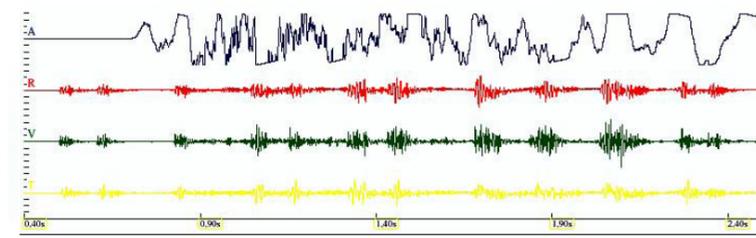


# MONITORAGGIO DELLE ONDE ELASTICHE

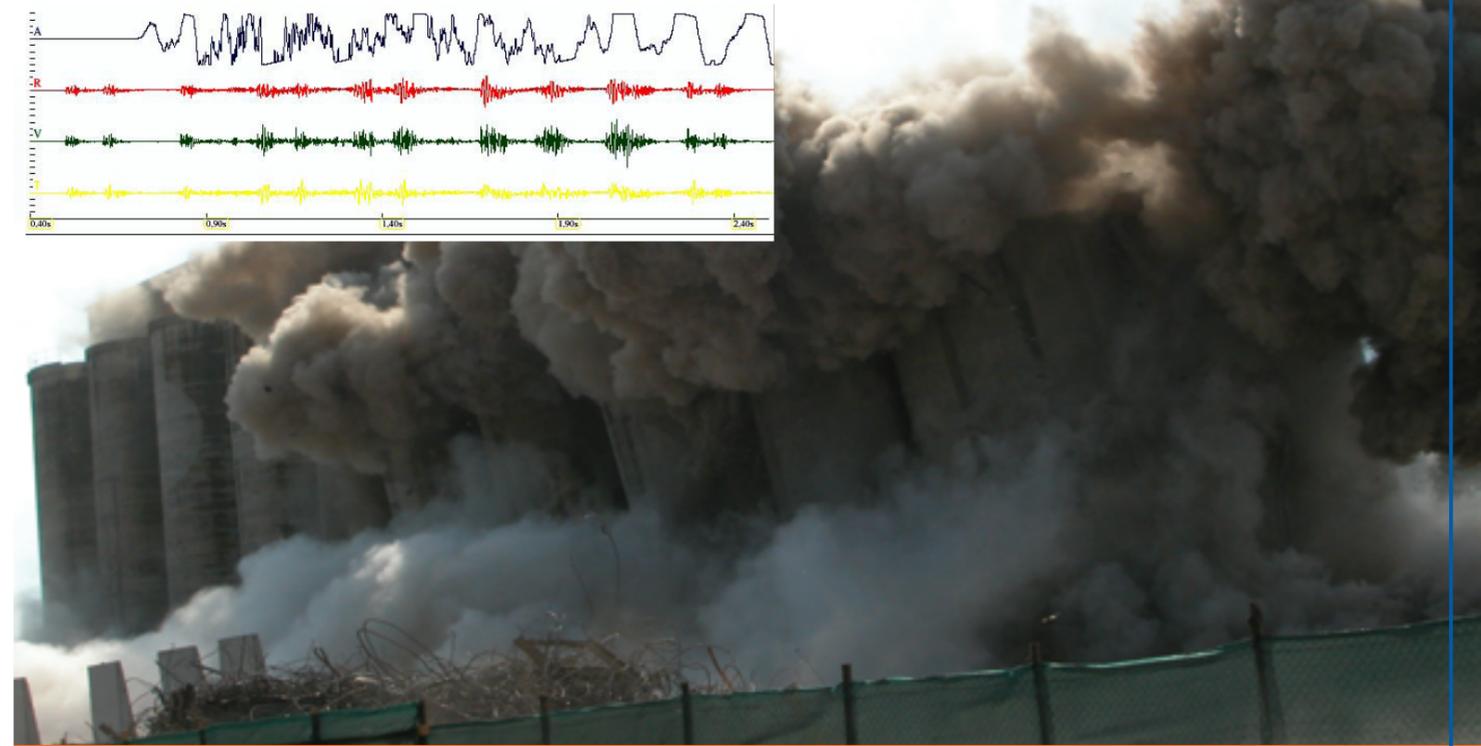
## INDOTTE DA ESPLOSIONI O DA SORGENTI MECCANICHE NEL TERRENO, IN ARIA ED IN ACQUA

Roberto Folchi

 Casa Editrice *la fiaccola srl*  
Via Conca del Naviglio, 37 - 20123 Milano  
Tel. 02/89421350 - Fax 02/89421484



MONITORAGGIO DELLE ONDE ELASTICHE



### PRONTUARIO



Il presente progetto, EU-Excert, è finanziato con il sostegno della Commissione europea. L'autore è il solo responsabile di questa pubblicazione (comunicazione) e la Commissione declina ogni responsabilità sull'uso che potrà essere fatto delle informazioni in essa contenute.

€ 55,00

Roberto Folchi



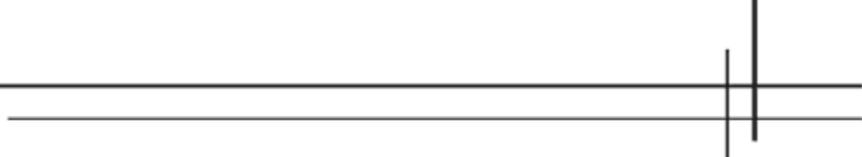
Pubblicazione a cura della NITREX srl  
nell'ambito dell'attività per il Progetto EU-Excert



Proud Partner



---



# **PRONTUARIO per il Monitoraggio delle ONDE ELASTICHE indotte da ESPLOSIONI o da SORGENTI MECCANICHE nel TERRENO, in ARIA ed in ACQUA**

**di Roberto Folchi<sup>1</sup>**

**Copyright 2005 NITREX**

Le informazioni nella presente pubblicazione sono soggette a modifica da parte della Nitrex senza preavviso.  
La Nitrex declina ogni responsabilità per utilizzo improprio delle informazioni qui riportate.

Tutti i diritti sono riservati alla Nitrex.

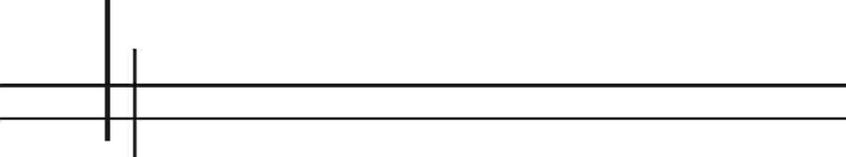
Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma o in alcun modo sia esso grafico, elettronico, o meccanico, includendo fotocopie, registrazioni, riproduzioni, senza il consenso scritto della Nitrex.

NITREX ed NTX sono marchi registrati di proprietà della Nitrex Srl, Sirmione.

**NITREX Srl**  
Via Mantova 61  
25017 Lonato

---

<sup>1</sup> Nato a Latina nel 1960. Laurea in ingegneria mineraria (Roma 1984), abilitazione alla professione di ingegnere (1985), abilitazione alla professione di geologo (1986), idoneità a titolare di licenza per fabbricare esplosivi di qualsiasi specie ex artt. 101 e 102 .D. 635/1940 (2000), idoneità tecnica per la conduzione di stabilimento per la produzione di armamenti ex art. 8 L. 110/75 (2000), membro della Commissione Consultiva per il Controllo delle Armi per le funzioni in materia di sostanze esplosive ed infiammabili, presso il Ministero dell'Interno (dal 2000), trenta pubblicazioni tecniche per riviste scientifiche e convegni in Italia, Europa ed USA, Membro effettivo della International Society of Explosive Engineers e della Deutsche Sprengverband, partner fondatore del progetto EU-Excert. Esercita la professione dal 1982 con esperienze nel settore degli esplosivi e dei materiali energetici: studi teorici, ricerca applicata, progettazione ed esecuzione di lavori con esplosivi per scavo gallerie, caverne, coltivazioni minerarie, demolizioni (anche in ambiente contaminato da radiazioni), sicurezza industriale per manipolazione di materiali energetici, analisi di vulnerabilità di opere d'ingegneria, analisi dei rischi, contenzioso.



## **Presentazione del PRONTUARIO**

*L'impiego degli esplosivi sia nei cantieri minerari che in quelli civili è sempre stato considerato dal legislatore un diritto di chi lavora, da esercitarsi, però, nel rispetto della sicurezza delle persone, salvaguardando le proprietà dei terzi e riducendo al minimo il disturbo ambientale.*

*Usare l'esplosivo è, pertanto, un diritto, usarlo correttamente è un dovere.*

*Progettare razionalmente una mina, o meglio una volata di mine, con la giusta quantità di esplosivo per ottenere il lavoro desiderato, senza provocare proiezioni anomale di materiali e vibrazioni pericolose per le strutture limitrofe, è la sintesi di conoscenze tecniche approfondite e di esperienza consolidata nel tempo. Si può ben dire che è un'arte.*

*Il prontuario scritto da Roberto Folchi, fa parte del materiale didattico multimediale elaborato dalla Nitrex, per il programma di formazione e certificazione EU-Excert, nell'area della METROLOGIA APPLICATA all'INGEGNERIA degli ESPLOSIVI ed è un validissimo strumento per permettere a tutti gli esplosivisti, appassionati alla materia, di assimilare l'arte del fare le mine.*

*L'uso di questo prontuario è pensato non solo per chi inizia ad occuparsi di questa disciplina ma anche per chi ha già esperienza e si impegna ad approfondire le proprie conoscenze o rivedere argomenti specifici nel settore. Questo è un valido strumento sia per gli addetti preposti ad autorizzare il brillamento delle mine e a vigilare sull'andamento dei lavori, sia per i progettisti, poiché fornisce loro tutti gli elementi atti a contenere il fenomeno vibratorio entro i limiti ritenuti di sicurezza dalle normative di riferimento, in particolare definendo la massima carica istantaneamente cooperante, in maniera preventiva anche attraverso la formula della distanza scalare.*

*In ordine alfabetico sono riportati dati, grafici, moduli, schemi, riferimenti bibliografici, esempi, informazioni e dati di base, affinché la registrazione dei parametri vibratorii non rimanga fine a se stessa ma, diventi uno strumento essenziale per il progettista per modificare le volate successive, ottimizzando il lavoro e riducendo le vibrazioni al minimo possibile anche al di sotto dei valori ritenuti di sicurezza delle normative di riferimento. In questo sorretti anche dall'esperienza nei cantieri.*

*Questo prontuario, in sintesi, è uno strumento di lavoro di cui si sentiva la necessità, col quale Roberto, da me conosciuto ed apprezzato come consulente tecnico per un lavoro di scavo che presentava grosse difficoltà ambientali, ha voluto trasmetterci la sua pluridecennale esperienza nel campo degli abbattimenti controllati con esplosivi.*

*Programmare gli abbattimenti controllati seguendo le indicazioni contenute nel Prontuario aiuterà a creare un clima di fiducia reciproca tra esecutori dei lavori, controllori e proprietari delle strutture facendo diminuire i contenziosi e scusate se è poco!*

*Faccio, pertanto, i complimenti a Roberto per l'ottimo lavoro svolto.*

*Sono sicuro che il Prontuario incontrerà ampi consensi fra gli operatori del settore.*

**Luciano Selva**  
**Servizio minerario della Provincia**  
**Autonoma di Trento**

---

---

## **Il progetto EU-Excert**

L'industria degli esplosivi, dei propellenti e dei pirotecnici, dei materiali energetici in generale, occupa una posizione strategica nell'economia dell'Unione europea.

La comprensione della scienza e della tecnologia di questi materiali e le competenze per sfruttarle, sono fondamentali per mantenere elevati standard di professionalità nella sicurezza nazionale e per garantire la competitività dell'industria europea.

Il progressivo deterioramento di competenze ha portato ad un aumento degli incidenti con gli esplosivi. Questi possono assumere rilevanza notevole, come è accaduto in Nigeria, Russia, Francia (Tolosa) ed Olanda (Enschede), dove sono morte rispettivamente 1000, 118, 31 e 21 persone. Oltre alla grave perdita di vite umane è rilevante anche l'aspetto economico per danni alle infrastrutture residenziali, industriali e all'ambiente.

C'è la percezione che il livello di preparazione degli addetti ai lavori in questo settore, in Europa, si stia riducendo nell'industria e, soprattutto, negli Enti di controllo. In parecchi Stati membri la maggior parte del personale con più esperienza e competenza è già pensionata o prossima alla pensione. Sono quindi necessari sforzi urgenti per sopperire a questo grave vuoto di competenze ed esperienze.

Lo scopo del progetto europeo **EU-Excert** ([www.euexcert.org](http://www.euexcert.org)-[www.nitrex.it/excert/index.asp](http://www.nitrex.it/excert/index.asp)), di cui la NITREX è il partner italiano, è quello di definire un programma d'istruzione e di formazione con certificazione europea, mirato a ristabilire un adeguato livello di preparazione nel settore degli esplosivi. Tra gli obiettivi vi è anche quello di migliorare la qualità e l'efficacia del materiale didattico ed i programmi di apprendimento. Elevare la preparazione significa migliorare le condizioni di lavoro, aumentare i livelli di sicurezza pubblica ed incentivare la competitività industriale Europea.

Maggiori conoscenze comportano anche maggiore libertà di ricollocamento dei tecnici e la capacità delle imprese e delle Amministrazioni di reagire velocemente ai cambiamenti.

Per realizzare il progetto **EU-Excert** i partner hanno in corso un'analisi completa del settore industriale, amministrativo e governativo degli esplosivi nell'unione europea. Questa analisi è orientata all'individuazione dei livelli di responsabilità nelle attività produttive e di controllo, dall'apprendista al top manager, identificando competenze ed esperienze necessarie per ricoprire ciascun livello di responsabilità. Tutto questo è realizzato in stretta collaborazione con i referenti qualificati delle varie aree in ciascuno Stato membro, e coordinato da Comitati di Referenti Nazionali.

Il percorso formativo di ogni livello di responsabilità degli addetti ai lavori è stabilito in funzione delle competenze richieste; i metodi didattici scelti e sviluppati in collaborazione con Enti formativi tra cui università, enti d'istruzione superiore, organizzazioni professionali ed organizzazioni sindacali; i programmi pilota di istruzione e di formazione messi a punto e sperimentati nei vari stati membri.

I risultati del progetto sono diffusi con articoli, rapporti e seminari anche per favorire lo sviluppo di una comunità di persone ed organizzazioni che possa rappresentare l'esplosivistica europea nel mondo.

**Mara Battocchio**  
**Team NITREX**

### **Aree del programma di formazione e certificazione EU-Excert**

- *Chimica degli esplosivi*
  - *Uso degli esplosivi in ambito civile*
  - *Metrologia applicata all'ingegneria degli esplosivi*
  - *Analisi dei rischi di incidente rilevante per esplosione di materiali energetici*
  - *Gestione deposito e movimentazione esplosivi*
  - *Bonifica da ordigni esplosivi*
  - *Normativa italiana e comunitari*
-

# Indice

<b>ABBATTIMENTO CONTROLLATO CON ESPLOSIVI - RACC. NTX</b> .....	1
Generalità.....	1
Attività preliminare all'avvio dei lavori da mina .....	1
Progetto dell'abbattimento controllato.....	1
Controllo strumentale continuativo delle onde sismiche.....	3
Le comunicazioni e le relazioni pubbliche.....	4
<b>ACCELERAZIONE calcolo dalla velocità</b> .....	6
Calcolo numerico dai valori di velocità registrati .....	6
Stima dalla approssimazione del moto a sinusoidale.....	8
<b>Dati tecnici dell'AMMASSO ROCCIOSO</b> .....	10
<b>ATTREZZATURA PER L'INSTALLAZIONE DEI TRASDUTTORI SISMICI - racc. NTX</b> .....	11
<b>CALIBRAZIONE DEI TRASDUTTORI</b> .....	12
<b>CARATTERIZZAZIONE DEL SISTEMA TRASDUTTORE SISMICO - PUNTO DI MISURA - racc. NTX</b> .....	14
<b>Calcolo della massima CARICA COOPERANTE AL VARIARE DELLA DISTANZA DAL PUNTO DI SPARO PER UNA DISTANZA SCALATA DI SICUREZZA PREFISSATA</b> .....	15
<b>CONVERSIONE</b> .....	16
Tabella.....	16
Conversione da dB, mBar, psi - modello.....	17
Normogramma per la conversione da spostamento a velocità ad accelerazione in funzione della frequenza - modello.....	18
<b>CURVE DI DECADIMENTO DELLA VELOCITÀ DI VIBRAZIONE -</b> .....	19
<b>esempi da varie sorgenti sismiche</b> .....	19
Sorgenti meccaniche.....	19
Miscellanea .....	20
Scavo tunnel idraulico (piccola sezione) .....	21
Coltivazione di camera in sotterraneo (valori misurati in superficie) .....	23
<b>DANNI PER VIBRAZIONI TRANSIENTI</b> .....	25
Classificazione di livelli di danno indotti nelle strutture - racc. NTX.....	25
Valori limite di velocità di vibrazione da rispettare per la non insorgenza di danni di soglia nelle condutture interrato secondo le DIN 4150-3, Tab. 2 .....	25
Valori limite di velocità di vibrazione da rispettare per le costruzioni per la non insorgenza di danni di soglia secondo le DIN 4150-3, Tab. 1 .....	26
<b>DANNI PER VIBRAZIONI PROLUNGATE</b> .....	28
Valori delle vibrazioni da rispettare per le costruzioni, come da DIN 4150-3, Tabella 3.....	28
<b>Modulo per acquisizione rapida dei dati per il DATABASE MANUFATTI RESIDENZIALI - mod. NTX</b> .....	29
<b>Calcolo della DISTANZA SCALATA SULLA CARICA ESPLOSIVA</b> .....	30
<b>Stima della DISTANZA TRA PUNTO DI ESPLOSIONE E PUNTO DI MISURA</b>	

<b>dall'intervallo tra primo arrivo sismico ed acustico</b> .....	<b>31</b>
<b>Esempio di DISTRIBUZIONE DEI PUNTI DI MISURA SISMICA per la ricostruzione di fenomeni oscillatori - racc. NTX</b> .....	<b>33</b>
Generalità.....	33
Ubicazione punti di misura e numero di punti di misura necessari .....	33
Posizionamento degli strumenti in fase di sparò di prova .....	34
Es. per ENERGIZZAZIONE DI ORIGINE MECCANICA: vibrodina per infissione di palancole .....	35
<b>DISTURBO PRODOTTO DALLE VIBRAZIONI</b> .....	<b>36</b>
Valori delle vibrazioni da rispettare - racc. UNI 9614.....	36
DISTURBO PRODOTTO DALLE VIBRAZIONI.....	37
Risposta soggettiva del corpo umano ad un moto vibratorio - modello .....	37
<b>ESPLOSIVI: energia specifica d'esplosione ed altri dati caratteristici</b> .....	<b>38</b>
<b>Grafico di EVENTI SISMICI</b> .....	<b>39</b>
Caratterizzazione punto di misura 1 - su piastra ammorsata all'ammasso roccioso .....	39
GRAFICO DI EVENTI SISMICI .....	40
Caratterizzazione punto di misura 2 - su elemento strutturale piano .....	40
Demolizione 1 - abbattimento di sili con struttura alveolare in c.a. con pareti sottili - cariche in acqua. ....	41
Demolizione 2 - impatto al suolo di 3 fabbricati industriali abbattuti nella stessa volata.....	43
Demolizione 3 - abbattimento subacqueo di un muro in cls.....	45
Demolizione 3 - abbattimento subacqueo di un muro in cls - componente sismica propagatasi nel terreno .....	47
Demolizione 3 - abbattimento subacqueo di un muro in cls - componente sismica propagatasi in acqua.....	48
Maglio per stampaggio pezzi meccanici .....	51
Perforazione con raise borer.....	53
Sublevel stoping - abbattimento in sotterraneo con perforazione a raggiera - misura con geofono fondo foro (DTH). ....	57
Taglio con miccia detonante 1 .....	61
Taglio con miccia detonante 2 .....	62
Terremoto 1 .....	63
Terremoto 2 .....	64
Traffico veicolare .....	65
Volata a foro cieco 1 - galleria autostradale.....	66
Volata a foro cieco 1 - galleria autostradale.....	67
Volata a foro cieco 2 .....	69
Volata a foro cieco 3 - galleria idraulica.....	70
Volata a gradone 1 - Impiego di detonatori a ritardo breve (25 ms) .....	71
Volata a gradone 2 - Impiego di detonatori a ritardo lungo (500 ms).....	72
Volata a gradone 3 .....	73
Volata a gradone 4 - misura a distanza ravvicinata con geofono fondo foro .....	74
Volata a gradone 5 - misura sulla chiave di volta di un ponte medievale in	

muratura.....	75
<b>EVENTO SISMICO SIGNIFICATIVO .....</b>	<b>76</b>
<b>Scheda di registrazione individuale per attività d'INFORMAZIONE E FORMAZIONE DEL PERSONALE PER L'IMPIEGO DELLA STAZIONE DI MONITORAGGIO SISMICO - ACUSTICO.....</b>	<b>77</b>
<b>GIORNALE DI SONDA - modello .....</b>	<b>78</b>
<b>INSTALLAZIONE del trasduttore di sovrappressione aerea .....</b>	<b>79</b>
<b>INSTALLAZIONE del trasduttore di velocità - racc. NTX .....</b>	<b>80</b>
All'interno di una struttura .....	80
All'esterno .....	82
<b>Classificazioni dell'INTENSITÀ DEI TERREMOTI .....</b>	<b>84</b>
Scala RICHTER.....	84
Diagramma di Richter per la stima grafica della Magnitudo - modello. ....	85
Scala MCS - Mercalli, Cancani, Sieberg .....	85
<b>LEGGE DI DECADIMENTO DELLA VELOCITÀ MASSIMA DI VIBRAZIONE AL VARIARE DELLA DISTANZA SCALATA .....</b>	<b>86</b>
Generalità.....	86
Metodo semplificato seguito per il calcolo della curva di regressione a due variabili indipendenti - racc. NTX.....	88
Affidabilità della curva di regressione .....	89
<b>MINIMIZZAZIONE DELLE VIBRAZIONI INDOTTE DALLE VOLATE D'ABBATTIMENTO CON ESPLOSIVI - racc. NTX.....</b>	<b>90</b>
<b>MISURA DELLE VIBRAZIONI INDOTTE DALLO SPARO MINE - linee guida I.S.E.E. per la buona pratica .....</b>	<b>91</b>
Parte 1 - Linee generali .....	91
Parte 2 - Monitoraggio delle vibrazioni .....	92
Parte 3 - Monitoraggio della sovrappressione aerea .....	94
<b>Le ONDE SISMICHE.....</b>	<b>95</b>
Onde elementari componenti .....	95
Parametri caratteristici e loro legami funzionali.....	95
Onde sismiche transienti e prolungate .....	96
Sollecitazioni associate al transiente sismico.....	97
<b>Le ONDE DI SOVRAPPRESSIONE IN ARIA.....</b>	<b>99</b>
<b>Le ONDE DI SOVRAPPRESSIONE IN ACQUA.....</b>	<b>104</b>
<b>OTTIMIZZAZIONE DEI PARAMETRI DELLA VOLATA d'abbattimento mediante la MISURA DELLA SISMICITÀ INDOTTA - racc. NTX .....</b>	<b>107</b>
Esempio d'analisi della sismicità indotta da ciascun foro d'abbattimento nelle volate a gradone.....	109
Esempio d'analisi della sismicità indotta da ciascuna serie di fori d'abbattimento a foro cieco .....	110
Verifica della resa dell'An.Fo. - racc. NTX.....	112
<b>PIANO BILOGARITMICO - modello.....</b>	<b>114</b>
<b>Raccolta dati per il RAPPORTO DI MISURA - modello DIN 4150-3.....</b>	<b>115</b>
<b>Informazioni che il RAPPORTO DI MONITORAGGIO deve contenere - racc. UNI 9916.....</b>	<b>116</b>
<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>117</b>

<b>RIFERIMENTI LEGISLATIVI .....</b>	<b>118</b>
DECRETO LEGISLATIVO 19 agosto 2005, n. 187 recante: «Attuazione della direttiva 2002/44/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti da vibrazioni meccaniche» .....	119
<b>RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>126</b>
UNI 9614, 1990, Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo .....	127
UNI 9916, 1991, Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici (esiste aggiornamento 2004).....	128
DIN 4150-3, 1999, Erschütterungen im Bauwesen - teil 3: Einwirkungen im bauliche anlagen (Le vibrazioni nelle costruzioni - parte 3: effetti sui manufatti) .....	129
KTA 2201.2 (JUNE 1990): AUSLEGUNG VON KERNKRAFTWERKEN GEGEN SEISMI-SCHE EINWIRKUNGEN; TEIL 2: BAUGRUND) - DESIGN OF NUCLEAR POWER PLANTS AGAINST SEISMIC EVENTS, PART 2: SUBSURFACE MATERIALS (SOIL AND ROCK) .....	132
<b>SCHEMA DI BRILLAMENTO DELLA VOLATA - mod. NTX.....</b>	<b>140</b>
Volata d'abbattimento a gradone.....	140
Volata d'abbattimento a foro cieco - mod. NTX .....	142
<b>SCHEMA DI PERFORAZIONE e SUCCESSIONE D'INNESCO - mod. NTX .....</b>	<b>146</b>
<b>SCHEDE DI PRODOTTO DEGLI ESPLOSIVI - fac simile .....</b>	<b>147</b>
<b>SEGNALAZIONI ACUSTICHE DI BRILLAMENTO MINE - racc. NTX.....</b>	<b>149</b>
<b>SPETTRO DI RISPOSTA: controllo in frequenza di risposta strutturale.....</b>	<b>150</b>
<b>RAPPORTO DI CARICO VOLATA - mod. NTX.....</b>	<b>154</b>
Note .....	154
<b>Calcolo dell'andamento temporale dello SPOSTAMENTO dalla velocità .....</b>	<b>155</b>
<b>Mappatura dei TERREMOTI IN ITALIA dall'anno 1000 all'anno 1980 .....</b>	<b>162</b>
<b>TRASDUTTORI ELETTRICI .....</b>	<b>163</b>
<b>TRASDUTTORI DI ACCELERAZIONE .....</b>	<b>164</b>
Raffronto tra geofoni ed accelerometri.....	164
Accelerometro piezoelettrico .....	165
Capacitivo con bobina di richiamo della massa inerziale (Servoaccelerometro) .....	167
<b>TRASDUTTORI DI VELOCITÀ.....</b>	<b>168</b>
Geofono a massa inerziale.....	168
Velocimetro a interferometria laser .....	170
Risposta in frequenza dei trasduttori di velocità.....	170
<b>Calcolo della TRASFORMATA DI FOURIER.....</b>	<b>174</b>
<b>Calcolo della VELOCITÀ DI VIBRAZIONE mediante estrapolazione .....</b>	<b>175</b>
<b>Interpolazione grafica VELOCITÀ DI VIBRAZIONE - mod. NTX .....</b>	<b>178</b>
<b>VOLANTINO DI PREAVVISO SPARO MINE - racc. NTX.....</b>	<b>180</b>
<b>Calcolo della frequenza associata al picco col metodo .....</b>	<b>181</b>
<b>ZERO CROSSING .....</b>	<b>181</b>

---

## **ABBATTIMENTO CONTROLLATO CON ESPLOSIVI - RACC. NTX**

### **Generalità**

Per abbattimento controllato con esplosivi sono intesi quei lavori di demolizione o di scavo, nei quali gli effetti secondari indotti all'intorno (vibrazioni, rumore, lancio di frammenti d'abbattuto, rilascio tossico, ecc.) sono contenuti entro predefiniti limiti di sicurezza e di tollerabilità per le persone e per le strutture artificiali e naturali all'intorno (abitazioni, manufatti ed impianti industriali, scarpate, ecc.).

Per garantire il contenimento degli effetti secondari entro limiti predefiniti, e per minimizzare i rischi di contenzioso, è necessario effettuare le seguenti attività:

- acquisizione dei dati d'archivio relativi al lavoro da svolgere ed alle strutture da salvaguardare all'intorno, approfondimenti mediante rilievi in situ, prove ed analisi;
- progetto dell'abbattimento controllato;
- monitoraggio strumentale degli effetti indotti;
- attività di informazione delle persone all'intorno.

### **Attività preliminare all'avvio dei lavori da mina**

In fase preliminare alla progettazione è necessario riportare su cartografia 1:500 / 1:2.000, l'ubicazione di tutti i manufatti, delle strutture e degli impianti all'intorno dell'area di lavoro.

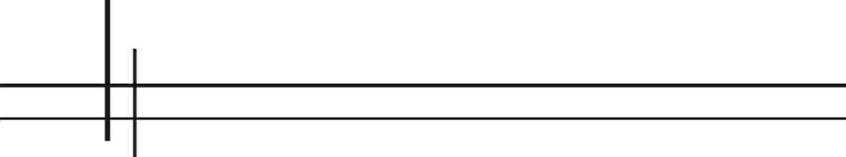
Per ciascuno deve essere redatta una relazione tecnica di prima approssimazione contenente foto, descrizione della tipologia strutturale ed architettonica, piante e sezioni, condizioni di manutenzione ed eventuali caratteristiche peculiari (ad es. particolari architettonici o strutturali particolarmente sensibili alle vibrazioni, presenza di ponti termici, zone di concentrazione di sollecitazioni statiche, termiche, idrauliche, stato di lesionamento preesistente, vincoli delle belle arti, ecc.).

In casi specifici potrebbe rendersi necessaria anche l'acquisizione del rilievo architettonico dell'eseguito, dei calcoli strutturali e dei risultati delle prove di carico eseguite per il collaudo statico, del calcolo e delle eventuali prove di verifica delle fondazioni, della caratterizzazione geomeccanica e strutturale del terreno di fondazione, ecc..

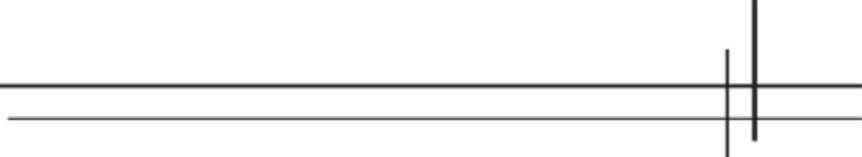
Il livello d'approssimazione della relazione tecnica deve essere stabilito in funzione del valore del manufatto e della distanza dall'area di lavoro con esplosivi.

### **Progetto dell'abbattimento controllato**

Il progetto può essere sviluppato seguendo la traccia riportata nel seguito:

- 
- Caratterizzazione del contesto socio-urbanistico nel quale saranno eseguiti i lavori.
  - Indicazione delle soggezioni per l'esecuzione dei lavori (presenza di cavidotti, di condutture per gas o combustibili, di impianti sensibili alle vibrazioni quali strumentazioni di analisi, turbine, ecc., scarpate in condizioni di equilibrio precario, manufatti storici, ecc.).
  - INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOSTRUTTURALE (approfondendo gli aspetti rilevanti ai fini della sicurezza sismica).
  - CARATTERIZZAZIONE SISMOLOGICA.
  - Descrizione del lavoro da svolgere (con eventuali riferimenti a documentazione progettuale, perizie, stato dell'arte, ecc.).
  - Descrizione dei manufatti e degli impianti da salvaguardare (con riferimento alle relazioni tecniche redatte in fase di attività PRELIMINARE ALL'AVVIO DEI LAVORI DA MINA).
  - Indicazione dell'approccio che è stato seguito per la quantificazione degli effetti indotti all'intorno, delle normative e dei valori limite a cui è fatto riferimento, delle prassi esecutive e dello stato dell'arte.
  - Sistemi di protezione / minimizzazione per il lancio di frammenti d'abbattuto.
  - Sistemi di contenimento delle vibrazioni.
  - Sistemi di contenimento dell'onda di sovrappressione aerea.
  - Sistemi di contenimento per le polveri.
  - Sistemi di contenimento per i gas d'esplosione.
  - Analisi di stabilità dinamica delle strutture all'intorno.
  - Quantificazione degli effetti indotti all'intorno dall'esecuzione dei lavori con esplosivi.
  - Riscontro del rispetto della normativa di riferimento con indicazione e definizione delle attività da seguire affinché siano garantite, in modo rigoroso, condizioni di tollerabilità e sicurezza per il personale addetto ai lavori, per i manufatti e gli impianti entro l'area dello stabilimento, per le persone ed i manufatti all'esterno.
  - PIANO DI MONITORAGGIO STRUMENTALE con descrizione delle caratteristiche tecniche dei sistemi di misura installati:
    - CENTRALINA DI MONITORAGGIO SISMICO - ACUSTICO per la misura delle vibrazioni / ONDE SISMICHE e

---



delle ONDE DI SOVRAPPRESSIONE AEREA;

- videocamera per la registrazione del lancio;
- rilevatori gas;
- ecc..

- SCHEMA DI BRILLAMENTO DELLA VOLATA (piano di tiro), con disegni e tabelle di caricamento ed indicazione della successione d'innesco della cariche.
- Modalità di verifica del circuito di tiro, sia esso elettrico, non elettrico o elettronico.
- SCHEDE DI PRODOTTO DEGLI ESPLOSIVI e dei detonatori che saranno impiegati.
- Schede di dati di sicurezza degli esplosivi e dei detonatori che saranno impiegati.

### **Controllo strumentale continuativo delle onde sismiche**

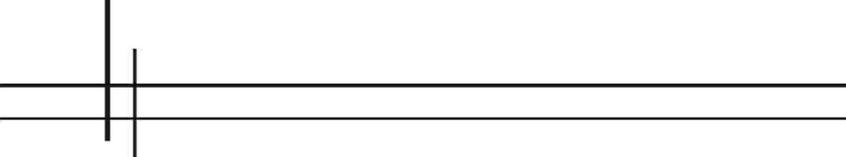
Per verificare il rispetto dei limiti predefiniti per le vibrazioni è necessario effettuare il controllo strumentale delle onde sismiche indotte dalle volate. L'esperienza derivante dalla pratica di numerosi contenziosi insegna che conviene effettuare tale monitoraggio per 24 ore al giorno e 7 giorni a settimana insomma, in modo da registrare ogni EVENTO SISMICO SIGNIFICATIVO anche eventuali sorgenti di sismicità "ambientale" (passaggio di automezzi pesanti, microsismi, ecc.) e non solo quelle ricollegate alle volate d'abbattimento.

In questo modo potrà essere caratterizzato il contesto sismico ambientale nel quale i lavori hanno luogo.

Per la misura delle vibrazioni sono utilizzati generalmente TRASDUTTORI DI VELOCITÀ triassiale (velocimetri con misura delle componenti verticale, orizzontale longitudinale e trasversale), ovvero con misura delle componenti della velocità di vibrazione negli assi z, x, y. In casi particolari possono essere utilizzati anche TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO o TRASDUTTORI DI ACCELERAZIONE. L'impiego preferenziale dei trasduttori di velocità deriva dalla loro facilità ed affidabilità d'impiego, e dal fatto che sono proprio le velocità di vibrazione che, meglio delle altre grandezze, possono essere utilizzate per stabilire livelli di correlazione con i danni. Inoltre, la misura con i velocimetri, richiede una minore preparazione tecnica ed un minore impegno per l'installazione da parte dell'operatore, poiché questi strumenti sono meno sensibili ad errori di verticalità rispetto agli accelerometri. Del resto, questi ultimi sono capaci di una dinamica di registrazione molto più ampia dei TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO, ma sono installabili praticamente dovunque, a differenza dei TRASDUTTORI DI DEFORMAZIONE.

Indispensabile è la redazione di un RAPPORTO DI MONITORAGGIO periodico, ad es. settimanale o mensile, e di un RAPPORTO CONCLUSIVO SUL MONITORAGGIO. Nel rapporto devono essere riportati tutti gli eventi sismici significativi registrati evidenziando quelli riconducibili alla sorgente monitorata.

La strumentazione utilizzata deve essere certificata e calibrata periodicamente come previsto dalle norme Uni 9916 e pure l'installazione deve essere eseguita in conformità alla NORMATIVA.



Le misurazioni dovranno essere effettuate in un numero sufficiente di punti, con trasduttori di caratteristiche tali da garantire la ricostruzione del fenomeno fisico con il desiderato MARGINE DI APPROSSIMAZIONE, ovvero di caratteristiche tali da poter costituire un punto di misura che non alteri in modo rilevante il fenomeno misurato. Nel caso in cui ciò non dovesse essere ragionevolmente possibile, il sistema di misura dovrà essere caratterizzato e la misura dovrà essere compensata mediante analisi dinamica.

I risultati delle misura dovranno essere riportati su un GRAFICO BILOGARITMICO nel quale la velocità di vibrazione dovrà essere associata alla distanza normalizzata scalata sulla carica esplosiva (Distanza Scalata).

La CURVA DI DECADIMENTO DELLA VELOCITÀ MASSIMA DI VIBRAZIONE AL VARIARE DELLA DISTANZA SCALATA dovrà essere calcolata mediante analisi di regressione, adottando le accortezze necessarie alla massimizzazione della affidabilità dei risultati dell'analisi statistica ed indicando i limiti della sua rappresentatività.

La stima della VELOCITÀ DI VIBRAZIONE in punti diversi da quelli di misura sarà possibile mediante ESTRAPOLAZIONE dalla curva di decadimento del sito per la specifica direzione, oppure mediante INTERPOLAZIONE delle misure effettuate a cavallo lungo un allineamento.

Sebbene i disturbi propagatisi in aria non siano direttamente correlati con il moto del terreno, le onde di sovrappressione aerea indotte dal brillamento di cariche esplosive contribuiscono al disagio indotto sulla popolazione all'intorno e pertanto ne diviene opportuna la documentazione. La misura dell'onda di sovrappressione aerea, se sincronizzata con quella delle onde sismiche, consente, inoltre, la VERIFICA INDIRETTA DELLA DISTANZA DEL PUNTO DI MISURA DALLA VOLATA. Dovrà pertanto essere sempre effettuata la misura dell'onda di sovrappressione aerea, sincronizzata con la misura delle onde sismiche, così da rendere possibile il confronto dell'intervallo temporale di primo arrivo sismico ed acustico.

Le misure, restituite su carta (GRAFICO DEGLI EVENTI SISMICI) e conservate presso il cantiere, dovranno essere a messe disposizione, con data certa, degli Enti e delle Amministrazioni addetti al controllo dei lavori.

I dati di sintesi di ciascuna misura dovranno essere riprodotti su una TABELLA RIEPILOGATIVA nella quale saranno riportati anche i dati della relativa volata.

Vedi gli altri argomenti trattati:

MISURA DELLE VIBRAZIONI INDOTTE DALLO SPARO MINE - linee guida I.S.E.E. per la buona pratica e RAPPORTO DI MONITORAGGIO - informazioni che deve contenere come da UNI 9916.

## **Le comunicazioni e le relazioni pubbliche**

Una buona informazione delle attività svolte e delle precauzioni adottate, aiuta sensibilmente a ridurre il contenzioso. Quella degli esplosivi è una pratica poco diffusa in Italia, praticata a livello non professionalmente avanzato e, comunque, poco conosciuta.

---

L'esperienza insegna che vibrazioni e rumore indotti dall'impiego di esplosivi, anche se di ampiezza inferiore a quelli indotti dal traffico veicolare o da impianti industriali, sono considerati più pericolosi.

Per minimizzare il rischio di contenzioso è spesso opportuna una preliminare attività di informazione e coinvolgimento delle autorità locali (sindaco, ufficio tecnico, Carabinieri, qualche volta anche del Vescovo, ecc.) e, nel caso, anche della popolazione residente in un intorno nel quale sia prevedibile qualche risentimento.

Molto efficace è la diffusione di un VOLANTINO DI PRE-AVVISO SPARO MINE nel quale sia spiegato, in modo semplice, il lavoro da effettuare, le normative a cui è stato fatto riferimento, le precauzioni prese e i controlli effettuati.

## ACCELERAZIONE calcolo dalla velocità

---

### Calcolo numerico dai valori di velocità registrati

La registrazione della velocità di vibrazione può essere convertita in accelerazione tramite derivata. Calcolare la derivata in un punto significa trovare il valore dell'inclinazione della linea tangente a quel punto della curva. Quando si deriva un segnale digitale, si calcola il valore della derivata per ciascuno dei punti di campionamento.

La derivazione è l'operazione che permette di calcolare l'inclinazione della retta tangente ad un punto sulla curva della velocità di vibrazione. A parità di velocità di vibrazione, mentre lo spostamento aumenta in modo direttamente proporzionale al diminuire della frequenza, l'accelerazione aumenta in modo direttamente proporzionale alla frequenza.

Prima di parlare delle derivate, occorre definire i limiti. Considera l'equazione seguente:

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = b \quad (\text{eq. 1})$$

dove  $f(x)$  è una funzione per cui per ciascun valore di  $x$  esiste uno ed un solo valore di  $f(x)$  (funzione di  $x$ ). Ne consegue che per esempio  $y = x^2$  è una funzione, in cui  $f(x) = x^2$ , mentre  $x^2 + y^2 = 4$  non è una funzione perché ad ogni valore di  $x$  corrispondono due possibili valori di  $y$ . Le registrazioni della CENTRALINA DI MONITORAGGIO SISMICO ACUSTICO possono venire considerate come funzioni poiché ad ogni punto  $t$  (tempo) corrisponde uno ed un solo valore di  $f(t)$  (velocità di vibrazione) per ogni canale di registrazione.

L'equazione sopra riportata dice semplicemente che mano mano che il valore di  $x$  tende ad avvicinarsi ad "a", il valore della funzione  $f(x)$  tende ad avvicinarsi a "b".

Considerando ad esempio la funzione

$$\lim_{x \rightarrow 3} f(x) = 2x \quad (\text{eq. 2})$$

mano a mano che il valore di "x" tende ad avvicinarsi a "3", il valore di  $f(x)$  tende ad avvicinarsi a "6".

L'inclinazione della retta tra due punti qualsiasi  $(x_1, y_1)$  e  $(x_2, y_2)$  equivale a  $(y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)$ .

Se si sostituisce  $(x_2 - x_1)$  con  $h$ , l'equazione può venir scritta come segue:

$$\frac{f(x+h) - f(x)}{h}$$

In cui  $y_2$  diventa il valore per  $f(x+h)$  e  $y_1$  diventa il valore per  $f(x)$ .

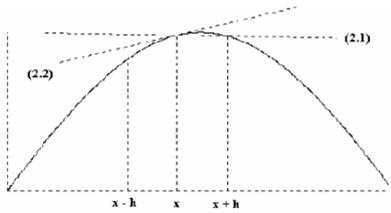
La derivata è un limite. Per poter trovare la derivata bisogna trovare il limite della funzione. Data una funzione  $f(x)$ , la derivata viene scritta  $f'(x)$ .

Perciò questa derivata può essere scritta come il seguente limite:



$$f'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \quad (\text{eq. 3})$$

Nella figura che segue si noti che esistono due rette identificate come (2.1) e (2.2).  
 Queste rette sono il risultato dell'utilizzo di due diversi metodi numerici per trovare la derivata nel punto "x".  
 La variabile "h" rappresenta lo spazio esistente tra due punti di campionamento adiacenti.



A scopo esemplificativo, consideriamo solo la prima metà di una curva sinusoidale.  
 É assodato che se  $f(x) = \sin(x)$ , allora  $f'(x) = \cos(x)$  (eq. 4)

La derivata di qualsiasi punto su una curva sinusoidale corrisponde al valore dello stesso punto su una curva cosenoidale.

Perciò per qualsiasi punto "x" della curva si può calcolare il valore della derivata.  
 Per illustrare il procedimento di derivazione, poniamo  $x = 0,22$ . Per trovare il valore del seno per  $x = 0,22$  dobbiamo prima moltiplicare questo valore per  $2\pi$  per trovare il corrispondente valore in radianti.  
 Prima di fare questo è necessario introdurre un'altra forma dell'eq. 4:

$$\text{Se } f(x) = \sin(kx), \text{ allora } f'(x) = k \cos(kx) \quad (\text{eq. 5})$$

dove "k" è una costante.  
 Nel nostro caso "k" è la costante circolare  $2\pi$ .

Quindi, se  $x = 0,22$ , la derivata di  $\sin(2\pi \times 0,22) = 2\pi \times \cos(2\pi \times 0,22) = 1,177$ .

Una volta noto il valore della derivata viene riportata una tabella con i valori calcolati con varie h. Si noti che mano a mano che il valore di h tende ad avvicinarsi a 0, il valore di f(x) tende ad avvicinarsi al valore della derivata.

h	x	x + h	f(x)
0,06	0,22	0,28	0,00000
0,03	0,22	0,25	0,59042
0,01	0,22	0,23	0,98275
0,002	0,22	0,222	1,13854
0,001	0,22	0,221	1,15795
0,0001	0,22	0,2201	1,17541
0,00001	0,22	0,22001	1,17716

Un metodo migliore per trovare la derivata per "x" è quello di sostituire f(x) con f(x - h).  
 In questo caso lo spazio tra i due punti è 2h.

$$f'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h} \quad (\text{eq. 6}).$$

Ora ripetendo la precedente procedura utilizzando l'eq. 6.

h	x	x + h	x - h	f(x)
0,06	0,22	0,28	0,16	1,1497
0,03	0,22	0,25	0,19	1,1704
0,01	0,22	0,23	0,21	1,1766
0,002	0,22	0,222	0,218	1,1773
0,001	0,22	0,221	0,219	1,1773
0,0001	0,22	0,2201	0,2199	1,1774
0,00001	0,22	0,22001	0,21999	1,1774

Si noti che ci si avvicina al valore corretto della derivata anche per un valore più ampio di h. Di conseguenza, nel momento in cui si effettua una derivazione, l'equazione 6 offre dei risultati più accurati dell'equazione 2.

Entrambi i metodi forniscono risultati migliori quando lo spazio tra i punti è minore. Questa è un'importante considerazione da fare quando viene scelta la frequenza di campionamento.

### **Stima dalla approssimazione del moto a sinusoidale**

Presupponendo ancora una volta che la registrazione di una velocità sia uguale ad una curva sinusoidale, e cioè che la registrazione possa venire descritta tramite l'equazione

$$v(t) = A \sin \omega t \quad (\text{eq. 7})$$

in cui "v(t)" è la velocità al tempo "t", A è il valore massimo assunto dalla curva sinusoidale, "ω" è pari a  $2 \cdot \pi \cdot f$  in cui "f" è la frequenza.

Dal calcolo sappiamo che:

$$a(t) = v'(t) = A \omega \cos \omega t \quad (\text{eq. 8})$$

In cui "a(t)" è l'accelerazione nell'istante "t".

Ancora una volta consideriamo i valori massimi:

$$v = A \quad (\text{eq. 9})$$

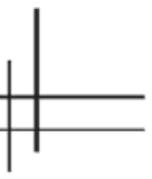
$$a = A \omega \quad (\text{eq. 10})$$

Quindi

$$a = A \omega = 2\pi f v \quad (\text{eq. 11})$$

L'unità di misura dell'accelerazione utilizzata per la visualizzazione è il "g" (accelerazione di gravità) pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$  ovvero  $9.814,6 \text{ mm/s}^2$ .

Per ottenere il risultato dell'accelerazione in "g" l'equazione 11 deve essere modificata come segue:



$$a = \frac{2\pi f v}{9814,6 \text{ mm/s}^2} \quad (\text{eq. 12})$$

dove la velocità è espressa in millimetri al secondo.

Come per lo spostamento, se sono note la velocità massima di vibrazione e la frequenza ad essa associata, si può facilmente approssimare l'accelerazione massima.

Se si suppone nuovamente che la registrazione della velocità sia sinusoidale, la velocità massima sia di 14,48 mm/s, la massima frequenza sia di 39,3 Hertz, lo spostamento sarà:

$$a = \frac{2\pi \cdot (39,3 \text{ Hz}) \cdot (14,48 \text{ mm/s})}{9814,6 \text{ mm/s}^2} = 0,364 \text{ g} \quad (\text{eq. 13})$$

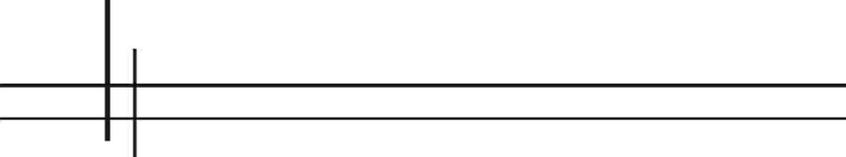




## **ATTREZZATURA PER L'INSTALLAZIONE DEI TRASDUTTORI SISMICI - racc. NTX**

---

1. Martello di gomma (per la verifica della continuità di parti strutturali).
2. Mazzetta da 0,5 kg, o qualsiasi altra massa attrezzata (per l'energizzazione impulsiva del punto di misura).
3. Barre filettate con staffe preforate, rondelle e galletti per l'accoppiamento del trasduttore.
4. Resina bicomponente rigida o cemento espansivo (per l'inghisaggio delle barre filettate c.s., al punto di misura).
5. Scalpelli da roccia (per la regolazione del piano d'appoggio del trasduttore i roccia o calcestruzzo).
6. Sacchi di sabbia (da riempire di sabbia asciutta, per la copertura del geofono).
7. Vanga pieghevole (per la regolazione del piano d'appoggio del trasduttore in terreno sciolto).
8. Guanti
9. Occhiali di protezione (per le schegge prodotte dallo scalpello)
10. Trapano per eseguire le forometrie
11. Bussola (per la registrazione dell'orientamento del geofono e del microfono)
12. Posizionatore GPS (per l'univoca definizione del posizionamento del punto di misura)
13. Distanziometro, fettuccia metrica, ecc. (per la misura delle distanze dalla sorgente energizzante)
14. ....
15. ....



## **CALIBRAZIONE DEI TRASDUTTORI**

---

Un errore nella misura potrebbe essere determinato dalla staratura dei trasduttori. Per questo, in fase di contenzioso, la mancanza di regolare verifica e taratura viene sistematicamente contestata, anche da periti senza specifiche competenze tecniche, semplicemente con riferimento ad altre discipline della metrologia la dove la verifica/taratura della strumentazione di misura viene imposta anche a livello legislativo.

Un trasduttore trasforma in segnale elettrico il fenomeno fisico che misura. Il segnale elettrico prodotto è proporzionale all'ampiezza del fenomeno fisico misurato.

Per l'uso prolungato, per deformazione dei materiali componenti, per modifica delle caratteristiche geometriche ed elastiche in conseguenza a cicli di sollecitazioni termiche e meccaniche, il trasduttore può arrivare a "tradurre" il fenomeno fisico in un segnale elettrico al di fuori dell'ambito di tolleranza della proporzionalità prevista dal costruttore. L'informazione fornita dal trasduttore risulta così affetta da errore, con scostamenti anche significativi tra fenomeno fisico misurato ed ampiezza del segnale elettrico prodotto.

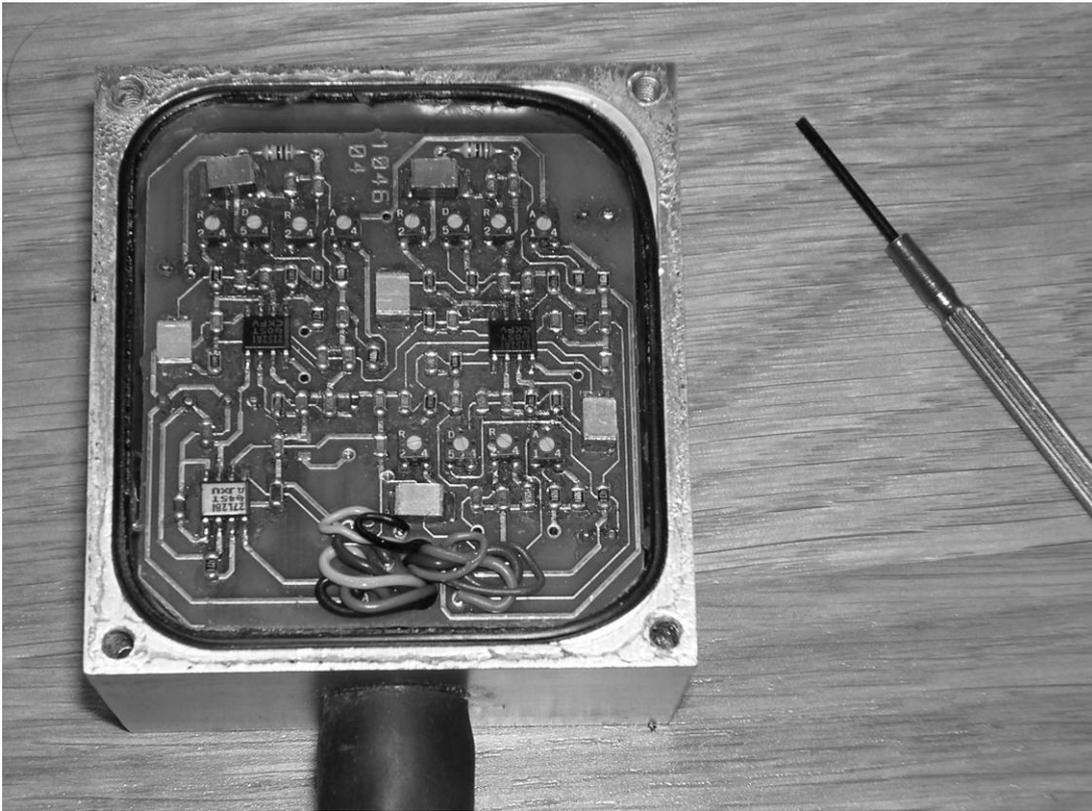
Per garantire l'affidabilità della misura occorre dunque effettuare periodici controlli di verifica del trasduttore. La normativa italiana indica un intervallo di verifica annuale.

Nel caso di trasduttori sottoposti a frequenti ed intensi cicli di misura, diviene necessario un intervallo di verifica più breve, anche trimestrale.

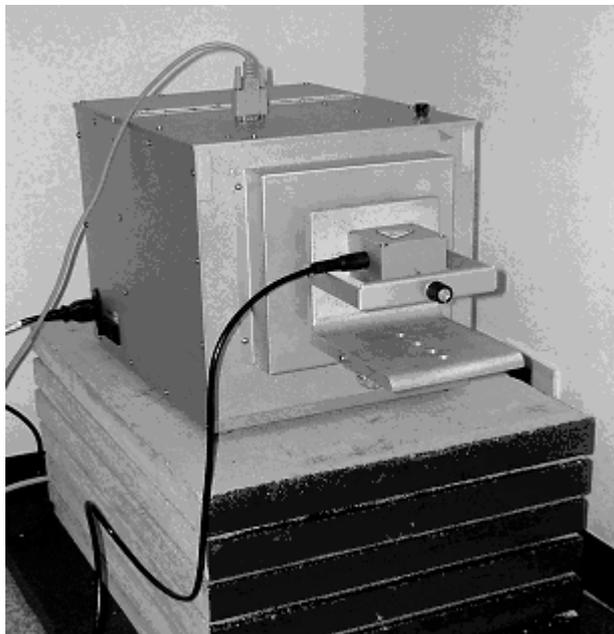
La verifica viene effettuata in centri SIT autorizzati o dallo stesso costruttore dell'apparecchiatura il quale, a sua volta, possiede un campione di riferimento verificato con campioni primari presso un centro SIT. La verifica si effettua confrontando la risposta elettrica del trasduttore messo in oscillazione su una tavola vibrante a varie frequenze sinusoidali di ampiezza confermata dal campione primario.

Per ritarare il sistema di misura si interviene sull'elettronica di condizionamento del segnale del trasduttore, ovvero si regolano i parametri del circuito elettrico del trasduttore in modo tale da riportare, entro l'intervallo di approssimazione caratteristico, la proporzionalità tra fenomeno fisico misurato e segnale elettrico.

I centri di taratura autorizzati dispongono dunque degli schemi elettrici del circuito di condizionamento di segnale e delle procedure che il costruttore ha fissato per la verifica e per la taratura.



Elettronica di condizionamento del segnale di un velocimetro triassiale.



Geofono fissato ad una tavola vibrante munita di un sensore di riferimento, anch'esso regolarmente calibrato

## CARATTERIZZAZIONE DEL SISTEMA TRASDUTTORE SISMICO - PUNTO DI MISURA - racc. NTX

---

Il corretto posizionamento dei trasduttori è fondamentale per l'affidabilità dei risultati del monitoraggio sismico.

Se il trasduttore non viene piazzato in modo corretto la misura perde di significatività ed il fenomeno fisico misurato è affetto da un errore, in difetto od in eccesso, e quindi la progettazione viene svolta su dati sbagliati.

Una misura è effettuata in modo corretto quando il sistema trasduttore - punto di misura, ovvero punto della struttura al quale è accoppiato il trasduttore, risulta indifferente al fenomeno fisico misurato.

La misura non è corretta quando:

- il trasduttore è accoppiato ad un punto di misura la cui frequenza di risonanza è confrontabile con la frequenza predominante del transiente sismico o, comunque, con frequenze nello spettro con ampiezze significative (amplificazione della risposta).
- Il trasduttore è accoppiato ad un elemento che non è collegato con la struttura da monitorare e che, oltretutto, ha una IMPEDENZA ACUSTICA ( $Z = \rho \cdot C$  - densità del mezzo x velocità di propagazione delle onde acustiche nel mezzo) inferiore a quella del mezzo di propagazione dell'onda sismica (smorzamento della risposta)

Ad esempio, piazzando il trasduttore su una soglia, la quale non è in continuità strutturale con il manufatto e che, per la sua geometria piatta ed allungata, ha una minore rigidità in direzione verticale e quindi in questa direzione oscilla liberamente, si ottiene una misura della componente verticale della velocità di vibrazione amplificata:

- molto nelle componenti armoniche della frequenza di risonanza della soglia in direzione verticale;
- un pò meno quella in direzione orizzontale trasversale all'asse longitudinale della soglia
- molto meno, quasi nulla, quella in direzione orizzontale longitudinale.

Talvolta non è possibile stabilire, preliminarmente alla misura, il condizionamento del punto di misura, così diviene necessaria la caratterizzazione ovvero la verifica che le frequenze di risonanza naturali del punto di misura non siano comprese tra quelle caratteristiche del transiente sismico indotto e, quindi, non amplifichino, o comunque alterino, la misura per l'innescò di una risonanza.

Un metodo speditivo per la verifica della frequenza di risonanza naturale del punto di misura consiste nella energizzazione con un carico impulsivo che induce, dunque, una forma d'onda con frequenza elevatissime, ad esempio come l'impulso prodotto dall'impatto di un cilindro d'acciaio.

La scomposizione del transiente sismico nelle componenti armoniche elementari (**CALCOLO DELLA FREQUENZA ASSOCIATA AL PICCO - FFT**) consente d'individuare, con un buon margine d'approssimazione, la frequenza, o le frequenze, proprie del punto di misura (ovvero del sistema di misura trasduttore - punto di misura) e quindi di poter escludere, o confermare, l'interferenza del punto di misura.

## Calcolo della massima CARICA COOPERANTE AL VARIARE DELLA DISTANZA DAL PUNTO DI SPARO PER UNA DISTANZA SCALATA DI SICUREZZA PREFISSATA

Data la distanza scalata di sicurezza  $DSs = \frac{R}{Q^{0,286}} = 20 \frac{m}{MJ^{0,286}} \Rightarrow$

$$\frac{R}{20} = Q^{0,286}$$

$$\left(\frac{R}{20}\right)^{\frac{1}{0,286}} = Q^{\frac{0,286}{0,286}}$$

ne segue che la massima carica cooperante ammessa a brillare al variare della distanza sarà pari a:

$$Q = \left(\frac{R}{20}\right)^{\frac{1}{0,286}}$$

ovvero, in funzione della energia specifica di esplosione, pari a:

		energia specifica di esplosione (MJ/kg)				
		3,1	4,1	4,5		
Percorso sismico	Max carica cooperante ammessa a brillare	AN.FO.	Emulsione	Gelatina		
		(kg)	(kg)	(kg)		
(m)	(MJ)	(kg)	(kg)	(kg)		
50	24,6	7,9	6,0	5,5		
55	34,4	11,1	8,4	7,6		
60	46,6	15,0	11,4	10,4		
65	61,6	19,9	15,0	13,7		
70	79,9	25,8	19,5	17,7		
75	101,6	32,8	24,8	22,6		
80	127,4	41,1	31,1	28,3		
85	157,4	50,8	38,4	35,0		
90	192,3	62,0	46,9	42,7		
95	232,3	74,9	56,7	51,6		
100	277,9	89,6	67,8	61,8		
105	329,6	106	80,4	73,2		
110	387,8	125	94,6	86,2		

## CONVERSIONE

### Tabella

<b>Pressione</b>	
1 psi (lb/in <sup>2</sup> - libra su pollice quadrato) = 0,0689 Bar	1 Bar = 14,514 psi
1 psi = 6,90 kPa	kPa = 0,145 psi
1 psi = 0,096 kgf/cm <sup>2</sup>	1 kgf/cm <sup>2</sup> = 10,417 psi
1 psi = 0,006895 Newton/mm <sup>2</sup>	Newton/mm <sup>2</sup> = 145,03774 psi
<b>Lunghezze</b>	
1 ft (piede) = 0,3048 m	1 m = 3,2808 ft
1 inch (pollice) = 2,51 cm	1 cm = 0,398 inch
<b>Peso</b>	
1 lb (libra) = 0,454 kg <sub>f</sub>	1 kg <sub>f</sub> = 2,20 lb
<b>Distanza scalata sulla carica</b>	
1 ft/lb <sup>2</sup> = 0,453 m/kg <sub>f</sub> <sup>2</sup>	1 m/kg <sub>f</sub> <sup>2</sup> = 2,21 ft/lb <sup>2</sup>
1 ft/lb <sup>3</sup> = 0,397 m/kg <sub>f</sub> <sup>3</sup>	1 m/kg <sub>f</sub> <sup>3</sup> = 2,52 ft/lb <sup>3</sup>
<b>Impulso scalato sul cubo della carica</b>	
1 psi · ms / lb <sup>3</sup> = 0,0897 Bar · ms / kg <sup>3</sup>	1 Bar · ms / kg <sup>3</sup> = 11,1439 1 psi · ms / lb <sup>3</sup>
<b>Calcolo dei Decibel</b>	
<b>L (dB) = 20 Log<sub>10</sub> (P/P<sub>0</sub>)</b>	
con	
P pressione misurata	
P <sub>0</sub> pressione di riferimento (20 · 10 <sup>-6</sup> N/m <sup>2</sup> oppure 2,9 · 10 <sup>-9</sup> psi)	

**Conversione da dB, mBar, psi - modello**

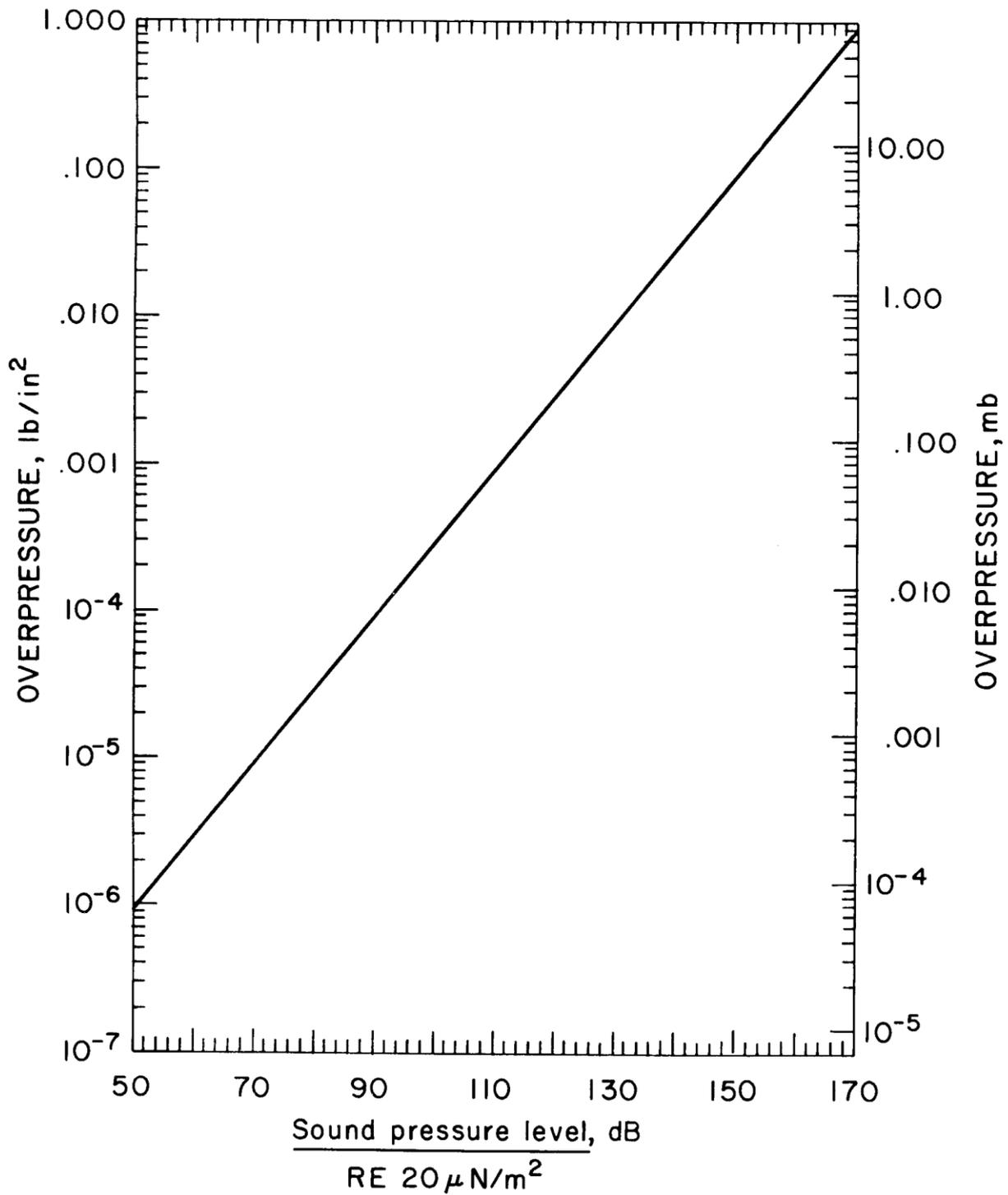
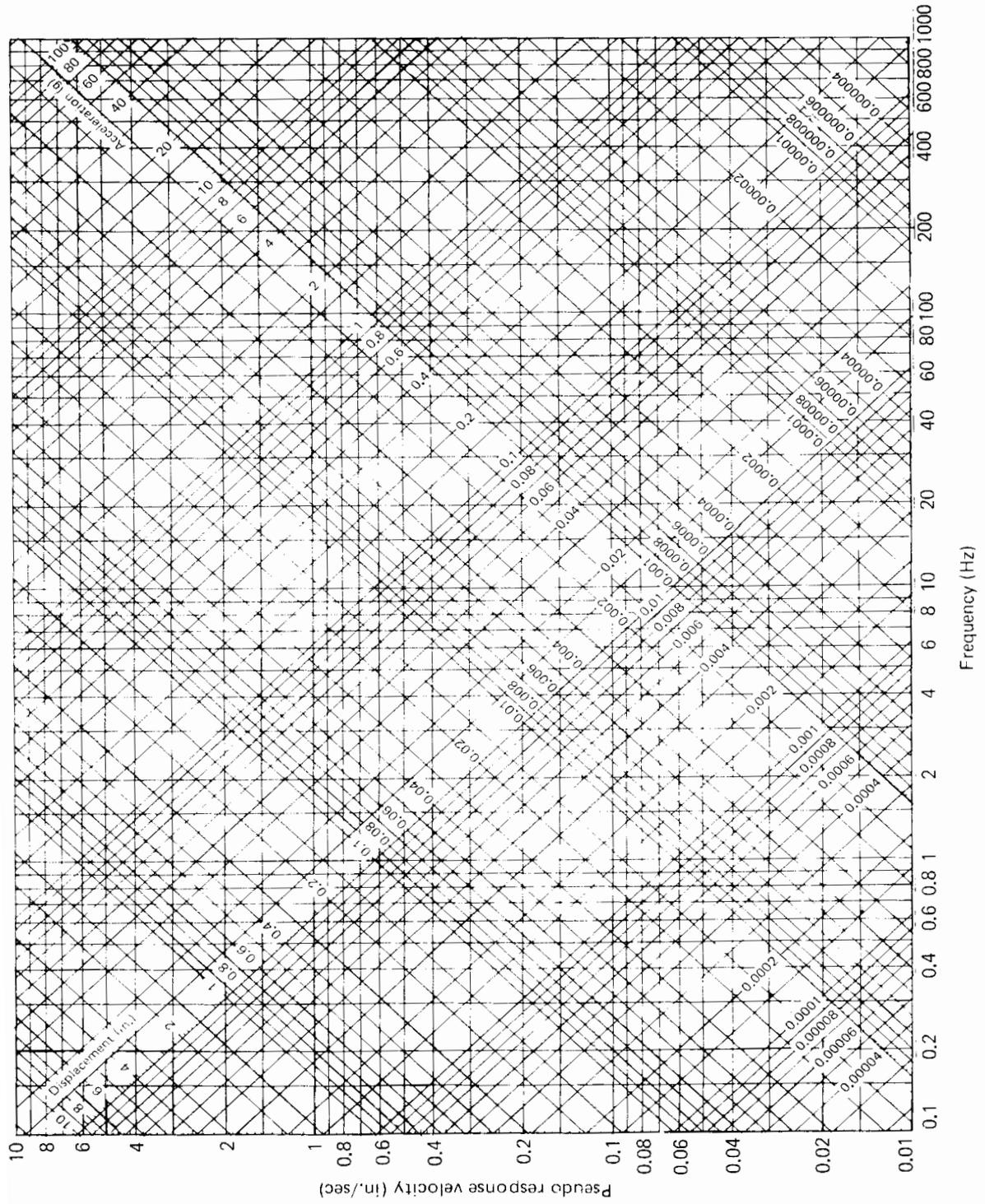


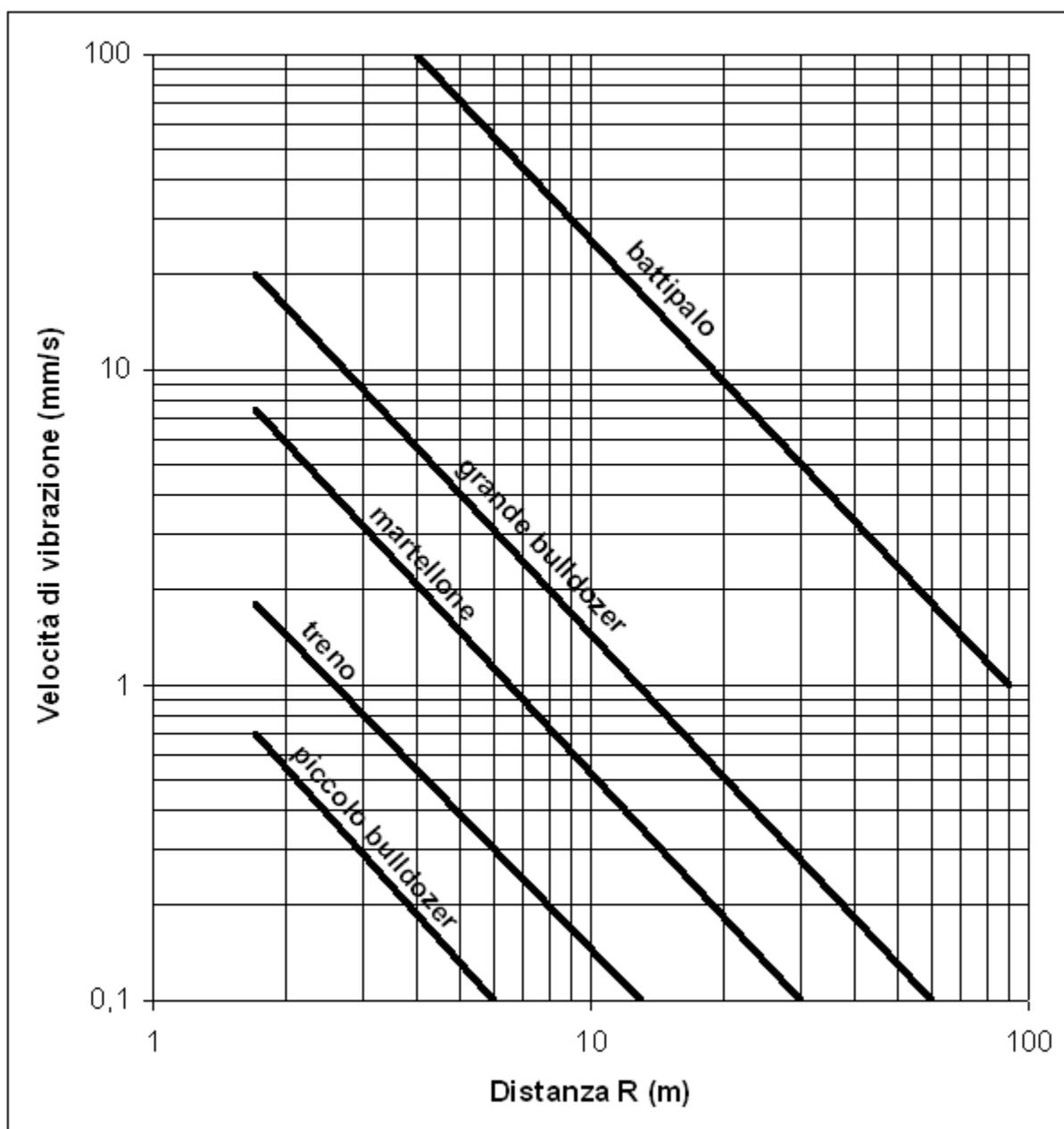
FIGURE 7. - Airblast level conversion and equivalence.

