: May 15, 2019 12:07:04 (V8.12)

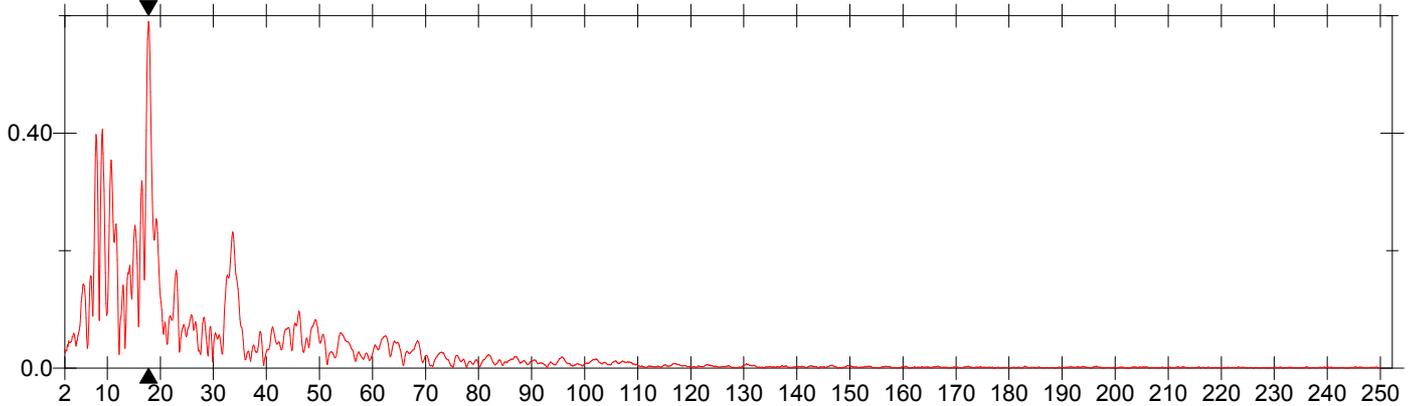
**Extended Notes**

Volata sul piazzale a quota 785 m.  
 Esplosivo: 1775 kg  
 Detonatori: 265  
 Fori: 125  
 Lunghezza fori: 7 m  
 2 cariche per foro

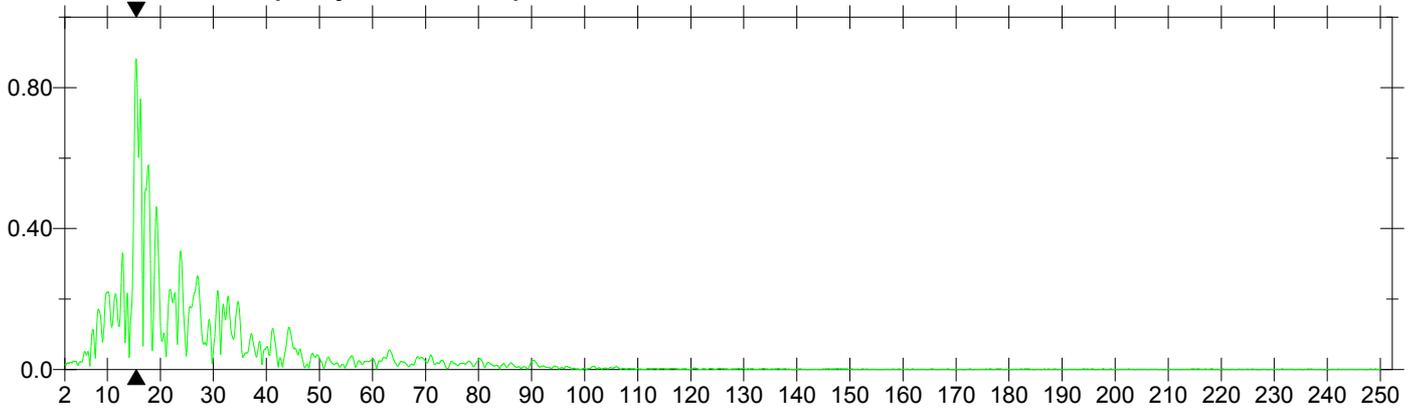
**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 48 m.  
 CPD = 14.58 kg.

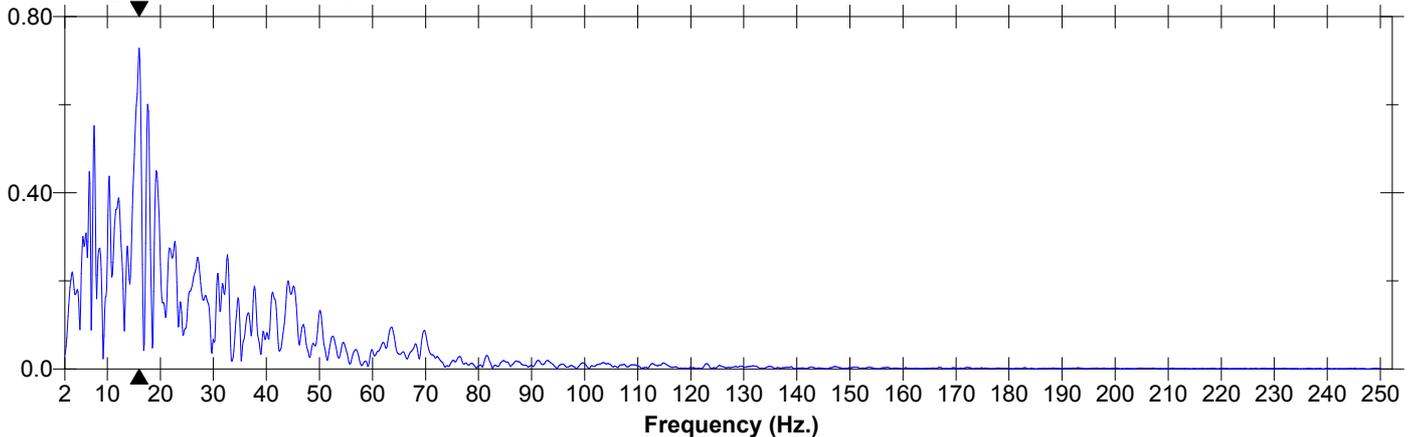
**Tran Dominant Frequency = 17.8 Hz., Amplitude = 0.590, PPV from Event = 12.2 mm/s**



**Vert Dominant Frequency = 15.5 Hz., Amplitude = 0.882, PPV from Event = 13.0 mm/s**



**Long Dominant Frequency = 16.0 Hz., Amplitude = 0.729, PPV from Event = 21.1 mm/s**



**Date/Time** Vert at 11:02:24 May 15, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.0 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HXR5.C00

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: May 15, 2019 12:07:04 (V8.12)

**Extended Notes**

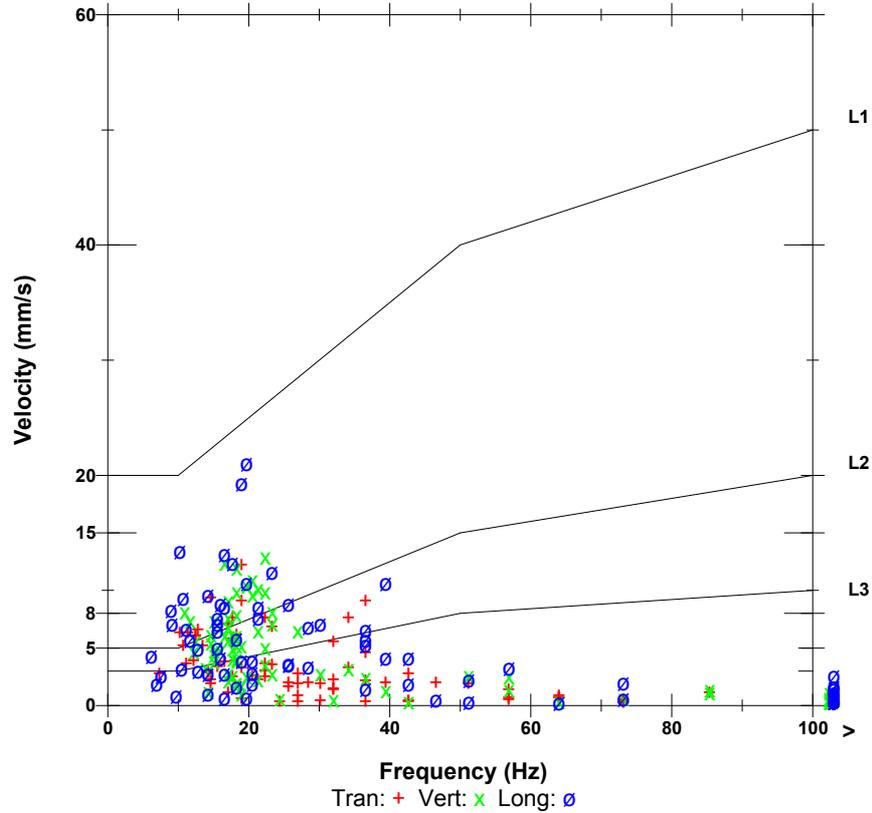
Volata sul piazzale a quota 785 m.  
 Esplosivo: 1775 kg  
 Detonatori: 265  
 Fori: 125  
 Lunghezza fori: 7 m  
 2 cariche per foro

**Post Event Notes**

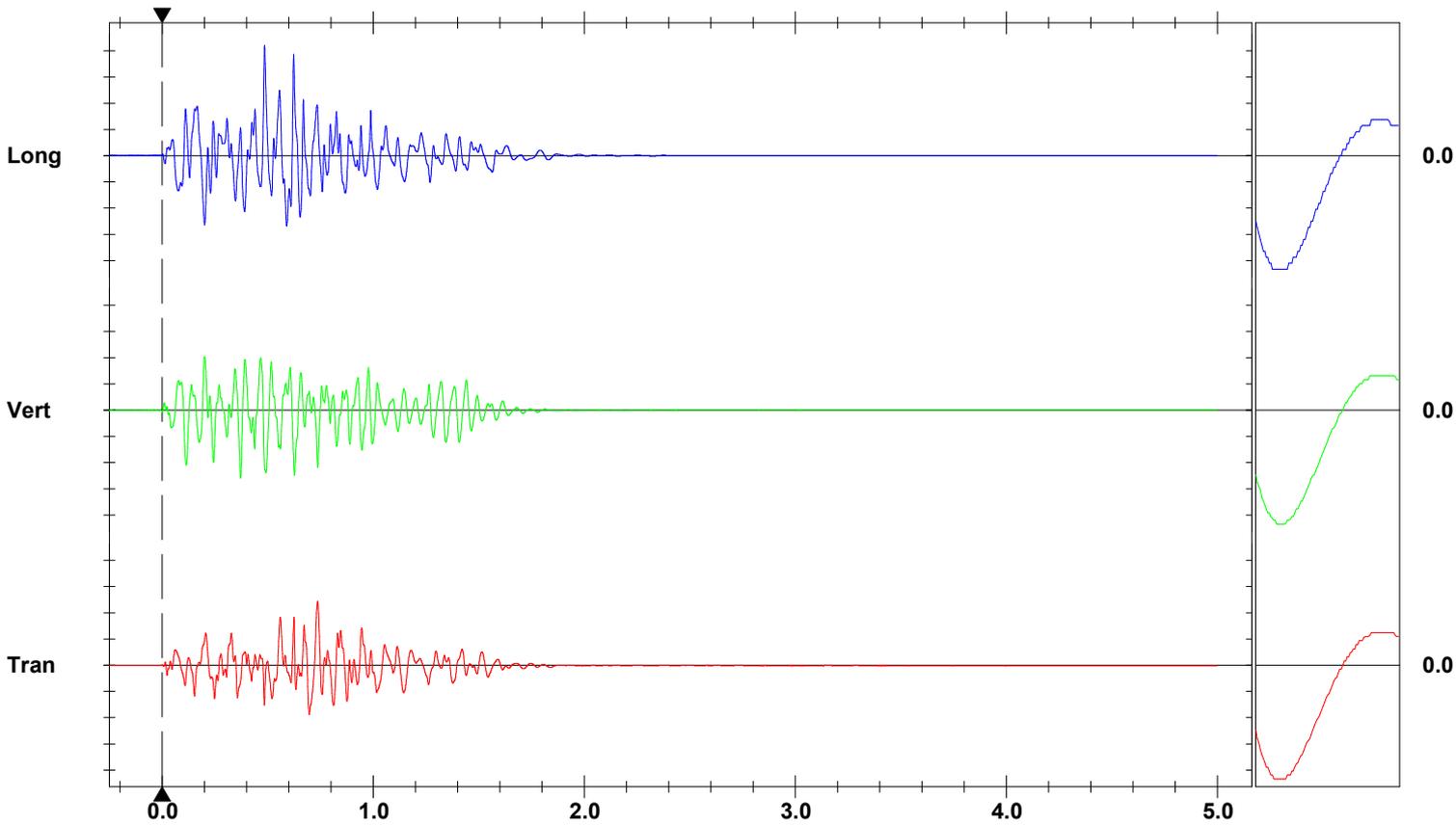
Distanza del geofono dal baricentro 48 m.  
 CPD = 14.58 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	12.2	13.0	21.1	mm/s
ZC Freq	18	22	19	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.737	0.372	0.486	sec
Peak Acceleration	0.292	0.265	0.345	g
Peak Displacement	0.0990	0.110	0.184	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.3	8.3	8.5	Hz
Overswing Ratio	3.6	3.5	3.5	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 24.9 mm/s at 0.486 sec



Time Scale: 0.20 sec/div Amplitude Scale: Geo: 5.00 mm/s/div  
 Trigger =

Sensorcheck

**Date/Time** Tran at 09:18:37 May 21, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.4 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HY24.J10

**Notes**

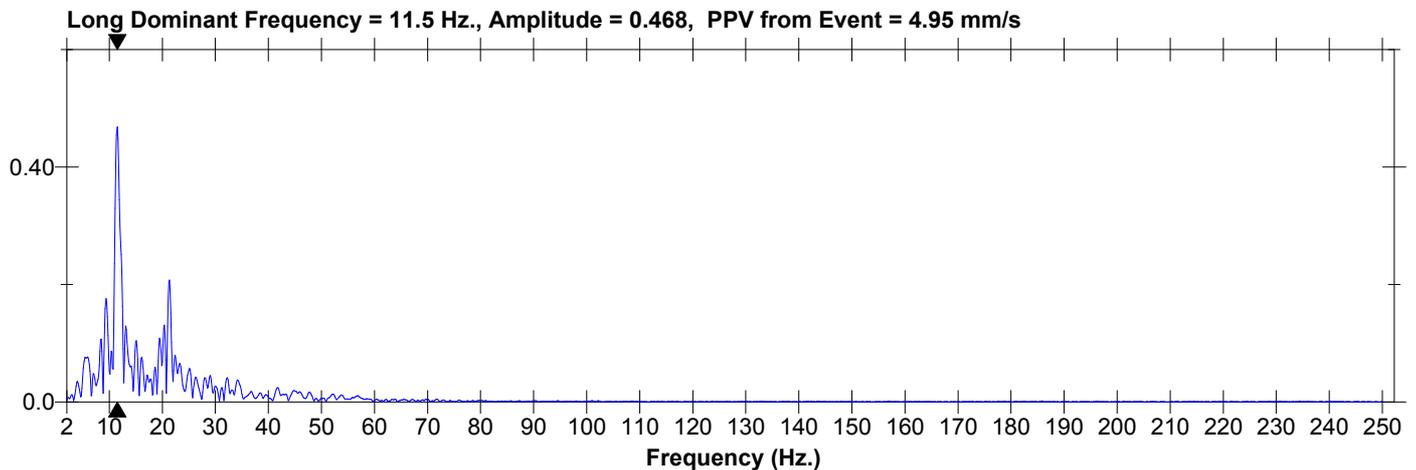
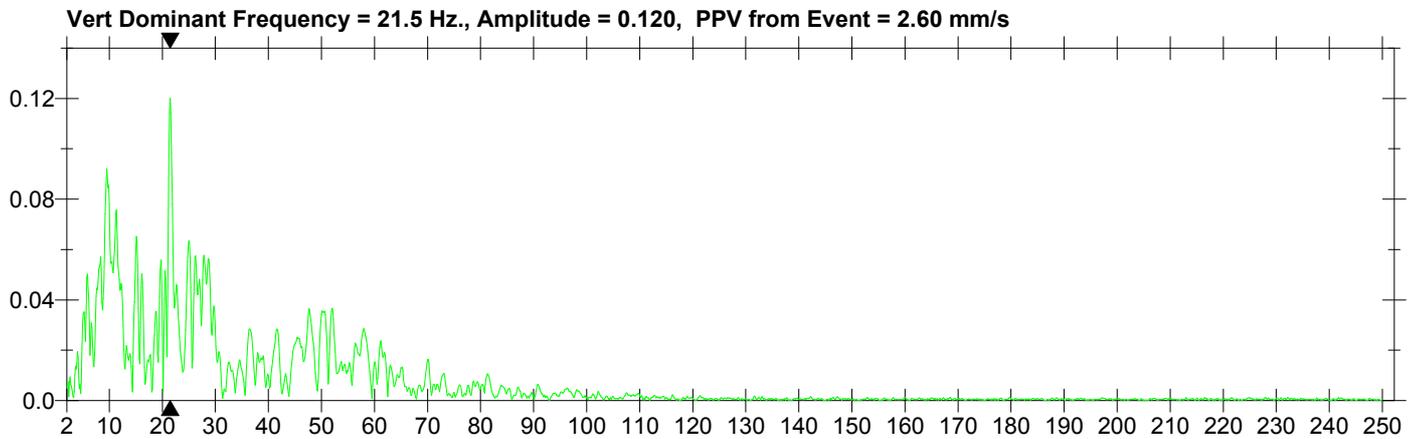
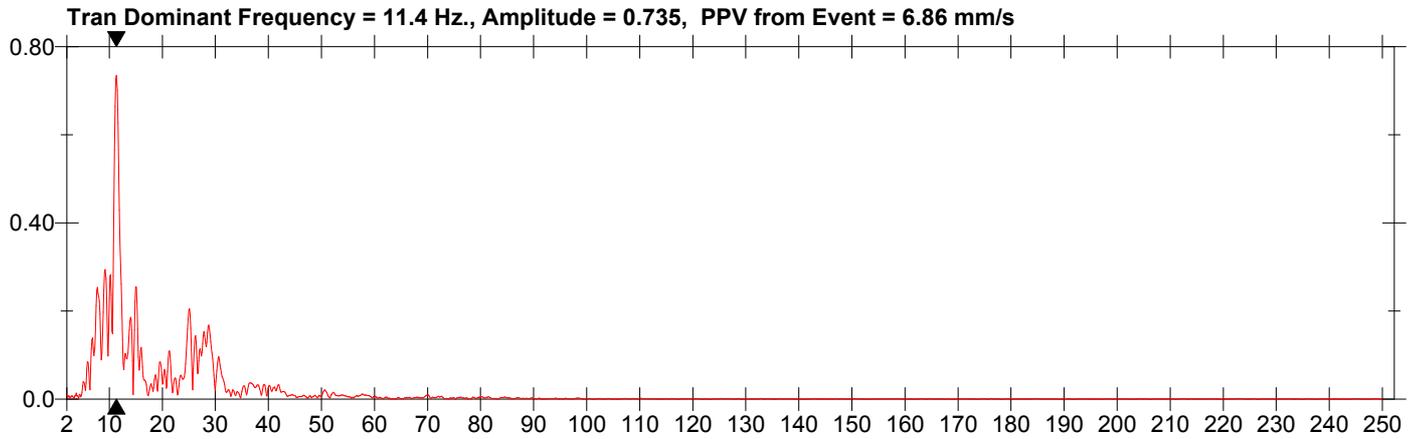
Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: May 21, 2019 10:49:26 (V8.12)

**Extended Notes**

Volata sul piazzale a quota 800 m.  
 Esplosivo: 1475 kg  
 Detonatori: 109  
 Fori: 32  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 110 m.  
 CPD = 22.92 kg.



**Date/Time** Tran at 09:18:37 May 21, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.4 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HY24.J10

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: May 21, 2019 10:49:26 (V8.12)

**Extended Notes**

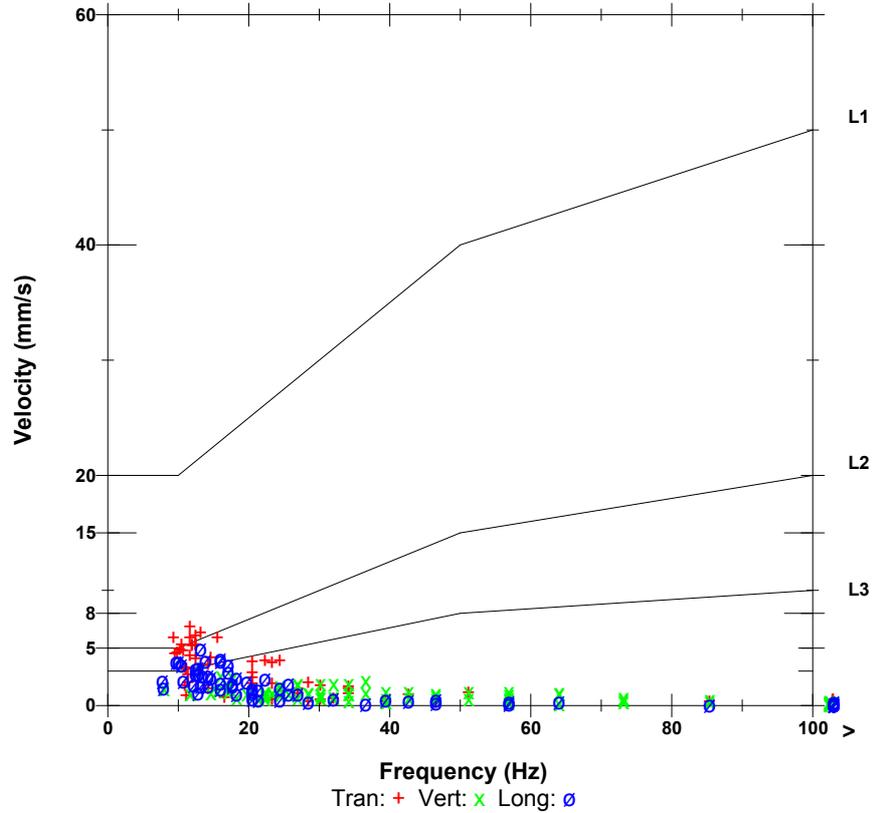
Volata sul piazzale a quota 800 m.  
 Esplosivo: 1475 kg  
 Detonatori: 109  
 Fori: 32  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

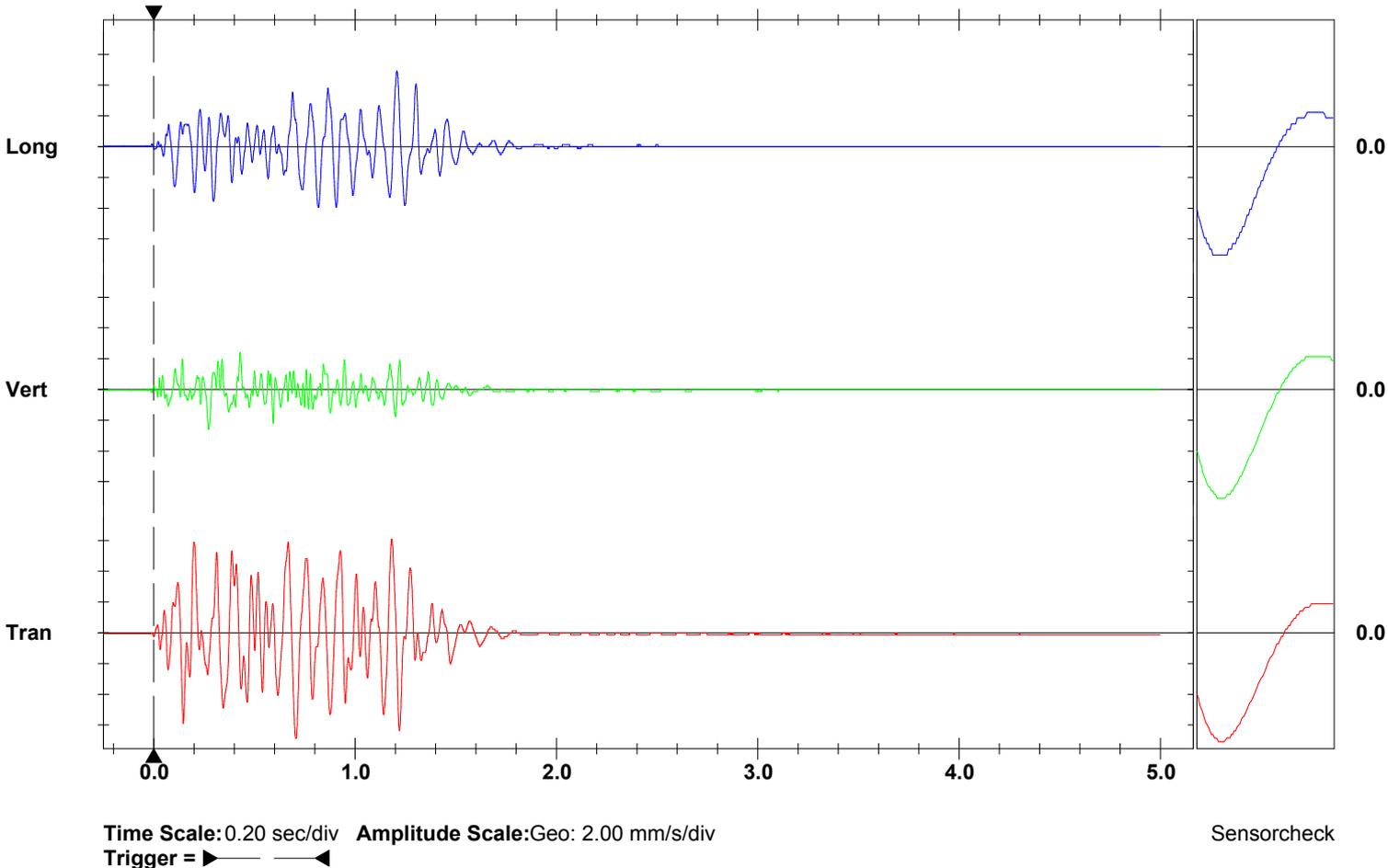
Distanza del geofono dal baricentro 110 m.  
 CPD = 22.92 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	6.86	2.60	4.95	mm/s
ZC Freq	12	17	12	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.705	0.272	1.208	sec
Peak Acceleration	0.0795	0.0530	0.0530	g
Peak Displacement	0.0888	0.0241	0.0591	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.0	8.3	8.5	Hz
Overswing Ratio	3.8	3.5	3.5	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 7.10 mm/s at 0.706 sec



**Date/Time** Vert at 09:55:25 May 22, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HY40.WD0

**Notes**

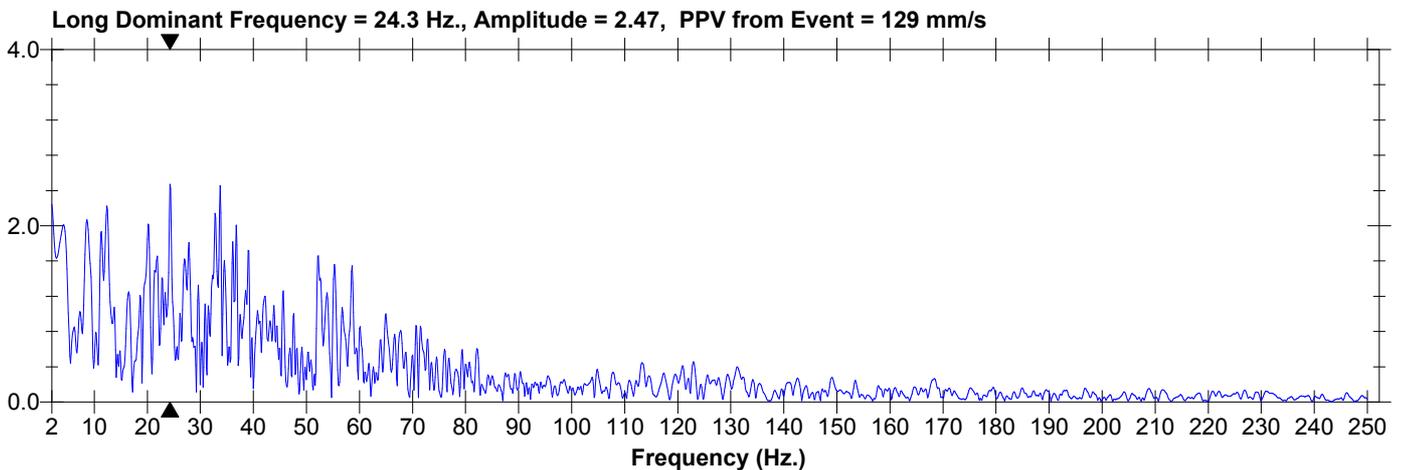
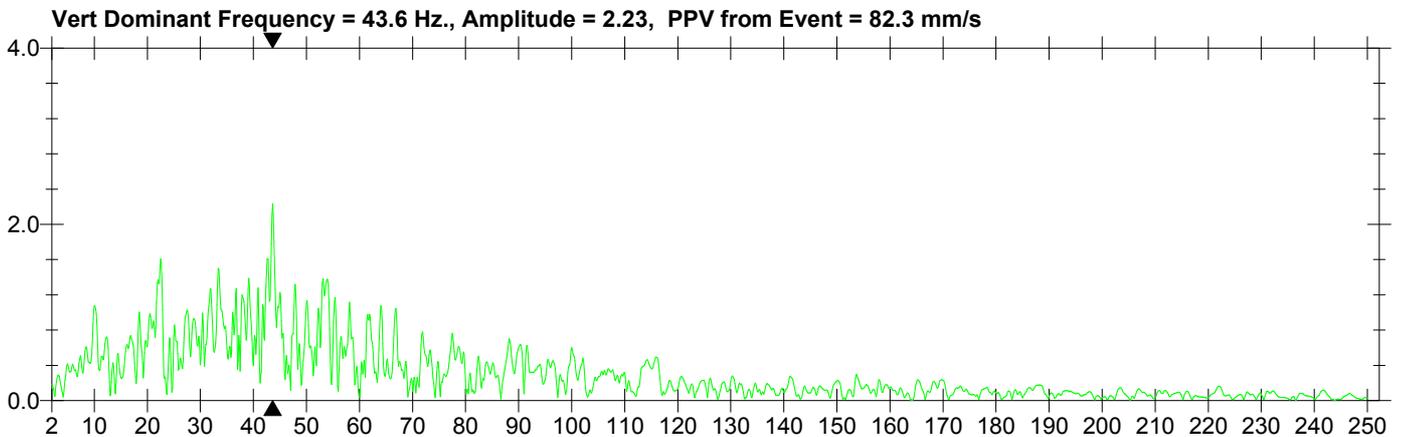
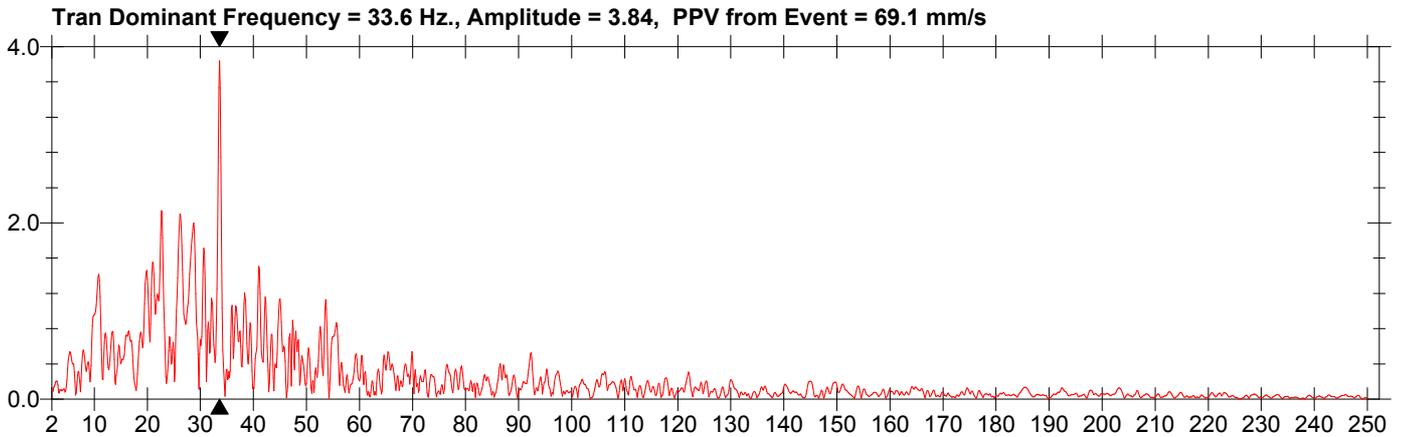
Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: May 22, 2019 10:52:38 (V8.12)

**Extended Notes**

Volata sul piazzale a quota 800 m.  
 Esplosivo: 1800 kg  
 Detonatori: 142  
 Fori: 43  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 15 m.  
 CPD = 20.82 kg.



**Date/Time** Vert at 09:55:25 May 22, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HY40.WD0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: May 22, 2019 10:52:38 (V8.12)

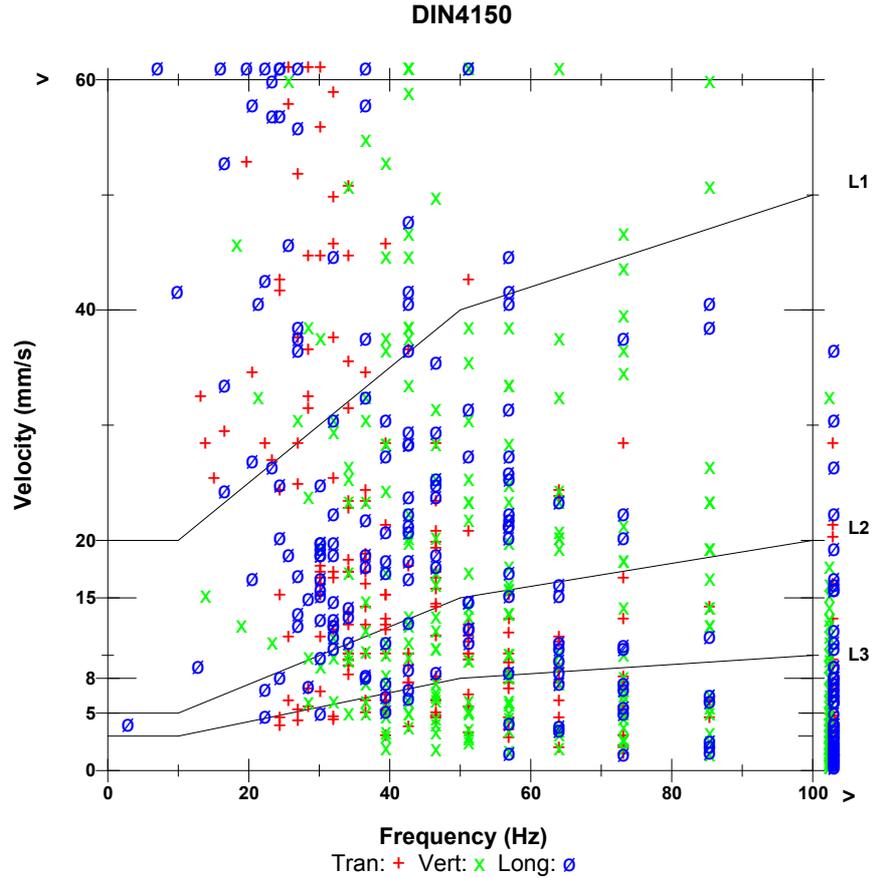
**Extended Notes**

Volata sul piazzale a quota 800 m.  
 Esplosivo: 1800 kg  
 Detonatori: 142  
 Fori: 43  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

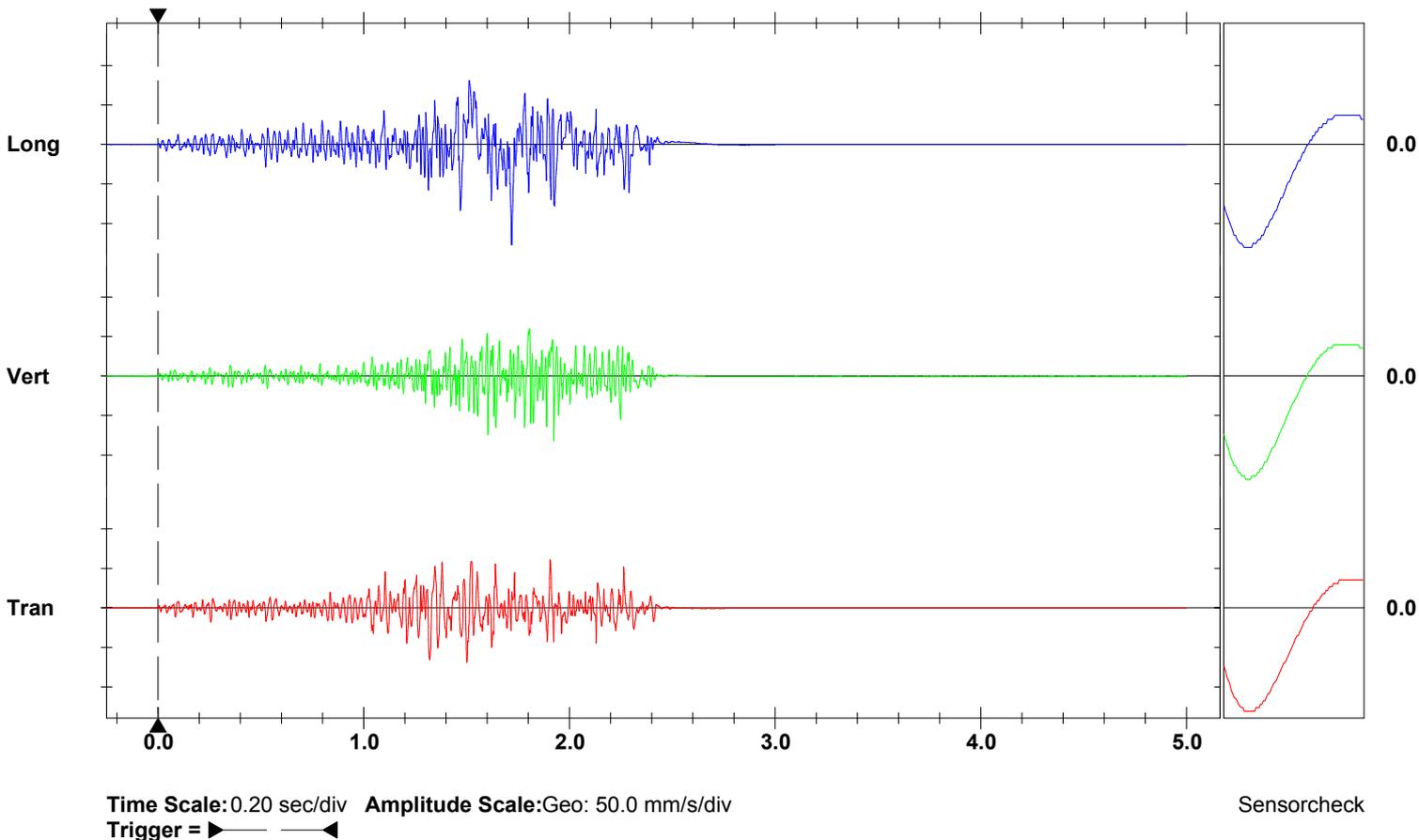
Distanza del geofono dal baricentro 15 m.  
 CPD = 20.82 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	69.1	82.3	***	mm/s
ZC Freq	26	51	16	Hz
Time (Rel. to Trig)	1.503	1.925	1.720	sec
Peak Acceleration	2.76	7.00	5.62	g
Peak Displacement	0.389	0.394	1.43	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.0	8.5	8.3	Hz
Overswing Ratio	3.8	3.5	3.7	



**Peak Vector Sum** \*\*\* mm/s at 1.722 sec

\*\*\* : Out of Range



**Date/Time** Vert at 09:49:50 May 30, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HYIT.Z20

### Notes

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: May 30, 2019 10:28:20 (V8.12)

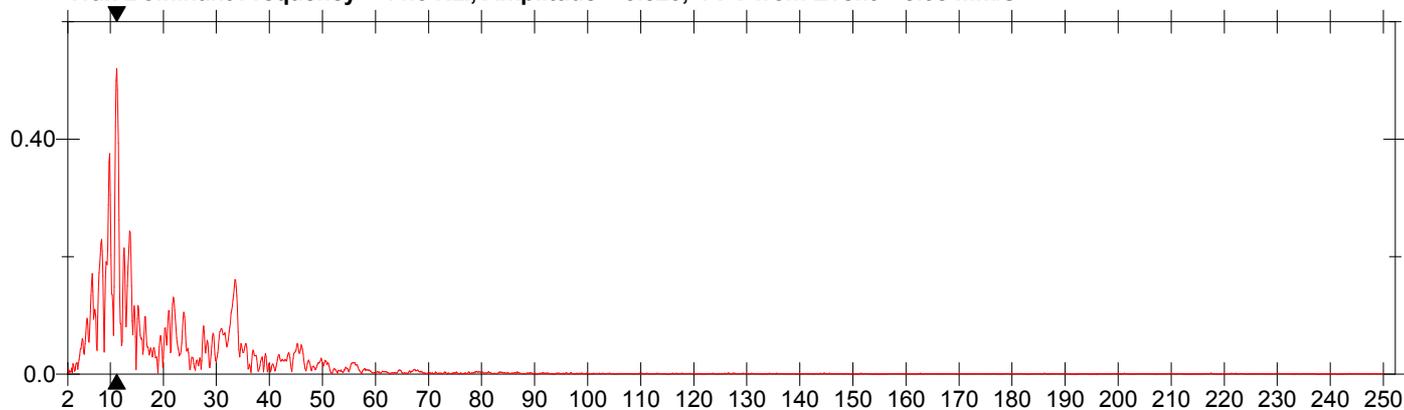
### Extended Notes

Volata sul piazzale a quota 785 m.  
 Esplosivo: 1575 kg  
 Detonatori: 115  
 Fori: 34  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

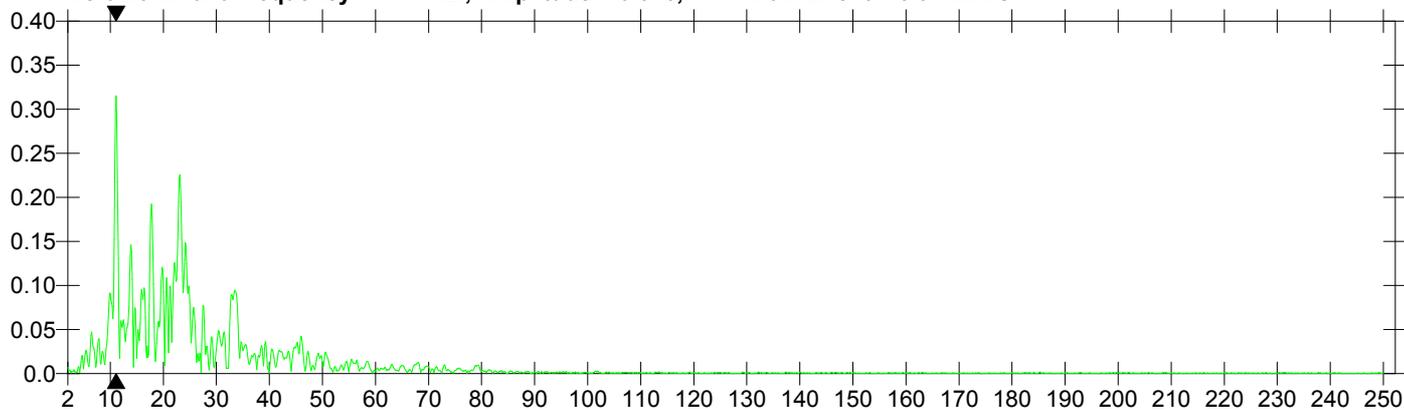
### Post Event Notes

Distanza del geofono dal baricentro 75 m di fronte alla volata.  
 CPD = 22.92 kg.

