



Nitrex srl  
 Via Mantova 61, 25017 Lonato (BS)  
 Tel. 030 990 4039  
 www.nitrex-explosives-engineering.com

C O M M I T T E N T E

**TOTO spa**  
**V.le Abruzzo 410**  
**66100 Chieti**

C O M M E S S A

**Autostrada A24 Roma - L'Aquila – Teramo; tratta Tornimparte - L'Aquila Ovest. Interventi di adeguamento ai sensi della Legge 228/2012 art.1 comma 183**  
**Demolizione dell'opera d'arte in elevazione, in calcestruzzo armato.**

E L A B O R A T O


**Abbattimento controllato con esplosivi**  
**per la demolizione del Viadotto SANT'ONOFRIO**  
**LINEE GUIDA**

02-291 R2 2020-09-14 Viadotto SANT'ONOFRIO - pag. 1/57

copia #

1 / 1

redatto da

 <p><b>Roberto Folchi</b>        Ordine degli Ingegneri - Brescia        Cod. ident. BS04162100638        Albo Geologi Lombardia        Sez. A Geol. Special. n. 1748 AP        N. 4162</p>			
--	--	--	--

--	--	--	--

pagina lasciata intenzionalmente in bianco

## S o m m a r i o d i r e v i s i o n e

Rev. #	Descrizione delle modifiche apportate	Data
0	Prima emissione.	2020-09-14

### Indice

SOMMARIO.....	5
S.1 Presentazione della commessa.....	5
S.2 Introduzione alla demolizione con preliminare abbattimento con esplosivi.....	5
S.3 Scopo del presente elaborato.....	6
S.4 Impostazione del lavoro.....	7
S.5 Conclusioni.....	7
1 CONTESTO OPERATIVO.....	9
1.1 DENOMINAZIONE ED UBICAZIONE DEL CANTIERE.....	9
1.1.1 Manufatto da abbattere ("obiettivo").....	9
1.1.2 Manufatti da salvaguardare ("recettori").....	10
1.1.3 Inquadramento geografico.....	10
1.2 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE FORMAZIONI ROCCIOSE INTERESSATE DALLA DEMOLIZIONE.....	12
1.3 Caratterizzazione sismologica.....	12
1.4 MANUFATTO DA ABBATTERE (OBIETTIVO).....	16
1.4.1 Generalità.....	16
1.4.2 Viadotto SANT'ONOFRIO dx (5 impalcati, no pile).....	17
1.5 SOGGEZIONI ALL'ESECUZIONE DEI LAVORI DI DEMOLIZIONE.....	19
1.5.1 Abbattimento con esplosivi.....	19
1.5.2 Area di sicurezza per l'abbattimento.....	20
1.5.3 Demolizione meccanica a terra.....	20
1.6 TUTELA DI FLORA E DI FAUNA.....	20
2 ABBATTIMENTO CONTROLLATO CON ESPLOSIVO.....	22
2.1 Successione delle fasi preliminari all'avvio dei lavori.....	22
2.1.1 Progetto esecutivo d'abbattimento.....	22
2.1.2 Monitoraggio sismico.....	23
2.1.3 Comunicazioni e relazioni pubbliche.....	23
2.2 Fasi operative di abbattimento e demolizione (indicativo).....	24
2.2.1 Recinzione cantiere e cartellonistica.....	24
2.2.2 Messa in opera LINEA DI VITA.....	24
2.2.3 Demolizione di componenti non rilevanti per l'assetto statico.....	25
2.2.4 Perforazione FORI da MINA.....	26
2.2.5 Posa di reti di protezioni a maglia fine di cavi d'acciaio.....	29
2.2.6 CARICAMENTO e BRILLAMENTO MINE.....	30
2.2.7 Demolizione a terra.....	32
3 EFFETTI INDOTTI ALL'INTORNO DALL'ABBATTIMENTO.....	33
3.1 Generalità.....	33
3.2 Vibrazioni / onde elastiche /onde sismiche.....	33
3.2.1 Le onde sismiche.....	33
3.2.2 Non insorgenza di danno.....	36
3.2.3 Non insorgenza di disagio.....	36
3.2.4 Ampiezza delle vibrazioni.....	37
3.2.4.1 Brillamento delle cariche.....	37
3.2.4.2 Impatto al suolo del manufatto.....	37
3.3 Frammentazione primaria.....	43
3.3.1 Il lancio.....	43
3.3.2 Non insorgenza di danno.....	43
3.3.3 Ampiezza del lancio.....	43
3.3.4 Abbattimento polveri.....	46
3.4 Onda di sovrappressione in aria.....	47
3.4.1 Onda di sovrappressione in aria.....	47
3.4.2 Non insorgenza di danno.....	47
3.4.3 Non insorgenza di disagio.....	47
3.4.4 Ampiezza dell'onda di sovrappressione aerea.....	48
3.4.4.1 Brillamento delle cariche.....	48
3.4.4.2 Impatto al suolo del manufatto.....	48
4 CONTENUTI MINIMI DEL POS.....	52
5 MONITORAGGIO.....	53
5.1 Prospezione preliminare alla progettazione esecutiva.....	53
5.2 Monitoraggio ambientale in fase d'abbattimento.....	54