**Normogramma per la conversione da spostamento a velocità ad accelerazione in funzione della frequenza - modello**



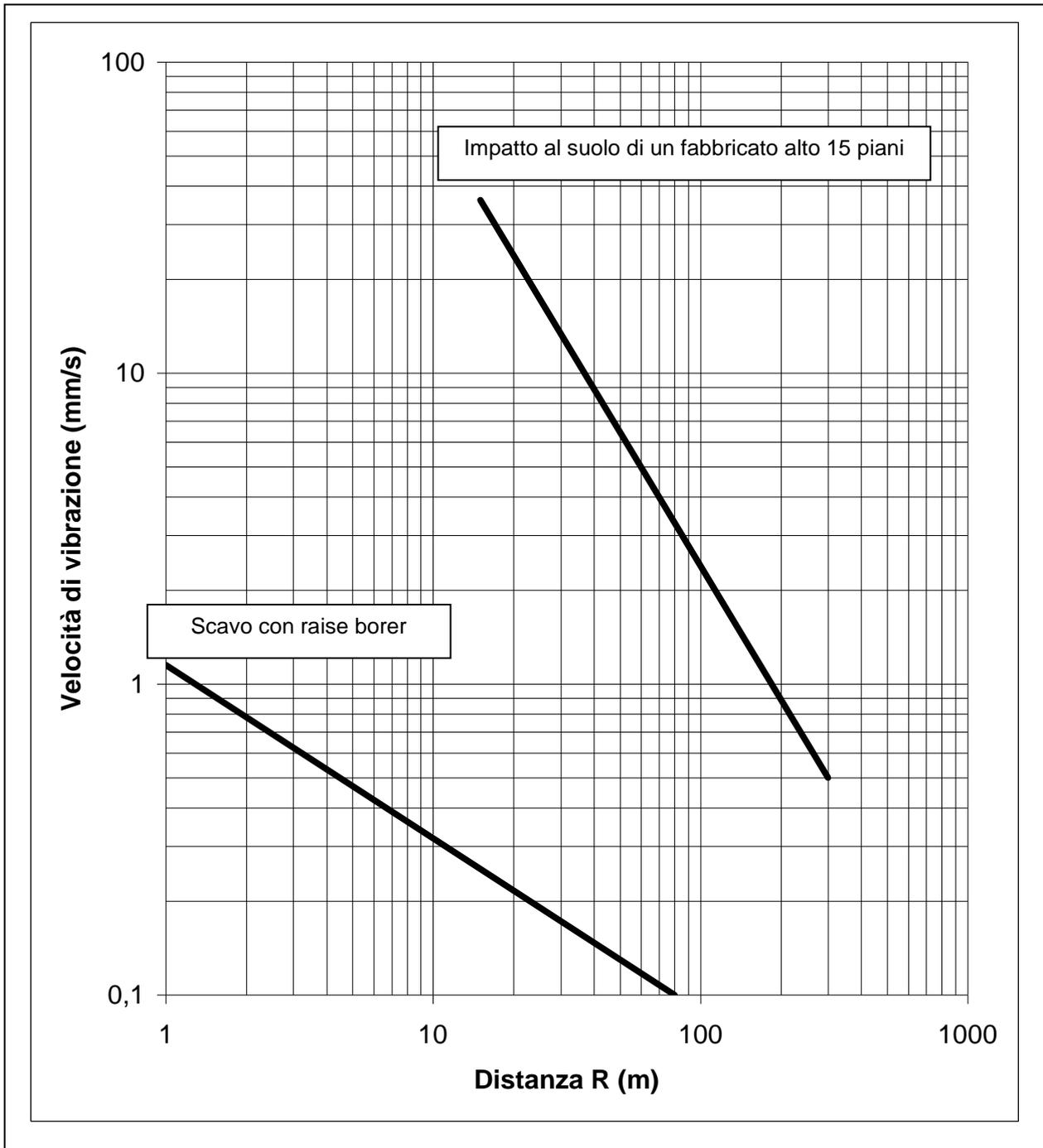
## CURVE DI DECADIMENTO DELLA VELOCITÀ DI VIBRAZIONE - esempi da varie sorgenti sismiche

### Sorgenti meccaniche



CURVE DI DECADIMENTO DELLA VELOCITÀ DI VIBRAZIONE

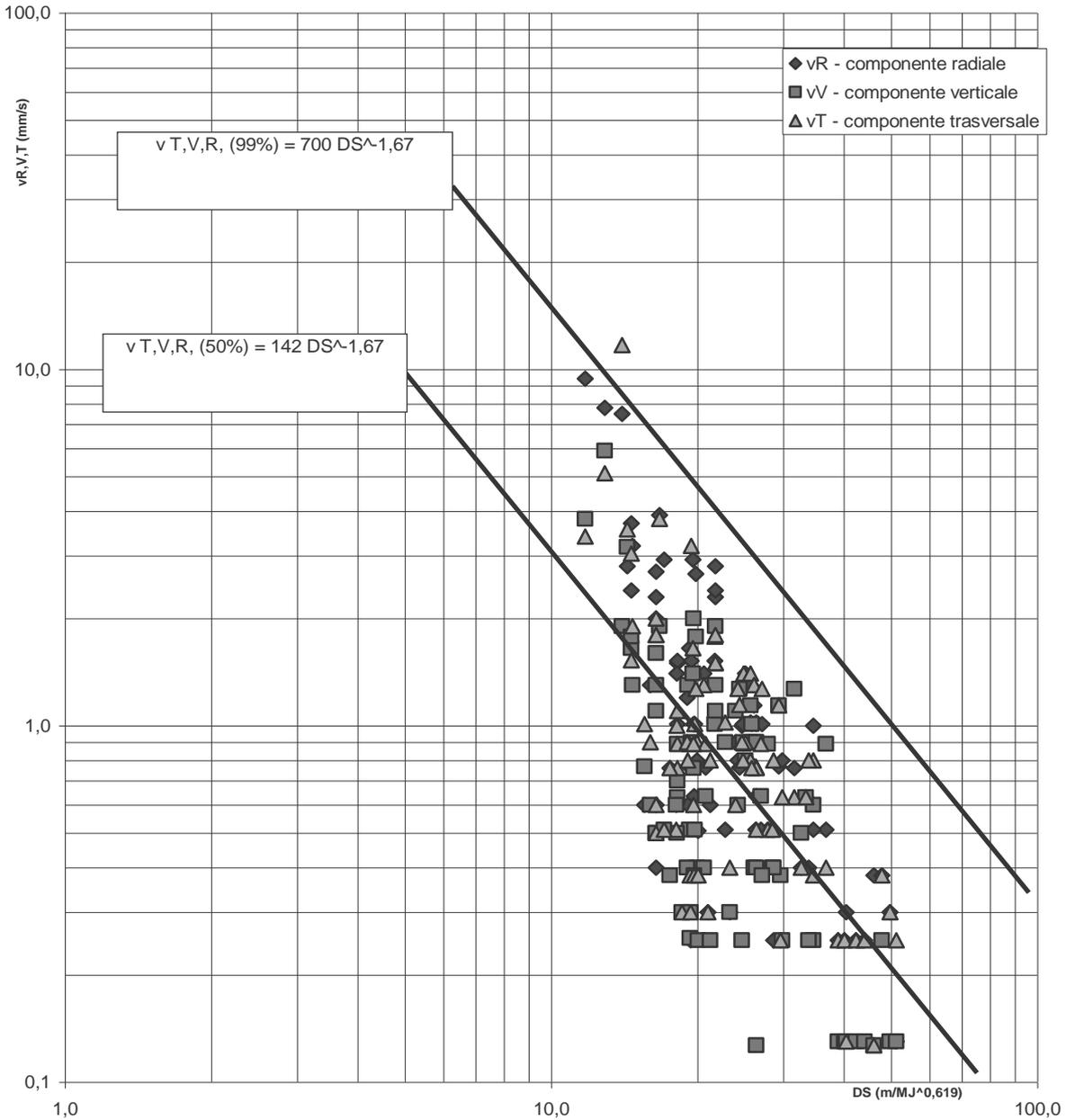
**Miscellanea**



CURVE DI DECADIMENTO DELLA VELOCITÀ DI VIBRAZIONE

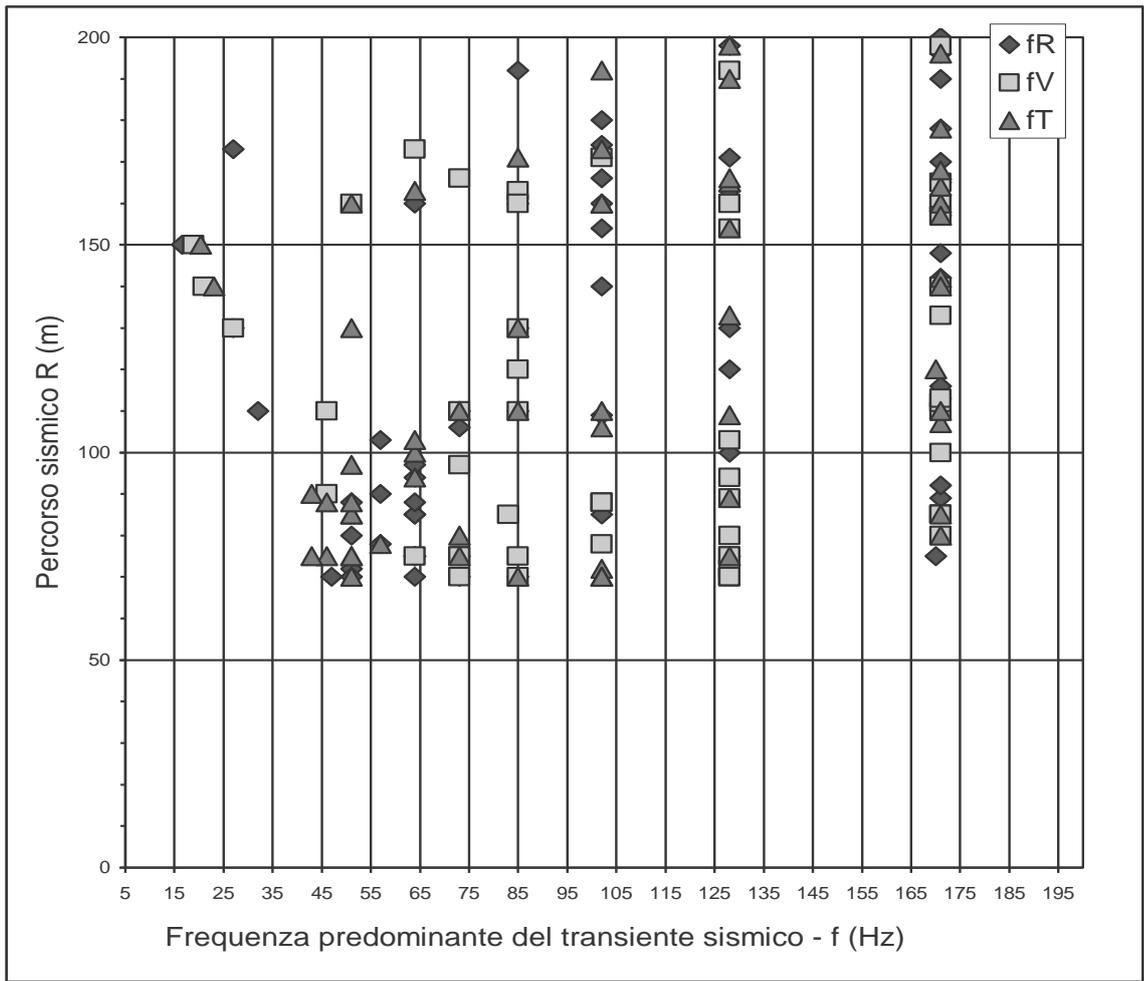
**Scavo tunnel idraulico (piccola sezione)**

Scavo in roccia carbonatica - Palermo  
(elevata dispersione dei dati attorno alla media)



R compreso tra 70 e 222 m  
Q compreso tra 5 e 49,4 MJ  
 $V_{T,V,R}$  compreso tra 0,1 e 11,7 mm/s

errore standard per il coefficiente di Q	0,10
errore standard per il coefficiente di R	0,20
coefficiente di determinazione	0,29
errore standard per la stima di v	0,86
statistica F	53
grado di libertà	255



**Grafico delle frequenze ZERO CROSSING associate al valore di picco della velocità**

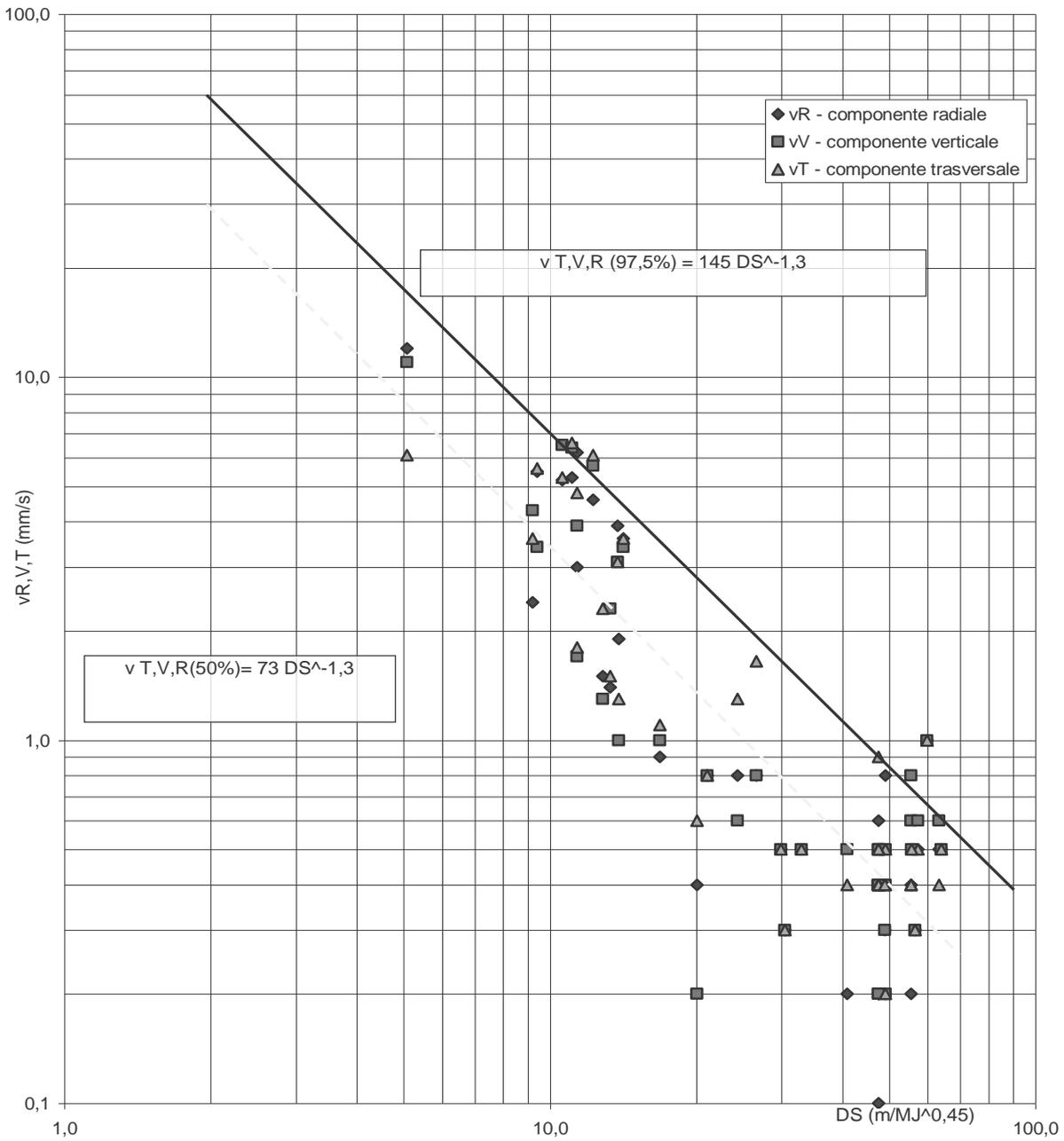
La frequenza predominante del transiente sismico (per tutte e tre le componenti) si mantiene alta anche a distanze di centinaia di metri.

L'elevata dispersione dei valori della frequenza predominante al variare del percorso sismico non consente d'individuare una correlazione con la distanza.

CURVE DI DECADIMENTO DELLA VELOCITÀ DI VIBRAZIONE

**Coltivazione di camera in sotterraneo (valori misurati in superficie)**

Scavo in roccia carbonatica - Bergamo



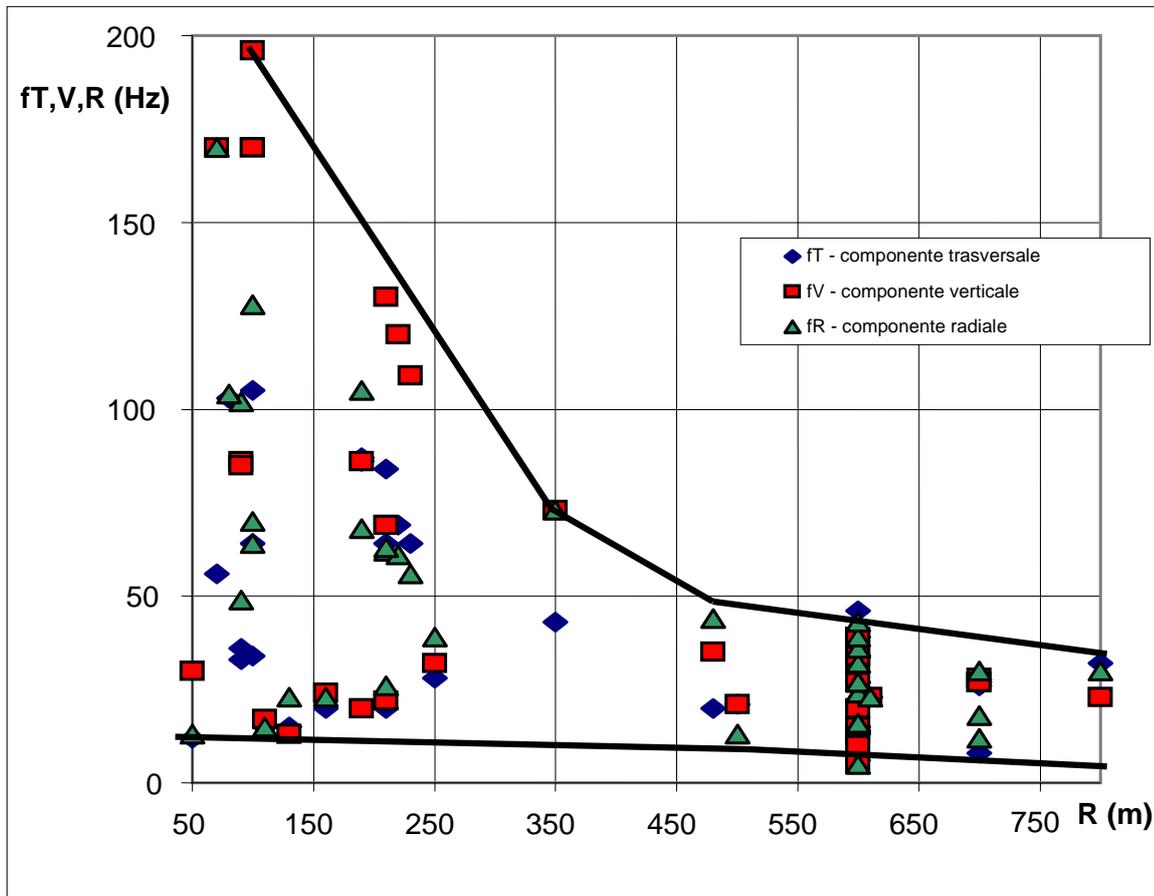
R

compreso tra 100 e 800 m

Q compreso tra 785 e 148 MJ

$V_{T,V,R}$  compreso tra 0,1 e 11 mm/s.

valore d'errore standard per il coefficiente di Q	0,09281
valore d'errore standard per il coefficiente di R	0,07745
coefficiente di determinazione	0,74
errore standard per la stima di v	0,57
statistica F	172,55
grado di libertà	123



Grafi-

co delle frequenze ZERO CROSSING associate al valore di picco della velocità

La frequenza predominante del transiente sismico (per tutte e tre le componenti) si riduce progressivamente all'aumentare della distanza dal punto di sparo.

Per distanze di alcune decine di metri la frequenza predominante assume valori intorno a 100 Hz (con una elevata dispersione).

Per distanze di alcune centinaia di metri la frequenza predominante assume valori intorno a 30 Hz (con una dispersione più contenuta).

Valori di frequenza predominante intorno a 80-100 Hz (sino a 250 Hz) sono stati misurati in sotterraneo sino a 200 m di distanza.

---

## **DANNI PER VIBRAZIONI TRANSIENTI**

---

### **Classificazione di livelli di danno indotti nelle strutture - racc. NTX**

- RILEVANTI - deformazioni permanenti - hanno luogo solo per elevati valori della velocità delle particelle (dell'ordine delle centinaia di mm/s) e portano a seri indebolimenti delle strutture (per esempio grosse lesioni, spiazamenti delle fondazioni o delle murature portanti, importanti cedimenti determinanti distorsione e disassamento di murature).
- MINORI - fratture di spostamento - hanno luogo per elevati valori della velocità delle particelle dell'ordine delle decine di mm/s, includono fratture superficiali che non condizionano l'assetto statico della struttura (per esempio finestre rotte, intonaco allentato o caduto) fratture capillari nelle murature.
- SOGLIA - o lesionamento cosmetico - hanno luogo alle velocità più basse e apre solamente vecchie fratture o produce lesioni capillari negli intonaci e può dislocare corpi slegati (per esempio può allentare i refrattari nelle ciminiere).

### **Valori limite di velocità di vibrazione da rispettare per la non insorgenza di danni di soglia nelle condutture interrate secondo le DIN 4150-3, Tab. 2**

**Velocità di oscillazione di riferimento**

<i>Riga</i>	<i>Materiali componenti le tubazioni</i>	<i>Valori di riferimento per velocità di oscillazione <math>v_i</math> in mm/s sulle tubazioni</i>
1	Acciaio, saldato	100
2	Gres, calcestruzzo, calcestruzzo armato, metallo con o senza flangia	80
3	Muratura plastica	50

**Valori limite di velocità di vibrazione da rispettare per le costruzioni per la non insorgenza di danni di soglia secondo le DIN 4150-3, Tab. 1**

Velocità di oscillazione di riferimento

Riga	Tipi di edificio	Valori di riferimento per velocità di oscillazione $v_{MAX}$ in mm/s			
		misura sulle fondazioni			Misura sull'ultimo solaio orizzontale
		Frequenze			
Da 1 a 10 Hz	da 10 a 50 Hz	da 50 a 100 Hz <sup>*)</sup>	tutte le frequenze		
1	Costruzioni per attività commerciale, costruzioni industriali e costruzioni con strutture similari	20	da 20 a 40	da 40 a 50	40
2	Edifici abitativi o edifici simili per costruzione o utilizzo	5	da 5 a 15	da 15 a 20	15
3	Edifici che per la loro particolare sensibilità alle vibrazioni non rientrano nelle precedenti classificazioni e che sono da tutelare in modo particolare (monumenti sotto protezione belle arti)	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

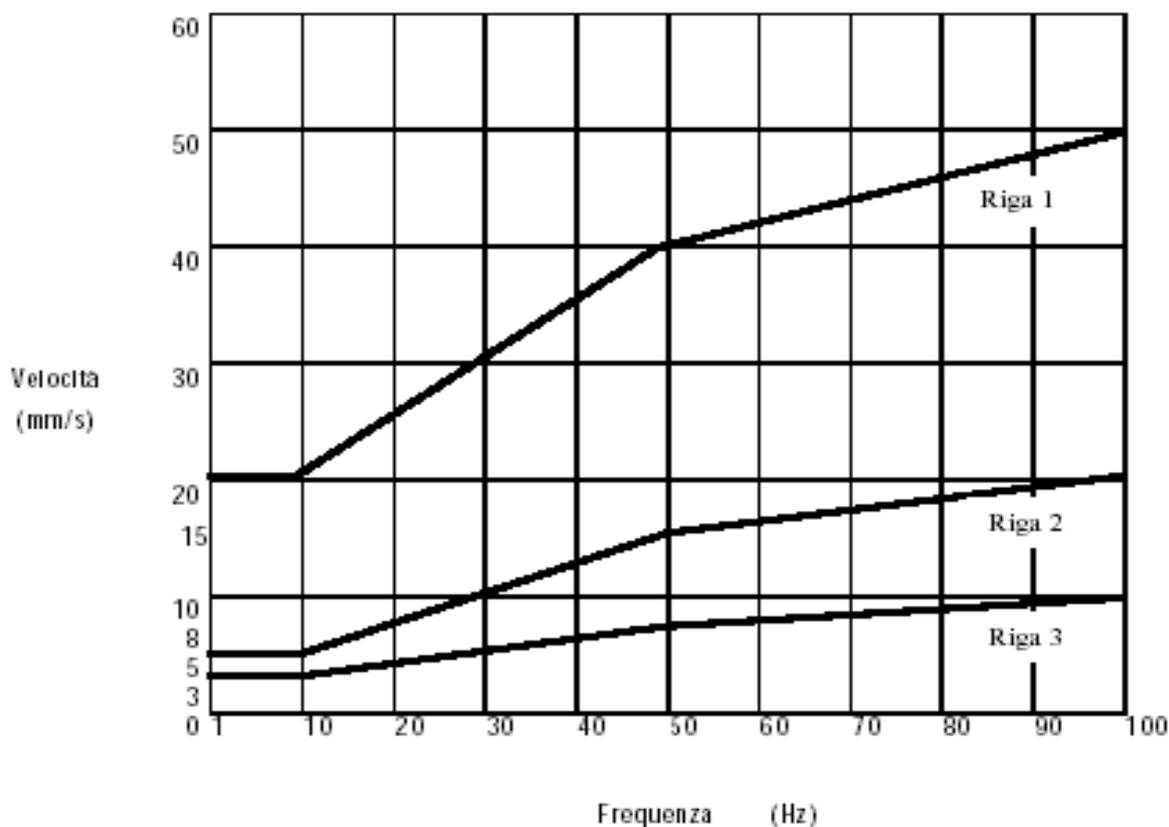


Grafico dei valori di riferimento in fondazione

**Riscontro dei valori limite per la non insorgenza di danno alle costruzioni, come da DIN 4150-3, Tab. 1**

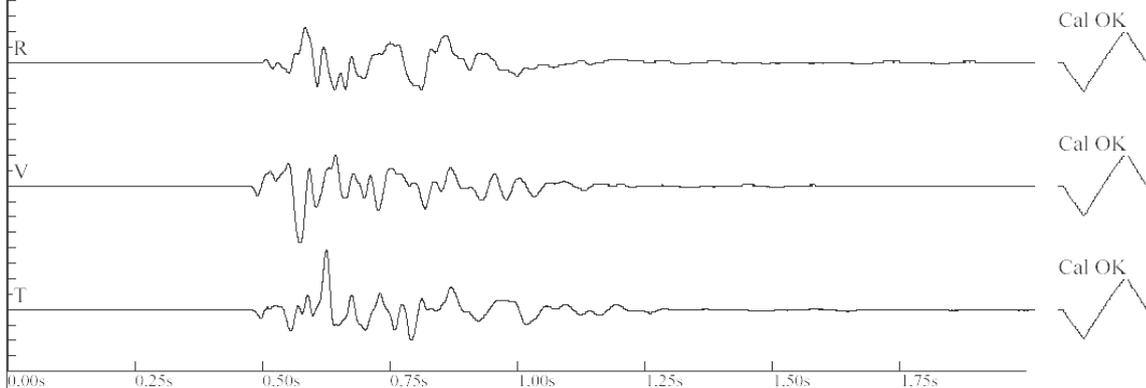


**Cava Spaccaroccia**  
**Comune di Valcannuta (CN)**  
**Punto di misura 1 - Casa Bianchi**  
 ---  
**Percorso sismico ..... m**  
**Carica massima cooperante ..... MJ**

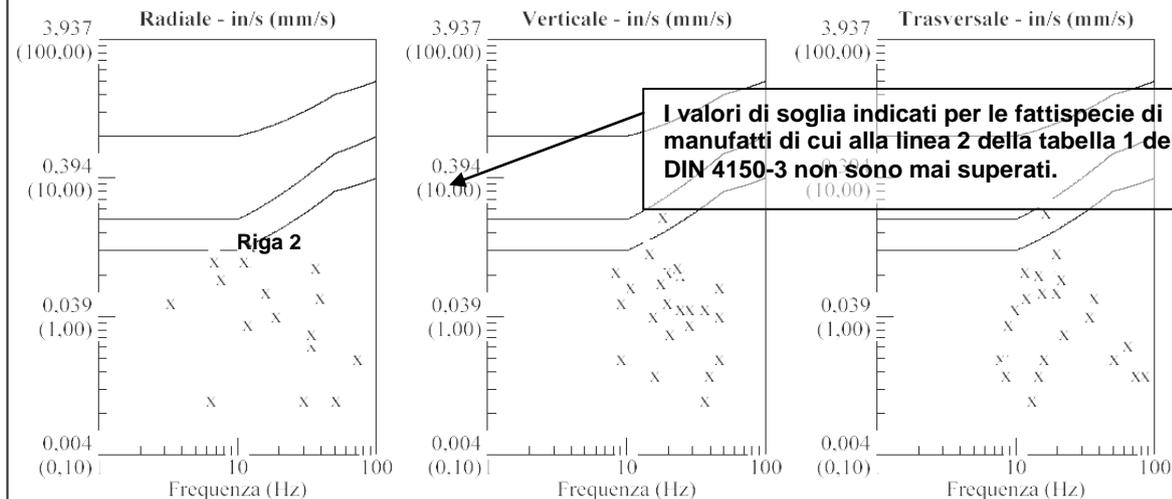
Nome archivio: GEMMAC  
 Numero: 003  
 Data: 15.10.2003  
 Orario: 15:55  
 Numero di serie: 2704  
 Trigger sismico: 0,0400 in/s 1,0160 mm/s  
 Trigger acustico: 142 dB  
 Frequenza di campionamento: 1024  
 Durata registrazione: 4,0 Seconds  
 Pre trigger: 0,50 Seconds  
 Guadagno del sensore: 2x  
 Batteria: 6,9

**Amplitudes and Frequencies**  
*Radiale:* 0.13in/s 3.302mm/s @ 12.4Hz  
*Verticale:* 0.21in/s 5.334mm/s @ 18.2Hz  
*Trasversale:* **0,225in/s 5,715mm/s @ 17,0Hz**  
*Spostamento:* 0.002453in 0.062301mm  
*Accelerazione:* 0,079503g's  
*Data di calibrazione:* 26.09.2003

**Graph Information**  
*Durata:* 0.000s To: 1.996s  
*Fondoscala sismico:*  
 0.23in/s (0,058in/s/div) 5,84mm/s (1,461mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 0,25 s



**UNI 9916 - DIN 4150-3 tabella 1**



## DANNI PER VIBRAZIONI PROLUNGATE

### Valori delle vibrazioni da rispettare per le costruzioni, come da DIN 4150-3, Tabella 3

Velocità di oscillazione di riferimento per le sole componenti orizzontali

Riga	Materiali componenti le tubazioni	Valori di riferimento per velocità di oscillazione $v_i$ in mm/s sulle tubazioni
		Ultimo solaio, orizzontale, tutte le frequenze
1	Costruzioni per attività commerciale, costruzioni industriali e costruzioni con strutture similari	10
2	Edifici abitativi o edifici simili per costruzione o utilizzo	5
3	Edifici che per la loro particolare sensibilità alle vibrazioni non rientrano nelle precedenti classificazioni e che sono da tutelare in modo particolare (monumenti sotto protezione belle arti)	2.5



## Modulo per acquisizione rapida dei dati per il DATABASE MANUFATTI RESIDENZIALI - mod. NTX

Protocollo: .....; Data .....

DENOMINAZIONE MANUFATTO ..... numero ..... / .....

.....

destinazione d'uso .....

località ..... via .....

pianta ..... num elevazioni da p.c.: .....

struttura portante .....

isolam. statico  isolam. termico  isolam. acustico  giunti termici  .....

copertura .....

fondazioni .....

sedime .....

materiali .....

.....

.....

stato di manutenzione .....

.....

.....

.....

data di costruzione ..... fattispecie tab. 1 DIN 4150-3: riga .....

Allegati:

progetto statico,  progetto architettonico,  progetto dell'eseguito,  relazione geologica,

relazione geotecnica,  rilievo stato fessurativo,  .....

NOTE: .....

.....

.....

.....

## **Calcolo della DISTANZA SCALATA SULLA CARICA ESPLOSIVA**

---

Per poter riportare in un grafico bidimensionale l'ampiezza delle vibrazioni in funzione della distanza dal punto di sparo e della carica esplosiva è necessario "condensare" distanza e carica in un unico valore, la "distanza scalata sulla carica" DS.

La carica può essere considerata nella sua grandezza caratteristica del peso (in kg) oppure, nel caso in cui fosse necessario disporre di una migliore rappresentatività dei dati misurati per il confronto tra diverse tipologie di esplosivi differenti, nella sua grandezza caratteristica energia totale d'esplosione (in MJ).

### **Esempio di calcolo della distanza scalata DS ( $m/MJ^{0,5}$ o $m/MJ^{0,5}$ ) per un foro da mina caricato con due diversi tipo di esplosivo:**

Distanza del punto di misura dal punto di sparo  $R = 140$  m

Tipo di esplosivo utilizzato e sua energia specifica d'esplosione:

Carica di piede: Emulsione "XXYYZZ" - energia spec.: 4,1 MJ/kg

Carica di colonna AN.FO. "AABBCC" - energia spec.: 3,3 MJ/kg

(I dati sull'energia totale d'esplosione degli esplosivi sono riportati nelle **SCHEDE DI PRODOTTO** e nelle schede di dati di sicurezza).

Quantitativo di esplosivo utilizzato:

Carica di piede: Emulsione "XXYYZZ" 25 kg

Carica di colonna: AN.FO. "AABBCC" 75 kg

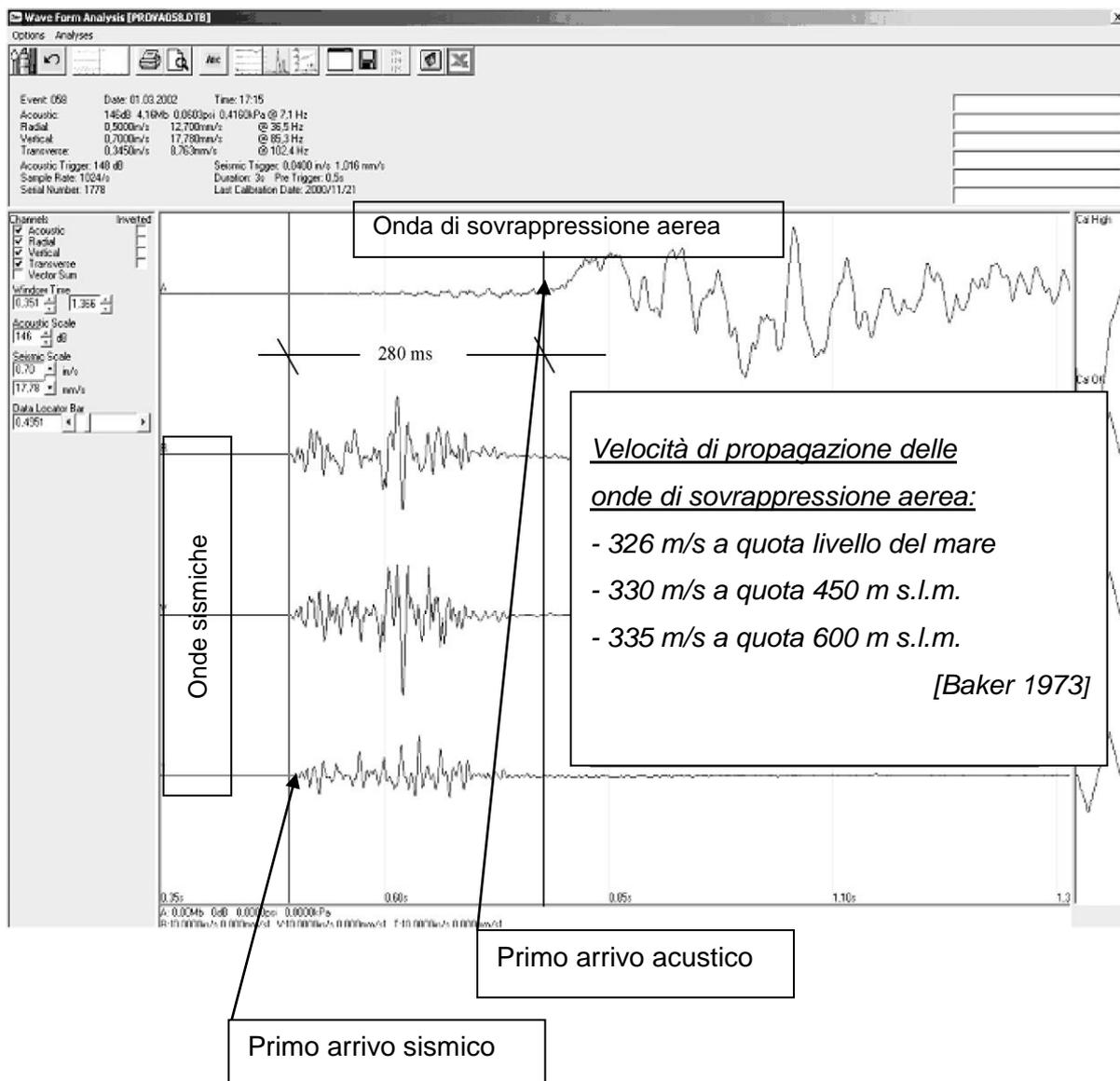
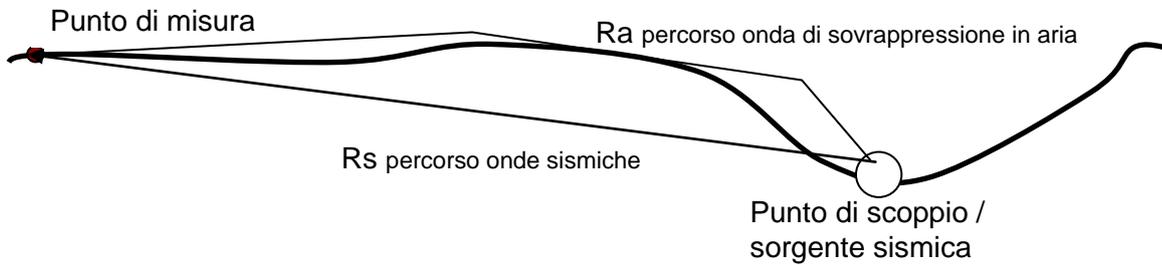
(Carica totale in foro:  $25 + 75 = 100$  kg)

Energia d'esplosione della carica  $Q = 25 \text{ kg} \times 4,1 \text{ MJ/kg} + 75 \text{ kg} \times 3,3 \text{ MJ/kg} = 350 \text{ MJ}$

Distanza scalata sul quadrato della carica:

$DS = R/Q^{0,5} = 140 \text{ m} / (350 \text{ MJ})^{0,5} = 7,4833 = 7,5 \text{ m/MJ}^{0,5}$

# Stima della DISTANZA TRA PUNTO DI ESPLOSIONE E PUNTO DI MISURA dall'intervallo tra primo arrivo sismico ed acustico



### Esempio di calcolo per la stima della velocità di propagazione delle onde sismiche di superficie una volta note:

- $VEL_a$  = velocità di propagazione delle onde di sovrappressione aeree: 330 m/s
- $R_s$  = percorso sismico: 115 m
- $R_a$  = percorso acustico: 105 m
- $\Delta t = t_a - t_s$  = intervallo temporale tra primo arrivo sismico e primo arrivo acustico: 280 ms (vedi figura)

#### VELs = velocità delle onde sismiche di superficie

Dall'istante di energizzazione, le onde sismiche di superficie impiegheranno un tempo  $t_s$  a percorrere la distanza  $R_s$  alla velocità  $VEL_s$

$$VEL_s = R_s / t_s$$

(in carenza di un trasduttore di trigger presso la sorgente il tempo  $t_s$  non è noto, come nel caso del grafico della figura) ed un tempo  $t_a$  a percorrere la distanza  $R_a$  alla velocità  $VEL_a$ :

$$VEL_a = R_a / t_a$$

$$t_a = R_a / VEL_a = 105 \text{ m} / 330 \text{ m/s} = 0,318 \text{ secondi}$$

$$\Delta t = t_a - t_s = 280 \text{ ms} = 0,280 \text{ s}$$

$$0,3182 - t_s = 0,280 \text{ s}$$

$$t_s = 0,318 - 0,280 \text{ s} = 0,038 \text{ s}$$

$$VEL_s = R_s / t_s = 115 \text{ m} / 0,038 \text{ s} = 3026 \text{ m/s approssimato a } 3.000 \text{ m/s (approssimato } \pm 10\%).$$

### Esempio di calcolo per la stima della distanza dalla sorgente sismica del punto di misura (percorso sismico) una volta note:

- $VEL_a$  = velocità di propagazione delle onde di sovrappressione aeree: 330 m/s
- $VEL_s$  = velocità di propagazione delle onde sismiche di superficie 3.000 m/s (ad esempio calcolato come sopra da una prima misura per la quale il percorso sismico è stato misurato con sufficiente approssimazione).
- $R_s / R_a$  = rapporto tra percorso sismico e percorso: 1 (ovvero 0,95 o come verosimile da morfologia contesto all'intorno)
- $\Delta t = t_a - t_s$  = intervallo temporale tra primo arrivo sismico e primo arrivo acustico: 564 ms

#### $R_s$ = percorso sismico

$$R_a = VEL_a \cdot t_a = R_s$$

$$R_s = VEL_s \cdot t_s = 3.000 \cdot t_s$$

$$\Delta t = t_a - t_s$$

$$t_a = \Delta t + t_s = 0,564 + t_s$$

$$VEL_a \cdot t_a = R_s = 330 \cdot (0,564 + t_s) = 186,12 + 330 \cdot t_s$$

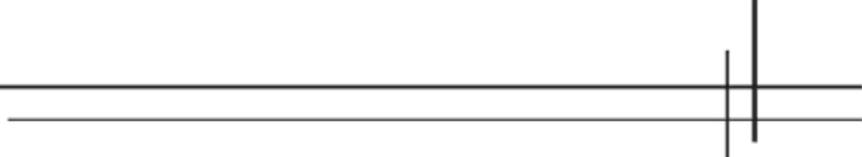
$$186,12 + 330 \cdot t_s = 3.000 \cdot t_s$$

$$186,12 = 3.000 \cdot t_s - 330 \cdot t_s = (3.000 - 330) \cdot t_s$$

$$186,12 / (3.000 - 330) = t_s = 0,0697 \text{ s}$$

$$R_s = VEL_s \cdot t_s = 3.000 \cdot t_s = 3.000 \cdot 0,0697 \text{ s} = 209 \text{ m approssimato a } 210 \text{ m (approssimato } \pm 10\%).$$

---



## **Esempio di DISTRIBUZIONE DEI PUNTI DI MISURA SISMICA per la ricostruzione di fenomeni oscillatori - racc. NTX**

---

### **Generalità**

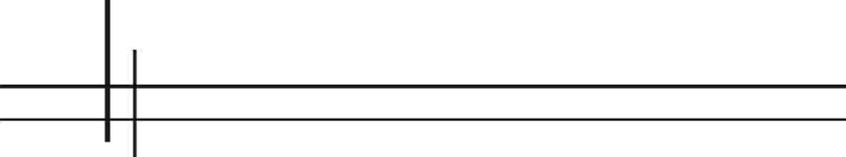
Il moto del terreno può essere scomposto nella somma vettoriale di tre componenti, tra loro perpendicolari, comunque orientate. Nella prassi il moto vibratorio è scomposto nelle componenti verticale "V", orizzontale longitudinale "L" o radiale "R" rispetto alla direzione di propagazione del transiente (ovvero coincidente con la retta che passa tra il trasduttore ed il punto di sparo) ed orizzontale trasversale "T". Quando lo studio è mirato alla risposta strutturale di un manufatto gli assi possono essere contrassegnati da H1, H2 e V con H1 e H2 orientati parallelamente agli assi principali della struttura.

La variazione del valore di picco caratteristico del moto per ciascuna delle tre componenti ha posto il problema della individuazione della componente più importante. Il moto orizzontale sembra controllare la risposta orizzontale di murature e di strutture in elevazione e la componente verticale sembra controllare la risposta verticale dei solai. In senso assoluto il valore di picco del moto del terreno, e conseguentemente della deformazione del terreno, è il massimo vettore somma delle tre componenti e questo, talvolta, si verifica in coincidenza del valore massimo tra le tre componenti. Questo è il valore di picco del vettore velocità delle particelle di terreno al passaggio del transiente sismico, da non confondersi con lo pseudo-vettore massimo (utilizzato nel passato quando la mancanza di sistemi di registrazione digitale non consentiva la precisa ricostruzione vettoriale della velocità di vibrazione) che è calcolato come somma vettoriale dei valori massimi per ciascuna componente indipendentemente dall'istante in cui questi valori hanno avuto luogo. Lo pseudo-vettore massimo può essere sino al 40% superiore del vettore massimo il quale, a sua volta, è di solito 5%÷10% maggiore del valore maggiore tra le tre componenti. Le osservazioni sperimentali del valore oltre il quale è rilevata l'insorgenza di fratture cosmetiche, che sono alla base dei controlli effettuati nel Nord America, sono state correlate con i valori massimi di ciascuna componente, indipendentemente dal loro orientamento. L'utilizzo dello pseudo-vettore massimo fornisce quindi un non più giustificato, elevato margine di sicurezza.

### **Ubicazione punti di misura e numero di punti di misura necessari**

Se è noto in una struttura un punto critico il risentimento indotto nella struttura deve essere preferibilmente misurato in quello specifico punto (es. tamponature particolarmente estese e sottile, mensole, ecc.). La velocità delle particelle può essere misurata anche fuori dalla struttura (come viene suggerito negli USA) oppure sulle fondazioni (come viene suggerito in Europa). Sebbene il numero minimo di strumenti, ovvero di punti di misura triassiale per la registrazione della eccitazione indotta dal brillamento dell'esplosivo sia pari ad uno è anche vero che due punti di misura forniscono una più ampia descrizione sulla variazione spaziale degli effetti indotti. Due o più punti di misura sincronizzati consentono anche il calcolo della velocità di propagazione dell'impulso sismico nella formazione superficiale).

Se viene utilizzato solo uno strumento questo dovrebbe essere piazzato nel punto più vicino o nel punto più delicato. Questo unico strumento dovrebbe registrare le tre componenti la velocità particellare al passaggio del transiente sismico e l'onda di sovrappressione aerea. Lo strumento deve effettuare un controllo continuativo in attesa dell'evento perciò



dovrebbe essere allertato (triggerato) sulla soglia di intensità minima di ampiezza oltre la quale il fenomeno diviene di interesse. Oltretutto, dovrebbe essere in grado di effettuare la registrazione anche mentre effettua la stampa o comunica i risultati della precedente misura. Quando il brillamento ha luogo in più di un sito, ovvero quanto esso interessa varie strutture site a centinaia di metri di distanza l'una dall'altra, allora in numero minimo di punti di misura diviene pari rispettivamente a due ed a quattro. Un ulteriore strumento a disposizione in caso di guasto degli altri assicura il controllo continuativo in caso di guasto.

Un numero maggiore di strumenti possono comunque essere richiesti per l'applicazione di specifici regolamenti minerari o per il rispetto del programma dei lavori. Un numero maggiore di strumenti possono essere richiesti per la misura della risposta locale in aggiunta alla misura dell'eccitazione indotta.

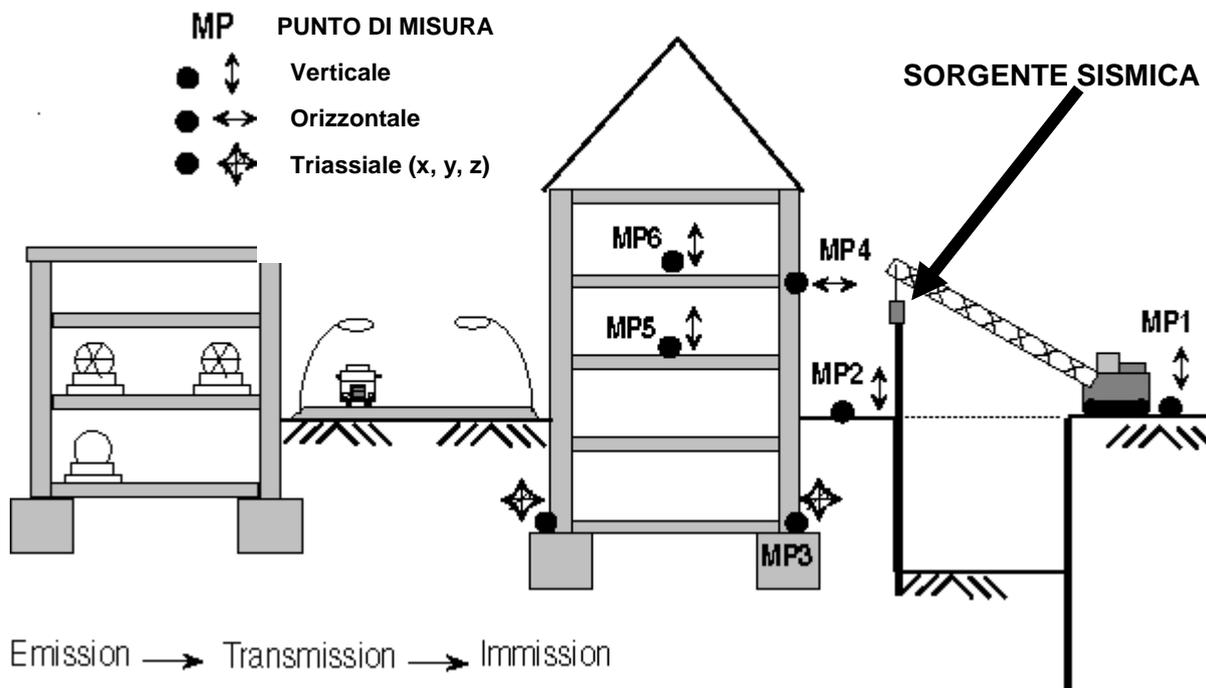
### **Posizionamento degli strumenti in fase di sparo di prova**

La scelta del punto in cui posizionare lo strumento deve essere mirata alla rapida definizione dei parametri caratteristici della curva di decadimento dell'onda sismica e dell'onda di sovrappressione aerea. Tali parametri (intercetta della curva di decadimento, esponente, coefficiente di correlazione e varianza dei vari parametri, ecc.) variano da sito a sito e sono funzione della geologia, e dei parametri caratteristici della volata.

Dagli spari di prova è inoltre possibile l'individuazione delle frequenze associate al transiente sismico indotto per varie distanze scalate ed assolute.

In fase di prova dovrebbero essere utilizzati un minimo di quattro stazioni di monitoraggio posizionate lungo una direzione a varie distanze reali e scalate. In tal modo i parametri e la sequenza di innesco delle cariche rimarranno costanti, per ciascuna volata, e la risultante legge di attenuazione mostrerà solo gli effetti della distanza, della direzione e/o della geologia. I geofoni dovrebbero essere allineati su una geologia costante così da meglio determinare la relazione di attenuazione oppure dovrebbero essere piazzati presso tutte le strutture critiche così da determinare gli effetti indotti dalla direzione e con una geologia variabile. L'allineamento ottimale dovrebbe essere lungo un percorso con spessore costante della formazione e non attraverso discontinuità geologiche tipo faglie. Se la geologia cambia sensibilmente allora diviene necessario, ma non per tutti gli spari, effettuare la misura della attenuazione su due o più allineamenti, lungo direzioni di continuità tettonica - geologica.

**Es. per ENERGIZZAZIONE DI ORIGINE MECCANICA: vibrodina per infissione di palancole**



## **DISTURBO PRODOTTO DALLE VIBRAZIONI**

### **Valori delle vibrazioni da rispettare - racc. UNI 9614**

Il corpo umano è un buon rivelatore di vibrazioni ma non un "misuratore" perciò è raro, e la pratica ingegneristica lo conferma, che vibrazioni tali da garantire la non insorgenza di danni nei manufatti siano accettate senza reclami e lamenti.

Generalmente, i reclami conseguenti a lavori che provocano vibrazioni, si fondano su motivi squisitamente psicologici. Il solo vibrare di vetri di una finestra, ritenuto normale ed accettato se causato dal vento o dal traffico, desta apprensione e certezza dell'esistenza di danno quando è collegato al brillamento di cariche esplosive, alla realizzazione di scavi con martelli demolitori o più in generale alla realizzazione di attività che sono al di fuori del campo d'esperienza del normale cittadino.

Non sono rari i casi in cui le persone residenti all'intorno delle aree ove sono svolti lavori che producono vibrazioni, si lanciano in liti temerarie con esposti o denunce, senza fornire alcuna evidenza tecnica del fenomeno di cui accusano disagio.

I valori cui fare riferimento per garantire livelli di tollerabilità delle vibrazioni quali quelle prodotte da attività di cava, possono essere presi a riferimento normativa UNI 9614 e riportati nella tabella che segue.

Valori limite di accettabilità delle vibrazioni per persone nelle costruzioni  
(accelerazioni complessive ponderate in frequenza)  
valgono per non più di tre ripetizioni giornaliere dell'evento oscillatorio

	<b>componente verticale</b> (z = passante per il coccige e la testa) <b>mm/s<sup>2</sup></b>	<b>componenti orizzontali</b> (x = passante per la schiena ed il petto, y = passante per le due spalle) <b>mm/s<sup>2</sup></b>
aree critiche*	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$
abitazioni (giorno)**	0,30	0,22
uffici e fabbriche	0,64	0,46

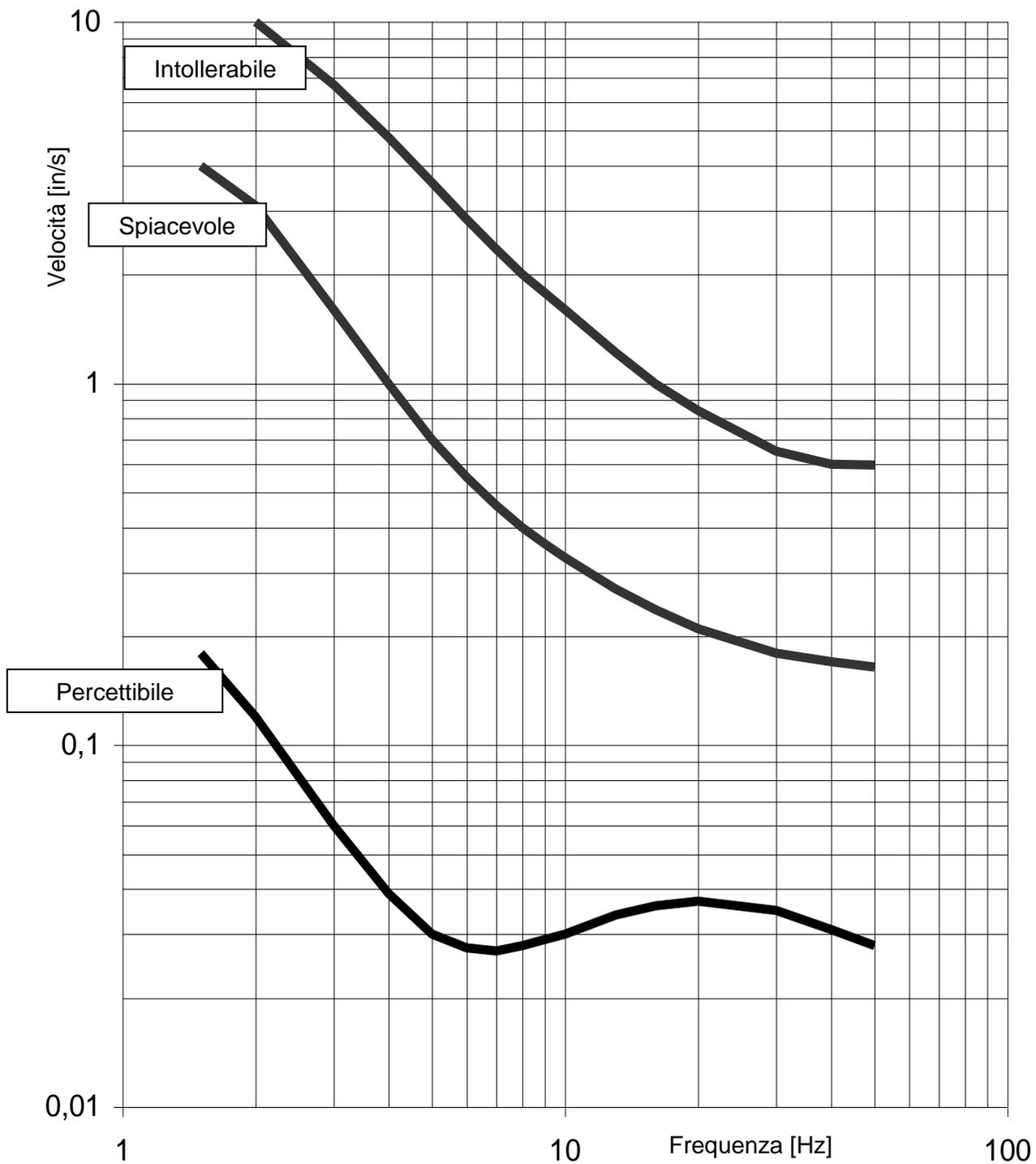
(\*) Camere operatorie ospedaliere, laboratori, locali nei quali si svolgono lavori manuali delicati, ecc..  
(\*\*) Dalle ore 7:00 alle ore 22:00.

(Per la trattazione della problematica del disturbo è indispensabile l'approfondimento della normativa di riferimento).

## DISTURBO PRODOTTO DALLE VIBRAZIONI

### Risposta soggettiva del corpo umano ad un moto vibratorio - modello

[Goldmann, 1948]

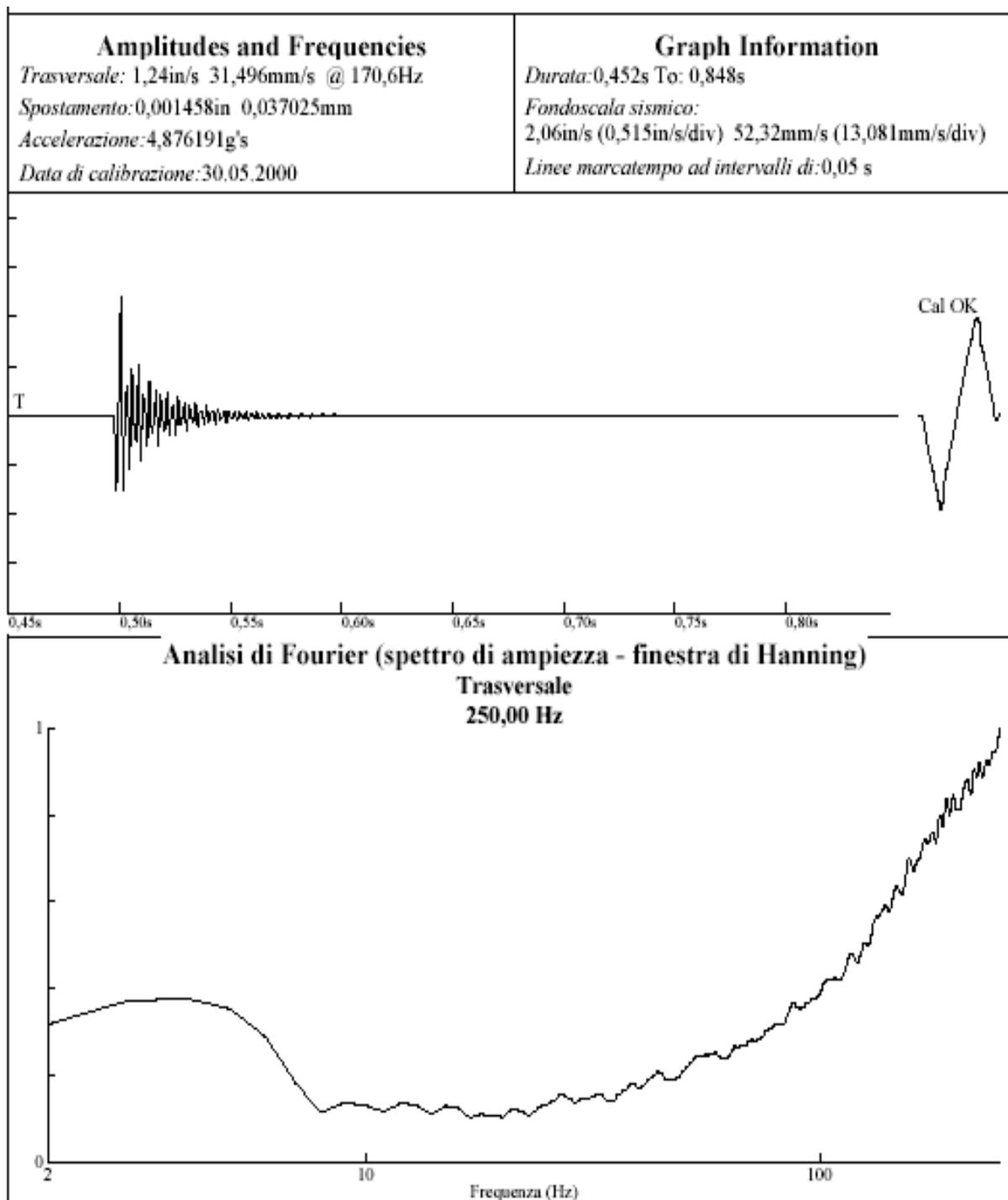




## Grafico di EVENTI SISMICI

### Caratterizzazione punto di misura 1 - su piastra ammortata all'ammasso roccioso

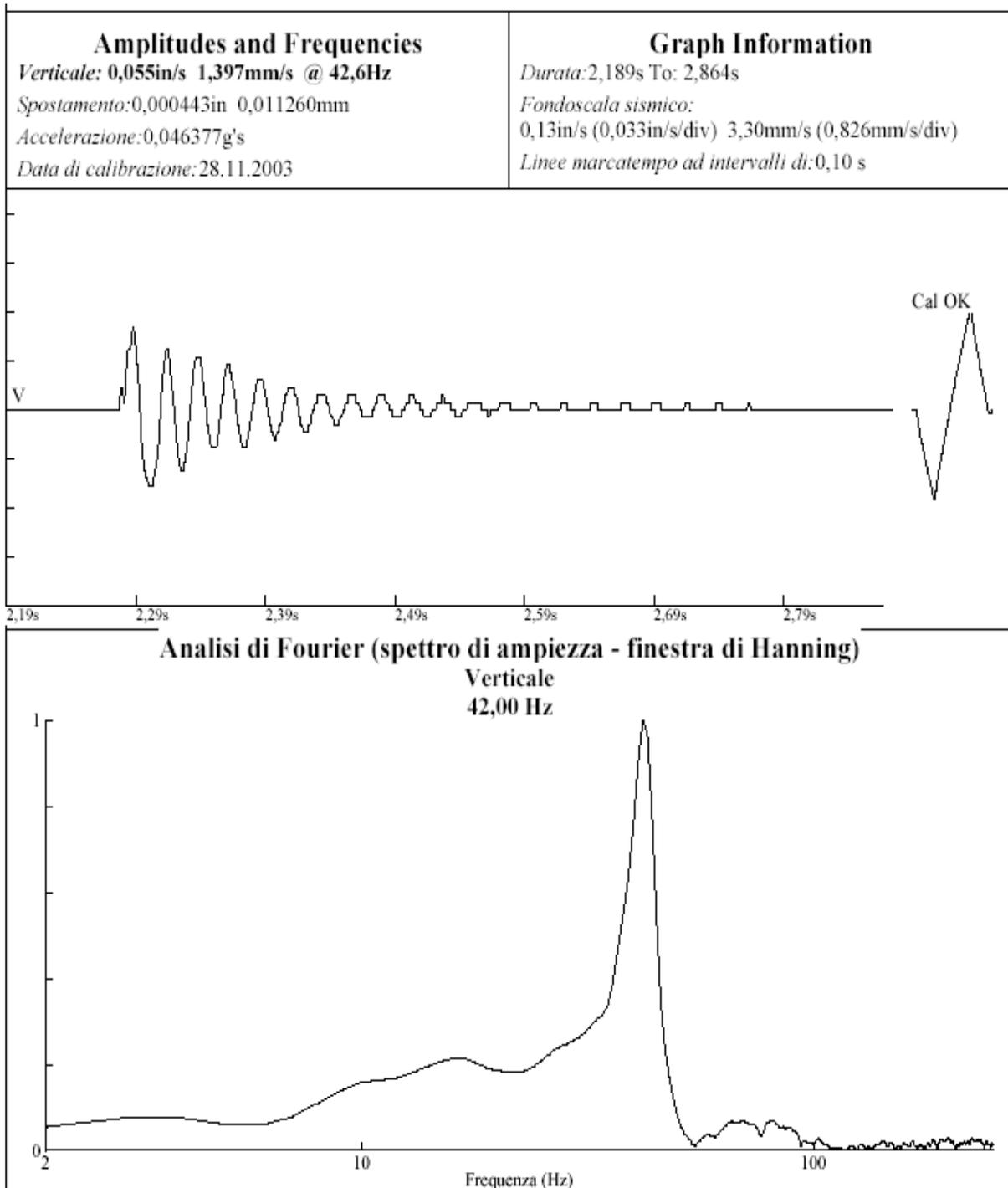
Il sistema di misura è idoneo in direzione trasversale, perché la sua frequenza caratteristica è molto maggiore di quella dell'evento sismico da misurare (intorno ai 50 Hz).



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Caratterizzazione punto di misura 2 - su elemento strutturale piano

Non idoneo in direzione trasversale perché di frequenza confrontabile con quella dell'evento sismico da misurare (intorno ai 50 Hz).



---

## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Demolizione 1 - abbattimento di sili con struttura alveolare in c.a. con pareti sottili – cariche in acqua.

Geofono ammorsato alla struttura, misura in un manufatto residenziale a 30 m di distanza.

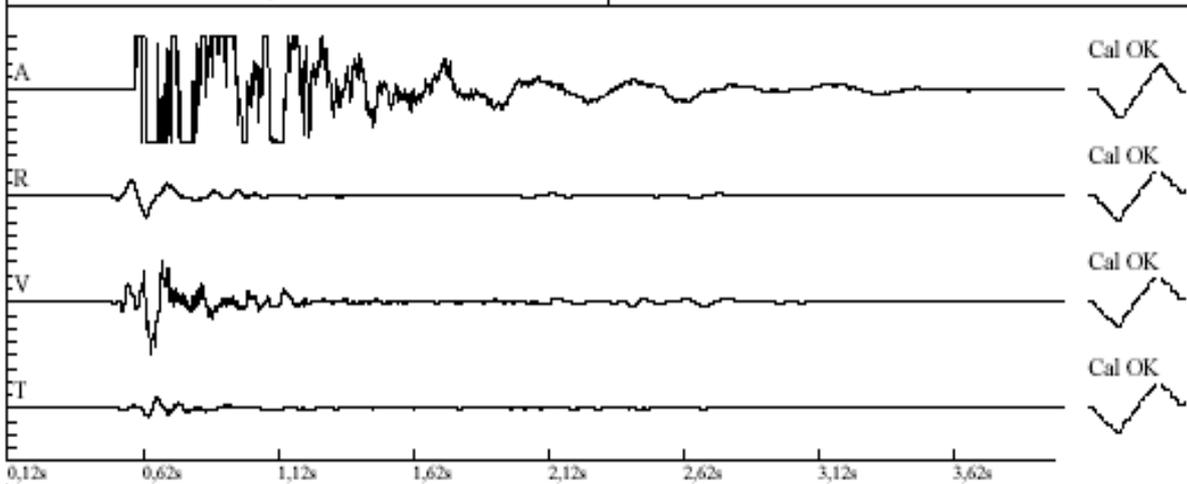


### Amplitudes and Frequencies

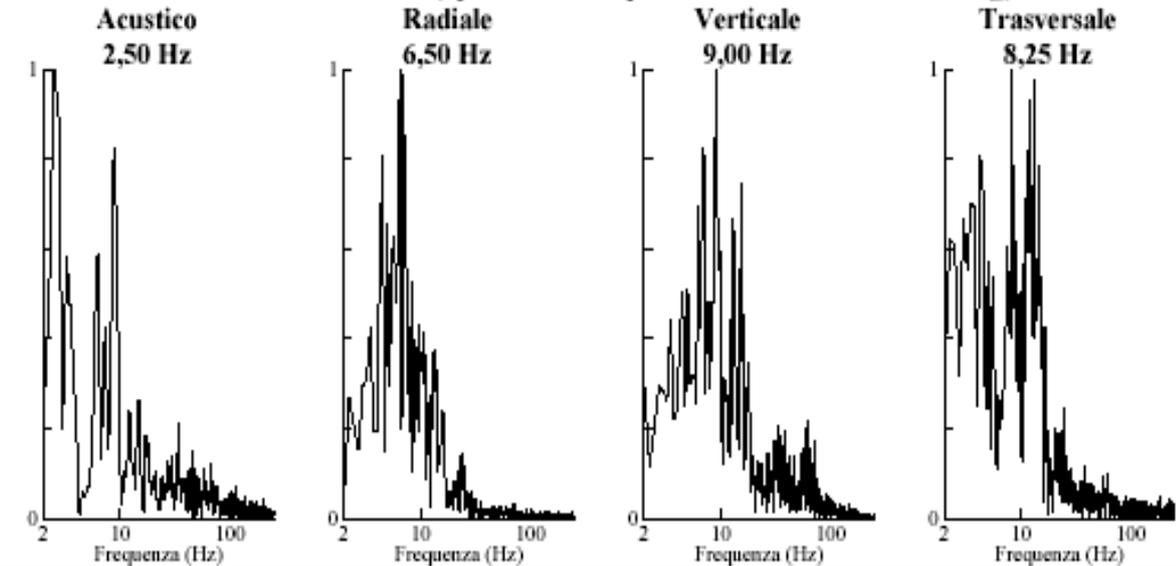
*Acustico:* 142 dB @ 170,6 Hz  
(2,56Mb 0,0371psi 0,2559kPa)  
*Radiale:* 0,48in/s 12,192mm/s @ 7,0Hz  
*Verticale:* 1,16in/s 29,464mm/s @ 9,6Hz  
*Trasversale:* 0,22in/s 5,588mm/s @ 13,1Hz  
*Spostamento:* 0,020904in 0,530951mm  
*Accelerazione:* 0,516770g's

### Graph Information

*Durata:* 0,121s To: 3,998s  
*Fondoscala acustico:*  
142dB 2,52Mb (0,629Mb/div)  
*Fondoscala sismico:*  
1,16in/s (0,290in/s/div) 29,46mm/s (7,366mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 0,50 s



### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



---

## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Demolizione 2 - impatto al suolo di 3 fabbricati industriali abbattuti nella stessa volta.

Misura a 50 metri di distanza dal primo (alto 25 metri), 35 metri dal secondo (alto 60 metri) e 45 metri dal terzo (alto 16 metri).

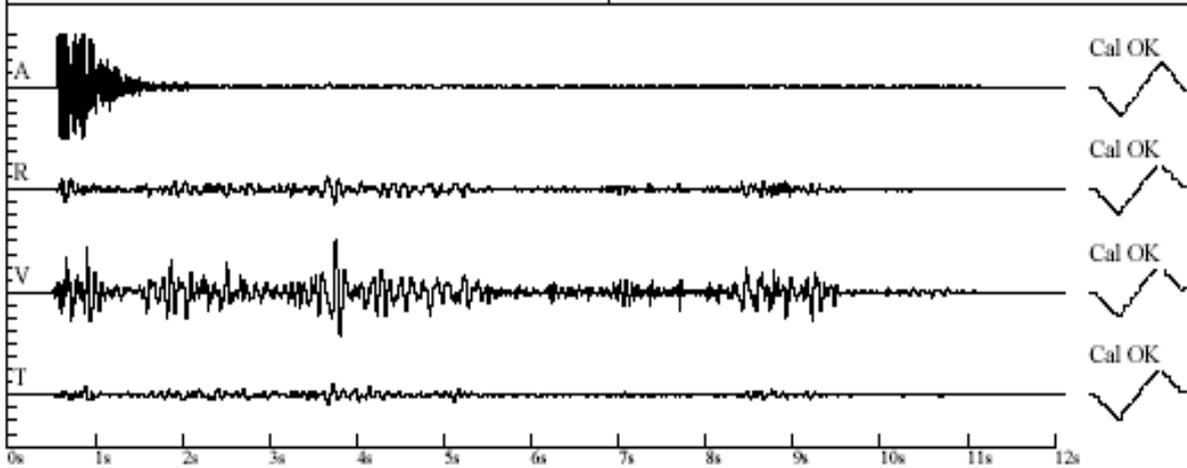


### Amplitudes and Frequencies

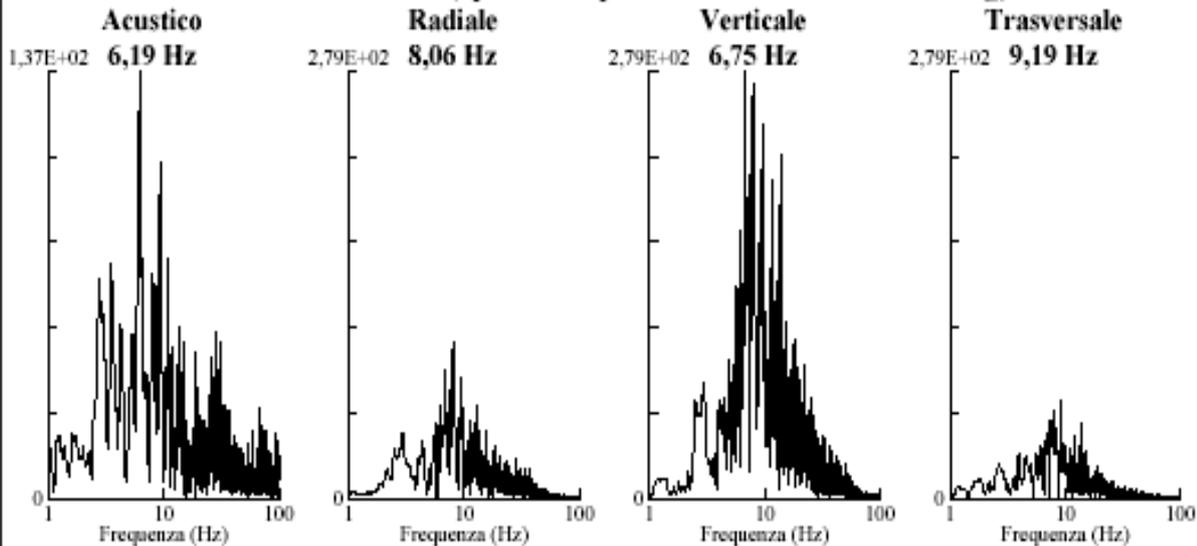
*Acustico:* 148 dB @ 46,5 Hz  
(5,12Mb 0,0742psi 0,5119kPa)  
*Radiale:* 0,135in/s 3,429mm/s @ 9,1Hz  
*Verticale:* 0,55in/s 13,97mm/s @ 9,8Hz  
*Trasversale:* 0,09in/s 2,286mm/s @ 8,1Hz  
*Spostamento:* 0,008221in 0,208810mm  
*Accelerazione:* 0,125880g's  
*Data di calibrazione:* 16.04.1998

### Graph Information

*Durata:* 0,000s To: 12,017s  
*Fondoscala acustico:*  
148dB 5,02Mb (1,256Mb/div)  
*Fondoscala sismico:*  
0,46in/s (0,115in/s/div) 11,68mm/s (2,921mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 1,00 s



### Analisi di Fourier (spettro di potenza - finestra di Hanning)



---

## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### **Demolizione 3 - abbattimento subacqueo di un muro in cls.**

Misura a 20 metri su di un molo. Sismicità indotta per l'onda sismica (a frequenza più alta) e per l'onda di sovrappressione in acqua (a frequenza più bassa, onda quasi sinusoidale).