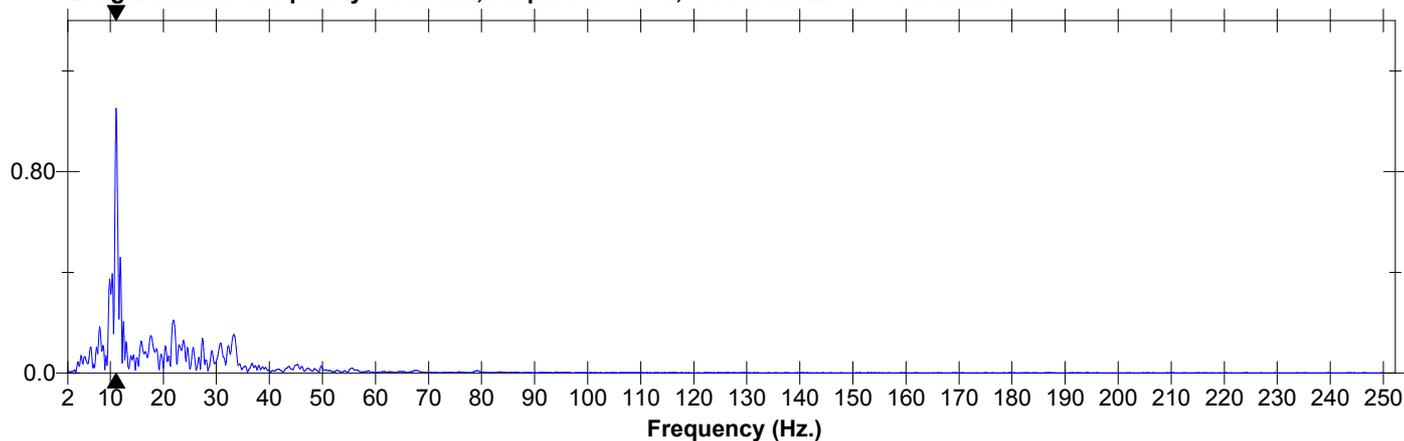
**Tran Dominant Frequency = 11.3 Hz., Amplitude = 0.520, PPV from Event = 5.08 mm/s**



**Vert Dominant Frequency = 11.1 Hz., Amplitude = 0.315, PPV from Event = 3.94 mm/s**



**Long Dominant Frequency = 11.1 Hz., Amplitude = 1.05, PPV from Event = 7.11 mm/s**



**Date/Time** Vert at 09:49:50 May 30, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HYIT.Z20

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: May 30, 2019 10:28:20 (V8.12)

**Extended Notes**

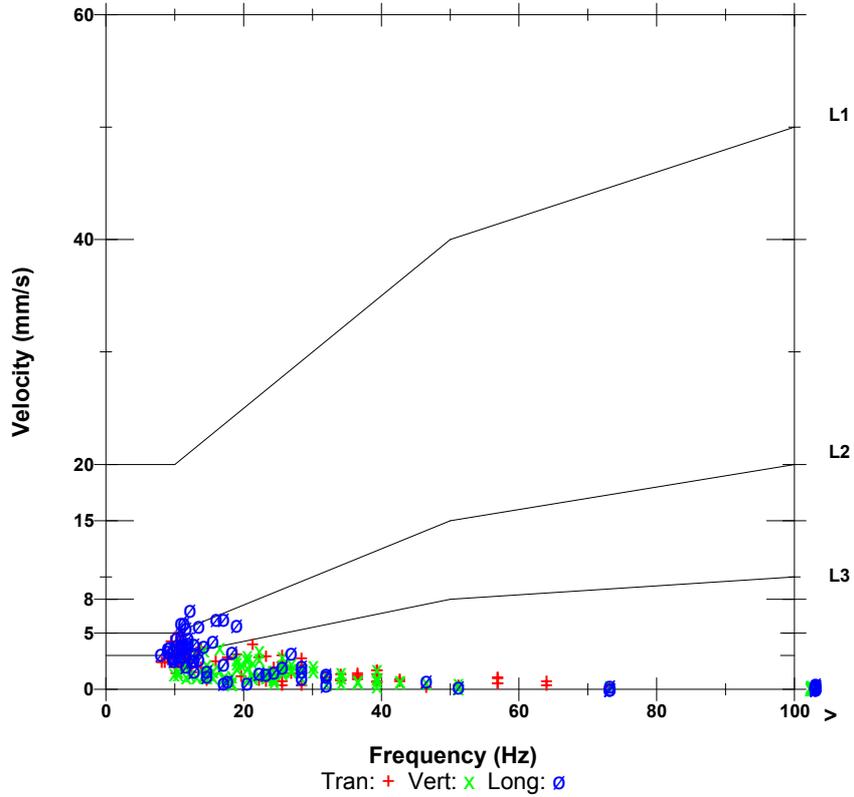
Volata sul piazzale a quota 785 m.  
 Esplosivo: 1575 kg  
 Detonatori: 115  
 Fori: 34  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

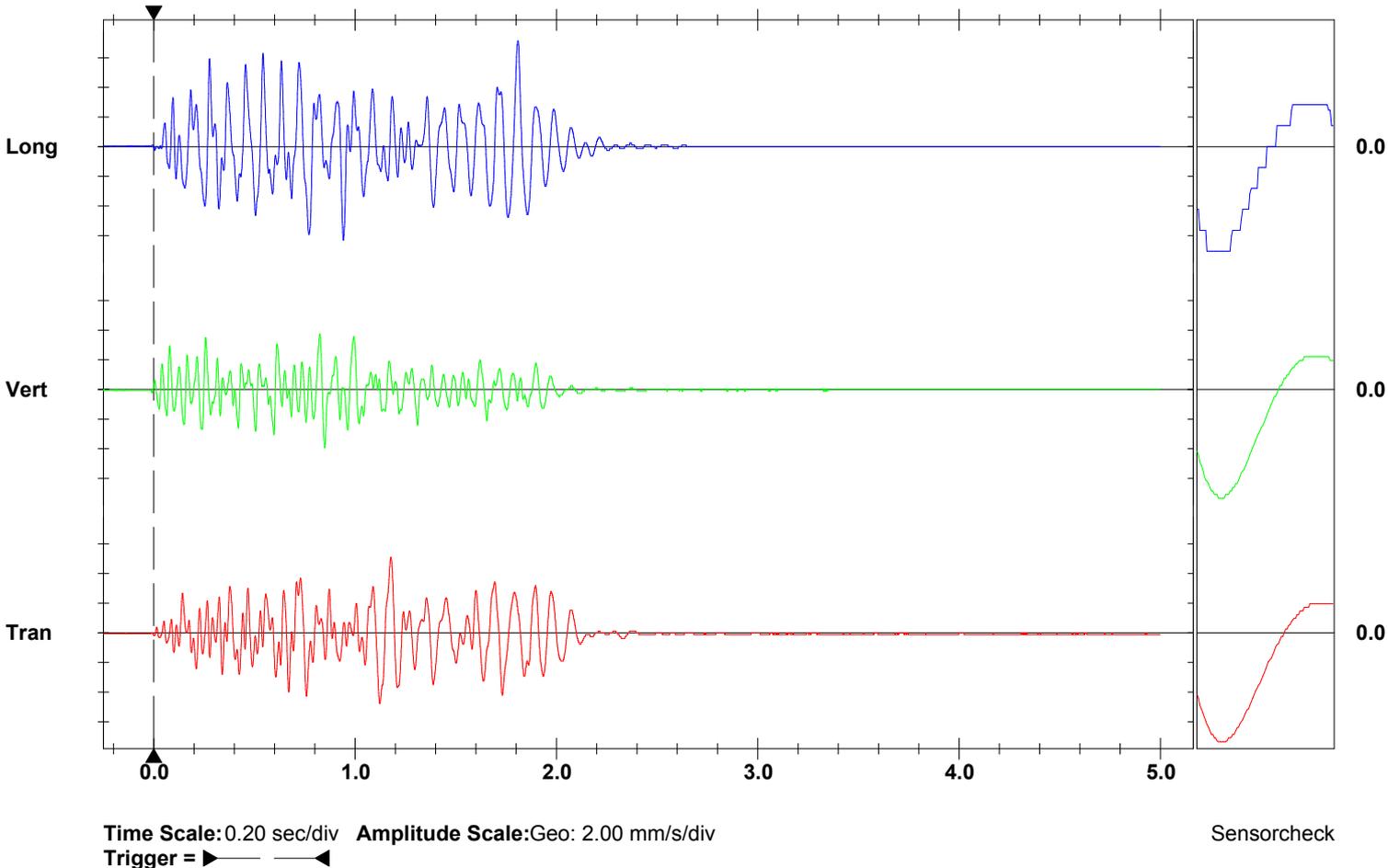
Distanza del geofono dal baricentro 75 m di fronte alla volata.  
 CPD = 22.92 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	5.08	3.94	7.11	mm/s
ZC Freq	11	12	12	Hz
Time (Rel. to Trig)	1.178	0.850	1.808	sec
Peak Acceleration	0.0663	0.0729	0.0862	g
Peak Displacement	0.0708	0.0394	0.0874	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.0	8.5	8.8	Hz
Overswing Ratio	3.8	3.5	3.5	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 7.37 mm/s at 1.808 sec



**Date/Time** MicL at 10:40:03 May 31, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HYKQ.YR0

**Notes**

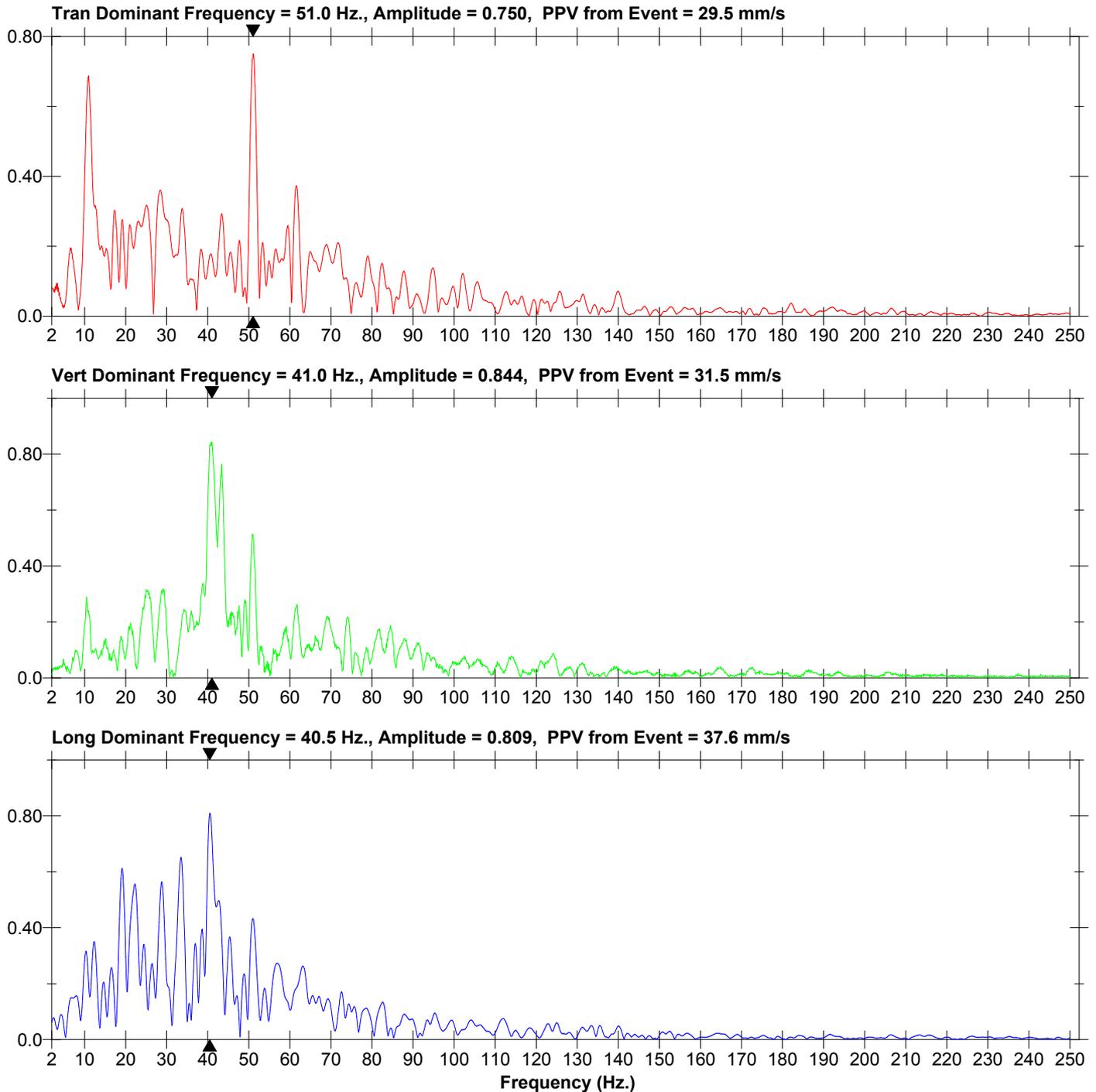
Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: May 31, 2019 11:43:07 (V8.12)

**Extended Notes**

Volata sui gradoni a quota 800-830 m.  
 Esplosivo: 925 kg  
 Detonatori: 200  
 Fori: 114  
 Lunghezza fori: da 2 a 15 m  
 1-3 carich e per foro

**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 40 m.  
 CPD = 20.82 kg.



**Date/Time** MicL at 10:40:03 May 31, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HYKQ.YR0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: May 31, 2019 11:43:07 (V8.12)

**Extended Notes**

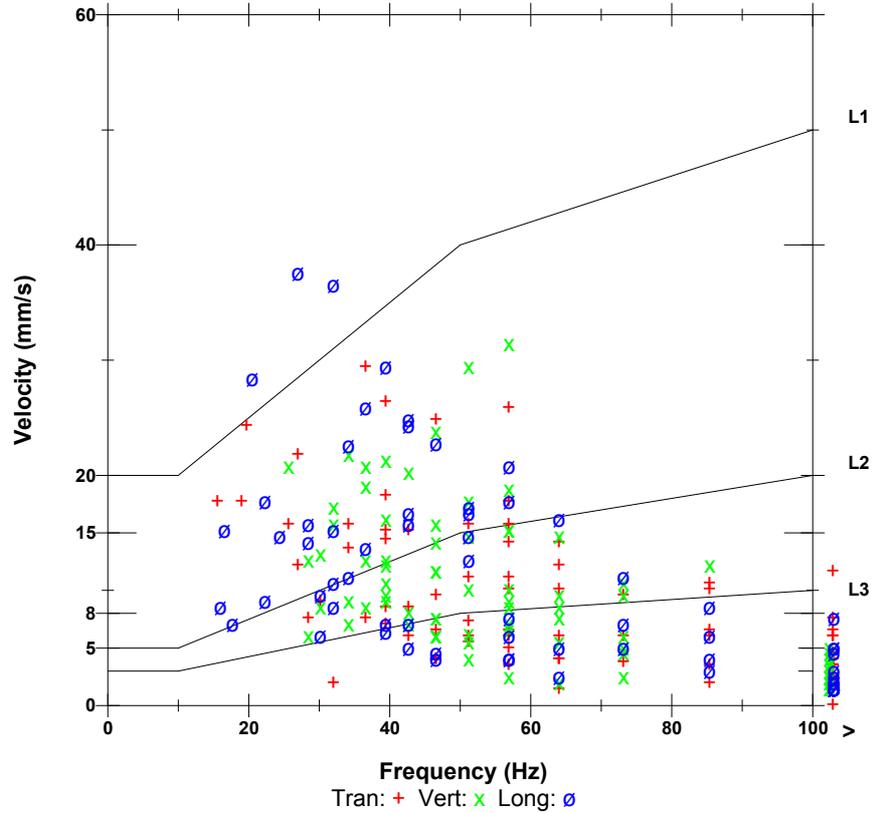
Volata sui gradoni a quota 800-830 m.  
 Esplosivo: 925 kg  
 Detonatori: 200  
 Fori: 114  
 Lunghezza fori: da 2 a 15 m  
 1-3 carichi e per foro

**Post Event Notes**

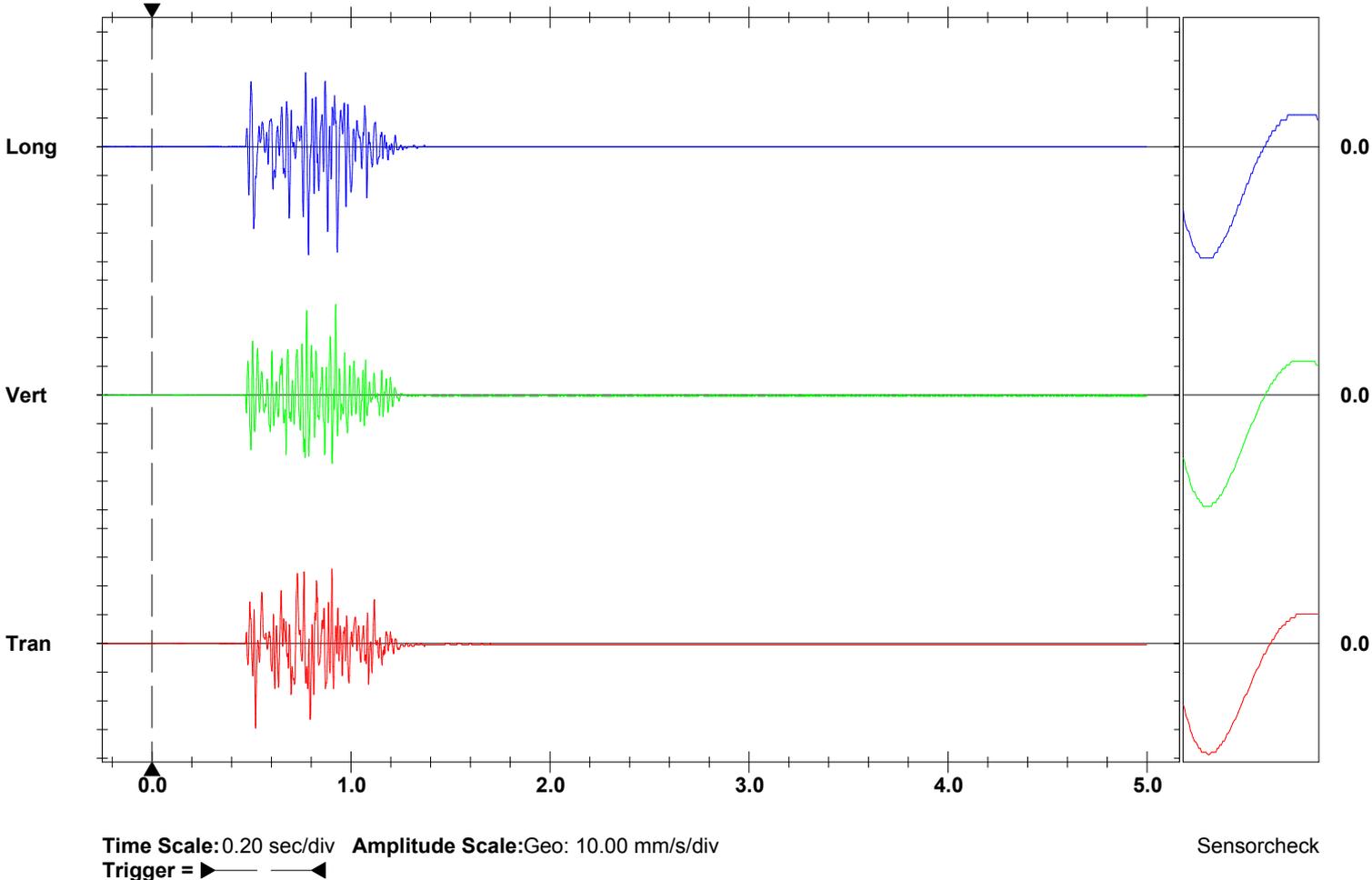
Distanza del geofono dal baricentro 40 m.  
 CPD = 20.82 kg.

	Tran	Vert	Long	
<b>PPV</b>	29.5	31.5	37.6	mm/s
<b>ZC Freq</b>	37	57	27	Hz
<b>Time (Rel. to Trig)</b>	0.521	0.924	0.787	sec
<b>Peak Acceleration</b>	1.06	1.27	1.22	g
<b>Peak Displacement</b>	0.152	0.111	0.175	mm
<b>Sensorcheck</b>	Passed	Passed	Passed	
<b>Frequency</b>	7.8	8.3	8.3	Hz
<b>Overswing Ratio</b>	3.8	3.5	3.8	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 41.1 mm/s at 0.788 sec



**Date/Time** Vert at 09:29:45 June 18, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HZHZ.PL0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: June 18, 2019 10:37:31 (V8.12)

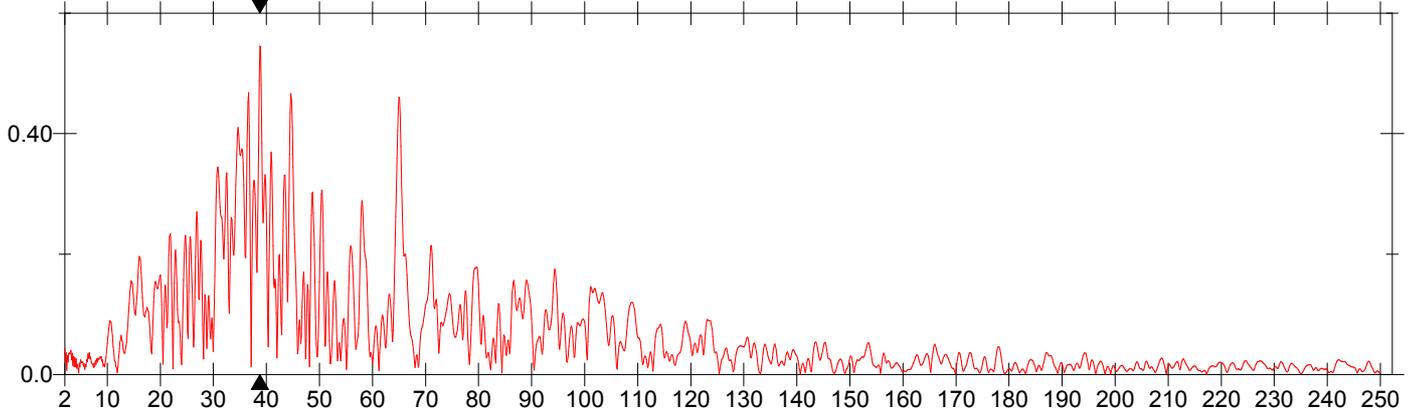
**Extended Notes**

Volata sui gradoni a quota 800 m.  
 Esplosivo: 1000 kg  
 Detonatori: 230  
 Fori: 95  
 Lunghezza fori: 3 - 15 m  
 1 - 3 cariche per foro

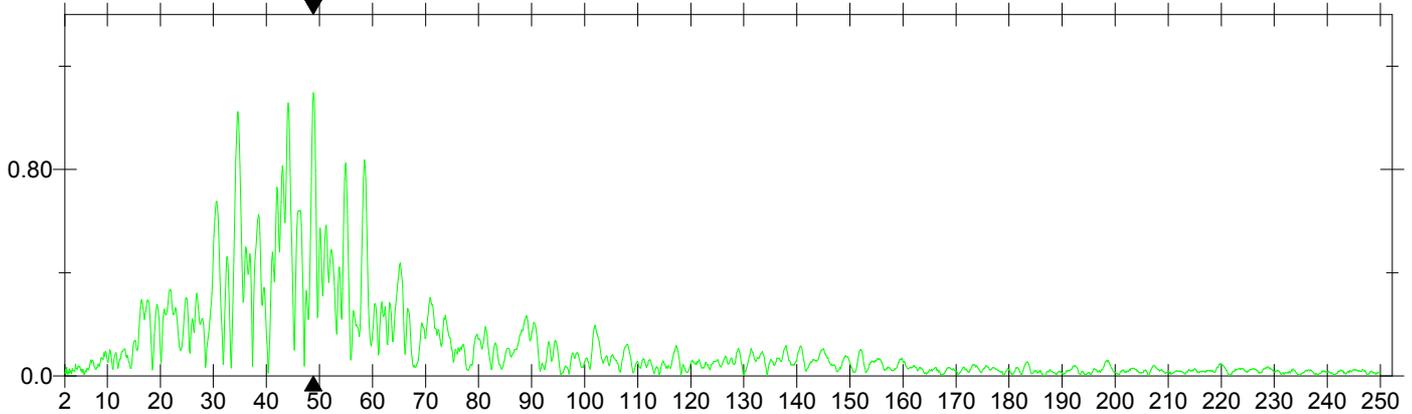
**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 25 m sulla rampa a monte.  
 CPD = 13.88 kg.

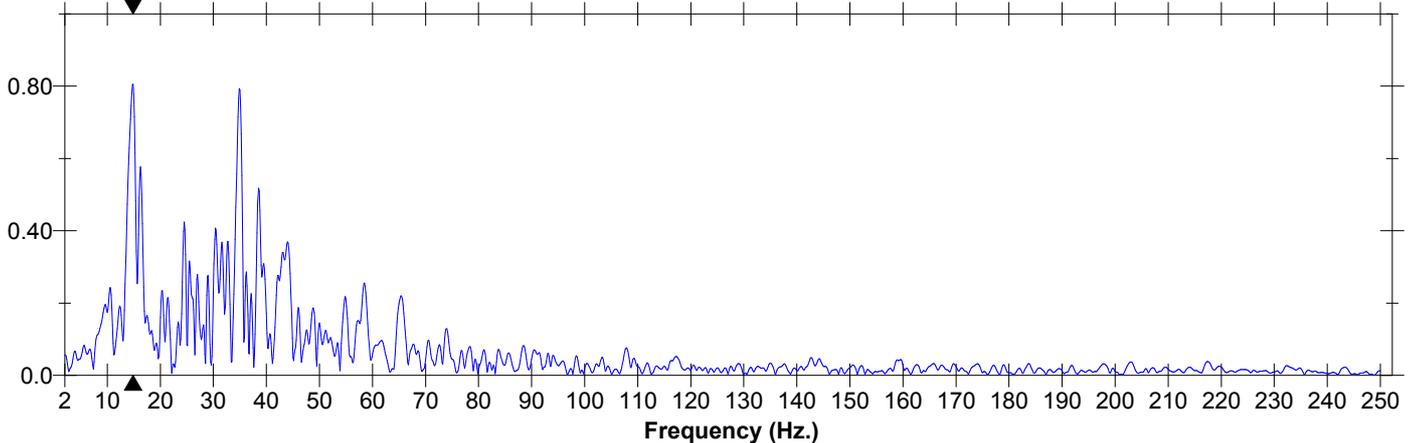
**Tran Dominant Frequency = 38.8 Hz., Amplitude = 0.545, PPV from Event = 24.9 mm/s**



**Vert Dominant Frequency = 48.9 Hz., Amplitude = 1.10, PPV from Event = 37.6 mm/s**



**Long Dominant Frequency = 14.9 Hz., Amplitude = 0.805, PPV from Event = 29.5 mm/s**



**Date/Time** Vert at 09:29:45 June 18, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819HZHZ.PL0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: June 18, 2019 10:37:31 (V8.12)

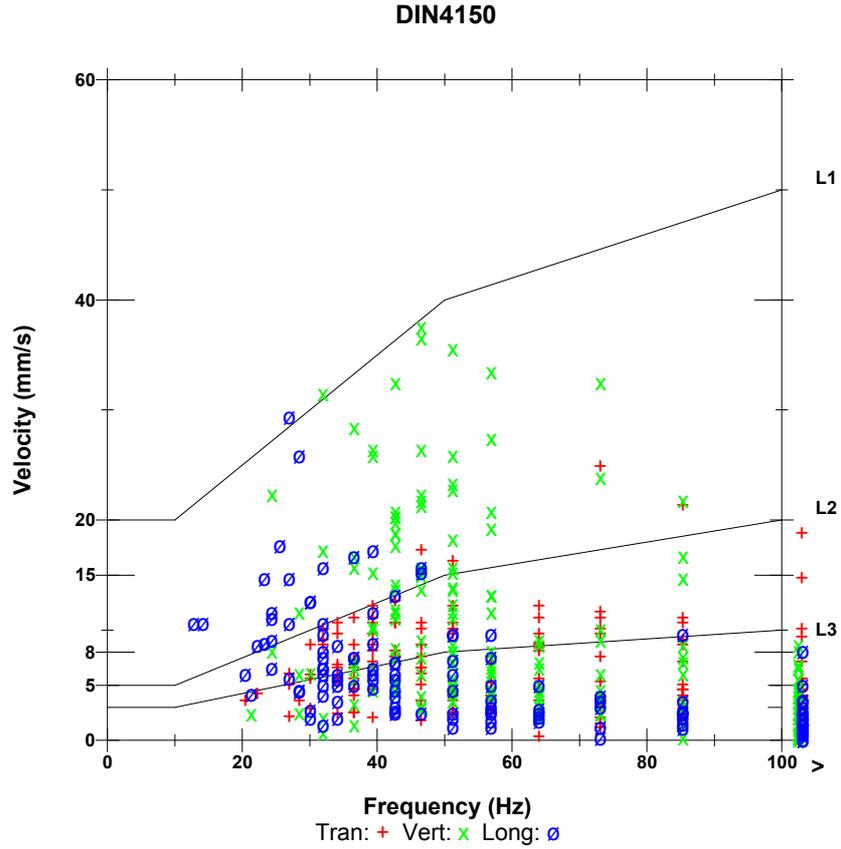
**Extended Notes**

Volata sui gradoni a quota 800 m.  
 Esplosivo: 1000 kg  
 Detonatori: 230  
 Fori: 95  
 Lunghezza fori: 3 - 15 m  
 1 - 3 cariche per foro

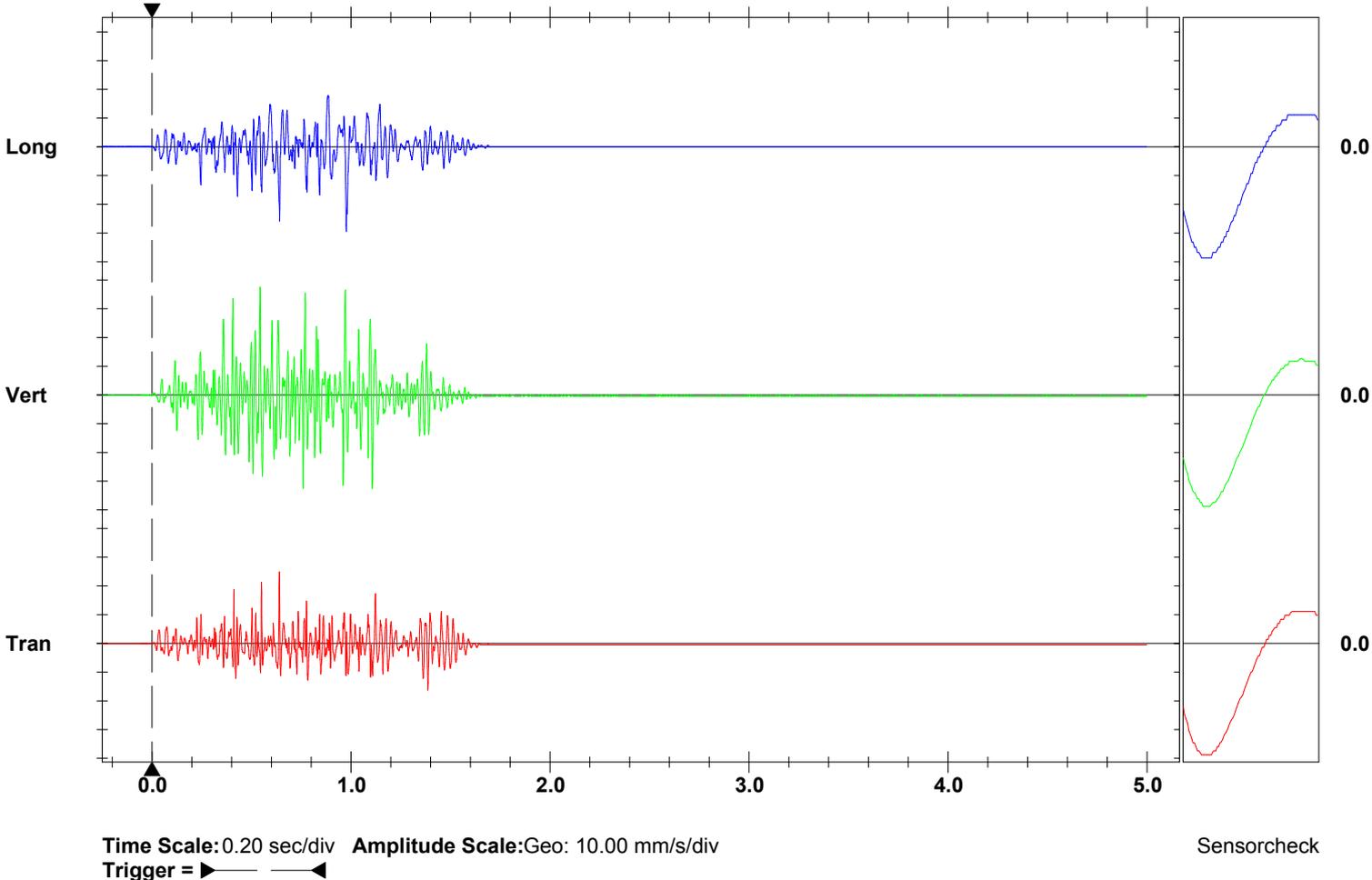
**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 25 m sulla rampa a monte.  
 CPD = 13.88 kg.

	Tran	Vert	Long	
<b>PPV</b>	24.9	37.6	29.5	mm/s
<b>ZC Freq</b>	73	47	26	Hz
<b>Time (Rel. to Trig)</b>	0.641	0.544	0.978	sec
<b>Peak Acceleration</b>	1.22	1.70	1.11	g
<b>Peak Displacement</b>	0.0665	0.134	0.144	mm
<b>Sensorcheck</b>	Passed	Passed	Passed	
<b>Frequency</b>	8.3	8.5	8.3	Hz
<b>Overswing Ratio</b>	3.6	3.3	3.8	



**Peak Vector Sum** 38.6 mm/s at 0.544 sec



**Date/Time** Tran at 09:54:05 July 4, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819I0BN.I50

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: July 4, 2019 10:59:22 (V8.12)

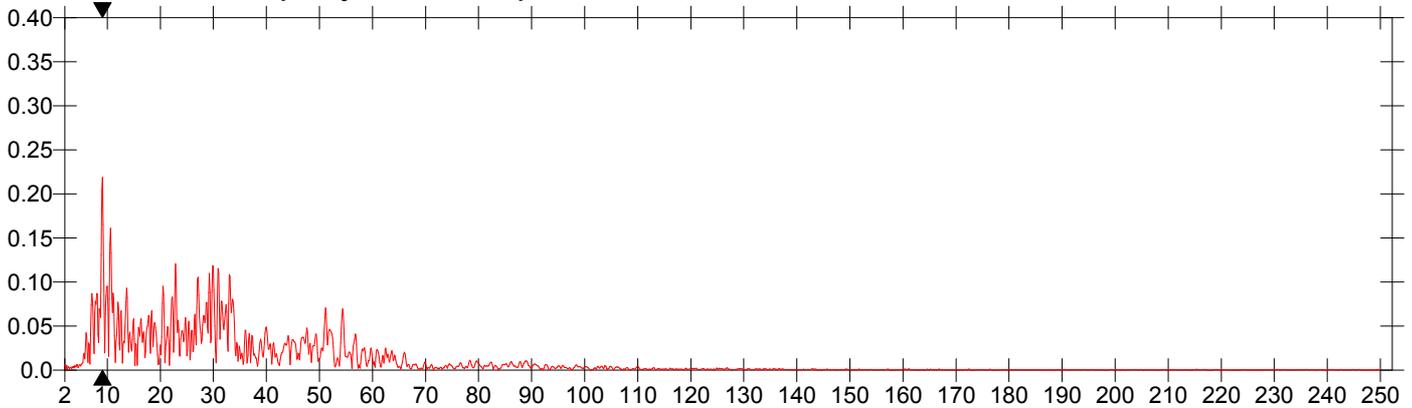
**Extended Notes**

Volata sui gradoni a quota 785 m.  
 Esplosivo: 2050 kg  
 Detonatori: 178  
 Fori: 70  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

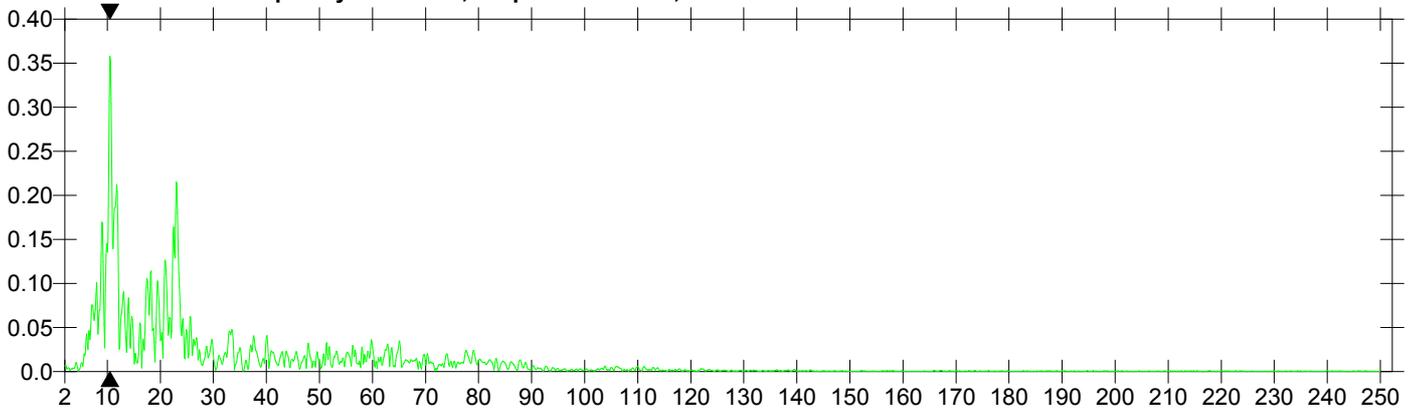
**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 100 m.  
 CPD = 18.74 kg.