6 Contesto legislativo e normativo.....	57
6.1 Legislazione sulla sicurezza pubblica e lotta al terrorismo.....	57
6.2 Legislazione sulla prevenzione degli infortuni.....	57
6.3 Normativa.....	57

## SOMMARIO

### S.1 Presentazione della commessa

---

La commessa di cui al presente elaborato ha come oggetto la demolizione, con preliminare abbattimento al suolo con esplosivi, del seguente viadotto del Autostrada A24 Roma - L'Aquila – Teramo, tratta Tornimparte - L'Aquila Ovest:

1. Sant'ONOFRIO carreggiata di destra "dx" (5 impalcati sui 6 complessivi, no pile)

### S.2 Introduzione alla demolizione con preliminare abbattimento con esplosivi

---

L'abbattimento al suolo del viadotto con esplosivi è effettuato per attingere alle migliori condizioni di sicurezza per la successiva demolizione a terra mediante frantumazione e segregazione dei ferri d'armatura dal cls. Questa tecnica costituisce una alternativa a maggior sicurezza rispetto alla demolizione meccanica in quota per le strutture di altezza superiore ai 6÷12 m<sup>1</sup>.

La demolizione delle opere di altezza inferiore ai 6 ÷ 12 m è effettuata direttamente con martello demolitore idraulico, cesoie e pinze idrauliche su escavatore a braccio rovescio. Per le strutture più alte è invece necessario prevedere la frantumazione con pinze idrauliche e cesoie montate su escavatori a braccio maggiorato<sup>2</sup>. Per le strutture di altezza maggiore di 40 m è necessario montare i frantumatori idraulici su gru tralicciata. La demolizione meccanica con questa tecnica costringe ad un costante contatto fisico con la struttura, per la lenta, progressiva, e puntuale disgregazione del calcestruzzo e per il successivo taglio dei ferri d'armatura. In presenza di locale ammoramento dei volumi resistenti, ad esempio per lesionamento del calcestruzzo a causa di sollecitazioni sismiche, traffico pesante oppure per deformazione plastica in seguito a lungo esercizio con sollecitazioni elevate, per la riduzione della sezione resistente del ferro a seguito di corrosione, ecc., con conseguente disuniformità di resistenza meccanica, si manifesta il rischio di inatteso cinematismo con movimentazione di segmenti di struttura e coinvolgimento di mezzi ed operatori. Un cinematismo atteso, ma non prevedibile come tempistica, è invece quello della demolizione degli impalcati, con progres-

---

1 Altezza variabile in funzione delle dimensioni del braccio dell'escavatore

2 (arrivano sino a 50 m di lunghezza, con altezza operativa intorno ai 40 m)

siva riduzione delle sezioni resistenti delle travi con escavatore sulla struttura come, ad esempio, per la demolizione di impalcati in quota nei viadotti.