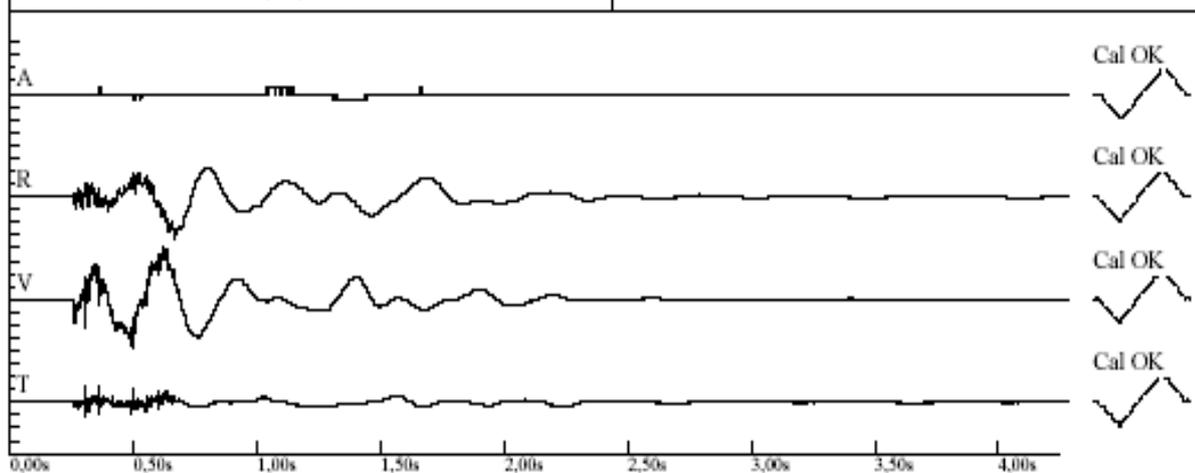


### Amplitudes and Frequencies

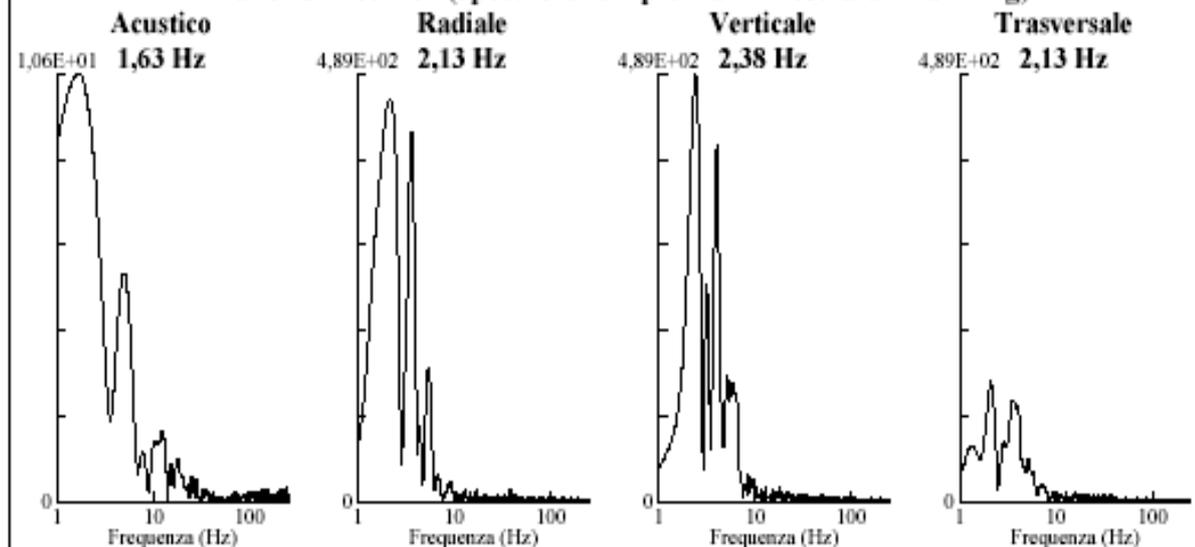
*Acustico:* 100 dB @ 0,0 Hz  
(0,02Mb 0,0003psi 0,0020kPa)  
*Radiale:* 0,50in/s 12,70mm/s @ 3,3Hz  
*Verticale:* **0,60in/s 15,24mm/s @ 3,7Hz**  
*Trasversale:* 0,20in/s 5,08mm/s @ 341,3Hz  
*Spostamento:* 0,025515in 0,648086mm  
*Accelerazione:* 1,537060g's  
*Data di calibrazione:* 08.12.2004

### Graph Information

*Durata:* 0,000s To: 4,250s  
*Fondoscala acustico:*  
120dB 0,20Mb (0,050Mb/div)  
*Fondoscala sismico:*  
0,60in/s (0,150in/s/div) 15,24mm/s (3,810mm/s/div)  
*Linee marcatempo ad intervalli di:* 0,50 s



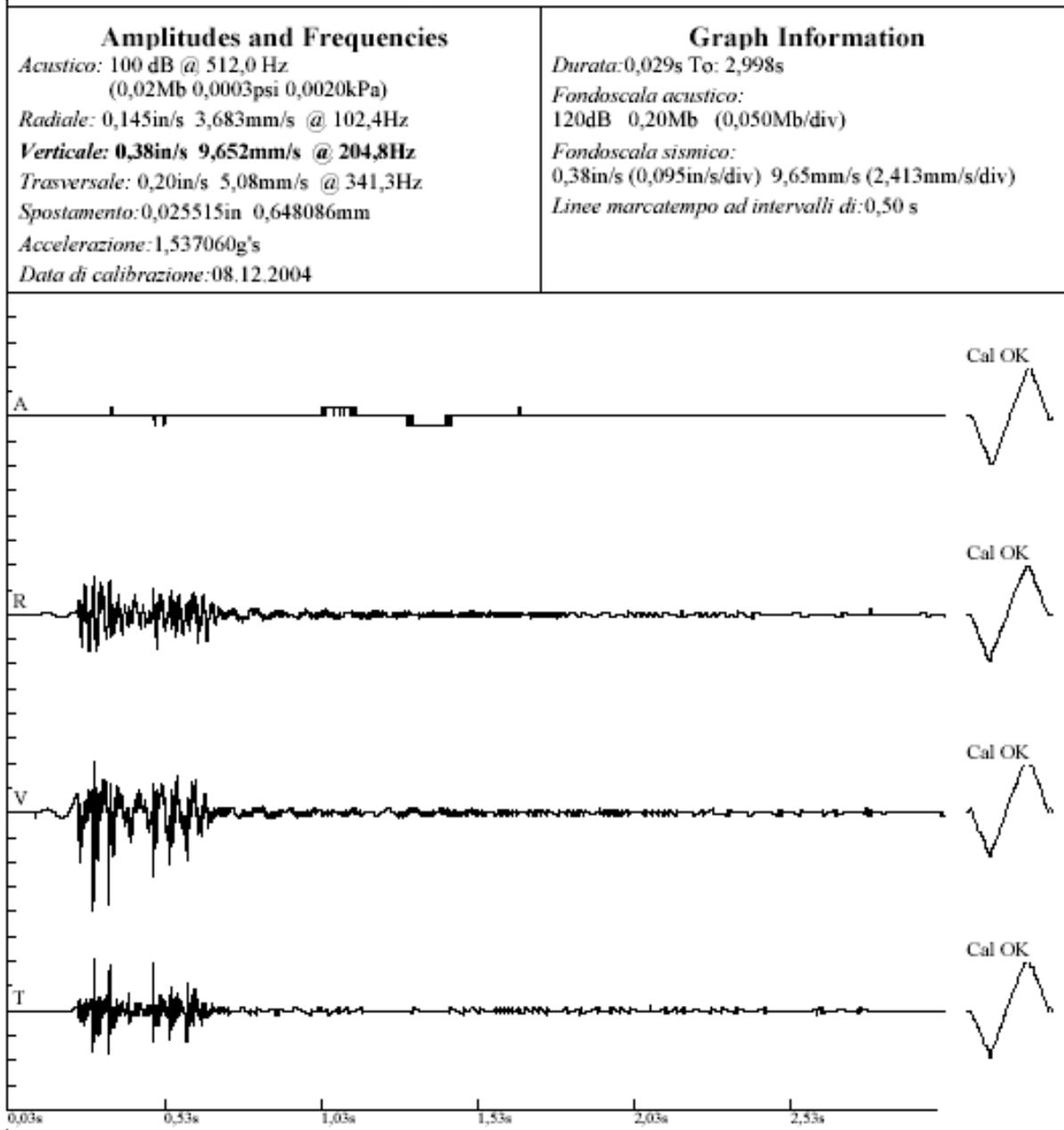
### Analisi di Fourier (spettro di ampiezza - finestra di Hanning)



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Demolizione 3 - abbattimento subacqueo di un muro in cls - componente sismica propagatasi nel terreno

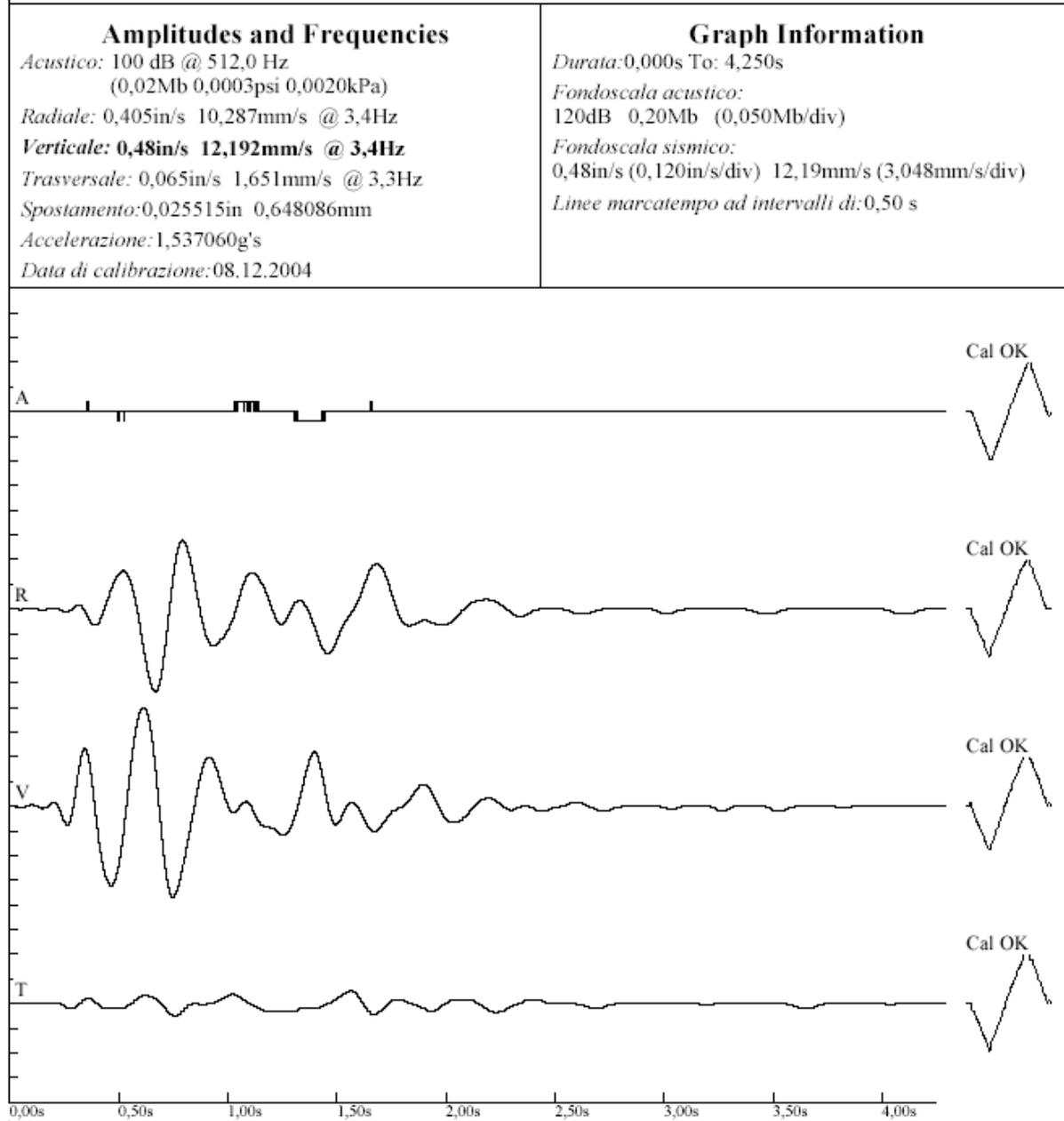
Filtrato: al di sotto delle frequenze sismiche 10 hertz.



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

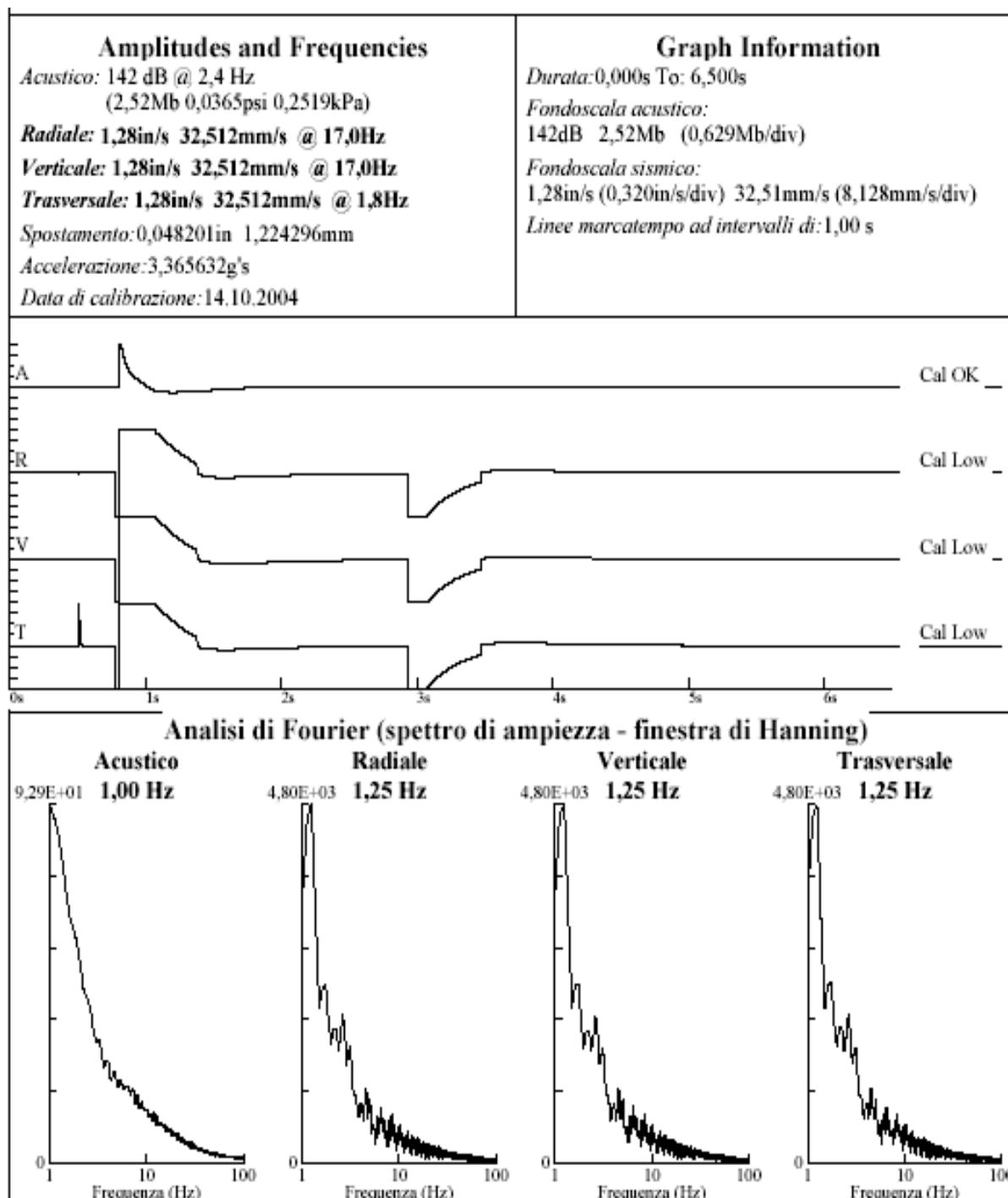
### Demolizione 3 - abbattimento subacqueo di un muro in cls - componente sismica propagatasi in acqua

Filtrato: al di sopra delle frequenze sismiche 10 hertz.



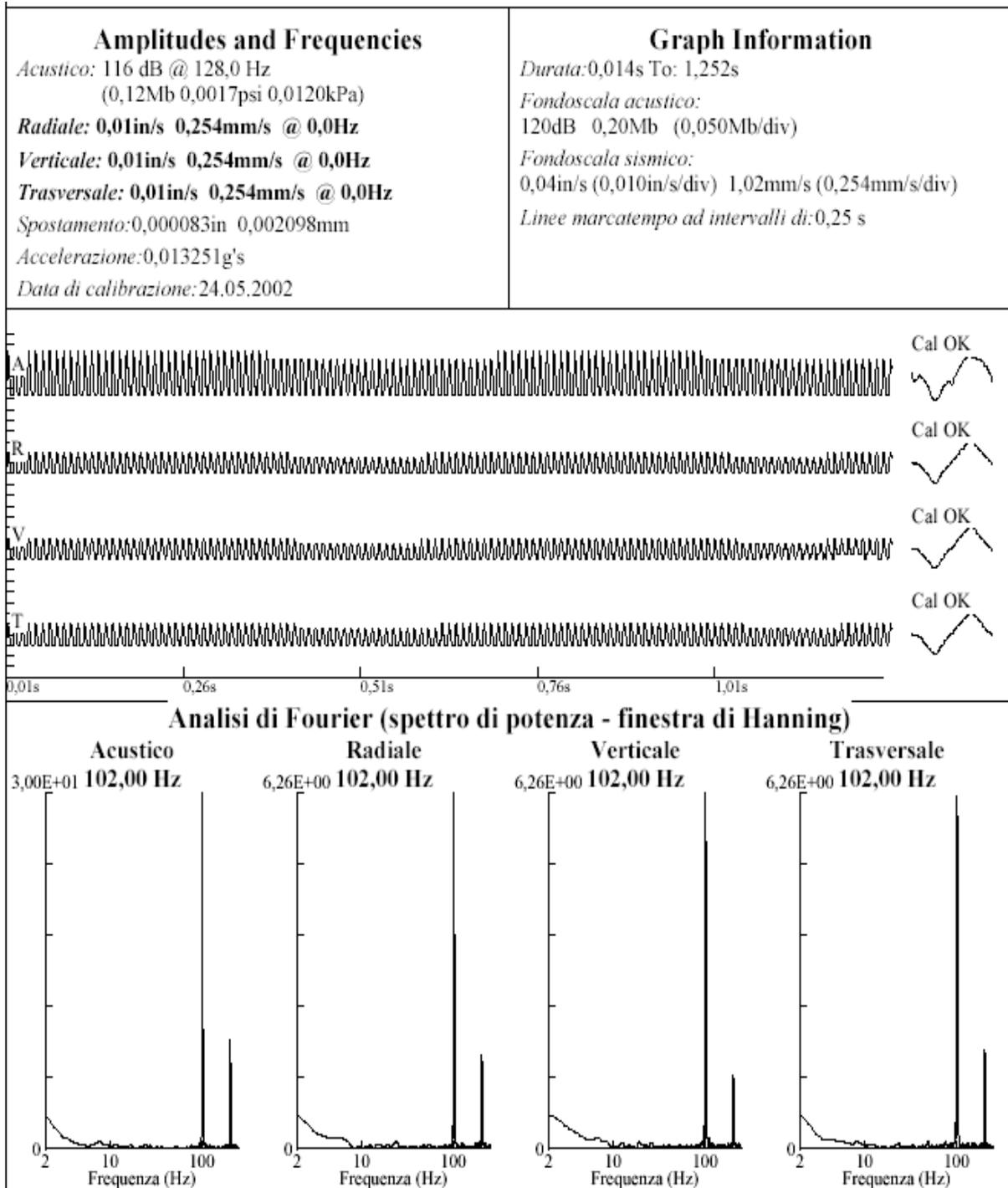
## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Disturbo elettrico 1



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Disturbo elettrico 2

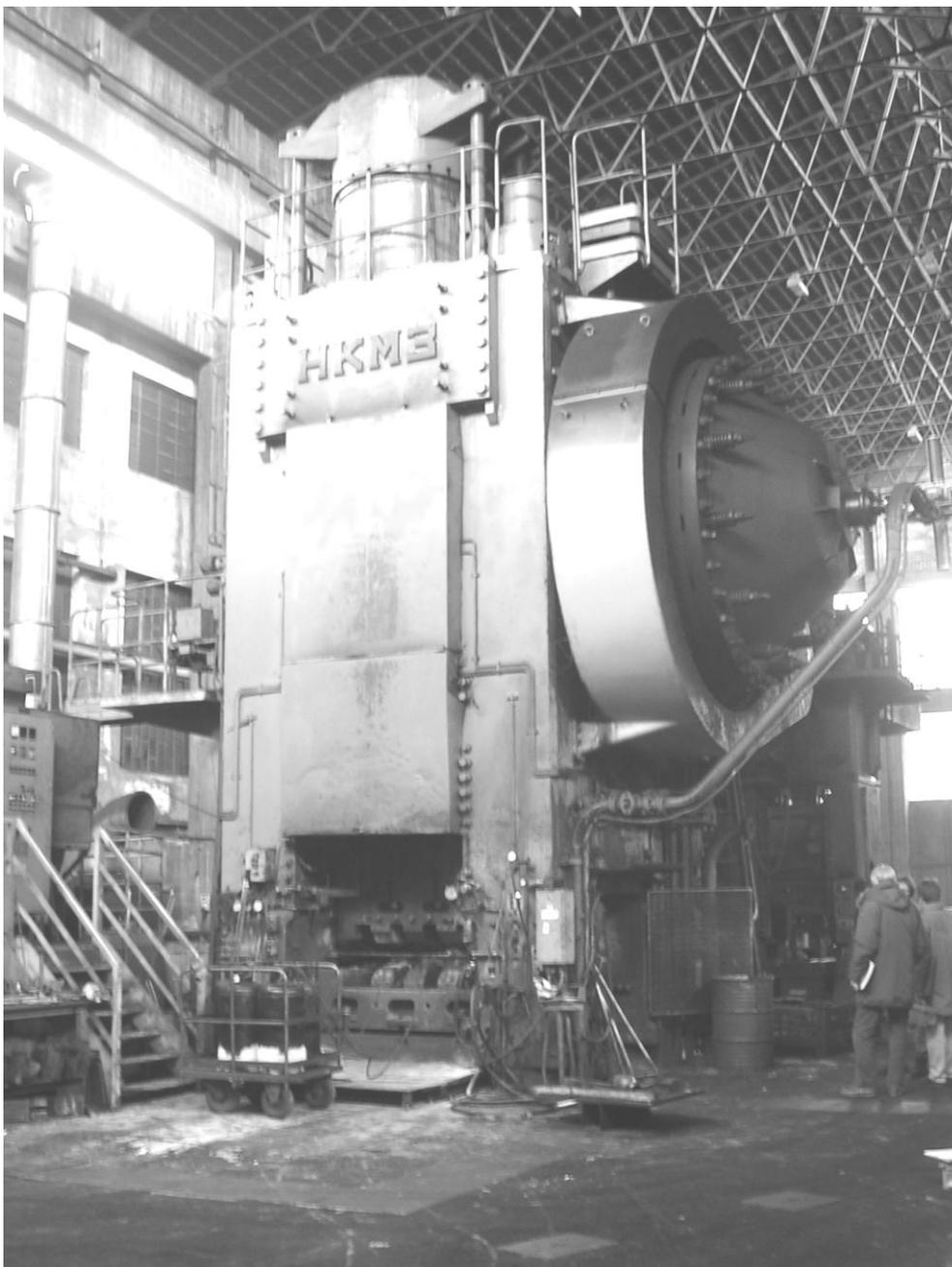


---

## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Maglio per stampaggio pezzi meccanici

Misura effettuata in mezzeria del solaio di un manufatto residenziale a 70 metri. Nessuna onda acustica è stata registrata.

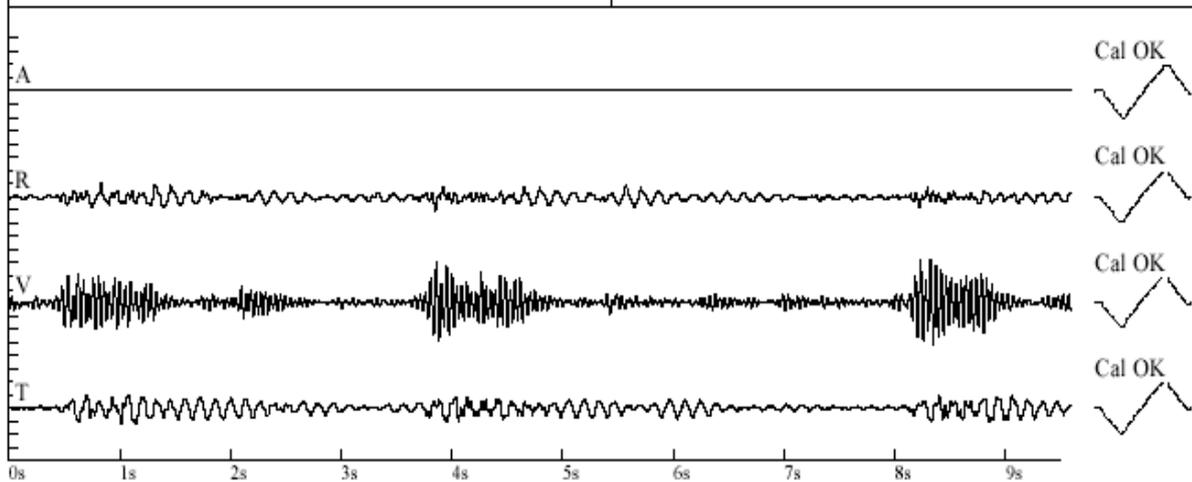


### Amplitudes and Frequencies

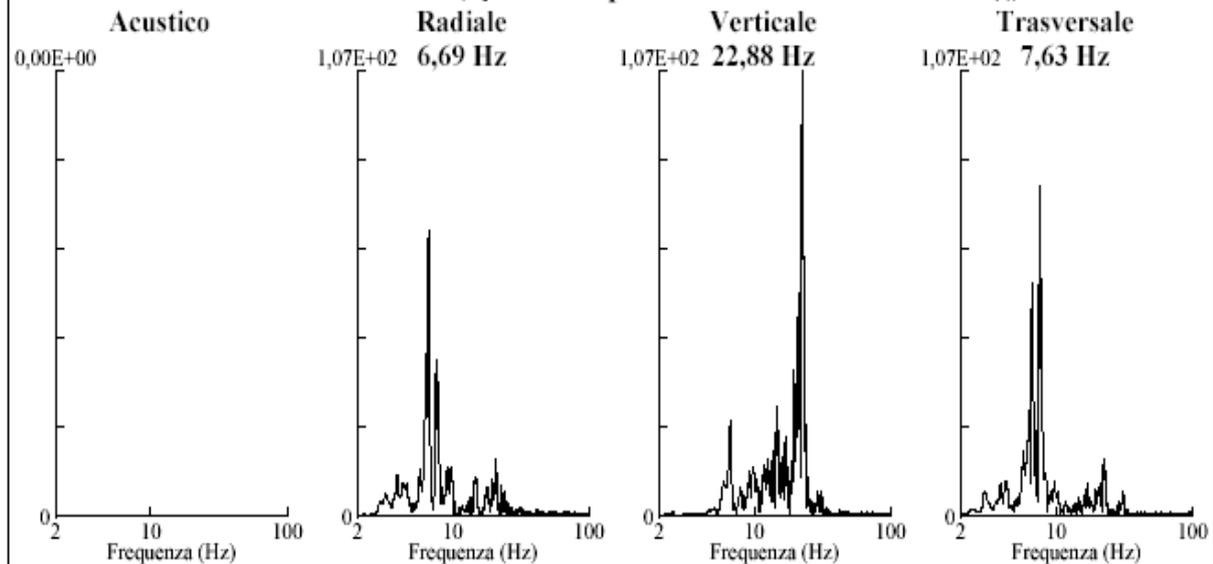
Acustico: <100 dB  
Radiale: 0,0088in/s 0,2223mm/s @ 13,4Hz  
Verticale: **0,0238in/s 0,6033mm/s @ 19,6Hz**  
Trasversale: 0,0088in/s 0,2223mm/s @ 16,0Hz  
Spostamento: 0,000222in 0,005650mm  
Accelerazione: 0,008282g's  
Data di calibrazione: 20.10.2004

### Graph Information

Durata: 0,000s To: 9,500s  
Fondoscala acustico: 120dB 0,20Mb (0,050Mb/div)  
Fondoscala sismico: 0,03in/s (0,008in/s/div) 0,76mm/s (0,191mm/s/div)  
Linee marcatempo ad intervalli di: 1,00 s



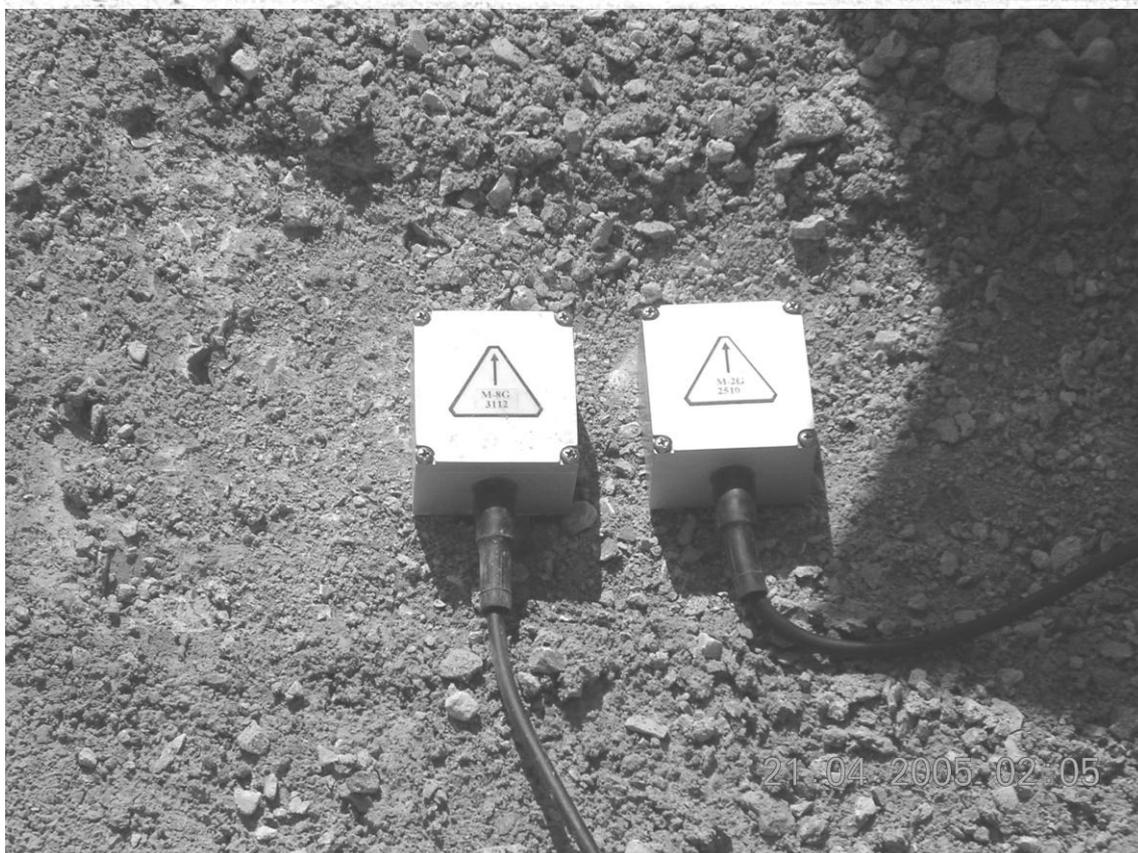
### Analisi di Fourier (spettro di potenza - finestra di Hanning)

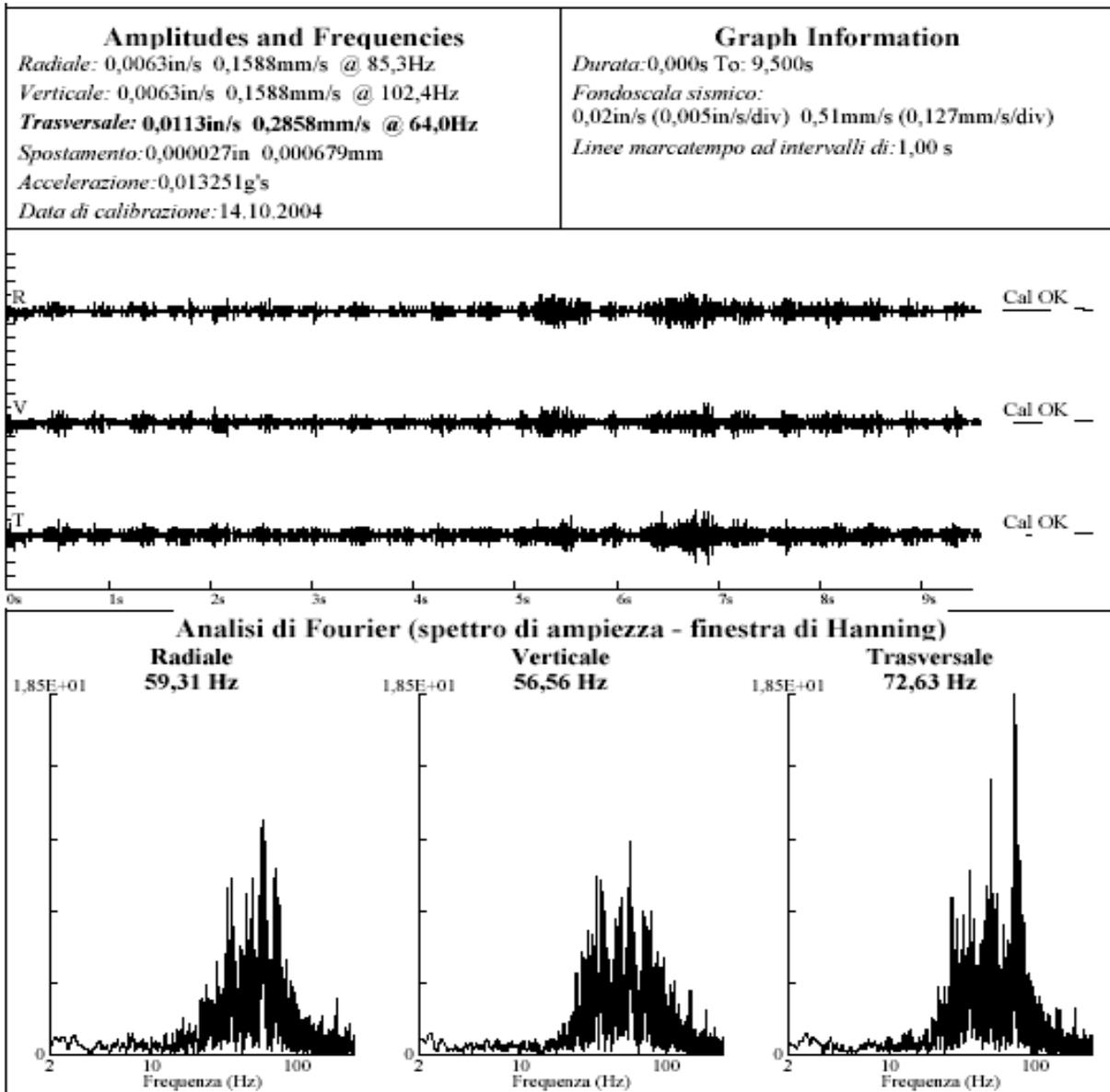


## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

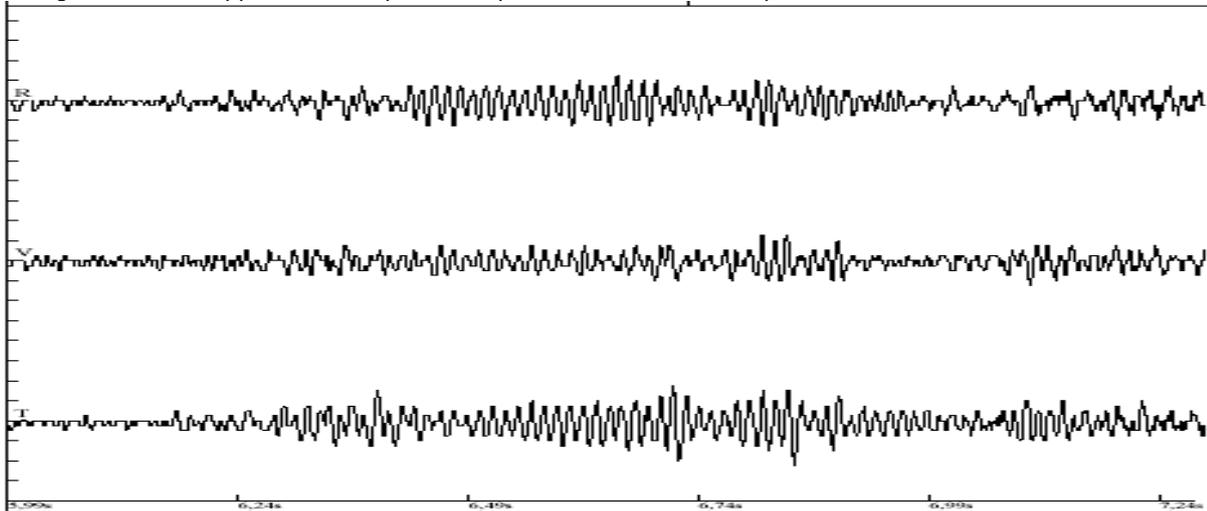
### Perforazione con raise borer

Misure effettuate a circa 10 metri con doppia stazione di monitoraggio di cui una impostata in modalità "grafico a barre", l'altra in modalità "forma d'onda".





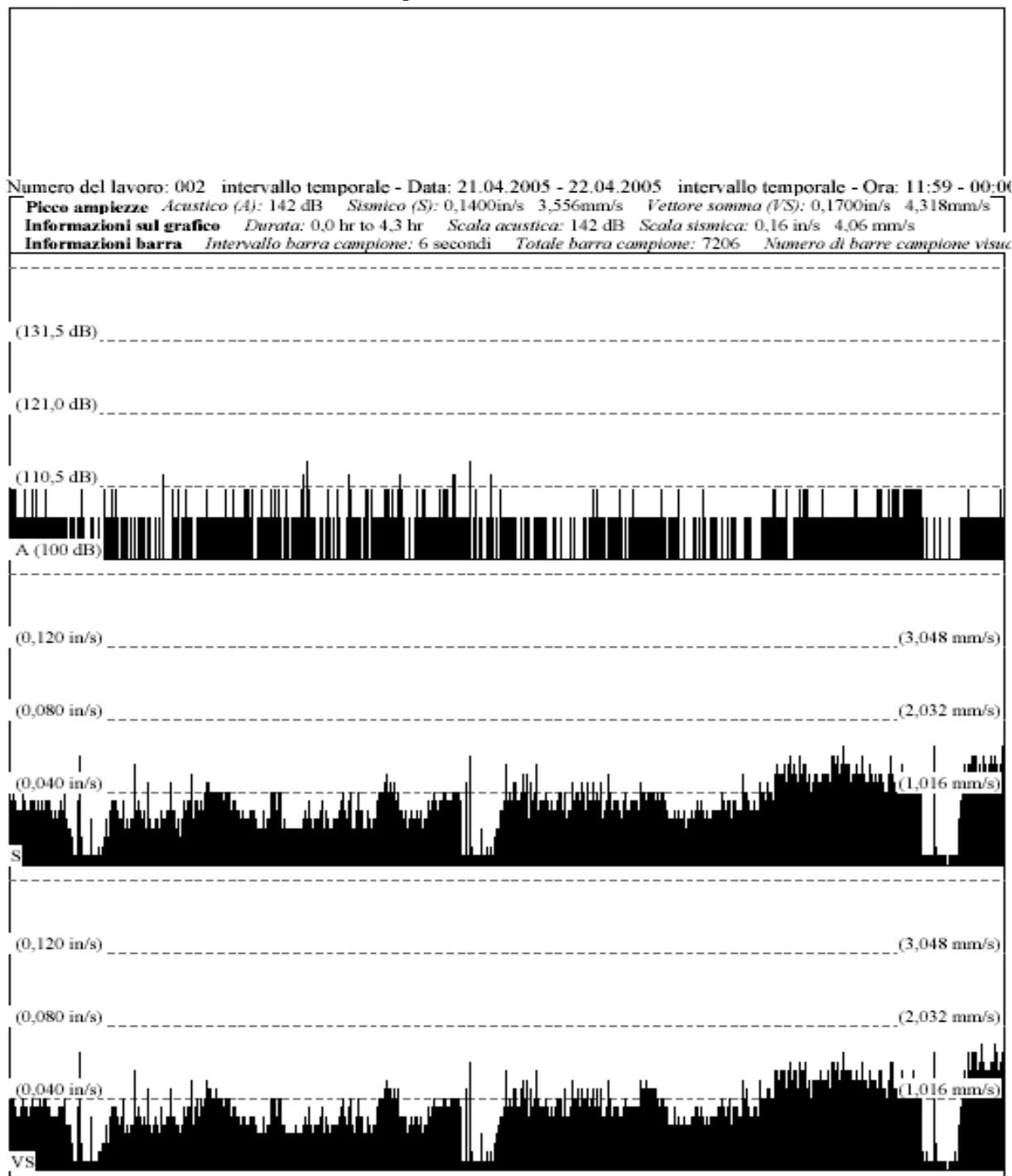
Dettaglio dell'onda rappresentata sopra con espansione della scala temporale.



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Perforazione con raise borer

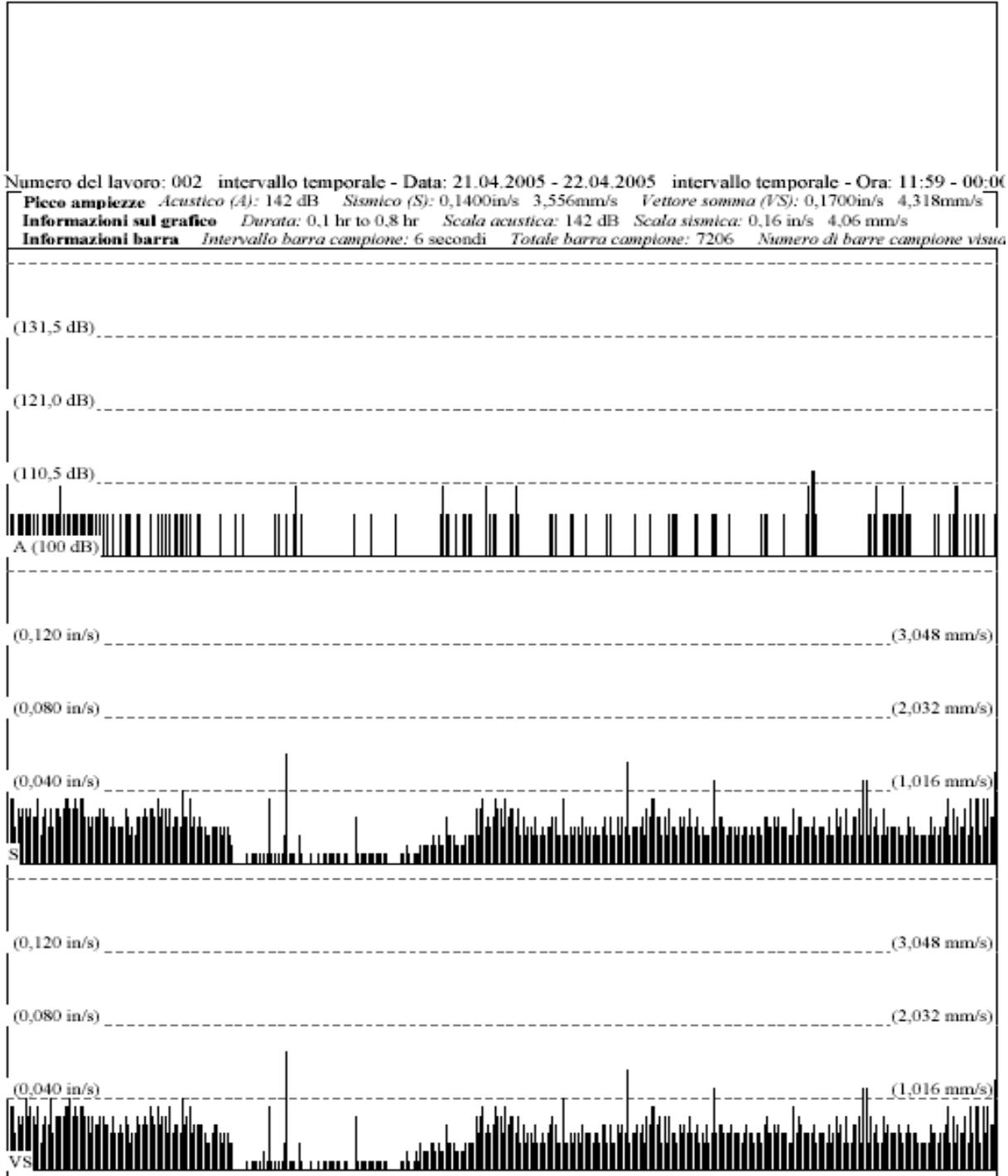
Misure effettuate in continuo con la modalità grafico a barre, in un arco di 4,3 ore.



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Perforazione con raise borer

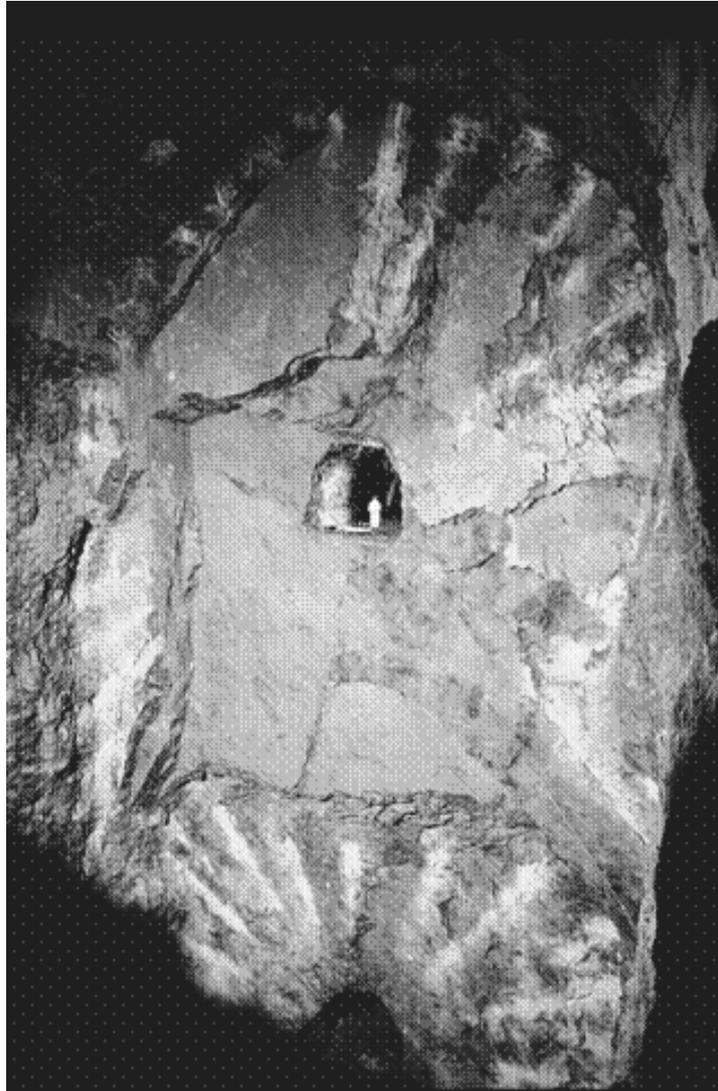
Misure effettuate in continuo (modalità grafico a barre) - dettaglio della rappresentazione sopra riportata



---

**GRAFICO DI EVENTI SISMICI**

***Sublevel stoping*** - abbattimento in sotterraneo con perforazione a raggiera – misura con geofono fondo foro (DTH).

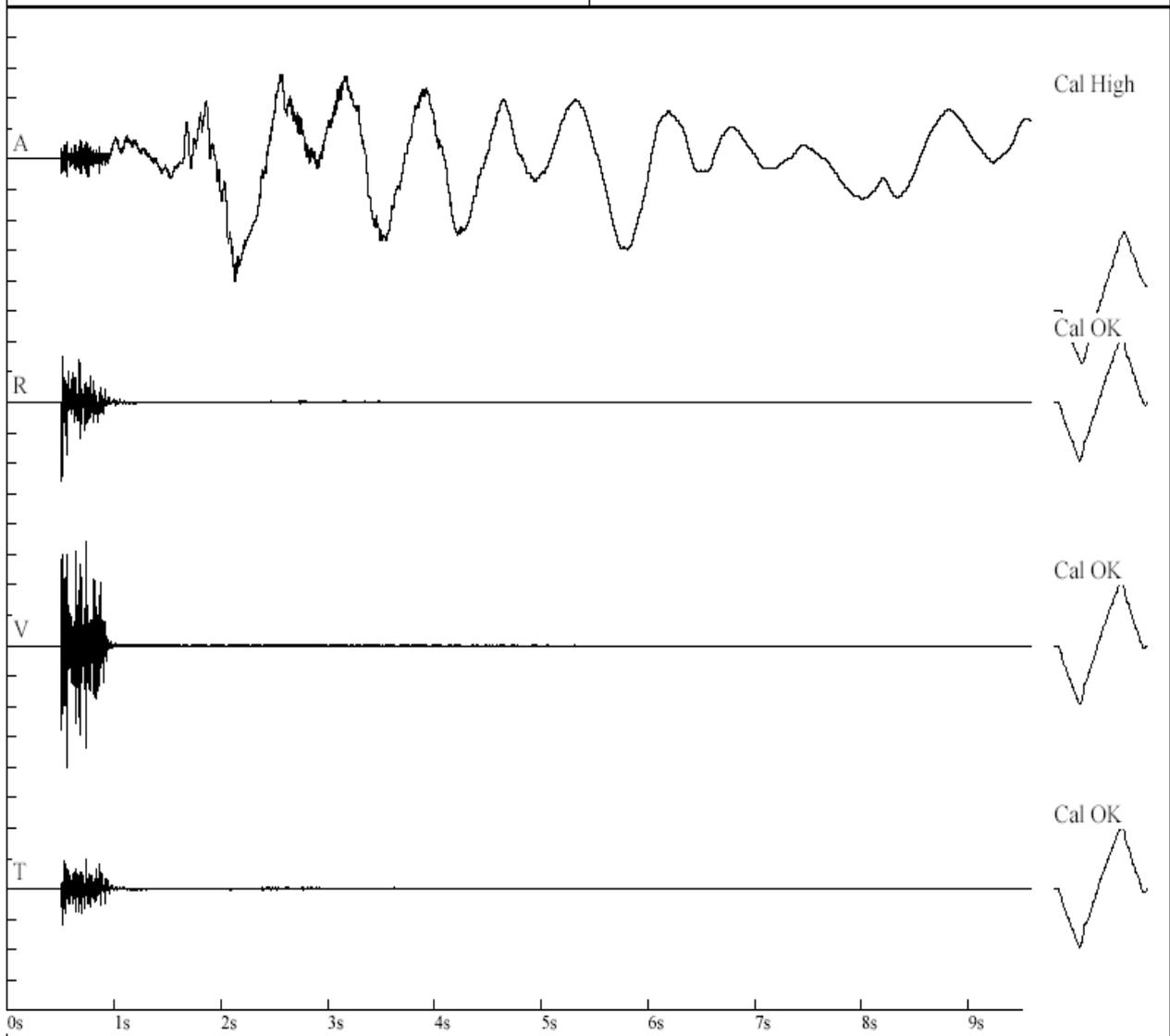


### Amplitudes and Frequencies

Acoustic: 146 dB @ 1,1 Hz  
(4,00Mb 0,0580psi 0,3999kPa)  
Radial: 1,24in/s 31,496mm/s @ 56,8Hz  
**Vertical: 1,92in/s 48,768mm/s @ 128,0Hz**  
Transverse: 0,57in/s 14,478mm/s @ 85,3Hz  
Displacement: 0,004093in 0,103950mm  
Acceleration: 3,604141g's  
Calibration Date: 30.05.2000

### Graph Information

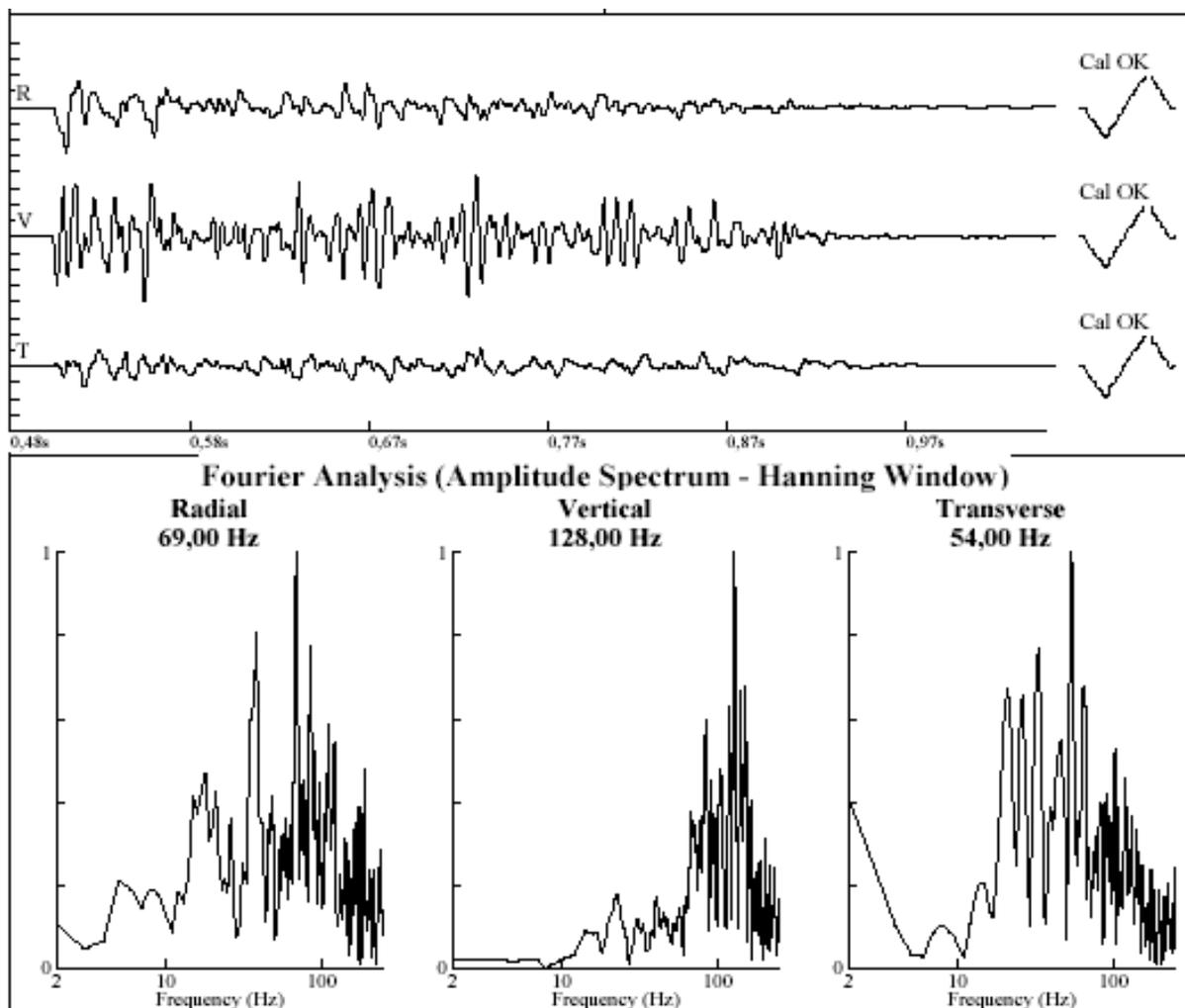
Duration: 0,000s To: 9,500s  
Acoustic Scale:  
146dB 3,99Mb (0,998Mb/div)  
Seismic Scale:  
1,92in/s (0,480in/s/div) 48,77mm/s (12,192mm/s/div)  
Time Line Intervals at: 1,00 s



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Sublevel stopping - abbattimento in sotterrano con perforazione a raggiera - misura con geofono fondo foro (DTH)

Dettaglio dell'onda rappresentata sopra con espansione della scala temporale.



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Sublevel stoping - abbattimento in sotterraneo con perforazione a raggiera – misura con geofono fondo foro (DTH)

Dettaglio degli spostamenti e dell'accelerazione associati.

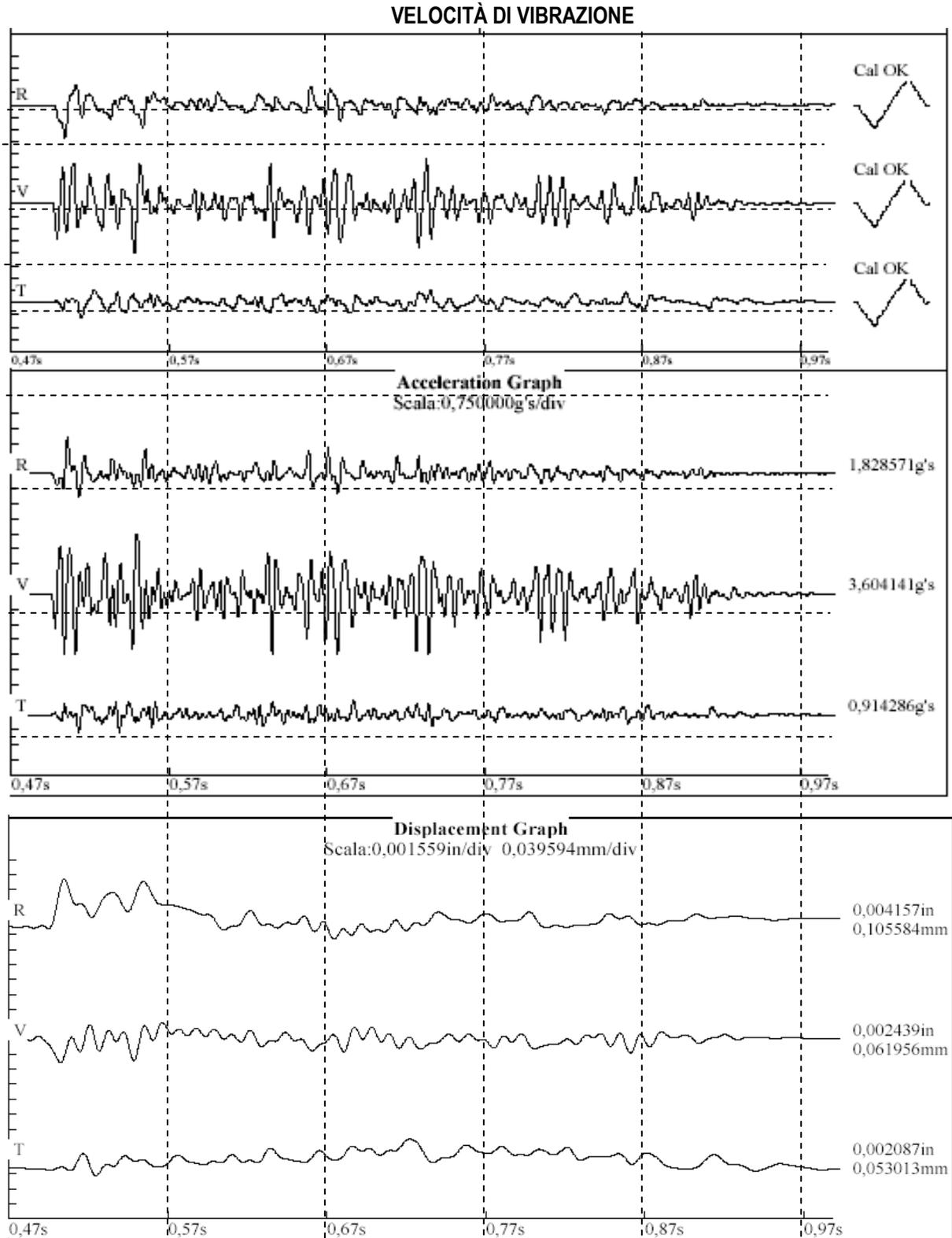


GRAFICO DI EVENTI SISMICI

**Taglio con miccia detonante 1**

Misura effettuata a distanza di 150 m dal taglio.

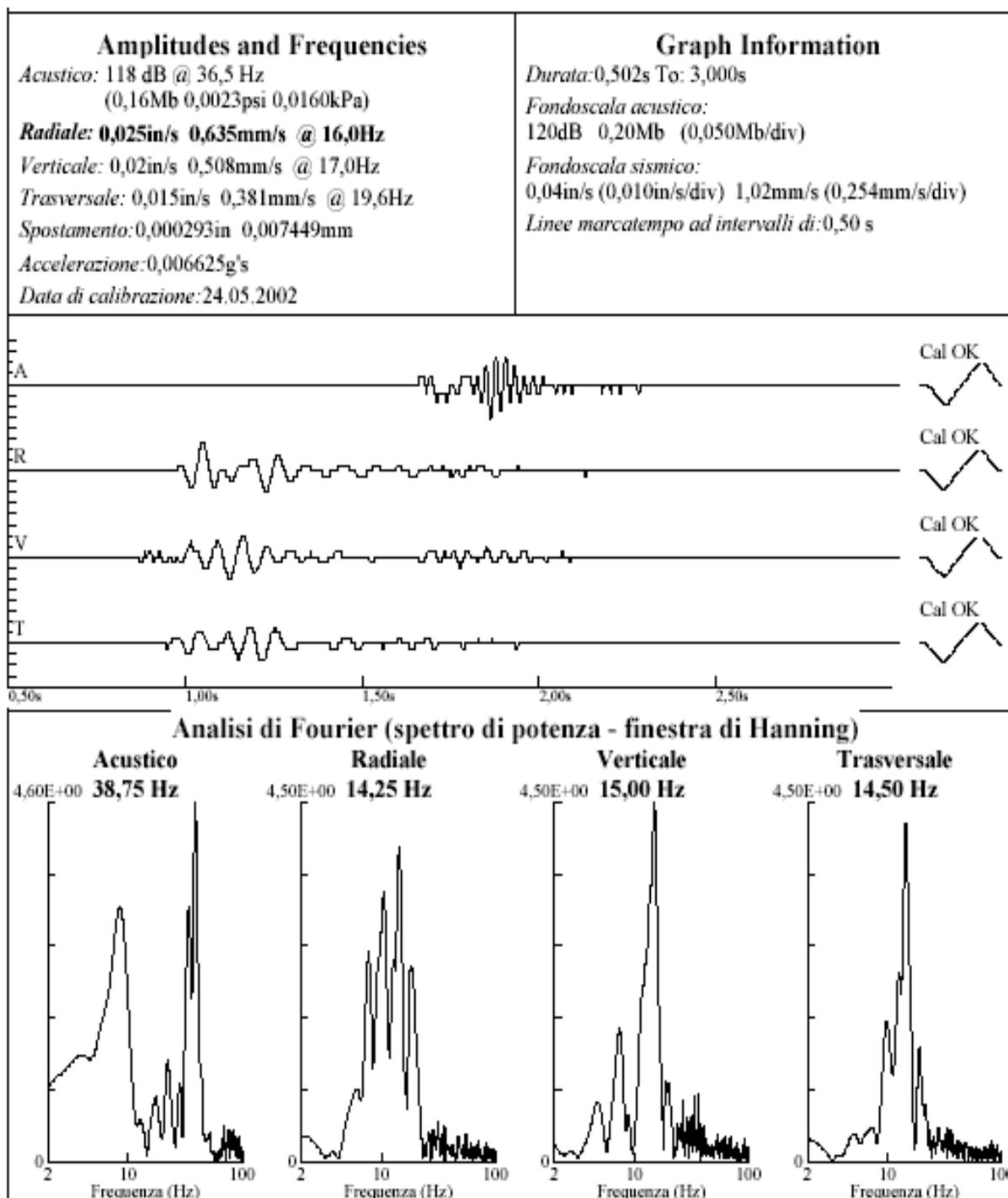
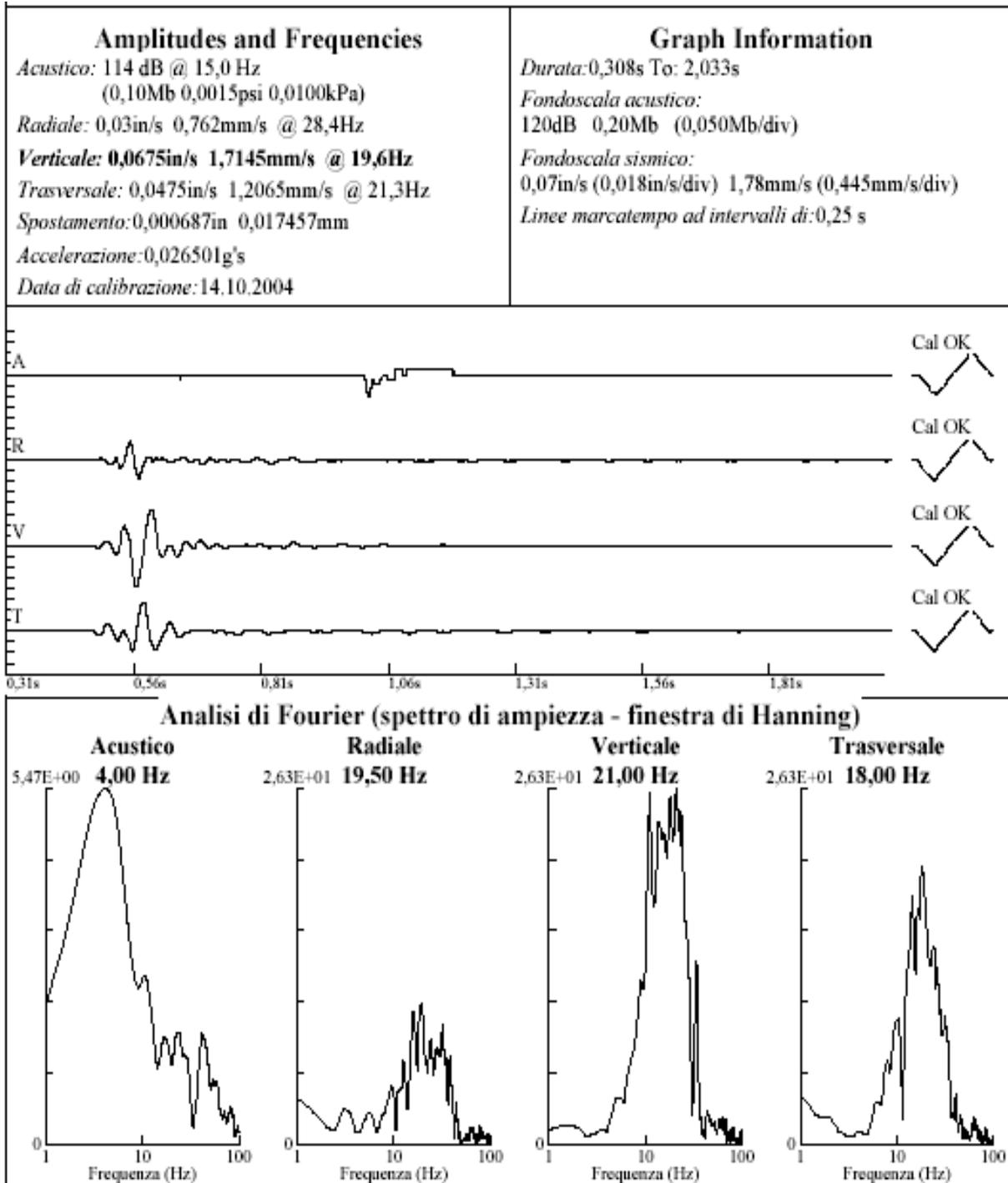


GRAFICO DI EVENTI SISMICI

**Taglio con miccia detonante 2**

Misura effettuata a distanza di 120 m dal taglio.



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Terremoto 1

Prevalenza delle componenti orizzontali su quella verticale, come caratteristico del moto ellittico retrogrado delle onde superficiali di Rayleigh (terremoto con epicentro lontano).

Nessuna registrazione dell'onda di sovrappressione aerea. Il terremoto non ha prodotto il "rantolo" per la vibrazione di lastre o oggetti snelli nel locale.

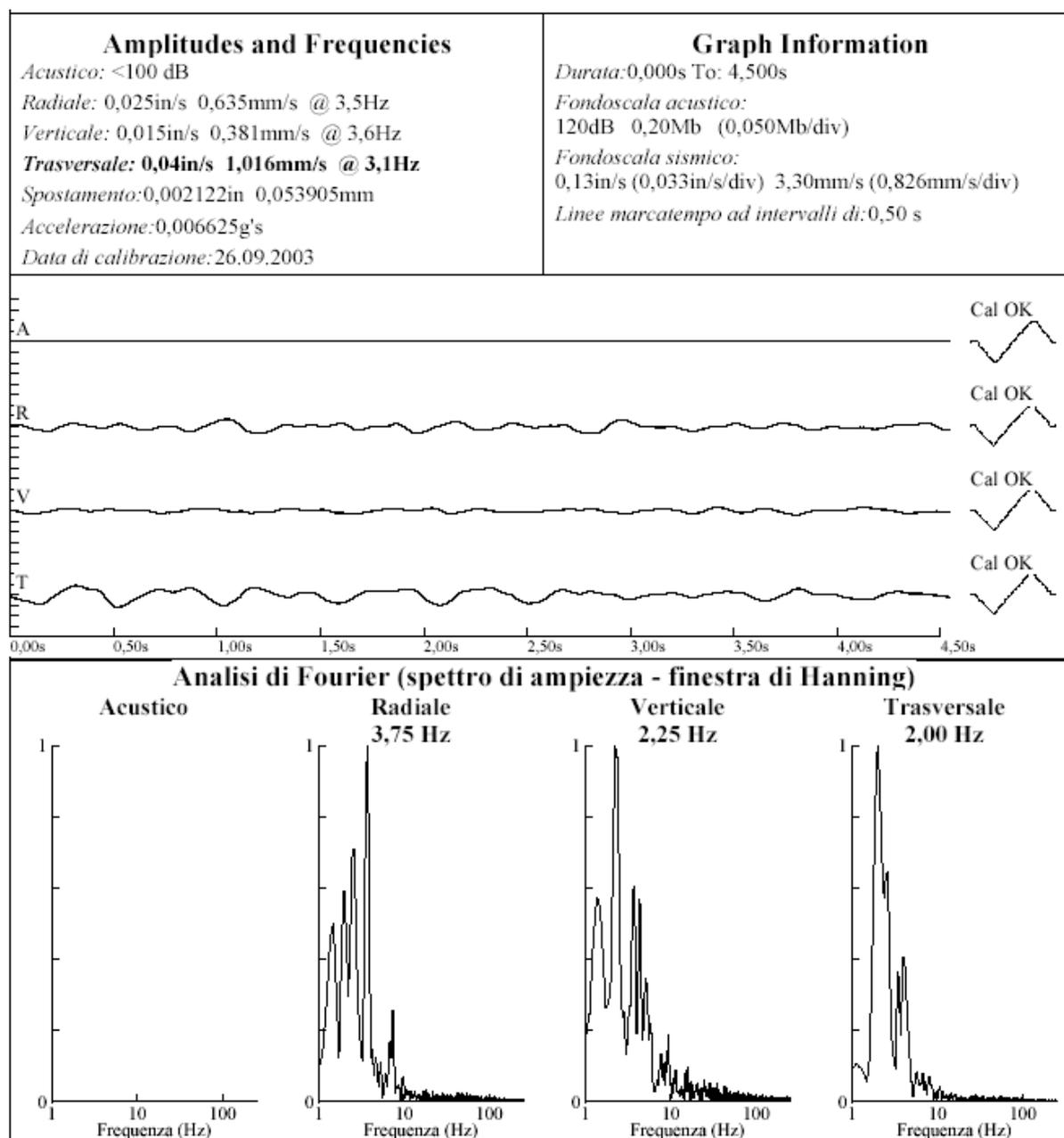
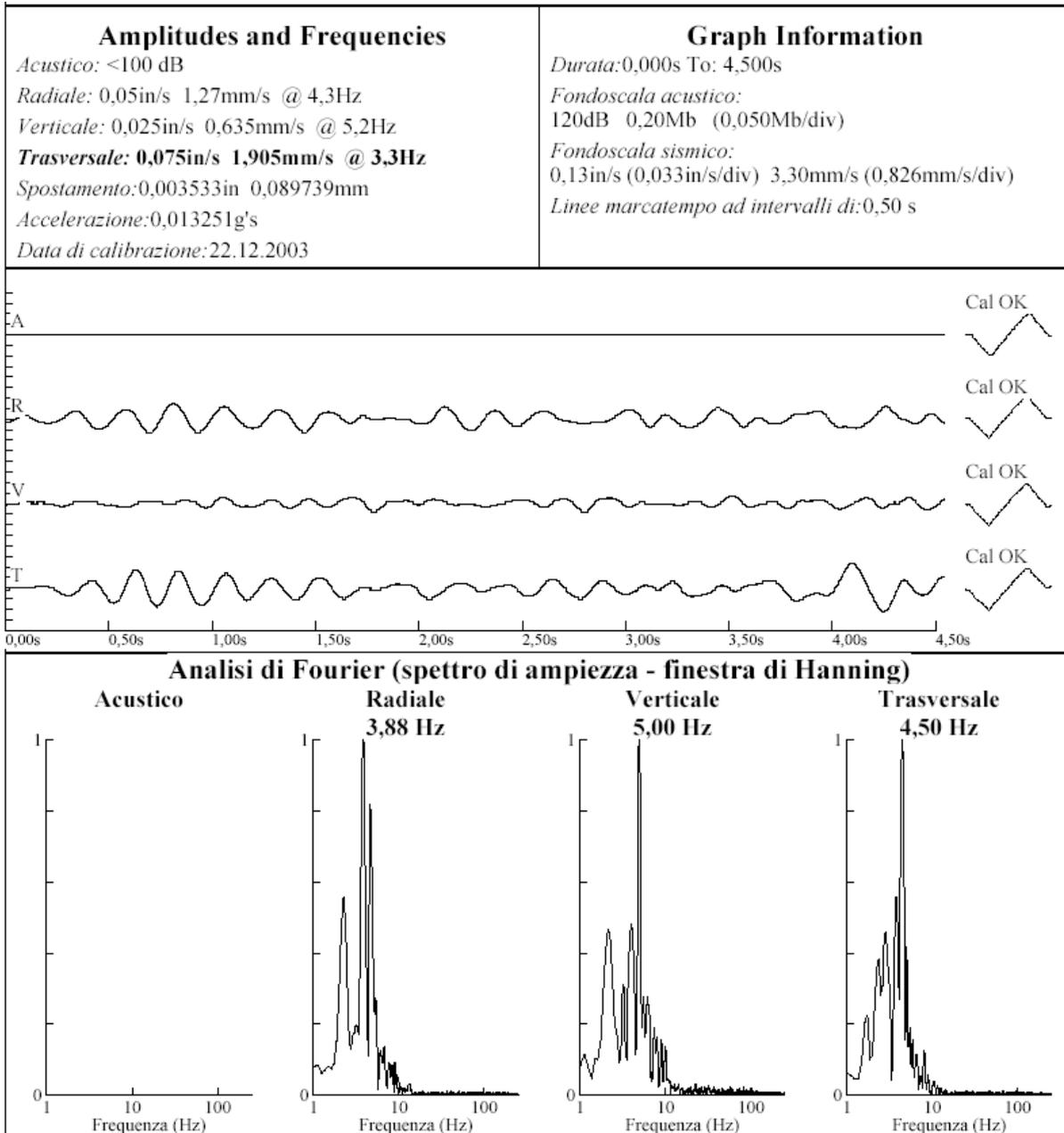


GRAFICO DI EVENTI SISMICI

**Terremoto 2**



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Traffico veicolare

Misura effettuata su muro di fregio prospiciente, alla terza elevazione da p.c..