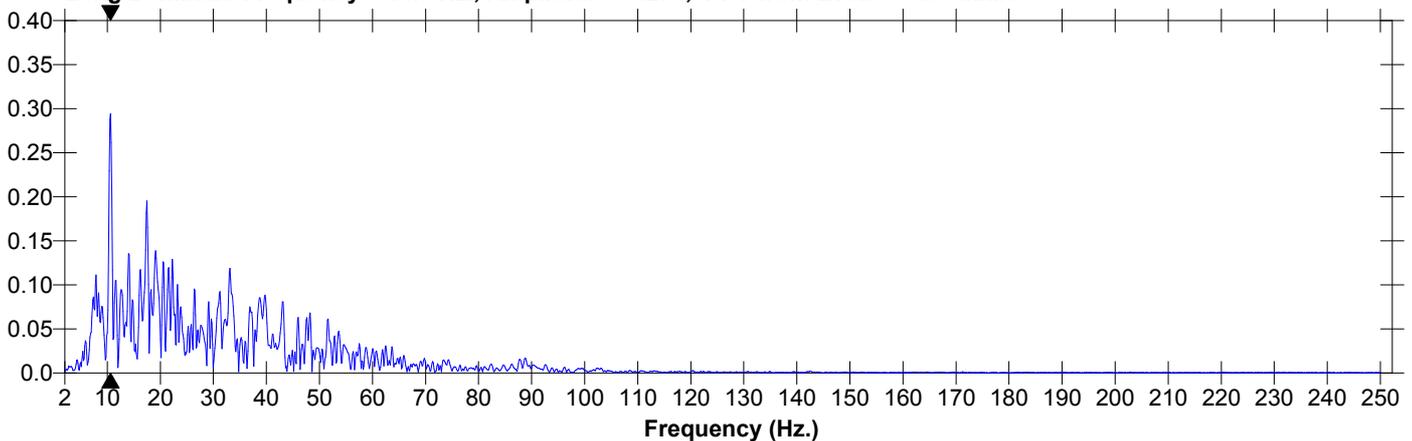
**Tran Dominant Frequency = 9.13 Hz., Amplitude = 0.219, PPV from Event = 2.79 mm/s**



**Vert Dominant Frequency = 10.5 Hz., Amplitude = 0.358, PPV from Event = 3.68 mm/s**



**Long Dominant Frequency = 10.6 Hz., Amplitude = 0.294, PPV from Event = 5.65 mm/s**



**Date/Time** Tran at 09:54:05 July 4, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819I0BN.I50

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: July 4, 2019 10:59:22 (V8.12)

**Extended Notes**

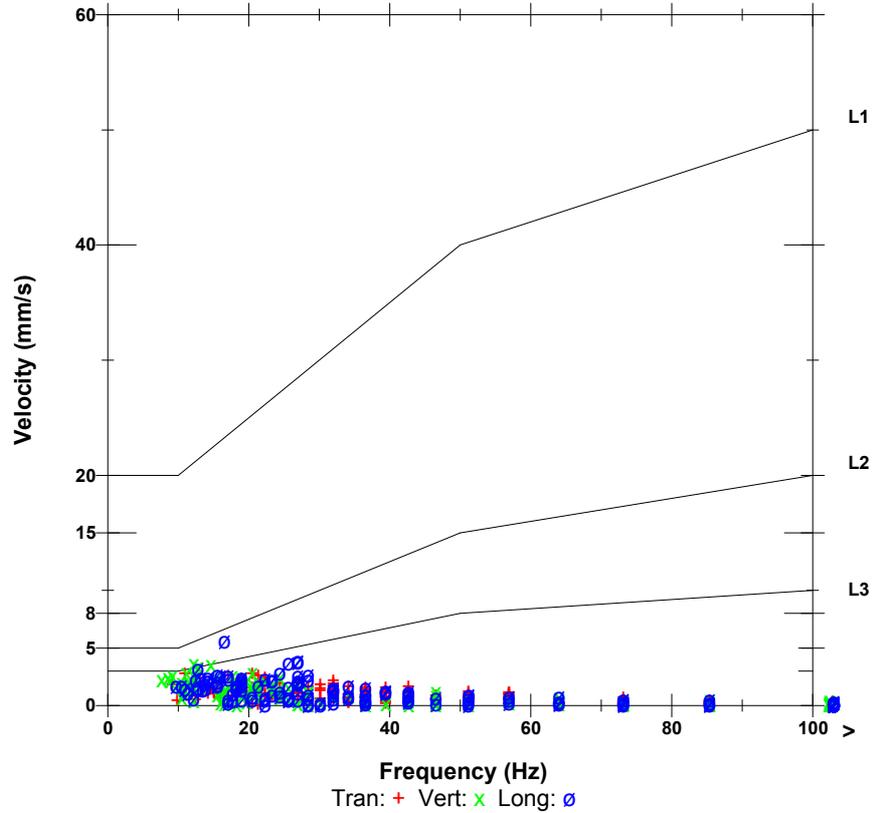
Volata sui gradoni a quota 785 m.  
 Esplosivo: 2050 kg  
 Detonatori: 178  
 Fori: 70  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

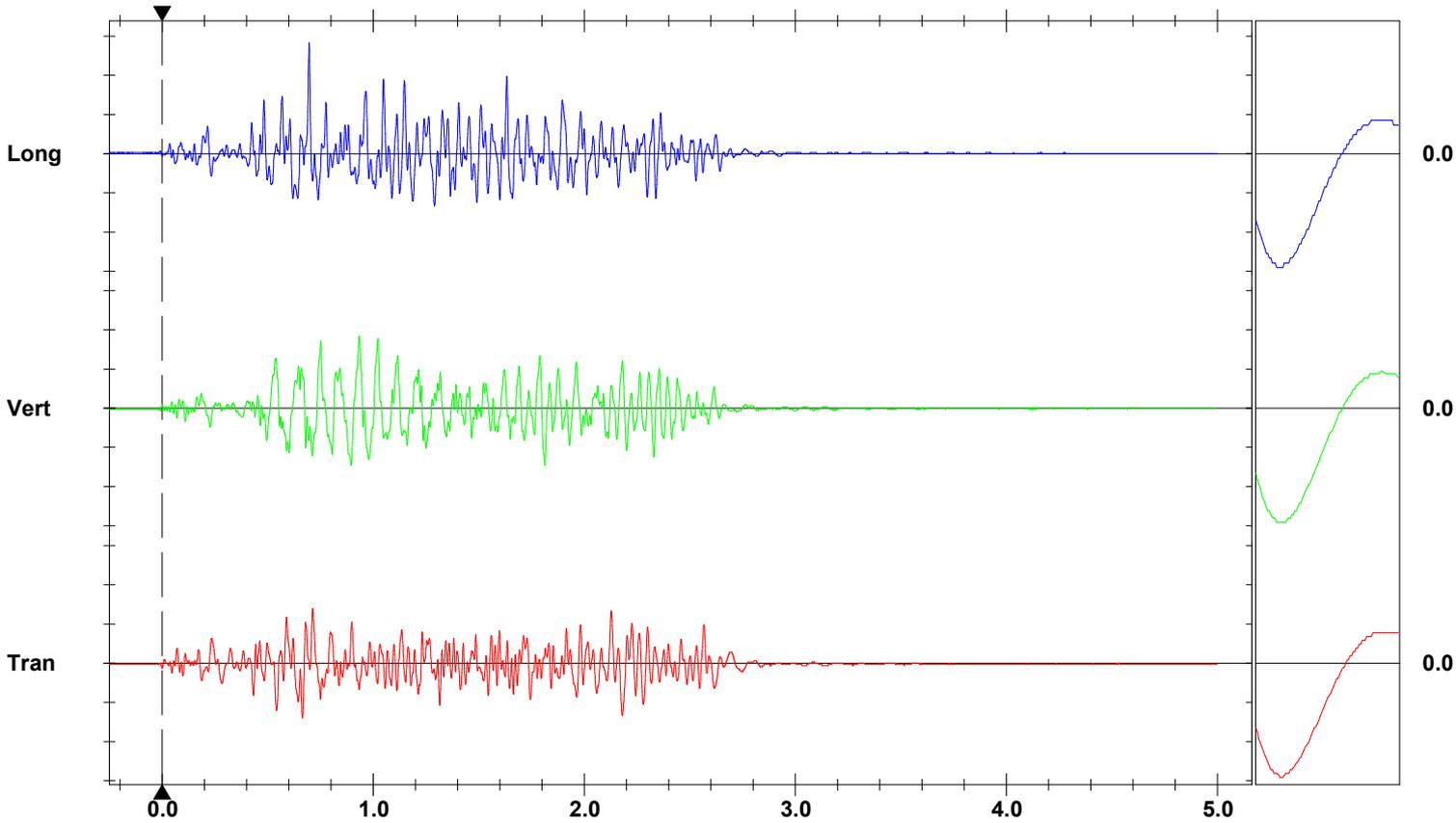
Distanza del geofono dal baricentro 100 m.  
 CPD = 18.74 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	2.79	3.68	5.65	mm/s
ZC Freq	11	12	17	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.665	0.935	0.697	sec
Peak Acceleration	0.0597	0.0663	0.0862	g
Peak Displacement	0.0335	0.0406	0.0347	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.1	8.3	8.3	Hz
Overswing Ratio	3.8	3.3	3.4	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 5.86 mm/s at 0.697 sec



**Time Scale:** 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div  
**Trigger** =

Sensorcheck

**Date/Time** Long at 09:32:51 July 10, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819I0MQ.IR0

**Notes**

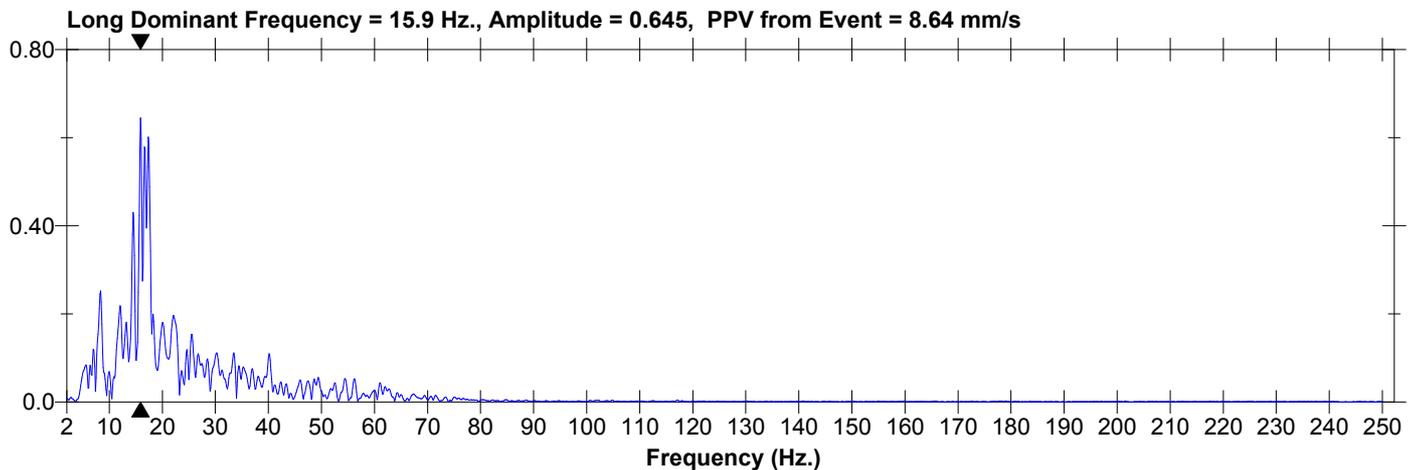
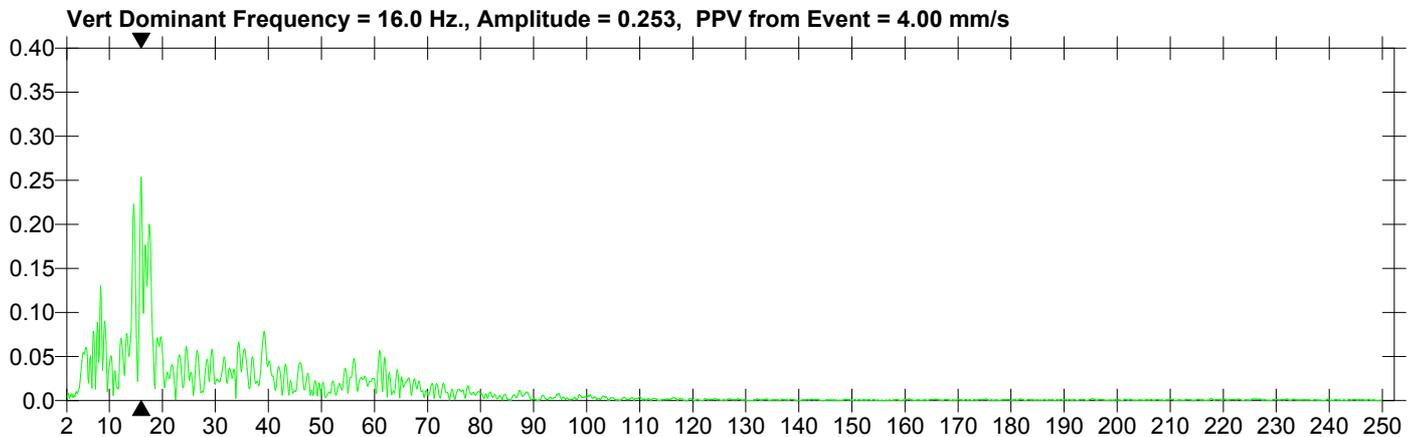
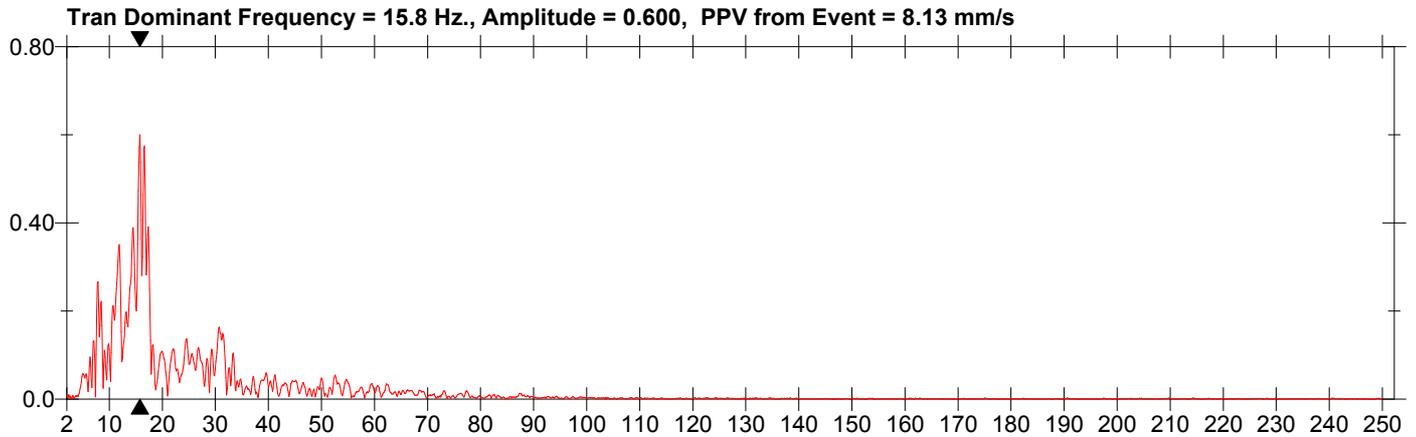
Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: July 10, 2019 10:29:45 (V8.12)

**Extended Notes**

Volata sui gradoni a quota 785 m.  
 Esplosivo: 1325 kg  
 Detonatori: 124  
 Fori: 56  
 Lunghezza fori: 7 m  
 2 cariche per foro

**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 70 m.  
 CPD = 14.58 kg.



**Date/Time** Long at 09:32:51 July 10, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819I0MQ.IR0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: July 10, 2019 10:29:45 (V8.12)

**Extended Notes**

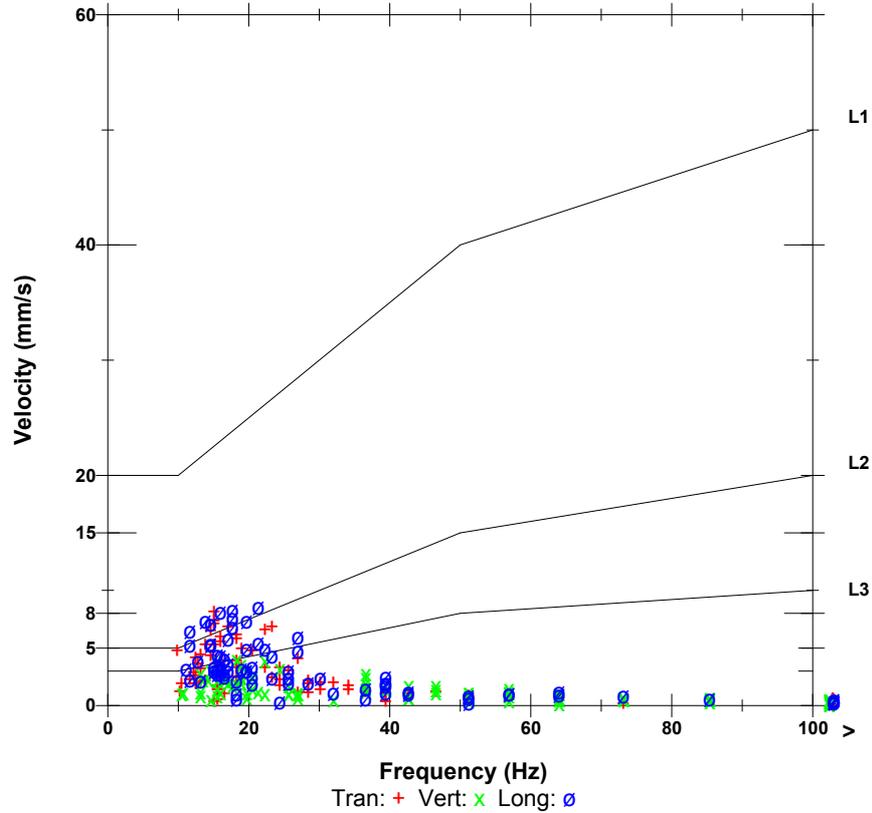
Volata sui gradoni a quota 785 m.  
 Esplosivo: 1325 kg  
 Detonatori: 124  
 Fori: 56  
 Lunghezza fori: 7 m  
 2 cariche per foro

**Post Event Notes**

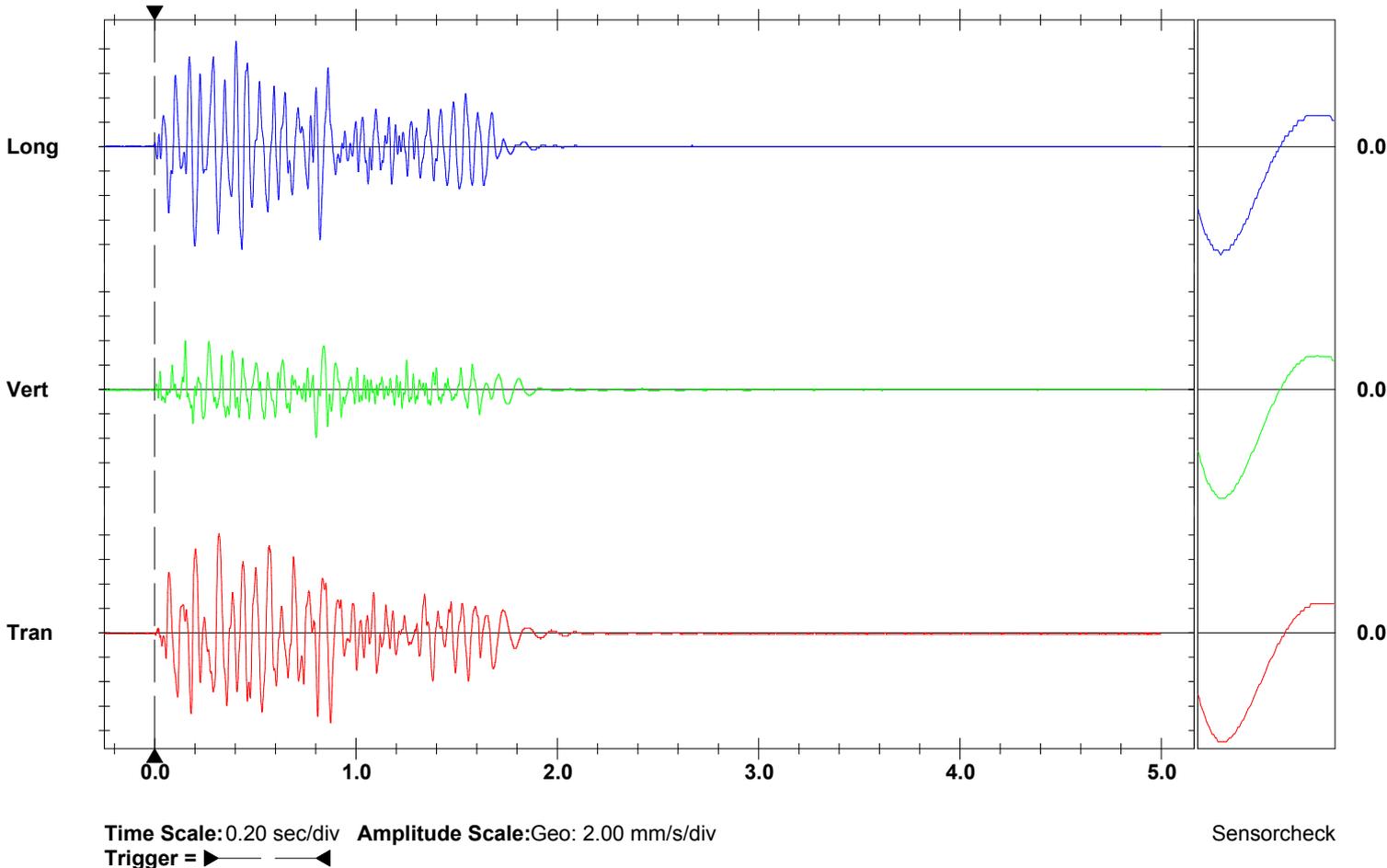
Distanza del geofono dal baricentro 70 m.  
 CPD = 14.58 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	8.13	4.00	8.64	mm/s
ZC Freq	15	18	21	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.320	0.153	0.404	sec
Peak Acceleration	0.146	0.0862	0.146	g
Peak Displacement	0.0897	0.0356	0.0812	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.0	8.3	8.3	Hz
Overswing Ratio	3.8	3.4	3.8	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 10.7 mm/s at 0.317 sec



**Date/Time** Long at 09:55:10 July 12, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819I0QG.VY0

**Notes**

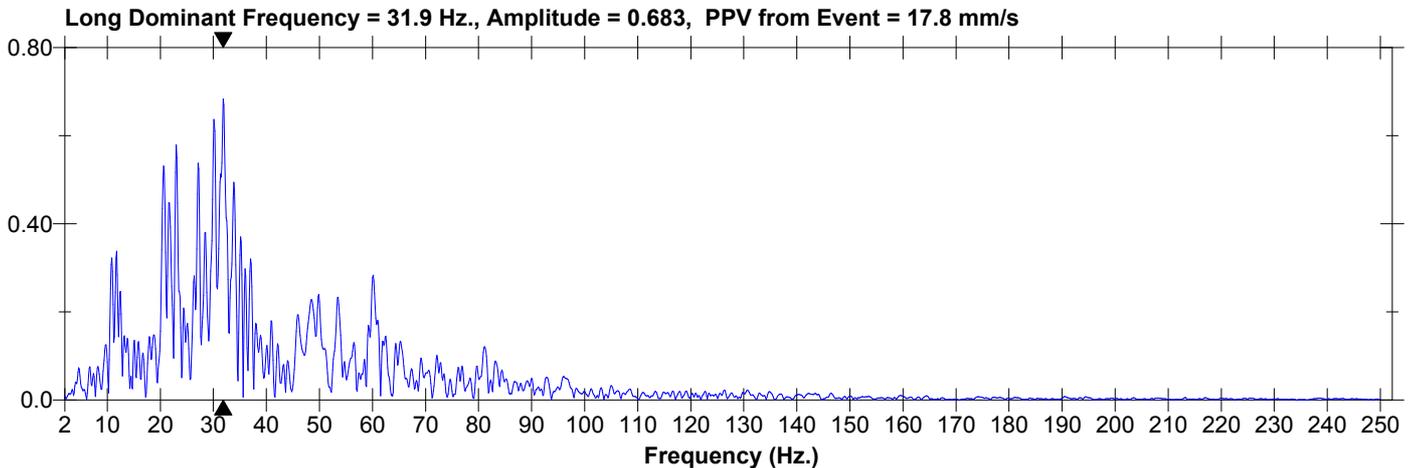
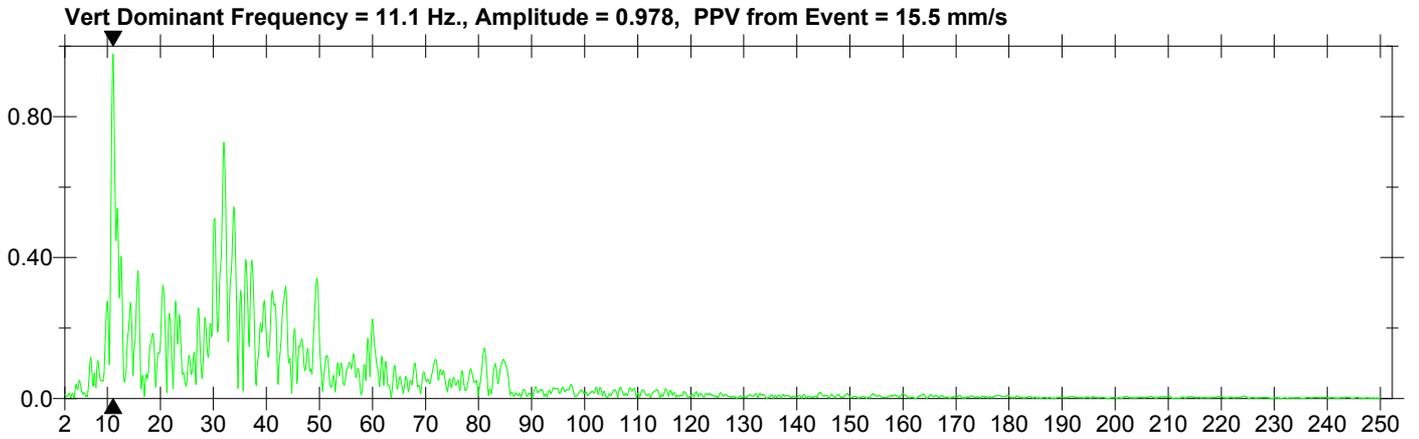
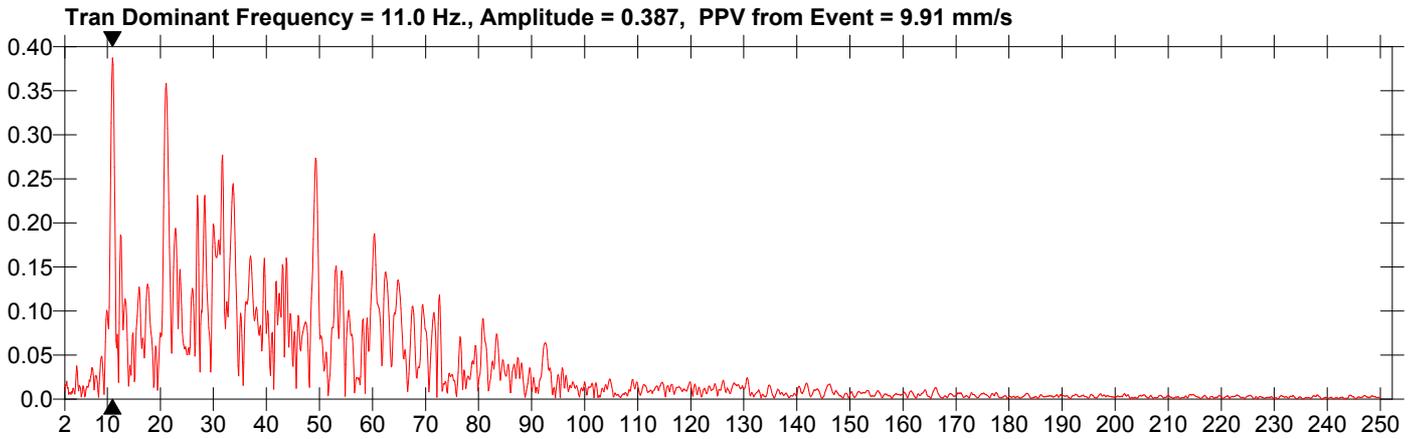
Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: July 12, 2019 10:56:49 (V8.12)

**Extended Notes**

Volata sui gradoni a quota 785 m.  
 Esplosivo: 1425 kg  
 Detonatori: 114  
 Fori: 34  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 70 m.  
 CPD = 20.82 kg.



**Date/Time** Long at 09:55:10 July 12, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.6 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819I0QG.VY0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: July 12, 2019 10:56:49 (V8.12)

**Extended Notes**

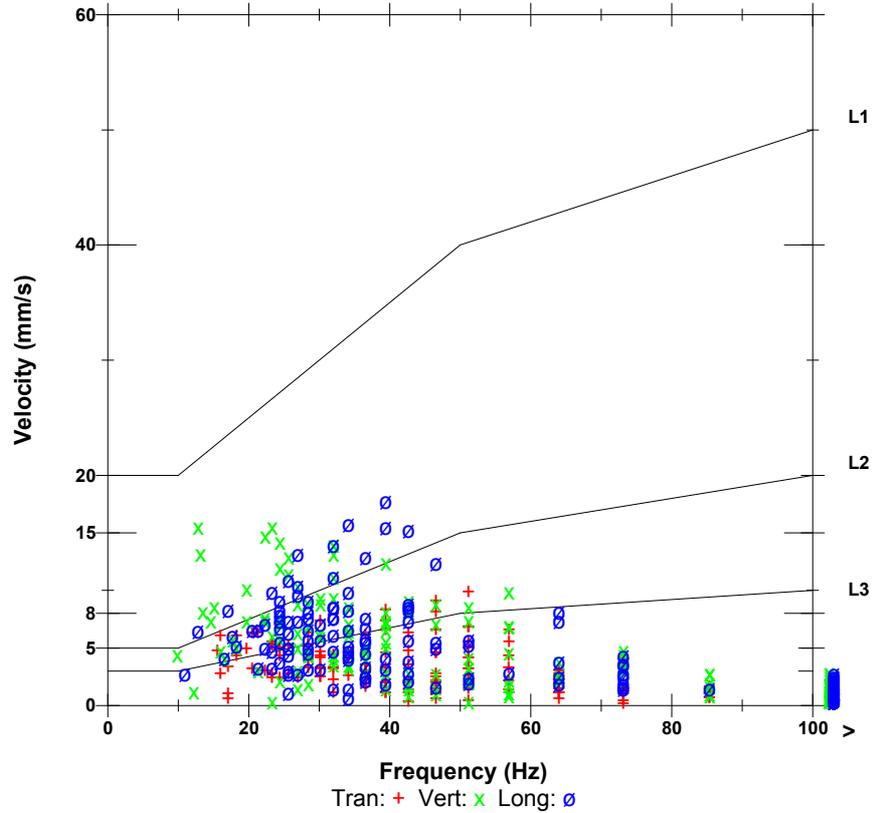
Volata sui gradoni a quota 785 m.  
 Esplosivo: 1425 kg  
 Detonatori: 114  
 Fori: 34  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

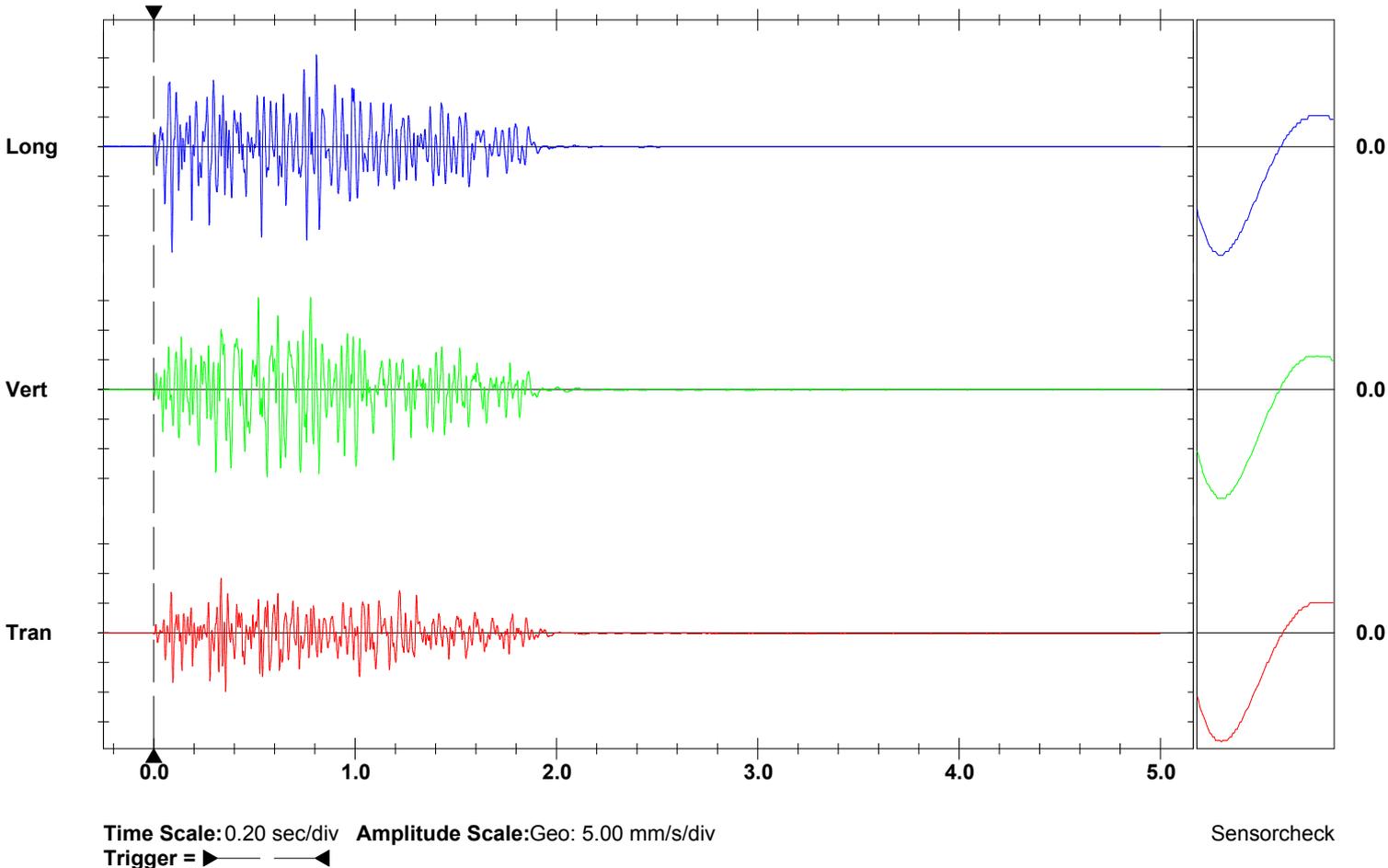
Distanza del geofono dal baricentro 70 m.  
 CPD = 20.82 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	9.91	15.5	17.8	mm/s
ZC Freq	51	13	39	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.357	0.521	0.092	sec
Peak Acceleration	0.345	0.424	0.424	g
Peak Displacement	0.0483	0.120	0.0770	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.1	8.3	8.2	Hz
Overswing Ratio	3.7	3.4	3.6	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 19.4 mm/s at 0.822 sec



**Date/Time** Vert at 09:49:10 July 23, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.5 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G819I1AT.XY0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: July 23, 2019 10:11:39 (V8.12)

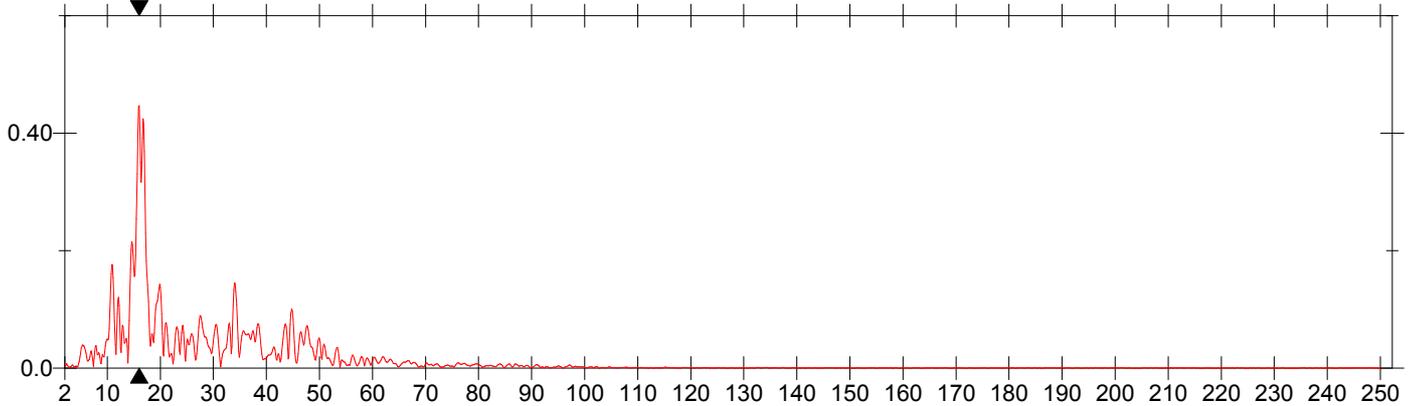
**Extended Notes**

Volata sui gradoni a quota 785 m.  
 Esplosivo: 1575 kg  
 Detonatori: 140  
 Fori: 66  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

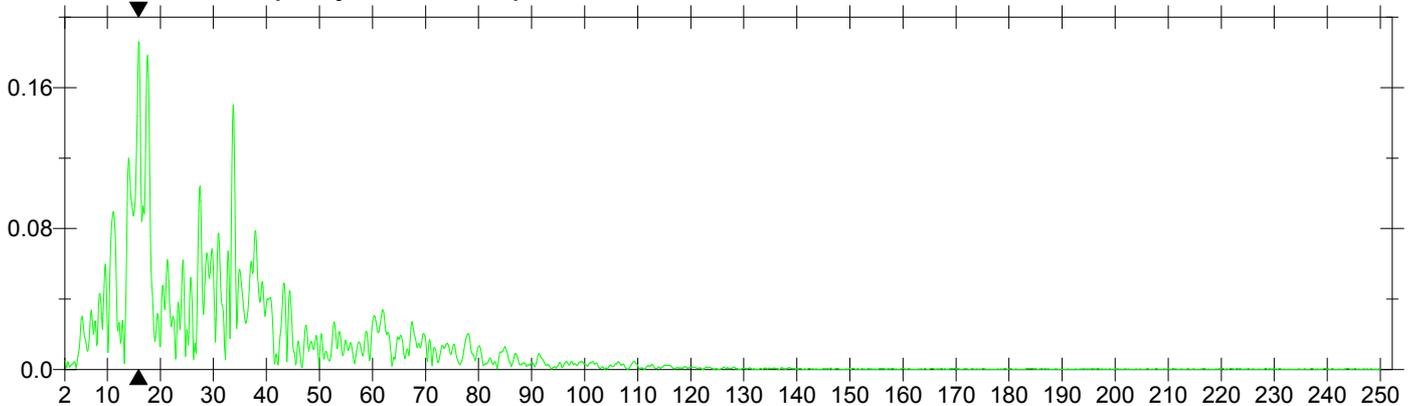
**Post Event Notes**

Distanza del geofono dal baricentro 90 m.  
 CPD = 14.58 kg.