La ripetizione di numerosi incidenti o quasi incidenti, con impalcati che trascinano nella caduta a terra l'escavatore e relativo operatore, sono la conferma dell'elevato rischio connesso alla disarticolazione di strutture in elevazione con contatto diretto.

In presenza di strutture alte risulta più prudente il ricorso alla tecnica di abbattimento controllato con esplosivi. Mediante questa è possibile intervenire a distanza di sicurezza, asportando volumi della struttura in progressione predeterminata e con precisione di centesimi di secondo, modificando dell'assetto statico ed innescando un predefinito cinematismo di caduta al suolo senza rischio per personale e mezzi i quali sono a distanza di sicurezza nelle fasi di caduta.

Per quanto riguarda le pile e gli impalcati, le fasi a rischio per l'abbattimento al suolo durano alcuni minuti, e la caduta una massimo una decina di secondi, periodo nel quale personale e mezzi sono posti a distanza di sicurezza.

In seguito all'abbattimento con esplosivi, la demolizione può essere effettuata a terra, attingendo alle massime condizioni di sicurezza perché i martelli demolitori idraulici e le pinze sono montati su escavatori a braccio rovescio di lunghezza standard, operanti in condizioni ottimali per la frantumazione perché con i cingoli a terra ed operanti col braccio abbassato.

Per i più rapidi tempi d'esecuzione, la tecnica con gli esplosivi permette di migliorare le condizioni sia la sicurezza del cantiere ed inoltre, le fasi a rischio, ovvero quelle che determinano soggezioni al cantiere ed alla viabilità adiacente, sono contenute in minuti, periodo nel quale il traffico nell'asse stradale adiacente può essere interdetto. Lo stesso per l'impatto ambientale il quale è ridotto non solo per ampiezza degli effetti indotti ma anche, appunto, per la persistenza.

### **S.3 Scopo del presente elaborato**

Nel presente elaborato sono sintetizzate le linee guida alle quali sarà fatto riferimento in fase di progettazione esecutiva dell'abbattimento controllato con esplosivo di PILE ed IMPALCATI.

Sono pure riportati elementi utili alla quantificazione ed il contenimento entro valori di non insorgenza di danno e di disagio come da normativa specialistica, per:

- VIBRAZIONI per l'impatto al suolo delle strutture (onde sismiche);
- LANCIO DI FRAMMENTI D'ABBATTUTO (frammentazione primaria);
- ONDA DI SOVRAPPRESSIONE IN ARIA (rumore).

#### **S.4 Impostazione del lavoro**

---

I lavori saranno eseguiti da personale specializzato, sulla scorta di progettazione mirata, procedure di lavoro e di sicurezza, *check list* ed *HazO*.

Il modello della struttura da abbattere sarà ricostruito attraverso:

- riscontro delle caratteristiche geometriche dalle tavole progettuali dell'eseguito;
- definizione delle caratteristiche fisiche e di resistenza meccanica mediante prospezioni, campionamenti e test distruttivi e non;
- simulazione degli effetti indotti;
- validazione in corso d'opera del modello.

A riscontro delle condizioni di sicurezza per l'impatto ambientale attinte in fase di progetto, è previsto il monitoraggio strumentale di vibrazioni, lancio ed onda di sovrappressione aerea e video.

#### **S.5 Conclusioni**

---

Con l'adozione della tecnica dell'abbattimento controllato con esplosivi i lavori di demolizione del viadotto potranno essere eseguiti massimizzando sicurezza e minimizzando l'impatto ambientale.

Per attingere alle migliori condizioni di sicurezza e di efficienza, il lavoro di demolizione sarà progettato accuratamente, con riferimento modelli della struttura da abbattere definiti con riferimento a valori dei parametri meccanici di riferimento misurati in una preliminare campagna di prospezione, e con riferimento alla normativa e legislazione specialistiche.