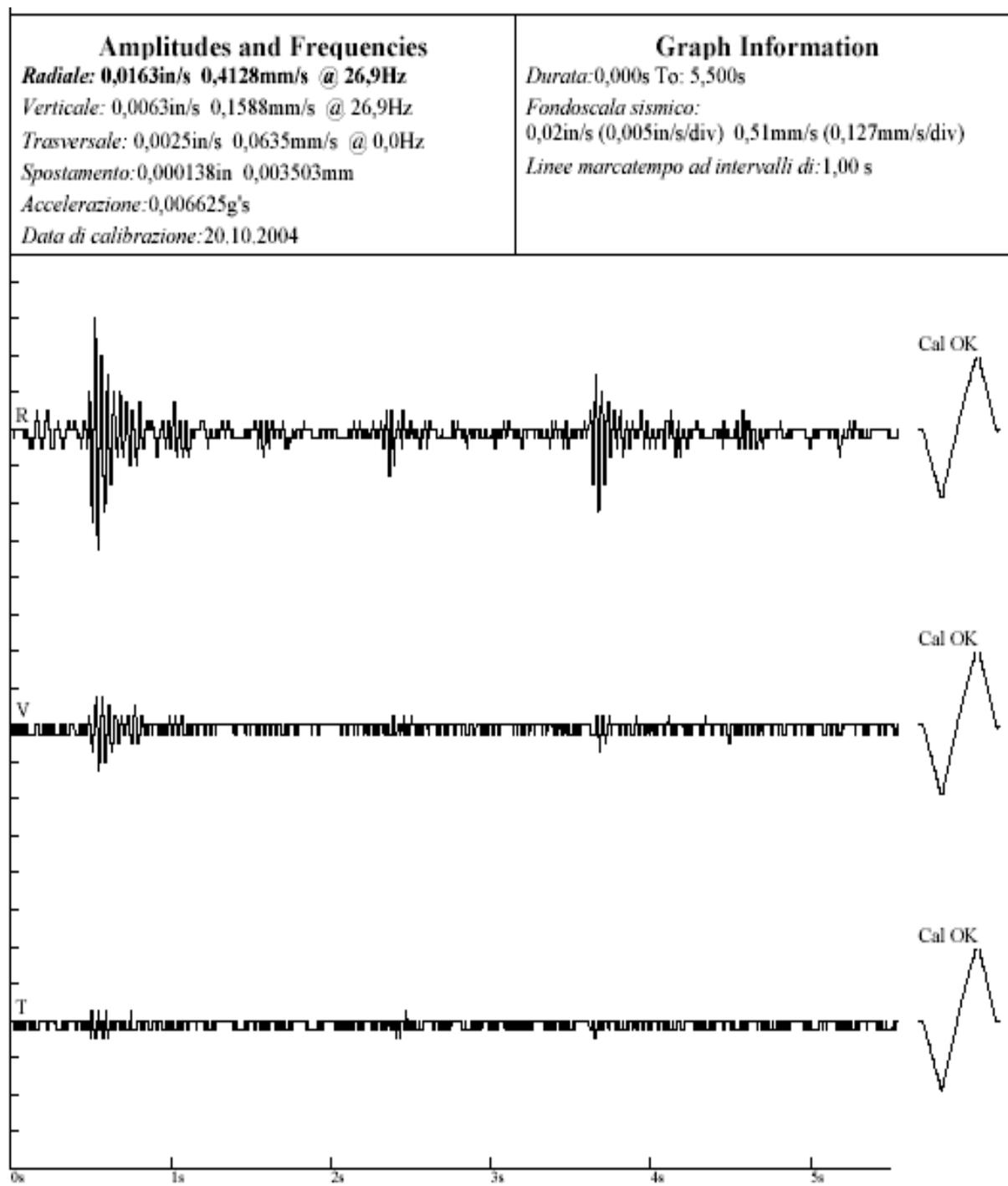


GRAFICO DI EVENTI SISMICI

**Volata a foro cieco 1 - galleria autostradale**

Raccolta degli eventi sismici registrati in monitoraggio continuativo (trascrizione forme d'onda).



Wave Form Transcription

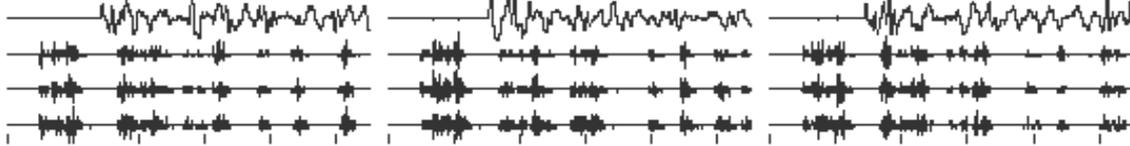
Page: 1

Galleria Monted'Oro  
Comune di Garo Cuno  
Punto di misura 4 - Manutaddo Vicenza

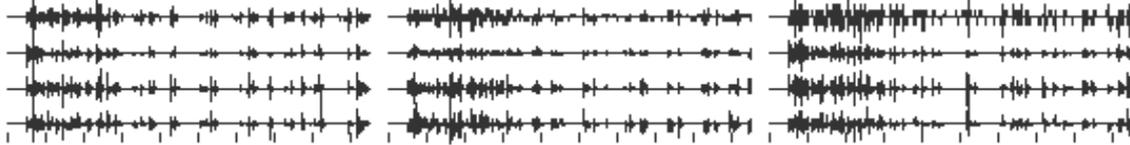
Percorso sismico ..... m  
Carica massima cooperante ..... MJ

Scales (variable)

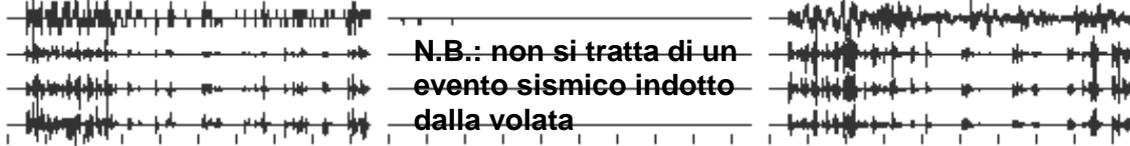
MOSCA000	Date: 31.07.2002	MOSCA001	Date: 01.08.2002	MOSCA002	Date: 01.08.2002
0,0300in/s 0,762mm/s	Time: 17:47	0,0300in/s 0,762mm/s	Time: 08:15	0,0250in/s 0,635mm/s	Time: 12:59
119 dB		119 dB		119 dB	



MOSCA111	Date: 09.05.2002	MOSCA112	Date: 09.05.2002	MOSCA113	Date: 10.05.2002
0,1250in/s 3,175mm/s	Time: 08:53	0,1000in/s 2,540mm/s	Time: 10:48	0,1350in/s 3,429mm/s	Time: 08:43
127 dB		124 dB		118 dB	

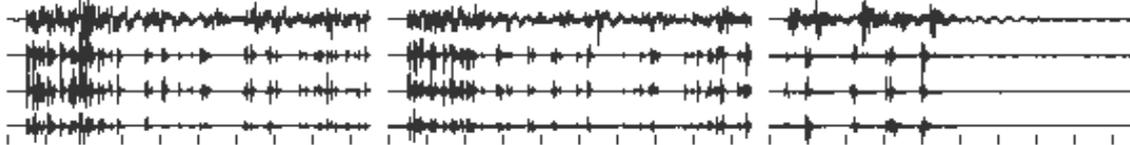


MOSCA114	Date: 10.05.2002	ASFAL125	Date: 11.03.2002	ASFAL126	Date: 12.03.2002
0,1000in/s 2,540mm/s	Time: 09:59	0,5200in/s 13,208mm/s	Time: 17:31	0,2400in/s 6,096mm/s	Time: 08:41
116 dB		110 dB		127 dB	

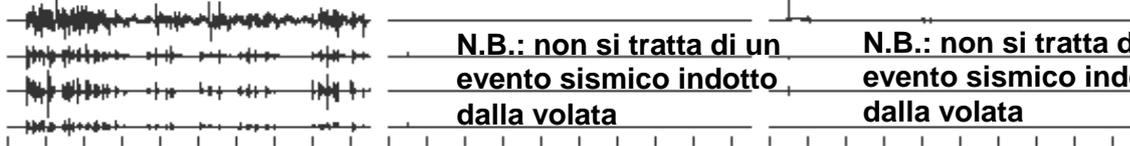


**N.B.: non si tratta di un evento sismico indotto dalla volata**

ASFAL127	Date: 12.03.2002	ASFAL128	Date: 13.03.2002	ASFAL129	Date: 13.03.2002
0,5550in/s 14,097mm/s	Time: 17:06	0,3100in/s 7,874mm/s	Time: 09:27	0,0600in/s 1,524mm/s	Time: 14:03
128 dB		131 dB		128 dB	



ASFAL130	Date: 13.03.2002	ASFAL131	Date: 13.03.2002	ASFAL132	Date: 13.03.2002
0,7800in/s 19,812mm/s	Time: 16:42	0,1750in/s 4,445mm/s	Time: 17:16	0,0300in/s 0,762mm/s	Time: 17:16
130 dB		0 dB		142 dB	



**N.B.: non si tratta di un evento sismico indotto dalla volata**

**N.B.: non si tratta di un evento sismico indotto dalla volata**

## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### **Volata a foro cieco 1 - galleria autostradale**

Geofono piazzato all'esterno ammorsato al fabbricato. Successione di colpo con serie di detonatori a ritardi brevi e serie a ritardi lunghi. Alcuni numeri della serie sono mancanti.

La volata non è bilanciata ed i valori massimi occorrono nei fori di rinora e di slargo.

L'evento sismico dura più di 10 secondi e quindi prosegue in fase di test di autocalibrazione (cal High della componente radiale e Low della verticale).

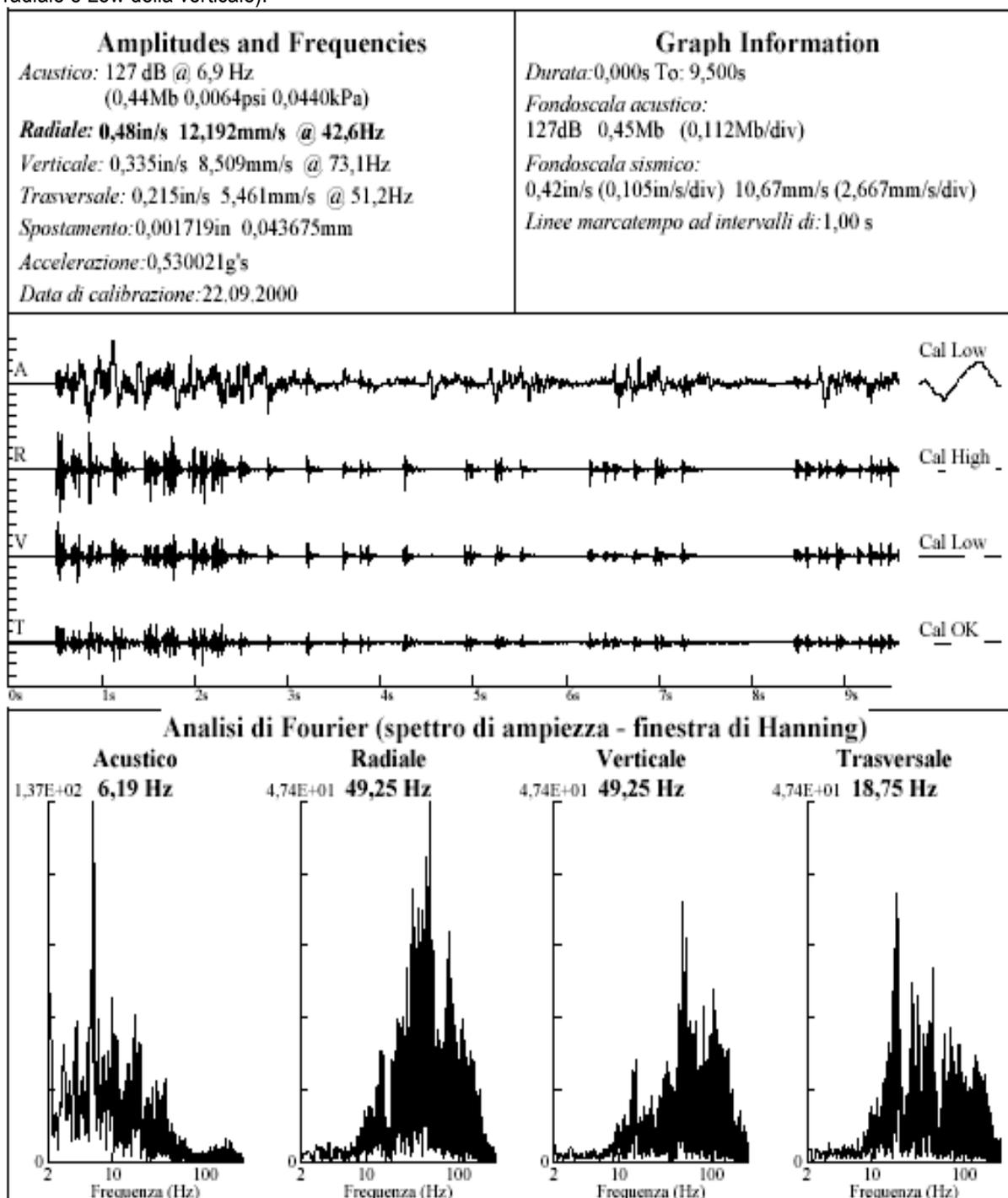
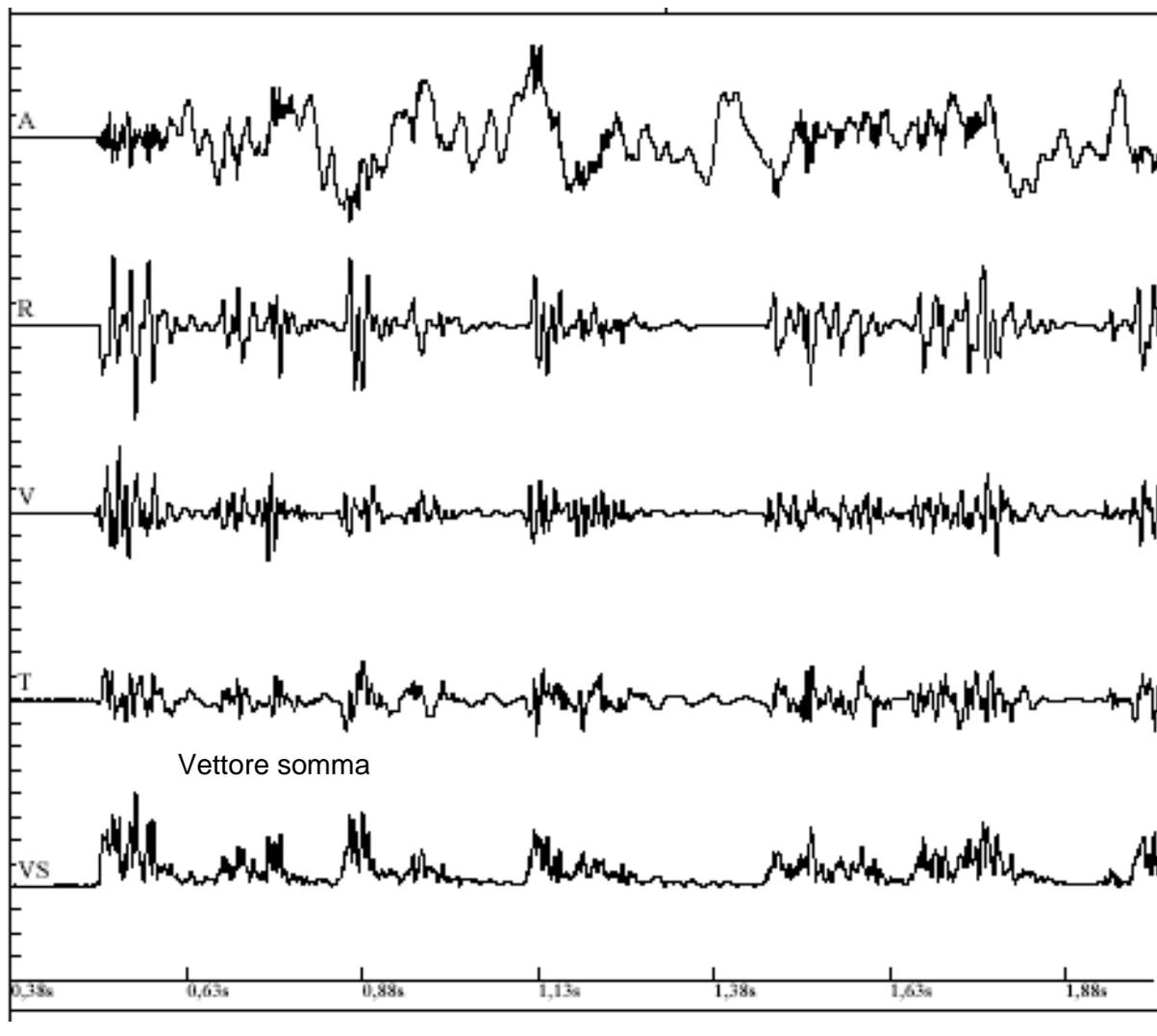


GRAFICO DI EVENTI SISMICI

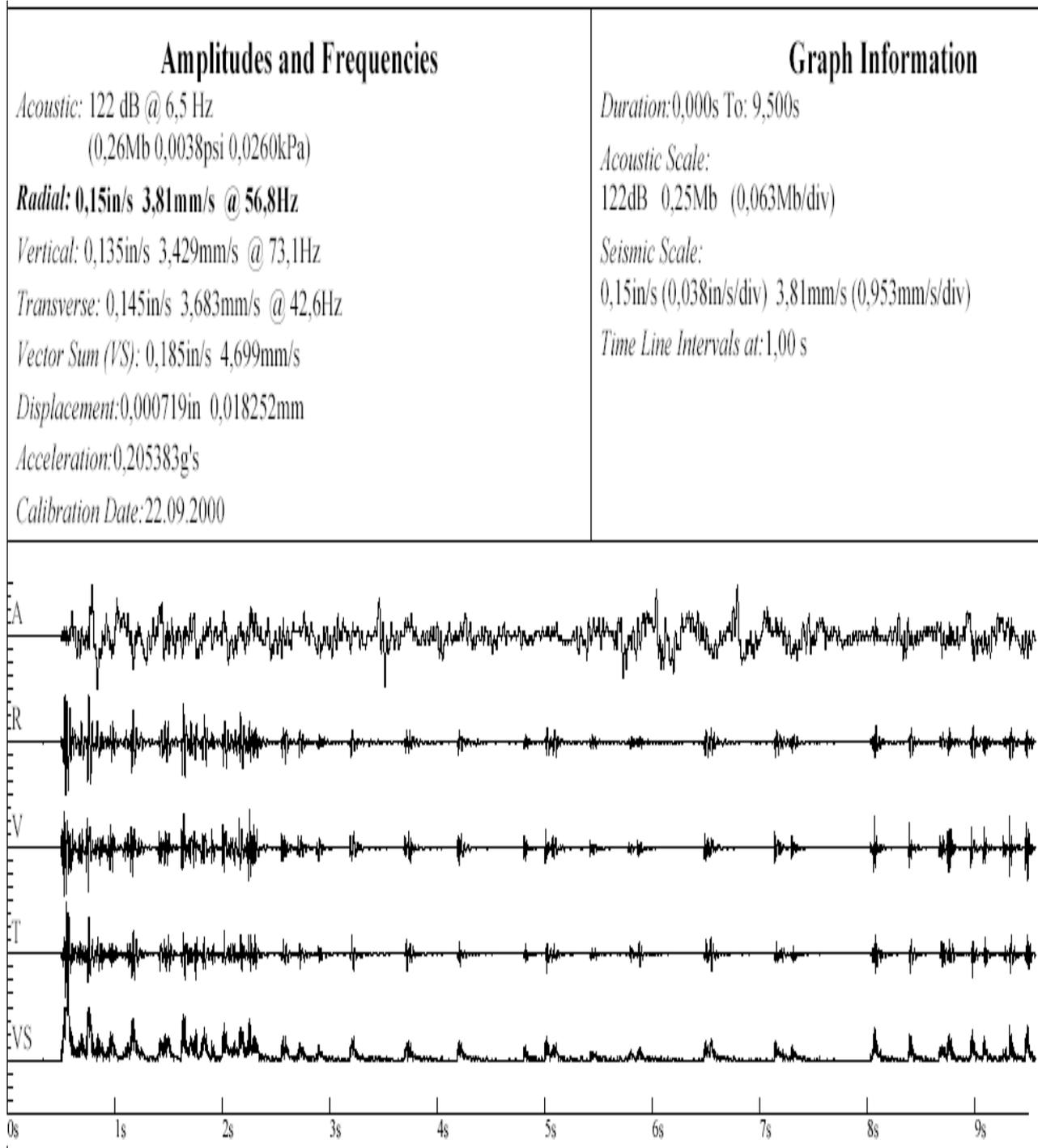
Dettaglio dell'onda Volata a foro cieco 1



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Volata a foro cieco 2

Geofono piazzato all'esterno ammorsato al fabbricato. Successione di colpo con serie di detonatori a ritardi brevi e serie a ritardi lunghi. Netta staratura dei tempi di brillamento reali rispetto a quelli nominali. La volata non è bilanciata ed i valori massimi occorrono solo nei fori di rinora.



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Volata a foro cieco 3 - galleria idraulica

Successione di colpo con serie di detonatori a ritardi brevi.

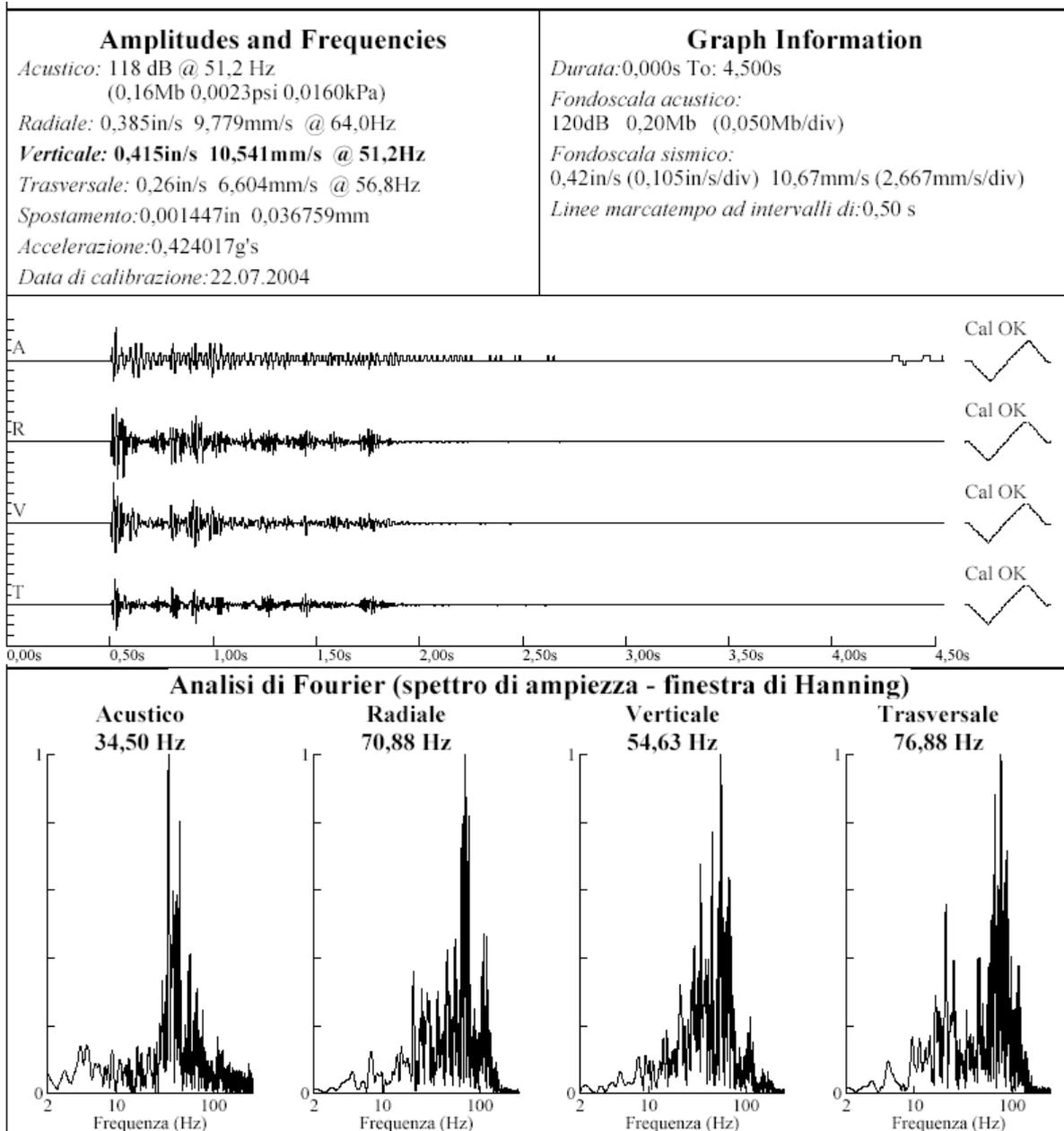


GRAFICO DI EVENTI SISMICI

**Volata a gradone 1 - Impiego di detonatori a ritardo breve (25 ms)**

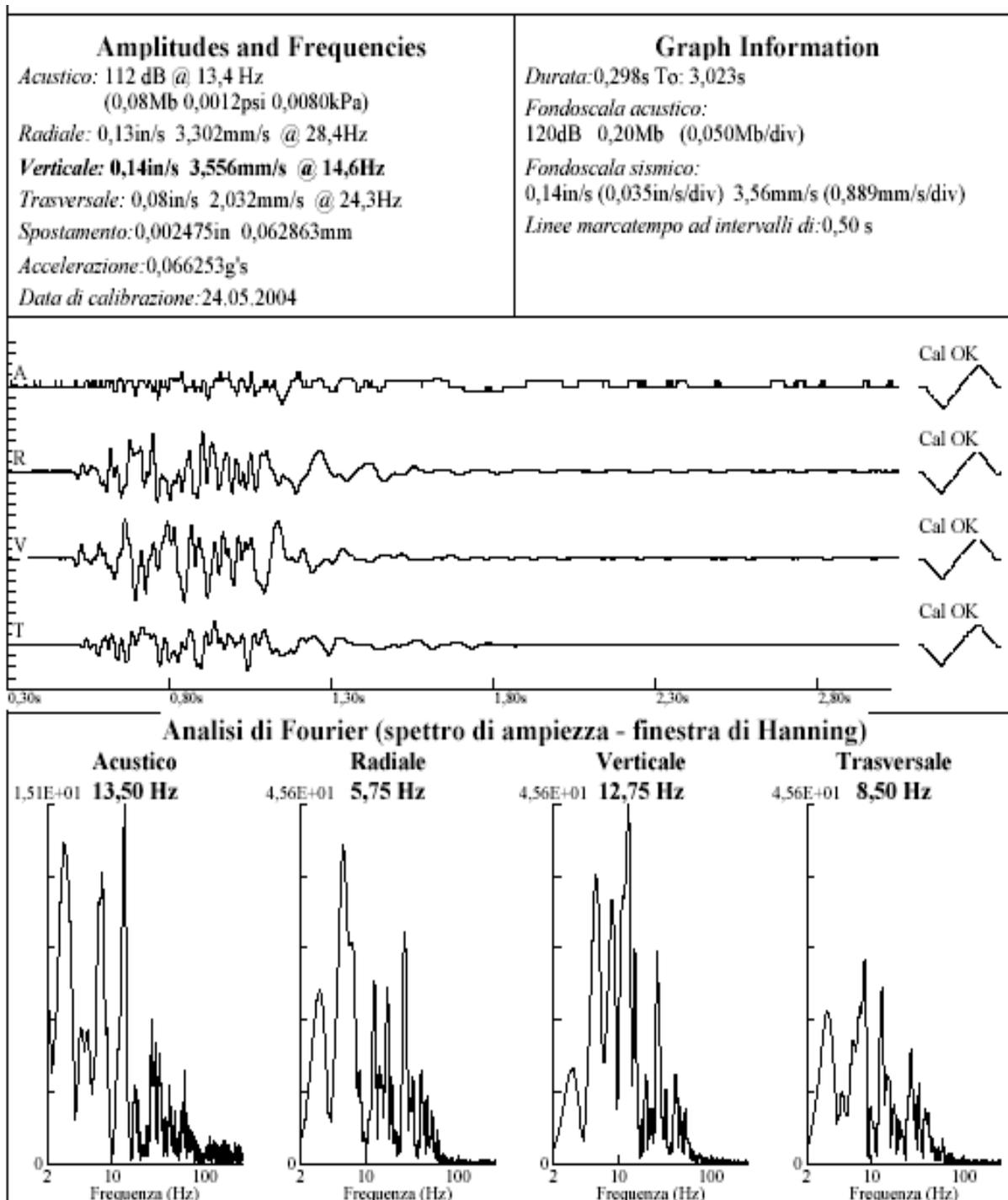
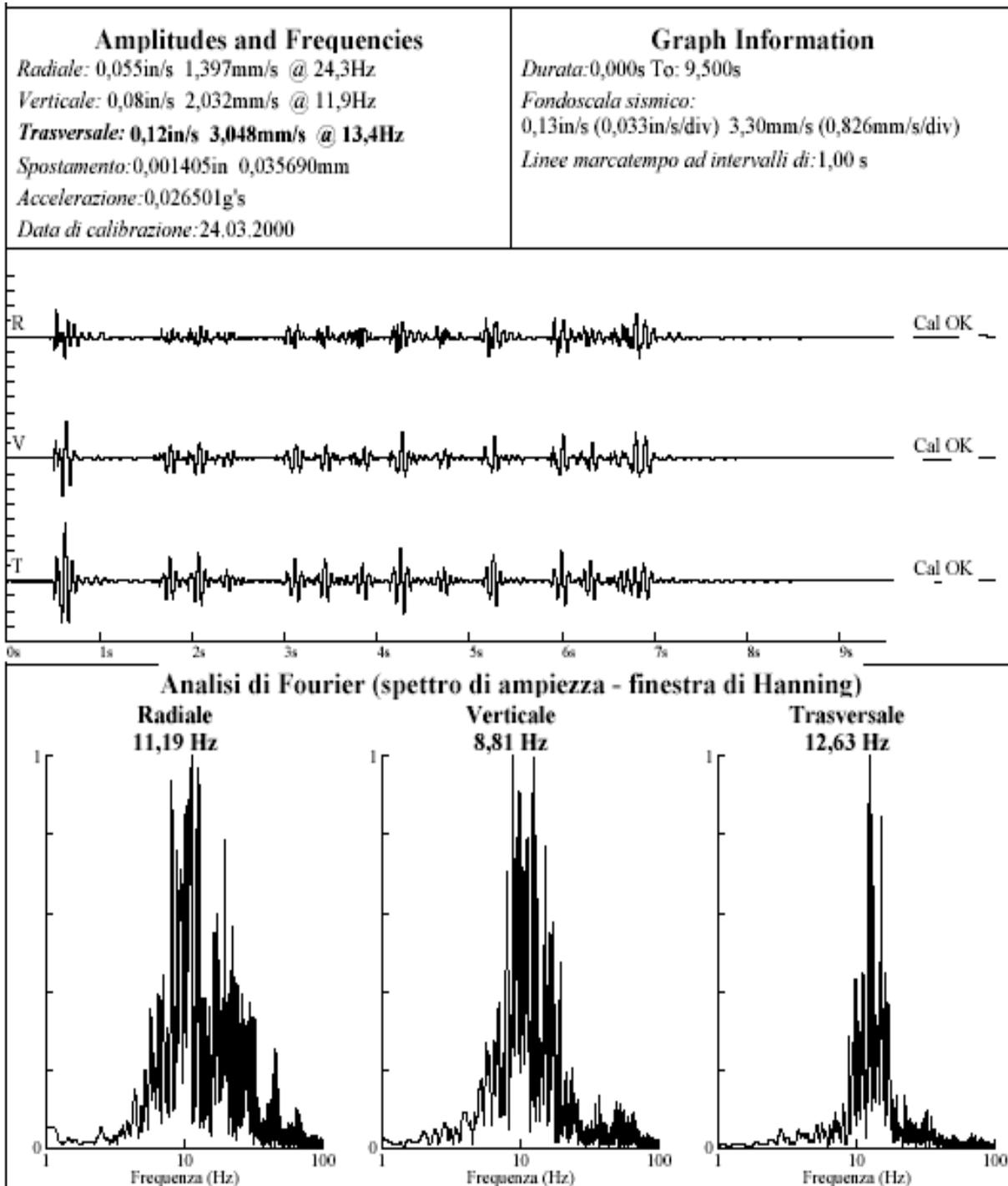


GRAFICO DI EVENTI SISMICI

**Volata a gradone 2 - Impiego di detonatori a ritardo lungo (500 ms)**



## GRAFICO DI EVENTI SISMICI

### Volata a gradone 3

Primo arrivo di onde di volume (P es S) a cui seguono onde di Rayleigh.

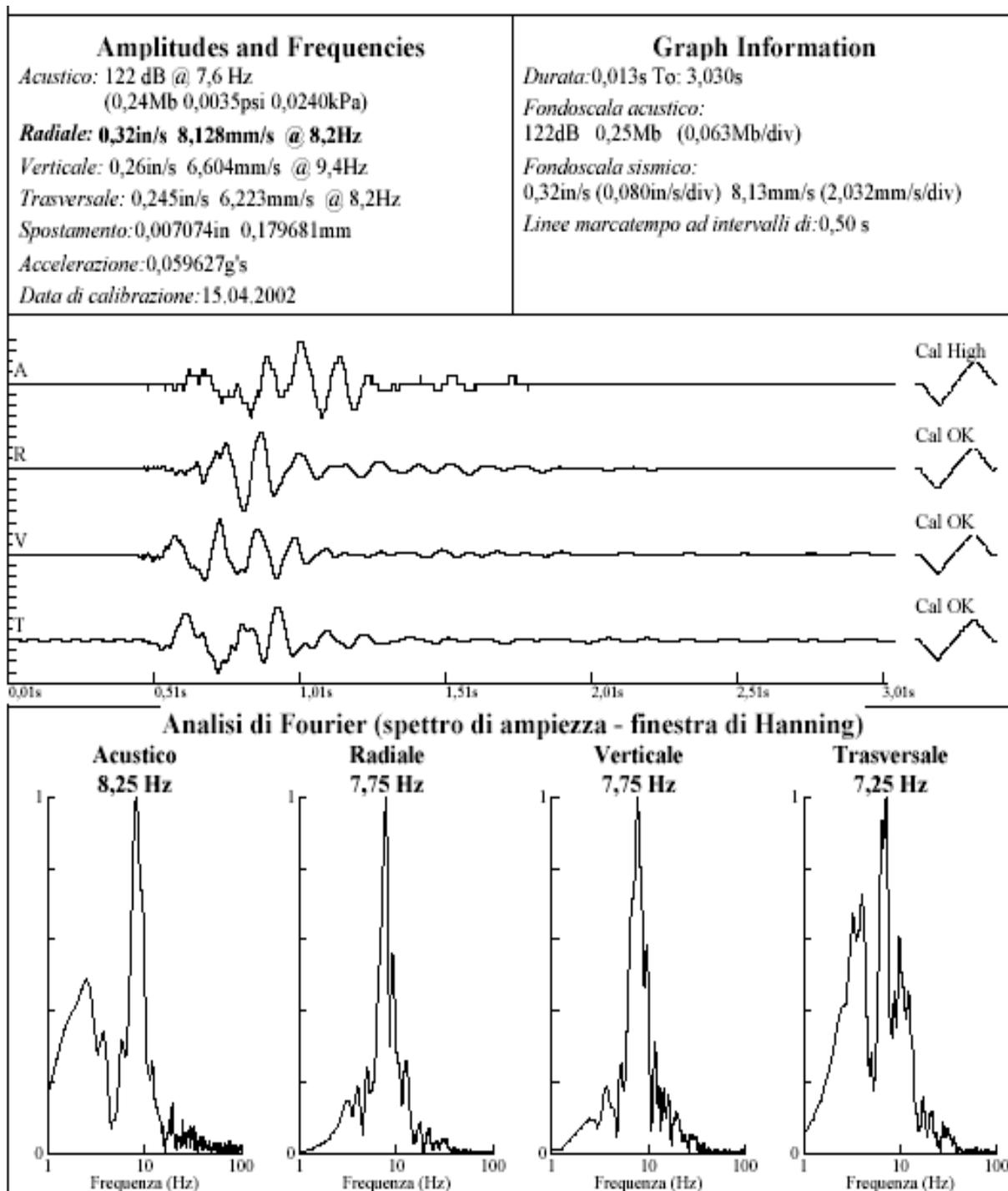


GRAFICO DI EVENTI SISMICI

**Volata a gradone 4 - misura a distanza ravvicinata con geofono fondo foro**

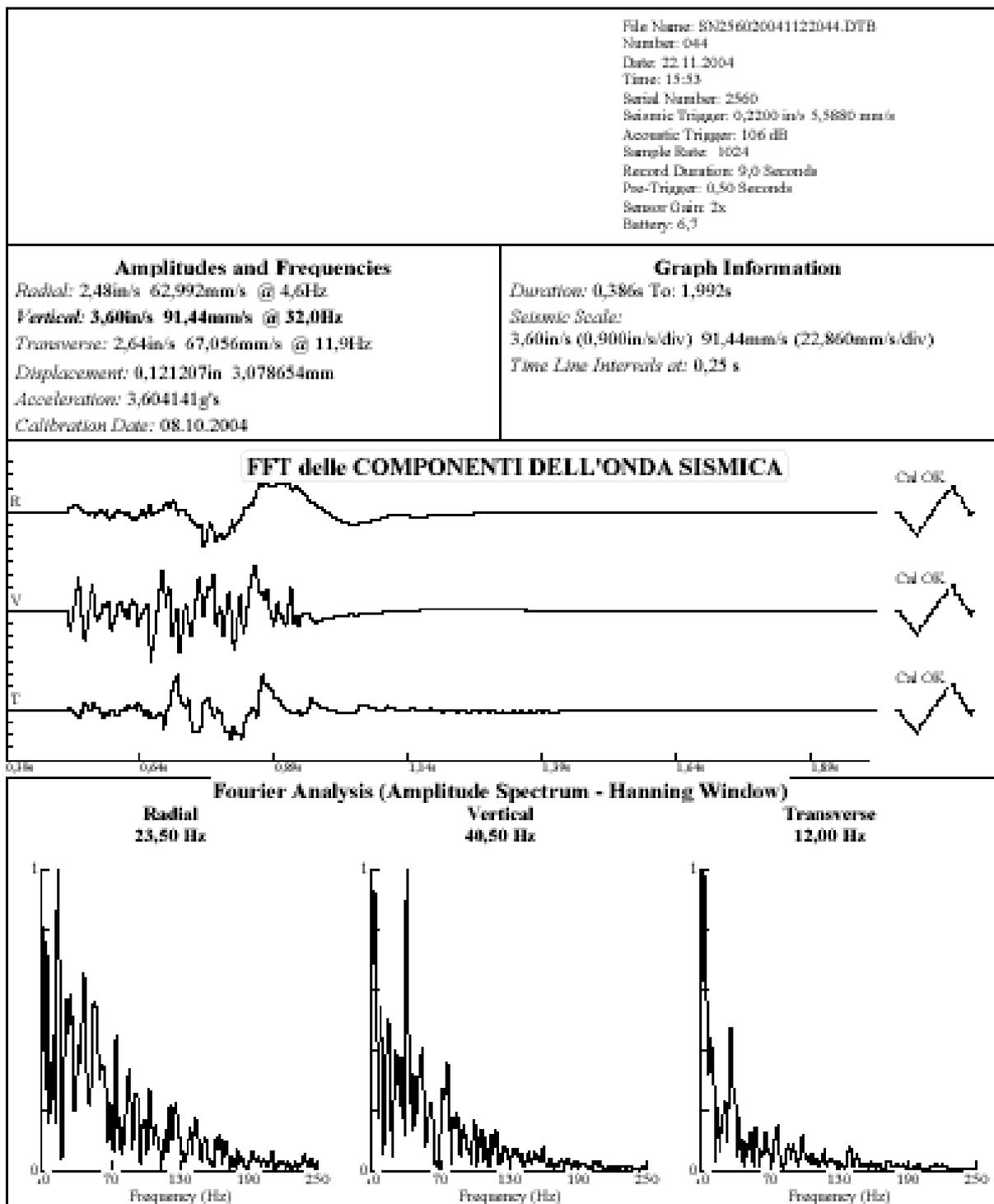
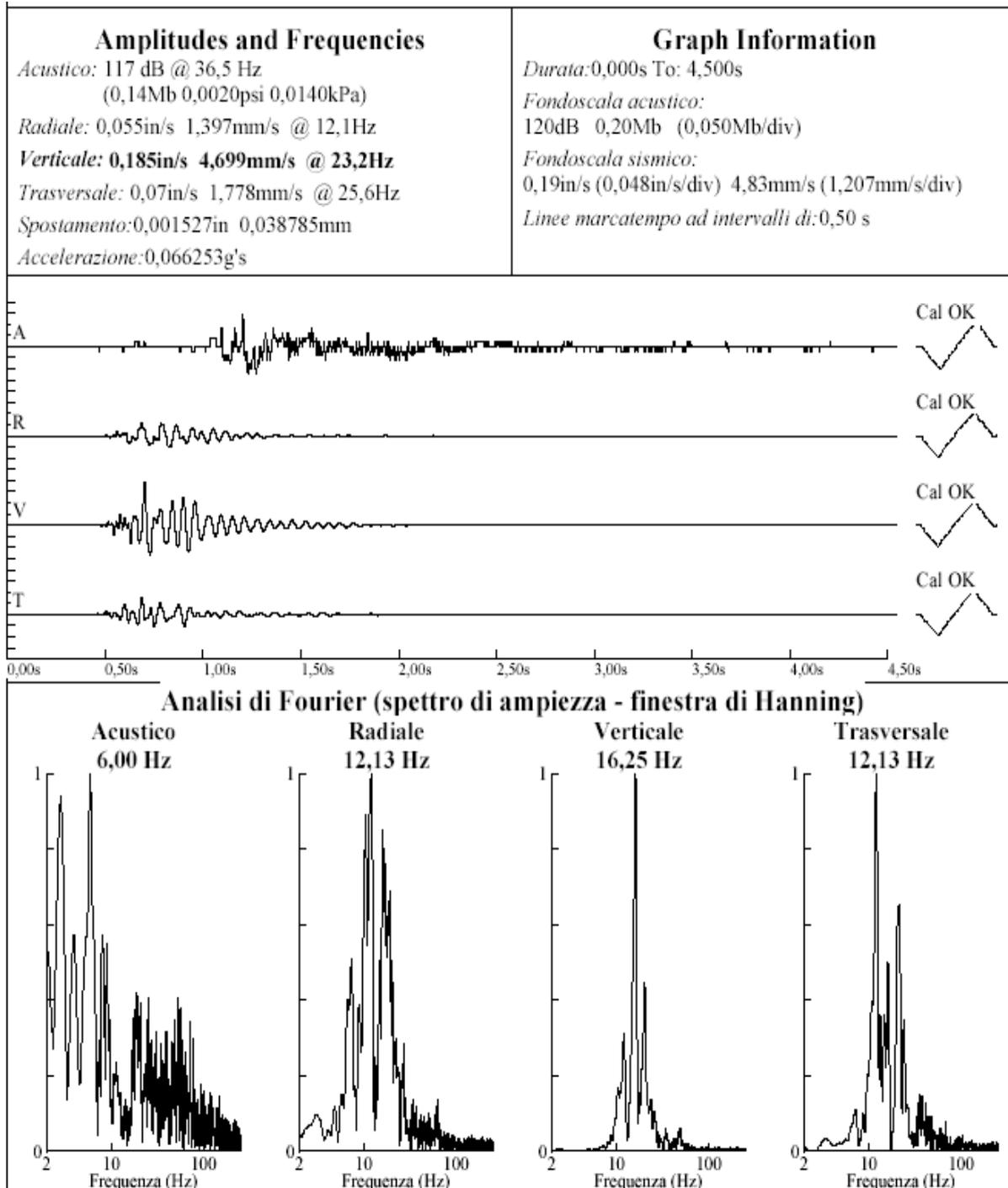


GRAFICO DI EVENTI SISMICI

**Volata a gradone 5 - misura sulla chiave di volta di un ponte medievale in muratura**

Coda di vibrazione in oscillazione libera del ponte.



## **EVENTO SISMICO SIGNIFICATIVO**

---

Per evento sismico significativo è inteso qualsiasi evento sismico, indotto da qualsiasi sorgente sismica sia essa artificiale o naturale, con ampiezza e frequenza rilevanti ai fini del controllo effettuato.

Nel caso in cui, ad esempio, il controllo effettuato sia relativo alla verifica dei livelli di disagio indotti dalle vibrazioni alle persone residenti all'intorno, deve essere considerato significativo ogni evento che per ampiezza e frequenza risulti al di sopra della soglia di percezione umana (RISPOSTA SOGGETTIVA DEL CORPO UMANO AD UN MOTO VIBRATORIO).

Il campionamento esteso a tutti gli eventi sismici significativi consente di inquadrare il contesto sismico ambientale nel quale si inseriscono i fenomeni vibratorii indotti dalla attività antropica (es. sparo mine) e quindi di definire con quale quota essi si inseriscono in tale contesto.

<b>Numero di eventi sismici significativi registrati</b>	<b>durata del campionamento</b>	<b>Numero di eventi significativi al giorno</b>
90	31	2,9
<b>di cui 5 dovuti alla attività estrattiva</b>		0,16

Percentuale degli eventi sismici significativi dovuti alla attività estrattiva sul totale: 5,5%.

## Scheda di registrazione individuale per attività d'INFORMAZIONE E FORMAZIONE DEL PERSONALE PER L'IMPIEGO DELLA STAZIONE DI MONITORAGGIO SISMICO - ACUSTICO

Nominativo		Società (solo se esterno)
Attività	FORMAZIONE ED ADDESTRAMENTO all'utilizzo della stazione di monitoraggio ..... - descrizione dell'hardware - descrizione del software di acquisizione, analisi e restituzione dati introduzione alle problematiche inerenti alle onde sismiche ed acustiche indotte dal brillamento di cariche esplosive - piazzamento del trasduttore - caratterizzazione del punto di misura - previsione dei valori di velocità di vibrazione attesi - la normativa di riferimento: UNI 9916, DIN 4150-3, UNI 9614 - simulazione di una misura - effettuazione di misure reali - ... - ...	
Frequenza dell'attività	una tantum / alla consegna stazione di monitoraggio	
Data e luogo		
Responsabile dell'attività		
Documentazione fornita	- MANUALE DELL'HARDWARE Rev. ... - MANUALE DEL SOFTWARE DI ANALISI E RESTITUZIONE GRAFICA Rev. ... - DISPENSE ... - Modulo RAPPORTO DI MISURA SISMICA REV. ... - MODULO PIANO BILOGARITMICO - Documentazione tecnica... - Prontuario della NITREX, ... - .... - ....	
Note / Domande	<input type="checkbox"/> Allegati	
Firma del responsabile dell'attività	Firma del lavoratore	





---

## **INSTALLAZIONE del trasduttore di sovrappressione aerea**

---

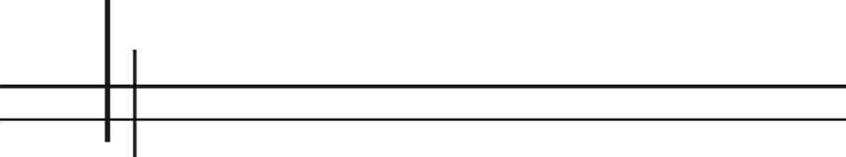
Il trasduttore dell'onda di sovrappressione aerea dovrebbe essere montato ad almeno 1 m ÷ 1,5 m da terra, coperto dallo speciale cappuccio in gomma schiuma per ridurre la sovrappressione apparente causata dall'eventuale vento.

In caso di installazione per misure prolungate il microfono dovrebbe essere puntato verso il basso in modo da evitare danni per la pioggia.

L'orientamento verso la direzione di provenienza della sovrappressione aerea consente la misura della sovrappressione dinamica (ovvero comprendente anche la componente per lo spostamento dell'aria).

L'orientamento ortogonale rispetto alla direzione di provenienza della sovrappressione aerea consente la misura della sovrappressione statica (ovvero non comprendente la componente per lo spostamento dell'aria).

Se il trasduttore di sovrappressione aerea è montato all'interno di una struttura questo può essere orientato in qualsiasi direzione.



## **INSTALLAZIONE del trasduttore di velocità - racc. NTX**

---

### **All'interno di una struttura**

#### Scelta del punto di misura

Per il confronto dei valori di velocità di vibrazione indotti con quelli previsti dalla normativa, la misura delle vibrazioni indotte deve essere preferibilmente effettuata al livello delle fondazioni, oppure su componenti strutturali rigide direttamente collegate alle fondazioni.

#### Accoppiamento del trasduttore alla struttura

Uno degli aspetti critici del controllo strumentale delle vibrazioni è l'installazione sul sito dei trasduttori. L'installazione è tanto più importante quanto maggiore è l'accelerazione massima del treno d'onda che deve essere misurato.

Nel caso in cui fossero previsti valori di accelerazione inferiori a 0,1 g (un decimo della accelerazione di gravità) è possibile accoppiare il trasduttore su una superficie piana del mezzo, senza ancoraggi (UNI 9916). Per minimizzare l'effetto microfono (vibrazione apparente determinata dall'impatto dell'onda di sovrappressione acustica sulla cassa del trasduttore) il geofono dovrebbe essere coperto con un sacco di sabbia asciutta. Il sacco di sabbia non deve essere completamente pieno ma deve "avvolgere" il trasduttore in modo da non sbilanciarlo al passaggio del transiente sismico.

Nel caso in cui invece fossero previsti valori di accelerazione superiori ad 0,1 g è necessario il fissaggio del trasduttore al punto di misura. Il sistema di fissaggio deve garantire continuità meccanica tra componente strutturale e trasduttore, senza però alterare il fenomeno da misurare. Il fissaggio può essere effettuato incollando il trasduttore alla struttura oppure fissando il trasduttore al punto di misura con barre filettate inghisate nella parete da monitorare e trasduttore accoppiato in verticale o in orizzontale (sotto il solaio o sopra la trave di fondazione) mediante contrasto di una piattina forata avvitata sulle barre. Se la misura è effettuata in terreno sciolto il trasduttore deve essere completamente tombato.



Inghisaggio di due barre filettate sulla parete portante in c.a. di struttura per l'accoppiamento del trasduttore.



Completamento della stazione di misura con geofono accoppiato a parete con barre filettate e stazione di monitoraggio entro il suo contenitore, alimentato dalla rete, per il monitoraggio continuativo.

## **All'esterno**

### Accoppiamento del trasduttore al terreno

Anche in questo caso il fissaggio deve garantire la continuità meccanica tra componente strutturale e terreno / roccia / struttura, senza però alterare la grandezza da misurare.

Nel caso di misurazione su terra è opportuno tombare il geofono scavando una buca profonda almeno 50 centimetri, fissare il geofono al fondo mediante le punte in dotazione e quindi coprirlo con terra o sabbia (eventualmente in sacchi).

Un errore comune è quello di effettuare la misura sulla superficie del terreno. Il fissaggio sul terreno di superficie, meno compatto di quello in profondità e privo di confinamento per la mancanza di strati sovrastanti, comporta una sovrastima dei valori di velocità di vibrazione.

Nel caso di misurazione su di una parete rocciosa è possibile utilizzare lo stesso metodo consigliato per le installazioni all'interno di una struttura, fissando il trasduttore tramite barre filettate cementate nella parete da monitorare.



Semplice accoppiamento del trasduttore all'elemento strutturale (trave di fondazione, per valori di accelerazione previsti inferiori a 0,1 g.



Copertura del trasduttore con sacco di sabbia e semplice accoppiamento del trasduttore all'elemento strutturale (trave di fondazione, per valori di accelerazione previsti inferiori a 0,1 g). Stazione di monitoraggio dentro il suo contenitore, alimentato a batteria (tempi di monitoraggio limitati ad una settimana, 10 giorni).



Accoppiamento del trasduttore alla parete rocciosa entro una nicchia mediante barre filettate e piattina preforata. Le barre filettate ai lati esterni della nicchia servono per applicare un coperchio di protezione alla nicchia.



Dettaglio

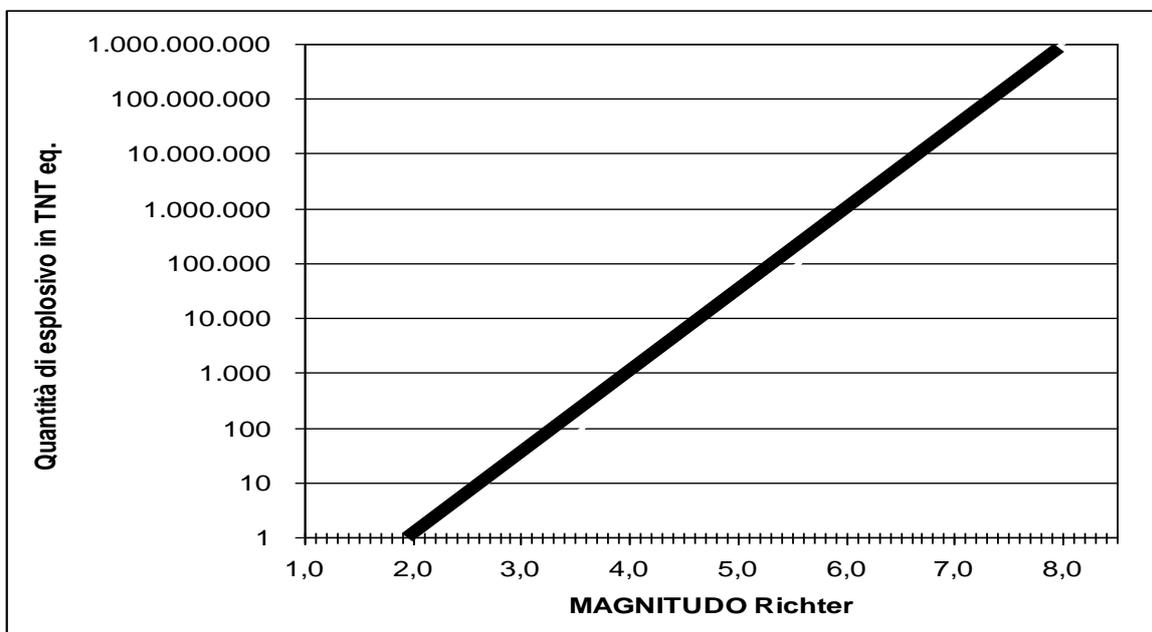
## Classificazioni dell'INTENSITÀ DEI TERREMOTI

### Scala RICHTER

L'evento sismico / tellurico viene classificato con una magnitudo calcolata in funzione dell'ampiezza del picco massimo dell'onda sismica registrata con un sismografo tipo Wood-Anderson (A, in mm) e della distanza dall'epicentro calcolata dall'intervallo temporale tra prim' arrivo onde di pressione ed onde di taglio):  $M = \log_{10}A + 3\log_{10}(8\Delta t^{-2.92})$  [<http://www.ux1.eiu.edu/~cfjps/1300/magnitude.html>]

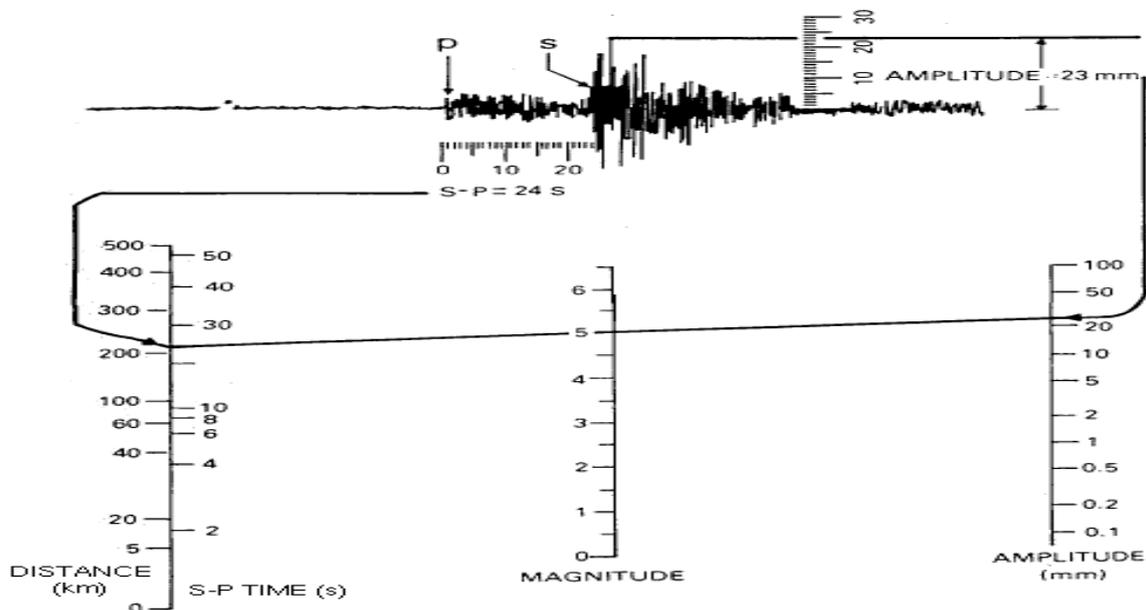
Magnitudo	Energia esplosiva di TNT (t)	Grado MCS (grossolanamente approssimato)
2,0	1	
2,5	5	
3,0	29	I
3,5	73	II
4,0	1.000	III
4,5	5.100	IV
5,0	32.000	V
5,5	80.000	VI
6,0	1.000.000	VII
6,5	5.000.000	VIII
7,0	32.000.000	XI
7,5	160.000.000	X
8,0	1.000.000.000	XI
8,5	5.000.000.000	XII

MAGNITUDO Richter	effetti
meno di 3,5	Generalmente non sentita, ma registrata.
3,5 ÷ 5,4	Spesso sentita, ma raramente causa dei danni.
sotto 6,0	Al massimo lievi danni a solidi edifici. Causa danni maggiori su edifici non in c.a. edificati in piccole regioni.
6,1 ÷ 6,9	Può arrivare ad essere distruttiva in aree di quasi 100 km, attraversando anche zone abitate.
7,0 ÷ 7,9	Terremoto maggiore. Causa seri danni su grandi aree.
8 o maggiore	Grande terremoto. Può causare seri danni su vaste aree di svariate centinaia km.



Equivalenza tra energia rilasciata dal sisma (in TNT equivalente) e la sua magnitudo Richter.

**Diagramma di Richter per la stima grafica della Magnitudo - modello.**



**Scala MCS - Mercalli, Cancani, Sieberg**

L'evento sismico / tellurico viene classificato con un "grado", da uno a dodici, crescente al crescere dell'impatto indotto sul contesto antropico.

grado	scossa	descrizione
I	strumentale	non avvertito
II	leggerissima	avvertito solo da poche persone in quiete, gli oggetti sospesi esilmente possono oscillare
III	leggera	avvertito notevolmente da persone al chiuso, specie ai piani alti degli edifici; automobili ferme possono oscillare lievemente
IV	mediocre	avvertito da molti all'interno di un edificio in ore diurne, all'aperto da pochi; di notte alcuni vengono destati; automobili ferme oscillano notevolmente
V	forte	avvertito praticamente da tutti, molti destati nel sonno; crepe nei rivestimenti, oggetti rovesciati; a volte scuotimento di alberi e pali
VI	molto forte	avvertito da tutti, molti spaventati corrono all'aperto; spostamento di mobili pesanti, caduta di intonaco e danni ai comignoli; danni lievi
VII	fortissima	tutti fuggono all'aperto; danni trascurabili a edifici di buona progettazione e costruzione, da lievi a moderati per strutture ordinarie ben costruite; avvertito da persone alla guida di automobili
IX	disastrosa	danni a strutture antisismiche; perdita di verticalità a strutture portanti ben progettate; edifici spostati rispetto alle fondazioni; fessurazione del suolo; rottura di cavi sotterranei
X	molto disastrosa	distruzione della maggior parte delle strutture in muratura; notevole fessurazione del suolo; rotaie piegate; frane notevoli in argini fluviali o ripidi pendii
XI	catastrofica	poche strutture in muratura rimangono in piedi; distruzione di ponti; ampie fessure nel terreno; condutture sotterranee fuori uso; sprofondamenti e slittamenti del terreno in suoli molli
XII	grande catastrofe	danneggiamento totale; onde sulla superficie del suolo; distorsione delle linee di vista e di livello; oggetti lanciati in aria

## LEGGE DI DECADIMENTO DELLA VELOCITÀ MASSIMA DI VIBRAZIONE AL VARIARE DELLA DISTANZA SCALATA

### Generalità

L'ampiezza delle vibrazioni indotte dall'esplosione si riduce rapidamente all'aumentare della distanza dal punto di sparo ed al diminuire della quantità di carica fatta brillare per ritardo d'accensione (brillamento sequenziale), ovvero della carica esplosiva cooperante.

La massima velocità di vibrazione " $V_{MAX}$ " al passaggio del transiente sismico è dunque direttamente proporzionale alla carica fatta detonare ed inversamente proporzionale alla distanza dal punto di sparo secondo una legge esponenziale tipo:

$$V_{MAX} = K \cdot \frac{Q^\alpha}{R^\beta} = K \cdot Q^\alpha \cdot R^{-\beta} \quad (\text{eq. 1})$$

dove

"K", " $\alpha$ " e " $\beta$ " sono parametri indipendenti, variabili in funzione del tipo di volata, d'esplosivo e del mezzo di propagazione

"R" è la distanza sismica (distanza inclinata) dal punto di sparo alla quale è riscontrabile la velocità massima  $V_{MAX}$

"Q" è la massima carica cooperante esplosiva fatta brillare per ritardo d'accensione.

I parametri "K", " $\alpha$ " e " $\beta$ " sono calcolati per ciascun sito, ed eventualmente nello stesso sito per varie direzioni di propagazione, mediante regressione di potenza a due variabili indipendenti (R e Q) dei dati misurati in campagna con, appunto, " $V_{MAX}$ " come variabile dipendente.

Per agevolare la rappresentazione in un grafico bidimensionale la relazione sopra riportata viene normalmente espressa nella forma:

$$V_{MAX} = K \cdot (R/Q^c)^{-\beta} = K \cdot (DS)^{-\beta} \quad (\text{eq. 2})$$

Dove

$$"c" = \alpha/\beta$$

"DS" =  $R/Q^c$  (distanza normalizzata, o scalata, sulla carica elevata a "c").

Alcune volte, i parametri "K", " $\alpha$ " e " $\beta$ " sono calcolati soltanto mediante regressione di potenza ad una sola variabile indipendente, appunto "DS", imponendo un valore dell'esponente "c" pari a 0,5 (radice quadrata della carica) nel caso di volate a cielo aperto e di 1/3 (radice cubica) nel caso di volate a foro cieco.

L'affidabilità della curva di decadimento calcolata con la regressione ad una variabile indipendente (DS) è minore di quella calcolata a due variabili indipendenti (R e Q), ma comunque generalmente accettata.



La massima velocità di vibrazione, oltre alla carica ed alla distanza dal punto di energizzazione, dipende anche da:

- parametri elastici e di resistenza meccanica della roccia (modulo di elasticità, impedenza acustica, resistenza a trazione, ecc.);
- intensità di fratturazione, forma, riempimento ed orientazione dei giunti interposti
- carica specifica d'abbattimento (più è alta la carica specifica, minore è la velocità di vibrazione a parità degli altri parametri);
- disaccoppiamento della carica in foro;
- carica specifica;
- rapporto tra spalla ed interasse;
- rapporto tra spalla ed altezza del foro;
- ecc..

Il trascurare i fattori sopra riportati, assieme ad imprecisioni nella definizione della carica associata al picco massimo di velocità di vibrazione ed al relativo percorso sismico, fa sì che i dati rappresentati in grafico non siano perfettamente allineati nel piano definito dalla eq. 1 dello spazio tridimensionale con assi " $V_{MAX}$ ", "R" e "Q". I dati raccolti dalle misure, infatti, si presentano dispersi in una nube. Tanto minore sarà la variazione dei fattori sopra riportati, tanto maggiore sarà la precisione con cui sono rilevate carica e distanza e tanto minore sarà la dispersione dei punti di misura attorno a questa superficie (ovvero attorno alla linea, nel caso di rappresentazione nello spazio bidimensionale con assi " $V_{MAX}$ " e "DS", linea che diviene retta nella rappresentazione nel PIANO BILOGARITMICO).

La dispersione dei dati misurati impone l'adozione di un procedimento statistico per la individuazione del trend di decadimento, così che sia possibile prevedere la velocità di vibrazione al variare della distanza e della carica.

Il procedimento statistico utilizzato per stabilire questo trend, ovvero per calcolare i parametri " $K$ ", " $\alpha$ " e " $\beta$ " dell'equazione 1 è quello della REGRESSIONE DI POTENZA. Si tratta di un metodo che consente di stabilire quale tra tutte le superfici curve dello spazio tridimensionale con assi " $V_{MAX}$ ", "R" e "Q", il cui sviluppo è genericamente definito dalla eq. 1, meglio approssima la nube di punti. Per definire questa superficie si adotta un metodo analitico che consente di individuare, tra tutte, quella per cui la somma del quadrato delle distanze dai vari punti della nube sia il minore possibile e, una volta fissata questa, quella al di sopra della quale sono presenti solo il 5% (95% di probabilità) oppure l'1% (99% di probabilità) dei punti misurati.

## **Metodo semplificato seguito per il calcolo della curva di regressione a due variabili indipendenti - racc. NTX**

Equazione della curva di decadimento della distanza scalata (o normalizzata) sulla carica esplosiva:

$$V_{MAX}(probabile) = \frac{K \cdot Q^\alpha}{R^\beta} = K \cdot Q^\alpha \cdot R^{-\beta} \text{ equazione della curva di decadimento ovvero della}$$

velocità con probabilità d'occorrenza del 50% può anche essere espressa nella forma:

$$\ln(V_{MAX}) = \ln(K \cdot Q^\alpha \cdot R^{-\beta}) = \ln(K) + \ln(Q^\alpha) + \ln(R^{-\beta}) = \ln(K) + \alpha \cdot \ln(Q) - \beta \cdot \ln(R).$$

Imponendo dunque:

$$y = \ln(V_{MAX})$$

$$b = \ln(K)$$

$$m1 = \alpha$$

$$x1 = \ln(Q)$$

$$m2 = -\beta$$

$$x2 = \ln(R)$$

si ottiene l'equazione della retta i cui parametri "b", "m1" ed "m2" possono essere definiti con la regressione lineare, ovvero con il metodo statistico della curva dei minimi quadrati:

$$y = b + m1 \cdot x1 + m2 \cdot x2$$

dalla regressione lineare dei logaritmi delle variabili campionate sono calcolati i valori dei parametri "b" "m1" ed "m2" e quindi quelli dei parametri della curva di decadimento:

$$K = \exp^b$$

$$\alpha = m1$$

$$\beta = -m2$$

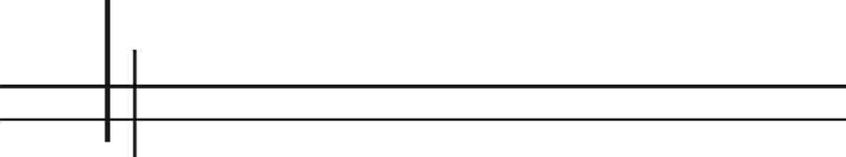
Dal grado di libertà dell'analisi di regressione è possibile calcolare la funzione di ripartizione (distribuzione t di *Student*) per l'intervallo di confidenza desiderato (tipicamente il 97,5% o il 99%) e quindi il valore dell'intercetta K' corrispondente alla curva limite di fiducia:

$$V_{MAX}(97,5\%) = K' \cdot Q^\alpha \cdot R^{-\beta}$$

---

## **Affidabilità della curva di regressione**

1. Previsioni per direzioni diverse da quelle nella quale la curva di decadimento è stata calcolata possono portare a grossolani errori di valutazione. Lo stesso sito può avere diverse curve di decadimento per diverse direzioni di propagazione. Tale circostanza è tanto più vera quanto maggiore è l'anisotropia dell'ammasso roccioso interessato e quanto più disomogenea è la geometria di brillamento rispetto al punto per il quale deve essere fatta la previsione.
2. Per calcolare la curva di decadimento devono essere utilizzati un numero rappresentativo di dati. In linea generale, per un'analisi statistica valida, sono necessari almeno 30 campioni.
3. Le previsioni effettuate con valori di distanza e di carica al di fuori dell'ambito di variazione di quelli utilizzati per il calcolo della curva di decadimento che si prende a riferimento possono portare a grossolani errori di valutazione, anche se la distanza scalata corrispondente risulta compresa nell'intervallo di variazione di quelle del campione di misura (sottostimata nel caso di distanze scalate con percorso sismico maggiore della massima del campione, sovrastimata nel caso di percorso sismico inferiore).
4. I dati che risultano molto al di fuori della nube di dispersione devono essere riscontrati con attenzione e, eventualmente, scartati dall'analisi in quanto potrebbero essere affetti da un errore di scrittura dei valori della distanza o della carica (ad esempio per aver considerato non già la carica cooperante ma la carica per tempo di innesco) oppure da condizioni di sparo anomale (es. sparo sovraconfinato o spalla sottodimensionata).



---

## **MINIMIZZAZIONE DELLE VIBRAZIONI INDOTTE DALLE VOLATE D'ABBATTIMENTO CON ESPLOSIVI - racc. NTX**

---

Per la minimizzazione delle vibrazioni è necessario adottare gli orientamenti riportati nel seguito.

- a) Riduzione della carica cooperante per ritardo mediante allungamento della successione d'innesci e/o riduzione della carica istantanea (l'intervallo temporale tra gli inneschi deve aumentare all'aumentare della distanza dal punto in cui le vibrazioni sono misurate, in conseguenza del graduale spostamento dell'energia associata al transiente sismico dalle componenti armoniche ad alta frequenza e a bassa frequenza, così che i picchi di velocità "spanciano" e gli effetti tra fori vicini brillati in successione si sommano "cooperando").
- b) Minimizzazione della spalla d'abbattimento, ovvero adozione di un basso rapporto tra interasse dei fori e spalla d'abbattimento.
- c) Massimizzazione della carica specifica d'abbattimento.
- d) Realizzazione di "barriere alle vibrazioni" (ad es. mediante pretagli).
- e) Orientamento delle fronti di scavo anche in funzione dell'orientamento dei giunti tettonici e stratigrafici.
- f) Perforazione precisa, in modo da minimizzare il rischio di irregolarità con sovradimensionamento della spalla.
- g) Rettifica delle fronti di scavo, in modo da minimizzare il rischio di irregolarità con sovradimensionamento della spalla.