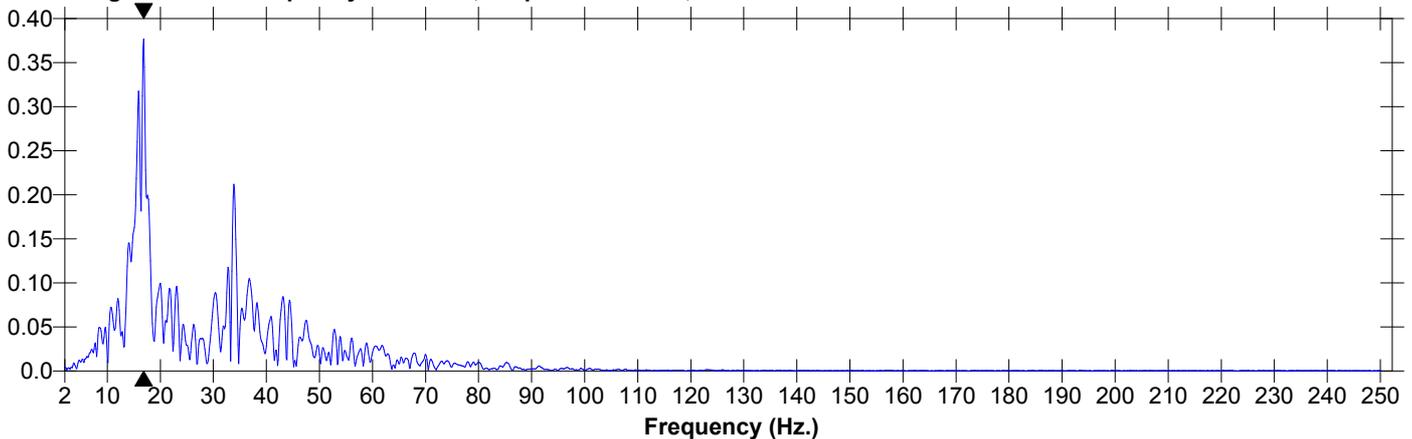
**Tran Dominant Frequency = 16.0 Hz., Amplitude = 0.447, PPV from Event = 5.91 mm/s**



**Vert Dominant Frequency = 15.9 Hz., Amplitude = 0.186, PPV from Event = 3.43 mm/s**



**Long Dominant Frequency = 16.9 Hz., Amplitude = 0.377, PPV from Event = 5.72 mm/s**



**Date/Time** Vert at 09:49:10 July 23, 2019  
**Trigger Source** Geo: 0.254 mm/s  
**Range** Geo :127 mm/s  
**Record Time** 5.0 sec at 1024 sps

**Serial Number** 5819 V 2.61 MiniMate  
**Battery Level** 6.5 Volts  
**Calibration** March 16, 2010 by CEME  
**File Name** G81911AT.XY0

**Notes**

Location: Cava di Roaschia  
 Client: Buzzi Unicem S.p.A.  
 User Name: Froni - Bellone  
 Converted: July 23, 2019 10:11:39 (V8.12)

**Extended Notes**

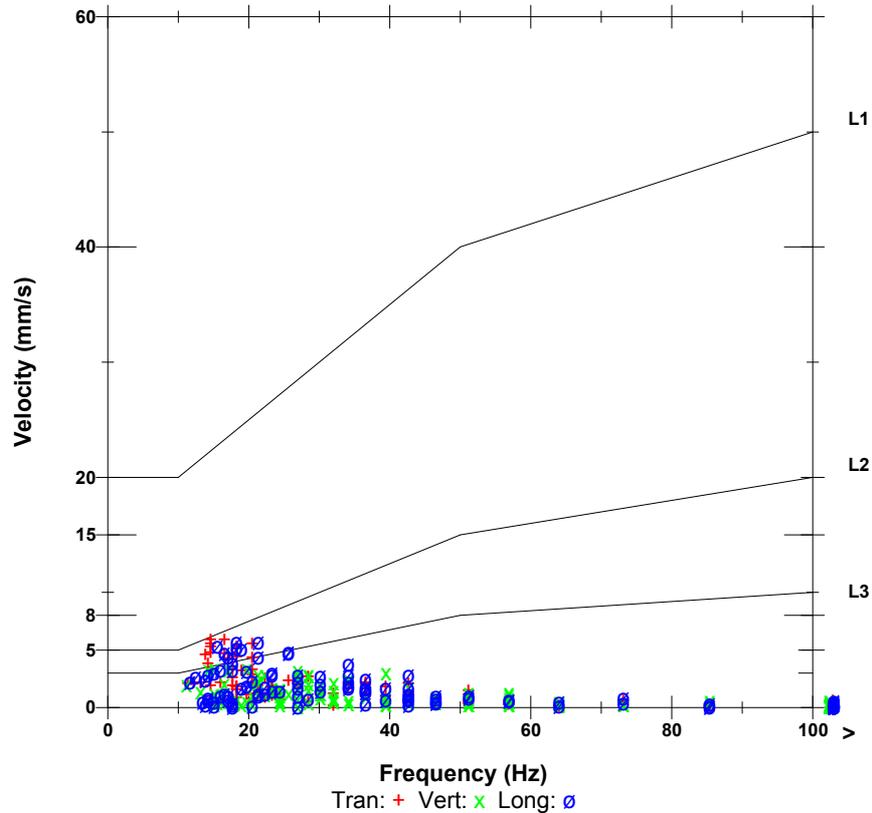
Volata sui gradoni a quota 785 m.  
 Esplosivo: 1575 kg  
 Detonatori: 140  
 Fori: 66  
 Lunghezza fori: 15 m  
 3 cariche per foro

**Post Event Notes**

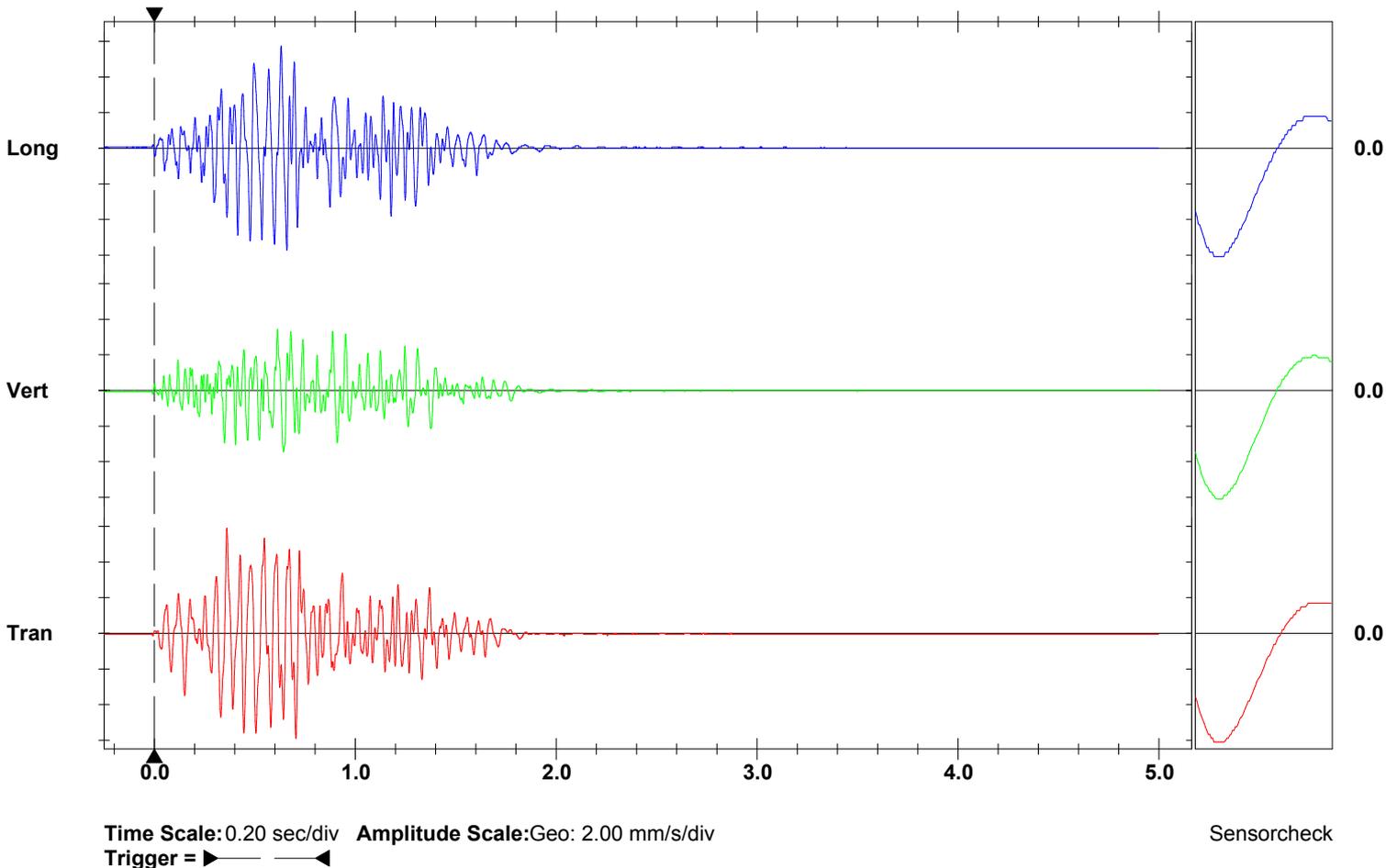
Distanza del geofono dal baricentro 90 m.  
 CPD = 14.58 kg.

	Tran	Vert	Long	
PPV	5.91	3.43	5.72	mm/s
ZC Freq	17	15	18	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.361	0.614	0.632	sec
Peak Acceleration	0.0928	0.0795	0.106	g
Peak Displacement	0.0531	0.0306	0.0461	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.1	8.5	8.3	Hz
Overswing Ratio	3.7	3.3	3.4	

**DIN4150**



**Peak Vector Sum** 7.11 mm/s at 0.661 sec



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 70 m.**  
**CPD = 14.58 kg.**

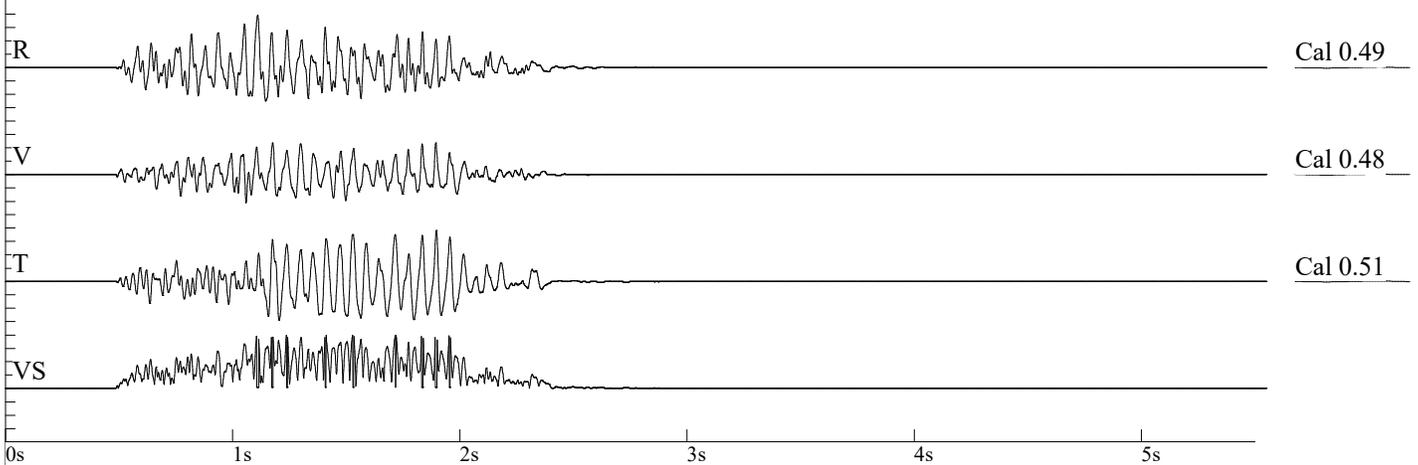
Nome archivio: 3260201904041005002.DTB  
Numero: 002  
Data: 04/04/2019  
Orario: 10:05  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0250 in/s 0.6350 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.3

### Amplitudes and Frequencies

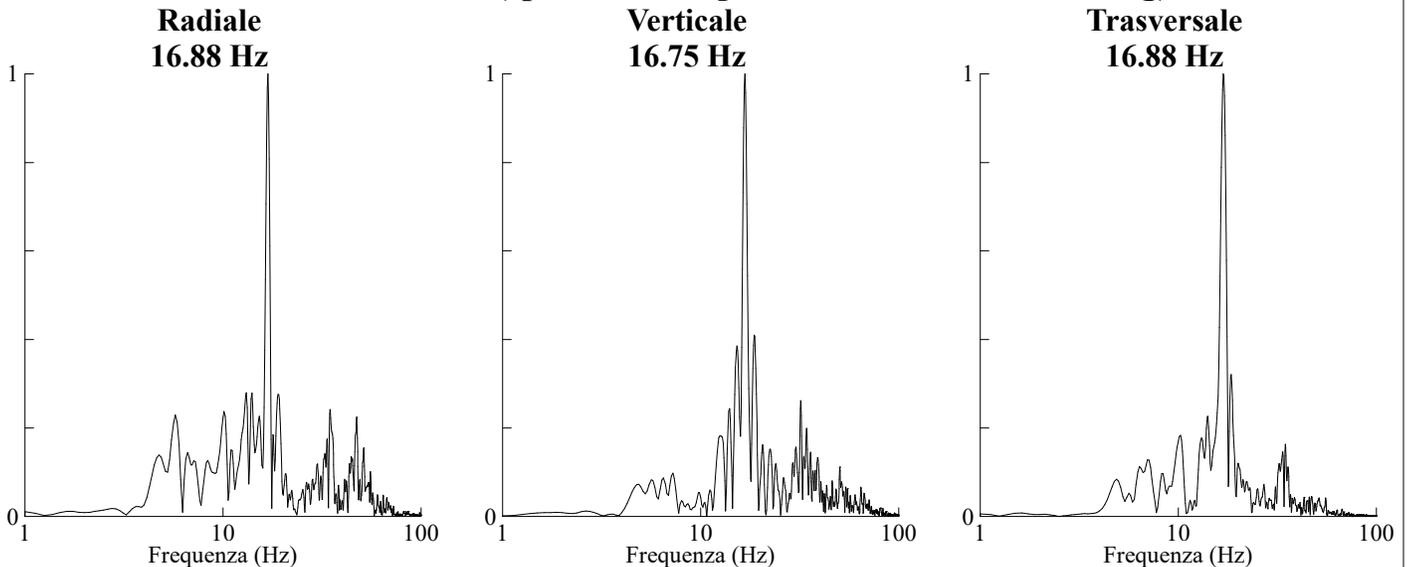
**Radiale: 0.325in/s 8.255mm/s @ 18.2Hz**  
**Verticale: 0.195in/s 4.953mm/s @ 18.9Hz**  
**Trasversale: 0.315in/s 8.001mm/s @ 21.3Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.405in/s 10.287mm/s**  
Data di calibrazione: 09/05/2016

### Graph Information

Durata: 0.000s To: 5.500s  
Fondoscala sismico:  
0.33in/s (0.083in/s/div) 8.38mm/s (2.096mm/s/div)  
Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 70 m.**  
**CPD = 14.58 kg.**

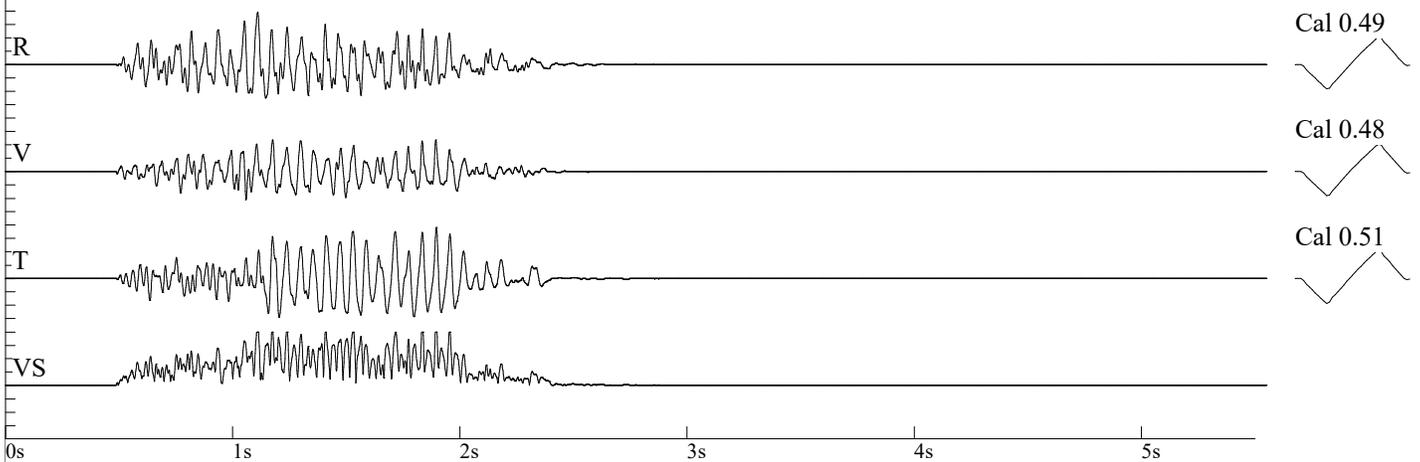
Nome archivio: 3260201904041005002.DTB  
 Numero: 002  
 Data: 04/04/2019  
 Orario: 10:05  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0250 in/s 0.6350 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.3

**Amplitudes and Frequencies**

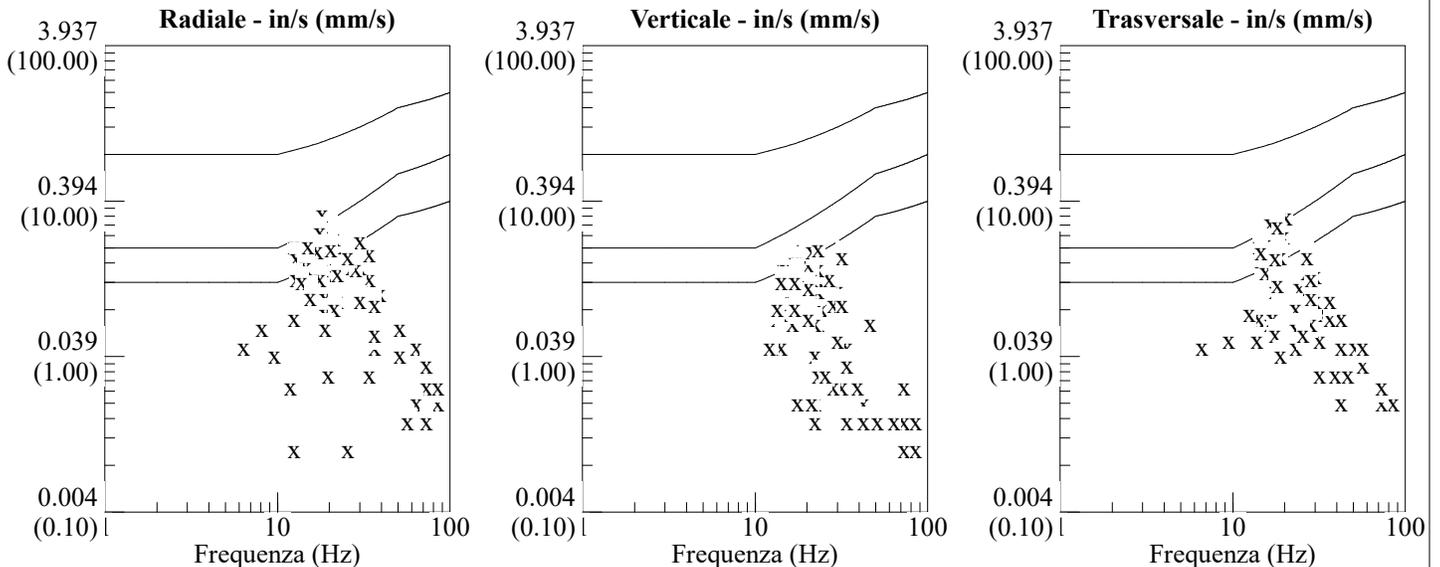
*Radiale: 0.325in/s 8.255mm/s @ 18.2Hz*  
*Verticale: 0.195in/s 4.953mm/s @ 18.9Hz*  
*Trasversale: 0.315in/s 8.001mm/s @ 21.3Hz*  
*Vettore somma (VS): 0.405in/s 10.287mm/s*  
*Data di calibrazione: 09/05/2016*

**Graph Information**

*Durata: 0.000s To: 5.500s*  
*Fondoscala sismico:*  
*0.33in/s (0.083in/s/div) 8.38mm/s (2.096mm/s/div)*  
*Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s*



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 50 m.**  
**CPD = 18.74 kg.**

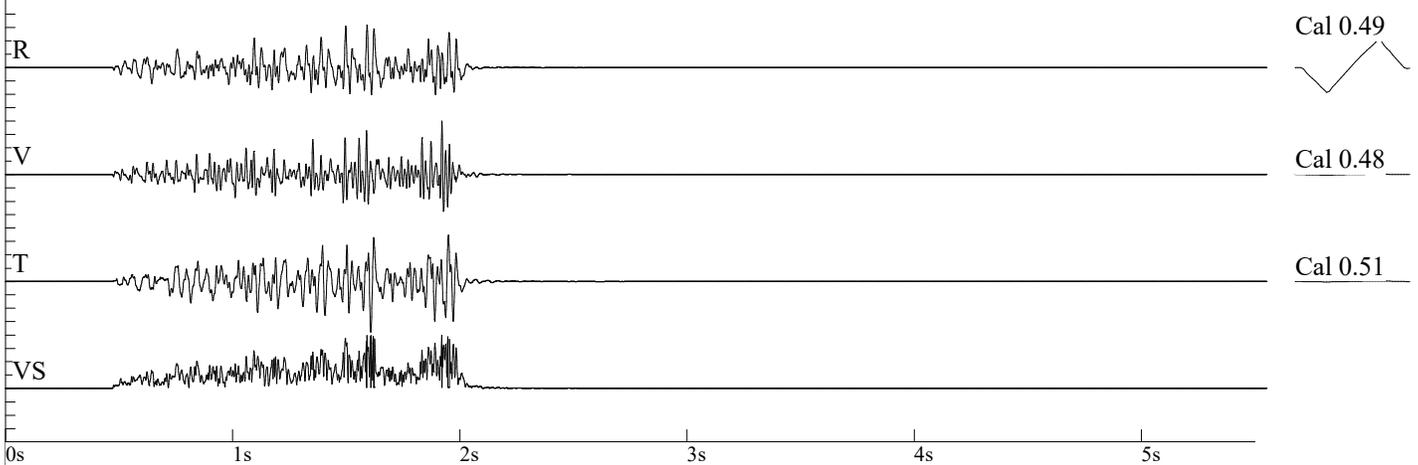
Nome archivio: 3260201904050920018.DTB  
Numero: 018  
Data: 05/04/2019  
Orario: 09:20  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.2

### Amplitudes and Frequencies

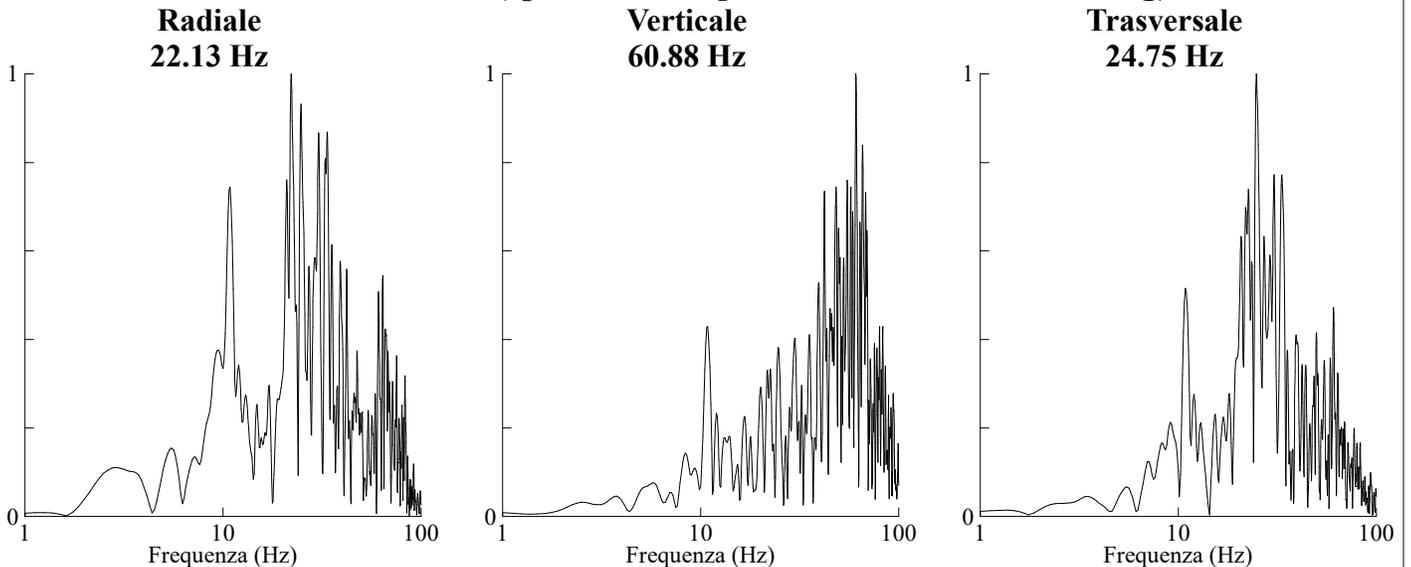
*Radiale:* 0.64in/s 16.256mm/s @ 36.5Hz  
*Verticale:* **0.80in/s 20.32mm/s @ 64.0Hz**  
*Trasversale:* 0.76in/s 19.304mm/s @ 39.3Hz  
*Vettore somma (VS):* 0.91in/s 23.114mm/s  
*Data di calibrazione:* 09/05/2016

### Graph Information

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
0.80in/s (0.200in/s/div) 20.32mm/s (5.080mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 50 m.**  
**CPD = 18.74 kg.**

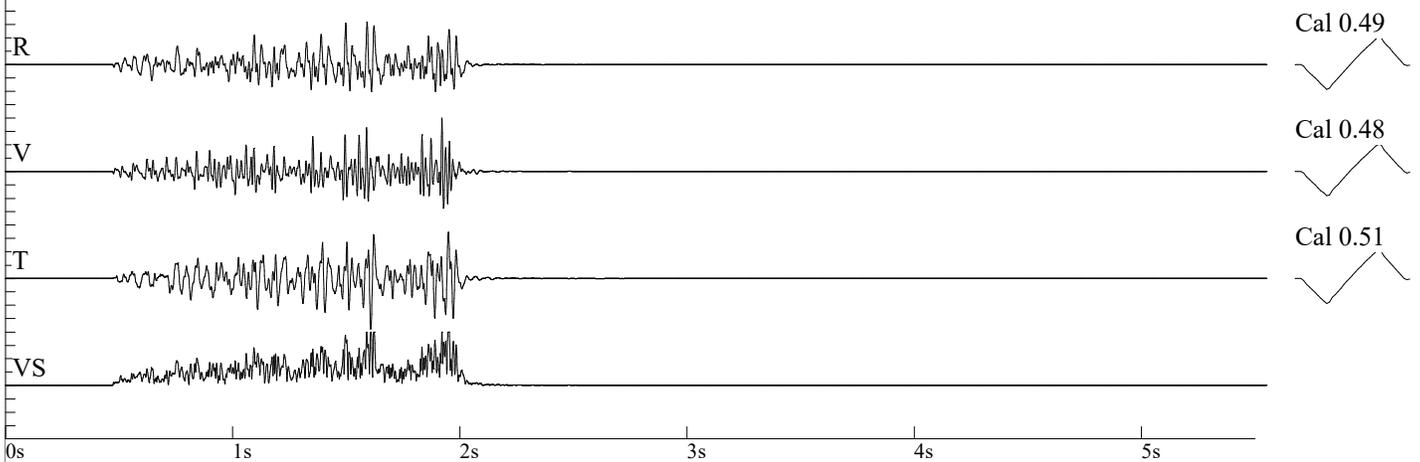
Nome archivio: 3260201904050920018.DTB  
 Numero: 018  
 Data: 05/04/2019  
 Orario: 09:20  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

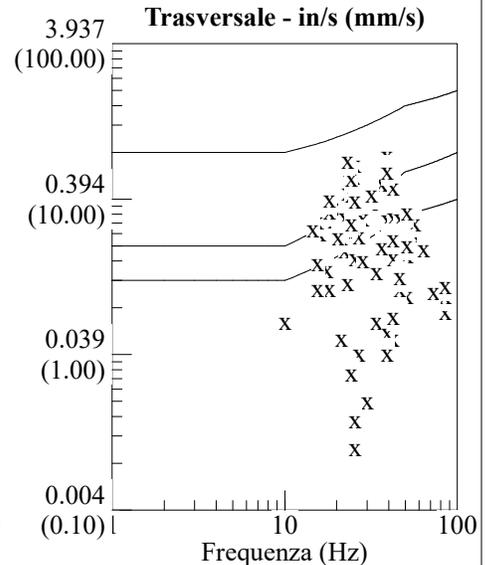
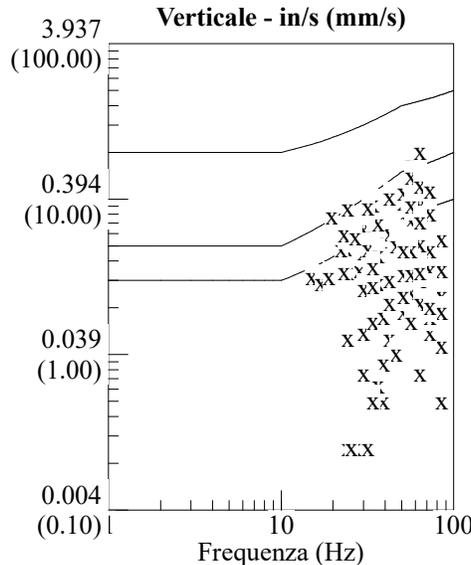
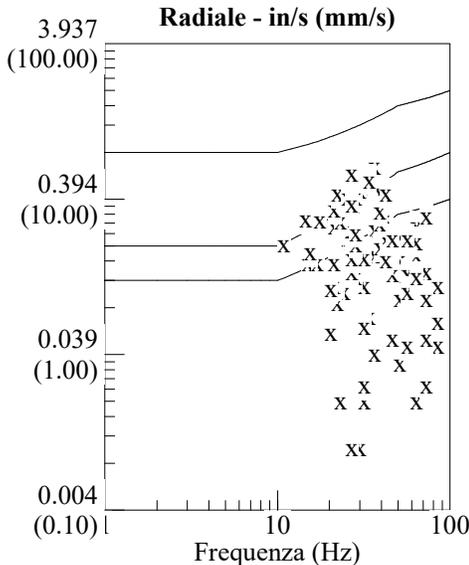
*Radiale:* 0.64in/s 16.256mm/s @ 36.5Hz  
*Verticale:* **0.80in/s 20.32mm/s @ 64.0Hz**  
*Trasversale:* 0.76in/s 19.304mm/s @ 39.3Hz  
*Vettore somma (VS):* 0.91in/s 23.114mm/s  
*Data di calibrazione:* 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.80in/s (0.200in/s/div) 20.32mm/s (5.080mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 44 m.**  
**CPD = 20.82 kg.**

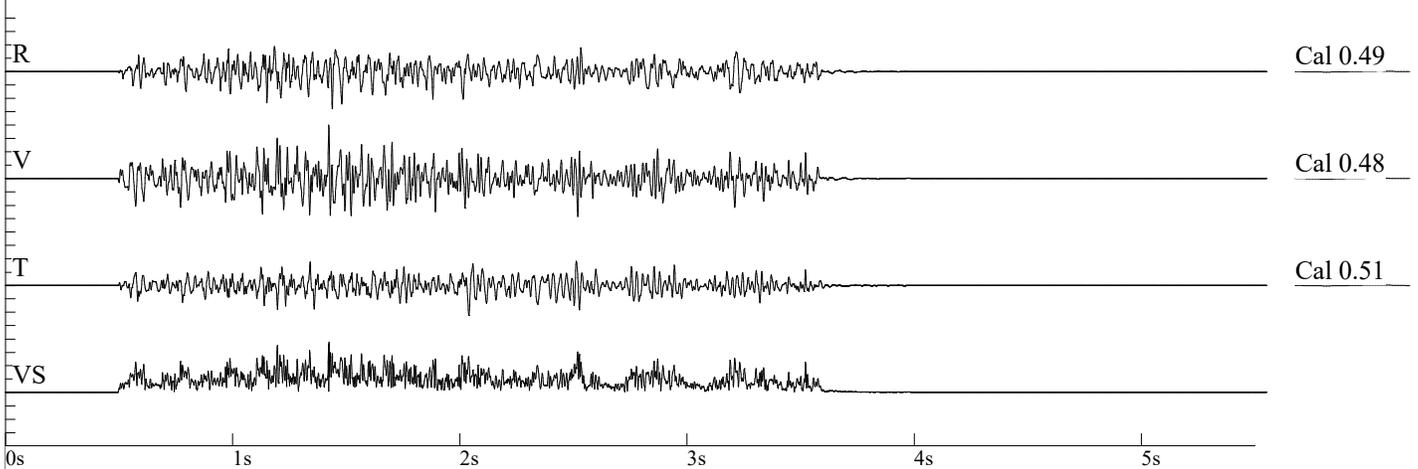
Nome archivio: 3260201904231044019.DTB  
Numero: 019  
Data: 23/04/2019  
Orario: 10:44  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.2

### Amplitudes and Frequencies

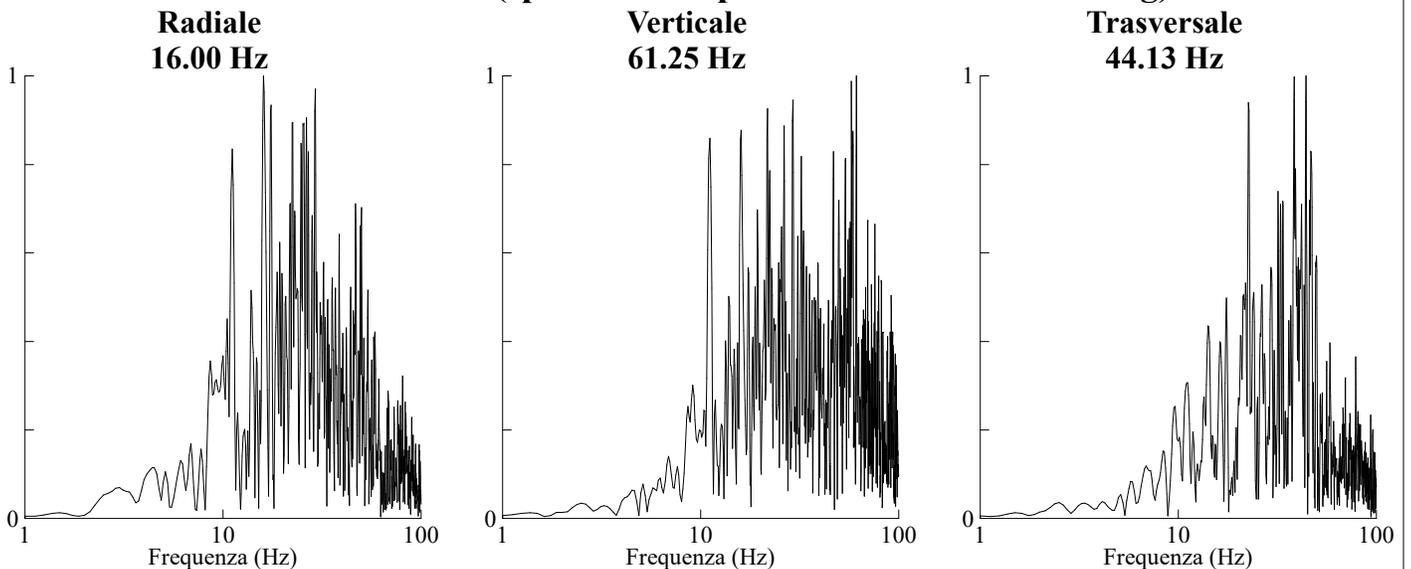
*Radiale:* 0.46in/s 11.684mm/s @ 56.8Hz  
*Verticale:* **0.66in/s 16.764mm/s @ 36.5Hz**  
*Trasversale:* 0.365in/s 9.271mm/s @ 34.1Hz  
*Vettore somma (VS):* 0.67in/s 17.018mm/s  
*Data di calibrazione:* 09/05/2016

### Graph Information

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
0.66in/s (0.165in/s/div) 16.76mm/s (4.191mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 44 m.**  
**CPD = 20.82 kg.**

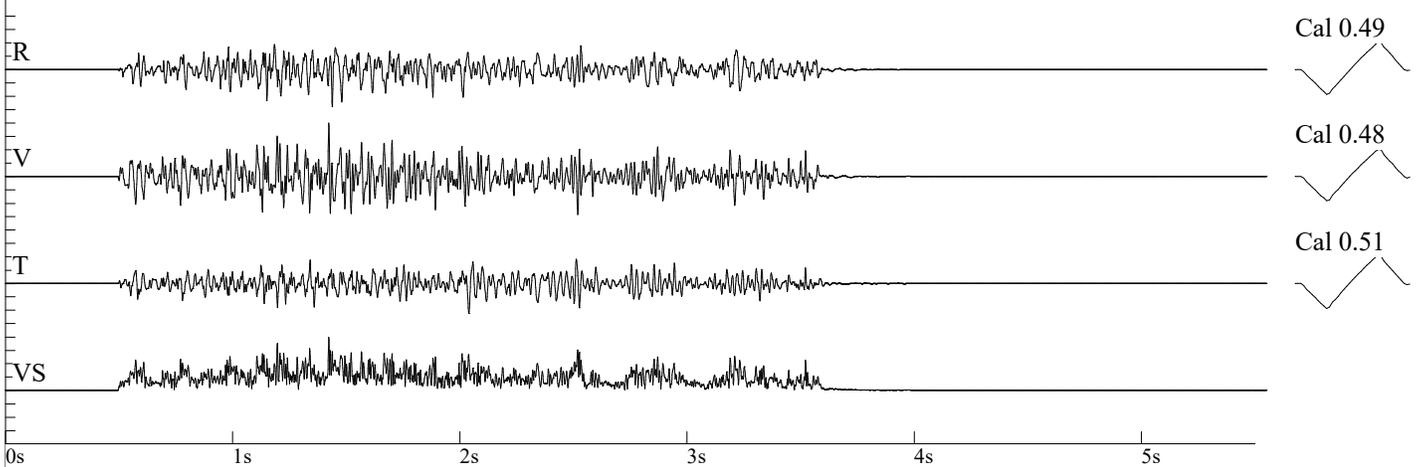
Nome archivio: 3260201904231044019.DTB  
 Numero: 019  
 Data: 23/04/2019  
 Orario: 10:44  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

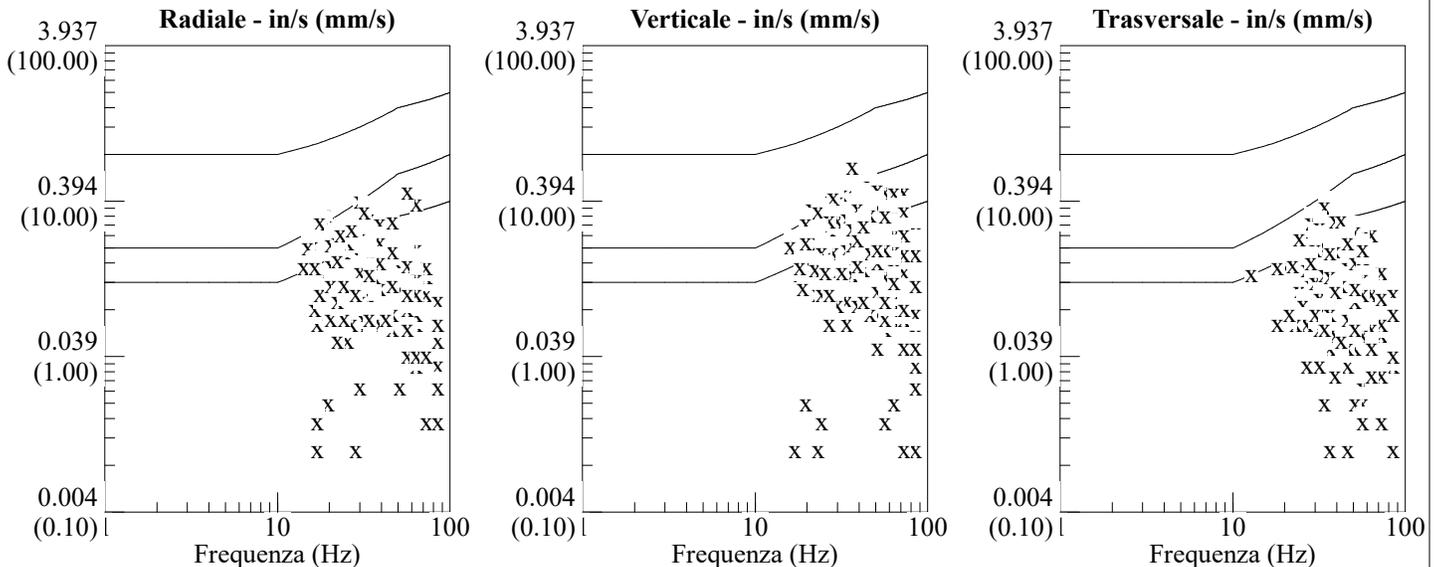
*Radiale:* 0.46in/s 11.684mm/s @ 56.8Hz  
*Verticale:* **0.66in/s 16.764mm/s @ 36.5Hz**  
*Trasversale:* 0.365in/s 9.271mm/s @ 34.1Hz  
*Vettore somma (VS):* 0.67in/s 17.018mm/s  
 Data di calibrazione: 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.66in/s (0.165in/s/div) 16.76mm/s (4.191mm/s/div)  
 Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 100 m.**  
**CPD = 16.66 kg.**

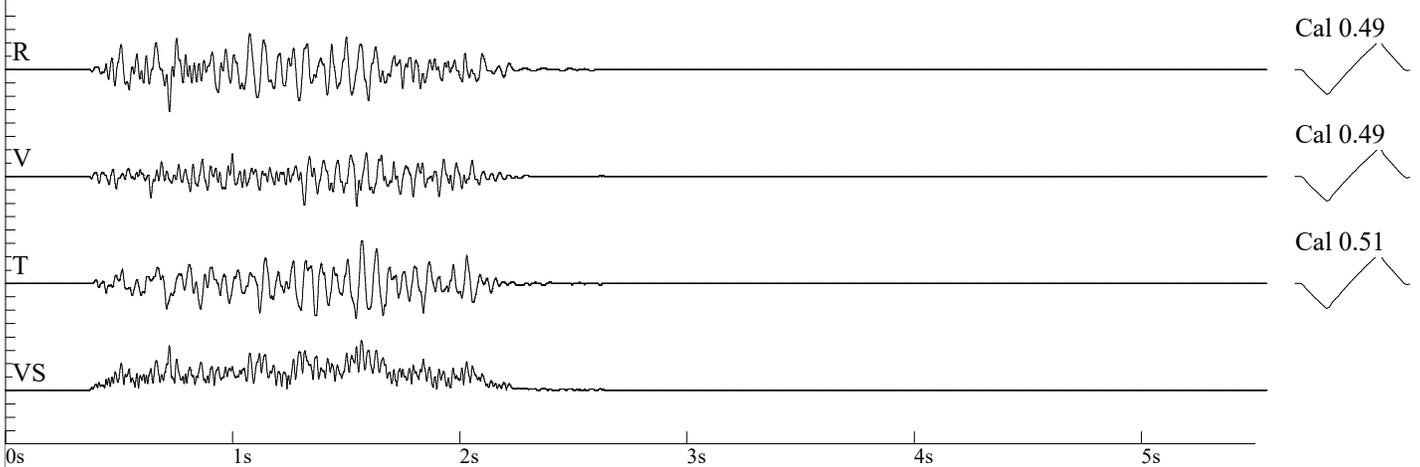
Nome archivio: 3260201904301019021.DTB  
 Numero: 021  
 Data: 30/04/2019  
 Orario: 10:19  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

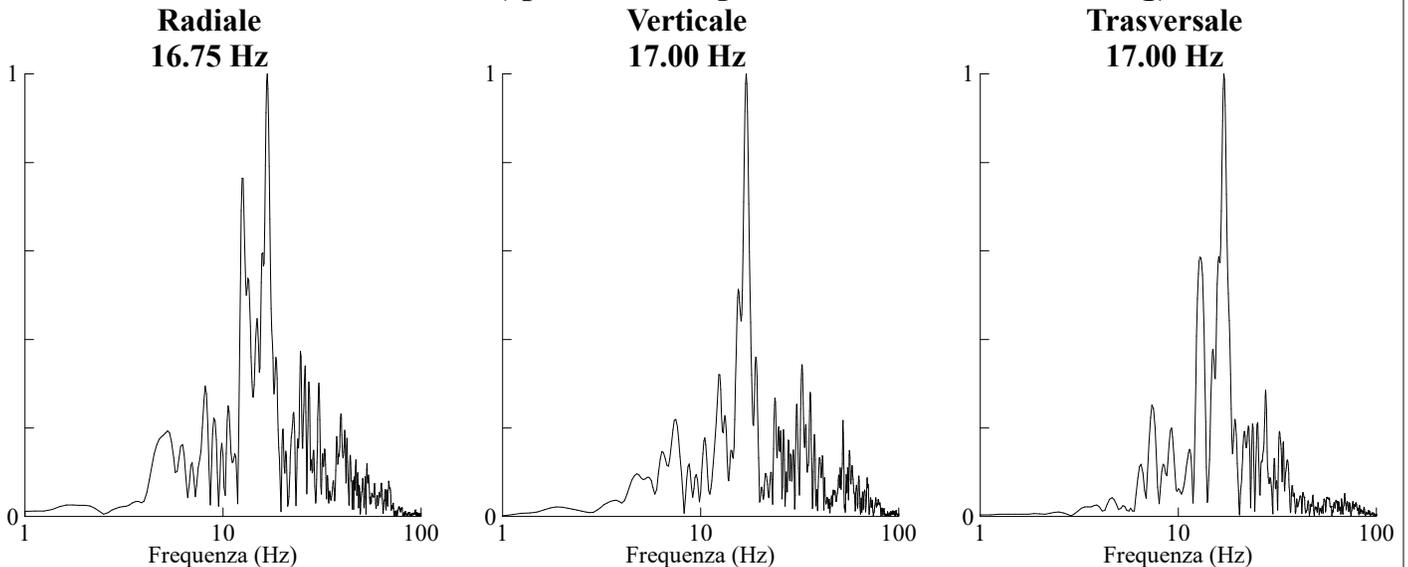
*Radiale:* 0.155in/s 3.937mm/s @ 12.4Hz  
*Verticale:* 0.11in/s 2.794mm/s @ 15.5Hz  
*Trasversale:* **0.16in/s 4.064mm/s @ 17.6Hz**  
*Vettore somma (VS):* 0.19in/s 4.826mm/s  
*Data di calibrazione:* 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.20in/s (0.050in/s/div) 5.08mm/s (1.270mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 100 m.**  
**CPD = 16.66 kg.**