L'adozione di una procedura mirata per le SEGNALAZIONI ACUSTICHE DI BRILLAMENTO MINE può minimizzare il disagio conseguente alla percezione inavvertita delle vibrazioni e del rumore associato.

---

## MISURA DELLE VIBRAZIONI INDOTTE DALLO SPARO MINE - linee guida I.S.E.E. per la buona pratica

---

### International Society of Explosives Engineers

(Società Internazionale degli Ingegneri Esplosivisti)

### Blast vibrations and seismograph section

(Sezione vibrazioni da esplosioni e stazioni di monitoraggio)

### ISEE Field Practice Guidelines for Blasting Seismographs

(Linee guida per la buona pratica per stazioni di monitoraggio sismico ISEE)

<http://isee.org/sections/SeisFldPractGuide99.pdf>

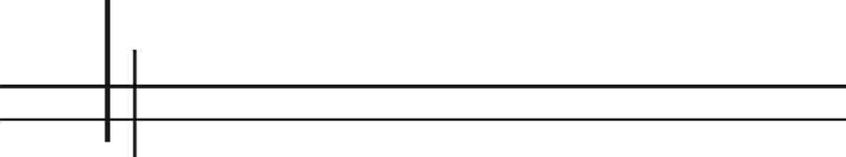
**Limitazione di responsabilità:** queste raccomandazioni per la pratica sul campo sono intese come linee guida generali e non come descrizione esaustiva delle condizioni di operatività. È necessario che l'operatore si adoperi per valutare le condizioni di operatività sul campo e per ottenere l'accoppiamento ottimale tra trasduttore e punto di misura. In ogni caso l'operatore deve descrivere, per ciascuna volata, le condizioni di monitoraggio e le procedure d'installazione in un rapporto.

**Prefazione:** Le stazioni di monitoraggio sono utilizzate per il riscontro del rispetto dei regolamenti e per valutare le prestazioni degli esplosivi. Leggi e regolamentazioni sono state fissate per prevenire il danneggiamento di beni e ferite alle persone. Le disposizioni di queste regole sono strettamente collegate alla affidabilità ed accuratezza delle misure di vibrazione del terreno e di sovrappressione aerea. Lo stesso vale per quanto riguarda la valutazione delle prestazioni degli esplosivi. Obiettivo della ISEE, sezione vibrazioni da esplosioni e stazioni di monitoraggio, è che siano assicurate affidabili e consistenti registrazioni di vibrazioni ed onde di sovrappressione aeree con ogni stazione di monitoraggio.

### Parte 1 - Linee generali

Le stazioni di monitoraggio sono utilizzate nel settore dell'ingegneria degli esplosivi per la registrazione dei livelli di velocità di vibrazione e di sovrappressione aerea indotti dalle volate di abbattimento. La precisione di queste registrazioni è quindi fondamentale. Queste linee guida danno una indicazione di quello su cui bisogna fare maggiore attenzione quando si utilizzano le stazioni di monitoraggio.

1. Leggere il manuale d'istruzioni. Tutte le stazioni di monitoraggio sono fornite complete di manuale d'istruzioni e l'utente deve leggerlo prima di poter effettuare il monitoraggio delle volate.
2. Calibrare la stazione di monitoraggio. È raccomandata la calibrazione annuale della stazione di monitoraggio.
3. Conservare intestazioni delle registrazioni. L'intestazione di una registrazione di una volata dovrebbe contenere: il nome della ditta, la data, l'ora, punto di misura ed ogni altra indicazione ritenuta necessaria.
4. Registrare ogni volata. Quando viene effettuata l'installazione di una stazione di monitoraggio, impostarla correttamente in modo che la soglia di trigger sia sufficientemente bassa da registrare la volata.
5. Registrare la forma d'onda completa. La funzione di registrazione continua [grafico a barre, n.d.t.] (disponibile su molti sismografi) è sconsigliata nel monitoraggio delle vibrazioni generate dalle volate.
6. Documentare il posizionamento del sismografo. Questo include il nome del manufatto/struttura ed in quale punto di questa è posizionato. Chiunque deve essere in grado di localizzare ed identificare in futuro, il punto esatto in cui è stata effettuata la misura.
7. Conoscere e registrare la distanza tra punto di misura e volata. La distanza può essere calcolata da una piantina. La distanza tra punto di misura e volata dovrebbe essere nota almeno con approssimazione dell'uno per cento. Ad esempio, per una distanza dell'ordine dei 100 metri si dovrebbe avere una precisione dell'ordine dei metri, ad una distanza di 1000 metri si dovrebbe



avere una precisione dell'ordine delle decine di metri. Quando la quota del punto in cui viene effettuata la volata e quella del punto di misura non sono le stesse ma cambiano per almeno un fattore 2,5 orizzontale : 1 verticale, non è più raccomandato utilizzare la distanza in pianta (lineare) ma diviene necessario misurare la distanza sismica reale.

8. Conoscere il tempo di ripristino tra una registrazione e l'altra del sismografo. Alcuni sismografi impiegano fino a 5 minuti per elaborare i dati registrati e stamparne il resoconto. Se durante questo periodo di ripristino dovesse essere brillata un'altra volata, questa potrebbe non essere registrata.

9. Conoscere la capacità di memoria del sismografo. Il sismografo deve avere sufficiente memoria per immagazzinare la forma d'onda di tutto l'evento. La forma d'onda completa deve essere disponibile per eventuali analisi future.

10. Conoscere il tipo di rapporto di cui si ha bisogno. Ad esempio potrebbe essere necessario fornire una copia cartacea dell'evento registrato subito dopo la registrazione, oppure realizzare uno schedario con le registrazioni di tutte le volate in formato digitale. Se una registrazione deve essere stampata in loco occorre disporre di una stampante.

11. Dedicare il tempo necessario alla corretta impostazione dello strumento. Molti errori sono causati dalla fretta in fase di impostazione dello strumento. Generalmente è consigliato iniziare l'installazione e l'impostazione dello strumento almeno 15 minuti prima della volata in modo da avere il tempo necessario per compiere con la dovuta attenzione queste operazioni.

12. Conoscere la temperatura. I sismografi hanno un ambito di temperature di funzionamento (fornite dal costruttore) al di fuori delle quali ne è sconsigliato l'uso.

13. Fissare i cavi. Non lasciare i cavi che collegano i trasduttori (velocimetri e microfoni) alla centralina sospesi o in punti in cui il vento o altri fattori potrebbero muoverli, causando uno spostamento dei trasduttori e, quindi, delle misura accidentali.

## **Parte 2 – Monitoraggio delle vibrazioni**

Il posizionamento e l'accoppiamento dei trasduttori sono i due fattori più importanti per assicurare la precisione della registrazione delle velocità di vibrazione indotte.

### **A. Posizionamento dei trasduttori**

I trasduttori devono essere piazzati sul livello o sotto il livello del suolo nel lato della struttura più vicino alla volata. Una struttura potrebbe essere un manufatto residenziale, una condotta interrata, un palo del telefono, ecc. . Misure su manti stradali, marciapiedi e lastre, se possibile, devono essere evitate.

1. La scelta del posizionamento relativamente alla struttura da monitorare. Il posizionamento del trasduttore deve assicurare che i dati ottenuti dal monitoraggio rappresentino adeguatamente i valori di velocità di vibrazione indotti nella struttura da salvaguardare. I trasduttori devono essere piazzati ad una distanza non superiore a 3 metri o nel caso fosse minore a meno del 10% della distanza tra struttura e volata.

2. Valutare la densità del terreno. La densità del terreno dovrebbe essere uguale o superiore a quella del sensore. Materiali di riporto, sabbia, terreni non consolidati, terreni agricoli ecc., potrebbero influenzare negativamente la precisione della misura se non adeguatamente trattati durante l'installazione del geofono.

3. Il geofono deve essere installato nel livello più basso della struttura.

4. La componente radiale del geofono deve essere orientata in direzione della volata.

5. Quando non è possibile accedere all'interno di una struttura, il geofono va posizionato sul terreno, nel lato più vicino alla volata.

## **B. Accoppiamento del trasduttore**

Se l'accelerazione dovesse superare i 0,2 g potrebbe avvenire uno slittamento del trasduttore con conseguente errore nella misura. Per risolvere questo problema, in funzione dei valori di accelerazione previsti bloccare, tombare o coprire con un sacchetto di sabbia il trasduttore.

1. Se l'accelerazione prevista è:

- a. minore di 0,2 g, non è necessario fissare o sotterrare il geofono
- b. compresa tra 0,2 ed 1 g, è consigliato tombare o bloccare il geofono
- c. superiore di 1 g, è necessario bloccare il geofono (USBM RI 8506)

Nella tabella è riportata la velocità di vibrazione e la frequenza per accelerazioni di 0,2 ed 1 g.

Frequenza Hz	4	10	15	20	25	30	40	50	100	200
Velocità di vibraz. mm/s per 0,2 g	78,1	31,2	20,8	15,6	12,5	10,4	7,8	6,2	3,1	1,6
Velocità di vibraz. mm/s per 1 g	390,3	156,1	104,1	78,1	62,5	52,0	39,0	31,2	15,6	7,8

2. Metodi per tombare o bloccare.

- a. Il miglior metodo per tombare il geofono consiste nello scavare una buca profonda non meno di tre volte l'altezza del geofono stesso (ANSI S2.47-1990, R1997), fissare con delle punte il geofono alla buca, ricoprire il geofono e compattare il terreno circostante e sopra al geofono.
- b. Il bloccaggio del trasduttore si ottiene imbullonando, ammorstando o incollando il sensore alla superficie rocciosa.
- c. Il sensore può essere fissato alle fondazioni della struttura se queste sono a +/- 30 cm dal piano di campagna (USBM RI 8969). Questa procedura può essere applicata se non è possibile tombare o bloccare il geofono.

3. Altri metodi di piazzamento dei trasduttori

- a. Tombare il geofono a poca profondità. Questa procedura è meno sicuro rispetto alla metodologia descritta nel punto 2.
- b. Rimuovere lo strato di terreno in superficie possibilmente senza intaccare lo strato inferiore e fissare il trasduttore con i punzoni schiacciandolo con forza.
- c. Rimuovere lo strato di terreno in superficie possibilmente senza intaccare lo strato inferiore e posizionare il trasduttore sul terreno con un sacchetto di sabbia sopra. Il sacchetto di sabbia deve essere sufficientemente grande da ricoprire il trasduttore e deve contenere almeno 4,5 Kg di sabbia. Il sacchetto non deve essere pieno, ma deve potersi adagiare sul trasduttore con una superficie di contatto maggiore possibile sia con il sensore che con il terreno.
- d. Una combinazione di punzoni e sacchetto di sabbia sopra il trasduttore fornisce un buon grado di accoppiamento.

### **C. Considerazioni sulla programmazione**

Le caratteristiche del sito in cui viene effettuata la registrazione impongono le impostazioni da dare allo strumento.

1. *Livello di trigger sismico. Il livello di trigger va impostato sufficientemente basso da attivare la registrazione delle volate e sufficientemente alto da evitare troppe registrazioni involontarie. Il livello di trigger andrebbe impostato leggermente superiore a quello di fondo del sito. Mediamente un buon livello di trigger potrebbe essere di 1,25 mm/s.*
2. *Fondoscala e risoluzione. Se il sismografo non dispone di una funzione di auto-adattamento del fondoscala l'utente deve calcolare le velocità di vibrazione previste ed impostare il fondoscala di conseguenza. La risoluzione di stampa della forma d'onda dell'evento registrato deve essere sufficiente per definire se l'evento registrato è o non è una volata.*
3. *Durata della registrazione. Impostare la durata della registrazione di 2 secondi più lunga della durata della volata più un secondo per ogni 330 m di distanza dalla volata.*

### **Parte 3 – Monitoraggio della sovrappressione aerea**

Il posizionamento del microfono è il fattore più importante nel monitoraggio di una struttura.

#### **A. Posizionamento del microfono**

Il microfono va posizionato sulla parete più vicina alla volata della struttura da monitorare.

1. *Il microfono deve essere posizionato in prossimità del geofono munito di cappuccio paravento fornito dal costruttore.*
2. *Il microfono va posizionato preferibilmente ad 1 m di altezza ma il posizionamento anche ad altre altezze è accettabile (ANSI s12.18-1994, ANSI S12.9-1992/Part2, USBM RI 8508).*
3. *Se possibile tra il microfono e la volata non ci devono essere edifici o altre barriere. Se queste barriere non possono essere evitate la distanza tra il microfono e la barriera deve essere maggiore dell'altezza della barriera stessa.*
4. *Se il microfono viene posizionato troppo vicino alla struttura da monitorare la riflessione dell'onda di sovrappressione potrebbe causare una sovrastima. Oltre a questo potrebbe anche essere registrato il rumore di risposta della struttura. Gli effetti della riflessione possono essere minimizzati posizionando il microfono in prossimità di uno spigolo della struttura. (RI 8508)*

#### **B. Considerazioni sulla programmazione**

1. *Livello di trigger. Quando si desidera effettuare la misura della sola sovrappressione aerea il livello di trigger acustico deve essere impostato sufficientemente basso da registrare l'evento ma sufficientemente alto da evitare troppe registrazioni involontarie. Il livello di trigger deve essere impostato leggermente superiore a quello di fondo del sito. Mediamente un buon livello di trigger potrebbe essere di 120 dB.*
2. *Durata della registrazione. Quando si desidera effettuare la misura della sola sovrappressione aerea si deve impostare la durata della registrazione almeno 2 secondi più lunga della durata della volata. Quando si desidera registrare contemporaneamente la forma d'onda delle vibrazioni indotte e la sovrappressione aerea seguire i consigli sulla programmazione per le onde sismiche (Parte 2 C.3)*

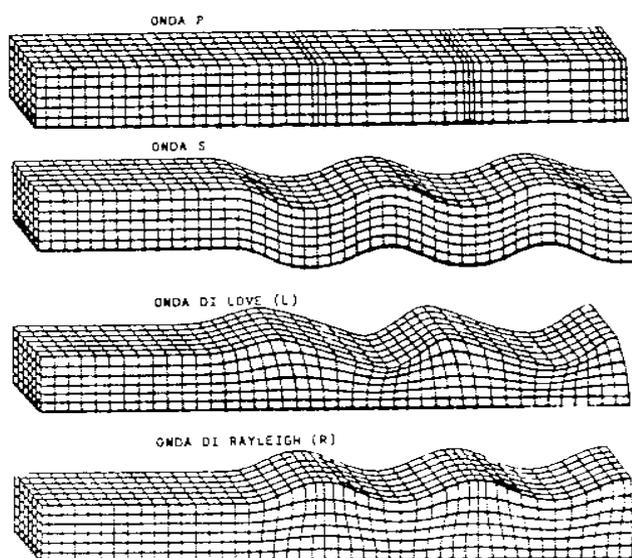
## Le ONDE SISMICHE

### Onde elementari componenti

Dallo sparo delle mine (in generale da qualsiasi tipo di energizzazione impulsiva di un mezzo solido) sono generati due principali tipi di onde: onde di volume ed onde superficiali.

Le onde di volume sono composte dalle onde P, di pressione o compressione, e dalle onde S, onde di taglio. Le onde superficiali sono composte dalle onde R (di Rayleigh) e L (di Love).

Le onde superficiali R e L hanno velocità di propagazione minori rispetto alle onde di volume così che, ad una certa distanza dal punto di sparo, possono essere distinguibili in coda al treno d'onda sismica.



Le onde di volume si propagano all'intorno su di un fronte sferico e quando intercettano la superficie del terreno, o l'interfaccia tra due mezzi di differenti caratteristiche elastiche, o un giunto nell'ammasso roccioso, generano onde di taglio ed onde superficiali.

Le onde superficiali si propagano con un fronte d'onda che può essere approssimato a cilindrico.

### Parametri caratteristici e loro legami funzionali

Tra i parametri caratteristici delle onde sismiche e delle vibrazioni ad esse associate, quelli rilevanti ai fini della sicurezza e del disagio sono:

- velocità di propagazione del treno d'onda "C" (dipende dalle caratteristiche fisiche e geomeccaniche del mezzo di propagazione e dal tipo d'onda);
- spostamento "s", velocità "v" ed accelerazione "a" del terreno al passaggio del transiente sismico;
- frequenza predominante del treno d'onda sismico "f";
- rapporto tra frequenza predominante "f" e frequenza propria del manufatto posto in oscillazione.

Approssimando la vibrazione ad un moto oscillatorio sinusoidale, si hanno i seguenti legami funzionali:  $v = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot s$ ;  $a = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot v$ .

Di solito l'accelerazione è restituita in unità di accelerazione di gravità "g" con  $g = 9814 \text{ mm/s}^2$ . Ne segue che un'accelerazione di  $2.000 \text{ mm/s}^2$  è pari a:  $2.000/9814 = 0,2 \text{ g}$ .

La frequenza dell'eccitazione indotta nella struttura è determinante per la valutazione dell'entità del risentimento che essa subisce e pertanto, per la sua individuazione, è necessario registrare l'intera forma d'onda. L'adozione di criteri sugli effetti indotti dalle vibrazioni, basati sulla frequenza, ha imposto un particolare cura nella stima e nel calcolo della frequenza dominante o principale. La frequenza dominante può essere stimata attraverso l'analisi visiva della forma d'onda (CALCOLO DELLA FREQUENZA ASSOCIATA AL PICCO - zero crossing) o calcolata con lo spettro di risposta (SPETTRO DI RISPOSTA) o con lo spettro di frequenza di Fourier (CALCOLO DELLA TRASFORMATA DI FOURIER). Il miglior approccio di calcolo per la determinazione della frequenza dominante è quello dello spettro di risposta. Lo spettro di risposta è da preferire allo spettro di Fourier in quando può essere correlato agli spostamenti della struttura e quindi alle deformazioni.

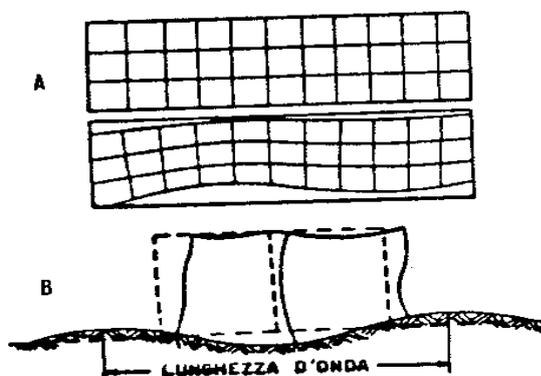
### **Onde sismiche transienti e prolungate**

In prima approssimazione le vibrazioni possono essere distinte in tipo "transiente" o prolungato" [Norme **DIN 4150-3**]. Come "transienti" s'intendono quelle vibrazioni che si verificano con una ripetitività insufficiente a provocare effetti di fatica sui materiali e la cui frequenza predominante o ricorrenza sia tale da non provocare risonanze nella specifica struttura. In questo caso gli effetti sono legati essenzialmente alle sollecitazioni trasmesse direttamente alla struttura ed assorbite per inerzia (figura).

**Vibrazioni transienti sulle strutture di dimensioni inferiori alla lunghezza d'onda dell'impulso sismico (sollecitazioni conse-**

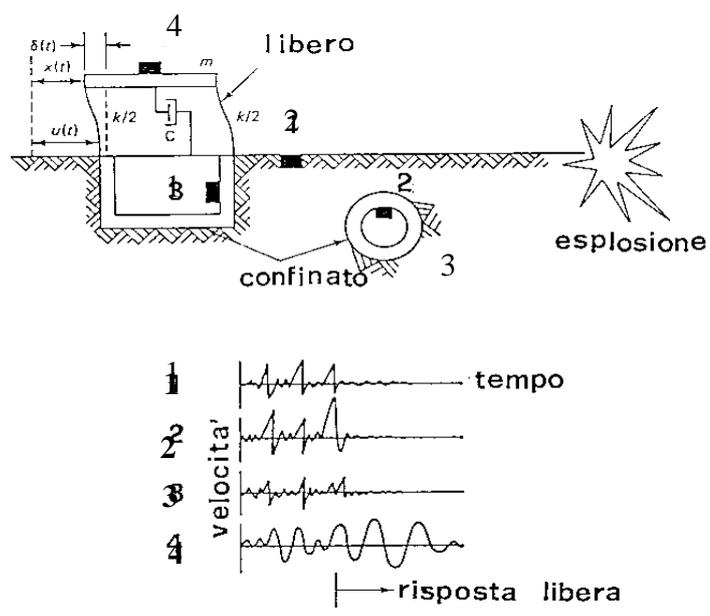


quelle indirette per oscillazione propria della struttura e/o per spostamenti differenziali delle parti componenti (figura). Per questa ultima fattispecie rilevanza, ai fini della sicurezza, assume anche il grado di libertà della struttura (figura).





Effetto delle vibrazioni prolungate. Differente risposta al transiente sismico di strutture con vari gradi di libertà perché in



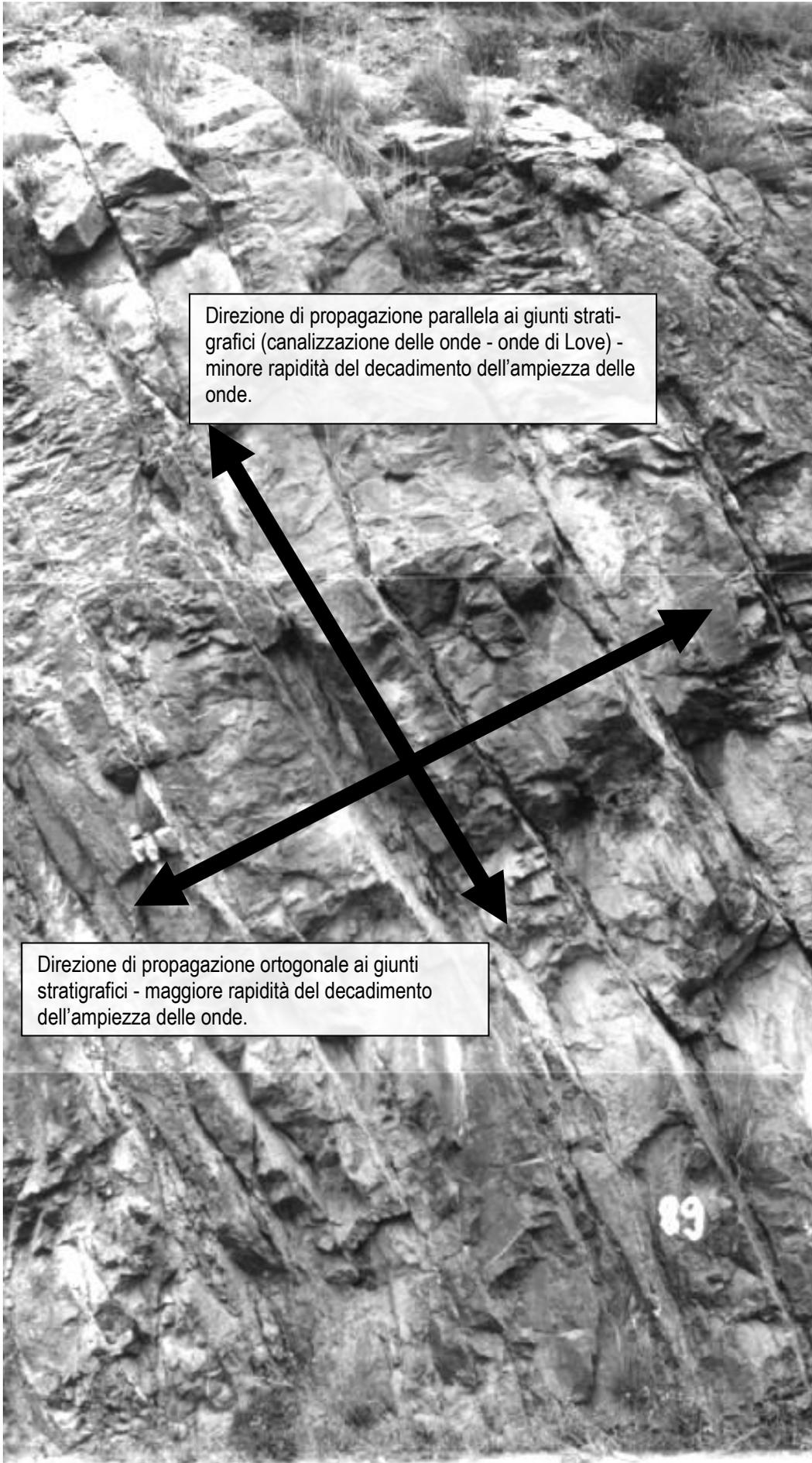
Differente tipo di risposta delle strutture alle onde sismiche.

### Sollecitazioni associate al transiente sismico

In prima approssimazione le sollecitazioni associate al transiente sismico nel mezzo possono essere calcolate con la formula:

$$\sigma_X = \rho \cdot C_P \cdot v_X; \tau_{XY} = \rho \cdot C_S \cdot v_{XY} \text{ [Kolsky 1963].}$$

- dove  $\rho$  è la densità del mezzo di propagazione;
- $C_P$  e  $C_S$  sono rispettivamente la velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione (p) e di taglio (s);
- $v_X$  e  $v_{XY}$  sono rispettivamente la velocità d'oscillazione delle particelle in direzione longitudinale (X) e trasversale (XY) rispetto a quella di propagazione dell'onda.



Direzione di propagazione parallela ai giunti stratigrafici (canalizzazione delle onde - onde di Love) - minore rapidità del decadimento dell'ampiezza delle onde.

Direzione di propagazione ortogonale ai giunti stratigrafici - maggiore rapidità del decadimento dell'ampiezza delle onde.

89

---

## Le ONDE DI SOVRAPPRESSIONE IN ARIA

---

Una parte dell'energia liberata dall'esplosione delle cariche collocate nell'ammasso roccioso da abbattere si disperde in aria. La frazione di energia che si disperde in aria aumenta al diminuire del confinamento della carica nell'ammasso ed è massima per esplosioni in aria libera, distanti dal suolo (figura 1) [Baker 1973].

Così come per le vibrazioni indotte nel terreno anche le onde di sovrappressioni aeree possono essere descritte attraverso la forma d'onda (ampiezza al variare del tempo) come mostrato. La frazione a frequenza più alta dell'onda di sovrappressione rientra nella gamma di frequenze udibili (rumore). Le frazioni a frequenza minore sono meno udibili ma eccitano le strutture provocando movimenti i quali, a loro volta, producono un caratteristico rumore di scuotimento (rattling-rantolo) che è causa di molte lamentele. L'eccitazione delle murature dovuta all'onda di sovrappressione aerea è visibile dal confronto dell'eccitazione per l'onda di sovrappressione aerea e la risposta delle murature, nella parte all'estrema destra dei vibrogrammi, la dove non c'è più moto del terreno. A differenza del moto del terreno l'onda di sovrappressione aerea può essere descritta completamente dalla misura con un unico trasduttore in quanto il valore dell'onda di sovrappressione aerea in qualsiasi punto è uguale in ciascuna delle tre direzioni ortogonali.

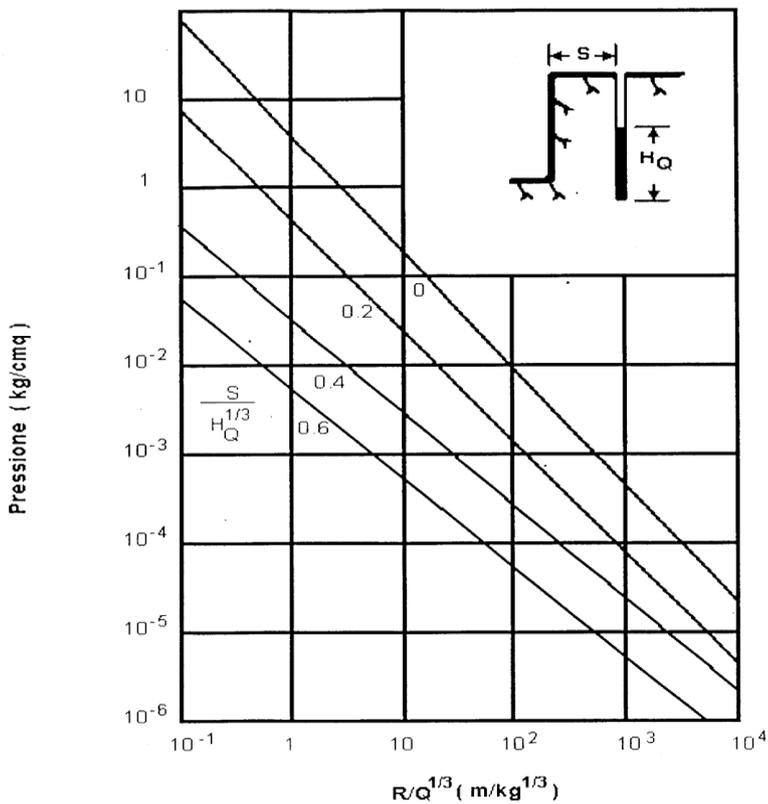
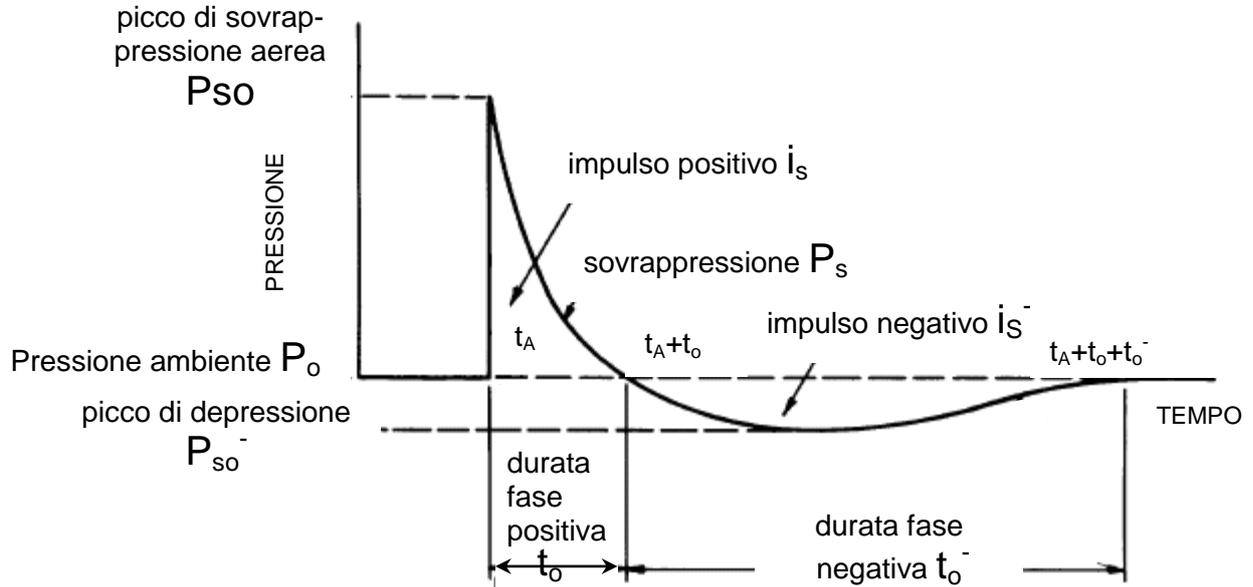
La propagazione dell'onda di sovrappressione è generalmente indicata con una normalizzazione della distanza dal punto di sparo sul cubo della carica piuttosto che sul quadrato. Il picco di pressione è riportato in decibel "dB", che sono definiti come:  $dB = 20 \log_{10}(P/P_0)$ , la dove P è il picco di sovrappressione misurato e  $P_0$  è una pressione di riferimento pari a  $2 \times 10^{-7}$  Pa.

Per calcolare, in prima approssimazione, i valori del picco di sovrappressione aerea indotto dalla detonazione di cariche esplosive in funzione della distanza dal punto di sparo, della quantità di esplosivo e del confinamento nell'ammasso roccioso può essere fatto riferimento ai grafici in figura 2 [Hoeck 1977], 3, 4 e 5 [Siskind 1980].

La "tollerabilità del rumore" ovvero al picco di sovrappressione aerea indotta dal brillamento delle cariche esplosive dipende dall'ampiezza della sovrappressione, dal numero di ripetizioni giornaliere e dalla frequenza predominante dell'impulso di sovrappressione.

Nella figura 5 sono riportati valori guida stabiliti sperimentalmente dal CHBA *Committee on Hearing, Bioacustics and Biomechanics*, Washington D.C., USA [Siskind, 1980].

Figura 1 - Forma d'onda di sovrappressione aerea indotta dalla detonazione  
 La durata della fase negativa ( $t_0^-$ ), ovvero il tempo di ritorno a pressione ambiente, aumenta progressivamente all'aumentare delle distanze dal punto di detonazione.



cariche esplosive, in funzione della distanza dal punto di d'abbattimento "S" [Hoeck, 1977].

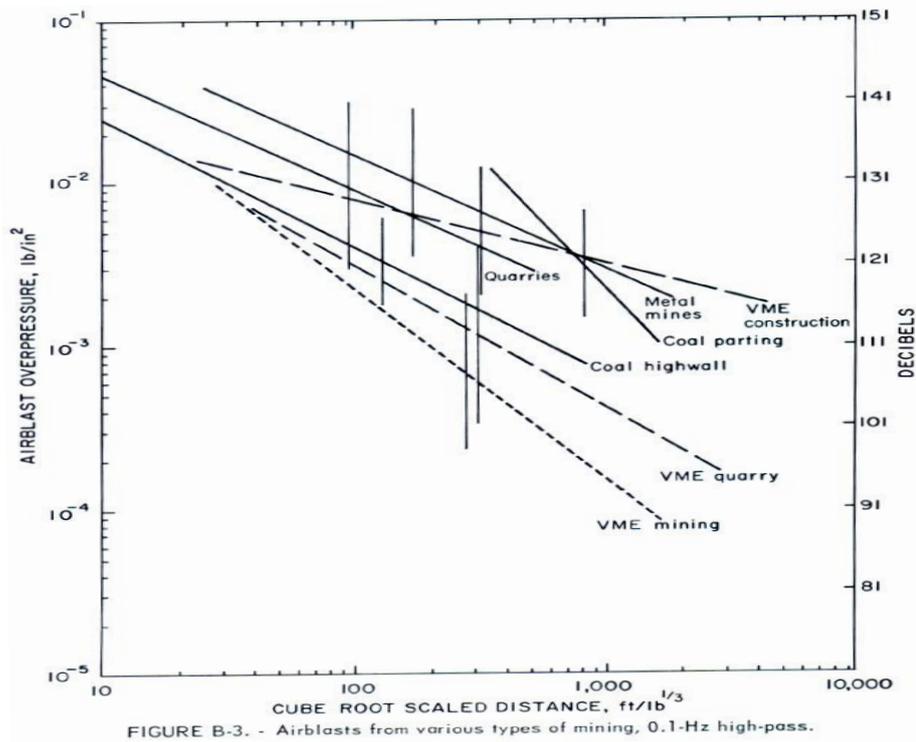


Figura 3 - Curve di decadimento delle onde di sovrappressione aerea indotte da varie tipologie di coltivazioni minerarie [Siskind, 1980].

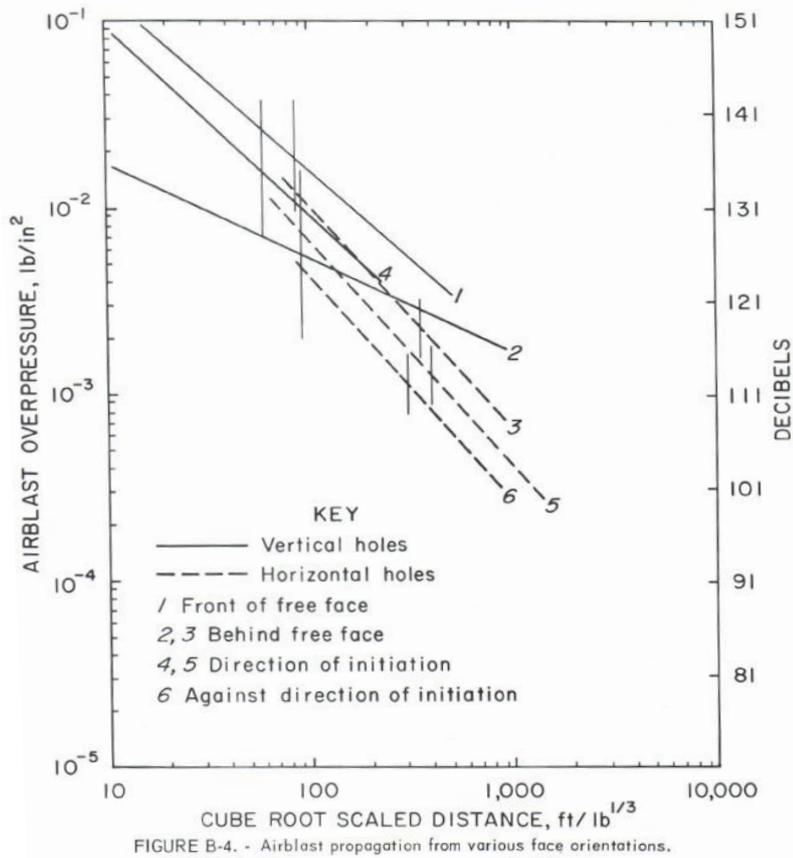


Figura 4 - Curve di decadimento delle onde di sovrappressione aerea indotte per varie orientazioni del fronte in coltivazioni a cielo aperto [Siskind, 1980]

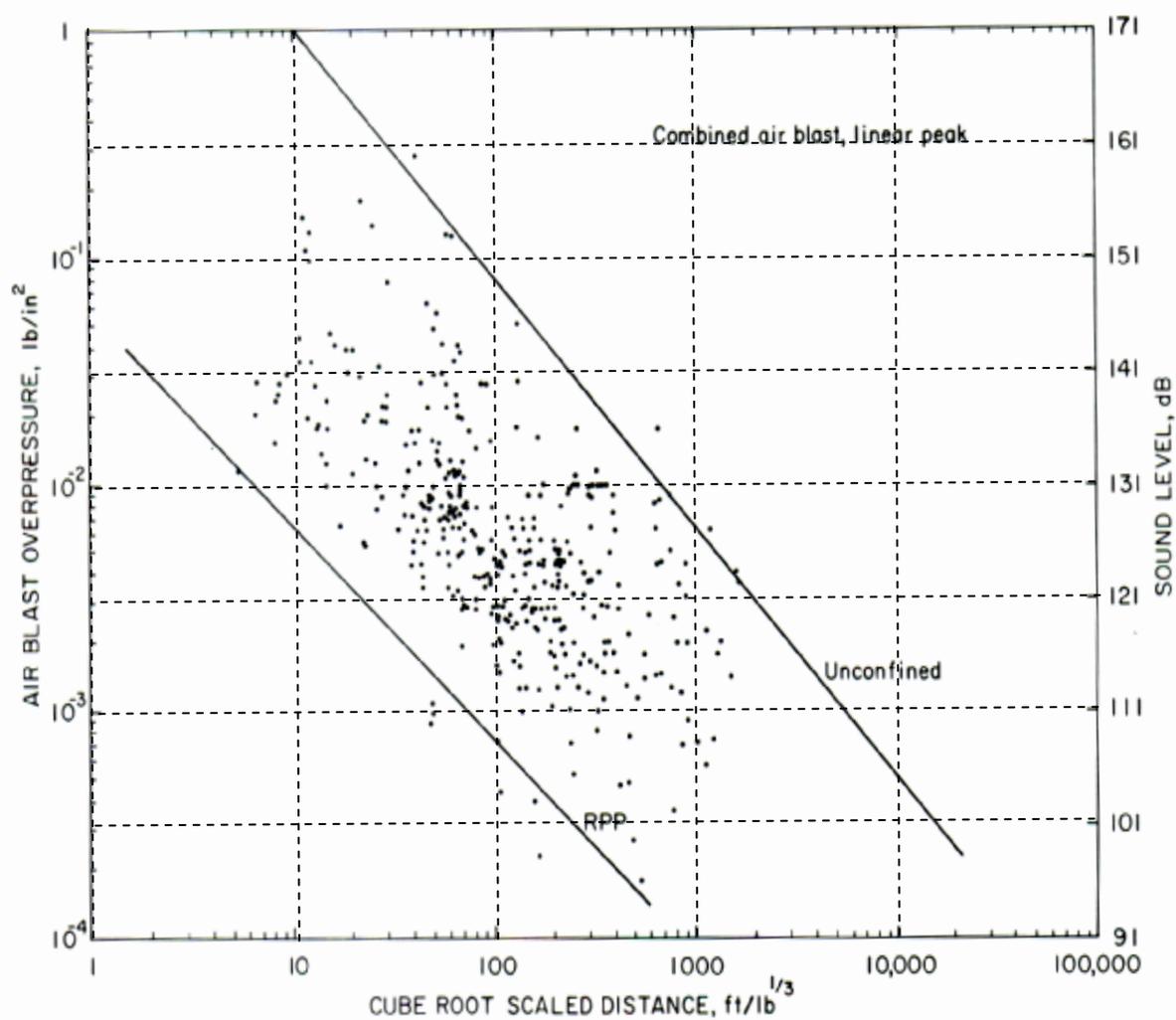


FIGURE B-5. - Combined airblast measurements, all sites.

Figura 5 - Ambito di variazione delle curve di decadimento delle onde di sovrappressione aerea indotte dal brillamento di cariche esplosive in vari tipi di coltivazioni minerarie [Siskind, 1980]

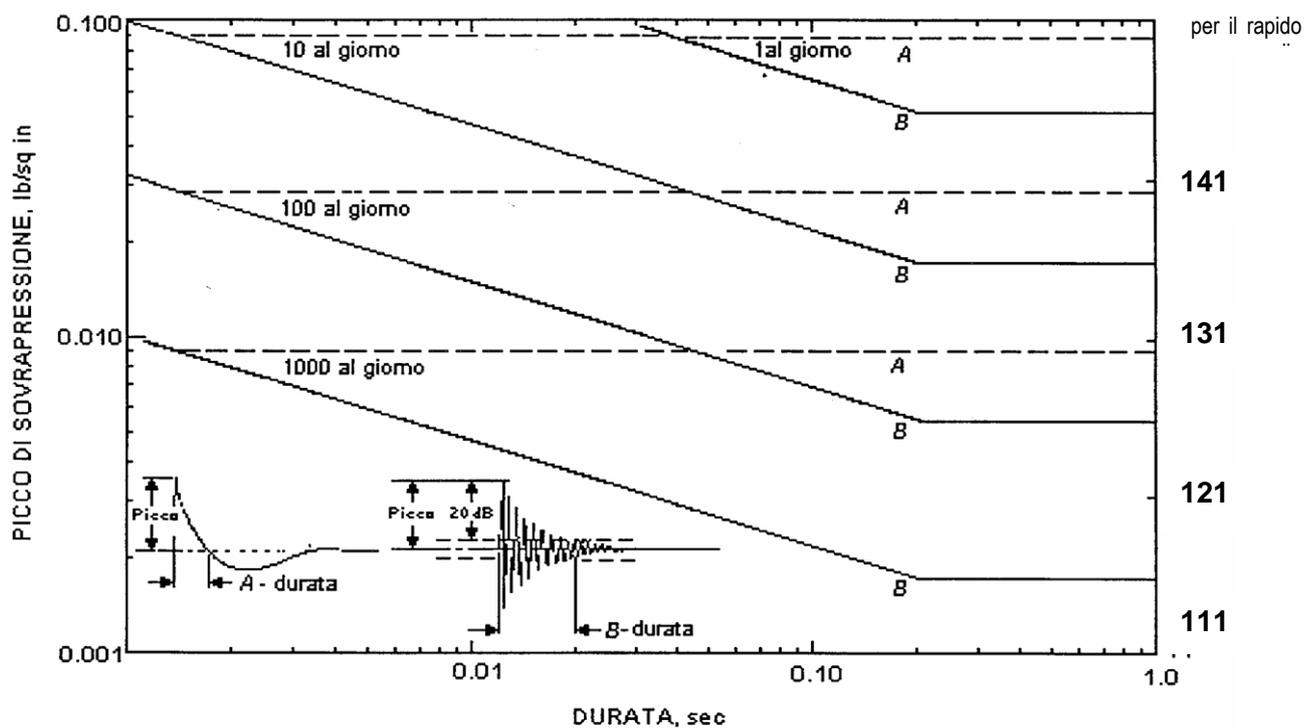


Figura 5 - Valori guida per la sopportabilità ai picchi di sovrappressione aerea come stabilito sperimentalmente dal CHBA *Committee on Hearing, Bioacustics and Biomechanics*, Washington D.C., USA [Siskind, 1980].

## Le ONDE DI SOVRAPPRESSIONE IN ACQUA

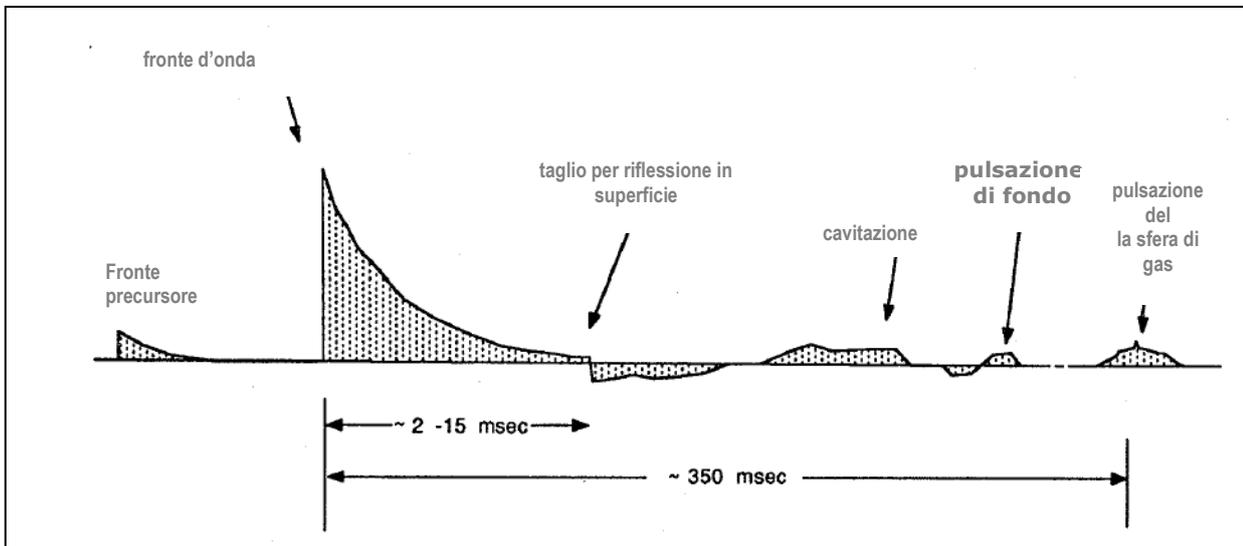
Parte dell'energia liberata dall'esplosione si disperde in acqua propagandosi come onda di sovrappressione. La frazione d'energia che si trasmette in acqua dipende dal confinamento della carica, ed è massima per esplosioni di cariche libere in acqua e distanti dal fondo.

Le sollecitazioni associate alle onde di sovrappressione in acqua determinano risentimento nei manufatti adiacenti.

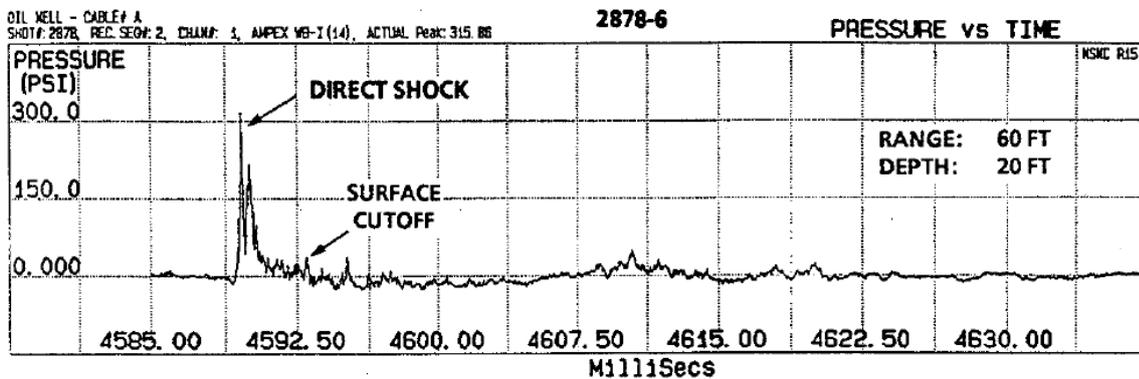
Per la verifica della sicurezza dei manufatti all'intorno, in carenza di una normativa specifica, possono essere calcolate le sollecitazioni e l'impulso prodotti dal brillamento mediante i grafici riportati nel seguito.

Per ridurre di circa le pressioni indotte su manufatti adiacenti può essere interposto un muro di bolle con rilascio di:

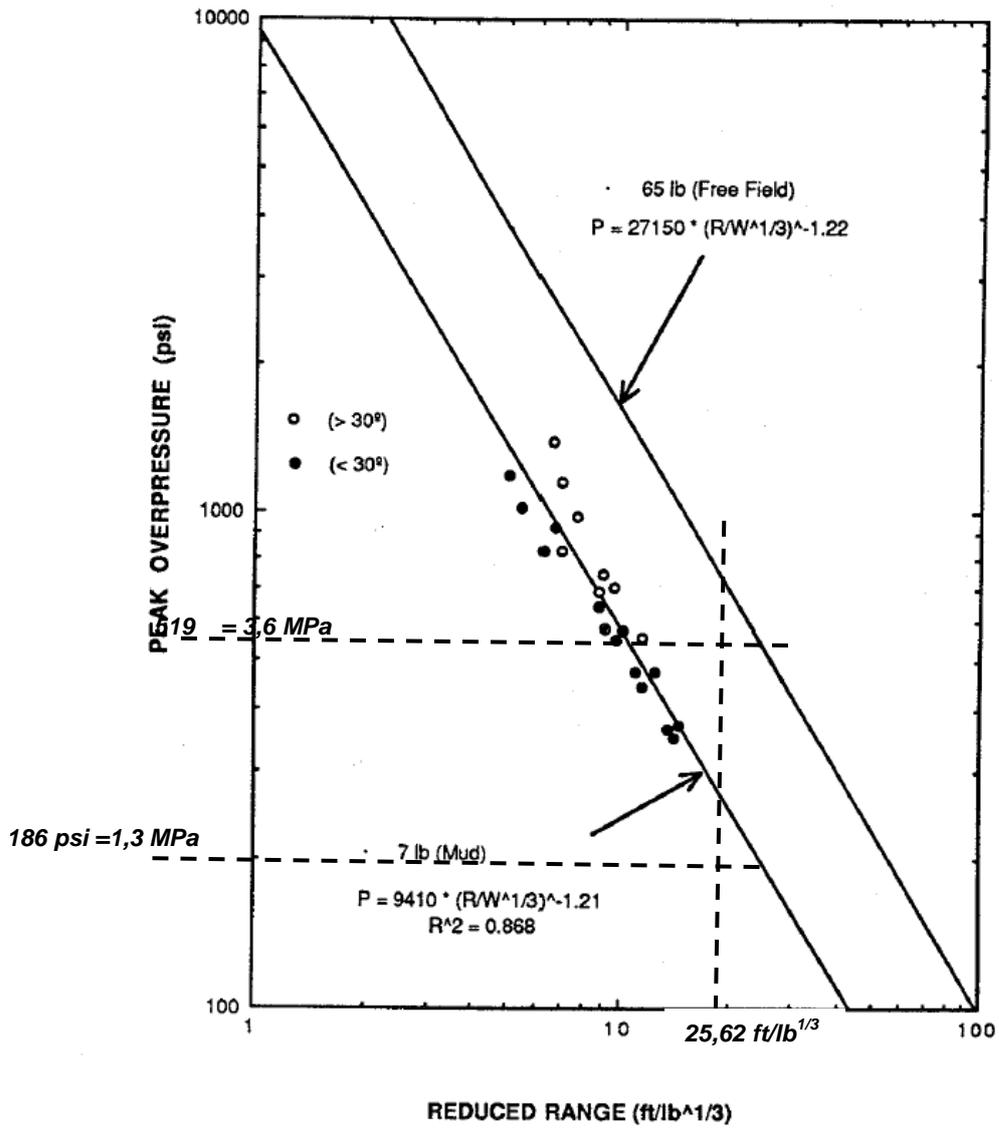
- 0,004 m<sup>3</sup>/s per metro lineare di tubo (riduzione delle sollecitazioni a circa 1/10);
- 0,008 m<sup>3</sup>/s per metro lineare di tubo (riduzione delle sollecitazioni a circa 1/40).



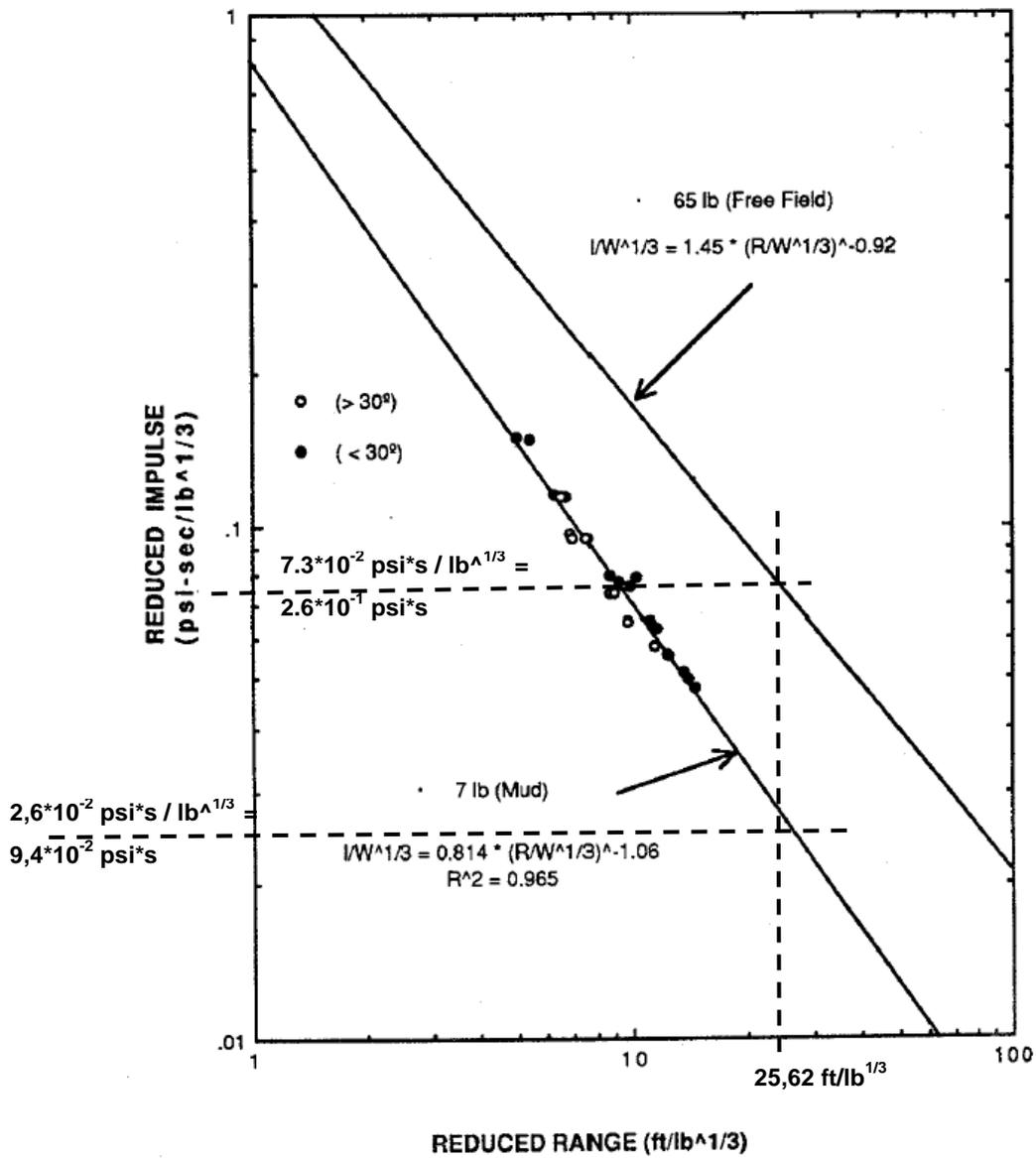
Schematica ricostruzione di un'onda di sovrappressione in acqua per esplosione di cariche.



Registrazione d'un'onda di sovrappressione in acqua per esplosione di cariche.

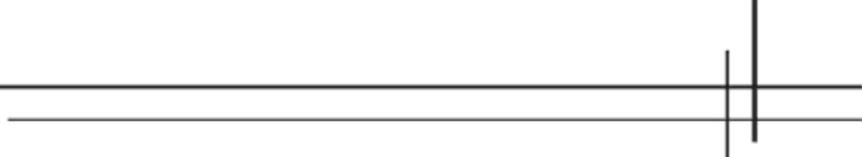


Picco di sovrappressione in acqua al variare della distanza scalata sul cubo della carica, conseguente alla detonazione in cariche di TNT eq. (4,52 MJ/kg), sia esplose a campo libero che confinate sotto il fondo del fango marino [Condor G. J.; "Underwater Blast Effects from explosive severance of offshore platform legs and well conductors"; NAVAal Surface Warfare Center TR 90-532, Maryland, USA, 1990].



Impulso scalato sul cubo della carica al variare della distanza scalata sul cubo della carica, conseguente alla detonazione in cariche di TNT eq. (4,52 MJ/kg), sia esplose a campo libero che confinate sotto il fondo del fango marino [Condor G. J.; "Underwater Blast Effects from explosive severance of offshore platform legs and well conductors"; NAVal Surface Warfare Center TR 90-532, Maryland, USA, 1990].

---



## **OTTIMIZZAZIONE DEI PARAMETRI DELLA VOLATA d'abbattimento mediante la MISURA DELLA SISMICITÀ INDOTTA - racc. NTX**

---

La volata d'abbattimento deve essere mirata all'ottenimento delle migliori condizioni di sicurezza, di efficienza tecnica ed economica.

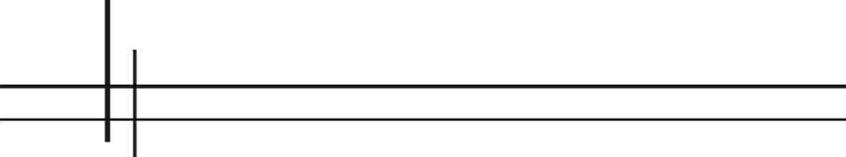
Per l'ottimizzazione è necessario effettuare, in modo reiterativo, progettazione, esecuzione, raccolta dati ed analisi tecnico-economica mediante intervento sui seguenti parametri:

- incidenza della perforazione (scelta del diametro di perforazione mirando alla riduzione della perforazione specifica, ...);
- pezzatura del marino (ricerca dell'ideale rapporto tra spalla pratica d'abbattimento ed interasse, ...);
- tempo di caricamento della volata (scelta del diametro di perforazione, del tipo di esplosivo e del sistema di caricamento, del numero di fori della volata, del numero di volate da far brillare all'anno, ...)
- sicurezza di esecuzione dell'abbattimento (minimizzazione del rumore, del lancio, delle vibrazioni, della retrofratturazione nell'ammasso roccioso - sovrascavi, ...);
- incidenza di esplosivi ed incendi (numero di trasporti, tipo rapporto costo-efficienza degli esplosivi, ...).

Per l'ottimizzazione dei parametri tecnico- economici di una volata d'abbattimento con brillamento sequenziale di più fori, soprattutto se su più file, è necessario disporre di informazioni precise sul lavoro effettuato dal singolo foro. Il controllo organolettico non consente una analisi approfondita, vista la rapidità della successione del brillamento, così che diviene necessaria la sua integrazione mediante controllo strumentale con riprese video ad alta velocità e monitoraggio sismico.

Per il controllo sismico è opportuno impiegare almeno tre stazioni di monitoraggio con registrazione digitale, equipaggiate ciascuna con trasduttore triassiale (x,y,z) di velocità di vibrazione per la misura delle componenti orizzontale radiale, orizzontale trasversale e verticale, e di un microfono per la misura della sovrappressione aerea.

Il primo punto di misura dovrebbe essere scelto a ridosso della volata (circa 5-10 m), in profondità nell'ammasso roccioso, non meno di un metro, così da minimizzare l'interferenza determinata dalla rifrazione sulla superficie libera delle onde sismiche. Nel caso di volate a cielo aperto con abbattimento a gradone è opportuno disporre di un GEOFONO FONDO FORO, contrastato alla pareti con doppio cuneo. In alternativa potrà essere utilizzato un geofono per misura in superficie, ammorsato al basamento roccioso con barre filettate così da non essere sbalzato per le elevate accelerazioni. Inoltre questo deve essere coperto con sacchi di sabbia sia per protezione meccanica che per la minimizzazione dell'"effetto microfono" (onda sismica apparente determinata dall'impatto dell'onda acustica sulla parete del geofono). L'acquisizione del segnale dovrà essere effettuata con frequenza di campionamento pari a non meno di 2 kHz /canale, in modo da poter distinguere con sufficiente definizione, i picchi dovuti al brillamento sequenziale di ciascuna carica, anche nel caso di successione ravvicinata di colpi (es. 25 ms).

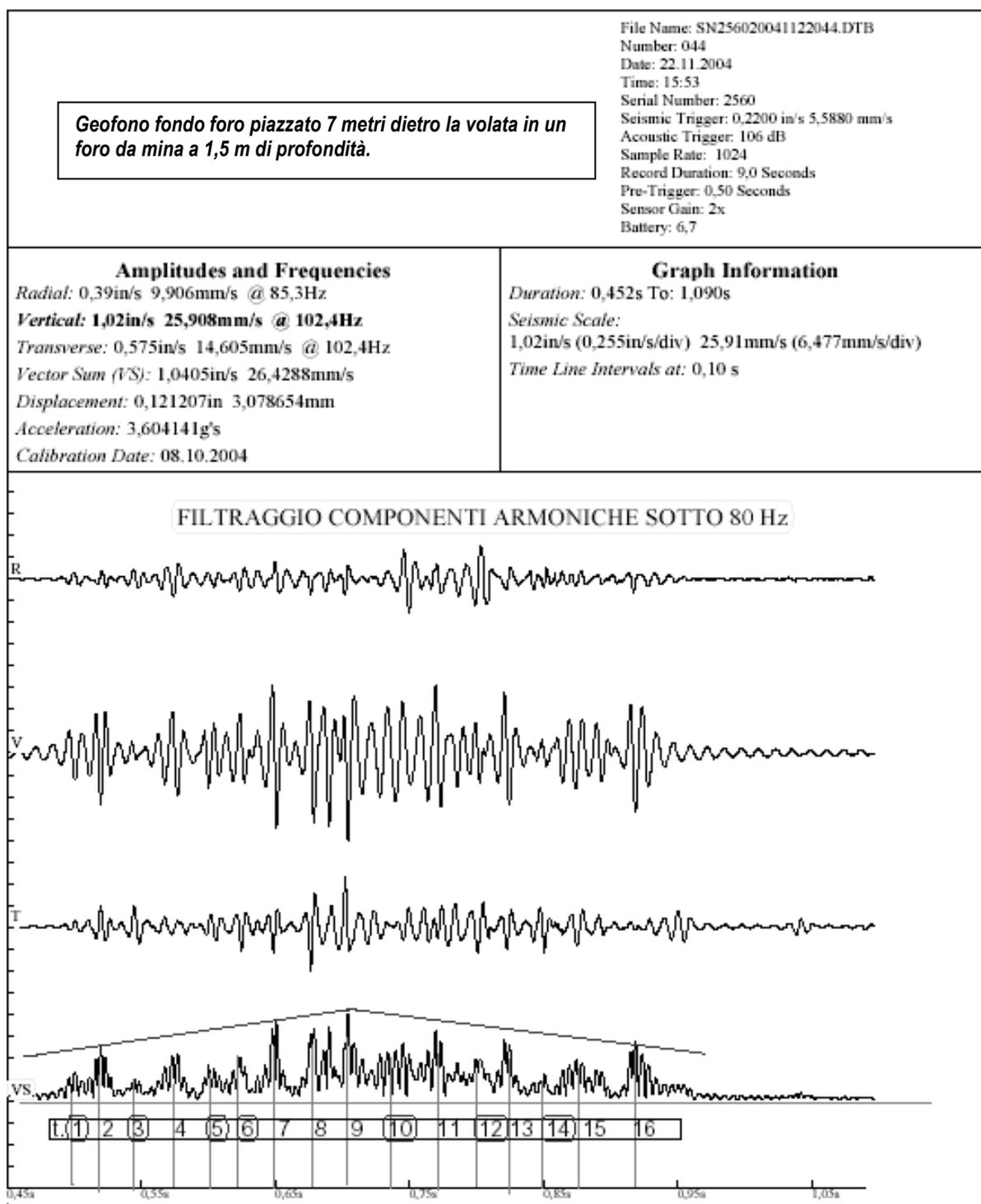


Il secondo punto di misura dovrebbe essere scelto ad una distanza pari a circa 2 volte la dimensione della volata in modo che sia ridotta, ma non eliminata del tutto, l'interferenza per l'effetto di scala della volata (es. per volata con gradone di 10 m, ed allineamento di 20 m, il punto di misura potrebbe essere scelto intorno a  $30 \div 50$  m dalla volata).

Il terzo punto di misura dovrebbe essere scelto ad una distanza pari a circa 5 volte la dimensione della volata in modo che venga eliminata l'interferenza per l'effetto di scala della volata (es. per volata con gradone di 10 m, ed allineamento di 20 m, il punto di misura potrebbe essere scelto intorno a  $80 \div 120$  m dalla volata).

Se possibile i vari punti di misura dovrebbero essere allineati e le misure dovrebbero essere sincronizzate (avvio della misura nelle tre stazioni comandato dal superamento della soglia di trigger nella stazione più vicina) in modo che sia possibile ottenere un buon livello di approssimazione nella stima dei parametri geomeccanici significativi dell'ammasso roccioso (modulo di elasticità della roccia in ammasso, indice di fratturazione della roccia in ammasso, ecc.).

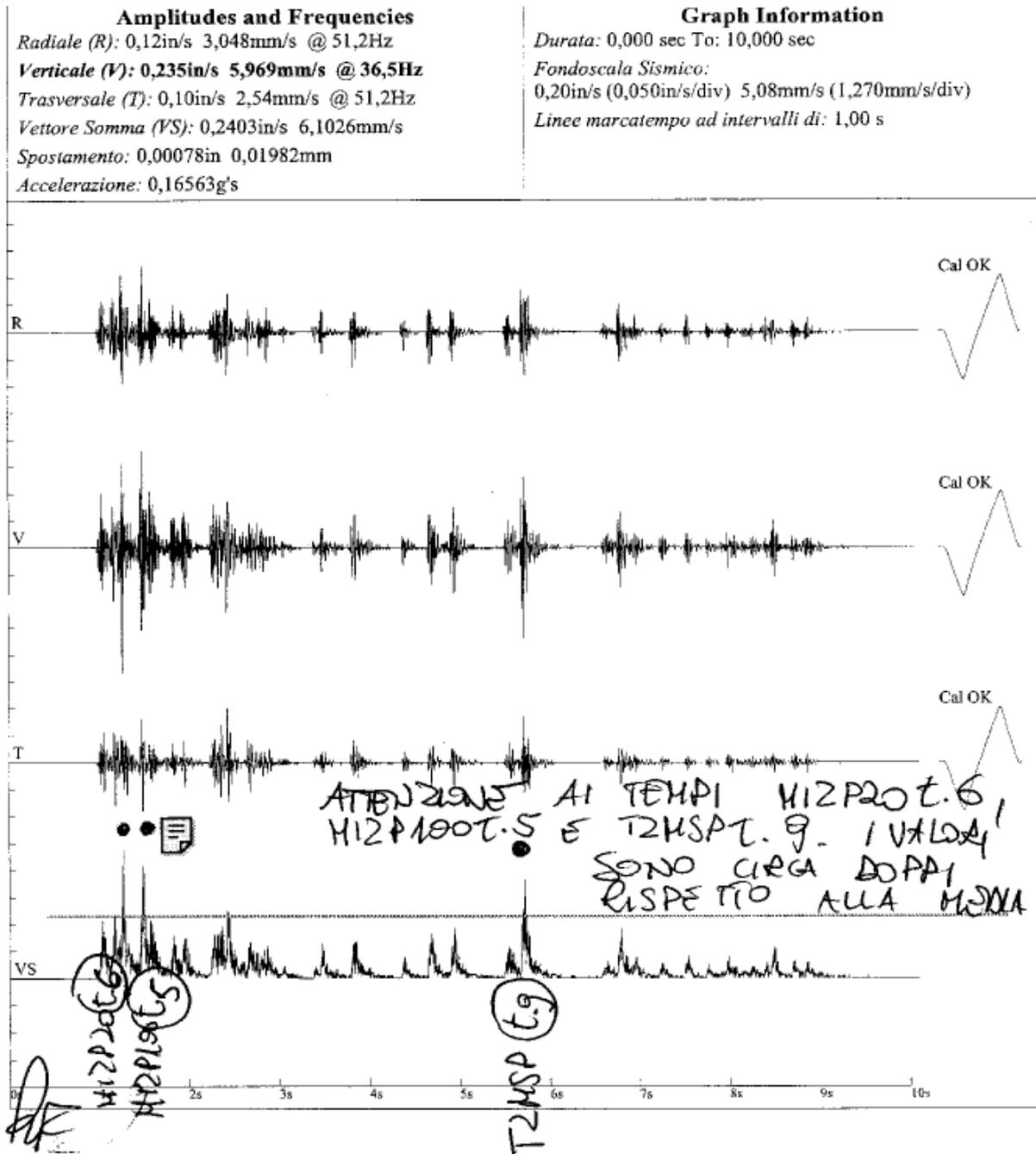
## Esempio d'analisi della sismicità indotta da ciascun foro d'abbattimento nelle volate a gradone



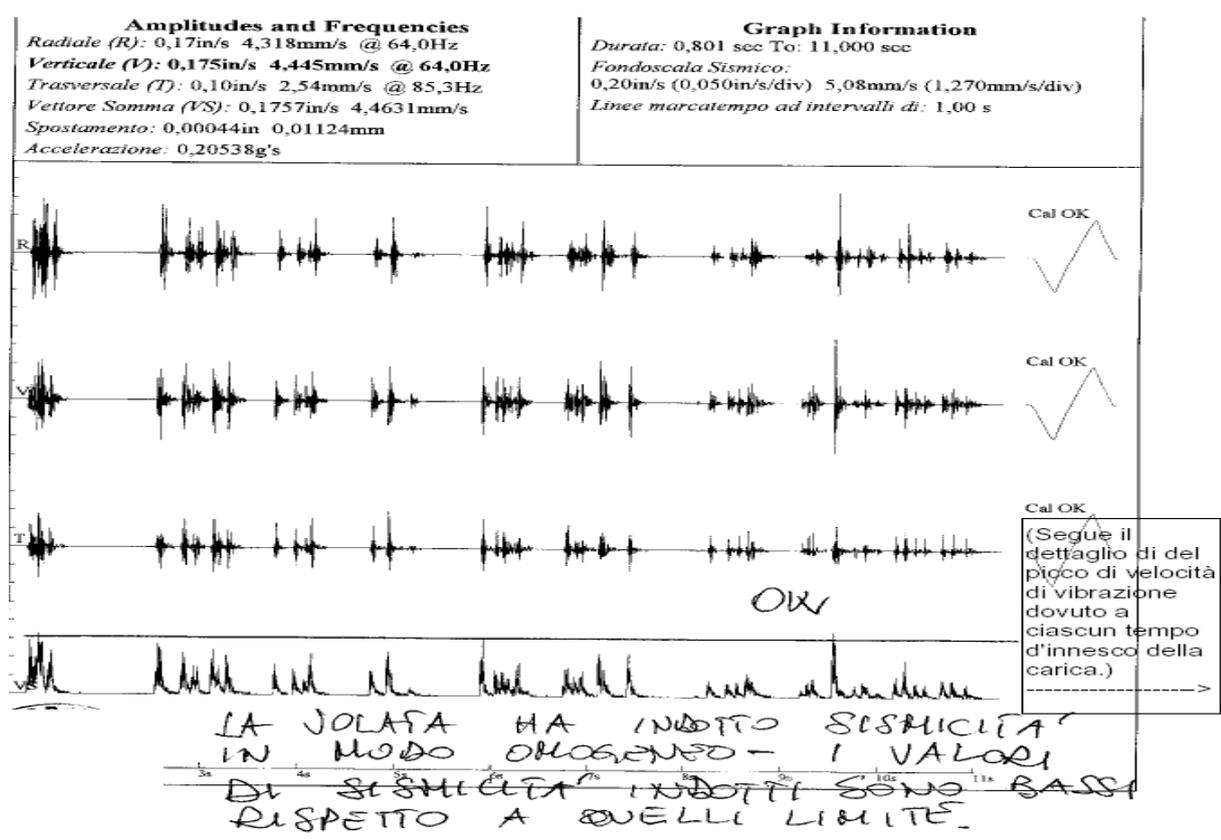
Dall'analisi del grafico si rileva che i fori brillati con tempo 1, 3, 5 e 6, 10, 12 e 14 hanno indotto minore energia sismica nell'ammasso roccioso rispetto a quella degli altri fori. Ne consegue che il volume di roccia abbattuto ha opposto minore resistenza (verosimilmente perché parte del volume d'influenza del foro è stato abbattuto dal foro precedente). L'energia rilasciata dall'esplosione non ha avuto, dunque, un impiego efficiente in quanto è stata utilizzata per abbattere un volume di roccia inferiore a quello che sarebbe stato possibile.

Dall'analisi di questa volata può essere dunque proposto l'aggiustamento della volata successiva con incremento dell'area d'influenza dei fori.

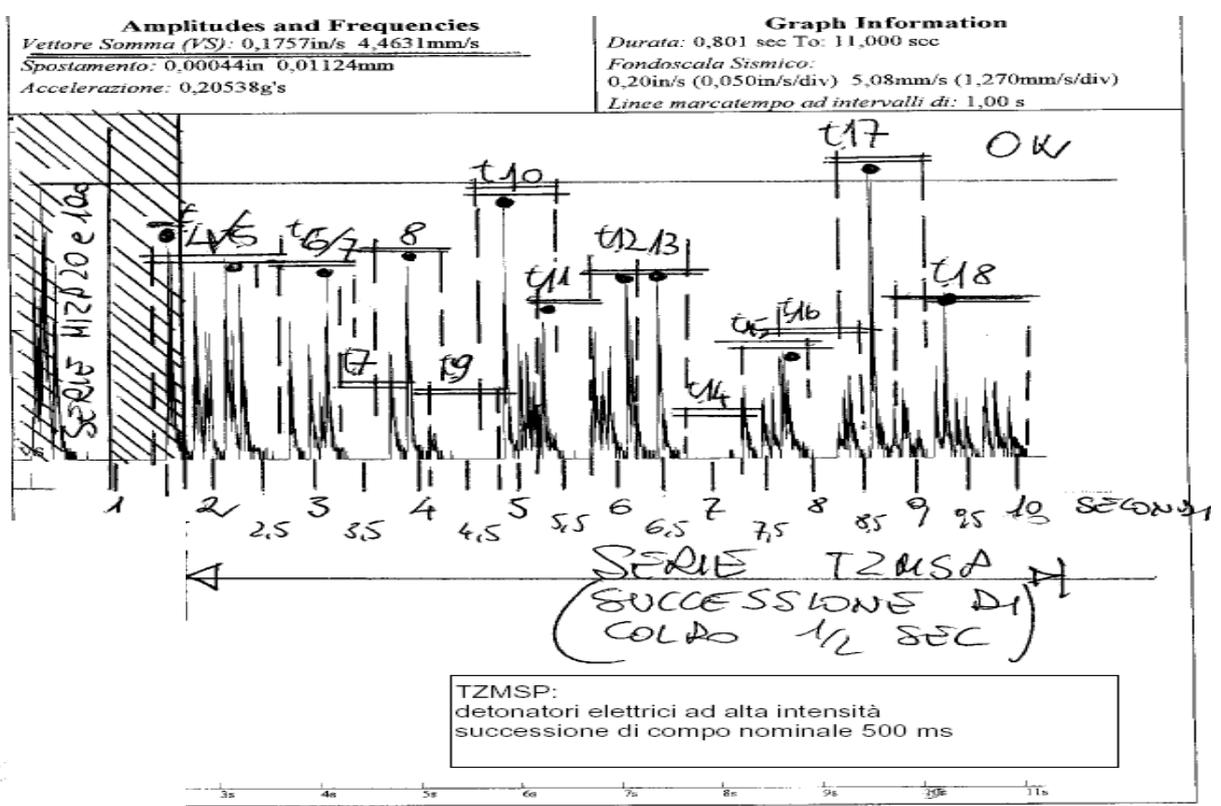
**Esempio d'analisi della sismicità indotta da ciascuna serie di fori d'abbattimento a foro cieco**



Dall'analisi del grafico si rileva che i fori brillati con tempo 6-serie 20 ms, 5-serie 100 ms e 9 - serie 500 ms hanno indotto nell'ammasso roccioso quasi il doppio di energia sismica rispetto a quella degli altri fori, quindi, fermo restando il rispetto dei valori limite di sicurezza e disagio, può essere aumentato il livello di sismicità medio indotto concentrando la carica in un minor numero di fori con carica maggiore (in modo da ridurre l'incidenza della perforazione ed il tempo di caricamento).



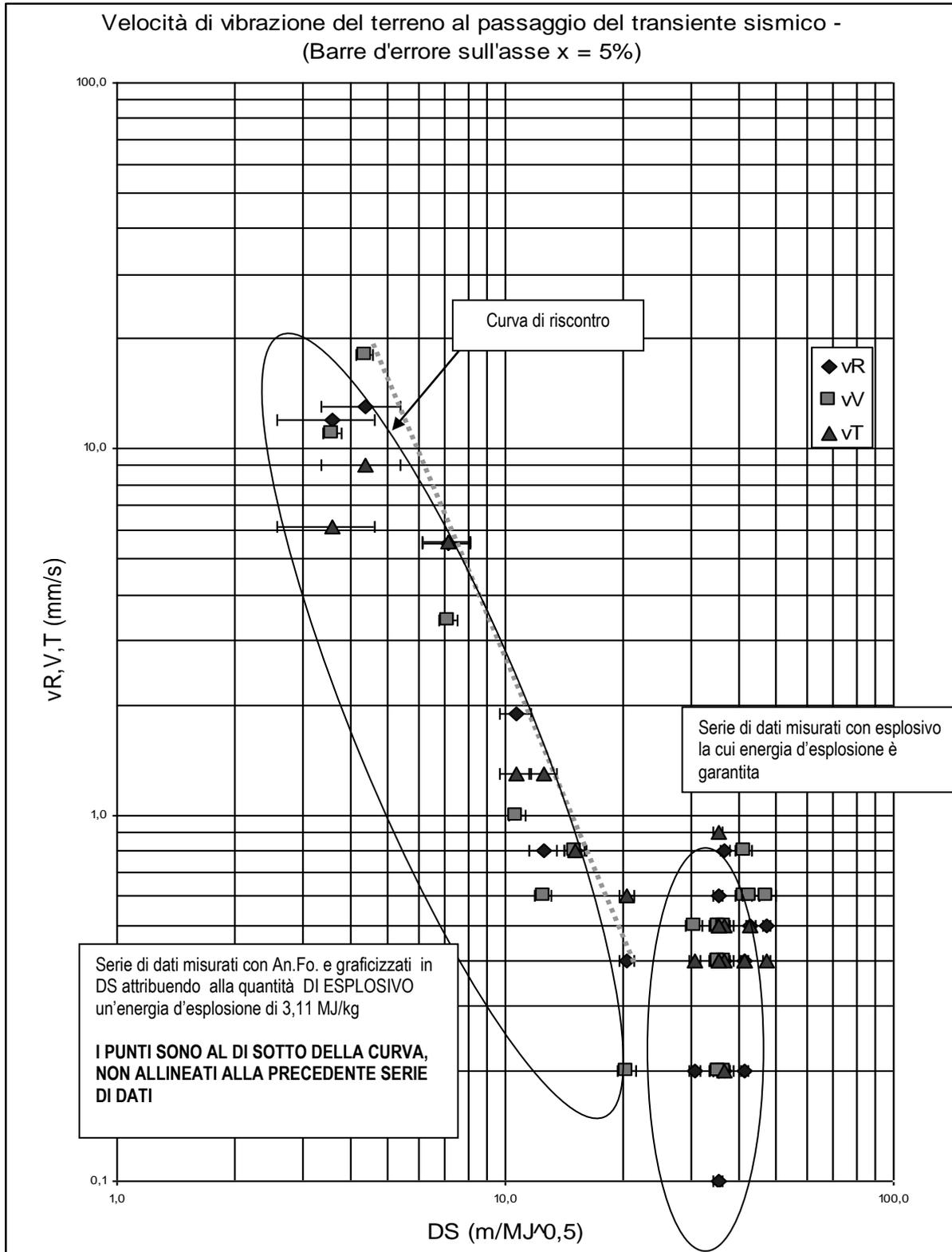
(...)



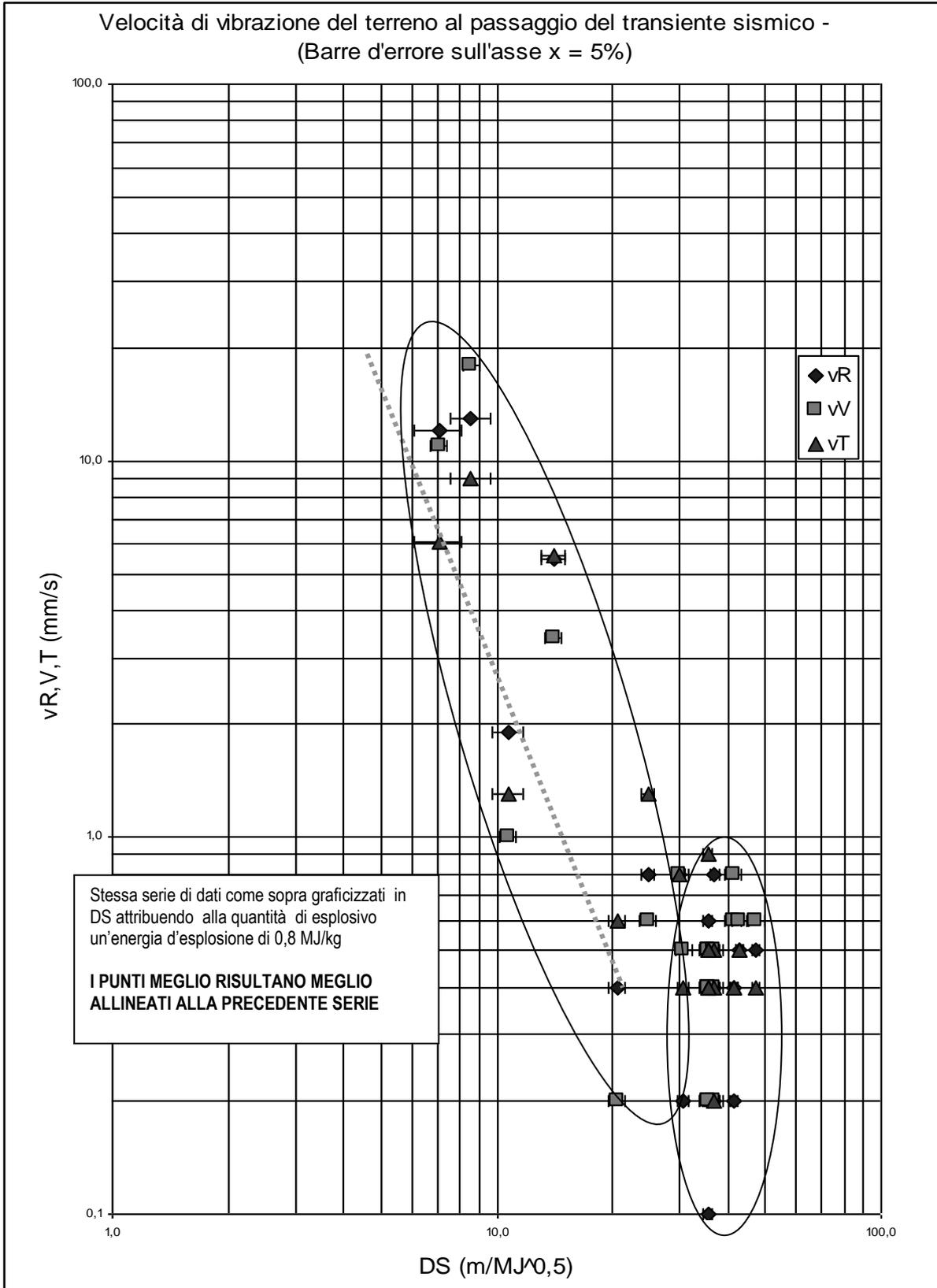
## Verifica della resa dell'An.Fo. - racc. NTX

OVVERO DELLA CARICA SPECIFICA D'ESPLOSIONE

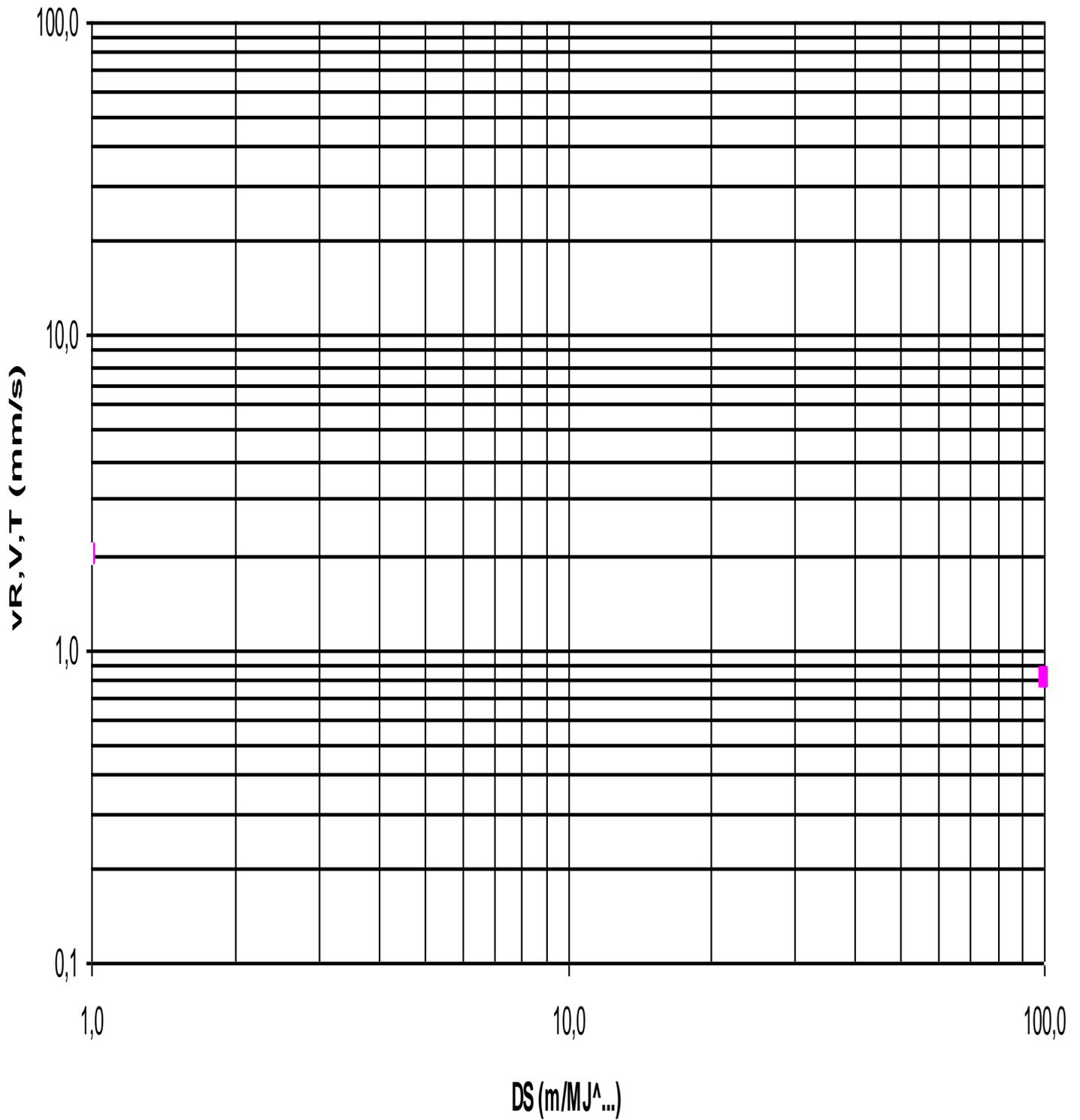
Nel seguente grafico bilogarithmico sono riportati i dati misurati attribuendo, al quantitativo di esplosivo utilizzato, una energia specifica di esplosione come quella da scheda tecnica = 3,11 MJ/kg.



Nel seguente grafico bilogarithmico sono riportati i dati misurati attribuendo, al quantitativo di esplosivo utilizzato, una energia specifica di esplosione pari a  $a = 0,8 \text{ MJ/kg}$ .

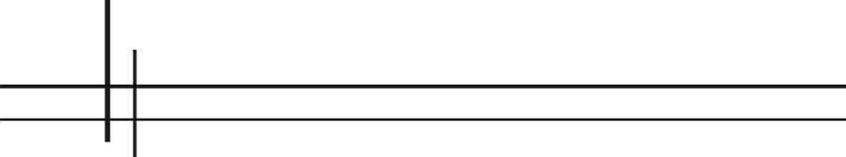


**PIANO BILOGARITMICO - modello**



## Raccolta dati per il RAPPORTO DI MISURA - modello DIN 4150-3

Rif.		
numerazione progressiva della misura		data / / orario :
valore di picco della componente della velocità		
orizzontale longitudinale mm/s	orizzontale trasversale mm/s	verticale mm/s
frequenza del valore di picco della componente orizzontale longitudinale della velocità		
orizzontale longitudinale Hz	orizzontale trasversale Hz	verticale Hz
intervallo temporale tra primo arrivo sismico e primo arrivo acustico ms		
durata del transiente sismico ms		
distanza dal punto di sparo / percorso sismico m		
quantità di esplosivo brillato in corrispondenza del valore di picco della componente		
orizzontale longitudinale kg	orizzontale trasversale kg	verticale kg
tipo di esplosivo brillato                      Energia specifica      MJ/kg		
descrizione del punto di misura e sua ubicazione		
Allegato <input type="checkbox"/>		
tipo e numero di serie del sismografo utilizzato per la misura		
schema di volata (es. tipo A, B, ecc.)		
Allegato <input type="checkbox"/>		
eventuali annotazioni		
Allegato <input type="checkbox"/>		



---

## **Informazioni che il RAPPORTO DI MONITORAGGIO deve contenere - racc. UNI 9916**

---

### **UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici"**

- Riferimento alla normativa.
- Oggetto dell'attività effettuata.
- Descrizione della struttura in studio.
- Descrizione degli eventuali danni rilevati.
- Finalità della ricerca.
- Data (o periodo) di esecuzione dell'attività.
- Nominativi dei responsabili dell'attività.
- Riferimento a documenti e norme applicabili per le singole attività.
- Descrizione della sorgente delle vibrazioni.
- Descrizione delle condizioni ambientali che possano avere influito sulle misurazioni effettuate.
- Misurazioni effettuate.
- Posizione e il tipo dei trasduttori utilizzati.
- Modalità di fissaggio dei trasduttori.
- Criteri e modalità di acquisizione dei dati.
- Criteri e modalità di elaborazione dei dati.
- Descrizione delle catene di acquisizione ed elaborazione dei dati.
- Valutazione del rumore di fondo.
- Valutazione degli errori.
- Valutazione dell'incertezza della misura.
- Risultati ottenuti.
- Giudizio conclusivo.

---

## **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

---

Baker Wilfred E.; EXPLOSION IN AIR; University of Texas Press, Austin, London, 1973.

Dowding C.; BLAST VIBRATION MONITORING AND CONTROL; Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, NJ 07632, 1985.

Goldmann D.E. A REVIEW OF SUBJECTIVE RESPONSE TO VIBRATION MOTION OF THE HUMAN BODY IN THE FREQUENCY RANGE OF 1 TO 70 CPS" Naval Medical Res. Inst. Rept. N. 1, Project VM 004001, 1948.

Harris C. M. SCHOCK AND VIBRATION HANDBOOK; McGraw Hill, 1995.

Held M.; BLAST WAVE IN FREE AIR; Propellants, Explosives, Pyrotechnics 8, 158, 1983.

Hoeck E., Bray J. W.: ROCK SLOPE ENGINEERING; ed. Institute of Mining and Metallurgy, London 1977.

Kolsky H.; STRESS WAVES IN SOLIDS; Dover Publ. Inc, New York, 1963.

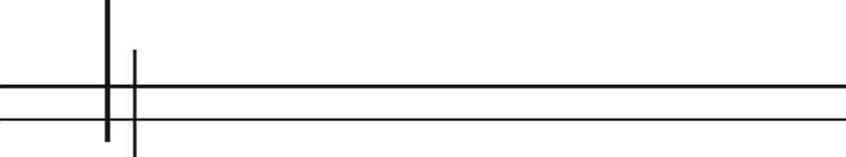
Melnicov: SAFETY IN OPEN CAST MINING; ed. MIR 1974.

Lama R. O., Vutukuri V. S. HANDBOOK ON MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS; Trans Tech. Publications, Vol II, 1978.

Oriard Lewis L.; THE EFFECTS OF VIBRATIONS AND ENVIRONMENTAL FORCES - A GUIDE FOR INVESTIGATION OF STRUCTURES, ISEE, 1999.

Siskind D. E., Stachura V. J., Stagg M. S., Kopp J. K.: STRUCTURE RESPONSE AND DAMAGE PRODUCED BY AIRBLAST FROM SURFACE MINING; ed. USBM RI 8485 1980.

NOMIS, WinNomis 2003; Manuale dell'utente, 2003.



## RIFERIMENTI LEGISLATIVI

---

- L.R. 8.8.1998 n. 14; “Nuove norme per la disciplina della coltivazione di sostanze minerali di cava”.
- D.G.R. 25.1.2002 - n. 7/7857; “Determinazione dei criteri e delle modalità per l’esercizio delle funzioni delegate di cui al 1° comma dell’art. 42 della L.R. 8.8.1998 n. 14 “Nuove norme per la disciplina della coltivazione di sostanze minerali di cava”.

**DECRETO LEGISLATIVO 19 agosto 2005, n.187 “Attuazione della direttiva 2002/44/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti da vibrazioni meccaniche.**

...

...

...

# DECRETO LEGISLATIVO 19 agosto 2005, n. 187 recante: «Attuazione della direttiva 2002/44/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti da vibrazioni meccaniche»

Ripubblicazione corredata delle relative note ai sensi dell'art. 8.3, del regolamento di esecuzione del testo unico delle disposizioni sulla promulgazione delle leggi, sulla emanazione dei decreti del Presidente della Repubblica e sulle pubblicazioni ufficiali della Repubblica italiana, approvato con decreto del Presidente della Repubblica 14 marzo 1986, n. 217. (Testo in vigore dal 6.10.2005)

## IL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA

Visti gli articoli 76 e 87 della Costituzione;  
Vista la legge 31 ottobre 2003, n. 306 (legge comunitaria 2003);  
Vista la direttiva 2002/44/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 giugno 2002, relativa alle prescrizioni minime di sicurezza e salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (vibrazioni);  
Visto il D. Lgs. 626/94, e successive modificazioni;  
Vista la preliminare deliberazione del Consiglio dei Ministri, adottata nella riunione del 20 maggio 2005;  
Acquisito il parere della Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano;  
Acquisiti i pareri delle competenti commissioni della Camera dei deputati e del Senato della Repubblica;  
Vista la deliberazione del Consiglio dei Ministri, adottata nella riunione del 29 luglio 2005;  
Sulla proposta del Ministro per le politiche comunitarie e del Ministro del lavoro e delle politiche sociali, di concerto con i Ministri degli affari esteri, della giustizia, dell'economia e delle finanze, della salute, delle attività produttive, per gli affari regionali e per la funzione pubblica;

E M A N A il seguente decreto legislativo:

### Art. 1. - Campo di applicazione

1. Fermo restando quanto previsto dal D. Lgs. 626/94, il presente decreto legislativo prescrive le misure per la tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori che sono esposti o possono essere esposti a rischi derivanti da vibrazioni meccaniche.
2. Nei riguardi dei soggetti indicati all'articolo 1.2, del D. Lgs. 626/94, le disposizioni del presente decreto sono applicate tenuto conto delle particolari esigenze connesse al servizio espletato individuate con il provvedimento di cui al medesimo articolo 1.2.

### Art. 2. - Definizioni

1. Ai fini del presente decreto legislativo, si intende per:
- a) vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio: le vibrazioni meccaniche che, se trasmesse al sistema mano-braccio nell'uomo, comportano un rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare disturbi vascolari, osteoarticolari, neurologici o muscolari;
  - b) vibrazioni trasmesse al corpo intero: le vibrazioni meccaniche che, se trasmesse al corpo intero, comportano rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare lombalgie e traumi del rachide.

### Art. 3. - Valori limite di esposizione e valori di azione

1. Per le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio:
- a) il valore limite di esposizione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, è fissato a 5 m/s<sup>2</sup>;
  - b) il valore d'azione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, che fa scattare l'azione è fissato a 2,5 m/s<sup>2</sup>.
2. Per le vibrazioni trasmesse al corpo intero:
- a) il valore limite di esposizione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, è fissato a 1,15 m/s<sup>2</sup>;

- b) il valore d'azione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, è fissato a 0,5 m/s<sup>2</sup>.

### Art. 4. - Valutazione dei rischi

1. Nell'assolvere gli obblighi stabiliti dall'articolo 4 del D. Lgs. 626/94, il datore di lavoro valuta e, nel caso non siano disponibili informazioni relative ai livelli di vibrazione presso banche dati dell'ISPESL, delle regioni o del CNR o direttamente presso i produttori o fornitori, misura i livelli di vibrazioni meccaniche a cui i lavoratori sono esposti.
2. L'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio è valutata o misurata in base alle disposizioni di cui all'allegato I, parte A.
3. L'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni trasmesse al corpo intero è valutata o misurata in base alle disposizioni di cui all'allegato I, parte B.
4. Il livello di esposizione alle vibrazioni meccaniche può essere valutato mediante l'osservazione delle condizioni di lavoro specifiche e il riferimento ad appropriate informazioni sulla probabile entità delle vibrazioni per le attrezzature o i tipi di attrezzature in particolari condizioni di uso, incluse le informazioni fornite in materia dal costruttore delle attrezzature. Questa operazione va distinta dalla misurazione, che richiede l'impiego di attrezzature specifiche e di una metodologia appropriata.
5. La valutazione e la misurazione di cui al comma 1 devono essere programmate ed effettuate a intervalli idonei sulla base di quanto emerso dalla valutazione del rischio da personale adeguatamente qualificato nell'ambito del servizio di cui all'articolo 8 del D. Lgs. 626/94, e i relativi risultati devono essere riportati nel documento di cui all'articolo 4.2, del medesimo decreto.
6. Ai fini della valutazione di cui al comma 1, il datore di lavoro tiene conto, in particolare, dei seguenti elementi:
  - a) il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, ivi inclusa ogni esposizione a vibrazioni intermittenti o a urti ripetuti;
  - b) i valori limite di esposizione e i valori d'azione specificati nell'articolo 3;
  - c) gli eventuali effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio;
  - d) gli eventuali effetti indiretti sulla sicurezza dei lavoratori risultanti da interazioni tra le vibrazioni meccaniche e l'ambiente di lavoro o altre attrezzature;
  - e) le informazioni fornite dal costruttore dell'attrezzatura di lavoro;
  - f) l'esistenza di attrezzature alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione alle vibrazioni meccaniche;
  - g) il prolungamento del periodo di esposizione a vibrazioni trasmesse al corpo intero al di là delle ore lavorative, in locali di cui è responsabile;
  - h) condizioni di lavoro particolari, come le basse temperature;
  - i) informazioni raccolte dalla sorveglianza sanitaria, comprese, per quanto possibile, quelle reperibili nella letteratura scientifica.

7. La valutazione dei rischi deve essere documentata conformemente all'articolo 4 del D. Lgs. 626/94, e include la giustificazione che la natura e l'entità dei rischi connessi con le vibrazioni meccaniche rendono non necessaria una valutazione maggiormente dettagliata dei rischi.

8. Il datore di lavoro aggiorna la valutazione dei rischi periodicamente, e in ogni caso senza ritardo se vi sono stati significativi mutamenti ai fini della sicurezza e della salute dei lavoratori che potrebbero averla resa superata, oppure quando i risultati della sorveglianza sanitaria ne richiedano la necessità.

#### **Art. 5. - Misure di prevenzione e protezione**

1. Fermo restando quanto previsto dall'articolo 3 del D. Lgs. 626/94, il datore di lavoro elimina i rischi alla fonte o li riduce al minimo e, in ogni caso, a livelli non superiori ai valori limite di esposizione.

2. In base alla valutazione dei rischi di cui all'articolo 4, quando sono superati i valori d'azione, il datore di lavoro elabora e applica un programma di misure tecniche o organizzative, volte a ridurre al minimo l'esposizione e i rischi che ne conseguono, considerando in particolare quanto segue:

- a) altri metodi di lavoro che richiedono una minore esposizione a vibrazioni meccaniche;
- b) la scelta di attrezzature di lavoro adeguate concepite nel rispetto dei principi ergonomici e che producono, tenuto conto del lavoro da svolgere, il minor livello possibile di vibrazioni;
- c) la fornitura di attrezzature accessorie per ridurre i rischi di lesioni provocate dalle vibrazioni, quali sedili che attenuano efficacemente le vibrazioni trasmesse al corpo intero e maniglie o guanti che attenuano la vibrazione trasmessa al sistema manobraccio;
- d) adeguati programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, del luogo di lavoro e dei sistemi sul luogo di lavoro;
- e) la progettazione e l'organizzazione dei luoghi e dei posti di lavoro;
- f) l'adeguata informazione e formazione dei lavoratori sull'uso corretto e sicuro delle attrezzature di lavoro, in modo da ridurre al minimo la loro esposizione a vibrazioni meccaniche;
- g) la limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione;
- h) l'organizzazione di orari di lavoro appropriati, con adeguati periodi di riposo;
- i) la fornitura, ai lavoratori esposti, di indumenti per la protezione dal freddo e dall'umidità.

3. Se, nonostante le misure adottate, il valore limite di esposizione è stato superato, il datore di lavoro prende misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto di tale valore, individua le cause del superamento e adatta di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

#### **Art. 6. - Informazione e formazione dei lavoratori**

1. Nell'ambito degli obblighi di cui agli articoli 21 e 22 del D. Lgs. 626/94, il datore di lavoro garantisce che i lavoratori esposti a rischi derivanti da vibrazioni meccaniche sul luogo di lavoro ricevano informazioni e una formazione adeguata sulla base della valutazione dei rischi di cui all'articolo 4, con particolare riguardo:

- a) alle misure adottate volte a eliminare o a ridurre al minimo i rischi derivanti dalle vibrazioni meccaniche;
- b) ai valori limite di esposizione e ai valori d'azione;
- c) ai risultati delle valutazioni e misurazioni delle vibrazioni meccaniche effettuate in applicazione dell'articolo 4 e alle potenziali lesioni derivanti dalle attrezzature di lavoro utilizzate;
- d) all'utilità e al modo di individuare e di segnalare sintomi di lesioni;

e) alle circostanze nelle quali i lavoratori hanno diritto a una sorveglianza sanitaria;

f) alle procedure di lavoro sicure per ridurre al minimo l'esposizione a vibrazioni meccaniche.

#### **Art. 7. - Sorveglianza sanitaria**

1. I lavoratori esposti a livelli di vibrazioni superiori ai valori d'azione sono sottoposti alla sorveglianza sanitaria di cui all'articolo 16 del D. Lgs. 626/94. La sorveglianza viene effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno o con periodicità diversa decisa dal medico competente con adeguata motivazione riportata nel documento di valutazione dei rischi e resa nota ai rappresentanti per la sicurezza di lavoratori in funzione della valutazione del rischio. L'organo di vigilanza, con provvedimento motivato può disporre contenuti e periodicità della sorveglianza sanitaria diversi rispetto a quelli forniti dal medico competente.

2. I lavoratori esposti a vibrazioni sono altresì sottoposti alla sorveglianza sanitaria di cui all'articolo 16 del citato decreto legislativo n. 626 del 1994, quando, secondo il medico competente, si verificano congiuntamente le seguenti condizioni: l'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni è tale da rendere possibile l'individuazione di un nesso tra l'esposizione in questione e una malattia identificabile o ad effetti nocivi per la salute ed è probabile che la malattia o gli effetti sopraggiungano nelle particolari condizioni di lavoro del lavoratore ed esistono tecniche sperimentate che consentono di individuare la malattia o gli effetti nocivi per la salute.

3. Nel caso in cui la sorveglianza sanitaria riveli, in un lavoratore, l'esistenza di anomalie imputabili ad esposizione a vibrazioni, il medico competente informa il datore di lavoro di tutti i dati significativi emersi dalla sorveglianza sanitaria tenendo conto del segreto medico.

4. Nel caso di cui al comma 3, il datore di lavoro:

- a) sottopone a revisione la valutazione dei rischi effettuata a norma dell'articolo 4;
- b) sottopone a revisione le misure predisposte per eliminare o ridurre i rischi;
- c) tiene conto del parere del medico competente nell'attuazione delle misure necessarie per eliminare o ridurre il rischio;
- d) prende le misure affinché sia effettuata una visita medica straordinaria per tutti gli altri lavoratori che hanno subito un'esposizione simile.

#### **Art. 8. - Cartelle sanitarie e di rischio**

1. Il medico competente, per ciascuno dei lavoratori di cui all'articolo 7, provvede ad istituire e aggiornare una cartella sanitaria e di rischio, secondo quanto previsto dall'articolo 17.1.d), del D. Lgs. 626/94. Nella cartella sono, tra l'altro, riportati i valori di esposizione individuali comunicati dal datore di lavoro per il tramite del servizio di prevenzione e protezione.

#### **Art. 9. - Deroghe**

1. Nei settori della navigazione marittima e aerea, il datore di lavoro, in circostanze debitamente giustificate, può richiedere la deroga, limitatamente al rispetto dei valori limite di esposizione per il corpo intero qualora, tenuto conto della tecnica e delle caratteristiche specifiche dei luoghi di lavoro, non sia possibile rispettare tale valore limite nonostante le misure tecniche e organizzative messe in atto.

2. Nel caso di attività lavorative in cui l'esposizione di un lavoratore alle vibrazioni meccaniche è abitualmente inferiore

ai valori di azione, ma varia sensibilmente da un momento all'altro e può occasionalmente superare il valore limite di esposizione, il datore di lavoro può richiedere la deroga al rispetto dei valori limite a condizione che il valore medio dell'esposizione calcolata su un periodo di 40 ore sia inferiore al valore limite di esposizione e si dimostri, con elementi probanti, che i rischi derivanti dal tipo di esposizione cui è sottoposto il lavoratore sono inferiori a quelli derivanti da un livello di esposizione corrispondente al valore limite.

3. Le deroghe di cui ai commi 1 e 2 sono concesse, per un periodo massimo di quattro anni, dall'organo di vigilanza territorialmente competente che provvede anche a darne comunicazione, specificando le ragioni e le circostanze che hanno consentito la concessione delle stesse, al Ministero del lavoro e delle politiche sociali. Le deroghe sono rinnovabili e possono essere revocate quando vengono meno le circostanze che le hanno giustificate.

4. La concessione delle deroghe di cui ai commi 1 e 2 è condizionata all'intensificazione della sorveglianza sanitaria.

5. Il Ministero del lavoro e delle politiche sociali trasmette ogni quattro anni alla Commissione della Unione europea un prospetto dal quale emergano circostanze e motivi delle deroghe concesse ai sensi del presente articolo.

#### **Art. 10. - Adeguaenti normativi**

1. Con decreto dei Ministri del lavoro e delle politiche sociali e della salute d'intesa con la Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e Bolzano, si provvede all'aggiornamento dell'allegato I che si renda necessario a seguito di modifiche delle direttive comunitarie.

#### **Art. 11. - Clausola di cedevolezza**

1. In relazione a quanto disposto dall'articolo 117, quinto comma, della Costituzione le norme del presente decreto afferenti a materie di competenza legislativa delle regioni e delle province autonome di Trento e di Bolzano, che non abbiano ancora provveduto al recepimento della direttiva 2002/44/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 giugno 2002, si applicano fino alla data di entrata in vigore della normativa di attuazione di ciascuna regione e provincia autonoma, nel rispetto dei vincoli derivanti dall'ordinamento comunitario e dei principi fondamentali desumibili dal presente decreto.

#### **Art. 12. - Sanzioni**

1. Il datore di lavoro è punito con l'arresto da tre a sei mesi o con l'ammenda da euro 1.500 a euro 4.000 per la violazione dell'articolo 4, commi 1, 7 e 8, e dell'articolo 7.4.a) e b).

2. Il datore di lavoro e il dirigente sono puniti con l'arresto da tre a sei mesi o con l'ammenda da euro 1.500 a euro 4.000 per la violazione dell'articolo 4, commi 2, 3, 5 e 6, e dell'articolo 5, comma 2.

3. Il medico competente è punito con l'arresto fino a due mesi o con l'ammenda da euro 500 a euro 3.000 per la violazione dell'articolo 7.3.

#### **Art. 13. - Entrata in vigore ed abrogazioni**

1. Gli obblighi di misurazione e valutazione di cui all'articolo 4 del presente decreto decorrono dalla data del 1° gennaio 2006.

2. In caso di attrezzature di lavoro messe a disposizione dei lavoratori anteriormente al 6 luglio 2007 e che non permettono il rispetto dei valori limite di esposizione tenuto conto del progresso tecnico e delle misure organizzative messe in atto, l'obbligo del rispetto dei valori limite di esposizione di cui all'articolo 3 entra in vigore il 6 luglio 2010.

3. Per il settore agricolo e forestale l'obbligo del rispetto dei valori limite di esposizione di cui all'articolo 3, ferme restando le condizioni di cui al comma 2, entra in vigore il 6 luglio 2014.

4. Dalla data di entrata in vigore del presente decreto sono abrogati l'articolo 24 del D.P.R. 19 marzo 1956, n. 303, e la voce 48 della tabella delle lavorazioni di cui all'articolo 33 del medesimo decreto n. 303 del 1956.

5. All'attuazione del presente decreto le Amministrazioni pubbliche provvedono nell'ambito degli ordinari stanziamenti di bilancio e con le dotazioni umane, strumentali e finanziarie disponibili a legislazione vigente, senza nuovi o maggiori oneri per la finanza pubblica.

Il presente decreto, munito del sigillo dello Stato, sarà inserito nella Raccolta ufficiale degli atti normativi della Repubblica italiana.

È fatto obbligo a chiunque spetti di osservarlo e di farlo osservare.

Dato a Roma, addì 19 agosto 2005

#### NOTE alle premesse:

- L'art. 76 della Costituzione stabilisce che l'esercizio della funzione legislativa non può essere delegato al Governo se non con determinazione di principi e criteri direttivi e soltanto per tempo limitato e per oggetti definiti.

- L'art. 87 della Costituzione conferisce, tra l'altro, al Presidente della Repubblica il potere di promulgare le leggi e di emanare i decreti aventi valore di legge ed i regolamenti.

- La legge 31 ottobre 2003, n. 306, (Disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunità europee. Legge comunitaria 2003) è pubblicata nella Gazzetta Ufficiale 15 novembre 2003, n. 266.

- La direttiva 2002/44/CE è pubblicata in GUCE n. L. 177 del 6 luglio 2002.

- Il D. Lgs. 626/94, (Attuazione della direttiva 89/391/CEE, della direttiva 89/654/CEE, della direttiva 89/655/CEE, della direttiva 89/656/CEE, della direttiva 90/269/CEE, della direttiva 90/270/CEE, della direttiva 90/394/CEE, della direttiva 90/679/CEE, della direttiva 93/88/CEE, della direttiva 95/63/CE, della direttiva 97/42/CE, della direttiva 98/24/CE, della direttiva 99/38/CE, della direttiva 2001/45/CE e della direttiva 99/92/CE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro) è pubblicato nella Gazzetta Ufficiale 12 novembre 1994, n. 265.

#### Nota all'art. 1:

Il testo del comma 2, dell'art. 1 del decreto legislativo citato nelle premesse, è il seguente: «Art. 1 (Campo di applicazione). - (Omissis).

2. Nei riguardi delle Forze armate e di Polizia, dei servizi di protezione civile, nonché nell'ambito delle strutture giudiziarie, penitenziarie, di quelle destinate per finalità istituzionali alle attività degli organi con compiti in materia di ordine e sicurezza pubblica, delle università, degli istituti di istruzione universitaria, degli istituti di istruzione ed educazione di ogni ordine e grado, degli archivi, delle biblioteche, dei musei e delle aree archeologiche dello Stato delle rappresentanze

diplomatiche e consolari e dei mezzi di trasporto aerei e marittimi, le norme del presente decreto sono applicate tenendo conto delle particolari esigenze connesse al servizio espletato, individuate con decreto del Ministro competente di concerto con i Ministri del lavoro e della previdenza sociale, della sanità e della funzione pubblica. (Omissis)».

Note all'art. 4:

- Il testo degli articoli 4 e 8, del decreto legislativo citato nelle premesse, è il seguente:

Art. 4 (Obblighi del datore di lavoro, del dirigente e del preposto).

1. Il datore di lavoro, in relazione alla natura dell'attività dell'azienda ovvero dell'unità produttiva, valuta tutti i rischi per la sicurezza e per la salute dei lavoratori, ivi compresi quelli riguardanti gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari, anche nella scelta delle attrezzature di lavoro e delle sostanze o dei preparati chimici impiegati, nonché nella sistemazione dei luoghi di lavoro.

2. All'esito della valutazione di cui al comma 1, il datore di lavoro elabora un documento contenente:

- a) una relazione sulla valutazione dei rischi per la sicurezza e la salute durante il lavoro, nella quale sono specificati i criteri adottati per la valutazione stessa;
- b) l'individuazione delle misure di prevenzione e di protezione e dei dispositivi di protezione individuale, conseguente alla valutazione di cui alla lettera a);
- c) il programma delle misure ritenute opportune per garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza.

3. Il documento è custodito presso l'azienda ovvero l'unità produttiva.

4. Il datore di lavoro:

- a) designa il responsabile del servizio di prevenzione e protezione interno o esterno all'azienda secondo le regole di cui all'art. 8;
  - b) designa gli addetti al servizio di prevenzione e protezione interno o esterno all'azienda secondo le regole di cui all'art. 8;
  - c) nomina, nei casi previsti dall'art. 16, il medico competente.
5. Il datore di lavoro adotta le misure necessarie per la sicurezza e la salute dei lavoratori, e in particolare:

- a) designa preventivamente i lavoratori incaricati dell'attuazione delle misure di prevenzione incendi e lotta antincendio, di evacuazione dei lavoratori in caso di pericolo grave e immediato, di salvataggio, di pronto soccorso e, comunque, di gestione dell'emergenza;
- b) aggiorna le misure di prevenzione in relazione ai mutamenti organizzativi e produttivi che hanno rilevanza ai fini della salute e della sicurezza del lavoro, ovvero in relazione al grado di evoluzione della tecnica della prevenzione e della protezione;
- c) nell'affidare i compiti ai lavoratori tiene conto delle capacità e delle condizioni degli stessi in rapporto alla loro salute e alla sicurezza;
- d) fornisce ai lavoratori i necessari e idonei dispositivi di protezione individuale, sentito il responsabile del servizio di prevenzione e protezione;
- e) prende le misure appropriate affinché soltanto i lavoratori che hanno ricevuto adeguate istruzioni accedano alle zone che li espongono ad un rischio grave e specifico;
- f) richiede l'osservanza da parte dei singoli lavoratori delle norme vigenti, nonché delle disposizioni aziendali in materia di sicurezza e di igiene del lavoro e di uso dei mezzi di protezione collettivi e dei dispositivi di protezione individuali messi a loro disposizione;
- g) richiede l'osservanza da parte del medico competente degli obblighi previsti dal presente decreto, informandolo sui processi e sui rischi connessi all'attività produttiva;

h) adotta le misure per il controllo delle situazioni di rischio in caso di emergenza e dà istruzioni affinché i lavoratori, in caso di pericolo grave, immediato ed inevitabile, abbandonino il posto di lavoro o la zona pericolosa;

i) informa il più presto possibile i lavoratori esposti al rischio di un pericolo grave e immediato circa il rischio stesso e le disposizioni prese o da prendere in materia di protezione;

l) si astiene, salvo eccezioni debitamente motivate, dal richiedere ai lavoratori di riprendere la loro attività in una situazione di lavoro in cui persiste un pericolo grave e immediato;

m) permette ai lavoratori di verificare, mediante il rappresentante per la sicurezza, l'applicazione delle misure di sicurezza e di protezione della salute e consente al rappresentante per la sicurezza di accedere alle informazioni ed alla documentazione aziendale di cui all'art. 19.1.e);

n) prende appropriati provvedimenti per evitare che le misure tecniche adottate possano causare rischi per la salute della popolazione o deteriorare l'ambiente esterno;

o) tiene un registro nel quale sono annotati cronologicamente gli infortuni sul lavoro che comportano un'assenza dal lavoro di almeno un giorno. Nel registro sono annotati il nome, il cognome, la qualifica professionale dell'infortunato, le cause e le circostanze dell'infortunio, nonché la data di abbandono e di ripresa del lavoro. Il registro è redatto conformemente al modello approvato con decreto del Ministero del lavoro e della previdenza sociale, sentita la commissione consultiva permanente, di cui all'art. 393 del D.P.R. 27 aprile 1955, n. 547, e successive modifiche, ed è conservato sul luogo di lavoro, a disposizione dell'organo di vigilanza. Fino all'emanazione di tale decreto il registro è redatto in conformità ai modelli già disciplinati dalle leggi vigenti;

p) consulta il rappresentante per la sicurezza nei casi previsti dall'art. 19.1, lettere b), c) e d);

q) adotta le misure necessarie ai fini della prevenzione incendi e dell'evacuazione dei lavoratori, nonché per il caso di pericolo grave e immediato. Tali misure devono essere adeguate alla natura dell'attività, alle dimensioni dell'azienda, ovvero dell'unità produttiva, e al numero delle persone presenti.

6. Il datore di lavoro effettua la valutazione di cui al comma 1 ed elabora il documento di cui al comma 2 in collaborazione con il responsabile del servizio di prevenzione e protezione e con il medico competente nei casi in cui sia obbligatoria la sorveglianza sanitaria, previa consultazione del rappresentante per la sicurezza.

7. La valutazione di cui al comma 1 e il documento di cui al comma 2 sono rielaborati in occasione di modifiche del processo produttivo significative ai fini della sicurezza e della salute dei lavoratori.

8. Il datore di lavoro custodisce, presso l'azienda ovvero l'unità produttiva, la cartella sanitaria e di rischio del lavoratore sottoposto a sorveglianza sanitaria, con salvaguardia del segreto professionale, e ne consegna copia al lavoratore stesso al momento della risoluzione del rapporto di lavoro, ovvero quando lo stesso ne fa richiesta.

9. Per le piccole e medie aziende, con uno o più decreti da emanarsi entro il 31 marzo 1996 dai Ministri del lavoro e della previdenza sociale, dell'industria, del commercio e dell'artigianato e della sanità, sentita la commissione consultiva permanente per la prevenzione degli infortuni e per l'igiene del lavoro, in relazione alla natura dei rischi e alle dimensioni dell'azienda, sono definite procedure standardiz-

zate per gli adempimenti documentali di cui al presente articolo. Tali disposizioni non si applicano alle attività industriali di cui all'art. 1 del D.P.R. 17 maggio 1988, n. 175, e successive modifiche, soggette all'obbligo di dichiarazione o notifica ai sensi degli articoli 4 e 6 del decreto stesso, alle centrali termoelettriche, agli impianti e laboratori nucleari, alle aziende estrattive ed altre attività minerarie, alle aziende per la fabbricazione e il deposito separato di esplosivi, polveri e munizioni, e alle strutture di ricovero e cura sia pubbliche sia private.

10. Per le medesime aziende di cui al comma 9, primo periodo, con uno o più decreti dei Ministri del lavoro e della previdenza sociale, dell'industria, del commercio e dell'artigianato e della sanità, sentita la commissione consultiva permanente per la prevenzione degli infortuni e per l'igiene del lavoro, possono essere altresì definiti:

a) i casi relativi a ipotesi di scarsa pericolosità, nei quali è possibile lo svolgimento diretto dei compiti di prevenzione e protezione in aziende ovvero unità produttive che impiegano un numero di addetti superiore a quello indicato nell'allegato I;

b) i casi in cui è possibile la riduzione a una sola volta all'anno della visita di cui all'art. 17.h), degli ambienti di lavoro da parte del medico competente, ferma restando l'obbligatorietà di visite ulteriori, allorché si modificano le situazioni di rischio.

11. Fatta eccezione per le aziende indicate nella nota [1] dell'allegato I, il datore di lavoro delle aziende familiari, nonché delle aziende che occupano fino a dieci addetti non è soggetto agli obblighi di cui ai commi 2 e 3, ma è tenuto comunque ad autocertificare per iscritto l'avvenuta effettuazione della valutazione dei rischi e l'adempimento degli obblighi ad essa collegati. L'autocertificazione deve essere inviata al rappresentante per la sicurezza. Sono in ogni caso soggette agli obblighi di cui ai commi 2 e 3 le aziende familiari nonché le aziende che occupano fino a dieci addetti, soggette a particolari fattori di rischio, individuate nell'ambito di specifici settori produttivi con uno o più decreti del Ministro del lavoro e della previdenza sociale, di concerto con i Ministri della sanità, dell'industria, del commercio e dell'artigianato, delle risorse agricole alimentari e forestali e dell'interno, per quanto di rispettiva competenza.

12. Gli obblighi relativi agli interventi strutturali e di manutenzione necessari per assicurare, ai sensi del presente decreto, la sicurezza dei locali e degli edifici assegnati in uso a pubbliche amministrazioni o a pubblici uffici, ivi comprese le istituzioni scolastiche ed educative, restano a carico dell'amministrazione tenuta, per effetto di norme o convenzioni, alla loro fornitura e manutenzione. In tal caso gli obblighi previsti dal presente decreto, relativamente ai predetti interventi, si intendono assolti, da parte dei dirigenti o funzionari preposti agli uffici interessati, con la richiesta del loro adempimento all'amministrazione competente o al soggetto che ne ha l'obbligo giuridico.

Art. 8 (Servizio di prevenzione e protezione).

1. Salvo quanto previsto dall'art. 10, il datore di lavoro organizza all'interno dell'azienda, ovvero dell'unità produttiva, il servizio di prevenzione e protezione, o incarica persone o servizi esterni all'azienda, secondo le regole di cui al presente articolo.

2. Il datore di lavoro designa all'interno dell'azienda ovvero dell'unità produttiva, una o più persone da lui dipendenti per l'espletamento dei compiti di cui all'art. 9, tra cui il responsabile del servizio in possesso delle capacità e dei requisiti professionali di cui all'art. 8-bis, previa consultazione del rappresentante per la sicurezza.

3. I dipendenti di cui al comma 2 devono essere in numero sufficiente, possedere le capacità necessarie e disporre di mezzi e di tempo adeguati per lo svolgimento dei compiti loro assegnati. Essi non possono subire pregiudizio a causa dell'attività svolta nell'espletamento del proprio incarico.

4. Salvo quanto previsto dal comma 2, il datore di lavoro può avvalersi di persone esterne all'azienda in possesso delle conoscenze professionali necessarie per integrare l'azione di prevenzione o protezione.

5. L'organizzazione del servizio di prevenzione e protezione all'interno dell'azienda, ovvero dell'unità produttiva, è comunque obbligatoria nei seguenti casi:

a) nelle aziende industriali di cui all'art. 1 del D.P.R. 17 maggio 1988, n. 175, e successive modifiche (LEGISLAZIONE SEVESO - n.d.a.), soggette all'obbligo di dichiarazione o notifica, ai sensi degli articoli 4 e 6 del decreto stesso;

b) nelle centrali termoelettriche;

c) negli impianti e laboratori nucleari;

d) nelle aziende per la fabbricazione e il deposito separato di esplosivi, polveri e munizioni;

e) nelle aziende industriali con oltre duecento dipendenti;

f) nelle industrie estrattive con oltre cinquanta lavoratori dipendenti;

g) nelle strutture di ricovero e cura sia pubbliche sia private.

6. Salvo quanto previsto dal comma 5, se le capacità dei dipendenti all'interno dell'azienda ovvero dell'unità produttiva sono insufficienti, il datore di lavoro deve far ricorso a persone o servizi esterni all'azienda, previa consultazione del rappresentante per la sicurezza.

7. Il servizio esterno deve essere adeguato alle caratteristiche dell'azienda, ovvero unità produttiva, a favore della quale è chiamato a prestare la propria opera, anche con riferimento al numero degli operatori.

8. Il responsabile del servizio esterno deve possedere le capacità e i requisiti professionali di cui all'art. 8-bis.

9. Il Ministro del lavoro e della previdenza sociale, con decreto di concerto con i Ministri della sanità e dell'industria, del commercio e dell'artigianato, sentita la commissione consultiva permanente, può individuare specifici requisiti, modalità e procedure, per la certificazione dei servizi, nonché il numero minimo degli operatori di cui ai commi 3 e 7.

10. Qualora il datore di lavoro ricorra a persone o servizi esterni egli non è per questo liberato dalla propria responsabilità in materia.

11. Il datore di lavoro comunica all'ispettorato del lavoro e alle unità sanitarie locali territorialmente competenti il nominativo della persona designata come responsabile del servizio di prevenzione e protezione interno ovvero esterno all'azienda. Tale comunicazione è corredata da una dichiarazione nella quale si attesti con riferimento alle persone designate:

a) i compiti svolti in materia di prevenzione e protezione;

b) il periodo nel quale tali compiti sono stati svolti;

c) il curriculum professionale.».

#### Nota all'art. 5:

- Il testo dell'art. 3, del decreto legislativo citato nelle premesse, è il seguente:

Art. 3 (Misure generali di tutela).

1. Le misure generali per la protezione della salute e per la sicurezza dei lavoratori sono:

a. valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza;

b. eliminazione dei rischi in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico e, ove ciò non è possibile, loro riduzione al minimo;

c. riduzione dei rischi alla fonte;

d. programmazione della prevenzione mirando ad un complesso che integra in modo coerente nella prevenzione

- le condizioni tecniche produttive ed organizzative dell'azienda nonché l'influenza dei fattori dell'ambiente di lavoro;
- e. sostituzione di ciò che è pericoloso con ciò che non lo è, o è meno pericoloso;
  - f. rispetto dei principi ergonomici nella concezione dei posti di lavoro, nella scelta delle attrezzature e nella definizione dei metodi di lavoro e produzione, anche per attenuare il lavoro monotono e quello ripetitivo;
  - g. priorità delle misure di protezione collettiva rispetto alle misure di protezione individuale;
  - h. limitazione al minimo del numero dei lavoratori che sono, o che possono essere, esposti al rischio;
  - i. utilizzo limitato degli agenti chimici, fisici e biologici, sui luoghi di lavoro;
  - l. controllo sanitario dei lavoratori in funzione dei rischi specifici;
  - m) allontanamento del lavoratore dall'esposizione a rischio, per motivi sanitari inerenti la sua persona;
  - n) misure igieniche;
  - o) misure di protezione collettiva ed individuale;
  - p) misure di emergenza da attuare in caso di pronto soccorso, di lotta antincendio, di evacuazione dei lavoratori e di pericolo grave ed immediato;
  - q) uso di segnali di avvertimento e di sicurezza;
  - r) regolare manutenzione di ambienti, attrezzature, macchine ed impianti, con particolare riguardo ai dispositivi di sicurezza in conformità alla indicazione dei fabbricanti;
  - s) informazione, formazione, consultazione e partecipazione dei lavoratori ovvero dei loro rappresentanti, sulle questioni riguardanti la sicurezza e la salute sul luogo di lavoro;
  - t) istruzioni adeguate ai lavoratori.
2. Le misure relative alla sicurezza, all'igiene ed alla salute durante il lavoro non devono in nessun caso comportare oneri finanziari per i lavoratori.

Nota all'art. 6:

- Il testo degli articoli 21 e 22, del decreto legislativo citato nelle premesse, è il seguente:

Art. 21 (Informazione dei lavoratori).

1. Il datore di lavoro provvede affinché ciascun lavoratore riceva un'adeguata informazione su:
  - a. i rischi per la sicurezza e la salute connessi all'attività dell'impresa in generale;
  - b. le misure e le attività di protezione e prevenzione adottate;
  - c. i rischi specifici cui è esposto in relazione all'attività svolta, le normative di sicurezza e le disposizioni aziendali in materia;
  - d. i pericoli connessi all'uso delle sostanze e dei preparati pericolosi sulla base delle schede dei dati di sicurezza previste dalla normativa vigente e dalle norme di buona tecnica;
  - e. le procedure che riguardano il pronto soccorso, la lotta antincendio, l'evacuazione dei lavoratori;
  - f. il responsabile del servizio di prevenzione e protezione ed il medico competente;
  - g. i nominativi dei lavoratori incaricati di applicare le misure di cui agli articoli 12 e 15.
2. Il datore di lavoro fornisce le informazioni di cui al comma 1, lettere a), b), c), anche ai lavoratori di cui all'art. 1.3.».

Art. 22 (Formazione dei lavoratori).

1. Il datore di lavoro assicura che ciascun lavoratore, ivi compresi i lavoratori di cui all'art. 1.3, riceva una formazione sufficiente ed adeguata in materia di sicurezza e di salute, con particolare riferimento al proprio posto di lavoro ed alle proprie mansioni.
2. La formazione deve avvenire in occasione:

- a) dell'assunzione;
  - b) del trasferimento o cambiamento di mansioni;
  - c) dell'introduzione di nuove attrezzature di lavoro o di nuove tecnologie, di nuove sostanze e preparati pericolosi.
3. La formazione deve essere periodicamente ripetuta in relazione all'evoluzione dei rischi ovvero all'insorgenza di nuovi rischi.
  4. Il rappresentante per la sicurezza ha diritto ad una formazione particolare in materia di salute e sicurezza, concernente la normativa in materia di sicurezza e salute e i rischi specifici esistenti nel proprio ambito di rappresentanza, tale da assicurargli adeguate nozioni sulle principali tecniche di controllo e prevenzione dei rischi stessi.
  5. I lavoratori incaricati dell'attività di prevenzione incendi e lotta antincendio, di evacuazione dei lavoratori in caso di pericolo grave ed immediato, di salvataggio, di pronto soccorso e, comunque, di gestione dell'emergenza devono essere adeguatamente formati.
  6. La formazione dei lavoratori e quella dei loro rappresentanti di cui al comma 4 deve avvenire, in collaborazione con gli organismi paritetici di cui all'art. 20, durante l'orario di lavoro e non può comportare oneri economici a carico dei lavoratori.
  7. I Ministri del lavoro e della previdenza sociale e della sanità, sentita la commissione consultiva permanente, possono stabilire i contenuti minimi della formazione dei lavoratori, dei rappresentanti per la sicurezza e dei datori di lavoro di cui all'art. 10, comma 3, tenendo anche conto delle dimensioni e della tipologia delle imprese.».

Nota all'art. 7:

- Il testo dell'art. 16, del decreto legislativo citato nelle premesse, è il seguente:

Art. 16 (Contenuto della sorveglianza sanitaria).

1. La sorveglianza sanitaria è effettuata nei casi previsti dalla normativa vigente.
2. La sorveglianza di cui al comma 1 è effettuata dal medico competente e comprende:
  - a) accertamenti preventivi intesi a constatare l'assenza di controindicazioni al lavoro cui i lavoratori sono destinati, ai fini della valutazione della loro idoneità alla mansione specifica;
  - b) accertamenti periodici per controllare lo stato di salute dei lavoratori ed esprimere il giudizio di idoneità alla mansione specifica.
3. Gli accertamenti di cui al comma 2 comprendono esami clinici e biologici e indagini diagnostiche mirati al rischio ritenuti necessari dal medico competente.

Nota all'art. 8:

- Il testo della lettera d) del comma 1, dell'art. 17, del decreto legislativo citato nelle premesse, è il seguente:

«d) istituisce ed aggiorna, sotto la propria responsabilità, per ogni lavoratore sottoposto a sorveglianza sanitaria, una cartella sanitaria e di rischio da custodire presso il datore di lavoro con salvaguardia del segreto professionale;».

Nota all'art. 11:

- L'art. 117, quinto comma, della Costituzione, così recita:

«Le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano, nelle materie di loro competenza, partecipano alle decisioni dirette alla formazione degli atti normativi comunitari e

provvedono all'attuazione e all'esecuzione degli accordi internazionali e degli atti dell'Unione europea, nel rispetto delle norme di procedura stabilite da legge dello Stato, che disciplina le modalità di esercizio del potere sostitutivo in caso di inadempienza.».

- Per la direttiva 2002/44/CE vedi le note alle premesse.

#### Note all'art. 13:

- L'art. 24 del D.P.R. 19 marzo 1956, n. 303 (Norme generali per l'igiene del lavoro, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale 30 aprile 1956, n. 105) abrogato dal presente decreto, recava: «Art. 24 (Rumori e scuotimenti)».

- La voce 48 della tabella delle lavorazioni di cui all'art. 33 del medesimo decreto n. 303 del 1956, abrogata dal presente decreto, recava: «48 (Vibrazioni e scuotimenti)».

### **Allegato I**

(art. 4, commi 2 e 3)

#### **A. VIBRAZIONI TRASMESSE AL SISTEMA MANO-BRACCIO** **1. Valutazione dell'esposizione.**

La valutazione del livello di esposizione alle vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio si basa principalmente sul calcolo del valore dell'esposizione giornaliera normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, A (8), calcolato come radice quadrata della somma dei quadrati (valore totale) dei valori quadratici medi delle accelerazioni ponderate in frequenza, determinati sui tre assi ortogonali (ahwx, ahwy, ahwz) conformemente ai capitoli 4 e 5 e all'allegato A della norma ISO 5349-1 (2001).

La valutazione del livello di esposizione può essere effettuata sulla base di una stima fondata sulle informazioni relative al livello di emissione delle attrezzature di lavoro utilizzate, fornite dai fabbricanti, e sull'osservazione delle specifiche pratiche di lavoro, oppure attraverso una misurazione. Come elementi di riferimento possono essere utilizzate anche le banche dati dell'ISPEL e delle regioni contenenti i livelli di esposizione professionale alle vibrazioni.

#### **2. Misurazione.**

Qualora si proceda alla misurazione:

a) i metodi utilizzati possono includere la campionatura, purché sia rappresentativa dell'esposizione di un lavoratore alle vibrazioni meccaniche considerate; i metodi e le apparecchiature utilizzati devono essere adattati alle particolari caratteristiche delle vibrazioni meccaniche da misurare, ai fattori ambientali e alle caratteristiche dell'apparecchio di misurazione, conformemente alla norma ISO 5349-2 (2001);

b) nel caso di attrezzature che devono essere tenute con entrambe le mani, la misurazione è eseguita su ogni mano. L'esposizione è determinata facendo riferimento al più alto dei due valori; deve essere inoltre fornita l'informazione relativa all'altra mano.

#### **3. Interferenze.**

Le disposizioni dell'articolo 4.6.d), si applicano in particolare nei casi in cui le vibrazioni meccaniche ostacolano il corretto uso manuale dei comandi o la lettura degli indicatori.

#### **4. Rischi indiretti.**

Le disposizioni dell'articolo 4.6.d), si applicano in particolare nei

casi in cui le vibrazioni meccaniche incidono sulla stabilità delle strutture o sulla buona tenuta delle giunzioni.

#### **5. Attrezzature di protezione individuale.**

Attrezzature di protezione individuale contro le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio possono contribuire al programma di misure di cui all'articolo 5.2.

### **B. Vibrazioni trasmesse al corpo intero.**

#### **1. Valutazione dell'esposizione.**

La valutazione del livello di esposizione alle vibrazioni si basa sul calcolo dell'esposizione giornaliera A (8) espressa come l'accelerazione continua equivalente su 8 ore, calcolata come il più alto dei valori quadratici medi delle accelerazioni ponderate in frequenza, determinati sui tre assi ortogonali (1,4awx, 1,4awy, 1awz, per un lavoratore seduto o in piedi), conformemente ai capitoli 5, 6 e 7, all'allegato A e all'allegato B della norma ISO 2631-1 (1997).

La valutazione del livello di esposizione può essere effettuata sulla base di una stima fondata sulle informazioni relative al livello di emissione delle attrezzature di lavoro utilizzate, fornite dai fabbricanti, e sull'osservazione delle specifiche pratiche di lavoro, oppure attraverso una misurazione. Come elementi di

riferimento possono essere utilizzate anche le banche dati dell'ISPEL e delle regioni contenenti i livelli di esposizione professionale alle vibrazioni.

Per quanto riguarda la navigazione marittima, si prendono in considerazione solo le vibrazioni di frequenza superiore a 1 Hz.

#### **2. Misurazione.**

Qualora si proceda alla misurazione, i metodi utilizzati possono includere la campionatura, purché sia rappresentativa dell'esposizione di un lavoratore alle vibrazioni meccaniche considerate. I metodi utilizzati devono essere adeguati alle particolari caratteristiche delle vibrazioni meccaniche da misurare, ai fattori ambientali e alle caratteristiche dell'apparecchio di misurazione. I metodi rispondenti a norme di buona tecnica si considerano adeguati a quanto richiesto dal presente punto.

#### **3. Interferenze.**

Le disposizioni dell'articolo 4.6.d), si applicano in particolare nei casi in cui le vibrazioni meccaniche ostacolano il corretto uso manuale dei comandi o la lettura degli indicatori.

#### **4. Rischi indiretti.**

Le disposizioni dell'articolo 4.6.d), si applicano in particolare nei casi in cui le vibrazioni meccaniche incidono sulla stabilità delle strutture o sulla buona tenuta delle giunzioni.

#### **5. Prolungamento dell'esposizione.**

Le disposizioni dell'articolo 4.6.g), si applicano in particolare nei casi in cui, data la natura dell'attività svolta, un lavoratore utilizza locali di riposo e ricreazione messi a disposizione dal datore di lavoro; tranne nei casi di forza maggiore, l'esposizione del corpo intero alle vibrazioni in tali locali deve essere ridotto a un livello compatibile con le funzioni e condizioni di utilizzazione di tali locali.

-x-x-x-

## RIFERIMENTI NORMATIVI

Europa	<p>ISO 2631-2, 1989, Evaluation of human exposure to whole-body vibration - part 2: continuous and shock-induced vibration in buildings (1 - to 80 hz)</p> <p>F.E.E.M. 4.1, 1990, Code of good practice: Ground and airborne vibration from the use of explosives.</p>
Italia	<p>UNI 9614, 1990, Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo.</p> <p>UNI 9916, 2004, Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.</p>
Regno Unito	<p>BS 7385 part. 2; 1993</p> <p>BS 6472</p>
Repubblica Federale di Germania	<p>DIN 4150-1, 2001, Erschütterungen im Bauwesen - Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen.</p> <p>DIN 4150-2, 1992, Erschütterungen im Bauwesen - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden.</p> <p>DIN 4150-3, 1999, Erschütterungen im Bauwesen - teil 3: Einwirkungen im bauliche anlagen (Le vibrazioni nelle costruzioni - parte 3: effetti sui manufatti).</p> <p>KTA 2201.2 (JUNE 1990): AUSLEGUNG VON KERNKRAFTWERKEN GEGEN SEISMISCHE EINWIRKUNGEN; TEIL 2: BAUGRUND) - DESIGN OF NUCLEAR POWER PLANTS AGAINST SEISMIC EVENTS, PART 2: SUB-SURFACE MATERIALS (SOIL AND ROCK)</p>
U.S.A.	<p>USBM RI 8506</p> <p>USBM RI 8508</p> <p>USBM RI 8969</p> <p>ANSI S2.47-1990, R1997</p> <p>ANSI s12.18-1994</p> <p>ANSI S12.9-1992/Part2</p>

# UNI 9614, 1990, Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo

ESTRATTO

Norma Italiana

Marzo 1990

VIBRAZIONI	Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo	UNI 9614
<p>Vibration measurement in buildings and annoyance evaluation</p>		
<p><i>La presente norma concorda parzialmente con la ISO 2631/2 (vedere chiarimenti).</i></p>		
<p><b>0. Premessa</b></p>		
<p>Oltre a cause naturali (fenomeni sismici, vento, ecc.), le vibrazioni negli edifici possono essere legate ad attività umane quali il traffico di veicoli su gomma e su rotaia, il funzionamento di macchinari (magli, presse, ecc.), i lavori stradali ed edili (perforatori, battipalo, ecc.), le detonazioni di cariche esplosive, ecc.. Tali vibrazioni possono costituire una fonte di disturbo per le persone esposte e ridurre il loro benessere.</p>		
<p><b>1. Scopo e campo di applicazione</b></p>		
<p>Nella norma viene definito il metodo di misura delle vibrazioni di livello costante immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi. La presente norma non costituisce una guida per la valutazione delle vibrazioni considerate come possibile causa di danni strutturali o architettonici agli edifici. Questa norma non costituisce inoltre una guida per la valutazione delle vibrazioni che, a bordo di veicoli, navi, aerei e all'interno di installazioni industriali, possono pregiudicare il comfort, l'efficienza lavorativa, la salute-sicurezza dei soggetti esposti; tali vibrazioni, i cui limiti sono strettamente dipendenti dalla durata dell'esposizione, sono anch'esse oggetto di norme specifiche.</p>		
<p><b>2. Riferimenti</b></p>		
UNI 9670	Risposta degli individui alle vibrazioni — Apparecchiature di misura	
UNI ISO 5805	Vibrazioni meccaniche e urti riguardanti l'uomo — Vocabolario	
ISO 1683	Acustica — Grandezze normali di riferimento per i livelli acustici	
ISO 2631/1	Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo — Parte 1 <sup>a</sup> : Prescrizioni generali	
ISO 5347	Metodi per la calibrazione dei rilevatori di vibrazioni e di urti	
ISO 5348	Vibrazioni meccaniche ed urti — Montaggio meccanico degli accelerometri (rilevatori sismici)	
IEC 184	Metodi per specificare le caratteristiche dei trasduttori elettromeccanici per la misura di vibrazioni ed urti	
IEC 222	Metodi per specificare le caratteristiche degli apparecchi ausiliari per la misura di vibrazioni e urti	
IEC 225 (CEI 29-4)	Filtri in banda di ottava, 1/2 ottava e 1/3 di ottava usati nelle analisi di suoni e vibrazioni	
<p><b>3. Definizioni</b></p>		
<p><b>3.1. Tipi di vibrazioni</b></p>		
<p>Le vibrazioni immesse in un edificio possono essere definite:</p>		
<p>— di livello costante, quando il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza (vedere 4) rilevato mediante costante di tempo "slow" (1 s) varia nel tempo in un intervallo di ampiezza inferiore a 5 dB;</p>		
<p>— di livello non costante, quando il livello suddetto varia in un intervallo di ampiezza superiore a 5 dB;</p>		
<p>— impulsive, quando sono originate da eventi di breve durata costituiti da un rapido innalzamento del livello di accelerazione sino ad un valore massimo seguito da un decadimento che può comportare o meno, a seconda dello smorzamento della struttura, una serie di oscillazioni che tendono ad estinguersi nel tempo.</p>		
<p style="text-align: right;">(segue)</p>		
<p>Le norme UNI sono revisionate, quando necessario, con la pubblicazione sia di nuove edizioni sia di fogli di aggiornamento. È importante pertanto che gli utenti delle stesse si accertino di essere in possesso dell'ultima edizione o foglio di aggiornamento.</p>		

Riproduzione vietata - LEGGE 22 aprile 1961 n. 633 e successivi aggiornamenti - UNI - ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE - 20133 MIJANO, via Battistotti Sassi, 11b

# UNI 9916, 1991, Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici (esiste aggiornamento 2004)

ESTRATTO

Norma Italiana

Novembre 1991

VIBRAZIONI	Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici	UNI 9916
<p>Criteria for the measurements of vibrations and the assessment of their effects on buildings</p> <p><i>La presente norma è in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della norma ISO 4866.</i></p> <p><b>0. Introduzione</b></p> <p>Il problema delle vibrazioni degli edifici ha assunto negli ultimi anni sempre maggiore importanza sia in relazione alla diversa tipologia strutturale delle costruzioni moderne, legata ad un più razionale utilizzo dei materiali con migliori caratteristiche di resistenza meccanica, sia in relazione al moltiplicarsi delle fonti di vibrazioni, in special modo quelle generate dalle attività dell'uomo.</p> <p>Le vibrazioni possono essere causa, oltre che di disturbo per gli occupanti gli edifici, di riduzione della loro efficienza operativa e di malfunzionamento o danneggiamenti delle apparecchiature utilizzate, anche di pericoli per la stessa integrità strutturale o architettonica degli edifici nonché per la sicurezza degli occupanti. Un altro problema particolarmente sentito riguarda la preservazione dei monumenti storici.</p> <p>Conseguentemente la misura delle vibrazioni negli edifici è divenuta un problema di rilevante importanza. Essa può essere finalizzata a diversi obiettivi:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) riconoscimento del problema: quando occorra valutare se l'entità delle vibrazioni può interessare l'integrità strutturale degli edifici o pregiudicare la sicurezza degli occupanti e si renda quindi necessario un approfondimento dello studio;</li><li>b) verifiche o controlli: quando si voglia rapportare il livello delle vibrazioni ai limiti imposti da normative specifiche, oppure si vogliano verificare delle ipotesi progettuali;</li><li>c) diagnostica: quando si renda necessario verificare se la presenza o meno di danneggiamenti strutturali sia attribuibile al superamento di soglie di vibrazioni;</li><li>d) previsione: quando si voglia valutare l'attitudine dell'edificio a sopportare carichi dinamici accidentali quali per esempio terremoti o si vogliano studiare provvedimenti per l'attenuazione dei fenomeni vibratorii.</li></ul> <p>Questi differenti obiettivi richiedono diversi metodi di approccio sia per quanto riguarda la misura delle vibrazioni e sia per il trattamento e la valutazione dei dati rilevati.</p> <p><b>1. Scopo e campo di applicazione</b></p> <p>La presente norma fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.</p> <p>Altro scopo della norma è di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime.</p> <p>A solo titolo indicativo sono riportati in appendice B, che non fa parte integrante della norma, dei valori numerici di accettabilità dei livelli vibratorii misurati sugli edifici.</p> <p>Per semplicità, la presente norma considera gamme di frequenza variabili da 0,1 a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (vento, terremoti, ecc.), nonché ad eccitazione causata dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio (per esempio vibrazioni indotte da macchinari all'interno degli edifici): tuttavia eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio.</p> <p>Gli urti direttamente applicati alla struttura attraverso macchine industriali, gli urti prodotti dalle esplosioni, dalla battitura dei pali e da altre sorgenti immediatamente a ridosso dei ristretti limiti della struttura non sono inclusi nella gamma di frequenza indicata, ma lo sono i loro effetti sulla struttura.</p> <p style="text-align: right;"><i>(segue)</i></p>		
<p>Le norme UNI sono revisionate, quando necessario, con la pubblicazione sia di nuove edizioni sia di fogli di aggiornamento. È importante pertanto che gli utenti delle stesse si accertino di essere in possesso dell'ultima edizione o foglio di aggiornamento.</p>		

Riproduzione vietata - LEGGE 22 aprile 1941 N° 633 e successivi aggiornamenti - UNI - ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE - 20133 MILANO, via Belgiojoso, 61

**DIN 4150-3, 1999, Erschütterungen im Bauwesen - teil 3: Einwirkungen im bauliche anlagen (Le vibrazioni nelle costruzioni - parte 3: effetti sui manufatti)**

ESTRATTO

Pagina 1  
DIN 4150-3, 1999-02

*Traduzione dal tedesco effettuata da  
Dott. Roberto Folchi – Ingegnere Minerario, Geologo*

	NORMA TEDESCA	Febbraio 1999
	LE VIBRAZIONI NELLE COSTRUZIONI Parte 3: Effetti sui manufatti	DIN 4150-3
ICS 91.120.25		Sostituisce la revisione 1986-05

Descrizione: Costruzioni, Manufatti, Vibrazioni, Azioni

		Indice	
		Pag.	
Premessa.....	2		
1 Ambito d'applicazione.....	2	6 Vibrazioni prolungate .....	5
		6.1 Valutazione dell'intera struttura .....	5
2 Riterimenti normativi .....	2	6.2 Valutazione dei solai .....	5
		6.3 Vibrazioni nelle condutture interrato .....	6
3 Definizioni .....	2	6.4 Esecuzione delle misurazioni .....	6
4 Criteri fondamentali per il rilevamento e la valutazione delle vibrazioni nei manufatti.....	3	Appendice A (normativa) Modello per rapporto di misura .....	7
4.1 Procedura .....	3	Appendice B (informativa) Provvedimenti per la riduzione delle vibrazioni .....	8
4.2 Determinazione delle sollecitazioni mediante misura ...	3	Appendice C (informativa) Informazione sugli effetti delle vibrazioni sui terreni .....	9
4.3 Determinazione delle sollecitazioni mediante calcolo...	3	Appendice D (informativa) Informazioni sulle misure e relative valutazioni .....	10
4.4 Sollecitazioni ammissibili .....	3	Appendice E (informativa) Bibliografia .....	12
4.5 Criteri di valutazione .....	3		
4.6 Effetti delle vibrazioni sui terreni .....	3		
	3		
5 Vibrazioni transienti .....	3		
5.1 Valutazione dell'intera costruzione .....			
5.2 Valutazione dei solai .....	5		
5.3 Vibrazioni nelle condutture interrato .....	5		
5.4 Esecuzione della misura.....	5		

Continua nelle pagine da 2 a 12.