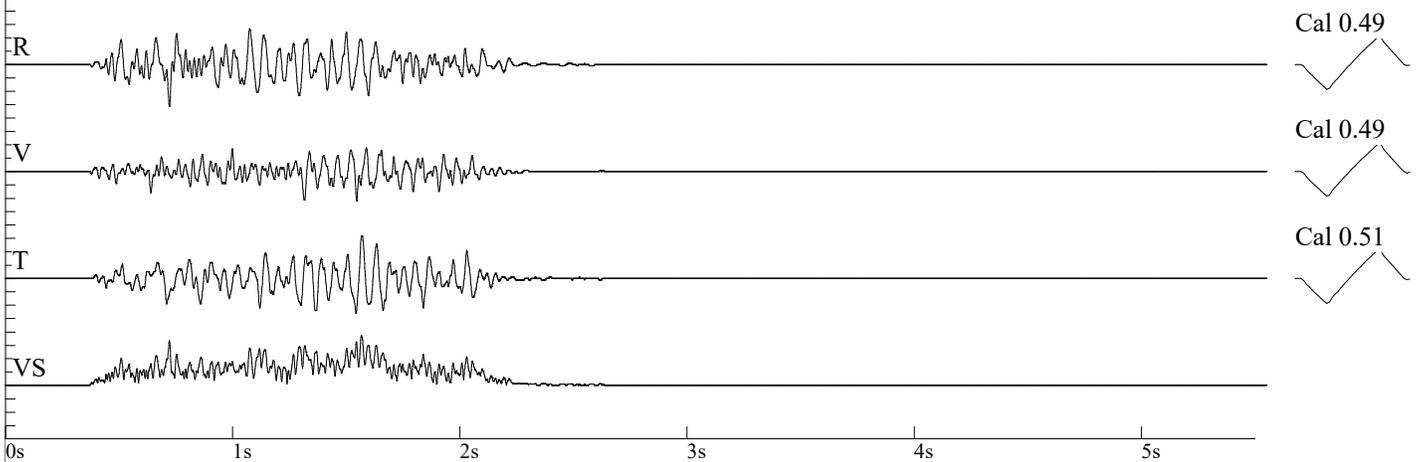
Nome archivio: 3260201904301019021.DTB  
 Numero: 021  
 Data: 30/04/2019  
 Orario: 10:19  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

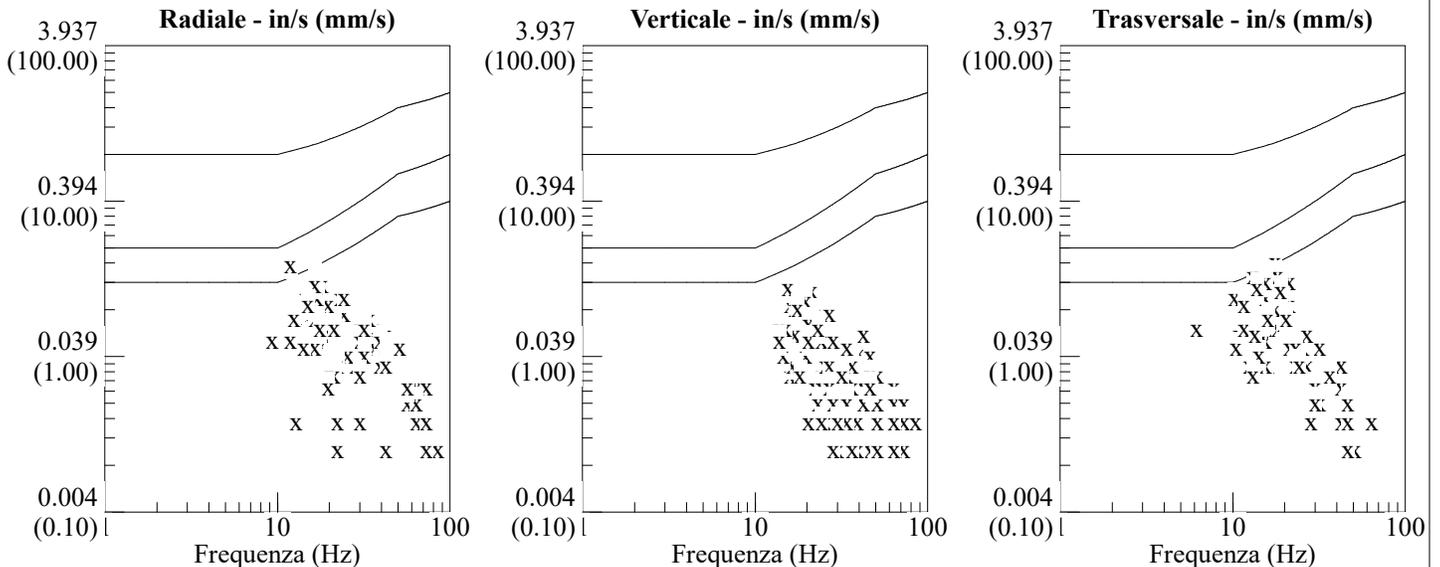
*Radiale:* 0.155in/s 3.937mm/s @ 12.4Hz  
*Verticale:* 0.11in/s 2.794mm/s @ 15.5Hz  
*Trasversale:* **0.16in/s 4.064mm/s @ 17.6Hz**  
*Vettore somma (VS):* 0.19in/s 4.826mm/s  
*Data di calibrazione:* 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.20in/s (0.050in/s/div) 5.08mm/s (1.270mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 31.5 m.**  
**CPD = 16.66 kg.**

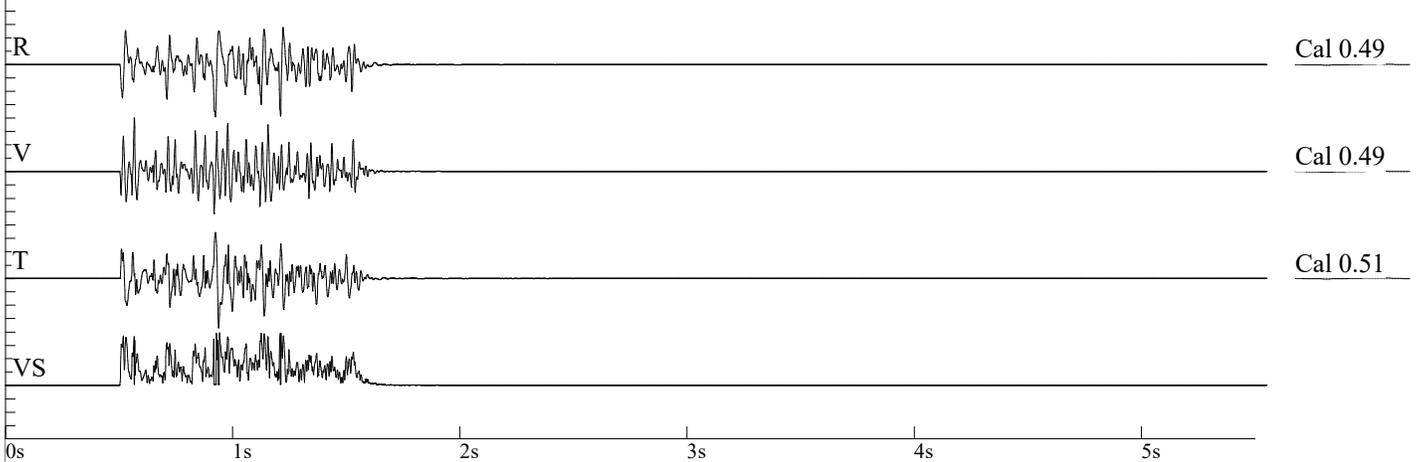
Nome archivio: 3260201905031009022.DTB  
 Numero: 022  
 Data: 03/05/2019  
 Orario: 10:09  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

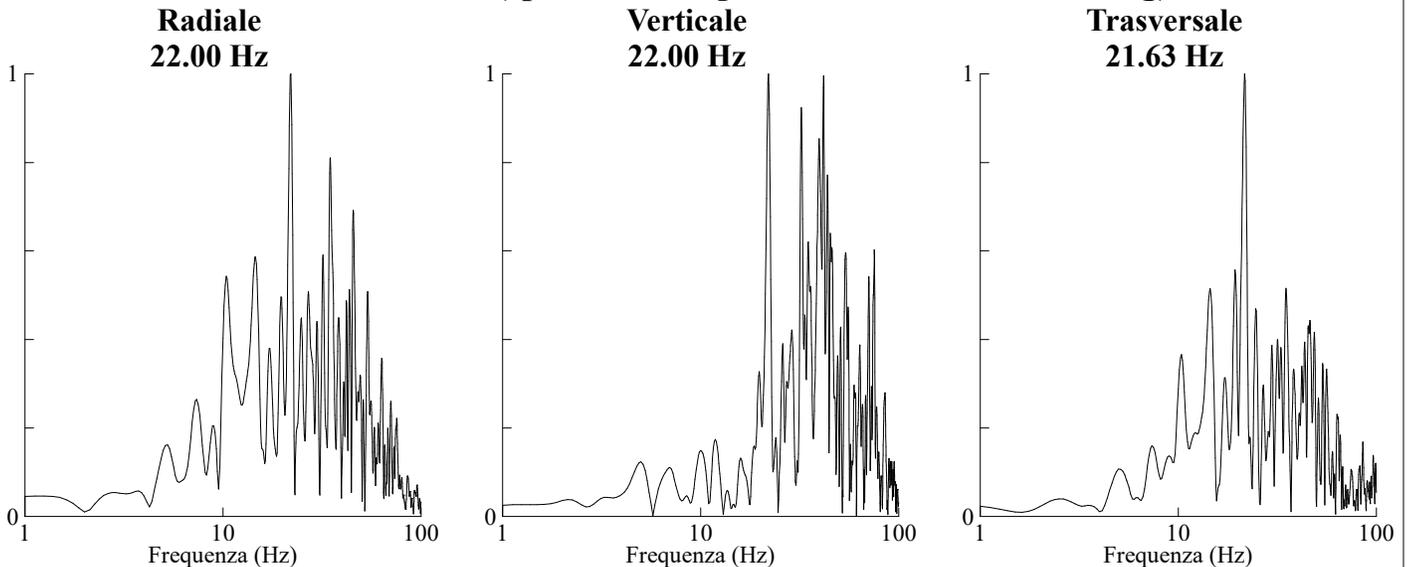
*Radiale:* 1.56in/s 39.624mm/s @ 22.2Hz  
*Verticale:* **1.60in/s 40.64mm/s @ 46.5Hz**  
*Trasversale:* 1.48in/s 37.592mm/s @ 18.9Hz  
*Vettore somma (VS):* 2.125in/s 53.975mm/s  
*Data di calibrazione:* 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 1.60in/s (0.400in/s/div) 40.64mm/s (10.160mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 31.5 m.**  
**CPD = 16.66 kg.**

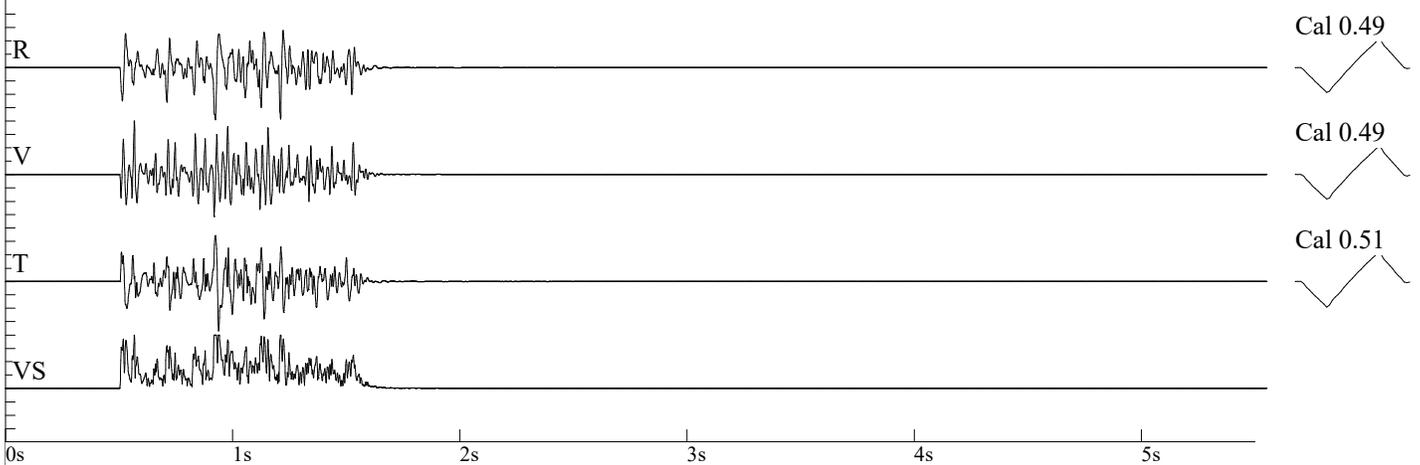
Nome archivio: 3260201905031009022.DTB  
 Numero: 022  
 Data: 03/05/2019  
 Orario: 10:09  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

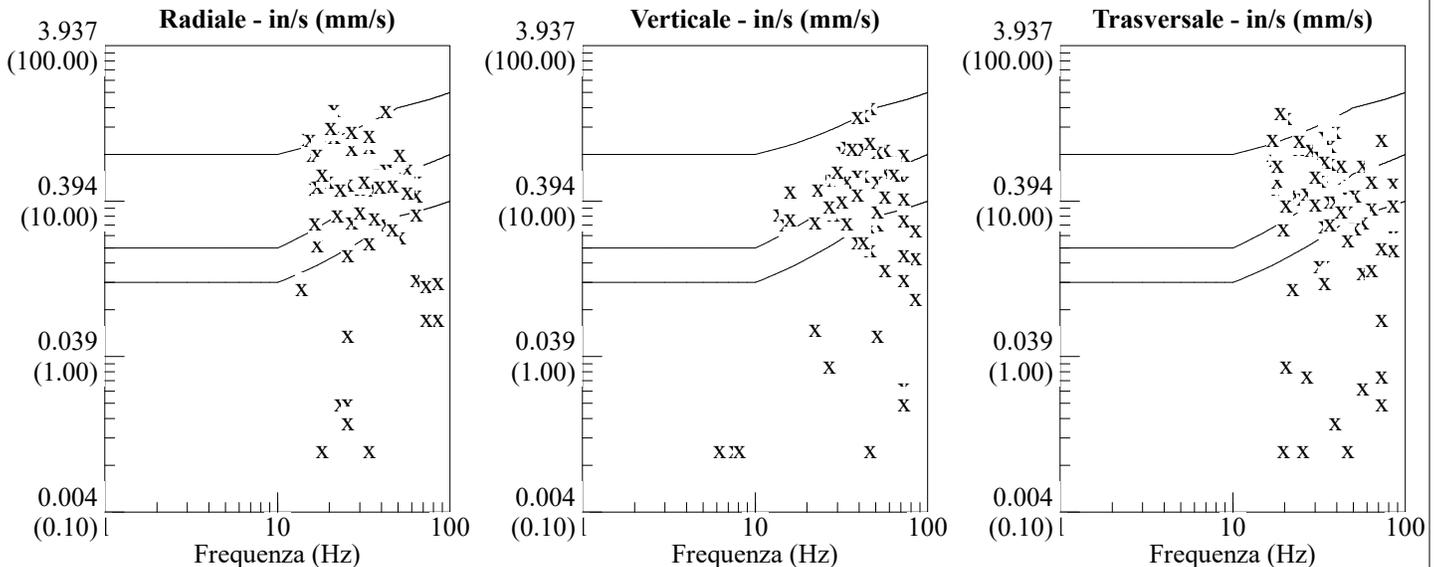
*Radiale:* 1.56in/s 39.624mm/s @ 22.2Hz  
*Verticale:* **1.60in/s 40.64mm/s @ 46.5Hz**  
*Trasversale:* 1.48in/s 37.592mm/s @ 18.9Hz  
*Vettore somma (VS):* 2.125in/s 53.975mm/s  
*Data di calibrazione:* 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 1.60in/s (0.400in/s/div) 40.64mm/s (10.160mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 22 m.**  
**CPD = 20.82 kg.**

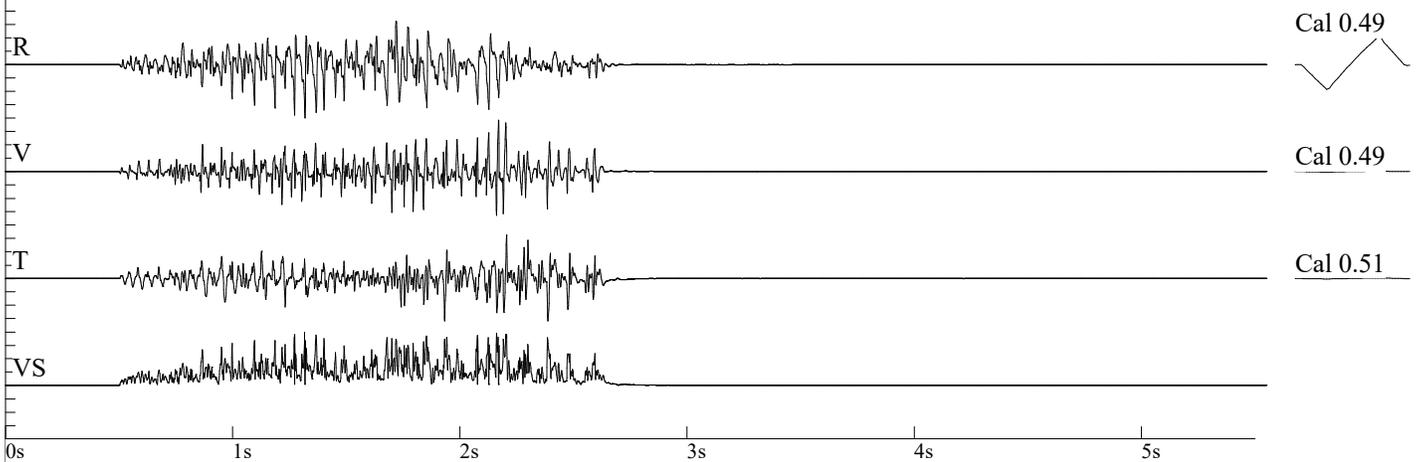
Nome archivio: 3260201905091149023.DTB  
 Numero: 023  
 Data: 09/05/2019  
 Orario: 11:49  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

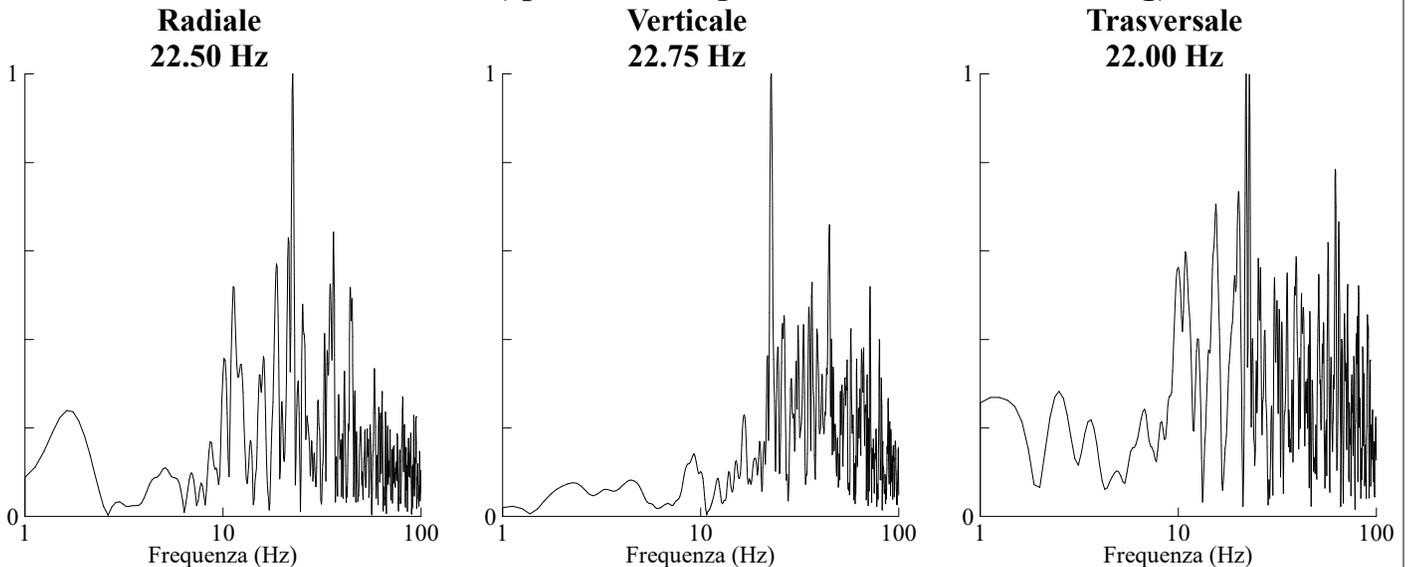
*Radiale: 2.56in/s 65.024mm/s @ 24.3Hz*  
*Verticale: 2.46in/s 62.484mm/s @ 56.8Hz*  
*Trasversale: 2.10in/s 53.34mm/s @ 56.8Hz*  
*Vettore somma (VS): 2.955in/s 75.057mm/s*  
*Data di calibrazione: 09/05/2016*

**Graph Information**

*Durata: 0.000s To: 5.500s*  
*Fondoscala sismico:*  
*2.56in/s (0.640in/s/div) 65.02mm/s (16.256mm/s/div)*  
*Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s*



**Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 22 m.**  
**CPD = 20.82 kg.**

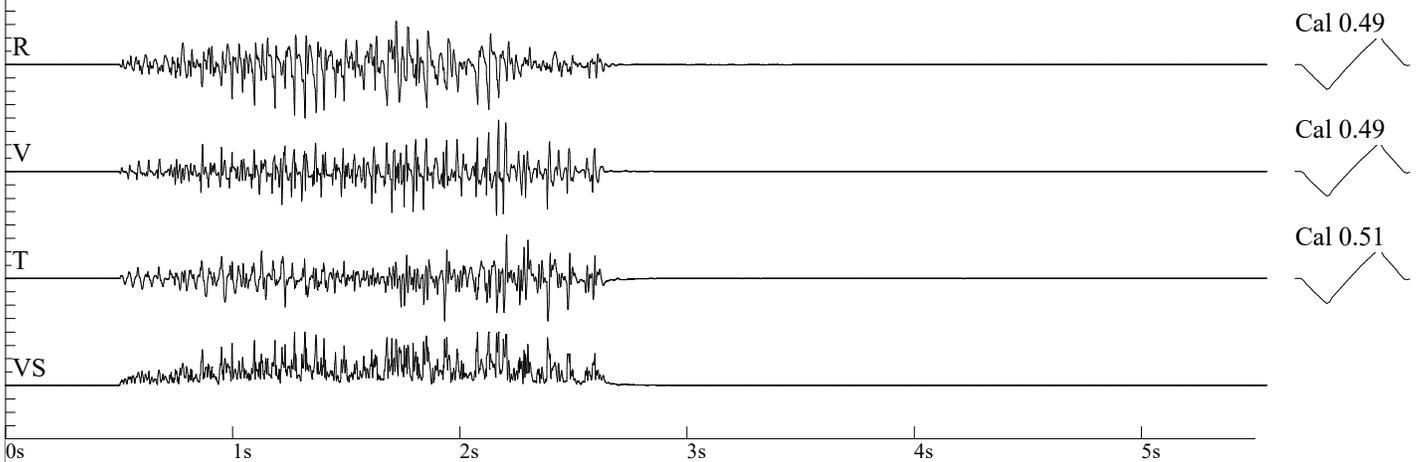
Nome archivio: 3260201905091149023.DTB  
 Numero: 023  
 Data: 09/05/2019  
 Orario: 11:49  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

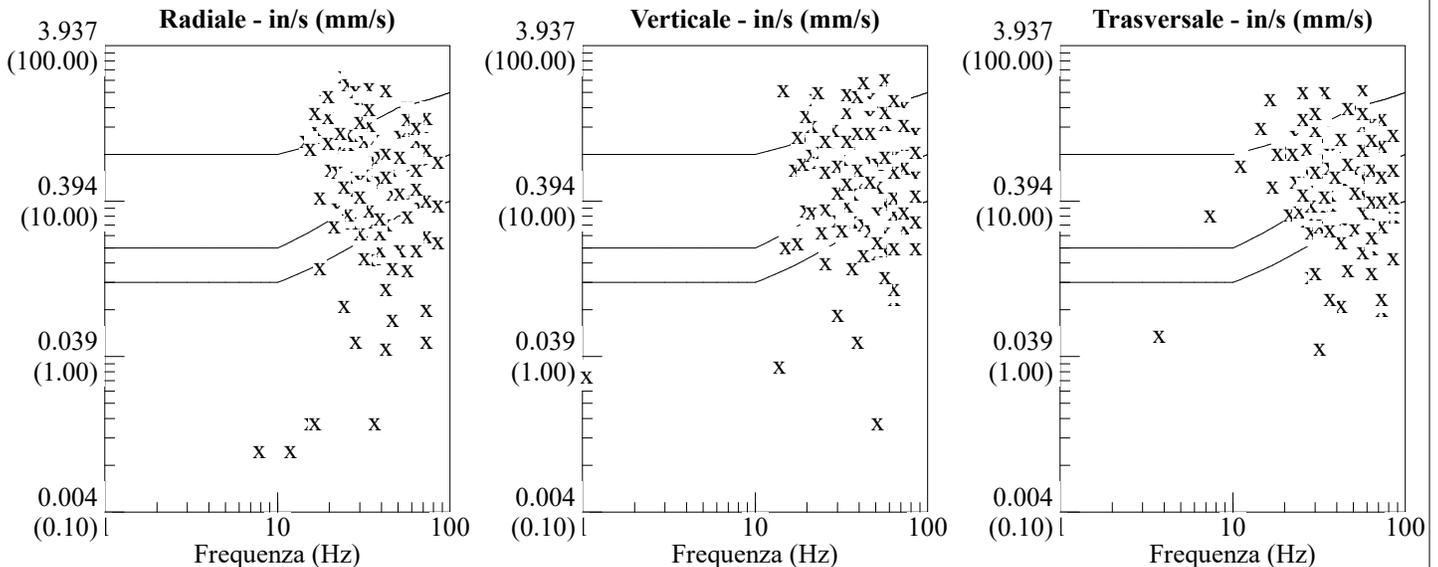
*Radiale: 2.56in/s 65.024mm/s @ 24.3Hz*  
*Verticale: 2.46in/s 62.484mm/s @ 56.8Hz*  
*Trasversale: 2.10in/s 53.34mm/s @ 56.8Hz*  
*Vettore somma (VS): 2.955in/s 75.057mm/s*  
*Data di calibrazione: 09/05/2016*

**Graph Information**

*Durata: 0.000s To: 5.500s*  
*Fondoscala sismico:*  
*2.56in/s (0.640in/s/div) 65.02mm/s (16.256mm/s/div)*  
*Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s*



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 95 m.**  
**CPD = 14.58 kg.**

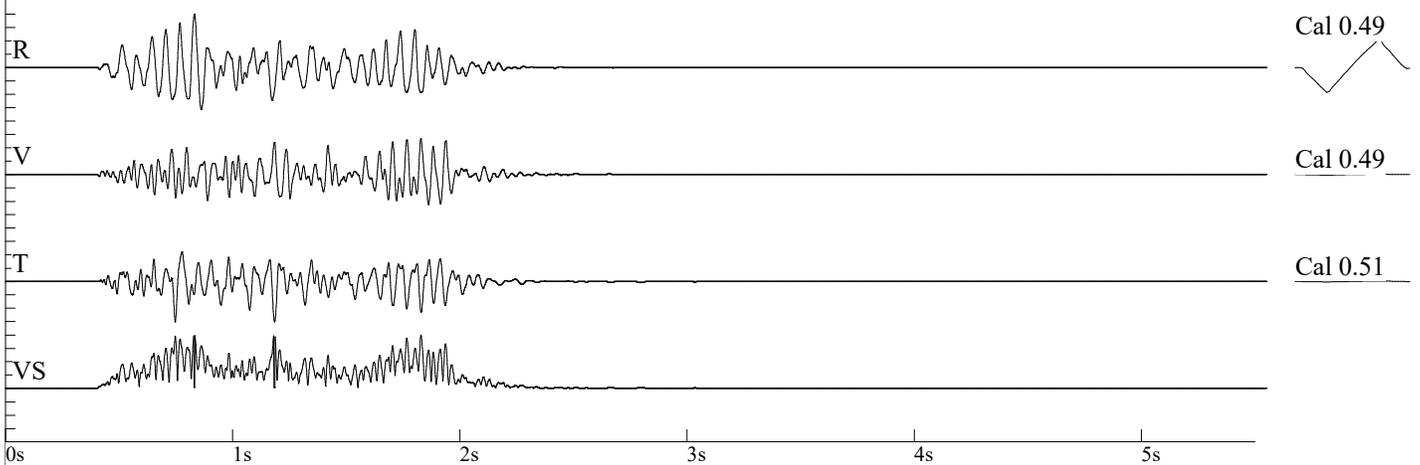
Nome archivio: 3260201905151100024.DTB  
Numero: 024  
Data: 15/05/2019  
Orario: 11:00  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.2

### Amplitudes and Frequencies

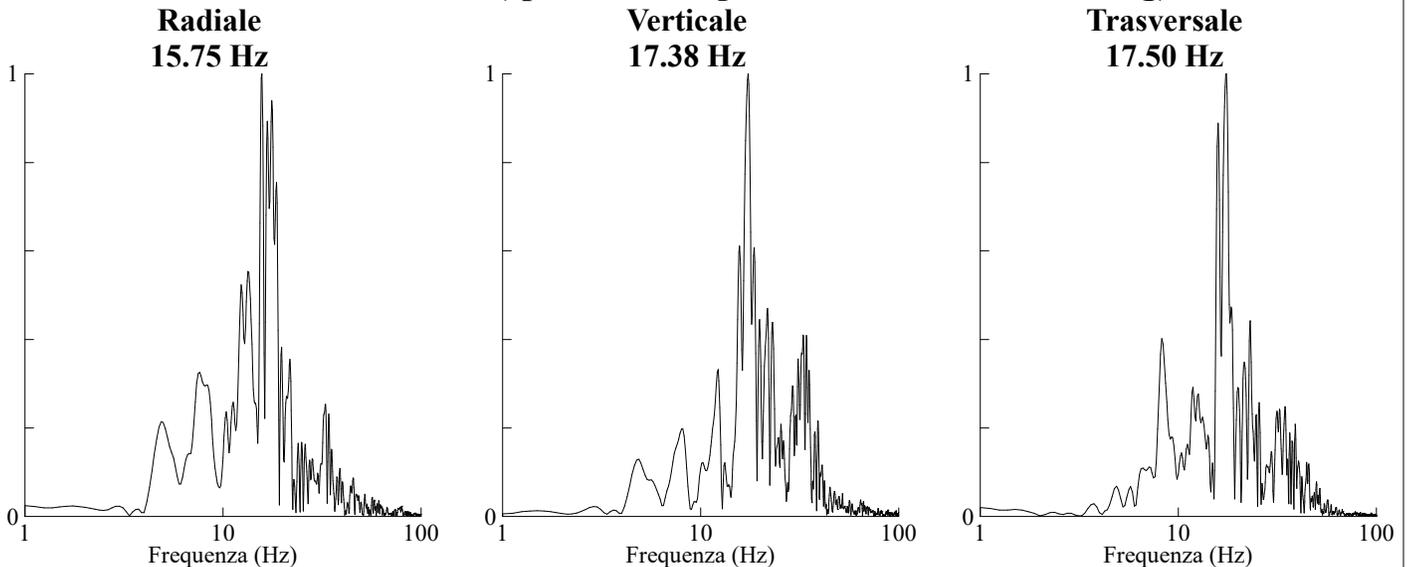
**Radiale: 0.31in/s 7.874mm/s @ 17.0Hz**  
**Verticale: 0.21in/s 5.334mm/s @ 19.6Hz**  
**Trasversale: 0.235in/s 5.969mm/s @ 21.3Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.325in/s 8.255mm/s**  
Data di calibrazione: 09/05/2016

### Graph Information

Durata: 0.000s To: 5.500s  
Fondoscala sismico:  
0.31in/s (0.078in/s/div) 7.87mm/s (1.969mm/s/div)  
Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 95 m.**  
**CPD = 14.58 kg.**

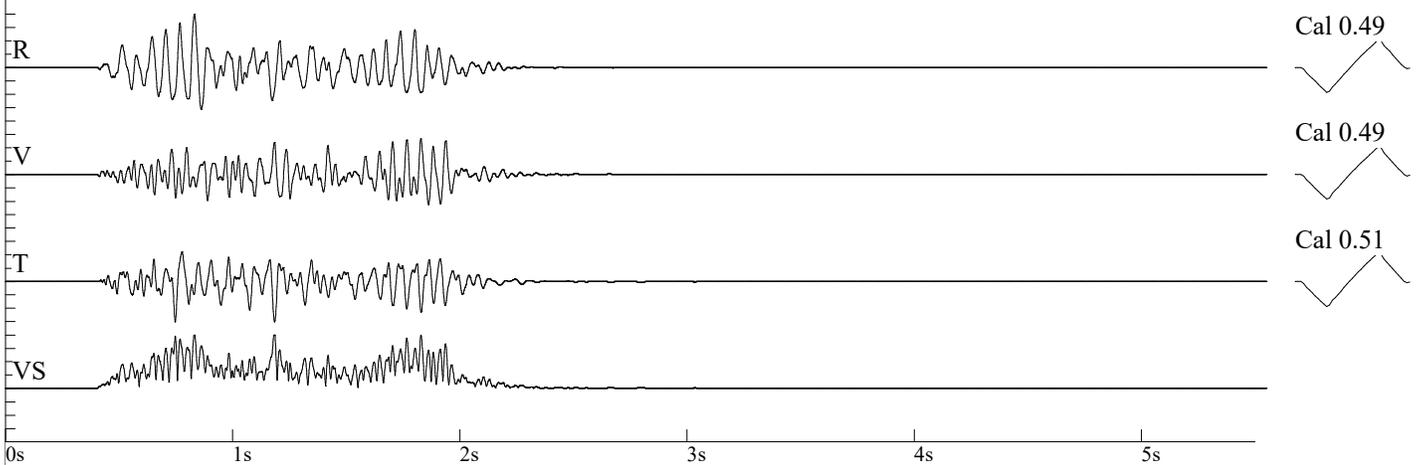
Nome archivio: 3260201905151100024.DTB  
 Numero: 024  
 Data: 15/05/2019  
 Orario: 11:00  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

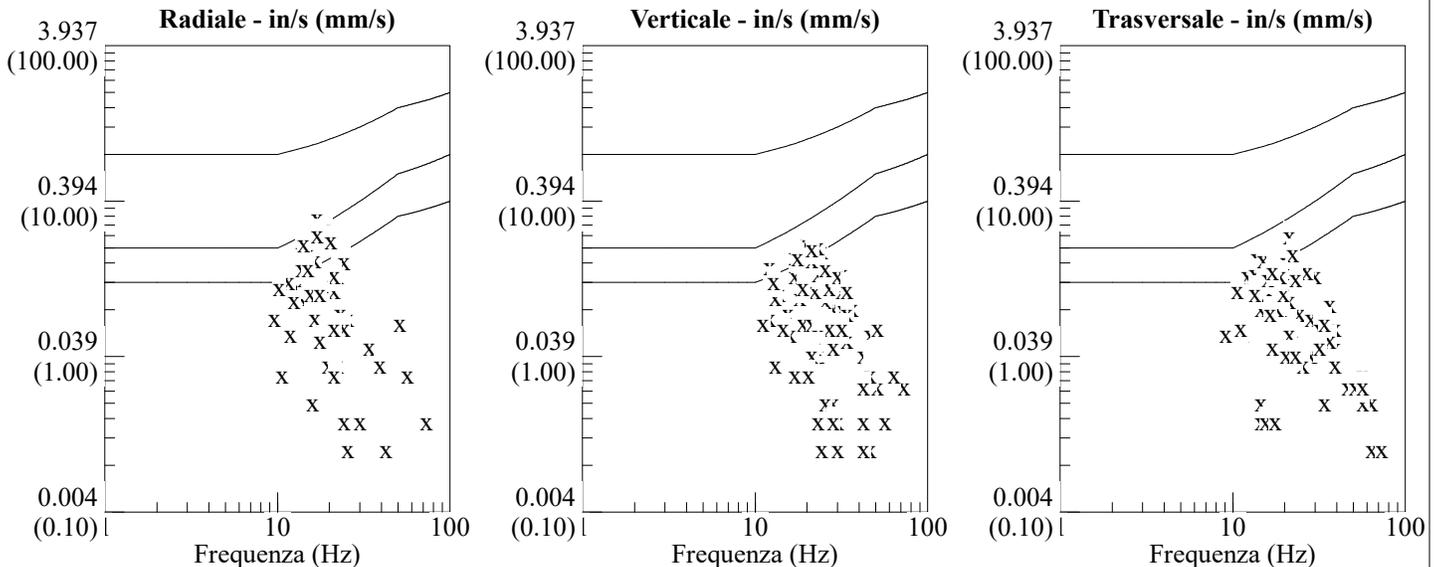
**Radiale: 0.31in/s 7.874mm/s @ 17.0Hz**  
**Verticale: 0.21in/s 5.334mm/s @ 19.6Hz**  
**Trasversale: 0.235in/s 5.969mm/s @ 21.3Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.325in/s 8.255mm/s**  
 Data di calibrazione: 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.31in/s (0.078in/s/div) 7.87mm/s (1.969mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 60 m.**  
**CPD = 18.74 kg.**

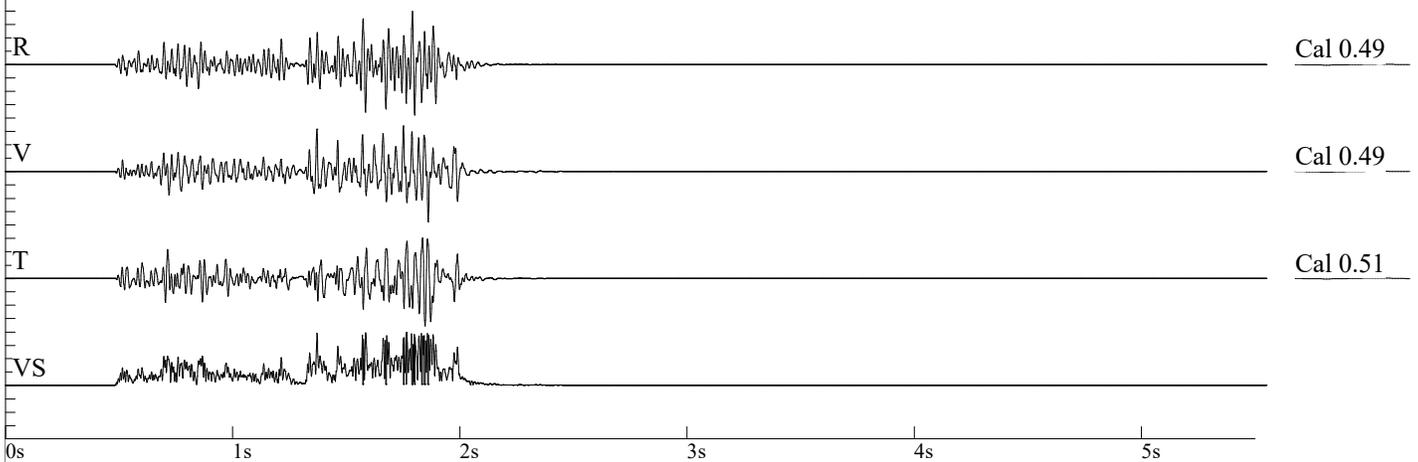
Nome archivio: 3260201905160934025.DTB  
Numero: 025  
Data: 16/05/2019  
Orario: 09:34  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.2

### Amplitudes and Frequencies

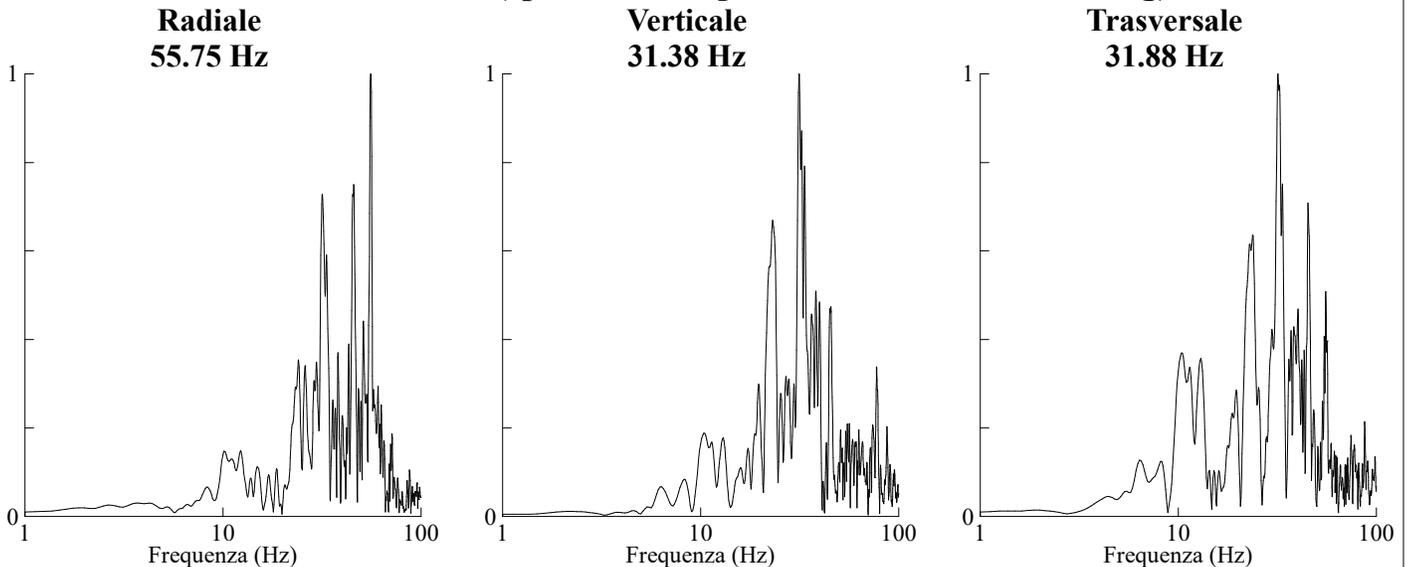
**Radiale: 0.72in/s 18.288mm/s @ 42.6Hz**  
**Verticale: 0.68in/s 17.272mm/s @ 25.6Hz**  
**Trasversale: 0.64in/s 16.256mm/s @ 46.5Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.885in/s 22.479mm/s**  
Data di calibrazione: 09/05/2016