## Premessa

L'edizione delle norme qui riportate è stata curata dal "Comitato per la normativa sulle costruzioni in seno al Comitato di lavoro 00.05.00 per lo studio degli effetti delle vibrazioni sui manufatti". Ad integrazione dell'edizione DIN 4105 - 03: 1986 05, con decisione unanime, sono state acquisite conoscenze ed esperienze giudicate necessarie e sufficienti nella pratica applicativa.

La DIN 4150 "Le vibrazioni nelle costruzioni" consiste in:

- Parte 1: Rilevamento preliminare delle grandezze caratteristiche delle oscillazioni
- Parte 2: Effetti sull'uomo negli edifici
- Parte 3: Effetti sui manufatti.

## Modifiche

Rispetto all'edizione del maggio 1986 sono state apportate, tra le altre, le seguenti modifiche:

- a) Sono stati inseriti i punti 5.3 e 6.3 riguardanti le vibrazioni sulle condotte posate sul suolo.
- b) I valori di riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni continue sui fabbricati sono stati rielaborati (vedi 6.1).

## Edizioni precedenti

DIN 4150-3: 1975-06, 1986-05.

## 1 Ambito d'applicazione

La presente normativa stabilisce una procedura per la determinazione e la valutazione degli effetti indotti dalle vibrazioni sui manufatti che sono dimensionati per resistere prevalentemente alle sollecitazioni statiche. La normativa si applica ai manufatti non progettati per resistere ad effetti dinamici secondo specifiche norme e direttive.

La normativa indica valori a cui fare riferimento per evitare l'insorgenza di danni nei manufatti, danni intesi come una riduzione del valore d'uso. Per alcuni effetti delle vibrazioni vengono forniti valori di riferimento per una valutazione semplificata.

## 2 Riferimenti normativi

La presente normativa fa riferimento ad altre pubblicazioni con data e senza data. Questi riferimenti normativi, elencati nel seguito, sono citati nel testo in vari punti. Nel caso di riferimenti con data, le eventuali modifiche o versioni successive faranno parte della presente norma solo se citate nelle prossime versioni o rielaborazioni. Nel caso di riferimenti senza data vale l'ultima edizione della pubblicazione citata.

### DIN 1311

Teoria delle oscillazioni

### DIN V 4150-1

Le vibrazioni nelle costruzioni - Fondamenti, rilevamento preliminare e misurazione delle grandezze caratteristiche delle oscillazioni

### E DIN 4150-1

Le vibrazioni nelle costruzioni - Parte 1: Rilevamento preliminare delle grandezze caratteristiche delle oscillazioni

### DIN 4150-2

Le vibrazioni nelle costruzioni - Parte 2: Effetti sull'uomo negli edifici

### DIN 45669-1

Misurazione delle oscillazioni indotte - Parte 1: Misuratori di oscillazioni - Requisiti, Collaudo

### DIN 45669-2

Misurazione delle oscillazioni indotte - Parte 2: Procedure di misura

### E DIN EN 1594

Sistemi per l'approvvigionamento di gas - Sistemi di condutture con pressione di esercizio di oltre 16 bar - Requisiti funzionali; versione tedesca prEN 1594:1996

## 3 Definizioni

Per l'applicazione della presente norma valgono le definizioni di cui alle DIN 1311 e le seguenti:

### 3.1

Vibrazioni

Oscillazioni meccaniche di corpi solidi con effetto potenzialmente dannoso o molesto.

### 3.2

Danno

Conseguenza permanente di un'azione, che comporta diminuzione del valore d'uso del manufatto, o di sue parti, con riferimento alla sua utilizzazione.

### 3.3

Valore di riferimento

Un valore, stabilito in base all'esperienza, il cui non superamento garantisce la non insorgenza di danni.

### 3.4

Vibrazioni transienti

Vibrazioni che si verificano con una ricorrenza insufficiente a provocare effetti di fatica sui materiali e la cui successione temporale sia tale da non provocare risonanze nella specifica struttura.

### 3.5

Vibrazioni prolungate

Tutte le vibrazioni non comprese nella definizione di vibrazioni transienti.

## 4 Criteri fondamentali per il rilevamento e la valutazione delle vibrazioni nei manufatti.

### 4.1 Procedura

Ai punti 5 e 6 sono descritte modalità per il rilevamento strumentale e per la valutazione delle grandezze caratteristiche delle oscillazioni.

Se non si adottano tali modalità, per la valutazione degli effetti delle vibrazioni sulle strutture devono essere confrontate le sollecitazioni dinamiche agenti (misurate o calcolate) con quelle ammissibili, tenuto conto della ricorrenza con la quale si verificano. Questo metodo, tuttavia, non è idoneo per la valutazione di danni di lieve entità (vedi anche 4.5).

In singoli casi si possono verificare vibrazioni che nel loro insieme non possono essere ascritte ad una sola delle categorie 3.4 o 3.5. In questi casi dovrà essere effettuata una valutazione distinta per ciascuna categoria.

In casi particolari dovrà essere posta attenzione anche alle conseguenze indirette delle vibrazioni ovvero allo spostamento delle fondazioni (vedi anche app. C).

### 4.2 Determinazione delle sollecitazioni mediante misura

Le sollecitazioni in gioco possono essere direttamente dedotte mediante la misura delle deformazioni della parte di costruzione oscillante, attraverso i moduli di elasticità dei rispettivi materiali.

Ampiezza e frequenze di queste grandezze caratteristiche delle oscillazioni, che costituiranno la base del calcolo, possono essere determinate tramite misura dello spostamento, della velocità o dell'accelerazione.

Le sollecitazioni di travi o piastre soggette ad oscillazioni prossime alla risonanza possono essere calcolate per approssimazione dalla velocità delle oscillazioni, se la misura è effettuata nel punto dove l'ampiezza è massima. La conoscenza delle condizioni di contorno e della rigidità non è, in questo caso, necessaria per la stima della sollecitazione (vedi capitolo 6).

### 4.3 Determinazione delle sollecitazioni mediante calcolo

La determinazione delle sollecitazioni viene effettuata secondo le regole della tecnica. I dati di partenza possono essere determinati secondo il procedimento di previsione in conformità rispettivamente alla DIN V 4150-1 o alla E DIN 4150-1.

### 4.4 Sollecitazioni ammissibili

Per la verifica della resistenza statica deve essere fatto riferimento ai coefficienti di sicurezza per sollecitazioni dinamiche aggiuntive, come stabilito dalle specifiche norme e raccomandazioni, in funzione del tipo e della durata dei carichi dinamici, del tipo di misurazione, delle caratteristiche dei materiali e della tipologia costruttiva. Le condizioni di sicurezza dovranno essere verificate, ove necessario, anche per quanto riguarda il cedimento a fatica. Se sono disponibili diagrammi di resistenza, da questi possono essere dedotte le sollecitazioni limite ammissibili, le ampiezze d'oscillazione, i limiti di deformazione, ecc. per i materiali adottati, per gli

elementi costruttivi e per gli elementi di giunzione, in relazione al numero di alternanze di sollecitazione prevedibili.

Sarà possibile evitare l'esatta verifica del cedimento strutturale a fatica se le condizioni di sicurezza sono verificate con un carico dinamico moltiplicato per un coefficiente di fatica pari a 3.

La verifica della sicurezza rispetto al cedimento a fatica non è necessaria, se il valore la parte di carico dinamico è inferiore al 10% del valore della sollecitazione statica ammissibile.

### 4.5 Criteri di valutazione

Una diminuzione del valore d'uso di edifici o loro parti per effetto di vibrazioni, ai sensi della presente norma, può essere, ad esempio, del seguente tipo:

- compromissione della sicurezza statica di edifici o di loro parti e
- diminuzione della portanza di solai.

Per edifici del tipo indicato nella tabella 1, righe 2 e 3, si ha una diminuzione del valore d'uso anche, ad esempio, in presenza di:

- lesione nell'intonaco delle pareti;
- incremento di lesioni già esistenti nell'edificio;
- lesionamento tra tramezzi o divisori e murature portanti o solai.

Questi tipi di danni vengono definiti danni lievi.

### 4.6 Effetto delle vibrazioni sui terreni

Forti vibrazioni possono indurre assestamenti del suolo e quindi cedimenti delle fondazioni, soprattutto in terreni incoerenti (sabbie, ghiaie) di consistenza da bassa a media. Questo vale soprattutto per vibrazioni ricorrenti, per sabbie uniformi e per terreni al di sotto della falda freatica. Per informazioni dettagliate vedere appendice C.

## 5 Vibrazioni transienti

### 5.1 Valutazione dell'intera costruzione.

Da un gran numero di misurazioni della velocità di oscillazione effettuate sulle fondazioni degli edifici sono stati ricavati valori sperimentali utilizzabili come riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni transienti sulle costruzioni.

Per la valutazione si prende in considerazione il valore maggiore (valore massimo)  $|v|_{i, \max}$  tra le tre componenti  $i = x, y, z$  della velocità d'oscillazione  $v_i(t)$ , sulla fondazione, di seguito indicata più semplicemente  $v_i$  (vedi 5.4).

Importanti indicazioni per la valutazione sono inoltre fornite dalle oscillazioni del solaio più elevato poggiante sulle pareti perimetrali. A base della valutazione va considerato il valore maggiore tra ciascuna delle due componenti orizzontali.

Misurando le oscillazioni in questo punto (vedi 5.4) si determina la risposta orizzontale del fabbricato all'eccitazione delle fondazioni.

Nella tabella 1 e nella figura 1 sono riportati, per diverse tipologie di costruzione, i valori di riferimento per  $v_i$  sulle fondazioni ed a livello del solaio superiore.

(...)

**KTA 2201.2 (JUNE 1990): AUSLEGUNG VON KERNKRAFTWERKEN GEGEN SEISMI-SCHE EINWIRKUNGEN; TEIL 2: BAUGRUND) - DESIGN OF NUCLEAR POWER PLANTS AGAINST SEISMIC EVENTS, PART 2: SUBSURFACE MATERIALS (SOIL AND ROCK)**

TESTO COMPLETO IN INGLESE

# Safety Standards

of the  
Nuclear Safety Standards Commission (KTA)

---

**KTA 2201.2** (June 1990)

**Design of Nuclear Power Plants Against Seismic Events  
Part 2: Subsurface Materials (Soil and Rock)**

(Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische  
Einwirkungen;  
Teil 2: Baugrund)

A previous version of this Safety Standard  
was issued 11/82

---

If there is any doubt regarding the information contained in this translation, the German wording shall apply.

Editor:

KTA-Geschäftsstelle c/o Bundesamt fuer Strahlenschutz (BfS)  
Willy-Brandt-Strasse 5 • 38226 Salzgitter • Germany  
Telephone +49-1888/333-(0) 1621 • Telefax +49-1888/333-1625

# KTA SAFETY STANDARD

June 1990

Design of Nuclear Power Plants Against Seismic Events  
Part 2: Subsurface Materials (Soil and Rock)

KTA 2201.2

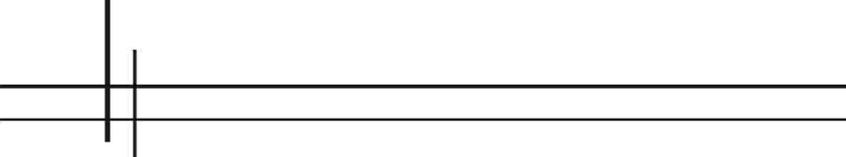
## CONTENTS

Basic Principles.....	1
1 Scope.....	1
2 Definitions.....	1
3 Investigation of the Subsurface Materials.....	1
4 Dynamic Characteristics of the Subsurface Materials.....	1
5 Changes of the Subsurface Materials.....	1
6 Models for the Subsurface Materials.....	1
7 Interaction between Subsurface Materials and Structure.....	2
Appendix A Application Methods.....	3

PLEASE NOTE: Only the original German version of this safety standard represents the joint resolution of the 50-member Nuclear Safety Standards Commission (Kerntechnischer Ausschuss, KTA). The German version was made public in Bundesanzeiger No. 194a on October 14, 2000. Copies may be ordered through the Carl Heymanns Verlag KG, Luxemburger Str. 449, 50939 Koeln (Telefax +49-221-94373-603).

All questions regarding this English translation should please be directed to:

KTA-Geschaeftsstelle c/o BfS, Willy-Brandt-Strasse 5, 38226 Salzgitter, Germany



#### Comments by the editor:

Taking into account the meaning and usage of auxiliary verbs in the German language, in this translation the following agreements are effective:

- shall** indicates a mandatory requirement,
- shall basically** is used in the case of mandatory requirements to which specific exceptions (and only those!) are permitted. It is a requirement of the KTA that these exceptions - other than those in the case of **shall normally** - are specified in the text of the safety standard,
- shall normally** indicates a requirement to which exceptions are allowed. However, the exceptions used, shall be substantiated during the licensing procedure,
- should** indicates a recommendation or an example of good practice,
- may** indicates an acceptable or permissible method within the scope of this safety standard.

## Basic Principles

(1) The safety standards of the Nuclear Safety Standards Commission (KTA) have the task of specifying those safety-related requirements which shall be met with regard to precautions to be taken in accordance with the state of science and technology against the damage arising from the construction and operation of the facility (Sec. 7 para. 2 no. 3 Atomic Energy Act), in order to attain the protective goals specified in the Atomic Energy Act and the Radiological Protection Ordinance and further detailed in the "Safety Criteria for Nuclear Power Plants" and the "Guidelines for the Assessment of the Design of Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactor against Incidents pursuant to Sec. 28 para. 3 of the Radiological Protection Ordinance (Incident Guidelines)".

(2) In order to attain these protective goals, Safety Standard KTA 2201.2 - as part of KTA 2201 entitled "Design of Nuclear Power Plants against Seismic Events" - deals with the determination and application of characteristics of the subsurface materials which have to be taken as a basis when designing a nuclear power plant against seismic events. KTA 2201 also contains the following parts:

Part 1: Principles

Part 3: Design of Building Structures

Part 4: Requirements to be Met by Methods for the Demonstration of the Aseismic Safety of Mechanical and Electrical Components

Part 5: Seismic Instrumentation

Part 6: Post-Seismic Measures

## 1 Scope

This safety standard applies to nuclear power plants.

## 2 Definitions

### (1) Damping of Subsurface Materials

The damping of subsurface materials is equal to the energy which the soil withdraws from the oscillating system consisting of subsurface, materials and structure. It is made up of radiation damping and material damping.

### (2) Soil liquefaction

Soil liquefaction is the reduction of the shear strength of a soil because of an increase in pore pressure as a result of a compression of the grain structure under dynamic loads.

## 3 Investigation of the Subsurface Materials

(1) The documents used to evaluate the conditions of the subsurface materials at the site shall include in particular expert analyses concerning geology, seismology and subsurface materials.

(2) The results of the investigations of subsurface materials and the expert analyses shall be laid down in a generalized soil profile which should include not only the characteristics of the layers but also data concerning the groundwater level.

(3) The following characteristics of the respective soil layers should be quoted:

- a) depth and thickness (m)
- b) geological designation
- c) soil classification
- d) weight density of the moist soil ( $\text{kN/m}^3$ )

- e) coefficient of stiffness ( $\text{kN/m}^2$ )
- f) angle of internal friction (degree)
- g) cohesion ( $\text{kN/m}^2$ )

## 4 Dynamic Characteristics of the Subsurface Materials

(1) For the design of nuclear power plants against seismic impacts, Poisson's ratio, shear modulus and material damping shall be determined as dynamic characteristics of the subsurface materials. For this purpose, upper and lower limits shall be quoted as a function of the depth and of the stress condition of the soil when subjected to the structural load.

(2) The methods for the determination of the dynamic characteristics of the subsurface materials shall be selected as a function of the conditions of the subsurface materials.

In principle, both in-situ and laboratory tests shall be carried out. As an exception to this rule, the procedures referred to in paras. (3) and (4) may be used.

*Note:*

*Methods for the determination of dynamic characteristics of subsurface materials are contained as examples in Section A 1 of Appendix A.*

(3) If the subsurface materials and the geological boundary conditions of two sites are comparable, the dynamic characteristics of the subsurface materials of the one site may be assumed to apply to the other as well.

(4) The dynamic characteristics of the subsurface materials may be estimated for nuclear power plants at sites for which the maximum accelerations of the design basis earthquake were determined to be below  $1.0 \text{ m/s}^2$ .

(5) The shear modulus and the material damping should be determined as a function of the shear deformation and the stress condition in the soil.

*Note:*

*A method for the determination of shear modulus and material dampings, either on the basis of in-situ investigations or by means of auxiliary calculations, is contained as an example in Section A 2 of Appendix A.*

## 5 Changes of the Subsurface Materials

(1) Possible changes of the subsurface materials such as they may occur as a result of earthquakes shall be determined. These include in particular:

- a) permanent deformations as a result of compaction or other changes of the grain structure,
- b) reduction of shear strength, either as a result of soil liquefaction or as a result of other changes of the grain structure.

*Note:*

*Basic principles for the evaluation of soil liquefaction are contained as examples in Section A 3 of Appendix A.*

(2) For nuclear power plants at sites for which the maximum accelerations of the reference earthquake were determined to be below  $1.0 \text{ m/s}^2$ , or where the subsurface materials consists of stiff and geologically preloaded clays or equivalent cohesive soils, no demonstration with respect to soil liquefaction is required.

## 6 Models for the Subsurface Materials

(1) Within the system consisting of structure and subsurface materials, the representation of the subsurface materials may be effected as a spring-mass, fine-element, finite-difference or boundary-element model or any combination of these models.

(2) If the generalized soil profile can be represented by a single layer (uniform subsurface material), a damped spring-mass model may be used. The parameters of this model may be determined on the basis of the theory of the elastic half-space. In a simplified approach, they may be assumed to be independent of frequency, provided an adequate parameter variation is effected.

*Note:*

*The representation of the subsurface materials is dealt with in further detail in KTA 2201.3 (being prepared).*

## **7 Interaction between Subsurface Materials and Structure**

(1) The influences of dynamic characteristics of subsurface materials, in particular those of shear modulus and material damping, on the oscillatory response of the structure shall be included in the calculations by the assumption of a variation range of these characteristics.

(2) The variation range of the characteristics of the oscillatory system consisting of subsurface material and structure shall be covered when calculating the plant components.

## Appendix A

### Application Methods

#### Contents:

A 1	Investigation methods for the determination of dynamic characteristics of subsurface materials .....	3
A 2	Determination of shear modulus and material damping on the basis of in-situ investigations or auxiliary calculation's .....	4
A 3	Basic principles for the evaluation of soil liquefaction .....	4
A 4	References .....	5

#### A 1 Investigation methods for the determination of dynamic characteristics of subsurface materials

Method	Measuring Method	a) Measured Quantity b) Derived Quantities	<sup>1</sup> Shear Deformation Range
<b>In-situ methods</b>			
Uphole method	Excitation in the borehole, measurement at the surface	a) Travel times (P and S wave velocities) b) Shear modulus, Poisson's ratio	approx. $10^{-7}$ to $10^{-5}$
Downhole method	Excitation at the surface, measurements in the borehole		
Through transmission method	Excitation in a borehole, measurement in one or more adjacent boreholes		
Vibroseis method	Continuous excitation and measurement at the surface	a) Travel times (surface wave velocities) b) Shear modulus	approx. $10^{-7}$ to $10^{-5}$
<b>Laboratory methods</b>			
Resonance test	Determination of the velocities with variable frequencies and variable amplitudes	a) Frequency, wave length (P and S wave velocities) b) Shear modulus, Poisson's ratio, material damping	approx. $10^{-6}$ to $10^{-4}$
Triaxial dynamic test	Measurement under vertical and tangential loads with variable stress conditions	a) Movements, stresses (stress-shear deformation characteristic) b) Shear modulus, material damping, Poisson's ratio	approx. $10^{-4}$ to $5 \times 10^{-2}$
Simple dynamic shear test	Measurement with simple shear under uni-axial load and impeded lateral expansion		
Dynamic torsion test	Measurement under tangential load and uni-axial		$10^{-5}$ to $5 \times 10^{-2}$
<sup>1</sup> In the case of earthquakes in the Federal Republic of experience so far shows that shear deformations are in the shear deformation range from $10^{-3}$ to $10^{-5}$			

## A 2 Determination of shear modulus and material damping on the basis of in-situ investigations or auxiliary calculation's

The determination of shear modulus (G) and material damping (D) may be effected along the lines of [1] in accordance with equation A 1 and equation A 2 as shown in Fig. A 1.

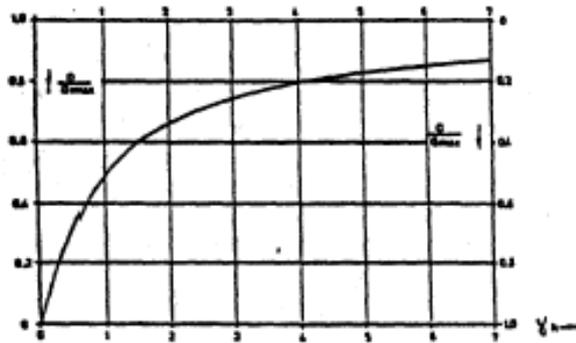


Fig. A 1: Relationship between shear modulus, material damping and hyperbolic shear deformation

$$G_{\max} = \frac{1}{1 + \gamma_h} G_{\max} \quad (\text{A } 1)$$

$$D_{\max} = \frac{\gamma_h}{1 + \gamma_h} D_{\max} \quad (\text{A } 2)$$

$$\gamma_h = \frac{\gamma}{\gamma_r} \left[ 1 + a \cdot \exp\left(-b \frac{\gamma}{\gamma_r}\right) \right] \quad (\text{A } 3)$$

$$\gamma_r = \frac{\max \tau}{G_{\max}} \quad (\text{A } 4)$$

- $\gamma_h$  = hyperbolic shear deformation
- $G_{\max}$  = shear modulus for smallest shear deformations
- $D_{\max}$  = material damping for largest shear deformations
- $\gamma$  = shear deformation
- $\gamma_r$  = reference shear deformation
- $\max \tau$  = maximum shear stress

The maximum material damping  $D_{\max}$  and the quantities a and b can be determined for different types of soil with the aid of the reference equations quoted in [1]. The major influencing quantities include number and frequency of the stress cycles as well as the stress condition prevailing in the soil.

In general,  $G_{\max}$  shall be determined by in-situ measurements. For estimation purposes, empirically derived approximate equations may be used such as they are found in literature, for example [1], and take the following form:

$$G_{\max} = \alpha \cdot \frac{(\beta - e)^2}{1 + e} \cdot \sigma'_m{}^\delta \cdot (\text{OCR})^K \quad (\text{A } 5)$$

- e = pore ratio of the soil
- $\sigma'_m$  = mean effective principal stress in the soil
- $\delta$  = exponent, as a rule 0.5
- $\alpha, \beta$  = quantities depending on grain shape, grain size distribution and degree of saturation
- OCR = degree of over-consolidation
- K = exponent depending on the plasticity index of the soil

## A 3 Basic principles for the evaluation of soil liquefaction

### A 3.1 Liquefaction potential

Basically, uniform and fine sands exhibit a greater tendency towards soil liquefaction than non-uniform and coarse sands. The decisive influence is exercised by the compactness of the material. The tendency towards liquefaction increases with the degree of looseness. With all other conditions being identical, the tendency towards liquefaction will decrease with an increase in effective stresses in the soil.

In the case of high-lying groundwater levels, the danger of liquefaction is greater than in the case of deep-lying groundwater levels. The danger of liquefaction increases with the intensity and duration of an earthquake.

In this context, the permeability of the sand and the drainage conditions shall also be taken into consideration. The thinner the endangered layers and the faster they can drain into permeable adjacent layers, the shorter is the time during which the sand remains in the liquid state and the less persistent are the consequences.

Geologically preloaded, stiff clays and similar cohesive soils are insensitive to vibrations. They do not exhibit any tendency towards liquefaction.

Soils whose grain size ranges between middle silt and coarse sand are susceptible to liquefaction. This applies in particular to fine sands. As far as gravels are concerned, liquefaction is, in general, only a very short-term phenomenon so that no damaging shear deformations can occur. The duration of liquefaction depends on the conditions of drainage.

In stratified soils the liquefaction process, starting out from an easily liquefiable layer, may spread to soil areas which would not be endangered in normal conditions. Therefore, the danger of liquefaction shall be evaluated on the basis of the most unfavorable layer.

The following shall be effected for the evaluation of the danger of soil liquefaction:

- (a) boreholes under and beside the planned structure down to a depth of 25 m below the surface of the terrain,
- (b) drop penetration tests or pressure determination by ultrasonic means,
- (c) determination of the highest ground water level,
- (d) dynamic shear tests, if necessary.

A 3.2 Methods for the estimation of the possibility of soil liquefaction (along the lines of [2])

Step 1:

A grain size distribution curve of the soil to be investigated shall be plotted in a diagram in accordance with Fig. A 2.

If the grain size distribution curve is outside Zones 1 and 2, liquefaction need not be assumed.

If the principal portion of the grain size distribution curve is within Zone 1, limit line Z<sub>1</sub> in Fig. A 3 is decisive for the further examination.

If the principal portion of the grain size distribution curve is within Zone 2, limit line Z<sub>2</sub> in Fig. A 3 is decisive for the further examination.

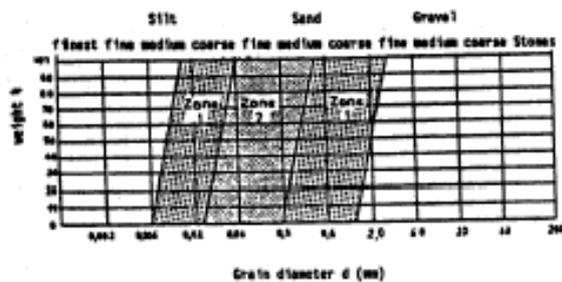


Fig. A 2: Grain size distribution areas susceptible to liquefaction

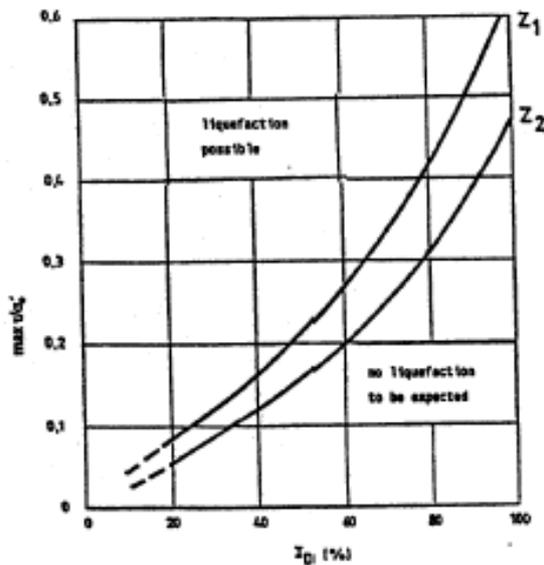


Fig. A 3: Diagram for estimating the possibility of soil liquefaction

Step 2:

The dynamic shear stress ratio  $\tau/\sigma'_v$  shall be calculated from  $\sigma'_v$  and the relation

$$\max \tau = \sigma'_v \frac{\max a}{g} r_d$$

where max a is the maximum acceleration, g the acceleration due to gravity and

$\sigma'_v$  the effective vertical stress in the soil at depth t (stress resulting from structural load and weight of the soil after deduction of lift at the highest groundwater level)

$\sigma_v$  the total vertical stress in the soil at depth t (stress resulting from structural load and weight of the water-saturated soil at the highest groundwater level)

$r_d$  the reduction factor as a function of depth in accordance with Fig. A 4.

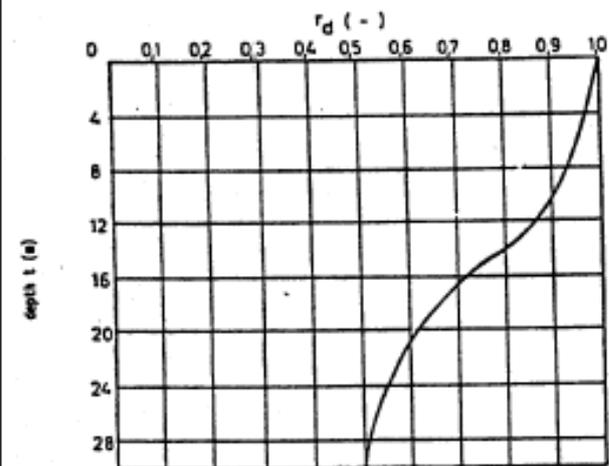


Fig. A 4: Reduction factor  $r_d$  as a function of depth t

Step 3:

If the intersection of the shear stress ratio  $\max \tau/\sigma'_v$  and the relative compactness  $I_D$  of the soil is below the relevant limit lines Z<sub>1</sub> and Z<sub>2</sub> plotted in Fig. A 3, there is no danger of soil liquefaction.

If the intersection is above the limit line, soil liquefaction cannot be ruled out. In such a case, more detailed investigations are needed.

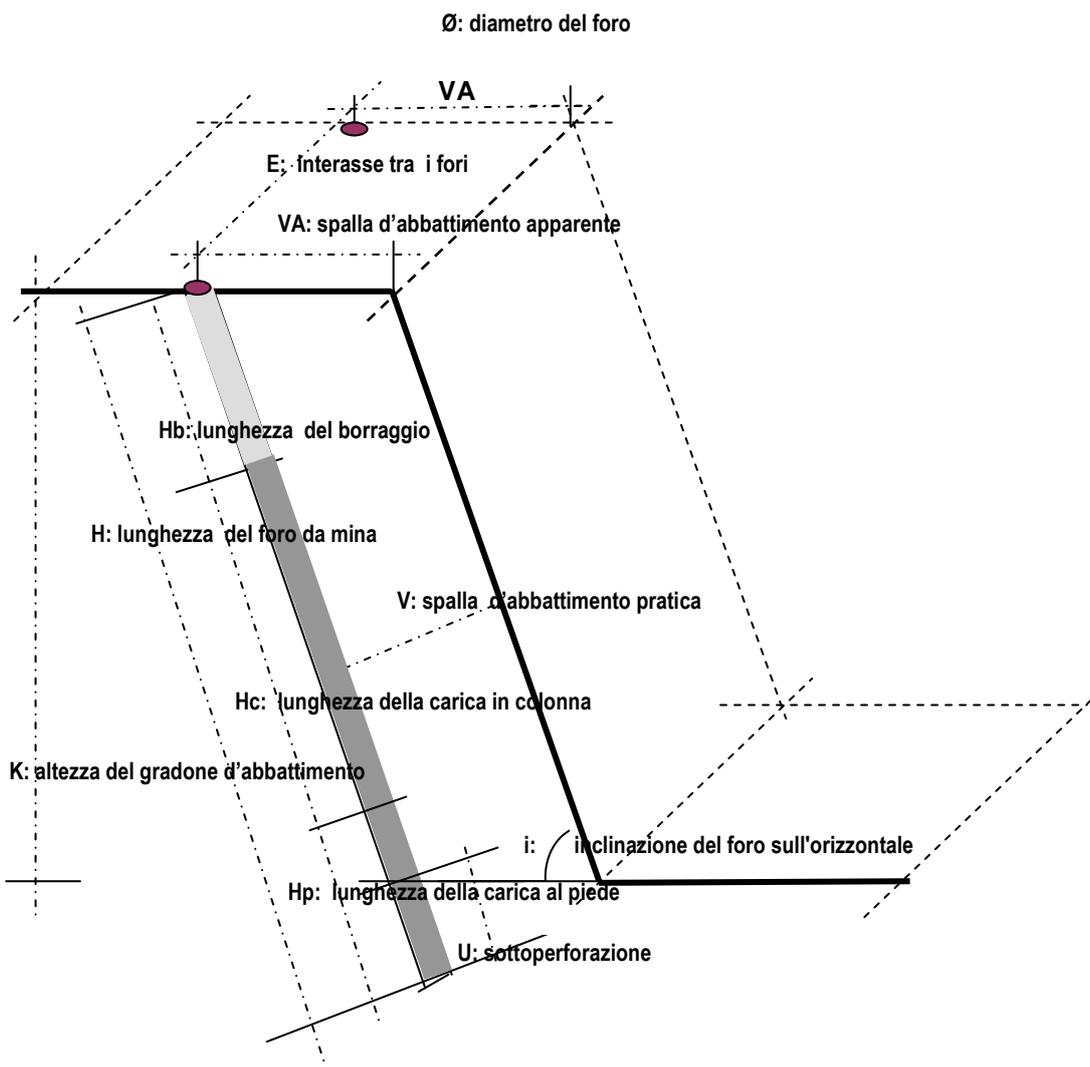
A 4 References

- [1] HARDIN, B.O. and DRNEVICH, V.P.: Shear modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves. J. Soil Mech. and Found. Div. ASCE, 1972, Vol. 98, SM 7, p. 667-692.
- [2] SEED, H.B. and IDRIS, I.M.: Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. J. Soil Mech. and Found. Div. ASCE, 1971, Vol. 97, SM 9, p. 1249-1273.

# SCHEMA DI BRILLAMENTO DELLA VOLATA - mod. NTX

## Volata d'abbattimento a gradone

### GEOMETRIA DEL GRADONE & SCHEMA DI PERFORAZIONE



Volata d'abbattimento a gradone  
**TABELLA DI CARICAMENTO DEL FORO - mod. NTX**

<b>K</b>	altezza del gradone (in verticale)	15,00	m
<b>i</b>	inclinazione del foro sull'orizzontale	72	° (x/y = 1/3)
<b>Ø</b>	diametro del foro da mina	90	mm
<b>H</b>	lunghezza del foro da mina	16,6	m
<b>V</b>	spalla d'abbattimento pratica	2,6	m
<b>VA</b>	spalla d'abbattimento apparente	2,7	m
<b>E/V</b>	rapporto interasse / spalla d'abbattimento	1,3	
<b>E</b>	interasse tra i fori	3,3	m
<b>U</b>	sottoperforazione	0,8	m
	volume d'influenza del foro	134	m <sup>3</sup>
<b>E c</b>	esplosivo in colonna: AN.FO. incartucciato		
	lunghezza media delle cartucce L	500	mm
	diametro medio delle cartucce Ø	70	mm
	peso medio cartuccia	1,56	kg/n
	cartucce/cartone	16	n
	energia specifica d'esplosione	3,1	MJ/kg
	disaccoppiamento cartucce-foro	0,40	
<b>E p</b>	esplosivo al piede SLURRY incartucciato		
	lunghezza media delle cartucce L	500	mm
	diametro medio delle cartucce Ø	70	mm
	peso medio cartuccia	2,3	kg/n
	cartucce/cartone	11	
	energia specifica d'esplosione	3,3	MJ/kg
	disaccoppiamento cartucce-foro	0,40	
<b>E nc</b>	numero di cartucce in colonna	20,0	
<b>E np</b>	numero di cartucce al piede	4,0	
<b>H b</b>	lunghezza borraggio	5,1	m
	accorciamento medio cartucce di esplosivo in foro	5%	
<b>H c</b>	lunghezza carica in colonna AN.FO.	9,5	m
<b>H p</b>	lunghezza carica al piede SLURRY	2,0	m
<b>QE c</b>	quantità di esplosivo in colonna AN.FO	31,3	kg
<b>QE p</b>	quantità di esplosivo al piede SLURRY	9,1	kg
<b>QE</b>	quantità di esplosivo in foro (SLURRY e AN.FO)	40,3	kg
		126,9	MJ
<b>QPsp</b>	perforazione specifica	0,12	m/m <sup>3</sup> in banco
<b>QEsp</b>	consumo specifico esplosivo	0,30	kg/m <sup>3</sup> in banco
		0,95	MJ/m <sup>3</sup> in banco
<b>QDsp</b>	consumo specifico detonatori	0,02	n/m <sup>3</sup> in banco
<b>c</b>	coefficiente di frantumabilità della roccia	0,66	MJ/m <sup>3</sup>
<b>S80</b>	indice pezzatura marino	0,5	

## Volata d'abbattimento a foro cieco - mod. NTX

**DATI DI SINTESI SULLA VOLATA DI SICUREZZA**  
(progettata in modo da contenere le vibrazioni indotte nei manufatti vicini da salvaguardare, entro limiti di sismicità prestabiliti)

Committente:	
Sito:	

### **Verifica sicurezza sismica**

<b>Velocità limite (99%):</b>	<b>10 mm/s</b>
Curva di decadimento: $v =$	601 * DS <sup>-1,36</sup>
Distanza scalata di sicurezza:	20,3 m/MJ <sup>0,286</sup>
<b>Distanza min. da manufatto:</b>	<b>51 m</b>
<b>Carica massima per ritardo:</b>	<b>25,2 MJ</b>
<b>VELOCITÀ PROBABILE (50%): 4 mm/s</b>	

**Carica totale:** 200 kg = 700,4 MJ

di cui:	Gel B6:	0 kg	-
	Sigma 605:	175 kg	7 casse
	Sigma 6 profilo $\varnothing$ 19 mm:	25 kg	1 cassa

Totale numero di fori: 108

Sfondo: 2,2 m      Sezione: 85 m<sup>2</sup>

Volume abbattuto: 187 m<sup>3</sup>

**Densità unitaria di carica:** 1,1 kg/m<sup>3</sup>

**3,75 MJ/m<sup>3</sup>**

Redatta da:

Il:

Allegati:

-schema di volata di sicurezza

- ...

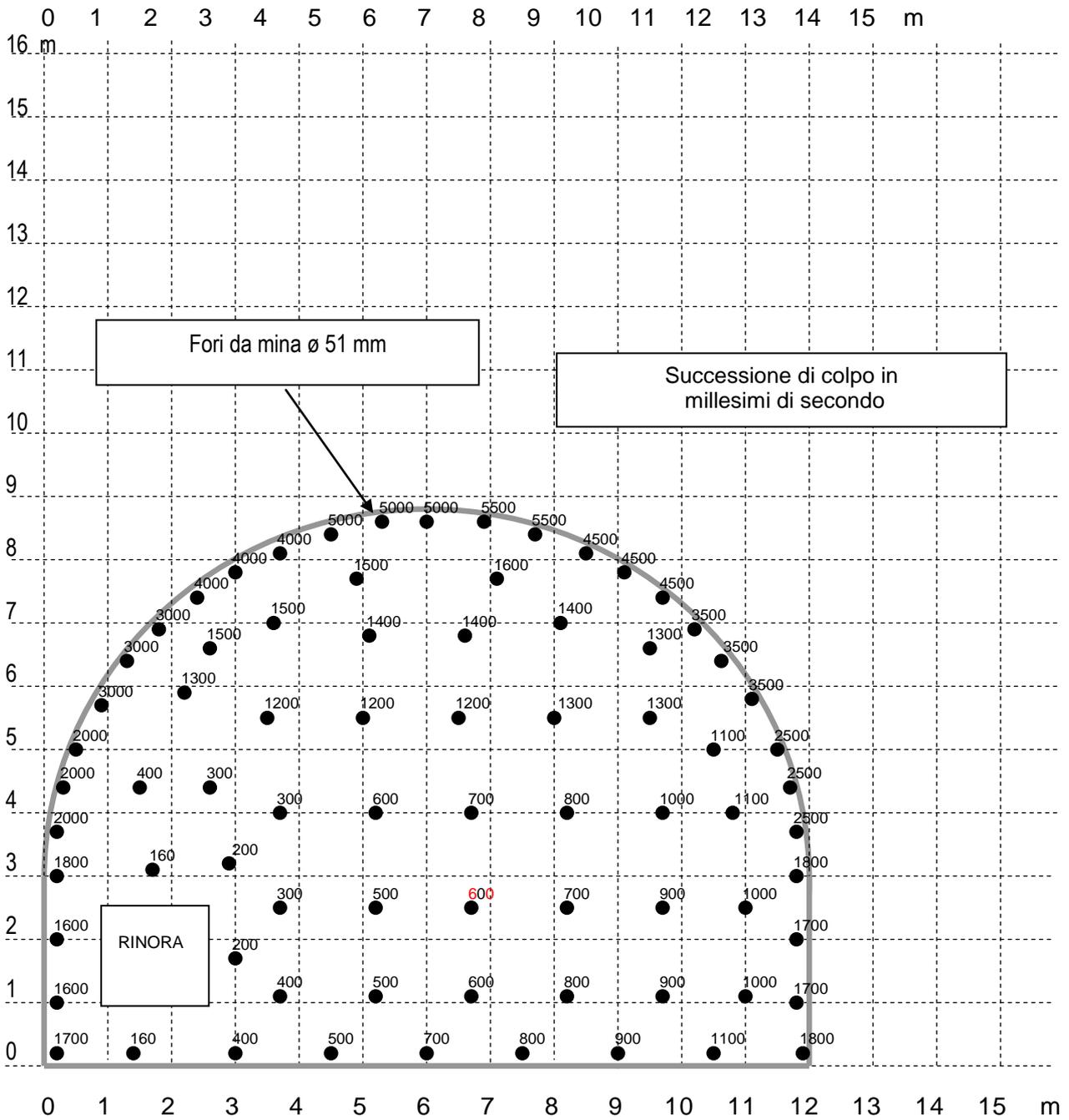
- ...

Volata d'abbattimento a foro cieco  
**TABELLA DI CARICAMENTO DEI FORI DA MINA - mod. NTX**

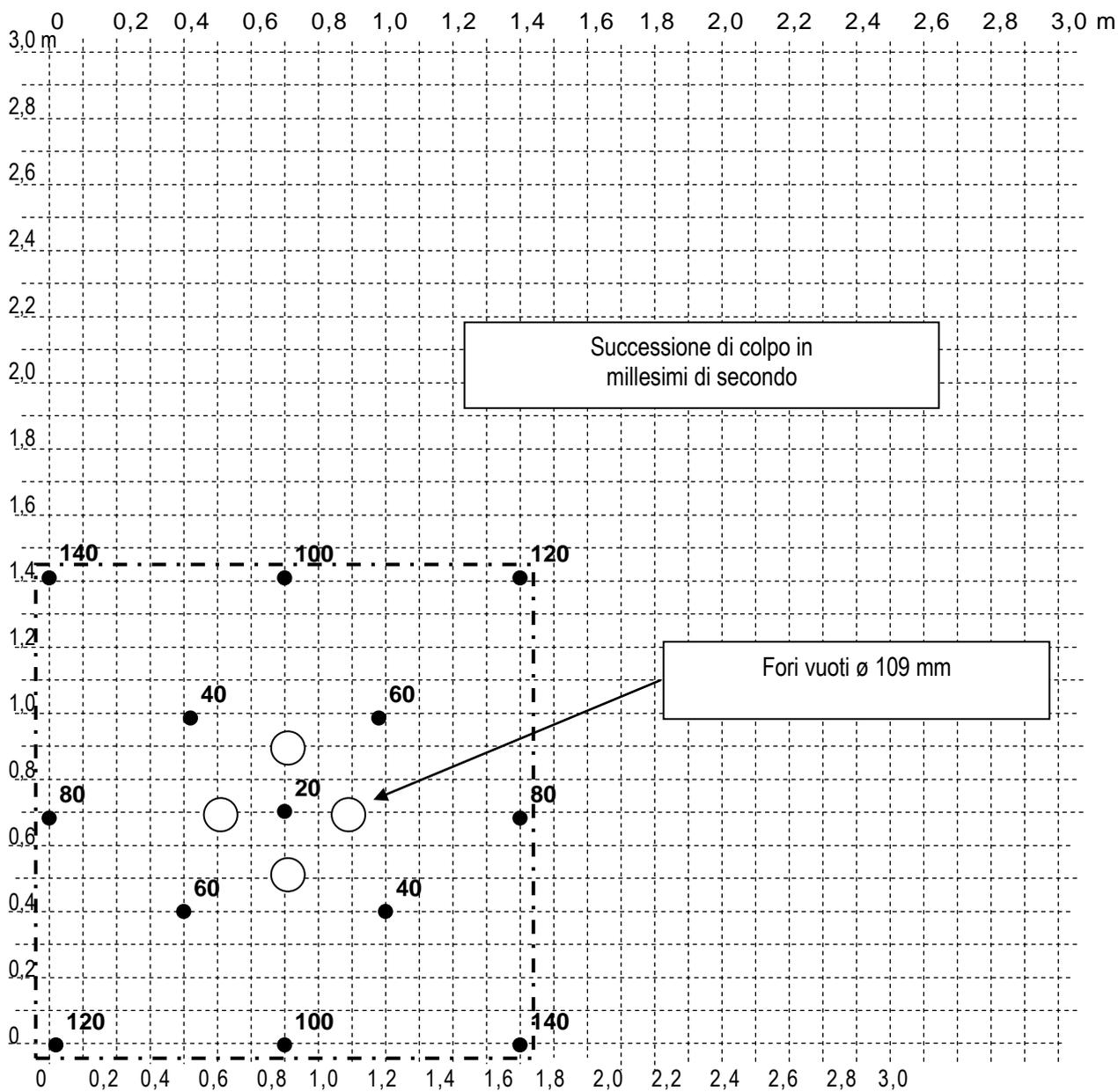
		Lunghezza cartuccia (m)			Peso della cartuccia (kg)			Energia d'esplosione (MJ/kg)			ESPLOSIVO			accorciamento 8%		
		0,40	0,40	1	0,69	0,60	0,30	totali								
		3,7	3,5	3,5				108	700	200						
Tipo di detonatore	Succ. nominale innesco in registraz. sismica	Lung. Foro	Gel B6	Sigma 605	Sigma 6 profilo ø 19 mm	Carica per singolo foro		Num. Fori	Carica per tempo d'innescio		Lungh. carica	Lungh. borraggio / foro vuoto				
						(MJ)	(kg)		(n)	(MJ)			(kg)			
		(s)	(m)	Cartucce per foro (n)			(MJ)	(kg)	(n)	(MJ)	(kg)	(m)	(m)			
RINORA	fori diam. 109 mm	2,20	-	-	-	-	-	2	-	-	-	2,2				
	MIZP 20 - t.1	1,020	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	2	16,80	4,8	1,5	0,7			
	MIZP 20 - t.2	1,040	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	2	16,80	4,8	1,5	0,7			
	MIZP 20 - t.3	1,060	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	2	16,80	4,8	1,5	0,7			
	MIZP 20 - t.4	1,080	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	2	16,80	4,8	1,5	0,7			
	MIZP 20 - t.5	1,100	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	2	16,80	4,8	1,5	0,7			
	MIZP 20 - t.6	1,120	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	2	16,80	4,8	1,5	0,7			
SLARGO e SOTTOCORONA	MIZP 20 - t.7	1,140	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	2	16,80	4,8	1,5	0,7			
	MIZP 20 - t.8	1,160	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	2	16,80	4,8	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.2	1,200	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	2	16,80	4,8	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.3	1,300	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	3	25,20	7,2	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.4	1,400	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	3	25,20	7,2	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.5	1,500	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	3	25,20	7,2	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.6	1,600	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	3	25,20	7,2	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.7	1,700	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	3	25,20	7,2	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.8	1,800	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	3	25,20	7,2	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.9	1,900	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	3	25,20	7,2	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.10	2,000	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	3	25,20	7,2	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.11	2,100	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	3	25,20	7,2	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.12	2,200	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	3	25,20	7,2	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.13	2,300	2,20	-	4,0	-	8,40	2,4	3	25,20	7,2	1,5	0,7			
	MIZP 100 - t.14	2,400	2,20	-	3,0	-	6,30	1,8	3	18,90	5,4	1,1	0,7*			
	MIZP 100 - t.15	2,500	2,20	-	3,0	-	6,30	1,8	3	18,90	5,4	1,1	0,7*			
	MIZP 100 - t.16	2,600	2,20	-	3,0	1,0	7,35	2,1	3	22,05	6,3	2,0	0,7*			
	MIZP 100 - t.17	2,700	2,20	-	3,0	1,0	7,35	2,1	3	22,05	6,3	2,0	0,7*			
	MIZP 100 - t.18	2,800	2,20	-	3,0	1,0	7,35	2,1	3	22,05	6,3	2,0	0,7*			
	TZMSP - t.4	3,000	2,20	-	3,0	1,0	7,35	2,1	3	22,05	6,3	2,0	0,7*			
TZMSP - t.5	3,500	2,20	-	3,0	1,0	7,35	2,1	3	22,05	6,3	2,0	0,7*				
TZMSP - t.6	4,000	2,20	-	3,0	1,0	7,35	2,1	3	22,05	6,3	2,0	0,7*				
PIEDRITI e PROFILO	TZMSP - t.7	4,500	2,20	-	0,5	2,0	3,15	0,9	3	9,45	2,7	2,0	0,7*			
	TZMSP - t.8	5,000	2,20	-	0,5	2,0	3,15	0,9	4	12,60	3,6	2,0	0,7*			
	TZMSP - t.9	5,500	2,20	-	0,5	2,0	3,15	0,9	4	12,60	3,6	2,0	0,7*			
	TZMSP - t.10	6,000	2,20	-	0,5	2,0	3,15	0,9	4	12,60	3,6	2,0	0,7*			
	TZMSP - t.11	6,500	2,20	-	0,5	2,0	3,15	0,9	4	12,60	3,6	2,0	0,7*			
	TZMSP - t.12	7,000	2,20	-	0,5	2,0	3,15	0,9	4	12,60	3,6	2,0	0,7*			
	TZMSP - t.13	7,500	2,20	-	0,5	2,0	3,15	0,9	4	12,60	3,6	2,0	0,7*			
	TZMSP - t.14	8,000	2,20	-	0,5	3,0	4,20	1,2	4	16,80	4,8	2,9	0,7*			

\* cariche di profilo forzate nel foro sino a 0,7 m da intestazione

Volata d'abbattimento a foro cieco  
**SCHEMA DI PERFORAZIONE E SUCCESSIONE D'INNESCO DELLE CARICHE**



Volata d'abbattimento a foro cieco  
**PARTICOLARE DELLE RINORA (TIPO "CUT HOLE")**



# SCHEMA DI PERFORAZIONE e SUCCESSIONE D'INNESCO - mod. NTX

volata del ..... ore ..... presso .....

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
23															
22															
21															
20															
19															
18															
17															
16															
15															
14															
13															
12															
11															
10															
9															
8															
7															
6															
5															
4															
3															
2															
1															

## SCHEDE DI PRODOTTO DEGLI ESPLOSIVI - fac simile

Emulsione esplosiva  
Emulgit LWC AL

SCHEDA DI PRODOTTO



commercializzato in Italia dalla  
**MEDEX® S.r.l.**

**Mediterranea Esplosivi**

Tel. 030 99 04 039 Fax. 030 99 06 189

e-mail: [info@mediterranea-esplosivi.it](mailto:info@mediterranea-esplosivi.it)

[www.mediterranea-esplosivi.it](http://www.mediterranea-esplosivi.it)

Le emulsioni esplosive incartucciate **Emulgit LWC AI** costituiscono l'ultima evoluzione della famiglia LWC (Low Water Composition – emulsioni esplosive a basso contenuto d'acqua). Non contengono particelle asciutte di nitrato d'Ammonio e sono sensibilizzate a bolle di gas. Contengono una percentuale d'Alluminio che contribuisce a renderne eccezionali le prestazioni.

**Emulgit LWC AI** trova impiego ottimale là dove sono necessari esplosivi altamente performanti, in alternativa alla dinamite, come nella carica di piede in abbattimenti a gradone, negli scavi a sezione obbligata (trincee, splateamenti) e negli scavi a foro cieco (gallerie, pozzi, caverne).

Le cartucce sono rivestite di un foglio di polietilene bianco con due strisce rosse. Molto elevata è la consistenza della pasta esplosiva.

### Caratteristiche del prodotto

Peso dell'unità di volume:	(g/cm <sup>3</sup> )	1,15
Volume dei gas (25°C, 1 Atm):	(l/ka)	834
Energia specifica d'esplosione:	(MJ/ka)	4,4
Bilancio d'ossigeno:	(%)	-2,2
Velocità di detonazione (ø 30 mm confinata):	(km/s)	3,6
Distanza di colpo (su letto di sabbia):	(mm)	<40
Certificato di conformità CE del tipo:	0589.EXP.0359/99	
Codice d'identificazione	BAM-EM-013	
M.A.P.	1Ab 0271	
Classificazione e iscrizione TULPS	1.9.2003	
Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale	26.9.2003	
Istituto Superiore della Sanità	11.12.2003	

SP 002-02 Rev. 03.03.2005



### Opportunità d'impiego

- Bassissima sensibilità agli urti, all'attrito, al freddo ed al caldo:  
per ottimali condizioni di sicurezza nel trasporto, nell'immagazzinamento e nell'uso.
- Resa elevata per il minimo contenuto d'acqua e per la concentrazione ottimale dell'Alluminio: con riduzione della perforazione specifica e risparmio sia in termini di costi che di tempi (la completa ossidazione dell'Alluminio garantisce la non insorgenza del fenomeno di "combustione post detonazione", ovvero della combustione della frazione non ossidata di Alluminio, caratteristica questa delle emulsioni sovradimensionate in Alluminio).
- Ottima sensibilità all'innesco sia con detonatore che con miccia detonante, anche per i diametri più piccoli (non necessita di carica di rinforzo – starter): per la garanzia d'innesco di tutte le cariche nella volata.
- Assoluta resistenza all'acqua:  
per ogni condizione d'impiego.
- Formati speciali possono essere realizzati su richiesta.
- Elevata consistenza del prodotto:  
per un agevole caricamento anche dei fori orizzontali o inclinati anche in climi caldi.
- Minimo rilascio di gas pericolosi:

### Disposizioni d'impiego

#### Limitazioni

- Diametro minimo delle cartucce: 30 mm;
- Non ammesso in ambienti "grisutosi";
- Prestazioni garantite sino a 6 mesi dalla data di fabbricazione.
- Ambito climatico d'uso raccomandato: da 0°C a 50°C.

#### Consigli d'uso

- L'elevata energia di detonazione dell'Emulgit LWC Al determina elevate prestazioni nell'abbattimento di rocce dure. La reazione dell'Alluminio, più lenta di quella della matrice di nitrati in olio, prolunga l'azione di spinta dei gas d'esplosione al contorno del foro. In questo modo anche per gli abbattimenti a foro cieco o per quelli con spalla elevata, quando cioè la roccia richiede più tempo per essere spazzata, una elevata frazione dell'energia di esplosione viene utilizzata per l'estensione delle fatture prodotte dall'onda d'urto, così da massimizzare l'efficacia dell'abbattimento.
- Eccellenti risultati sono stati rilevati anche in abbattimento di ammassi di roccia a comportamento tendenzialmente plastico (roccia sorda).
- Nel caso non possa essere garantita la continuità di carica in foro è raccomandato l'impiego di miccia detonante, di almeno 20 g PETN/m, ben accoppiata alle cartucce lungo tutta la colonna di carica.
- L'immagazzinamento fino a -10° C non altera le caratteristiche del prodotto.

### Abaco dei formati standard

<i>Diametro</i>	<i>(mm)</i>	30	36	42	50	65	70	80	90	110	130
<i>Lunghezza</i>	<i>(cm)</i>	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
<i>Peso</i>	<i>(kg)</i>	0,48	0,66	0,895	1,39	2,50	2,78	3,67	5,00	6,25	8,36
<i>Cartucce in cartone</i>	<i>(n)</i>	52	38	28	18	10	9	6	5	4	3
<i>Peso netto cartone</i>	<i>(kg)</i>	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Indicazioni sull'uso in sicurezza sono riportate nella relativa SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA fornita preliminarmente alla consegna del prodotto.

*I dati nella presente scheda sono indicativi. La MEDEX si riserva il diritto di modificare senza preavviso formati e caratteristiche. MEDEX e MDX sono marchi registrati di proprietà della MEDEX Srl, Sirmione.*

---

## **SEGNALAZIONI ACUSTICHE DI BRILLAMENTO MINE - racc. NTX**

---

Per minimizzare la percezione di disagio collegata al rumore improvviso e forte conseguente al brillamento delle cariche esplosive nei residenti all'intorno è opportuno adottare una procedura di segnalazione acustica che minimizzi l'effetto sorpresa.

Per l'esecuzione di lavori nei pressi di insediamenti residenziali è quindi opportuno adottare procedure per le segnalazioni acustiche che consentano di minimizzare l'effetto sorpresa.

A titolo di riferimento viene nel seguito indicata una procedura da inserire nell'Ordine di servizio esplosivi / sparo mine (ex DPR 128/59 e/o ex D. Lgs. 646/94).

### *Ordine di servizio esplosivi*

(...)

*punto .... L'imminente brillamento delle mine viene preannunciato dal responsabile del brillamento con tre lunghi fischi di sirena – PREAVVISO SPARO MINE. Qualche secondo prima del brillamento e sino a brillamento eseguito seguirà un secondo fischio di sirena continuo - SPARO MINE. Cinque fischi brevi di sirena – CESSATO PERICOLO comunicheranno il regolare completamento delle operazioni di brillamento, ....*

(...)

## **SPETTRO DI RISPOSTA: controllo in frequenza di risposta strutturale**

Le strutture rispondono molto di più all'eccitazione indotta dal moto del terreno quando la frequenza dominante del treno d'onda si avvicina alle loro frequenze caratteristiche. Le murature ed i solai rispondono di più alle frequenze più alte (15-20 Hz) mentre le strutture in elevazione o il telaio della struttura risponde di più alle frequenze più basse (5-10 Hz).

Le differenze nella risposta di varie componenti strutturali possono essere calcolate, a partire dal moto del terreno, se sono note o stimate le loro frequenze naturali di smorzamento.

Le curve suggerite dall'USBM e dall'USM sono basate sul concetto di risposta caratteristica di una struttura. Tutte le strutture sono caratterizzate da uno o più modelli di risposta. Ciascuno di questi modelli di risposta è contraddistinto da una frequenza caratteristica (naturale) e da un coefficiente di smorzamento.

Quando le onde indotte dal brillamento delle volate hanno frequenze caratteristiche simili alle frequenze di risposta delle strutture, si possono innescare fenomeni di risonanza che potrebbero aumentare le probabilità di provocare danni. In questo caso diviene necessaria l'imposizione di limiti più restrittivi per i valori massimi delle vibrazioni indotte.

Una struttura complessa, di solito, non ha una sola frequenza naturale ed un solo fattore di smorzamento. Le singole componenti strutturali devono essere valutate indipendentemente. Ad esempio, nel *Report of Investigation RI 8507*, l'*United States Bureau of Mines* ha rilevato nei tramezzi frequenze naturali che variano all'incirca dagli 11 ai 25 Hertz e negli spigoli frequenze naturali comprese tra i 3 e gli 11 Hertz. Similmente, i valori di smorzamento variavano approssimativamente dall'1 al 7 per cento per i tramezzi e dall'1 all'11 per cento per gli spigoli della struttura.

Il modello di risposta di una struttura al passaggio dell'onda sismica viene effettuato con un modello a singolo grado di libertà (SGL). Sebbene si possa obiettare che questo modello non sia sempre applicabile, le informazioni che si ottengono possono comunque rivelarsi utili per determinare la risposta della struttura.

L'equazione di movimento per il sistema SGL è la seguente:

$$u'' + 2\beta\omega_n u' + \omega_n^2 u = -y''$$

dove:  $u''$ ,  $u'$ ,  $u$  Sono accelerazione, velocità e spostamento relativi

$y''$ ,  $y'$ ,  $y$  Sono accelerazione, velocità e spostamento assoluti del suolo

$\omega_n$  È la frequenza angolare naturale

$\beta$  È lo smorzamento

La soluzione dell'equazione precedente per lo spostamento relativo in qualsiasi momento, si può ottenere tramite l'equivalente trasformata di Laplace.

La soluzione è:

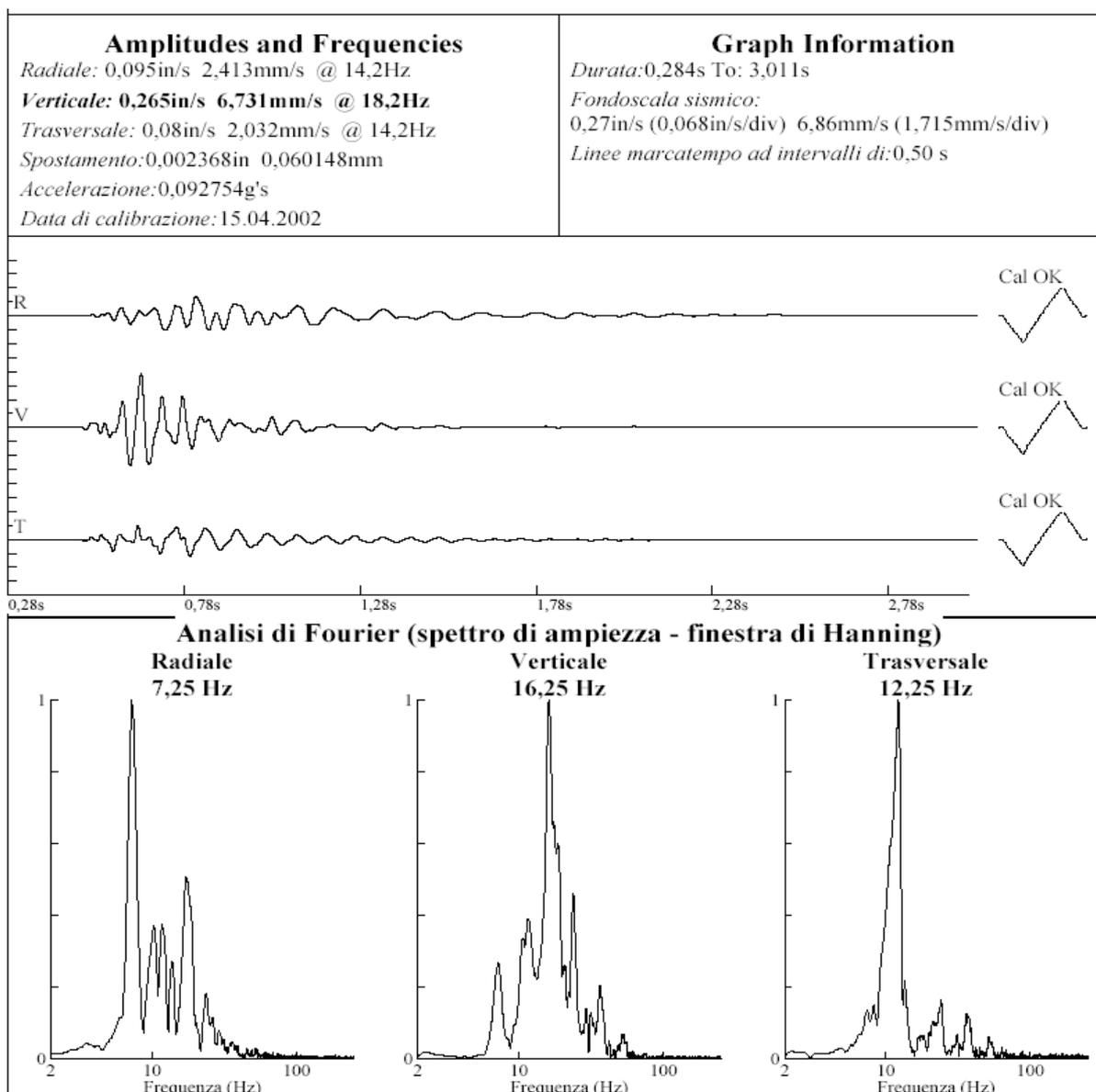
$$u(t) = \int_0^t y'(\tau) e^{-\beta\omega_n(t-\tau)} \left\{ \cos \left[ \omega_n \sqrt{1-\beta^2} (t-\tau) \right] - \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \sin \left[ \omega_n \sqrt{1-\beta^2} (t-\tau) \right] \right\} d\tau$$

L'equazione precedente è verificata per diversi valori di frequenza angolare naturale utilizzando uno smorzamento

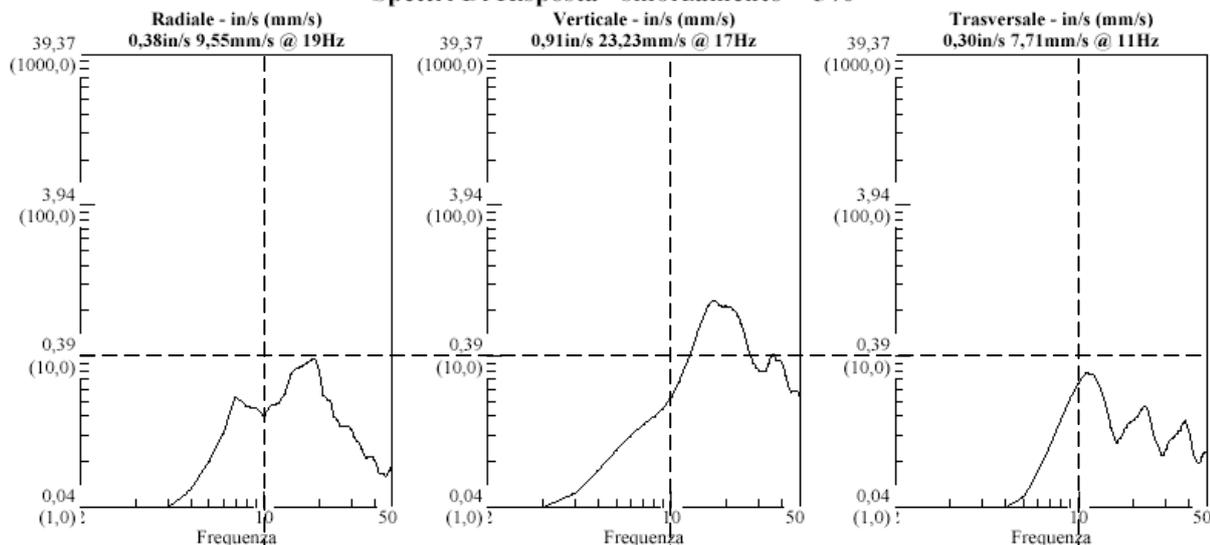
costante.

Per ogni frequenza si ottiene un valore massimo di  $u(t)$ . Quando questo valore massimo viene moltiplicato per la frequenza naturale circolare, si ottiene una pseudo-velocità. Questa pseudo-velocità viene ricavata come funzione della frequenza angolare. Questa funzione rappresenta lo spettro di risposta della pseudo-velocità.

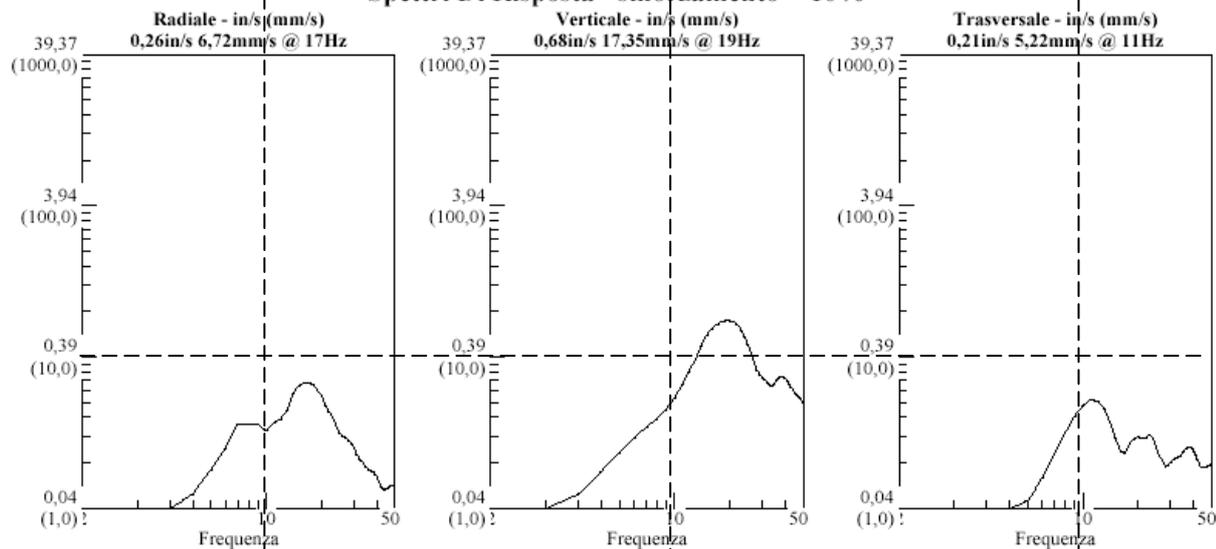
Esempio



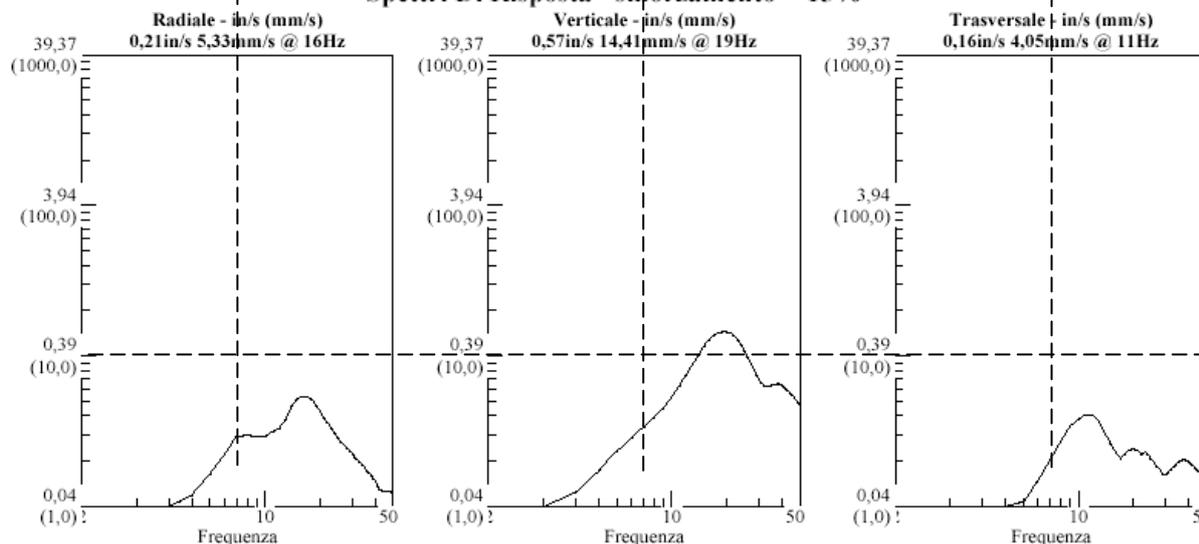
**Spettri Di Risposta - smorzamento = 5%**

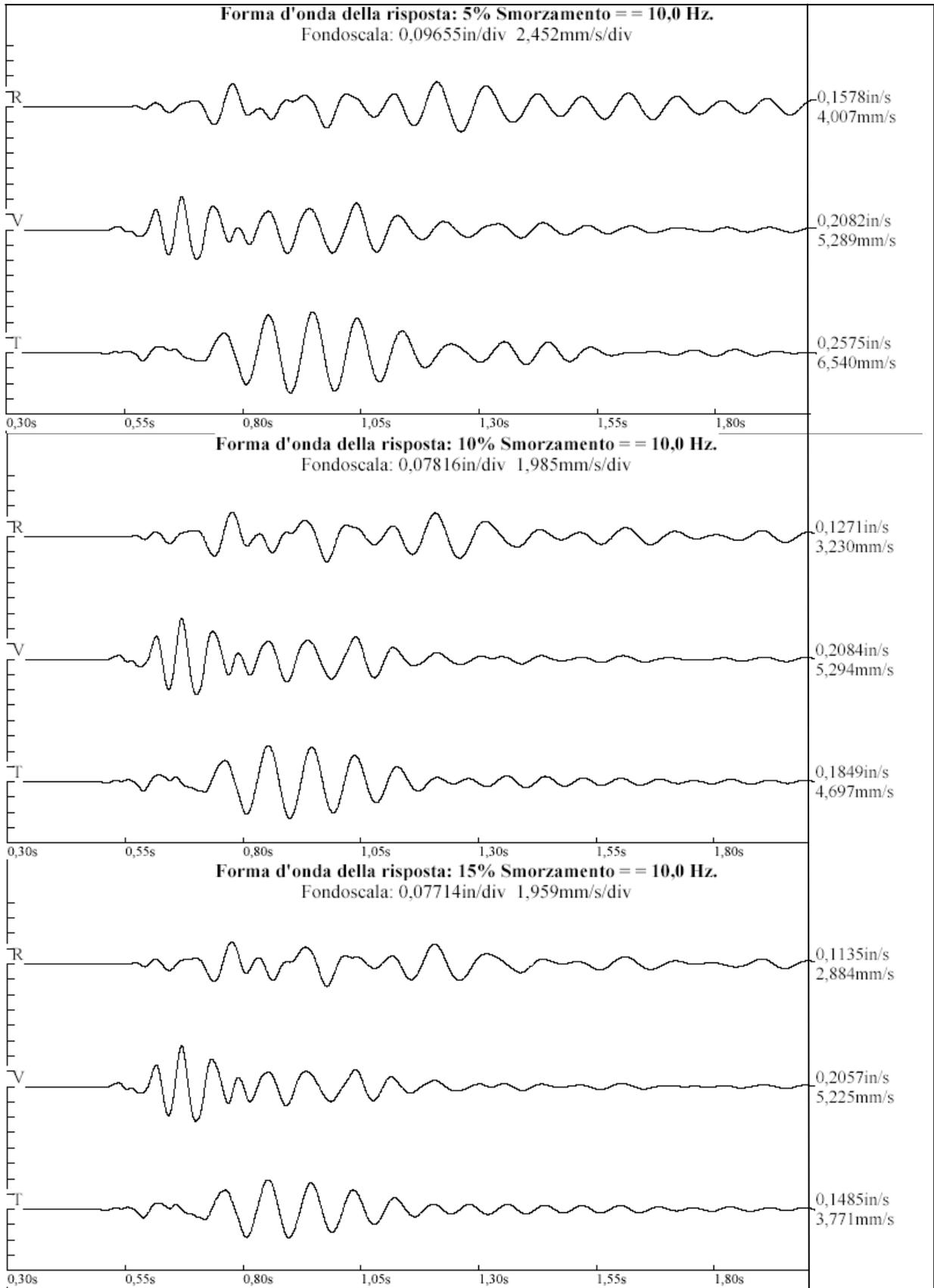


**Spettri Di Risposta - smorzamento = 10%**



**Spettri Di Risposta - smorzamento = 15%**





## RAPPORTO DI CARICO VOLATA - mod. NTX

volata del ..... ore ..... presso .....