### Graph Information

Durata: 0.000s To: 5.500s  
Fondoscala sismico:  
0.72in/s (0.180in/s/div) 18.29mm/s (4.572mm/s/div)  
Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 60 m.**  
**CPD = 18.74 kg.**

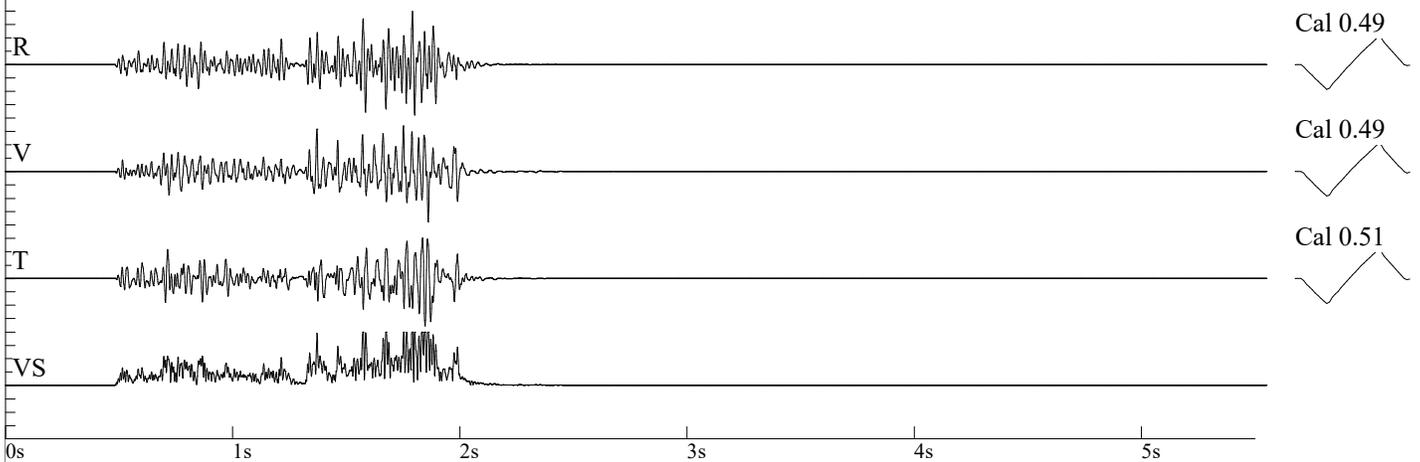
Nome archivio: 3260201905160934025.DTB  
 Numero: 025  
 Data: 16/05/2019  
 Orario: 09:34  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

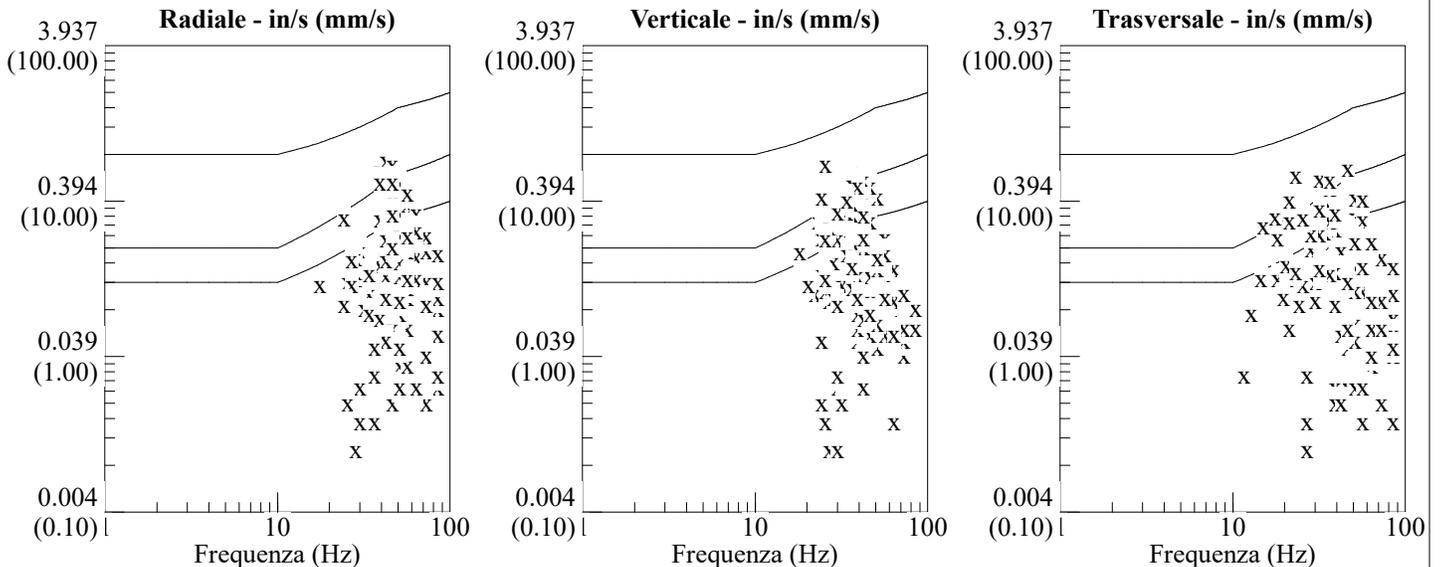
**Radiale: 0.72in/s 18.288mm/s @ 42.6Hz**  
**Verticale: 0.68in/s 17.272mm/s @ 25.6Hz**  
**Trasversale: 0.64in/s 16.256mm/s @ 46.5Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.885in/s 22.479mm/s**  
 Data di calibrazione: 09/05/2016

**Graph Information**

Durata: 0.000s To: 5.500s  
 Fondoscala sismico:  
 0.72in/s (0.180in/s/div) 18.29mm/s (4.572mm/s/div)  
 Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 60 m.**  
**CPD = 22.92 kg.**

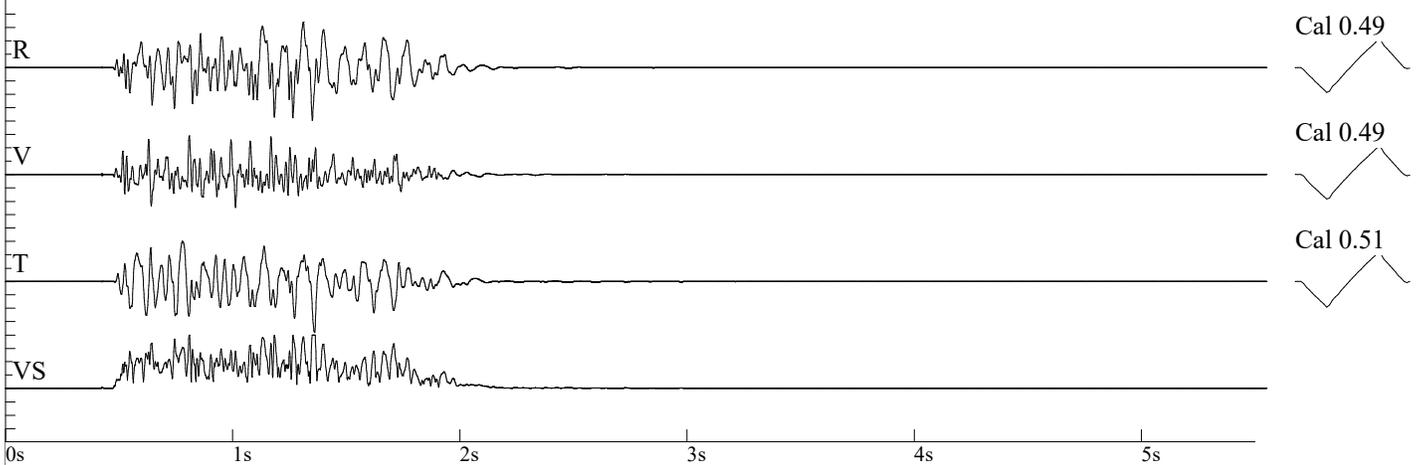
Nome archivio: 3260201905210918026.DTB  
Numero: 026  
Data: 21/05/2019  
Orario: 09:18  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.2

### Amplitudes and Frequencies

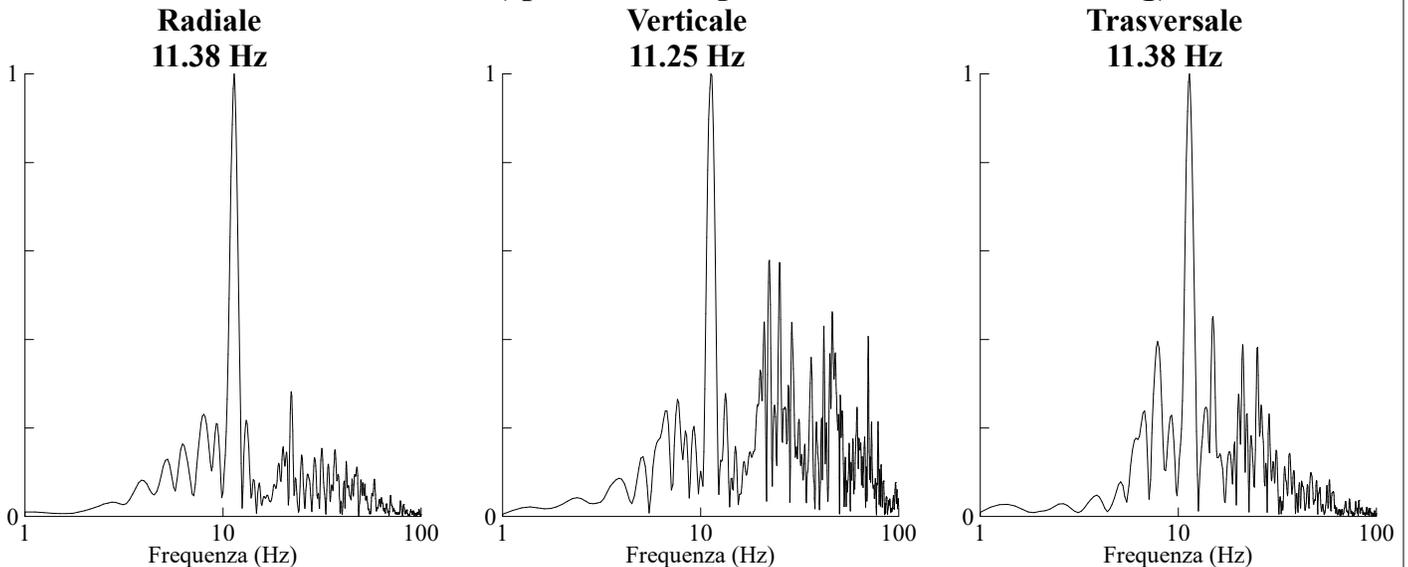
**Radiale: 0.465in/s 11.811mm/s @ 20.4Hz**  
**Verticale: 0.34in/s 8.636mm/s @ 34.1Hz**  
**Trasversale: 0.445in/s 11.303mm/s @ 17.6Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.55in/s 13.97mm/s**  
Data di calibrazione: 09/05/2016

### Graph Information

Durata: 0.000s To: 5.500s  
Fondoscala sismico:  
0.47in/s (0.118in/s/div) 11.94mm/s (2.985mm/s/div)  
Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 60 m.**  
**CPD = 22.92 kg.**

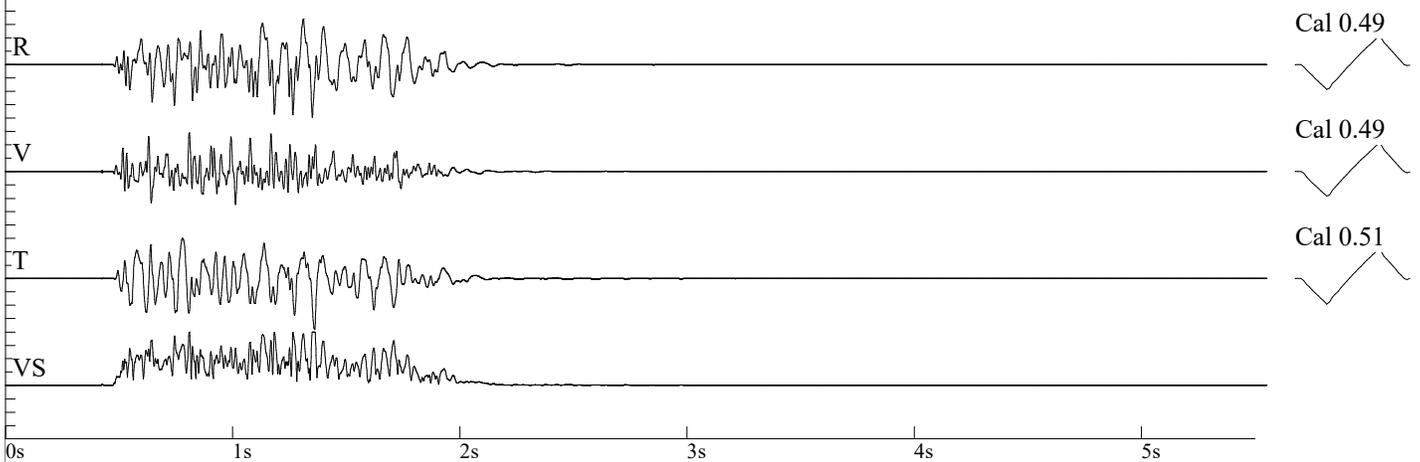
Nome archivio: 3260201905210918026.DTB  
 Numero: 026  
 Data: 21/05/2019  
 Orario: 09:18  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

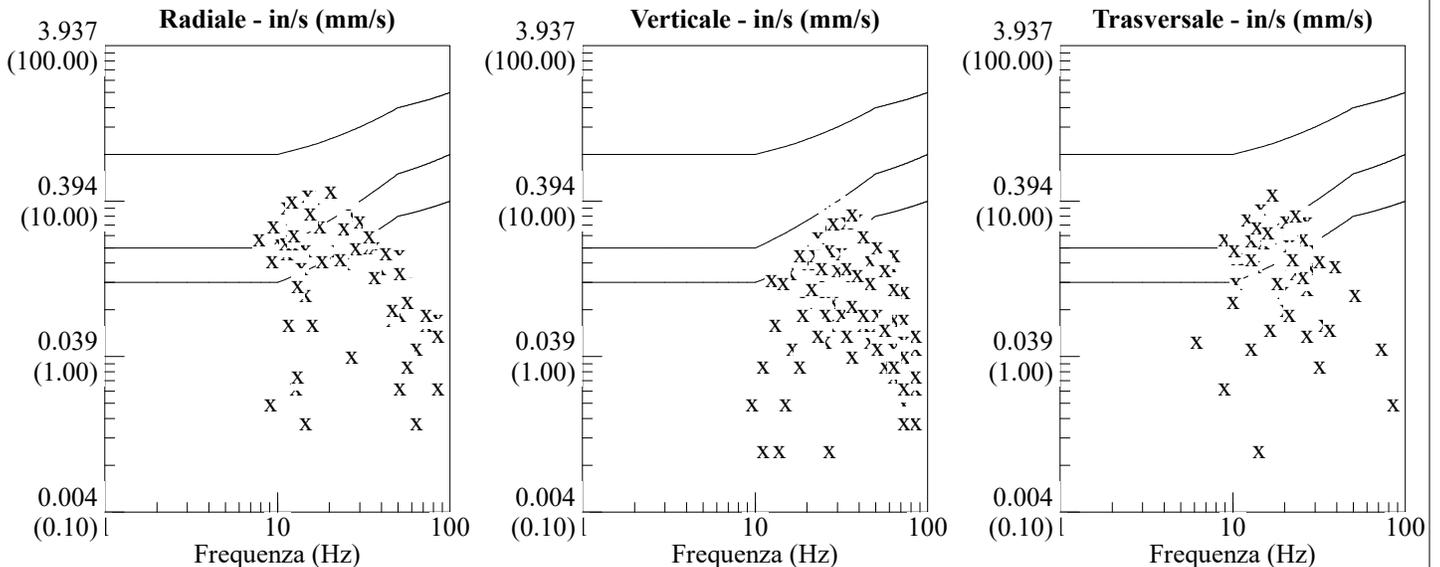
**Radiale: 0.465in/s 11.811mm/s @ 20.4Hz**  
**Verticale: 0.34in/s 8.636mm/s @ 34.1Hz**  
**Trasversale: 0.445in/s 11.303mm/s @ 17.6Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.55in/s 13.97mm/s**  
 Data di calibrazione: 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.47in/s (0.118in/s/div) 11.94mm/s (2.985mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 23 m.**  
**CPD = 20.82 kg.**

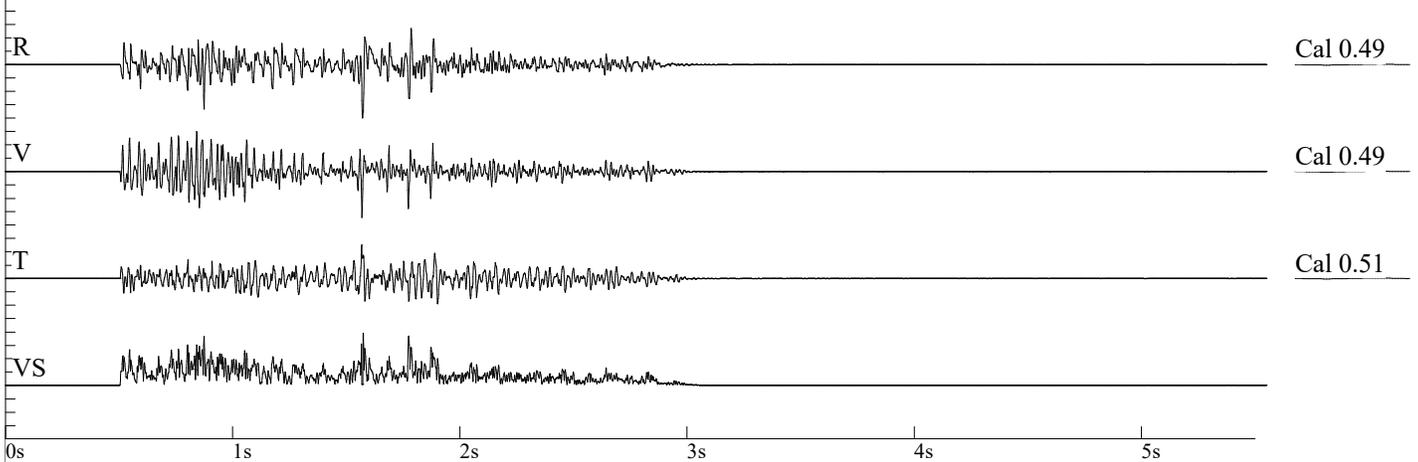
Nome archivio: 3260201905220955027.DTB  
Numero: 027  
Data: 22/05/2019  
Orario: 09:55  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.2

### Amplitudes and Frequencies

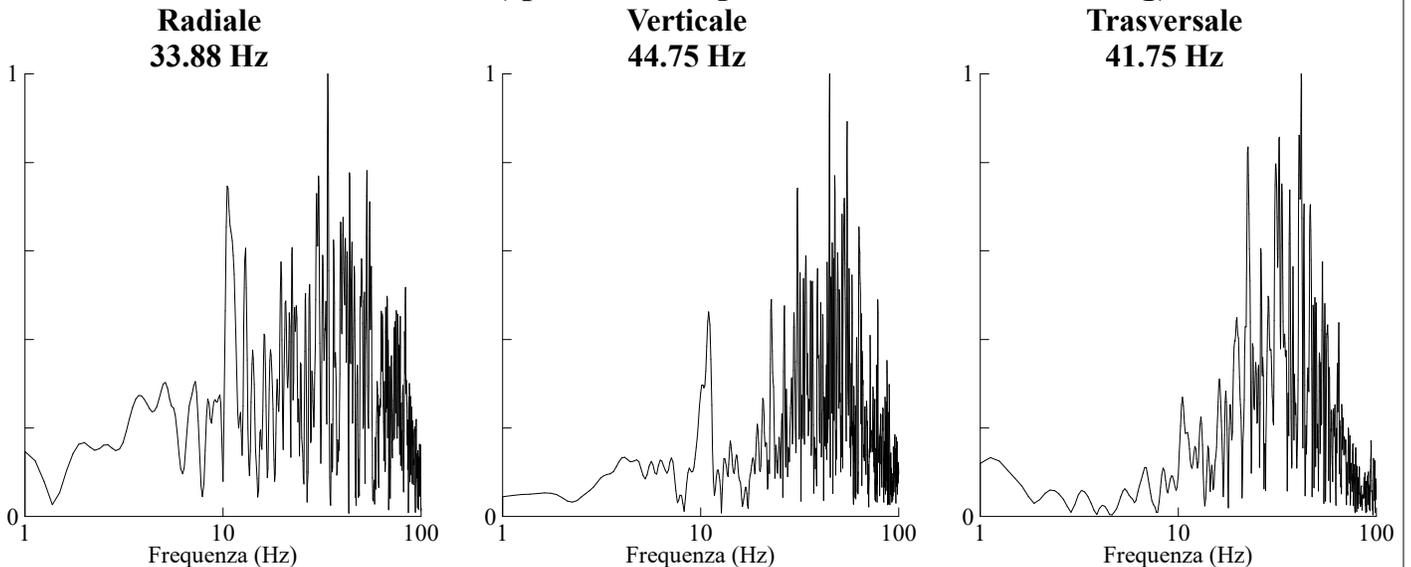
**Radiale: 2.48in/s 62.992mm/s @ 39.3Hz**  
**Verticale: 2.14in/s 54.356mm/s @ 42.6Hz**  
**Trasversale: 1.58in/s 40.132mm/s @ 25.6Hz**  
**Vettore somma (VS): 3.105in/s 78.867mm/s**  
Data di calibrazione: 09/05/2016

### Graph Information

Durata: 0.000s To: 5.500s  
Fondoscala sismico:  
2.48in/s (0.620in/s/div) 62.99mm/s (15.748mm/s/div)  
Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 23 m.**  
**CPD = 20.82 kg.**

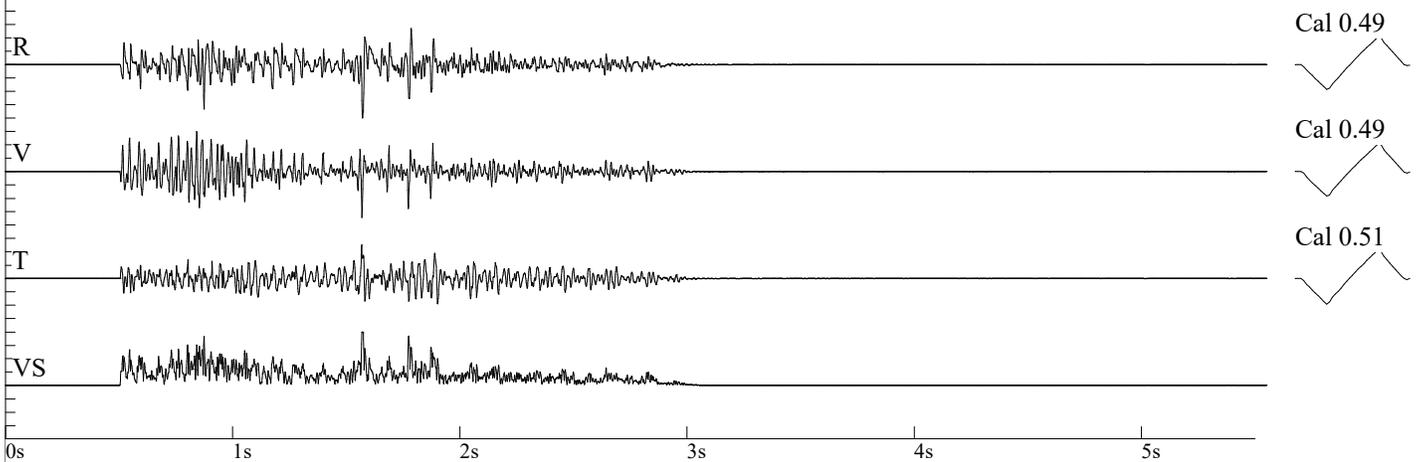
Nome archivio: 3260201905220955027.DTB  
 Numero: 027  
 Data: 22/05/2019  
 Orario: 09:55  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

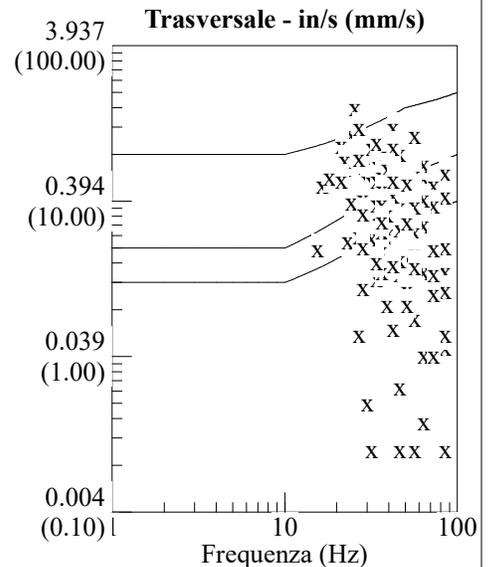
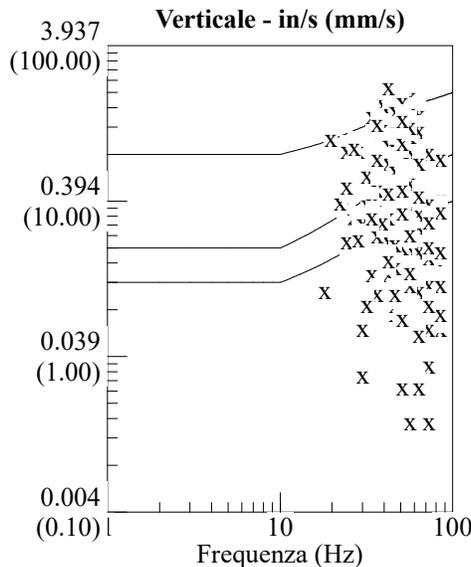
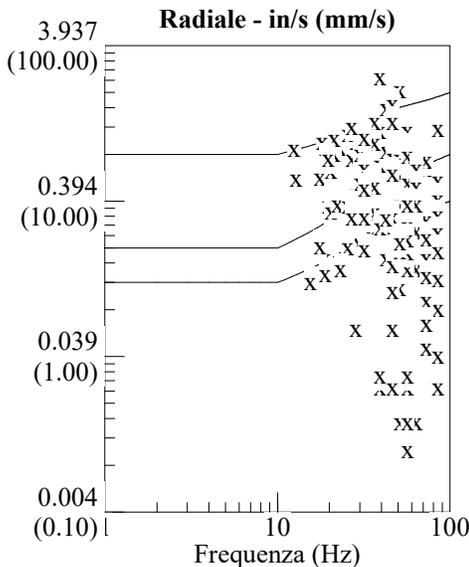
**Radiale: 2.48in/s 62.992mm/s @ 39.3Hz**  
**Verticale: 2.14in/s 54.356mm/s @ 42.6Hz**  
**Trasversale: 1.58in/s 40.132mm/s @ 25.6Hz**  
**Vettore somma (VS): 3.105in/s 78.867mm/s**  
 Data di calibrazione: 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata: 0.000s To: 5.500s*  
*Fondoscala sismico:*  
 2.48in/s (0.620in/s/div) 62.99mm/s (15.748mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s*



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 80 m.**  
**CPD = 22.92 kg.**

Nome archivio: 3260201905300950030.DTB  
Numero: 030  
Data: 30/05/2019  
Orario: 09:50  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.2

### Amplitudes and Frequencies

*Radiale:* 0.19in/s 4.826mm/s @ 24.3Hz

***Verticale:* 0.24in/s 6.096mm/s @ 24.3Hz**

*Trasversale:* 0.23in/s 5.842mm/s @ 30.1Hz

*Vettore somma (VS):* 0.31in/s 7.874mm/s

*Data di calibrazione:* 09/05/2016

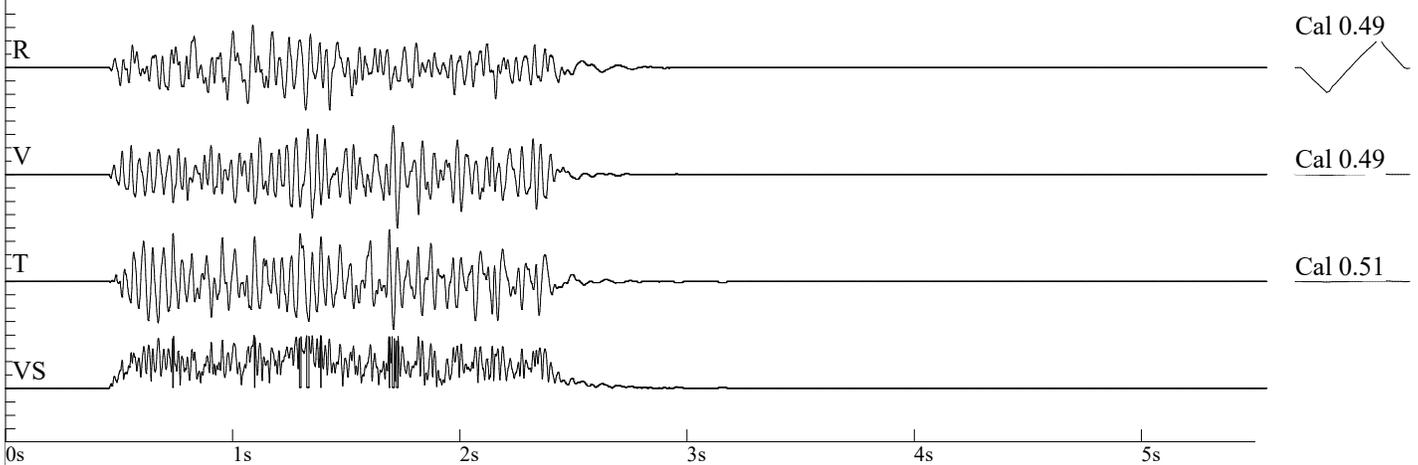
### Graph Information

*Durata:* 0.000s To: 5.500s

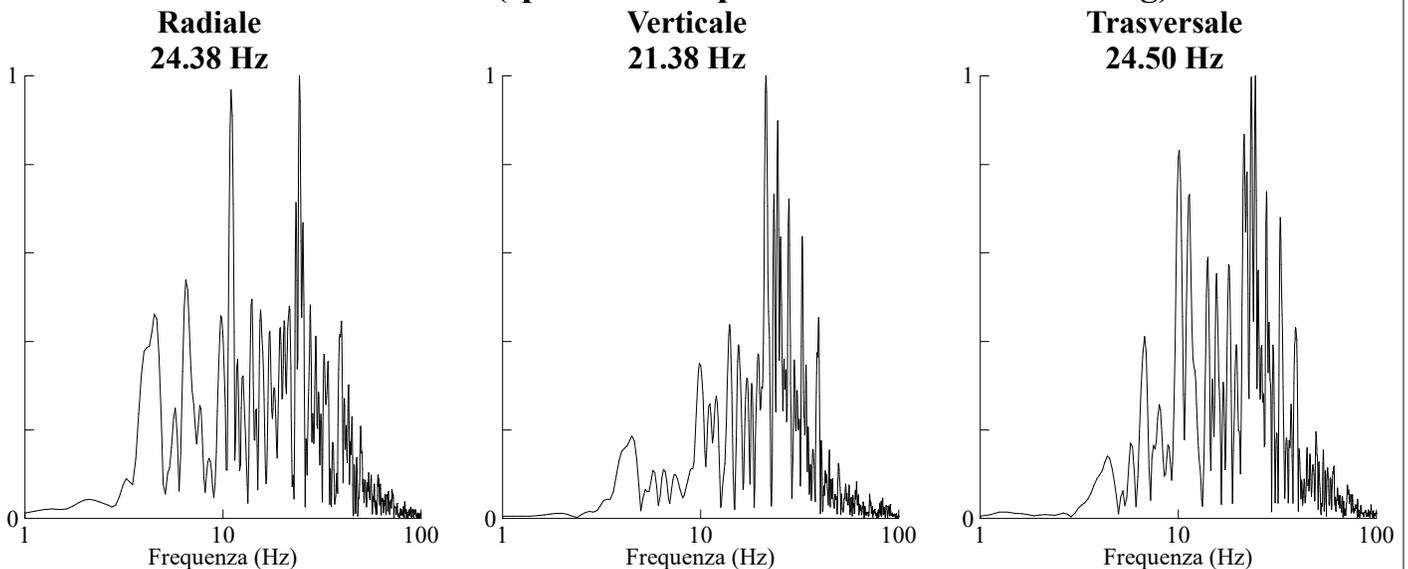
*Fondoscala sismico:*

0.24in/s (0.060in/s/div) 6.10mm/s (1.524mm/s/div)

*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 80 m.**  
**CPD = 22.92 kg.**

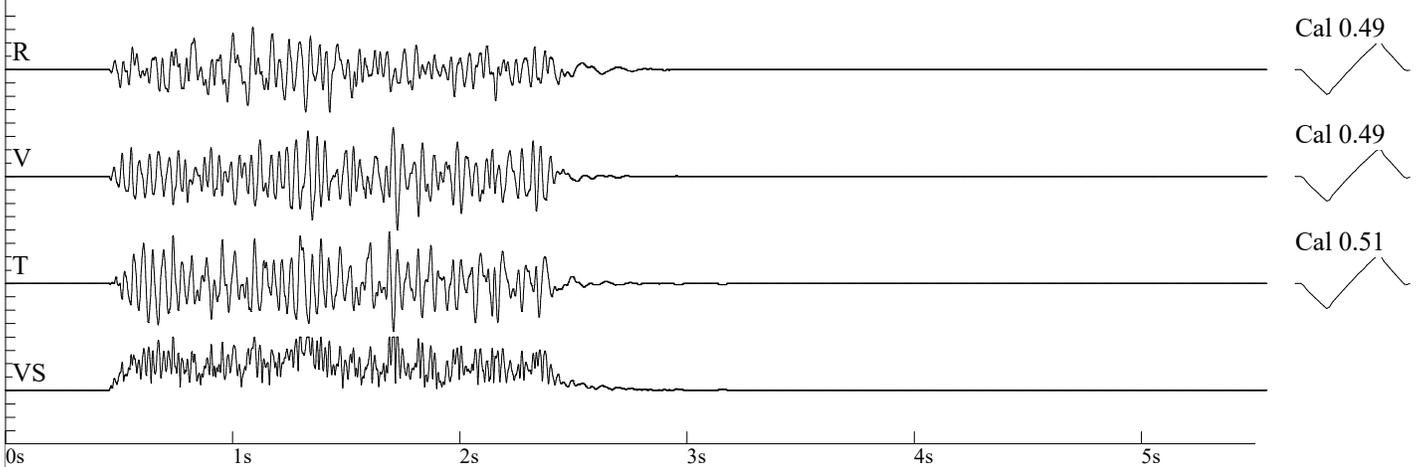
Nome archivio: 3260201905300950030.DTB  
 Numero: 030  
 Data: 30/05/2019  
 Orario: 09:50  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

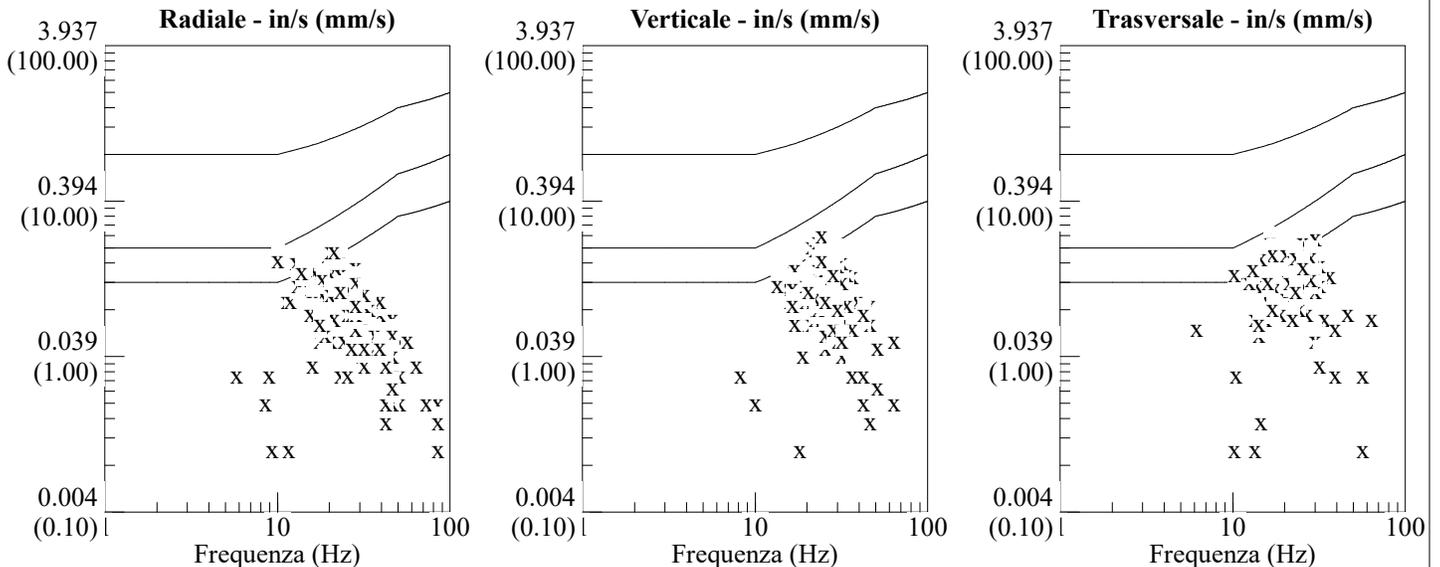
*Radiale:* 0.19in/s 4.826mm/s @ 24.3Hz  
*Verticale:* **0.24in/s 6.096mm/s @ 24.3Hz**  
*Trasversale:* 0.23in/s 5.842mm/s @ 30.1Hz  
*Vettore somma (VS):* 0.31in/s 7.874mm/s  
*Data di calibrazione:* 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.24in/s (0.060in/s/div) 6.10mm/s (1.524mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 90 m.**  
**CPD = 20.82 kg.**

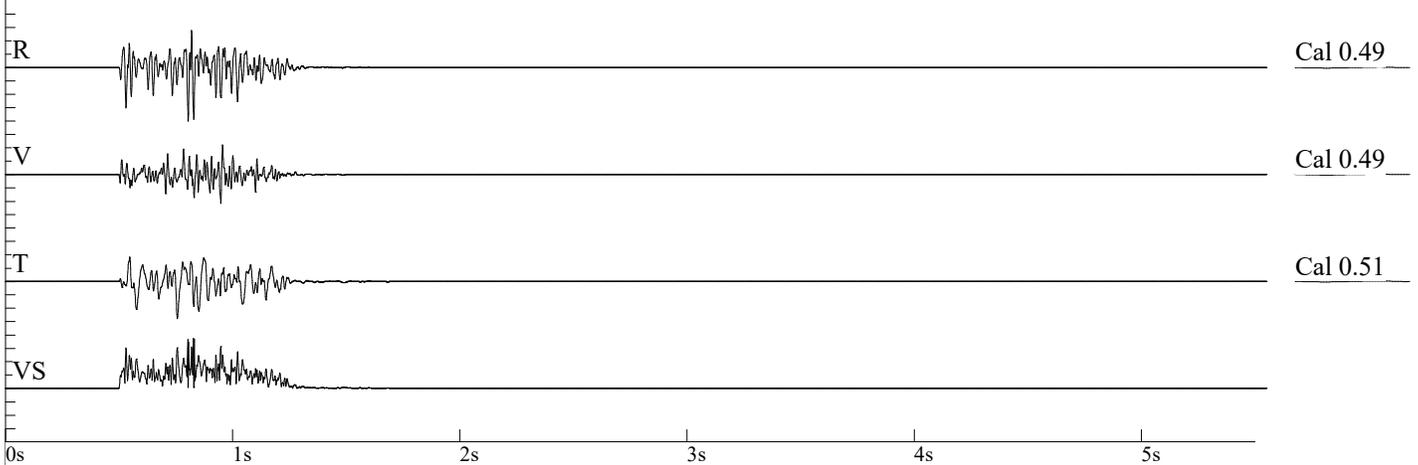
Nome archivio: 3260201905311040031.DTB  
Numero: 031  
Data: 31/05/2019  
Orario: 10:40  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.2

### Amplitudes and Frequencies

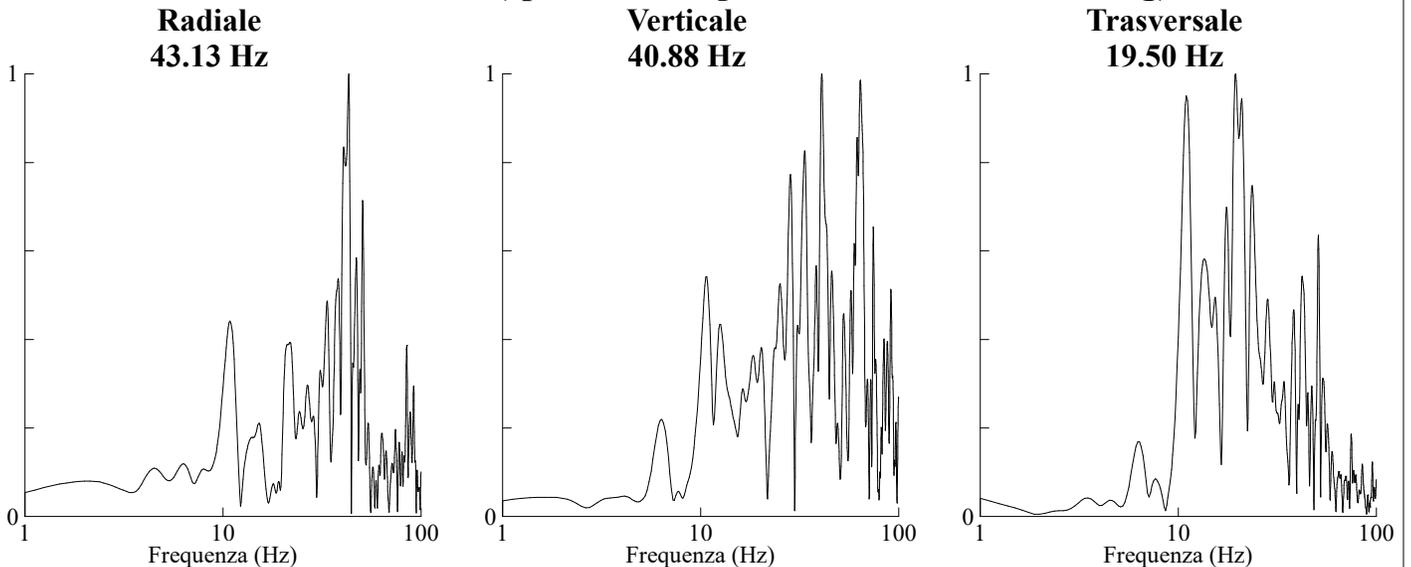
**Radiale: 0.51in/s 12.954mm/s @ 46.5Hz**  
**Verticale: 0.285in/s 7.239mm/s @ 36.5Hz**  
**Trasversale: 0.355in/s 9.017mm/s @ 22.2Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.575in/s 14.605mm/s**  
Data di calibrazione: 09/05/2016

### Graph Information

Durata: 0.000s To: 5.500s  
Fondoscala sismico:  
0.51in/s (0.128in/s/div) 12.95mm/s (3.239mm/s/div)  
Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 90 m.**  
**CPD = 20.82 kg.**

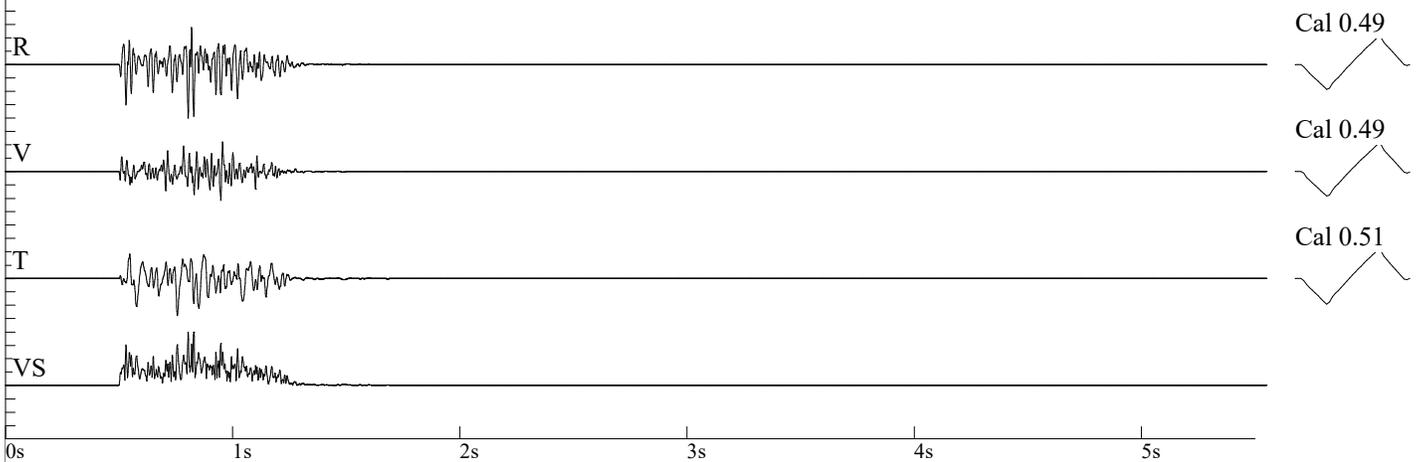
Nome archivio: 3260201905311040031.DTB  
 Numero: 031  
 Data: 31/05/2019  
 Orario: 10:40  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

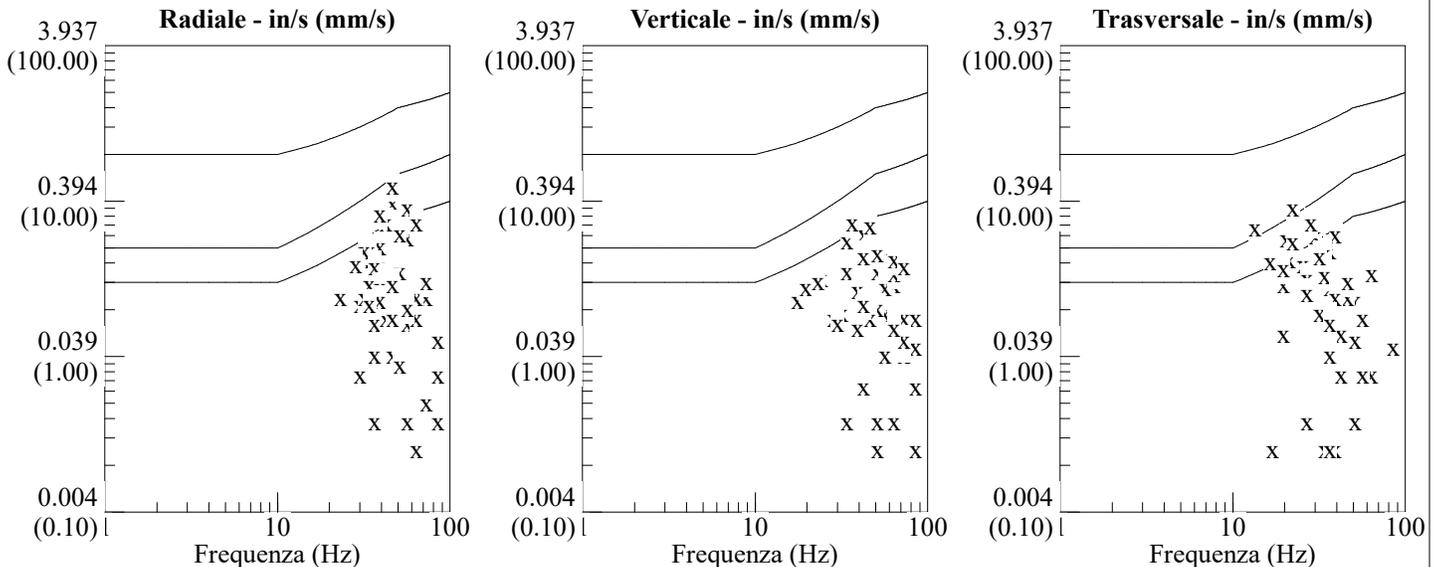
**Radiale: 0.51in/s 12.954mm/s @ 46.5Hz**  
**Verticale: 0.285in/s 7.239mm/s @ 36.5Hz**  
**Trasversale: 0.355in/s 9.017mm/s @ 22.2Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.575in/s 14.605mm/s**  
 Data di calibrazione: 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.51in/s (0.128in/s/div) 12.95mm/s (3.239mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 35 m.**  
**CPD = 20.82 kg.**

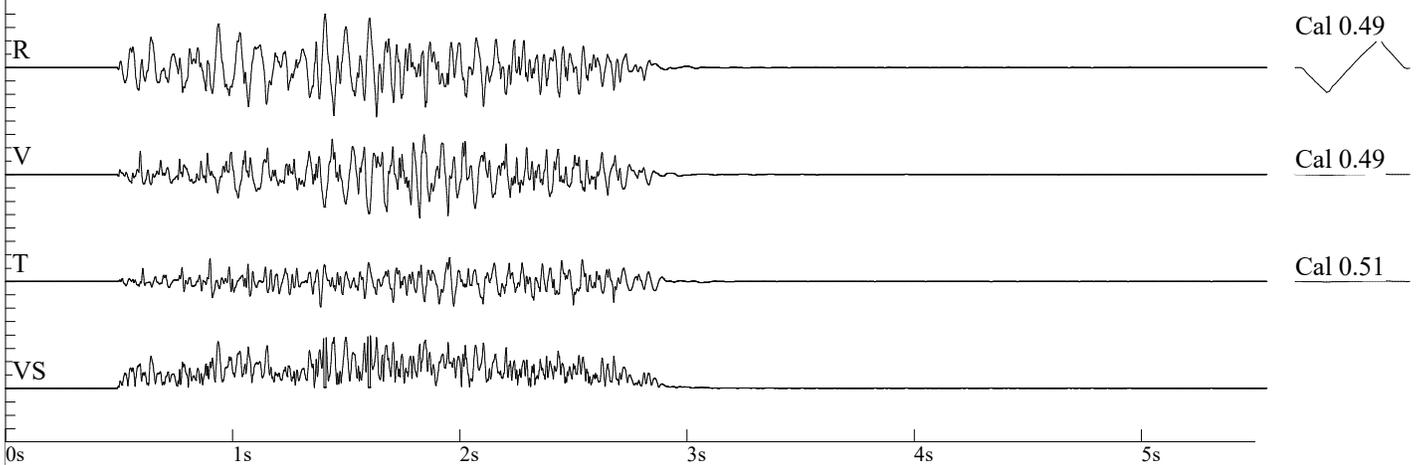
Nome archivio: 3260201906131018032.DTB  
Numero: 032  
Data: 13/06/2019  
Orario: 10:18  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.2

### Amplitudes and Frequencies

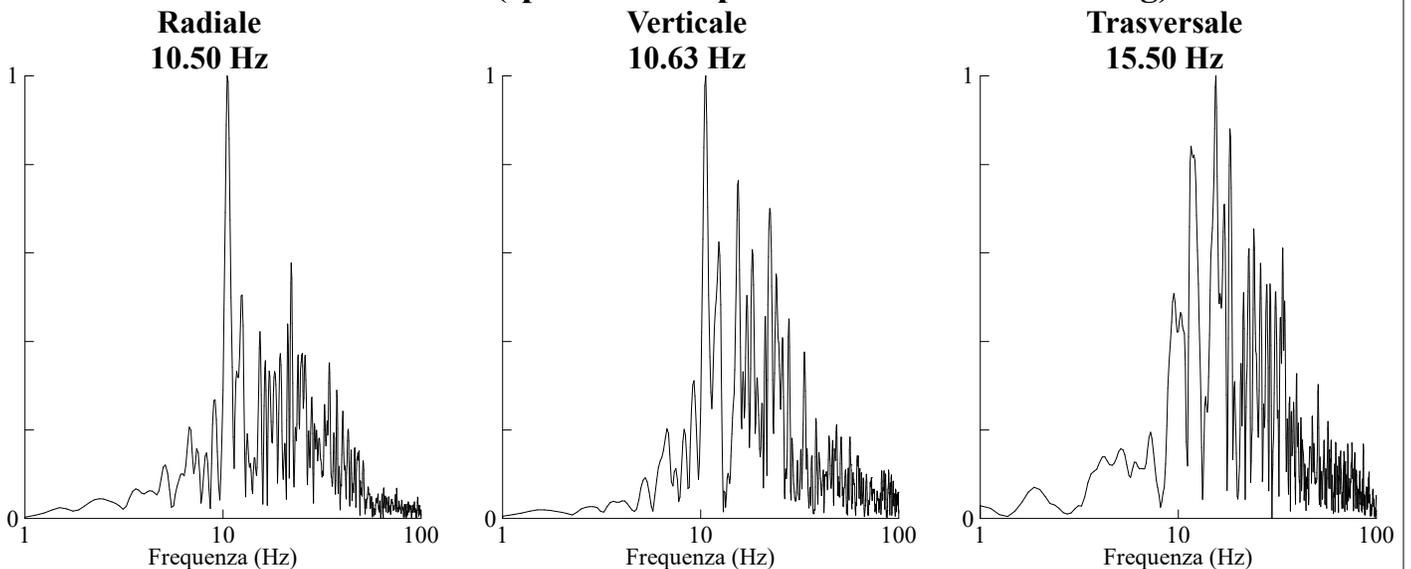
**Radiale: 0.76in/s 19.304mm/s @ 14.6Hz**  
**Verticale: 0.62in/s 15.748mm/s @ 25.6Hz**  
**Trasversale: 0.36in/s 9.144mm/s @ 30.1Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.93in/s 23.622mm/s**  
Data di calibrazione: 09/05/2016

### Graph Information

Durata: 0.000s To: 5.500s  
Fondoscala sismico:  
0.76in/s (0.190in/s/div) 19.30mm/s (4.826mm/s/div)  
Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 35 m.**  
**CPD = 20.82 kg.**

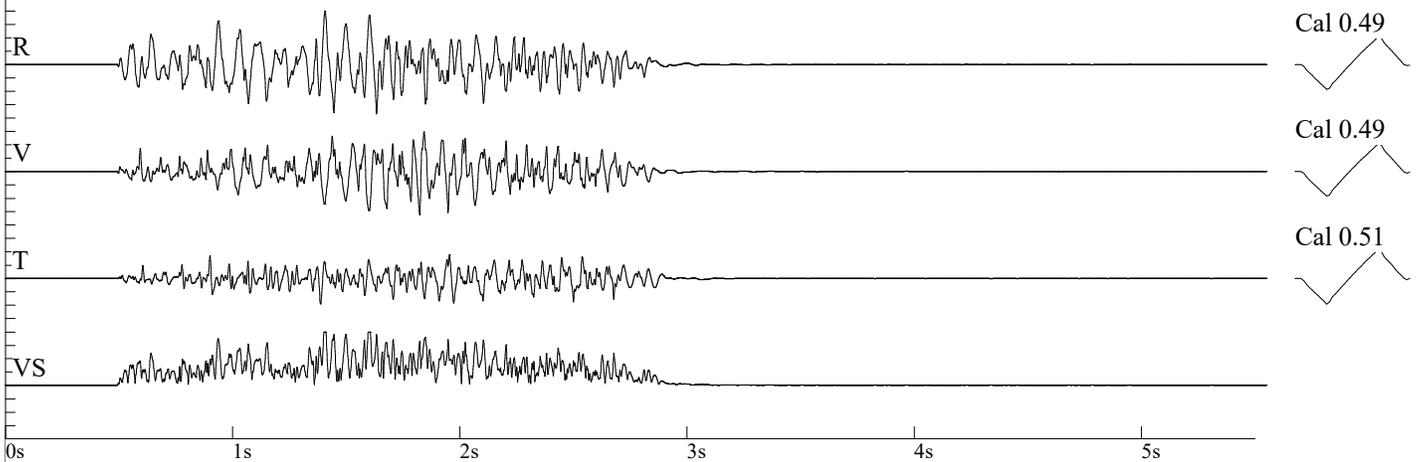
Nome archivio: 3260201906131018032.DTB  
 Numero: 032  
 Data: 13/06/2019  
 Orario: 10:18  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

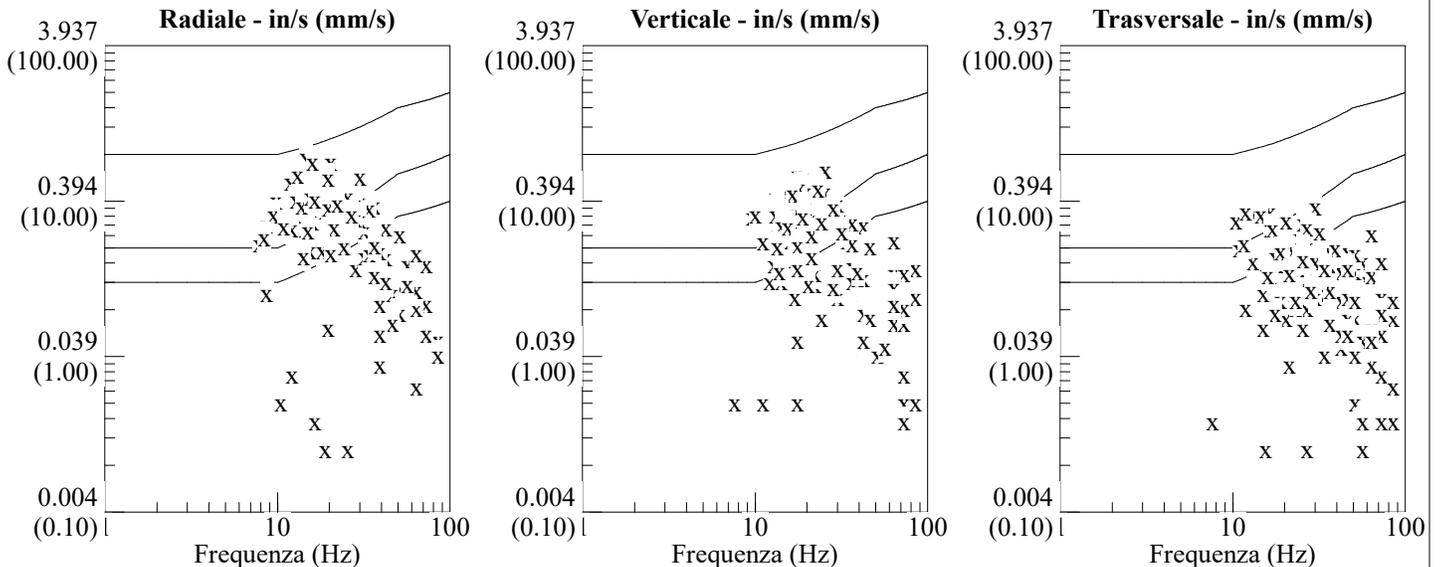
**Radiale: 0.76in/s 19.304mm/s @ 14.6Hz**  
**Verticale: 0.62in/s 15.748mm/s @ 25.6Hz**  
**Trasversale: 0.36in/s 9.144mm/s @ 30.1Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.93in/s 23.622mm/s**  
 Data di calibrazione: 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.76in/s (0.190in/s/div) 19.30mm/s (4.826mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 25 m.**  
**CPD = 13.88 kg.**

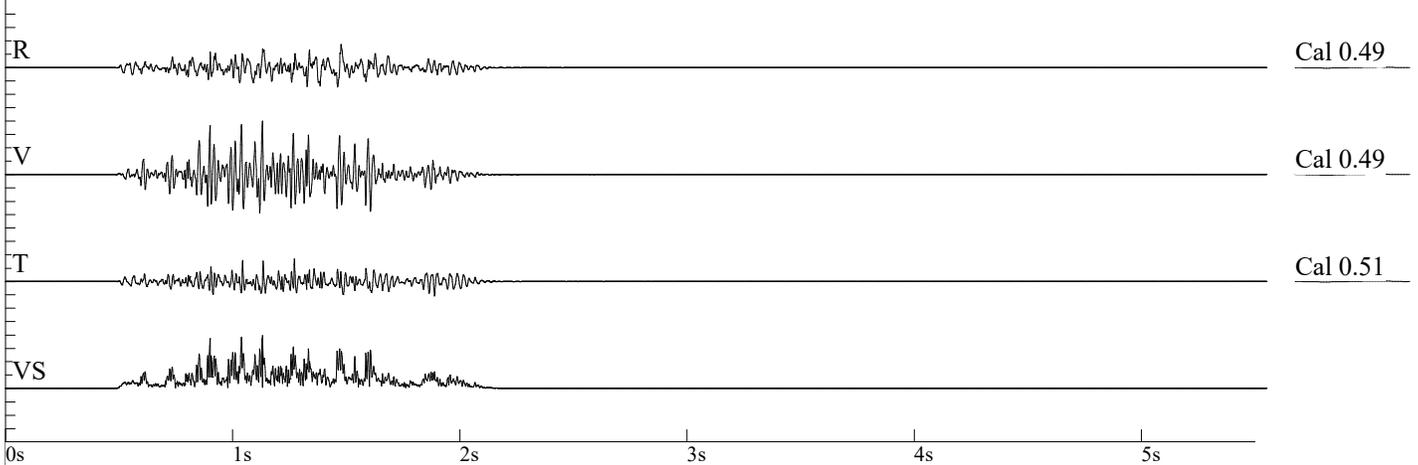
Nome archivio: 3260201906180927033.DTB  
Numero: 033  
Data: 18/06/2019  
Orario: 09:27  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.2

### Amplitudes and Frequencies

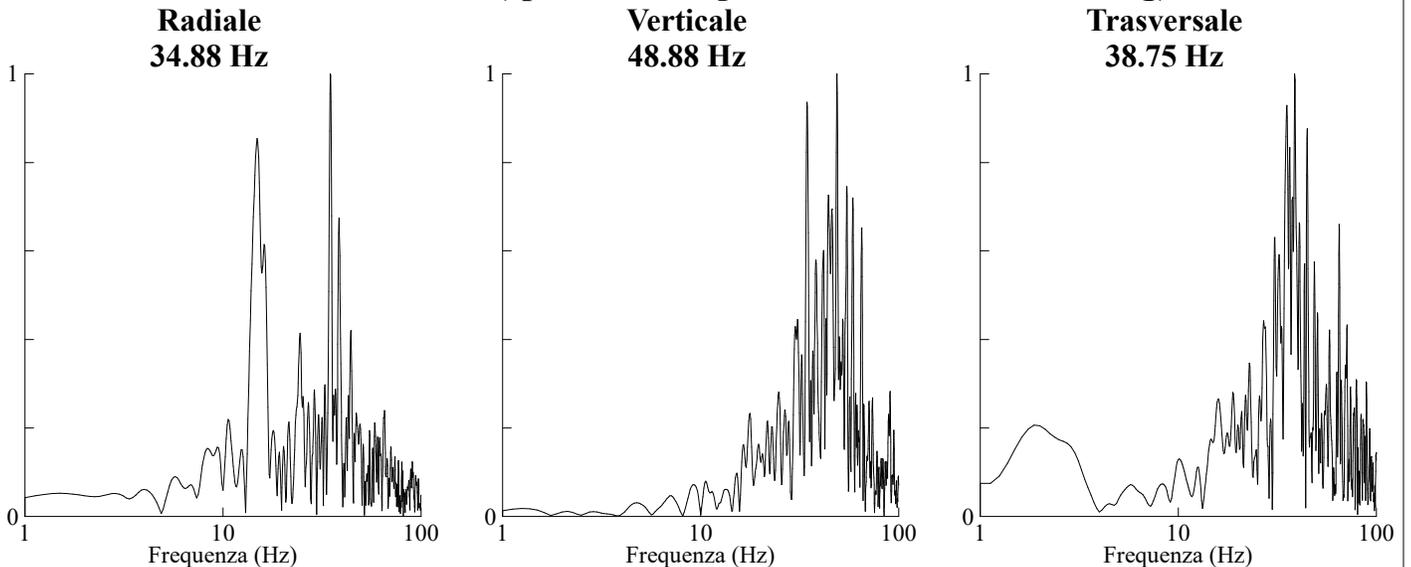
*Radiale:* 0.84in/s 21.336mm/s @ 23.2Hz  
*Verticale:* 1.92in/s 48.768mm/s @ 46.5Hz  
*Trasversale:* 0.82in/s 20.828mm/s @ 73.1Hz  
*Vettore somma (VS):* 1.995in/s 50.673mm/s  
*Data di calibrazione:* 09/05/2016

### Graph Information

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
1.92in/s (0.480in/s/div) 48.77mm/s (12.192mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 25 m.**  
**CPD = 13.88 kg.**

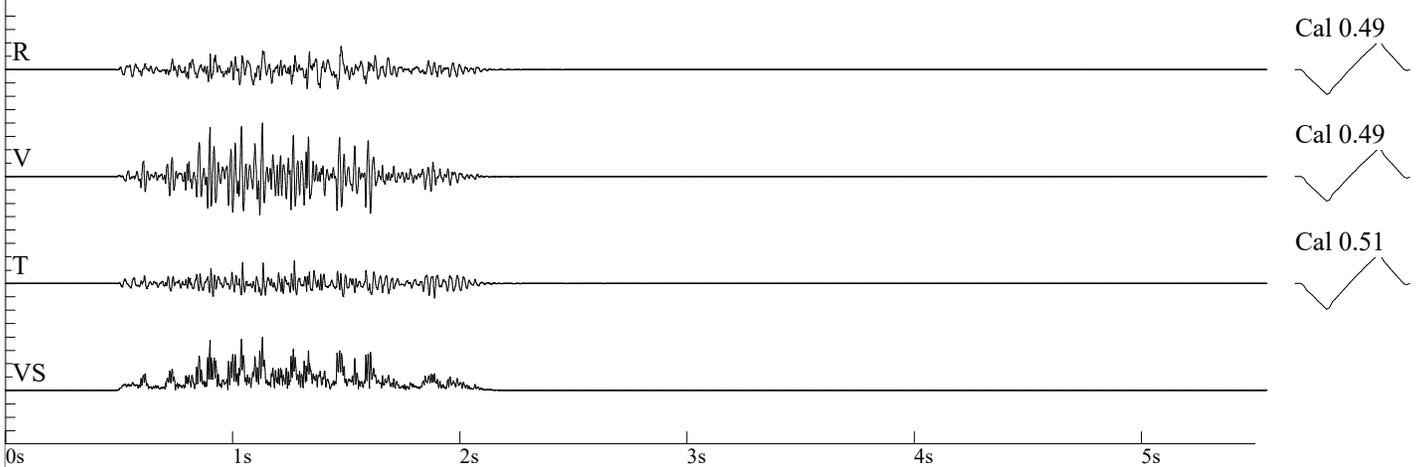
Nome archivio: 3260201906180927033.DTB  
 Numero: 033  
 Data: 18/06/2019  
 Orario: 09:27  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0800 in/s 2.0320 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

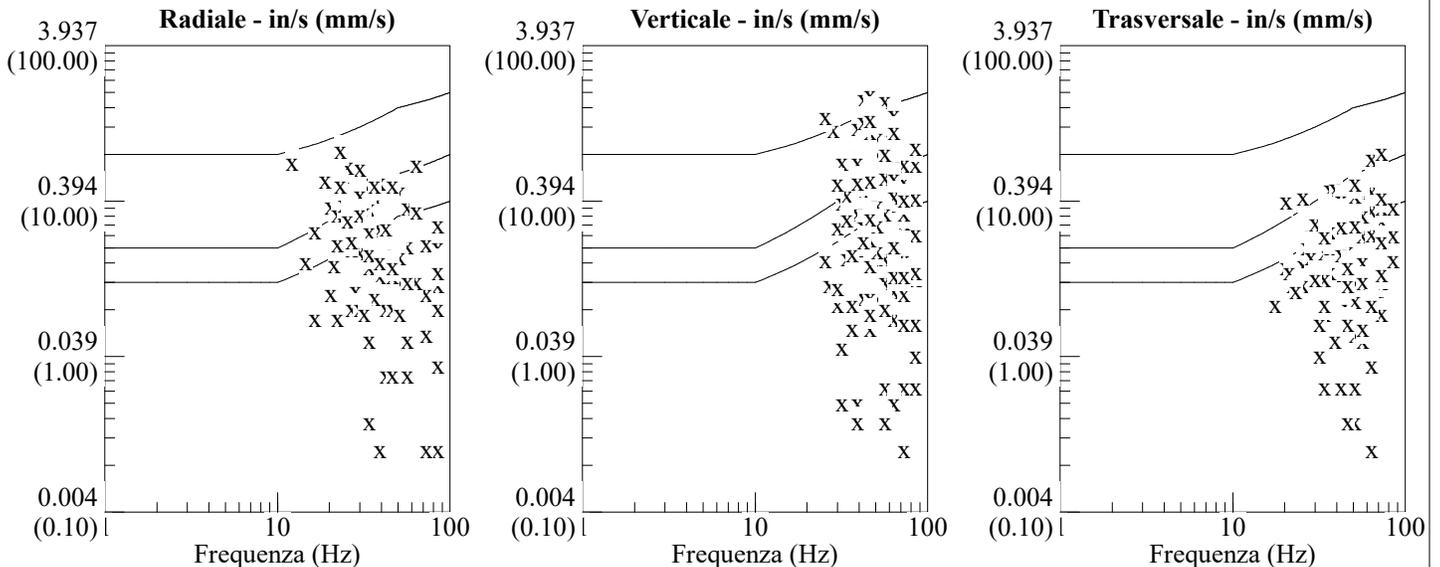
*Radiale:* 0.84in/s 21.336mm/s @ 23.2Hz  
*Verticale:* 1.92in/s 48.768mm/s @ 46.5Hz  
*Trasversale:* 0.82in/s 20.828mm/s @ 73.1Hz  
*Vettore somma (VS):* 1.995in/s 50.673mm/s  
 Data di calibrazione: 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 1.92in/s (0.480in/s/div) 48.77mm/s (12.192mm/s/div)  
 Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 100 m.**  
**CPD = 18.74 kg.**

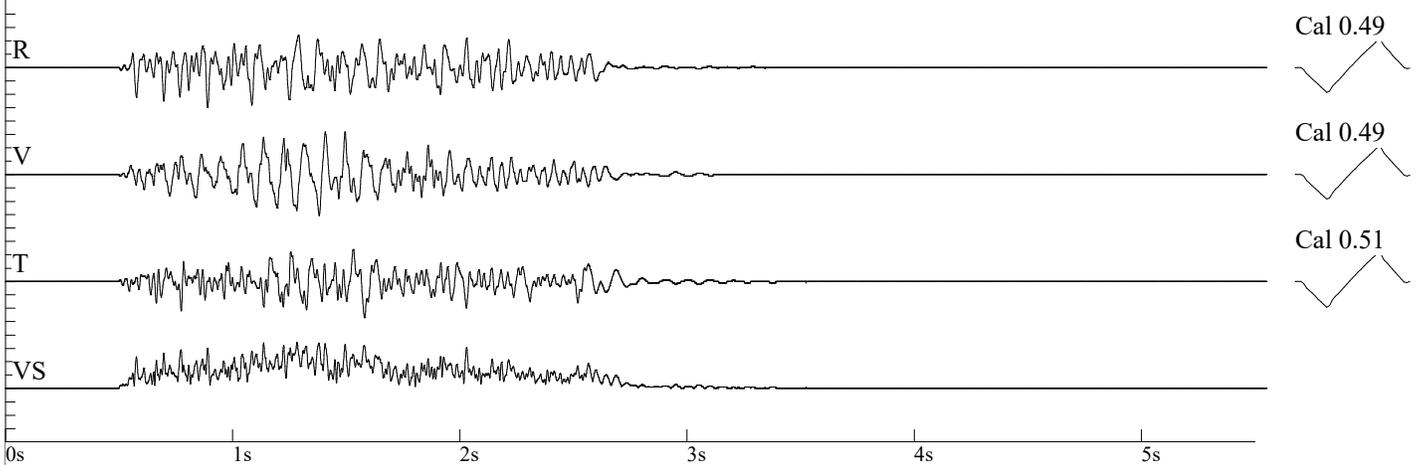
Nome archivio: 3260201906250941038.DTB  
Numero: 038  
Data: 25/06/2019  
Orario: 09:41  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0100 in/s 0.2540 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.2

### Amplitudes and Frequencies

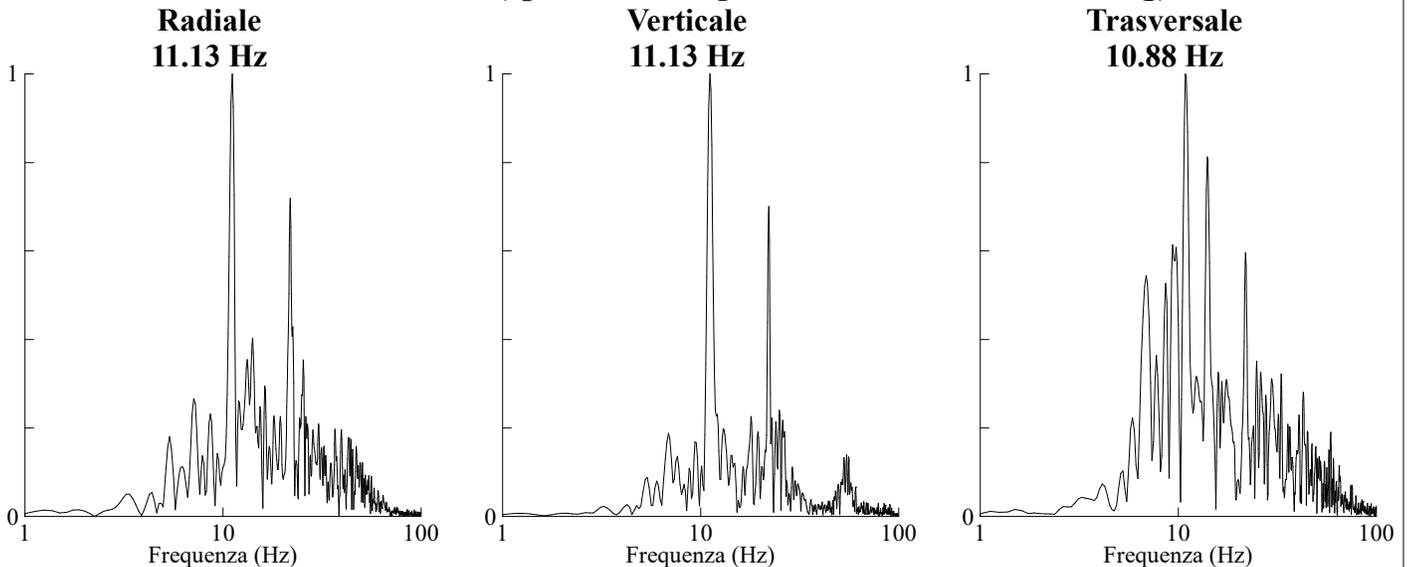
*Radiale:* 0.15in/s 3.81mm/s @ 26.9Hz  
***Verticale:* 0.16in/s 4.064mm/s @ 16.5Hz**  
*Trasversale:* 0.135in/s 3.429mm/s @ 13.4Hz  
*Vettore somma (VS):* 0.175in/s 4.445mm/s  
*Data di calibrazione:* 09/05/2016

### Graph Information

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
0.20in/s (0.050in/s/div) 5.08mm/s (1.270mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 100 m.**  
**CPD = 18.74 kg.**

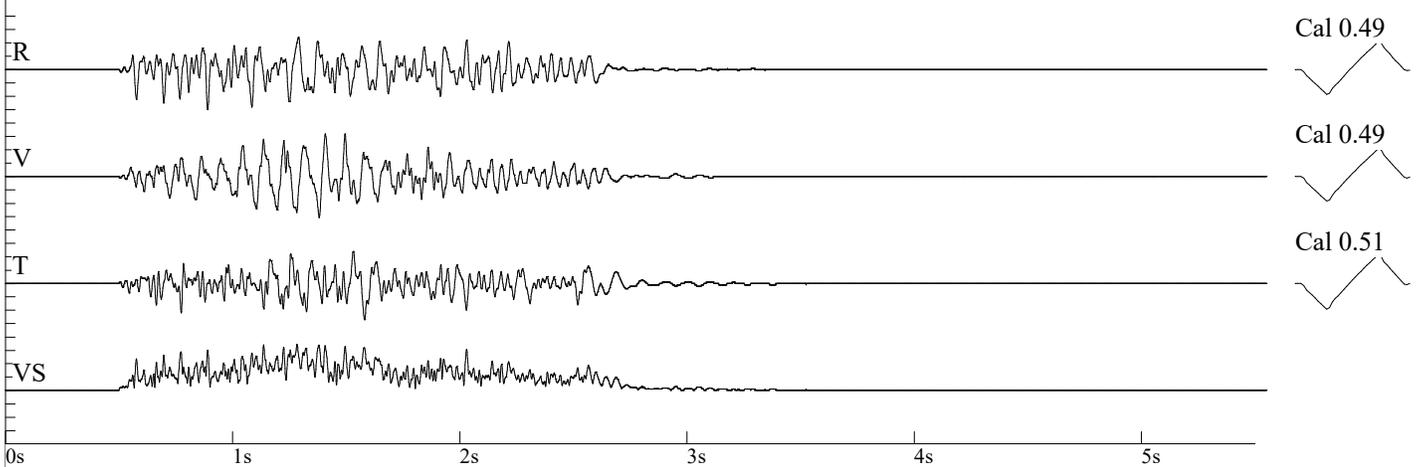
Nome archivio: 3260201906250941038.DTB  
 Numero: 038  
 Data: 25/06/2019  
 Orario: 09:41  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0100 in/s 0.2540 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

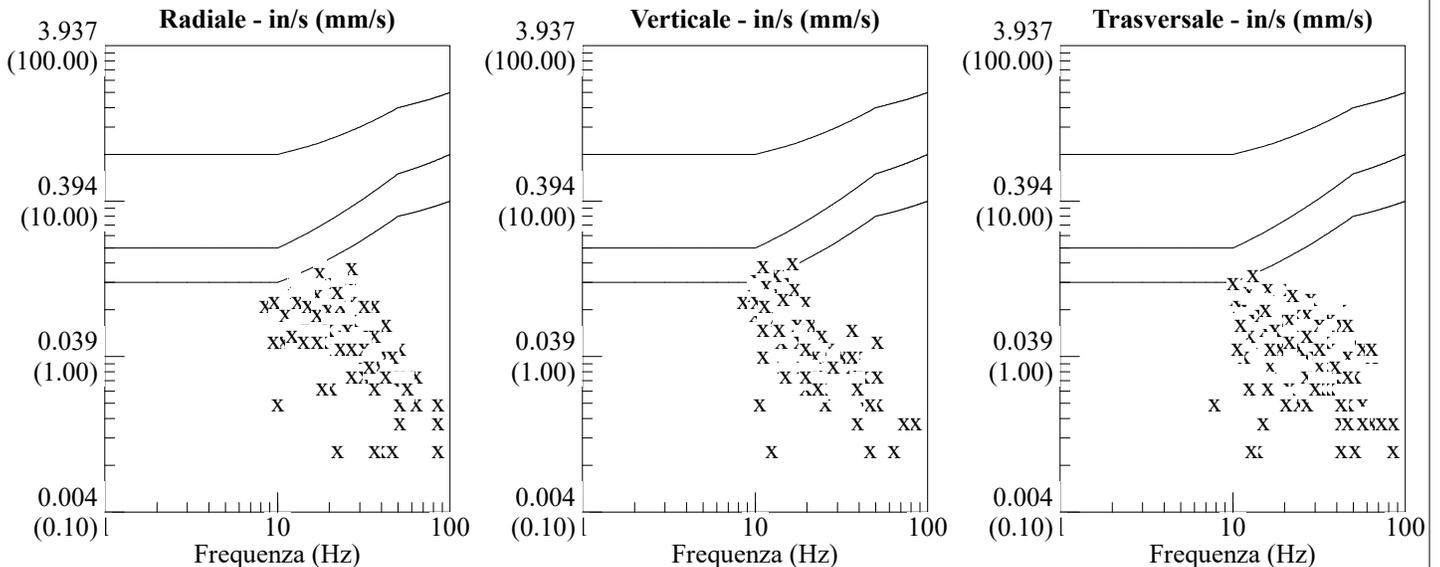
*Radiale:* 0.15in/s 3.81mm/s @ 26.9Hz  
*Verticale:* **0.16in/s 4.064mm/s @ 16.5Hz**  
*Trasversale:* 0.135in/s 3.429mm/s @ 13.4Hz  
*Vettore somma (VS):* 0.175in/s 4.445mm/s  
 Data di calibrazione: 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.20in/s (0.050in/s/div) 5.08mm/s (1.270mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 100 m.**  
**CPD = 18.74 kg.**

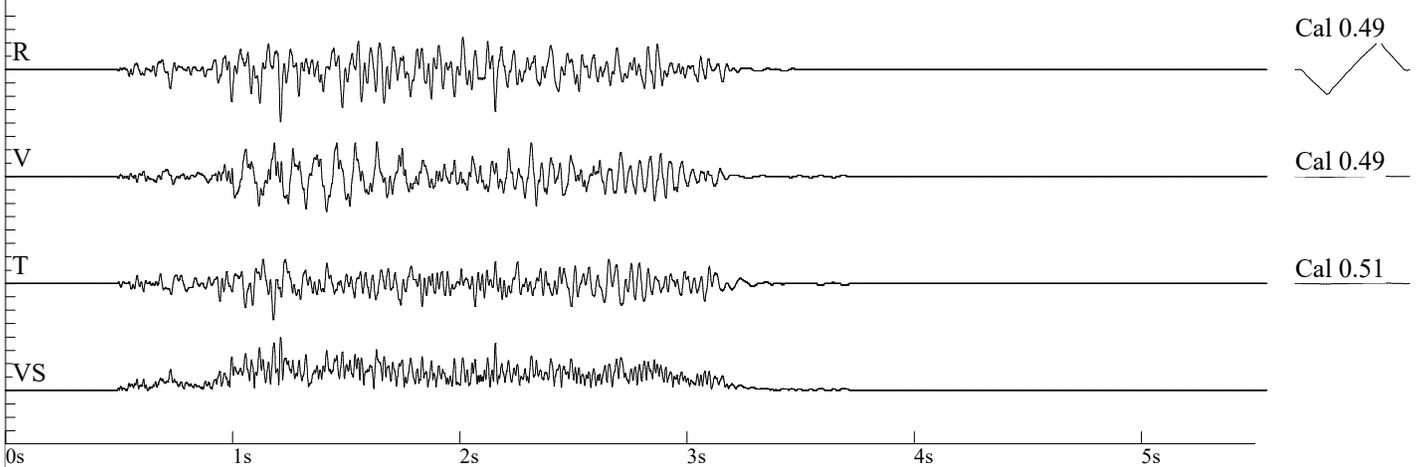
Nome archivio: 3260201907040952041.DTB  
 Numero: 041  
 Data: 04/07/2019  
 Orario: 09:52  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0100 in/s 0.2540 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