<b>K</b>	altezza del gradone (in verticale)				m
<b>i</b>	inclinazione del foro sull'orizzontale				° /
<b>Ø</b>	diametro del foro da mina				mm
<b>H</b>	lunghezza del foro da mina				m
<b>V</b>	spalla d'abbattimento pratica				m
<b>VA</b>	spalla d'abbattimento apparente				m
<b>E/V</b>	rapporto interasse / spalla d'abbattimento				
<b>E</b>	interasse tra i fori				m
<b>U</b>	sottoperforazione				m
	volume d'influenza del foro				m <sup>3</sup>
<b>E c</b>	tipo di esplosivo in colonna:				
	lunghezza media delle cartucce L*				mm
	diametro nominale delle cartucce Ø				mm
	peso medio cartuccia				kg/n
	cartucce/cartone				n
	energia specifica d'esplosione				MJ/kg
	disaccoppiamento cartucce-foro				
<b>E p</b>	tipo di esplosivo al piede				
	lunghezza media delle cartucce L				mm
	diametro nominale delle cartucce Ø				mm
	peso medio cartuccia				kg/n
	cartucce/cartone				n
	energia specifica d'esplosione				MJ/kg
	disaccoppiamento cartucce-foro				
<b>E nc</b>	numero di cartucce in colonna				n
<b>E np</b>	numero di cartucce al piede				n
<b>H b</b>	lunghezza tratto da borrarre				m
	tipo di borrhaggio				
<b>H bi</b>	lunghezza totale borrhaggio intermedio				m
<b>H c</b>	lunghezza carica in colonna (no borrhaggio int)				m
<b>H p</b>	lunghezza carica al piede				m
	accorciamento medio esplosivo in colonna				
	accorciamento medio esplosivo al piede				
	accorciamento medio cartucce di esplosivo in foro				
<b>QE c</b>	quantità di esplosivo in colonna				kg
<b>QE p</b>	quantità di esplosivo al piede				kg
<b>QE</b>	quantità totale di esplosivo in foro				kg
					MJ
	tipo di innesco				
<b>QPsp</b>	perforazione specifica				m/m <sup>3</sup> banco
<b>QEsp</b>	consumo specifico esplosivo				kg/m <sup>3</sup> banco
					MJ/m <sup>3</sup> banco
<b>QEm</b>	consumo specifico miccia detonante				m/m <sup>3</sup> banco
<b>QDsp</b>	consumo specifico detonatori				n/m <sup>3</sup> banco

Note

---

## Calcolo dell'andamento temporale dello SPOSTAMENTO dalla velocità

Lo spostamento viene calcolato come integrale della velocità. Mentre la derivata permette di trovare l'inclinazione della retta tangente ad una curva (ACCELERAZIONE calcolata dalla velocità), l'integrale permette di calcolarne l'area sottostante. Da un punto di vista matematico l'integrale di una funzione può essere scritto come segue:

$$\int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) \quad \text{eq. 1}$$

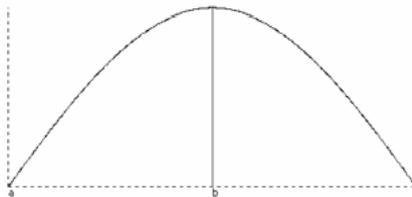
in cui  $F$  è una qualsiasi funzione come  $F'(x) = f(x)$  per tutti quei valori di "x" contenuti nell'intervallo compreso tra "a" e "b".

L'integrale è la funzione inversa della derivata. Di conseguenza esiste una relazione tra integrale e derivata, la seguente:

$$\int_a^b \sin(x) dx = -\cos(b) - (-\cos(a)) = -\cos(b) + \cos(a)$$

eq. 2

Poiché la derivata di  $-\cos(x) = \sin(x)$ .



Considerando la metà della curva sinusoidale sopra disegnata bisogna calcolare l'area sottostante alla curva da "a" a "b", considerando che "a" = 0 e che "b" = 0,25 dall'equazione 2 si ricava che ricaviamo che:

$$\int_0^{0,25} \sin(2\pi \cdot t) dt = -\frac{\cos(2\pi \cdot 0,25)}{2\pi} - \left( -\frac{\cos(2\pi \cdot 0)}{2\pi} \right) = 0,15915 \quad \text{eq. 3}$$

Il valore 0,15915 rappresenta l'area sottostante alla curva. Questo valore può essere calcolato direttamente mediante un integrale noto per le funzioni sinusoidali semplici.

Tuttavia, le vibrazioni generate da esplosioni non sono descrivibili matematicamente attraverso funzioni note, quindi per calcolare l'integrale numericamente deve essere seguito uno dei quattro seguenti metodi.

### Metodo1 - Regola del rettangolo

La tecnica del rettangolo per calcolare l'integrale consiste nel calcolare l'area del rettangolo sotteso alla curva:

$$\int_a^b f(x)dx \approx (b-a)f(a)$$

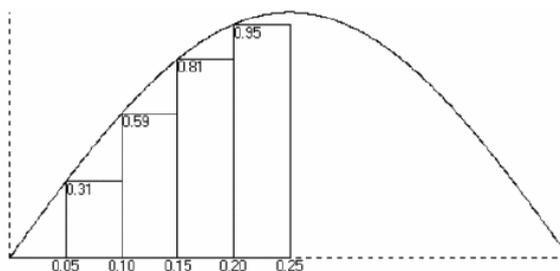
eq. 4

L'area di  $f(x)$  da "a" a "b" si ottiene moltiplicando la lunghezza da "a" a "b" per il valore della funzione in "a". Si utilizza quindi l'equazione 3 per calcolare numericamente il valore dell'area da "a" a "b", considerando la prima metà di una curva sinusoidale con "a" uguale a zero e "b" uguale a 0,25. Il risultato di questa operazione è zero, ovviamente questo valore è sbagliato.

Il problema è che "a" e "b" sono troppo distanti. Quello che si può fare è suddividere ulteriormente quest'intervallo in un insieme di intervalli più piccoli. A scopo esemplificativo, utilizzeremo cinque intervalli uguali da 0 a 0,05, da 0,05 a 0,10, da 0,10 a 0,15, da 0,15 a 0,20 e da 0,20 a 0,25. La tabella che segue propone l'elenco degli intervalli, il valore della funzione all'inizio dell'intervallo e il valore calcolato dell'area:

	0,05 - 0,00	0,10 - 0,05	0,15 - 0,10	0,20 - 0,15	0,25 - 0,20
<b>sin(2πa)</b>	0	0,309017	0,587785252	0,809017	0,9510565
<b>area</b>	0	0,0154508	0,029389263	0,0404508	0,0475528

Una rappresentazione grafica di questo metodo viene mostrata qui di seguito. Si noti che l'area totale data dalla somma delle aree dei rettangoli è minore dell'effettivo valore dell'area della curva. Questo dipende dal fatto che i rettangoli non ricoprono completamente l'area della curva. Si può quindi calcolare il risultato sommando le aree dei singoli rettangoli.



$$\text{Area} = 0 + 0,01545 + 0,029390 + 0,04045 + 0,04755 = 0,13284.$$

Sebbene si possa migliorare i risultati che si ottengono con questo metodo aumentando il numero di intervalli, il valore dell'area totale da 0 a 0,25 rimane sempre errato per difetto.

### Metodo 2 - regola del punto medio

La regola del punto medio per il calcolo dell'integrale è:

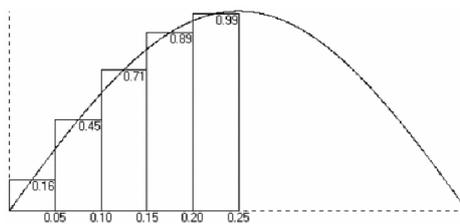
$$\int_a^b f(x)dx \approx (b-a)f\left(\frac{a+b}{2}\right)$$

eq. 5

Si utilizza l'equazione 11 per calcolare come precedentemente l'area della curva da "a" a "b". Senza suddividere ulteriormente l'intervallo, il risultato è 0.1768. Questo risultato è migliore di quello ottenuto con il metodo 1. Cosa accade se suddividiamo come precedentemente l'intervallo?

	0,05 - 0,00	0,10 - 0,05	0,15 - 0,10	0,20 - 0,15	0,25 - 0,20
$\sin(2\pi(a+b)/2)$	0,1564345	0,4539905	0,70710678	0,8910065	0,9876883
area	0,0078217	0,0226995	0,03535533	0,0445503	0,0493844

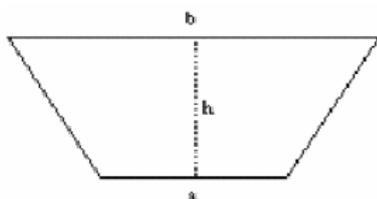
La rappresentazione grafica di questo metodo è riportata qui di seguito. Si noti che l'area totale data dalla somma delle aree dei rettangoli è maggiore dell'area della curva. Si può calcolare il risultato sommando le aree dei singoli rettangoli. La regola del punto medio offre dei risultati migliori rispetto la regola del rettangolo.



$$\text{Area} = 0,00782+0,02770+0,03536+0,04455+0,04938 = 0,16481$$

### Metodo 3 - Regola del trapezio

L'area del trapezio è data dalla somma delle basi per l'altezza diviso due



La regola del trapezio per il calcolo dell'integrale è la seguente:

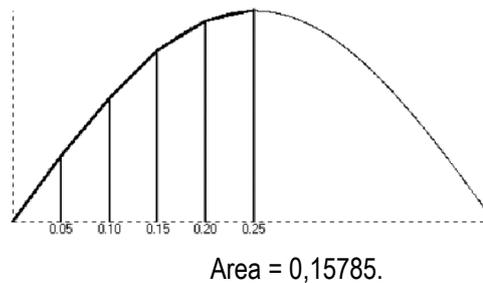
$$\int_a^b f(x)dx \approx \left[ f(a) + f(b) \right] \frac{b-a}{2} \quad \text{eq.6}$$

Come precedentemente si utilizza l'equazione 5 per calcolare l'area dopo averne suddiviso l'intervallo. La seguente tabella riassume i valori dei dati:

	0,05 - 0,00	0,10 - 0,05	0,15 - 0,10	0,20 - 0,15	0,25 - 0,20

<b>sin(2πa)</b>	0	0,309017	0,587785252	0,809017	0,9510565
<b>sin(2πb)</b>	0,309017	0,5877853	0,809016994	0,9510565	1
<b>area</b>	0,0077254	0,0224201	0,034920056	0,0440018	0,0487764

sommando le aree parziali riportate nell'ultima riga della tabella si ottiene un ottimo risultato di 0,15785. Qui di seguito si trova la rappresentazione grafica della regola del trapezio.



#### Metodo 4 - Regola di Simpson

La regola di Simpson nasce dalla combinazione della regola del punto medio e del trapezio. La regola di Simpson per il calcolo dell'integrale è la seguente:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{6} \cdot \left[ f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right] \quad \text{eq. 7}$$

Utilizzando l'equazione 13 si ottiene la seguente tabella di dati:

	0,05 - 0,00	0,10 - 0,05	0,15 - 0,10	0,20 - 0,15	0,25 - 0,20
<b>sin(2πa)</b>	0,00000	0,30902	0,58779	0,80902	0,95106
<b>sin(2πb)</b>	0,30902	0,58779	0,80902	0,95106	1,00000
<b>sin(2π(a+b)/2)</b>	0,15643	0,45399	0,70711	0,89101	0,98769
<b>area</b>	0,00779	0,02261	0,03521	0,04437	0,04918

La somma di questi valori da il risultato di 0,15916.

Ovviamente, la regola di Simpson è il metodo preferito per il calcolo numerico dell'integrale.

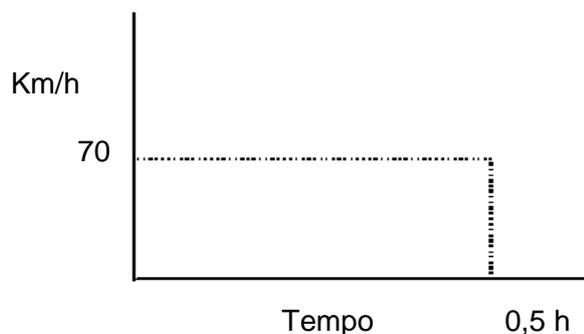
Il calcolo dell'integrale delle funzioni variabili, quali quelle delle registrazioni sismiche, è più preciso di quello della derivazione. La presenza di un leggero rumore di fondo non altera in modo significativo i risultati del calcolo.

Tuttavia, esistono delle altre preoccupazioni che sorgono con il calcolo dell'integrale.

#### Convertire da velocità a spostamento



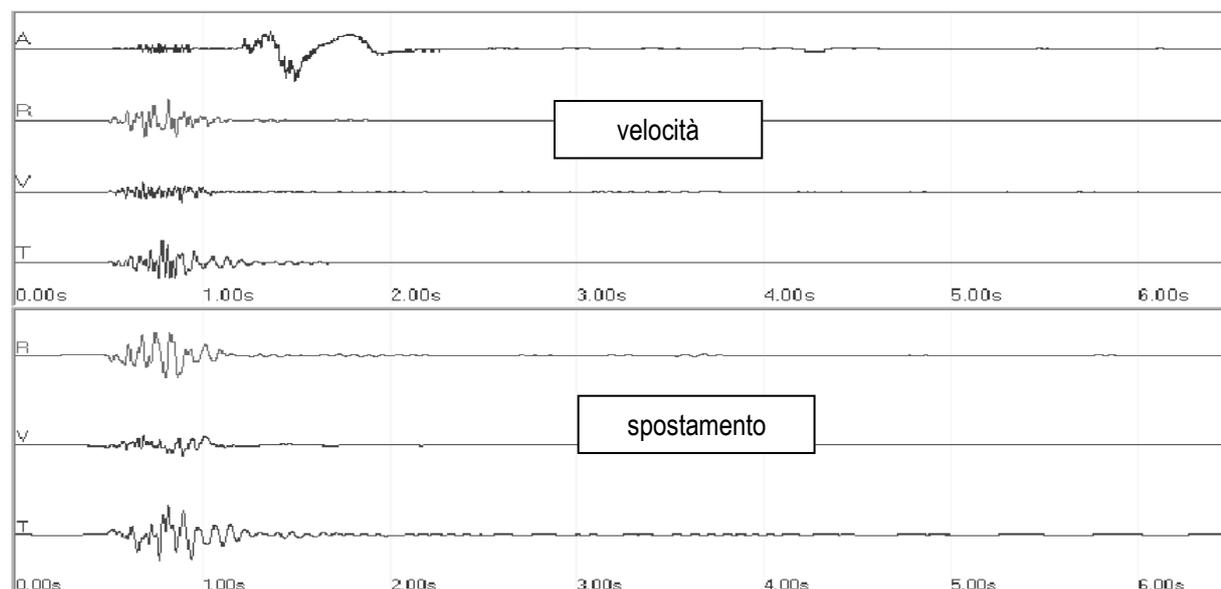
I dati della velocità possono essere convertiti in spostamento tramite integrazione. Si ricordi che il calcolo dell'integrale rappresenta il processo per trovare l'area di una curva. Ponendo il caso che una vettura sia guidata ad una velocità costante di 70 Km/h per 30 minuti, Quale sarà la distanza percorsa? La risposta è ovviamente 35 Km. Qual'è il nesso con l'integrale? Si consideri la seguente figura:



La curva è un rettangolo. L'area del rettangolo si trova moltiplicando le lunghezze dei due lati. Un lato del rettangolo è dato dalla velocità costante di 70 Km/h, l'altro lato dal tempo di 0,5 ore. Moltiplicando i due lati si ottiene il valore di 35 Km.

Le forme d'onda della velocità di vibrazione generate dalle esplosioni sono molto più complesse di un singolo rettangolo. In realtà anche i rettangoli possono essere utilizzati per calcolare l'area di una curva (Regola del rettangolo), inoltre, è anche stato specificato che esiste un metodo più accurato per fare ciò, definito la Regola di Simpson.

La figura che segue mostra la registrazione della velocità di una particella che è stata convertita in una registrazione di spostamento, tramite un integrale calcolato utilizzando la regola di Simpson. Si noti che l'integrale tende a livellare le frequenze più alte. Questa situazione è scontata in conseguenza del fatto che per una data velocità della particella, maggiore è la frequenza minore sarà lo spostamento.



Dopo aver calcolato l'integrale della forma d'onda della velocità di vibrazione si potrebbe verificare un problema significativo. Tutte le registrazioni contengono del rumore di fondo, questo non ha effetti significativi sulla registrazione originale. Tuttavia, quando viene calcolato l'integrale, questo rumore di fondo può causare una distorsione e lo spostamento della linea zero della forma d'onda dell'integrale. Nella maggior parte dei casi il problema può essere risolto filtrando la registrazione integrata. Il programma effettua automaticamente questo filtraggio.

### Stima sinusoidale

Supponendo che la registrazione di un evento sia uguale ad una curva sinusoidale, e cioè che la registrazione possa venire descritta tramite l'equazione:

$$v(t) = A \sin \omega t \quad \text{eq. 8}$$

In cui A è il valore massimo assunto dalla curva sinusoidale, t è la variabile tempo,  $\omega$  è  $2\pi f$  in cui f è la frequenza e v(t) è la velocità nel momento t.

Dal calcolo degli integrali sappiamo che:

$$x(t) = \int A \sin \omega t dt = \frac{-A \cos \omega t}{\omega} \quad \text{eq. 9}$$

in cui x(t) è lo spostamento al momento t.

Considerando solamente i valori massimi ed ignorando i segni negativi nell'equazione 8 si ottiene:

$$v = A \quad \text{eq. 10}$$

$$x = \frac{A}{\omega} \quad \text{eq. 11}$$

quindi

$$x = \frac{A}{\omega} = \frac{v}{2\pi f} \quad \text{eq. 12}$$

Questo significa che se sono note la velocità massima di vibrazione e della frequenza ad essa associata, lo spostamento massimo può essere calcolato con un certo margine di approssimazione (nel caso in cui la registrazione della velocità sia di tipo sinusoidale).

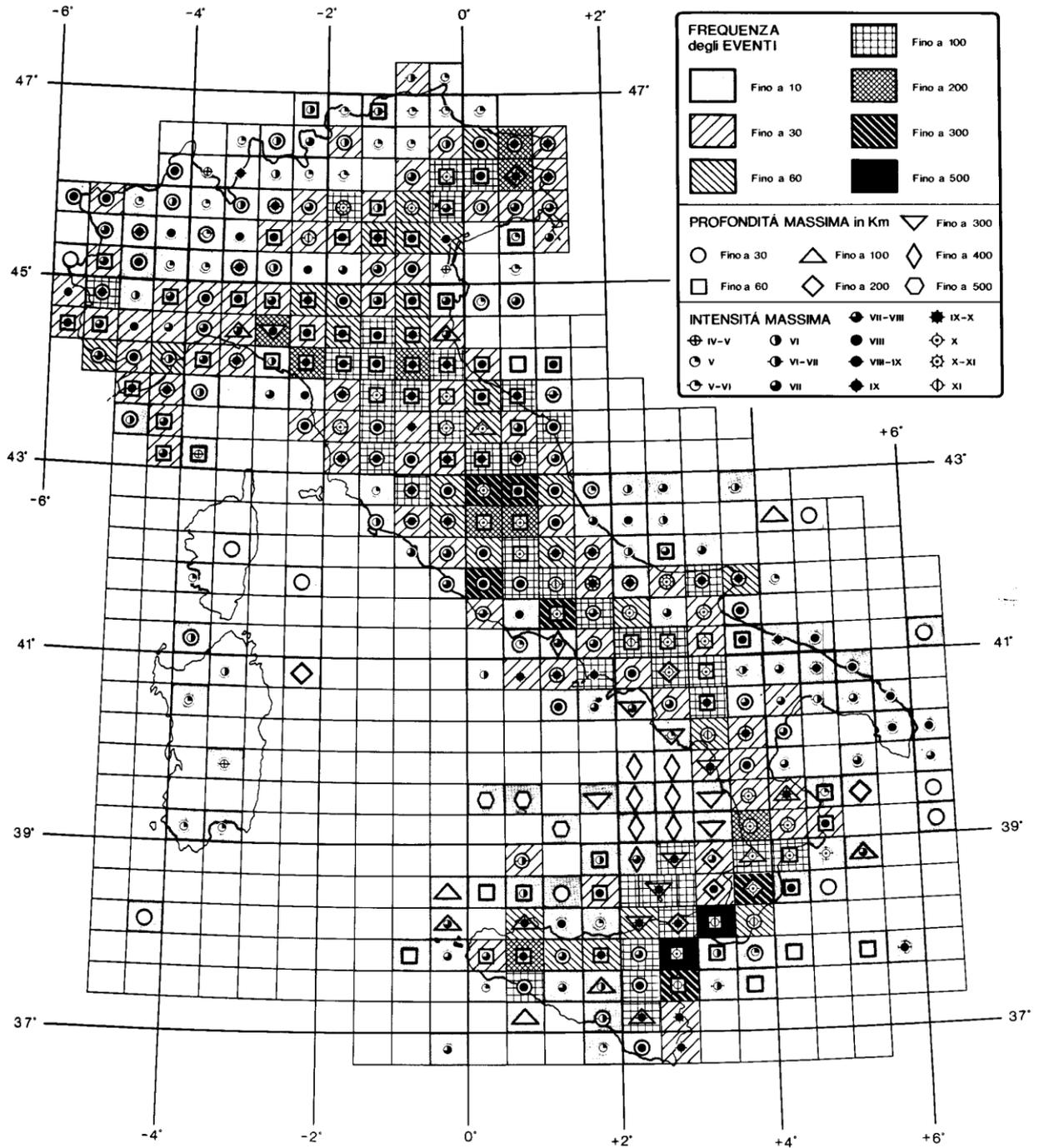
Ad esempio in questo caso la velocità massima è di 0,57 in/s (14,48 mm/s), la massima frequenza è di 39,3 Hertz. Di conseguenza, lo spostamento stimato sarà:

$$x = \frac{14,48 \text{ mm/s}}{2\pi * 39,3 \text{ Hz}} = 0,0586 \quad \text{eq. 13}$$



# Mappatura dei TERREMOTI IN ITALIA dall'anno 1000 all'anno 1980

[G. Gandori; "Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980"; CNR, Progetto finalizzato Geodinamica, ed. Postpischl 1985]



---

## TRASDUTTORI ELETTRICI

---

Il trasduttore elettrico è un dispositivo in grado di trasformare una grandezza fisica in segnale elettrico proporzionale alla grandezza fisica stessa.

La conoscenza della proporzionalità tra segnale elettrico e grandezza fisica permettono di quantificare l'entità del dato fenomeno fisico e la sua variazione temporale.

I diversi elementi che compongono un trasduttore e la sua "architettura" ne condizionano caratteristiche e campo di applicazione.

I parametri del trasduttore che devono essere definiti per verificare la sua idoneità a riprodurre fedelmente il fenomeno fisico sono:

- sensibilità;
- dinamica;
- linearità;
- banda di funzionamento;
- rumore;
- ritardo.

Per la misura di onde elastiche nei mezzi solidi possono essere utilizzati i seguenti tipi di trasduttori:

- TRASDUTTORI DI VELOCITÀ, o geofoni, o velocimetri
- TRASDUTTORI DI ACCELERAZIONE, o accelerometri
- TRASDUTTORI DI DEFORMAZIONE, o estensimetri a resistenza elettrica (LVDT - base lunga), o *strain gauges* (base corta)
- trasduttori di spostamento.

Per la misura di onde elastiche nei mezzi liquidi possono essere utilizzati:

- TRASDUTTORI DI PRESSIONE, o IDROFONI.

Per la misura di onde elastiche nei gas possono essere utilizzati:

- TRASDUTTORI DI PRESSIONE, o MICROFONI.

## TRASDUTTORI DI ACCELERAZIONE

Accelerometri

### Raffronto tra geofoni ed accelerometri

I geofoni sono trasduttori in grado di rilevare istante per istante la velocità di un corpo materiale mentre gli accelerometri sono trasduttori in grado di rilevare istante per istante la variazione della velocità di un corpo materiale.

Sebbene questi trasduttori misurino grandezze fisiche differenti è facile osservare come le due grandezze siano correlate. Ad un'accelerazione o decelerazione corrisponde un aumento o diminuzione della velocità e viceversa.

A prescindere dalla sua complessità, il moto di un corpo materiale nello spazio, può essere ricostruito dalla conoscenza delle componenti di accelerazione e/o velocità sui tre assi dello spazio cartesiano ("x", "y", e "z") istante per istante.

La velocità di un punto in qualsiasi istante, semplificando nell'ipotesi di moto lineare, può essere calcolata sommando alla velocità iniziale l'accelerazione per il tempo a cui ne è sottoposto.

Ad esempio, se ad un corpo materiale ( $m=1$  kilogrammo) inizialmente fermo ( $v=0$  metri/secondo) viene applicata una forza ( $f = 1$  Newton) ne consegue un'accelerazione  $a = f/m$ :

<i>Tempo</i>	<i>Accelerazione</i>	<i>Velocità</i>
0	1	0
1	1	2
2	1	3
3	-1	2
4	-1	1
5	-1	0

Da un punto di vista matematico si può esprimere che l'andamento della velocità di un punto materiale si ottiene integrando la sua accelerazione:

$$v = \int_0^t a \delta t$$

Il comportamento alle varie frequenze di un geofono e di un accelerometro può essere analizzato con l'aiuto di una tavola vibrante. Dalla sperimentazione si rileva che:

- per frequenze di oscillazione della tavola vibrante molto inferiori alla frequenza del trasduttore si rileva una maggiore variazione di segnale agli estremi dell'oscillazione (il trasduttore diviene sensibile alle variazioni di velocità);
- per frequenze di oscillazione prossime a quella di risonanza si rileva uno spiccato movimento della massa inerziale, per effetto della risonanza, in opposizione di fase con il movimento della tavola vibrante!

---

<sup>1</sup> In questo caso il trasduttore ha una risposta dipendente da vari parametri: numero di cicli di oscillazione, "fattore di merito Q" (inverso dello smorzamento), ecc.. Il trasduttore accumula energia meccanica



- per frequenze di oscillazione della tavola vibrante molto superiori di quella di risonanza del trasduttore noteremo la tendenza a fermarsi della massa inerziale e quindi avremo movimento della sola struttura del trasduttore con conseguente presenza di segnale direttamente correlato alla velocità.

A questo punto possiamo osservare che a livello concettuale la distinzione tra accelerometro e geofono (velocimetro) non esiste, ma esistono delle bande di funzionamento in cui un traduttore si comporta da geofono, da accelerometro, o come combinazione geofono-accelerometro.

Può dunque essere genericamente rilevato che un trasduttore di moto :

- nella regione di frequenze inferiori a quella di risonanza tende a comportarsi da misuratore di accelerazione;
- nella regione di frequenze superiori a quella di risonanza tende a comportarsi da misuratore di velocità.

Per i geofoni d'uso comune la frequenza di risonanza è dell'ordine di alcune unità di Hertz. Per avere una risposta soddisfacente è necessario che il geofono abbia una frequenza di risonanza inferiore della frequenza del fenomeno oscillatorio la cui velocità nel tempo deve essere misurata.

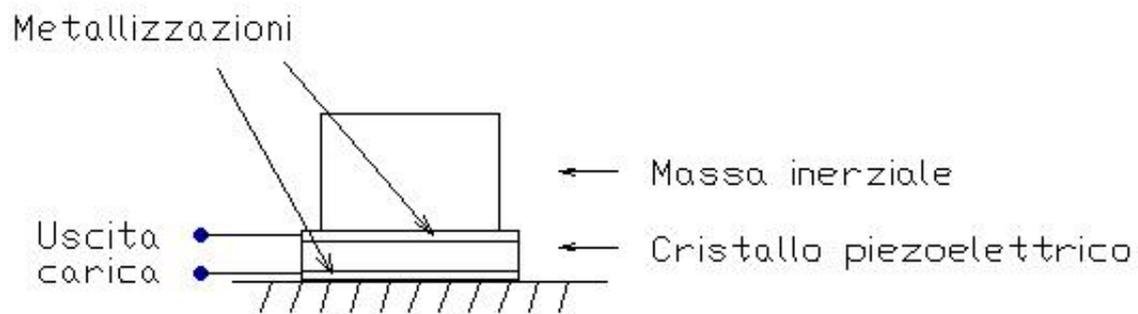
All'aumentare del fattore di merito  $Q$  del sistema massa-molla del geofono aumenta l'amplificazione e quindi peggiora il comportamento nella banda di frequenza adiacenti alla frequenza di risonanza; per ovviare a questo inconveniente si usa smorzare le oscillazioni meccaniche attraverso condizionando il segnale di risposta con resistenze di opportuno valore (detta resistenza di *dumping*). Questa viene direttamente connessa ai capi della bobina del geofono in modo da generare un flusso magnetico che si oppone al movimento della bobina stessa, che fa diminuire il fenomeno di accumulo di energia ( $Q$  più basso = aumento dello smorzamento) con conseguente maggiore linearità del trasduttore nei confronti della frequenza.

### **Accelerometro piezoelettrico**

Un accelerometro piezoelettrico è formato da una massa inerziale e da un cristallo piezoelettrico ad essa solidale:

---

all'inizio dell'oscillazione e la rilascia alla fine dell'oscillazione. A regime permanente il segnale in uscita risulta amplificato rispetto alle risposte lontane dalla risonanza ed in modo proporzionale al fattore di merito  $Q$ .



All'arrivo di una vibrazione sismica la massa inerziale tende a mantenere la sua posizione di quiete e quindi il cristallo interposto tra la massa inerziale e la base, si deforma emettendo una quantità di carica elettrica direttamente proporzionale alla deformazione. La carica elettrica prodotta si riversa sulla capacità del cristallo generando una tensione elettrica proporzionale alla carica prodotta secondo la seguente equazione:

$$V=Q/C$$

Il trasduttore è caratterizzato da risonanza meccanica propria che dipende dalla costruzione e dalle dovute alla massa inerziale e all'elasticità del cristallo altera il risultato .

Le frequenze di risonanza degli accelerometri piezoelettrici vanno dall'ordine dei kHz fino alle centinaia di kHz.

La frequenza minima di utilizzo dipende dalla qualità dell'amplificatore connesso e va dall'ordine dei decimi di Hertz fino a qualche Hertz.



### **Capacitivo con bobina di richiamo della massa inerziale (Servoaccelerometro)**

Un accelerometro capacitivo è formato da una massa inerziale solidale con armatura mobile di un condensatore applicato a ponte di Weastone con altri tre condensatori di capacità fissa.

Agli estremi inferiore e superiore il ponte è alimentato con un segnale alternato sinusoidale.

In condizioni di riposo l'armatura mobile è in una posizione tale per cui il condensatore di cui fa parte ha capacità uguale a quella del condensatore adiacente; in riposo quindi il ponte è bilanciato, e quindi ai terminali di lettura destro e sinistro non avremo nessuna tensione.

Non appena l'armatura mobile sarà sottoposta a movimento relativo rispetto alla struttura, si avrà una variazione della capacità che squilibrerà il ponte che vedrà in uscita un segnale proporzionale allo squilibrio, il segnale opportunamente amplificato e raddrizzato viene applicato ad una bobina che richiama la massa inerziale in posizione originale; la misura della corrente nella bobina sarà proporzionale alla forza è quindi all'accelerazione per mantenere il ponte in equilibrio.

In questo caso a limitare la frequenza di impiego è la velocità di risposta del sistema e la capacità del circuito che fornisce la corrente per richiamare la massa sismica;

accelerometri di questo tipo hanno frequenze di funzionamento da accelerazioni statiche fino a qualche kHz.

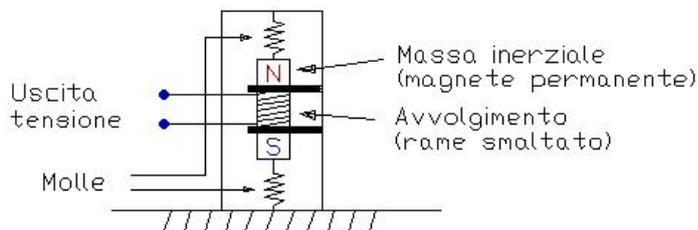
## TRASDUTTORI DI VELOCITÀ

Velocimetro - Geofono

### Geofono a massa inerziale

È costituito da una massa inerziale costituita da materiale magnetizzato permanentemente e sospeso tra una o due molle solidali con una struttura che permettono il movimento della massa inerziale sull'asse di elasticità delle molle (può essere orizzontale e trasversale).

Coassialmente all'asse di movimento della massa inerziale è presente una bobina composta da molte spire di filo di rame smaltato:



La massa inerziale tende a mantenere la sua posizione di quiete così che quando il contenitore che è solidale al punto di appoggio, si muove, si determina il movimento relativo contenitore - massa inerziale.

La traslazione del contenitore, e quindi della bobina, rispetto alla massa inerziale magnetica, determina la variazione del campo magnetico concatenato alla bobina. La variazione di flusso in base alla legge di Lenz induce ai capi della bobina una tensione pari a:

$$E = B \cdot l \cdot v$$

dove B è il campo magnetico

l è la lunghezza del filo elettrico immerso nel campo magnetico B

v è la velocità relativa campo magnetico - filo elettrico.

La tensione indotta presente ai capi della bobina è dunque direttamente proporzionale alla velocità con cui è in moto la bobina rispetto alla massa inerziale.

Essendo la bobina solidale al contenitore, il quale a sua volta è solidale al corpo materiale di cui si vuole conoscere la velocità, ne deriva che la tensione misurata istante per istante ai capi della bobina fornisce la misura della velocità istante per istante del corpo materiale al quale è accoppiata.

Un elemento importante per la conoscenza della precisione della misura è determinato dalla risposta meccanica del sistema massa-molla.

Questo costituisce un oscillatore meccanico la cui frequenza di risonanza è data da :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{k}{m}}}$$

Le frequenze di risonanza meccaniche di geofoni di uso comune e dell'ordine di alcune unità di Hertz.



**Piazzamento di un geofono fondo foro presso la volata d'abbattimento ed allestimento della stazione di misura per il riscontro della sismicità indotta necessario all'ottimizzazione della volata.**

## **Velocimetro a interferometria laser**

Un velocimetro ad interferometria laser utilizza l'effetto Doppler che si ha quando un oggetto emittente un'onda elettromagnetica, ad esempio la luce, è in moto relativo rispetto ad uno di riferimento.

Se l'oggetto è in avvicinamento al punto di riferimento si avrà un incremento della frequenza dell'onda osservata dal riferimento; se l'oggetto è in allontanamento si avrà invece una diminuzione.

Per misurare la velocità di un corpo materiale che non emette onde elettromagnetiche è quindi necessario che questo sia riflettente. Nel caso in cui l'onda elettromagnetica sia costituita dal raggio di luce laser, la riflessione può essere semplicemente determinata da una superficie riflettente a specchio.

Il velocimetro laser, appunto, emette un raggio di luce concentrata, viene diviso internamente al dispositivo mediante uno specchio semiriflettente. Il primo raggio viene inviato verso il corpo materiale reso riflettente e da questo riportato verso il dispositivo che quindi potrà, attraverso opportuni rivelatori, misurare la differenza di frequenza dei due raggi.

Tale differenza (dovuta all'effetto doppler) è proporzionale alla velocità relativa tra l'emettitore del laser e l'oggetto riflettente.

## **Risposta in frequenza dei trasduttori di velocità**

La risposta in frequenza è la gamma di frequenza entro la quale il segnale elettrico del trasduttore è linearmente proporzionale all'ampiezza dell'evento misurato ovvero entro la quale il segnale elettrico di trasduzione è costante per un moto costante.

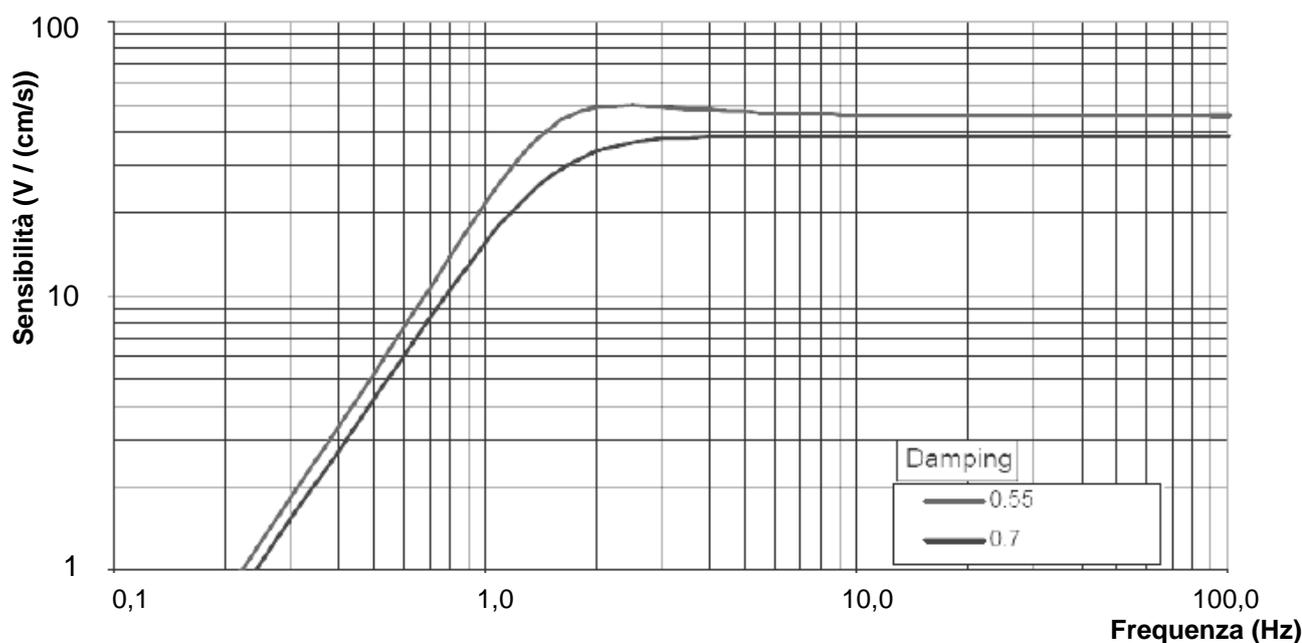
Il legame tra segnale elettrico di trasduzione ed ampiezza dell'evento è normalmente espresso in decibel dB. Per esempio una risposta lineare entro 3 dB tra 3 e 200 Hz sta a significare che il trasduttore genera un voltaggio costante con un 30% di variazione tra 3 e 200 Hz. Dallo spettro di risposta del trasduttore è possibile determinare la specifica frequenza alla quale questa differenza ha luogo. Molti fabbricanti di sistemi di misura per le vibrazioni indotte dai brillamenti amplificano elettronicamente l'output alle basse frequenze per poter usare trasduttori ad alta frequenza che sono più piccoli. Gli strumenti con tale amplificazione elettronica devono essere calibrati con frequenza periodica.

La scelta della appropriata risposta in frequenza dei trasduttori di velocità va fatta in funzione della misura da effettuare. Gli orientamenti seguiti sono due; quello della misura del fenomeno reale o e quello della efficiente misura delle caratteristiche importanti. L'intera gamma di frequenze necessarie per la descrizione del fenomeno reale legato all'esplosione è troppo ampia per qualsiasi trasduttore. Gli impulsi ritardati di pressione dei gas di esplosione hanno luogo con una frequenza inferiore ad 1 Hz ed in prossimità del punto di sparo sono state misurate accelerazioni con frequenze superiori a 1.000 Hz. Ne segue che è necessario adottare una soluzione di compromesso e la definizione del fenomeno reale è possibile solo quando sono impiegati più tipi di trasduttori. La scelta ottimale delle caratteristiche del trasduttore deve comunque essere fatta con riferimento alle caratteristiche peculiari del moto da misurate e del mezzo nel quale la misura

viene effettuata.

Il monitoraggio delle vibrazioni per il controllo delle lesioni cosmetiche in strutture basse è generalmente effettuato attraverso la misura della velocità del terreno, o della particella di terreno, in una gamma di frequenze da 3 a 200 Hz. Questa gamma assicura una appropriata registrazione di ampiezze a frequenze di eccitazione con copertura della gamma di frequenze fondamentali delle strutture e sono associate ai quei valori di picco della velocità che inducono i maggiori spostamenti. Le frequenze di risposta delle strutture sono generalmente comprese tra 5 e 20 Hz per manufatti ad una o due elevazioni e tra 10 e 40 per le murature ed i solai. Alcuni apparati meccanici possono avere frequenze fondamentali prossime a 100 Hz ma questi sono solitamente ancorati ed posti in eccitazione da solai e murature con frequenze caratteristiche molto minori.

Le tipiche frequenze predominanti di eccitazione variano tra 5 e 100 Hz come mostrato. Per il controllo strumentale di moti con frequenze inusuali o con elevate frequenze predominanti diviene necessario l'impiego di trasduttori speciali con risposta lineare nella gamma di frequenze di interesse.



Curva di risposta di un trasduttore di velocità per vari smorzamenti.

## STAZIONE DI MONITORAGGIO SISMICO ACUSTICO - fac simile



### NOMIS Mini-Graph® 7000

Stazione di monitoraggio portatile per onde sismiche ed acustiche

### SCHEDA DI PRODOTTO



Robusto contenitore in alluminio a tenuta d'acqua per l'operatività in qualsiasi condizione di tempo, possibilità di immagazzinare in memoria sino a 340 eventi

Robusto contenitore per l'unità di registrazione, per i trasduttori di vibrazione e di rumore e per gli accessori

Letture istantanee delle misurazioni con display a cristalli

Velocimetro triassiale per la misura delle vibrazioni, microfono per la misura dell'onda di sovrappressione aerea, porta RS-232 per scaricare i dati su PC o con collegamento remoto via modem/GSM

concessionario e centro di assistenza tecnica per l'Italia:

MEDEX S.r.l.

Mediterranea Esplosivi

Tel. 030 99 04 039 Fax. 030 99 06 189

e-mail: [info@mediterranea-esplosivi.it](mailto:info@mediterranea-esplosivi.it)

[www.mediterranea-esplosivi.it](http://www.mediterranea-esplosivi.it)

#### Descrizione

Il Mini-Graph® 7000 è una stazione di monitoraggio sismico-acustico portatile, compatta, robusta, economica ed affidabile. Costituisce l'ultima generazione di una famiglia di strumenti da campagna USA, utilizzati in tutto il mondo da ingegneri e geologi specialisti di fenomeni vibratorii meccanici e per esplosioni. È dotata di software d'analisi e manuale in italiano. Ideale per il monitoraggio continuativo di vibrazioni e rumore generati da lavori, traffico, attività di cava, ecc. consente il riscontro della conformità alla normativa Europea ed Italiana sulle vibrazioni ammissibili. L'uso è semplice. La predisposizione per la misura può essere fatta direttamente in situ. I dati acquisiti possono essere letti immediatamente nel display a cristalli liquidi e successivamente trasferiti ad un PC via RS 232 per elaborazione e stampa. la possibilità di trasferimento dati via modem o via GSM rende agevole la consultazione da postazione remota (es. ufficio), risparmiando il tempo necessario per l'invio di personale sul posto.

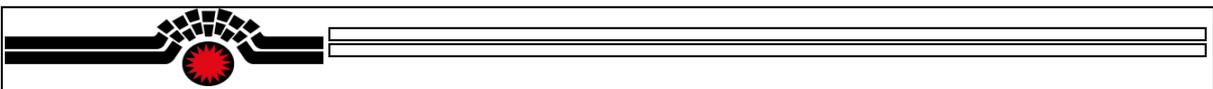
#### Manutenzione

Il Mini-Graph® 7000 è uno strumento robusto e non richiede particolari manutenzioni. L'uso prolungato con temperature al di sotto dello zero potrebbe accelerare il processo d'usura della batteria. Il cablaggio dei trasduttori deve essere pulito regolarmente.

#### Certificazioni

CE certificato di conformità alla normativa Europea in campo d'attrezzature elettriche.  
Certificato di calibrazione.

SP 600-01 - Rev. 26.07.2004



## **Funzionamento**

L'installazione in situ è semplice e rapida. I trasduttori (geofono e microfono), dopo essere stati posizionati, sono collegati alla centralina di acquisizione mediante spinotti d'alluminio a tenuta stagna.  
Il collegamento accende automaticamente lo strumento che inizia così la misurazione.  
La registrazione di un evento è effettuata solo quando i valori misurati superano una prestabilita soglia d'allarme – trigger, conservando la misura anche per i 0,5 s precedenti all'istante di trigger.  
Ultimata la registrazione lo strumento effettua un controllo sui trasduttori per verificarne il corretto funzionamento e posizionamento, quindi continua la misurazione riarmandosi per la successiva registrazione (tempo di riarmo 50 ms).  
In caso di misurazione prolungata oltre le 80 ore senza superamento della soglia d'allarme, lo strumento effettua automaticamente un controllo sui trasduttori per verificarne il corretto funzionamento e posizionamento (test di auto-calibrazione).  
I test di calibrazione sono conservati in memoria, a conferma dell'avvenuta misurazione senza superamento della soglia di trigger.  
Per varie esigenze di misura sono disponibili prolunghe dei cablaggi o altri trasduttori (di spostamento, accelerometri, ...) e due livelli di sensibilità (x2 e x8, 4 volte più sensibile).  
La misura può essere impostata anche a cadenze prestabilite, variabili da ... a ... ore nella modalità a grafico a barre, con indicazione del valore massimo in un prestabilito intervallo di tempo.

## **Caratteristiche tecniche**

### **Generale**

Numero di canali: 4 di cui uno acustico e 3 sismici  
Memoria: ..... a stato solido con i sommari di tutte le misure, impostazioni, dati registrati mantenuti ad alimentazione spenta. Batteria di backup al litio.  
Modo timer: ..... per l'accensione e lo spegnimento automatico dello strumento nella giornata.  
Display: ..... a cristalli liquidi ad alto contrasto, due linee da 40 caratteri  
Tastiera: ..... 5 tasti per settaggio e comando  
Batteria: ..... interna da 6 Volt, per 7-10 giorni di monitoraggio (possibile il collegamento a batteria esterna e/o celle solari)  
Temperature d'operatività: - 15°C a +50°C (con le basse temperature si riduce la durata della batteria)  
Dimensioni e peso: 20 x 10 x 6,5 cm per circa 2 kg  
immagazzinamento dati: un massimo di 340 forme d'onda complete sono immagazzinate nella memoria a stato solido (durata di 4 secondi), con d'orario e data degli eventi, valori di picco e frequenze, numero di serie dello strumento, stringa alfanumerica.  
Unità di misura: .... Sistema Internazionale o Imperiale  
Durata della registrazione: da 1 a 20 secondi, in funzione della frequenza di campionamento, con memorizzazione pre-trigger.  
frequenza di campionamento ... standard da 512 o 1024 cps per canale (su richiesta sino a 2048 cps per canale, con estensione di memoria)  
Porta seriale RS 232: per trasferimento dati ed impostazione diretta da PC o remota via modem/GSM  
Baud Rate: ..... da 1200 a 38,4 k bps

### **Onde sismiche**

trasduttori ..... velocimetri  
risposta in frequenza ..... da 3 a 400 Hz  $\pm$  2% (su richiesta con risposta  $\pm$  2% sino ad 1 Hz)  
sensibilità: modello x2 pari a 0,125 mm/s, modello x8 pari a 0,0315 mm/s  
ambito di registrazione ... (selezionabile dall'utente): modello x2: fondo scala 65 – 127 e 250 mm/s  
modello x8 fondo scala 15 – 32 e 65 mm/s  
soglie d'allarme – trigger ..... modello x2 da 0,25 mm/s  
modello x8 da 0,063 mm/s

### **Sovrappressione aerea**

trasduttore ..... microfono con elemento ceramico – fondoscala a 160 dB  
frequenza di campionamento ... da 32 a 1024 cps  
ambito di registrazione ... (selezionabile dall'utente): 100 – 142 dB; 106 – 148 dB;  
soglie d'allarme ..... a 106 a 148 dB

*I dati nella presente scheda sono indicativi. La MEDEX si riserva il diritto di modificare senza preavviso formati e caratteristiche.  
MEDEX e MDX sono marchi registrati di proprietà della MEDEX Srl.*

## Calcolo della TRASFORMATA DI FOURIER

---

La trasmissione delle onde nei mezzi naturali, dalla sorgente al punto di misura, è spesso complicata dalle formazioni geologiche interposte, nella cui rete di giunti le onde sono riflesse ed anche rifratte, generando forme d'onda complesse e determinando il graduale trasferimento dell'energia dalle componenti armoniche ad alta frequenza a quella a bassa.

Da un punto di vista matematico, le forme d'onda delle vibrazioni indotte da una volata sono caratterizzate da un numero infinito di componenti armoniche sinusoidali di stessa fase, diversa ampiezza e frequenza. Per poter stabilire l'ampiezza della componente armonica di ciascuna frequenza si calcola la trasformata di Fourier, ovvero, con un metodo semplificato, la FFT (*Fast Fourier Transform*).

La FFT è basata sulla teoria di Fourier secondo la quale ogni funzione periodica,  $f(t)$ , può essere espressa come la somma di un infinito numero di componenti sinusoidali semplici a diversa frequenza, stessa fase, moltiplicate per un coefficiente.

Una funzione periodica,  $f(t)$ , può essere espressa come:

$$f(t) = f(t+T)$$

per tutte le  $t$ . La costante  $T$  è il periodo della funzione  $f(t)$ .

La funzione  $f(t)$  può essere espressa tramite le serie di Fourier:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)]$$

In cui  $\omega_0 = 2\pi/T$ . Il termine  $\omega_0$  è detto frequenza radiale.

A partire dalle serie di Fourier si può ottenere l'integrale di Fourier e di conseguenza la trasformata di Fourier.

La trasformata di Fourier è definita come segue

$$F(f) = \int f(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad \text{dove } f \text{ è la frequenza in Hertz.}$$

La funzione  $F(f)$  è complessa e può essere espressa come

$$F(f) = R(f) + jI(f)$$

dove  $R(f)$  rappresenta la parte reale di  $F(f)$  ed  $I(f)$  rappresenta la parte immaginaria di  $F(f)$ .

Lo spettro d'ampiezza, l'analisi generata da questo programma, è dato da:

$$A(f) = \sqrt{R^2(f) + I^2(f)}$$

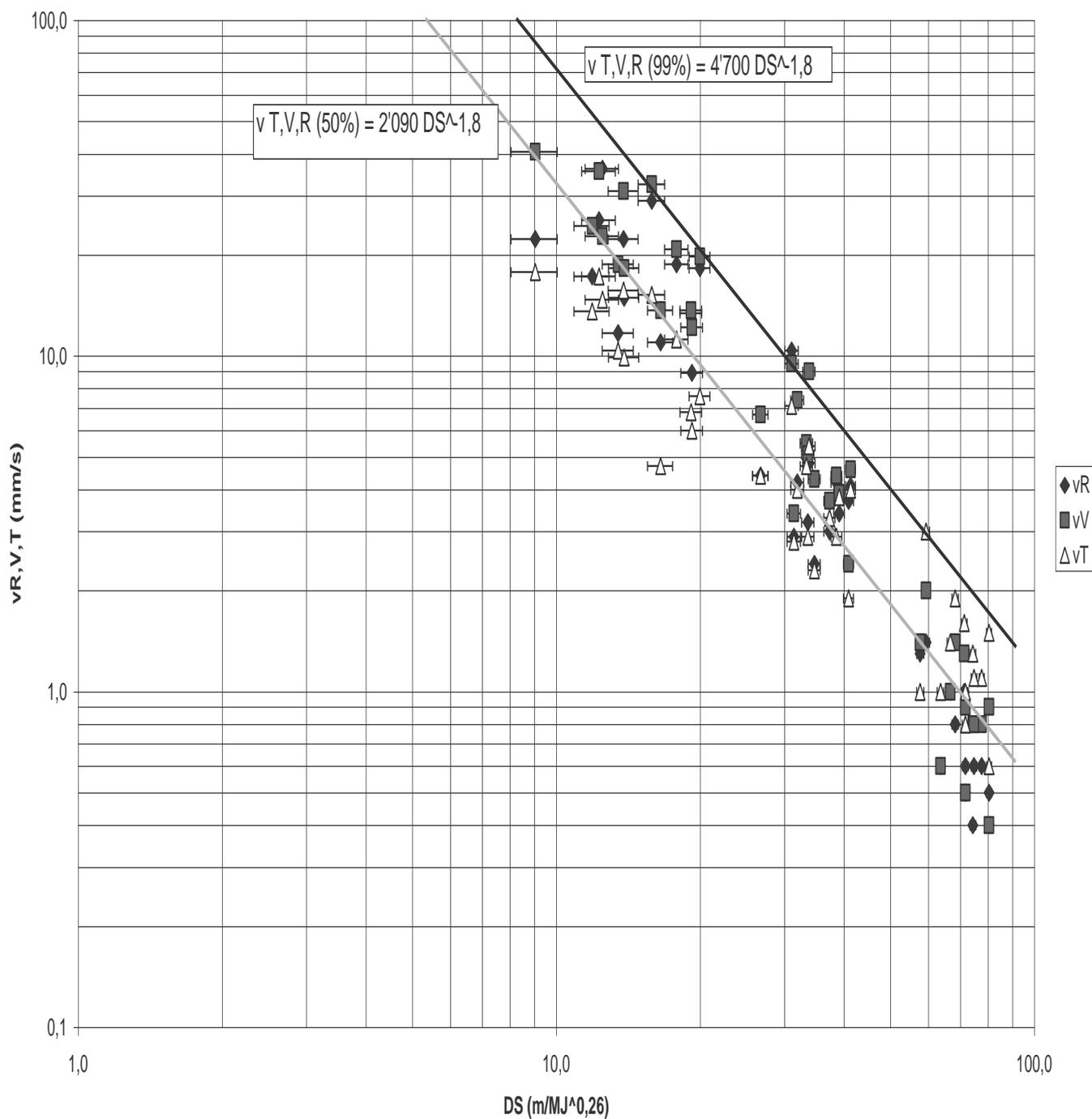
Per l'analisi degli effetti delle vibrazioni indotte, la trasformata di Fourier compara le vibrazioni indotte con funzioni seno e coseno a varie frequenze. I risultati della trasformazione di Fourier indicano la predominanza della frequenza di una delle componenti armoniche, sulle altre. L'ampiezza massima della massima componente armonica della trasformata di Fourier non è necessariamente dipendente dall'ampiezza massima della registrazione.

## Calcolo della VELOCITÀ DI VIBRAZIONE mediante estrapolazione

Esempio:

Curva di decadimento calcolata nella cava XXX, per la volata STANDARD N. XXX, con trasduttori lungo l'allineamento direzione 30°NORD, mediante regressione di potenza di un campione di 117 dati misurati.

Velocità di vibrazione del terreno al passaggio del transiente sismico:  
legge di decadimento del sito - limiti di fiducia



## **Ambito di significatività della curva di decadimento**

	vR	vV	vT	R	Q max
	mm/s	mm/s	mm/s	m	MJ
max	36,1	40,6	17,8	300,0	595,5
min	0,4	0,4	0,6	47,0	164,8

(ambito di variazione della distanza scalata sulla carica: 9,0 ÷ 80,4)

## **Statistiche**

	m1 (di Q)	m2 (di R)	K
esponenti di Q e R e valore di "b"	0,46	-1,796	7,65
errore standard per i coefficienti	0,099812	0,06	0,6479
coef. di determinazione	0,89		
sy	0,43		
statistica F	453,77		
grado di libertà	114		

### Esempio 1

Data la curva di decadimento sopra riportata, calcolare la velocità di vibrazione massima attesa e quella che sicuramente non sarà superata per il brillamento di una carica cooperante di 250 kg, composta da 50 kg di emulsione esplosiva Premex 851 e di 200 kg di An.Fo. AN-FO 4 ad una distanza di 250 metri.

### Risposta a esempio 1

Distanza del punto di misura dal punto di sparo R = 250 m

Energia specifica d'esplosione:

- carica di piede e di rinforzo in colonna: 50 kg di Premex 851, energia d'esplosione specifica pari a 4,3 MJ/kg, per 50 kg = 215 MJ
- carica di colonna: 200 kg di An.Fo. AN-FO 4, energia d'esplosione specifica pari a 3,2 MJ/kg, per 200 kg = 640 MJ

per un totale di 215 + 640 = 855 MJ

Distanza scalata sulla carica elevata a 0,26:

$$DS = R/Q^{0,26} = 250 \text{ m} / (855 \text{ MJ})^{0,26} = 43,2 \text{ m/MJ}^{0,26}$$

Sebbene questa distanza scalata sia compresa nell'ambito di variazione delle distanze scalate della curva di decadimento, così come pure la distanza dal punto di sparo, il valore dell'energia d'esplosione, invece, è al di fuori, maggiore di oltre il 40% (855 MJ > di 595,5 MJ, valore limite superiore delle varie cariche fatte brillare nella campagna di misure per la definizione della curva di decadimento del sito).

I valori probabili ed i valori massimi della velocità di vibrazione corrispondenti alla distanza scalata di 43,2 m/MJ<sup>0,26</sup> non possono dunque essere considerati come affidabili.

### Esempio 2

Data la curva di decadimento sopra riportata, calcolare la velocità di vibrazione massima attesa e quella che sicuramente non sarà superata per il brillamento di una carica cooperante di 150 kg composta da 30 kg di emulsione esplosiva Emulgit LWC AL e di 120 kg di An.Fo. Hanal 1U ad una distanza di 70 metri.

### Risposta a esempio 2

Distanza del punto di misura dal punto di sparo  $R = 70$  m

Energia specifica d'esplosione:

- carica di piede e di rinforzo in colonna: 50 kg di Emulgit LWC AL, energia d'esplosione specifica pari a 4,4 MJ/kg, per 30 kg = 132 MJ
- carica di colonna: 120 kg di An.Fo. Hanal 1U, energia d'esplosione specifica pari a 4,0 MJ/kg, per 120 kg = 384 MJ

per un totale di  $132 + 384 = 516$  MJ

Distanza scalata sulla carica elevata a 0,26:

$$DS = R/Q^{0,26} = 70 \text{ m} / (516 \text{ MJ})^{0,26} = 13,8 \text{ m/MJ}^{0,26}$$

La distanza scalata è compresa nell'ambito di variazione delle distanze scalate della curva di decadimento, così pure la distanza e la carica.

I valori probabili ed i valori massimi della velocità di vibrazione corrispondenti alla distanza scalata di  $49,4 \text{ m/MJ}^{0,26}$  possono dunque essere considerati come affidabili.

$$\text{Velocità probabile (50\%)} = 2.090 DS^{-1,8} = 2.090 (70/513^{0,26})^{-1,8} = 19 \text{ mm/s}$$

$$\text{Velocità probabile (99\%)} = 4.700 DS^{-1,8} = 4.700 (70/513^{0,26})^{-1,8} = 42 \text{ mm/s}$$

## Interpolazione grafica VELOCITÀ DI VIBRAZIONE - mod. NTX

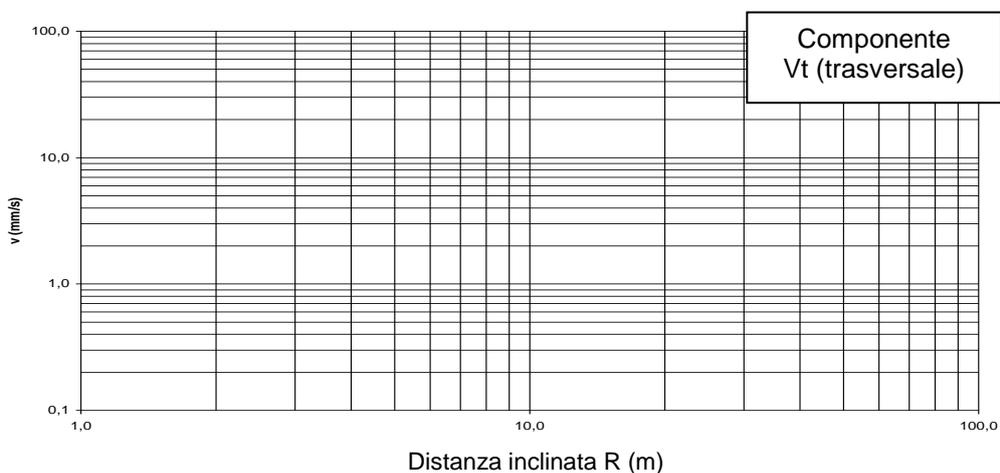
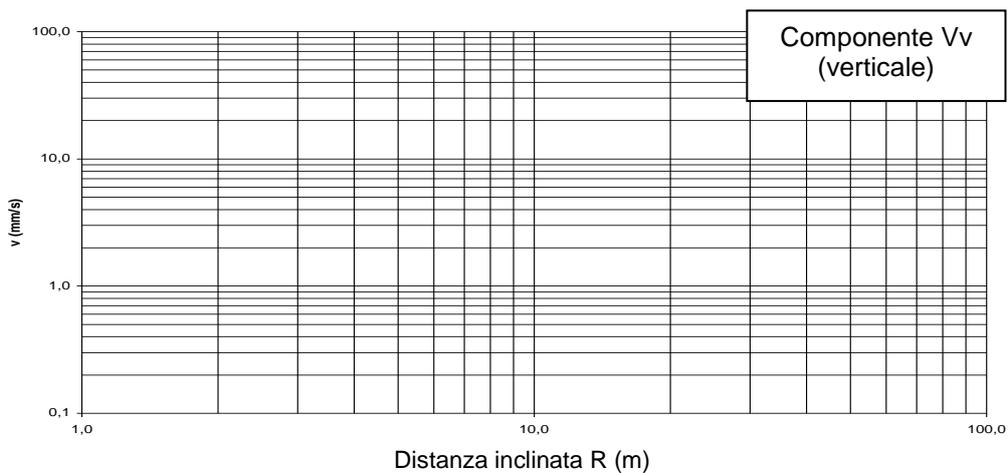
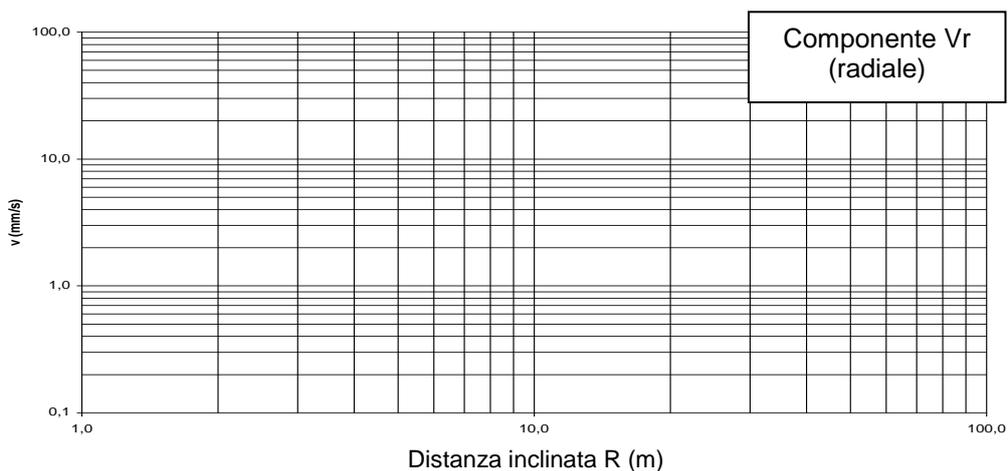
Misura del giorno ..... 200.....; Ore ..... :.....

Calcolo dei valori di velocità indotti nel punto C ..... sito a .... m dalla volata

D ..... sito a .... m dalla volata

Misure di riferimento: A - sismografo .....; evento ..... R = .....

B - sismografo .....; evento ..... R = .....



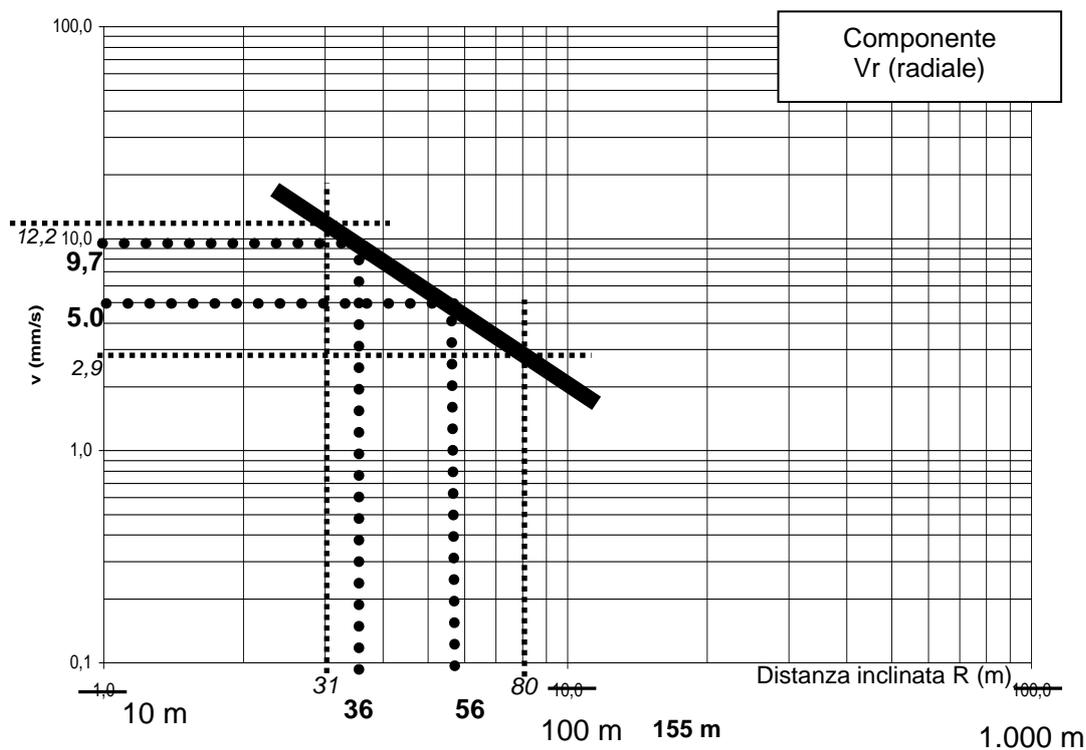
Esempio:

### Brillamento di una volata gradone.

Un trasduttore, piazzato a 31 metri, ha misurato 12,2 mm/s;  
un secondo trasduttore, piazzato a 80 m, ha misurato 2,9 mm/s.

In un punto posto a 36 metri dalla volata sull'allineamento tra i due trasduttori, la velocità di vibrazione probabile è dunque riscontabile per interpolazione come pari a 9,7 mm/s.

In un altro punto posto a 56 metri dalla volata, sempre sull'allineamento tra i due trasduttori, la velocità di vibrazione probabile è invece riscontabile per interpolazione come pari a 5,0 mm/s.



Questa interpolazione mantiene validità anche per la stima di distanze entro in un intorno del 20% oltre le distanze limite di misura (ad esempio anche entro  $80\text{ m} + 20\%$  di  $80 = 96\text{ m}$  e di  $31\text{ m} - 20\%$  di  $31 = 25\text{ m}$ ).

## VOLANTINO DI PREAVVISO SPARO MINE - racc. NTX

*Impresa COSTRUZIONI GENERALI*

*Piazza Rossi 2*

*71538 Corteno Volsci*

**Cantiere di Palermo - Frazione Valle di sotto**

**COSTRUZIONE DELLA NUOVA GALLERIA IDRAULICA**

**IMBOCCO LATO NORD**

### COMUNICAZIONE

Gentile Signora,  
gentile signore,

il giorno . . . . . intorno alle ore . . . . . ed alle ore . . . . . effettueremo il brillamento di esplosivi per lo scavo della galleria il cui imbocco è presso ....

Lo scavo con esplosivi è stato progettata da ingegneri specialisti, in modo tale da per minimizzare il disturbo alle persone che vivono nelle vicinanze. Con l'impiego degli esplosivi è possibile ridurre notevolmente la durata dei lavori così da contenere al minimo il disagio prodotto dalle attività di scavo.

L'esplosione sarà avvertita in un raggio di 150 m con una leggera vibrazione ed un debole boato. Le vibrazioni prodotte sonatali da garantire la non insorgenza di danni ed il non superamento della soglia di disturbo come stabilito dalle normative.

**L'imminente brillamento delle cariche sarà preannunciato da tre lunghi fischi di sirena.**

**Un secondo fischio di sirena continuo precederà di qualche secondo il brillamento.**

**Cinque fischi brevi di sirena saranno il segnale del completamento delle attività di sparo.**

Per ulteriori informazioni potete contattare il sig. Mario Rossi al numero .....

Scusandoci per l'eventuale disagio porgiamo i nostri più cordiali saluti.

Luogo e data, .....

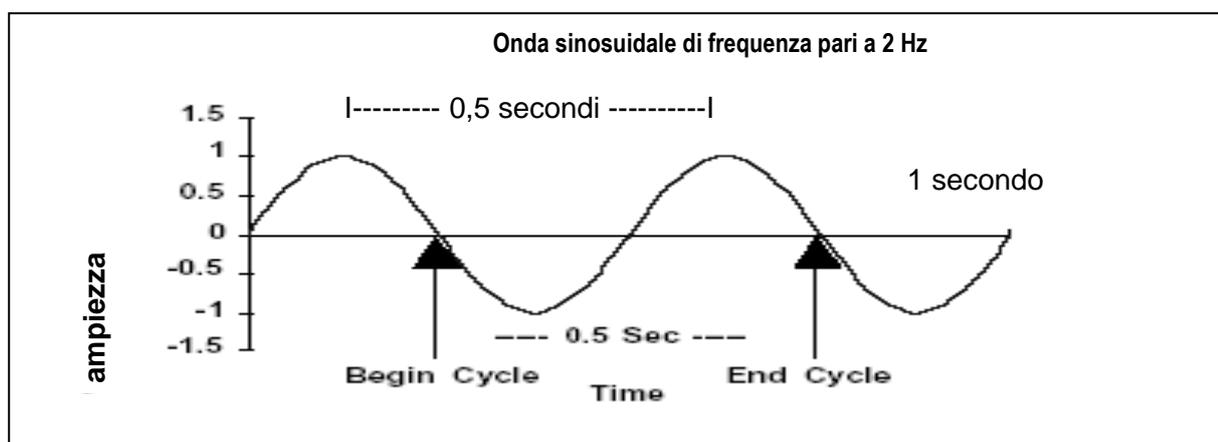
Soc. COSTRUZIONI GENERALI

## Calcolo della frequenza associata al picco col metodo **ZERO CROSSING**

Per calcolare rapidamente la frequenza associata ad un picco di velocità di vibrazione è generalmente utilizzato il metodo detto "zero-crossing", ovvero di attraversamento dello zero.

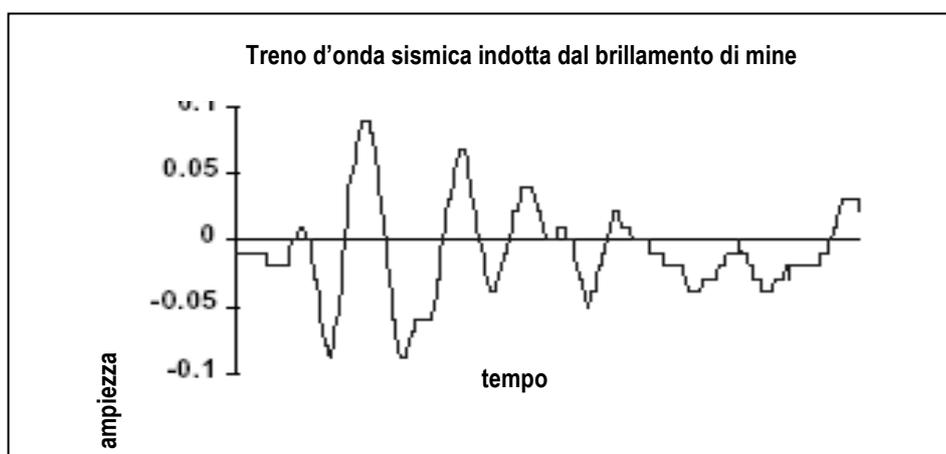
Questo metodo, sebbene non sia perfetto, porta a risultati accettabili nella generalità dei casi.

Da un punto di vista matematico, la frequenza di una vibrazione è l'inverso del tempo che la particella elementare del terreno attraversato dall'onda sismica, impiega per compiere un ciclo completo.



Per un'onda sinusoidale questo calcolo risulta immediato. Per la funzione seno, il tempo di un ciclo si può definire come il tempo tra l'inizio e la fine di un ciclo, oppure dal tempo compreso tra due massimi o due minimi successivi. Nell'esempio della figura sopra riportata, il periodo è di 0,5 secondi.

La frequenza è l'inverso del periodo. Perciò la frequenza è  $1/0,5 = 2$  Hertz.



Le onde sismiche indotte dal brillamento delle mine non hanno mai forme regolari, occorre così calcolare le frequenze caratteristiche di ciascun picco della forma d'onda misurata supponendo che due incroci successivi della linea di zero rappresentino il semiciclo di un'onda sinusoidale.