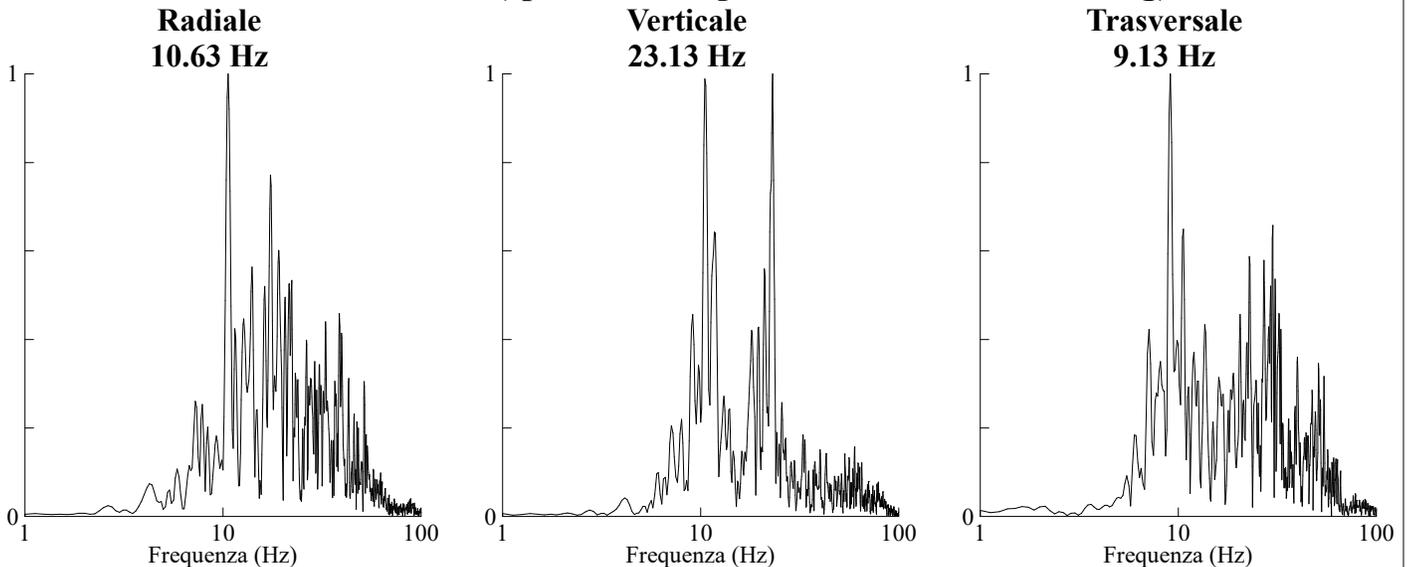
*Radiale:* 0.195in/s 4.953mm/s @ 26.9Hz  
*Verticale:* 0.13in/s 3.302mm/s @ 14.2Hz  
*Trasversale:* 0.135in/s 3.429mm/s @ 25.6Hz  
*Vettore somma (VS):* 0.20in/s 5.08mm/s  
*Data di calibrazione:* 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.20in/s (0.050in/s/div) 5.08mm/s (1.270mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 100 m.**  
**CPD = 18.74 kg.**

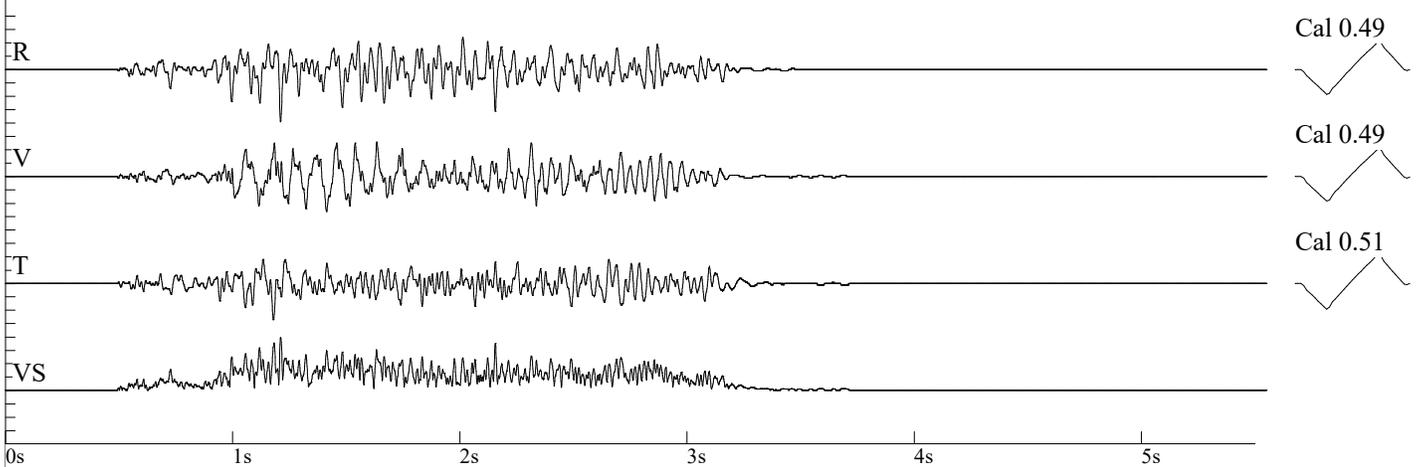
Nome archivio: 3260201907040952041.DTB  
 Numero: 041  
 Data: 04/07/2019  
 Orario: 09:52  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0100 in/s 0.2540 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

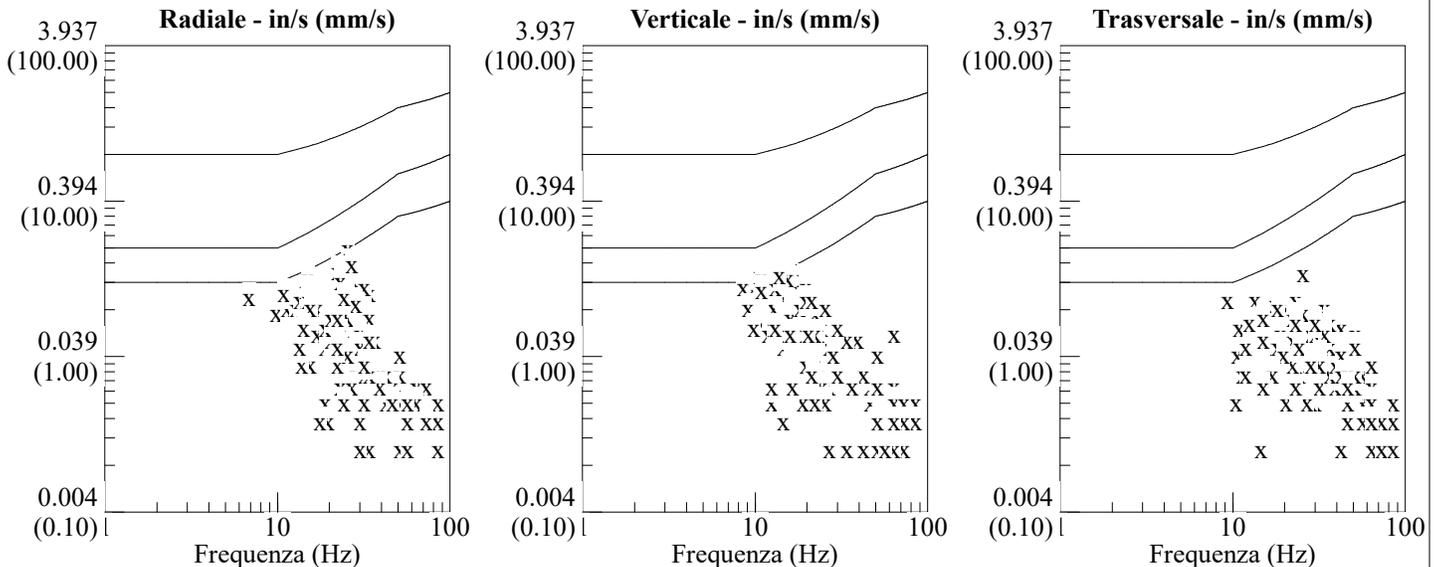
*Radiale:* 0.195in/s 4.953mm/s @ 26.9Hz  
*Verticale:* 0.13in/s 3.302mm/s @ 14.2Hz  
*Trasversale:* 0.135in/s 3.429mm/s @ 25.6Hz  
*Vettore somma (VS):* 0.20in/s 5.08mm/s  
*Data di calibrazione:* 09/05/2016

**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.20in/s (0.050in/s/div) 5.08mm/s (1.270mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**DIN 4150**



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 70 m.**  
**CPD = 14.58 kg.**

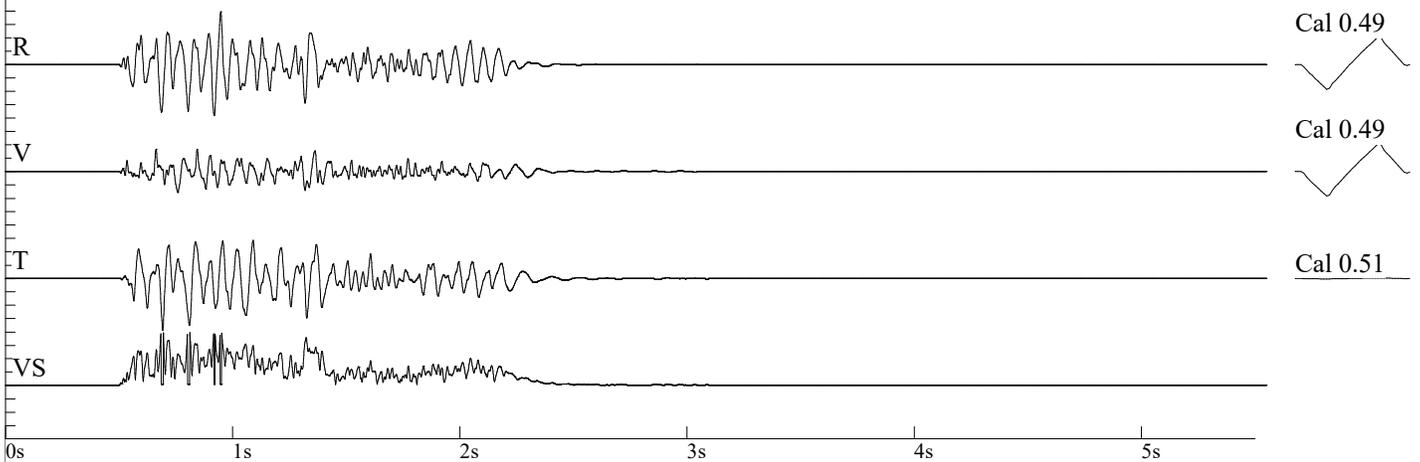
Nome archivio: 3260201907100930043.DTB  
Numero: 043  
Data: 10/07/2019  
Orario: 09:30  
Numero di serie: 3260  
Trigger sismico: 0.0100 in/s 0.2540 mm/s  
Trigger acustico: 142 dB  
Frequenza di campionamento: 1024  
Durata registrazione: 5.0 Seconds  
Pre trigger: 0.50 Seconds  
Guadagno del sensore: 2x  
Batteria: 6.2

### Amplitudes and Frequencies

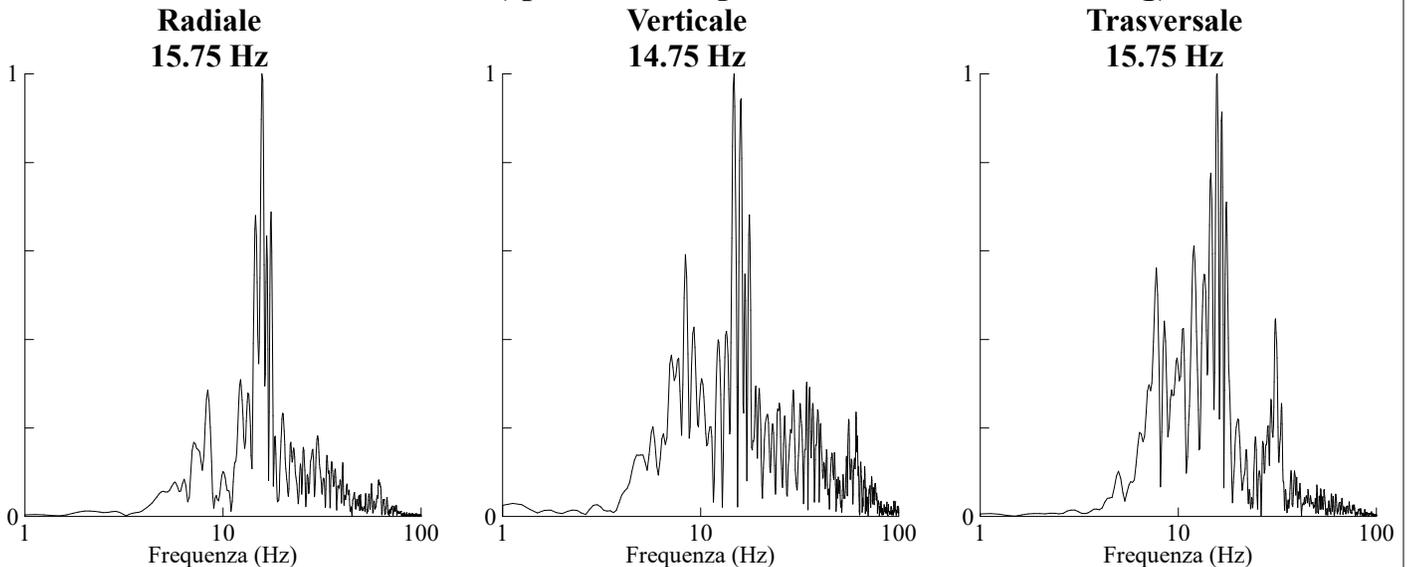
**Radiale: 0.365in/s 9.271mm/s @ 18.9Hz**  
**Verticale: 0.155in/s 3.937mm/s @ 13.1Hz**  
**Trasversale: 0.36in/s 9.144mm/s @ 20.4Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.455in/s 11.557mm/s**  
Data di calibrazione: 09/05/2016

### Graph Information

Durata: 0.000s To: 5.500s  
Fondoscala sismico:  
0.37in/s (0.093in/s/div) 9.40mm/s (2.350mm/s/div)  
Linee marcatempo ad intervalli di: 1.00 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



**Buzzi Unicem S.p.a. - Cava di Roaschia**  
**Froni - Bellone**  
**Distanza del geofono dal baricentro 70 m.**  
**CPD = 14.58 kg.**

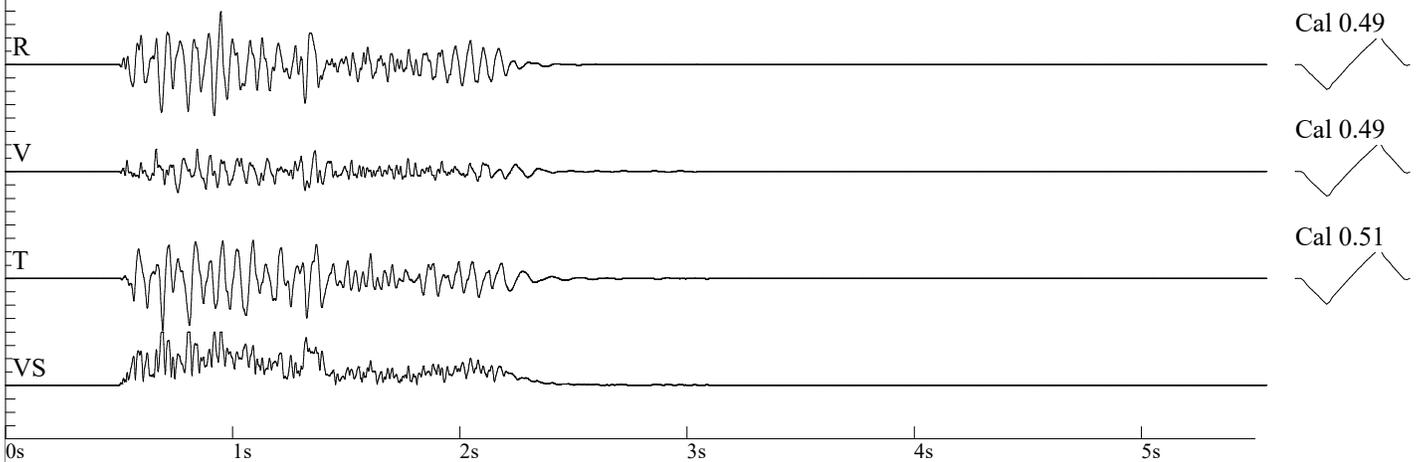
Nome archivio: 3260201907100930043.DTB  
 Numero: 043  
 Data: 10/07/2019  
 Orario: 09:30  
 Numero di serie: 3260  
 Trigger sismico: 0.0100 in/s 0.2540 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 5.0 Seconds  
 Pre trigger: 0.50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6.2

**Amplitudes and Frequencies**

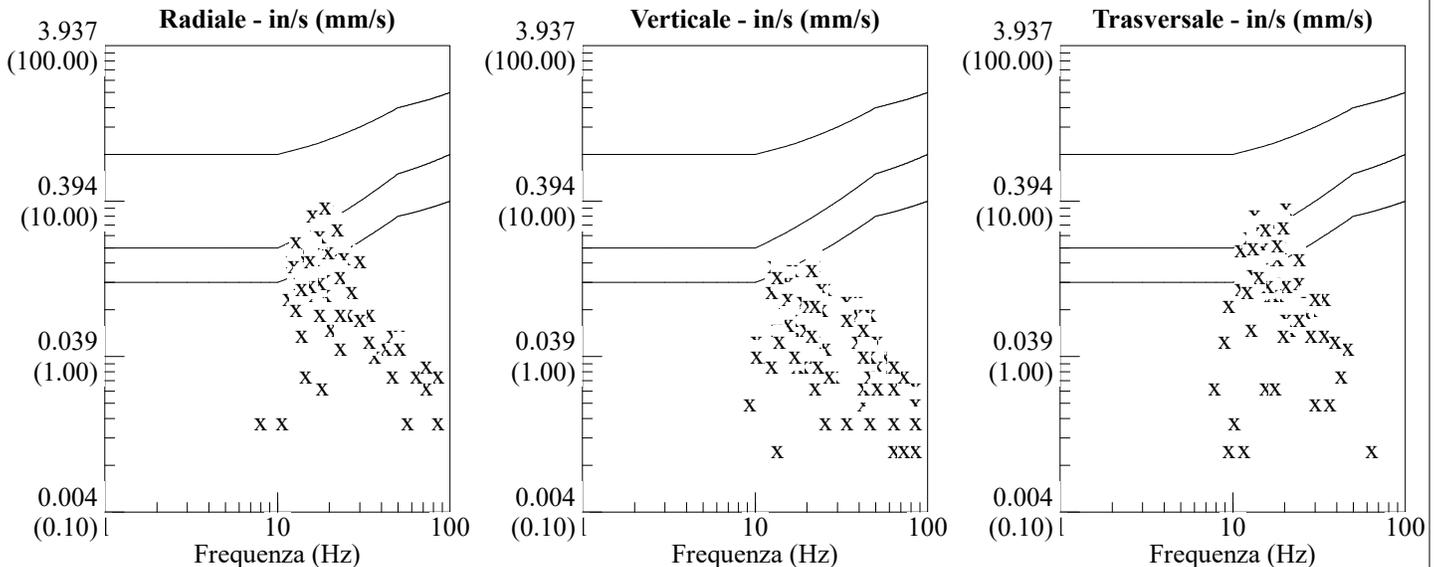
**Radiale: 0.365in/s 9.271mm/s @ 18.9Hz**  
**Verticale: 0.155in/s 3.937mm/s @ 13.1Hz**  
**Trasversale: 0.36in/s 9.144mm/s @ 20.4Hz**  
**Vettore somma (VS): 0.455in/s 11.557mm/s**  
 Data di calibrazione: 09/05/2016

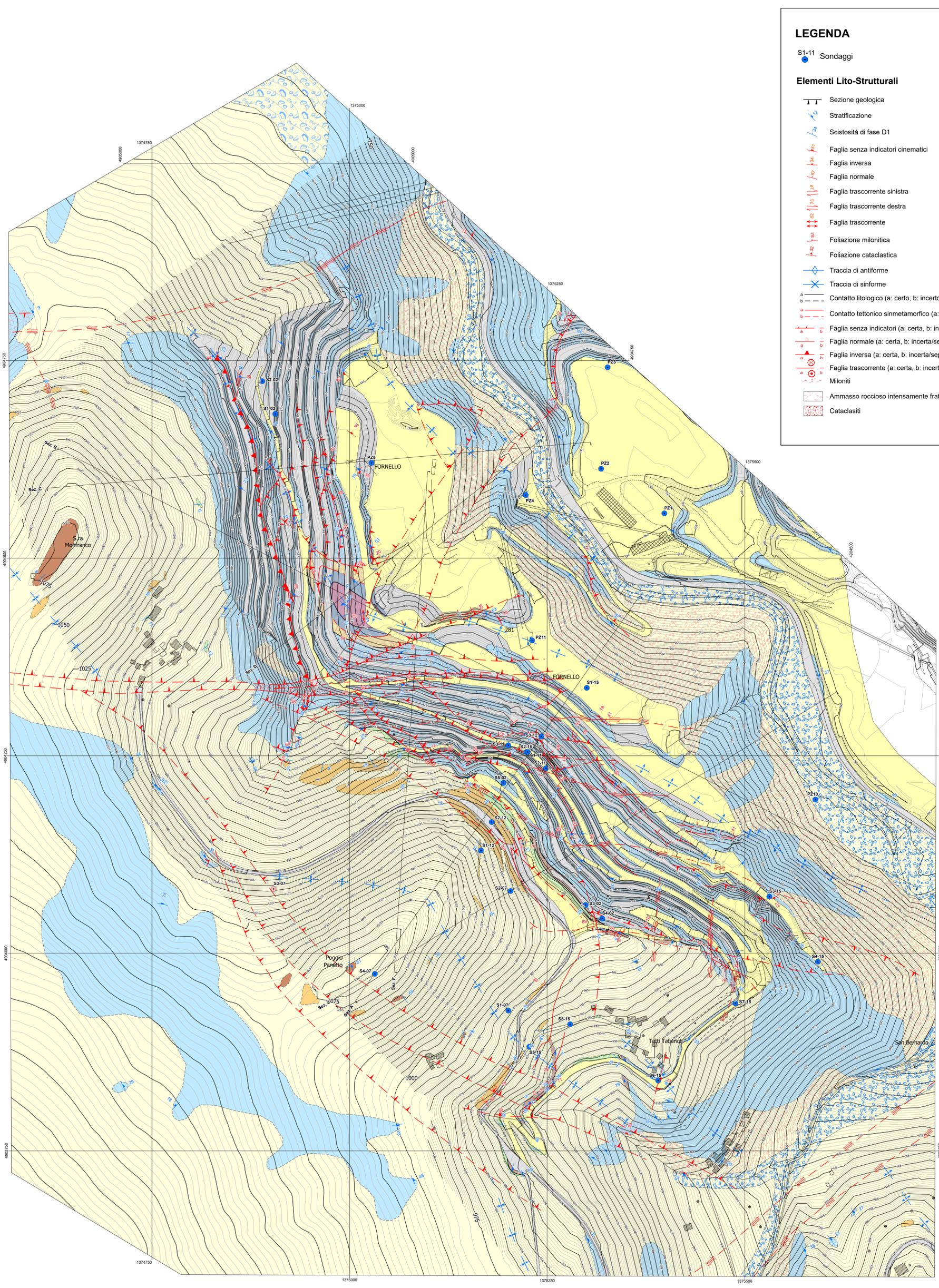
**Graph Information**

*Durata:* 0.000s To: 5.500s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.37in/s (0.093in/s/div) 9.40mm/s (2.350mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1.00 s



**DIN 4150**





**LEGENDA**

S1-11 Sondaggi

**Elementi Lito-Strutturali**

- Sezione geologica
- Stratificazione
- Scistosità di fase D1
- Faglia senza indicatori cinematici
- Faglia inversa
- Faglia normale
- Faglia trascorrente sinistra
- Faglia trascorrente destra
- Faglia trascorrente
- Foliazione milonitica
- Foliazione cataclastica
- Traccia di antifforme
- Traccia di sinforme
- Contatto litologico (a: certo, b: incerto)
- Contatto tettonico sinmetamorfico (a: certo, b: incerto/sepolto)
- Faglia senza indicatori (a: certa, b: incerta/sepolta)
- Faglia normale (a: certa, b: incerta/sepolta)
- Faglia inversa (a: certa, b: incerta/sepolta)
- Faglia trascorrente (a: certa, b: incerta/sepolta)
- Miloniti
- Ammasso roccioso intensamente fratturato
- Cataclasiti

**Litostratigrafia**

- Riporti antropici per il recupero ambientale dei gradoni di cava
- Riporti antropici costituenti il fondo stradale di piste di accesso o di piazzali di cava.
- Depositi Quaternari**
- Depositi eluvio-colluviali con struttura mud-supported costituiti da clasti in matrice sabbioso-limoso
- Depositi detritici costituiti da clasti monogenici o raramente poligenici di dimensioni fino a 1 m, con struttura clast-supported e scarsa matrice.
- Depositi alluvionali con struttura clast-supported costituiti da blocchi di prevalenti rocce carbonatiche in scarsa matrice ghiaioso-sabbiosa.
- Sequenze Mesozoiche Brianzonesi**
- Conglomerati (a) con stratificazione mal definita con struttura mud-supported e costituiti da clasti fino a 20 cm in matrice sabbioso-ghiaiosa. Livelli di arenarie di colore beige (b)
- Argiloscisti e filladi carbonatiche di colore grigio-beige talora ricche in grafite con clivaggio ben sviluppato
- Calcareni omogenee di colore grigio-beige talora assenti
- Calcari grigi e grigio scuri in strati con spessore < 20 cm (a) e calcari color nocciola-grigio chiaro in strati fino a 50 cm (b, ove distinti)
- Calcari dolomitici e dolomie di colore grigio (ocra sulle superfici alterate) con stratificazione assente o mal definita
- Alternanze di calcari grigio-neri in strati < 40 cm e argiloscisti grafatici in strati < 10 cm
- Argiloscisti di colore viola con un clivaggio molto pervasivo, passano verso l'alto ad argiloscisti di colore grigio-verde



Gauss-Boaga, Monte Mario, fuso Ovest  
0 25 50 100 150 200 metri

**GEODES**  
Piazza A. Graf n. 124 - 10126 TORINO  
tel. +39 011.696.09.38; fax +39 011.678.70.86  
E-mail mail@geodes.it

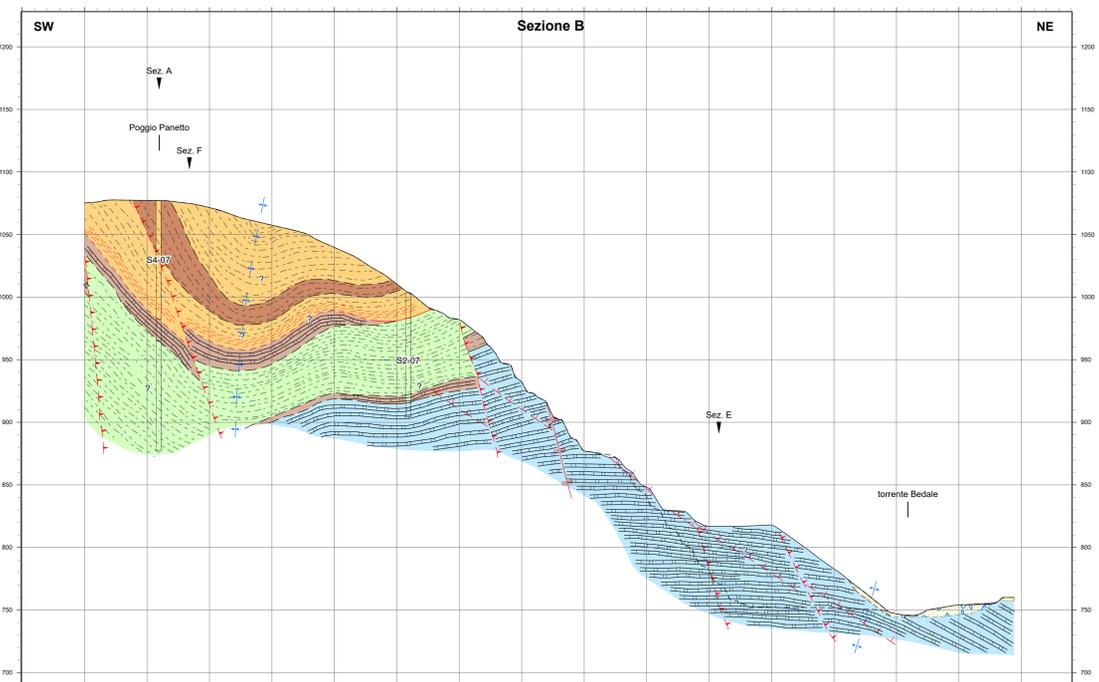
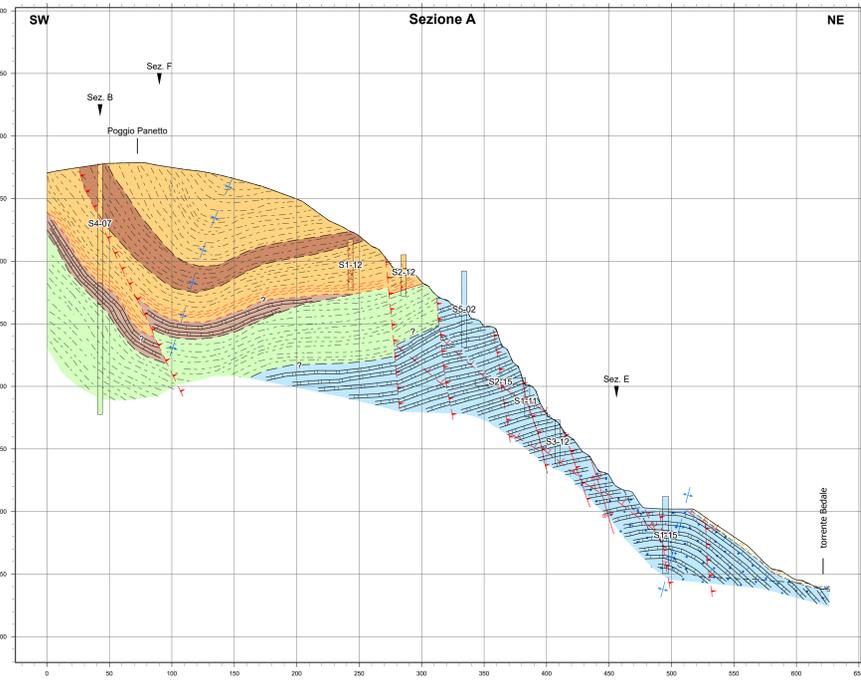


**BUZZI UNICEM S.p.A.**  
VIA LUIGI BUZZI, 6 - CASALE MONFERRATO (AL)



**CAVA DI CALCARE "ROASCHIA"**  
**RINNOVO DEL PERMESSO DI COLTIVAZIONE IV QUINQUENNIO**

OGGETTO				
<b>CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA</b>				
SCALA	TAVOLA	REVISIONE	DATA	NOTE
1:2.000	6			
DATA				
MARZO 2018				
COMMESSA	RELAZIONE	REDATTO	APPROVATO	
181025	1466 - 1467	Ph.D. Geol. Ivano Gasco	Ing. Luisella Vai	



**LEGENDA**

S1-11 Sondaggi

**Elementi Lito-Strutturali**

- Sezione geologica
- Stratificazione
- Scistosità di fase D1
- Faglia senza indicatori cinematici
- Faglia inversa
- Faglia normale
- Faglia trascorrente sinistra
- Faglia trascorrente destra
- Faglia trascorrente
- Foliazione milonitica
- Foliazione cataclastica
- Traccia di antiforime
- Traccia di sinforime
- Contatto litologico (a: certo, b: incerto)
- Contatto tettonico simmetrico (a: certo, b: incerto/sepolto)
- Faglia senza indicatori (a: certa, b: incerta/sepolta)
- Faglia normale (a: certa, b: incerta/sepolta)
- Faglia inversa (a: certa, b: incerta/sepolta)
- Faglia trascorrente (a: certa, b: incerta/sepolta)
- Miloniti
- Ammasso roccioso intensamente fratturato
- Cataclasi

**Litostratigrafia**

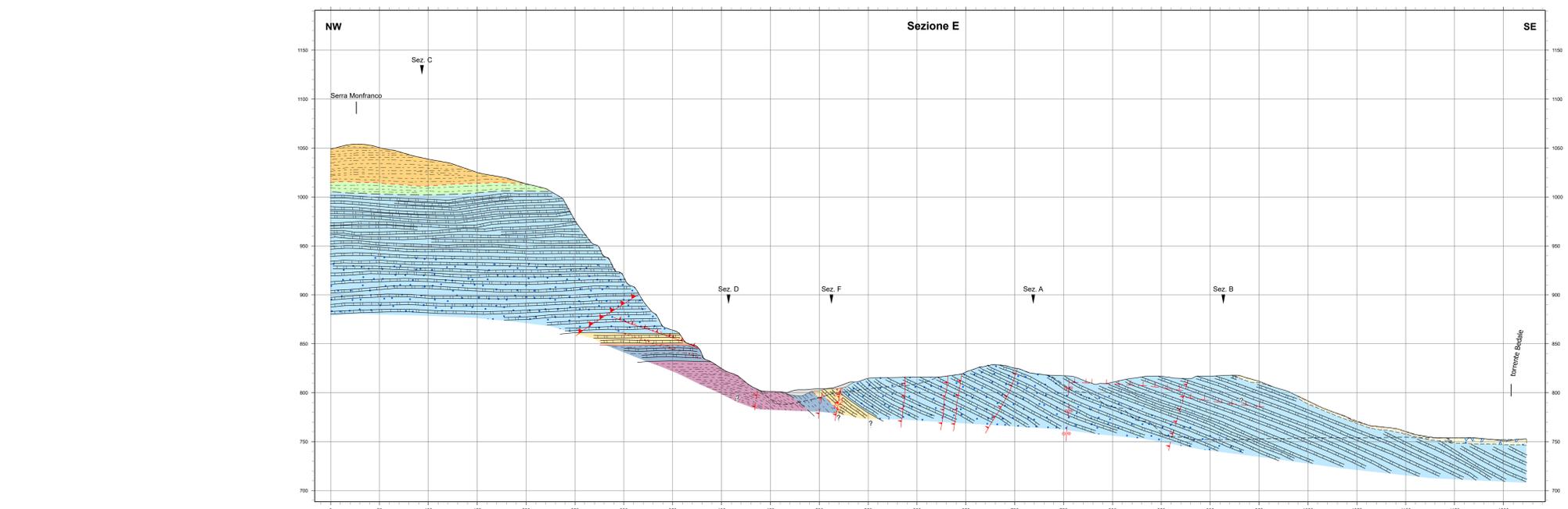
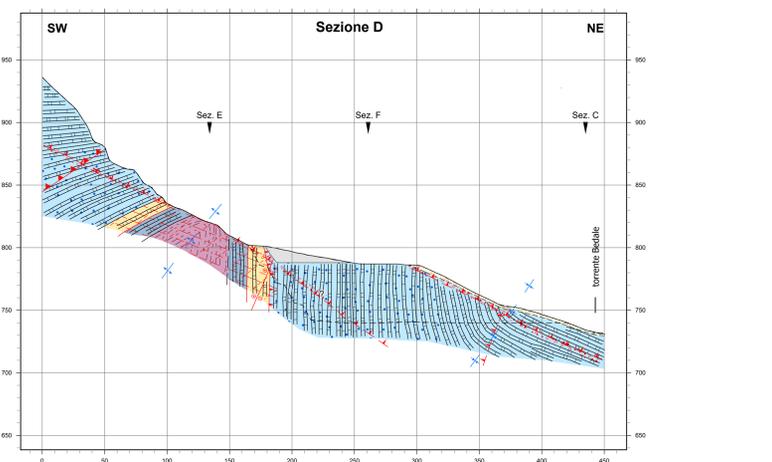
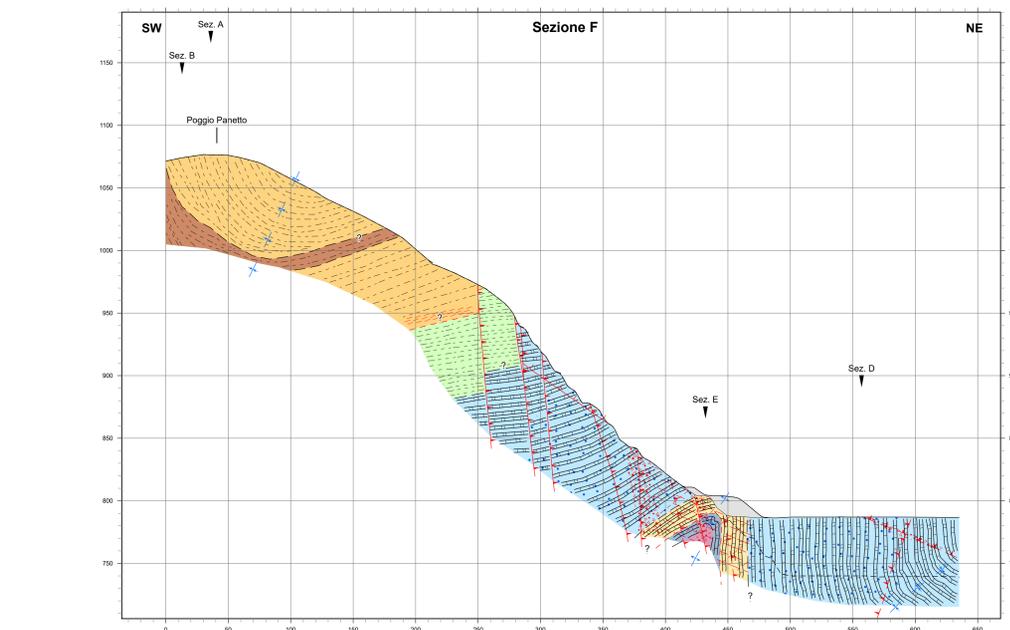
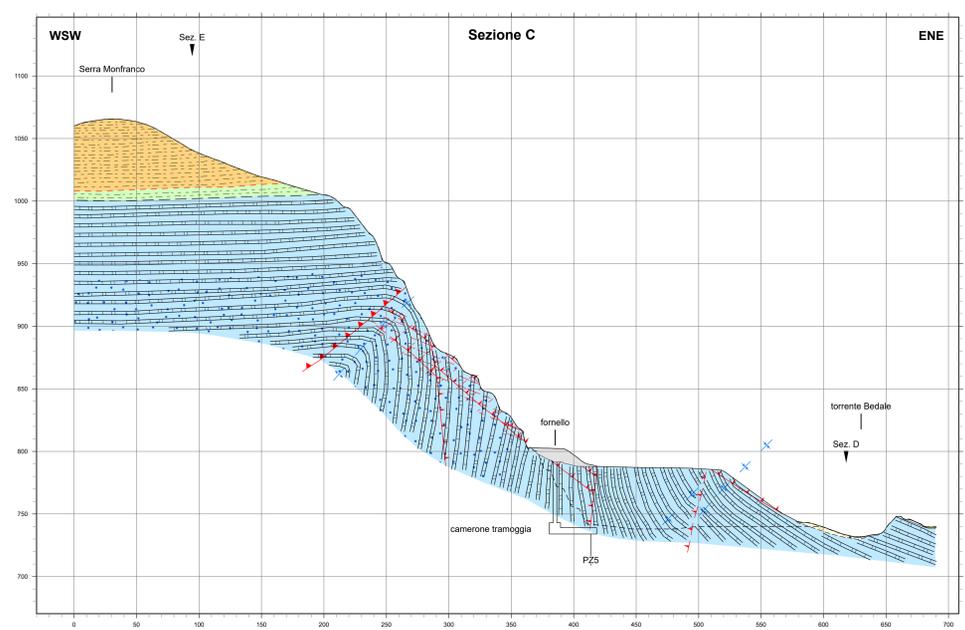
- Riperti antropici per il recupero ambientale dei gradoni di cava
- Riperti antropici costituenti il fondo stradale di piste di accesso o di piazzali di cava.

**Depositi Quaternari**

- Depositi eluvio-colluviali con struttura mud-supported costituiti da clasti in matrice sabbioso-limoso
- Depositi detritici costituiti da clasti monogenici o raramente poligenici di dimensioni fino a 1 m, con struttura clast-supported e scarsa matrice.
- Depositi alluvionali con struttura clast-supported costituiti da blocchi di prevalenti rocce carbonatiche in scarsa matrice ghiaioso-sabbiosa.

**Sequenze Mesozoiche Brianzonesi**

- a Conglomerati (a) con stratificazione mal definita con struttura mud-supported e costituiti da clasti fino a 20 cm in matrice sabbioso-ghiaiosa. Livelli di arenarie di colore beige (b)
- Argilloscisti e filladi carbonatiche di colore grigio-beige talora ricche in grafite con clivaggio ben sviluppato
- Calcarenti omogenee di colore grigio-beige talora assenti
- a Calcarei grigi e grigio scuri in strati con spessore < 20 cm (a) e calcari color nocciola-grigio chiaro in strati fino a 50 cm (b, ove distinti)
- b Calcarei dolomitici e dolomie di colore grigio (ocra sulle superfici alterate) con stratificazione assente o mal definita
- Alternanze di calcari grigio-neri in strati < 40 cm e argilloscisti graffici in strati < 10 cm
- Argilloscisti di colore viola con un clivaggio molto pervasivo, passano verso l'alto ad argilloscisti di colore grigio-verde



**GEODES**  
Piazza A. Graf n. 124 - 10125 TORINO  
tel. +39 011 696.09.38, fax +39 011 675.70.98  
E-mail mail@geodes.it

**TUV**  
SISTEMI CERTIFICATI

**BUZZI UNICEM S.p.A.**  
VIA LUIGI BUZZI, 6 - CASALE MONFERRATO (AL)

**CAVA DI CALCARE "ROASCHIA"**  
**RINNOVO DEL PERMESSO DI COLTIVAZIONE IV QUINQUENNIO**

OGGETTO  
**SEZIONI GEOLOGICHE**

SCALA	TAVOLA	REVISIONE	DATA	NOTE
1:2.000	7			
DATA	MARZO 2018			
COMMESSA	RELAZIONE	REDATTO	APPROVATO	
181025	1466 - 1467	Ph.D. Geol. Ivano Gasco	Ing. Luisella Vai	