Le attività accuratamente pianificate e condotte da personale di comprovata competenza ed esperienza.

Contezza delle rigorose condizioni di sicurezza previste e del contenimento dell'impatto ambientale, sarà data per mezzo di un monitoraggio strumentale continuativo.

Roberto Folchi  
Ordine degli ingegneri - Brescia  
Cod. identif. BS04162 I 00638  
Albo Geologi Lombardia  
Sez. A Geol. Specialista n. 1748 AP



## 1 CONTESTO OPERATIVO

### 1.1 DENOMINAZIONE ED UBICAZIONE DEL CANTIERE

---

#### 1.1.1 Manufatto da abbattere (“obiettivo”)

1. Viadotto Sant'ONOFRIO carreggiata di destra “dx” (5 impalcati sui 6 complessivi, no pile)

### 1.1.2 Manufatti da salvaguardare (“recettori”)

Un elenco preliminare ed indicativo di recettori è riportato nella tabella che segue. Le caratteristiche peculiari di ciascun recettore saranno annotate in un DATABASE RECETTORI. A ciascun recettore dovrà essere attribuita una fattispecie di appartenenza con riferimento alle tabelle 1, 2 e 3 delle norme DIN 4150-3.

<i>donatori</i>	<i>recettori</i>
S.ONOFRIO	<ul style="list-style-type: none"><li>• R<sup>3</sup>- PILE S.ONOFRIO;</li><li>• R- IMPALCATI S.ONOFRIO;</li><li>• Manufatto residenziale</li><li>• Strada</li></ul>

### 1.1.3 Inquadramento geografico

Nella foto viene riportata la foto aerea del sito. Il contesto geografico nel quale l'obiettivo (struttura da abbattere) è inserito si presenta senza insediamenti antropici, salvo qualche rara casa isolata. I recettori sensibili più vicini sono i viadotti nuovi e vecchi in adiacenza. A distanza dell'ordine del centinaio di metri è anche presente viabilità locale.

---

3 “R” sta per “recettore”, ovvero struttura che potrebbe avere risentimento per l'abbattimento con esplosivi



Foto 1.1.3.i: Viadotto S.ONOFRIO. Intersezione con un impalcato di una rampa autostradale (I1 - non oggetto di abbattimento con esplosivi) e con una strada provinciale (I5)

## **1.2 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE FORMAZIONI ROCCIOSE INTERESSATE DALLA DEMOLIZIONE**

---

Le formazioni interposte tra obiettivo e recettori consistono, prevalentemente, in terreni sciolti, terreni coesivi e roccia carbonatica più o meno fratturata.

Facendo riferimento in prima approssimazione a dati di archivio, alla roccia carbonatica possono essere attribuiti i seguenti valori dei parametri geomeccanici significativi:

- Densità = 26 KN/m<sup>3</sup>
- Peso di volume = 24 KN/m<sup>3</sup>
- Angolo di attrito interno = 35°
- Modulo di elasticità (dell'ammasso) = 30 GPa
- Velocità onde di compressione in ammasso = 2.500 m/s

Dati sui terreni saranno approfonditi per il sito.

Le caratteristiche meccaniche delle formazioni interessate saranno approfondite mediante sopralluoghi in sito ed analisi di laboratorio.

## **1.3 Caratterizzazione sismologica**

---

La demolizione in oggetto ricade nella provincia di L'Aquila, che da millenni è interessata da una intensa attività sismica, con periodi di attività frequente ed intensa, intervallati da periodi di relativa calma.

A causa della formazione della catena appenninica, l'Abruzzo è tra le regioni italiane più esposte ai terremoti; nella città de L'Aquila, a partire dall'anno 1.300 (più o meno data della fondazione dell'insediamento urbano) sono registrati terremoti distruttivi più volte e in epoche diverse: si ricordano i terremoti del 1315, 1349, 1461, 1703, 1762 ed il recente terremoto dell'anno 2009. Alle ore 03:32 del 6 aprile 2009 un sisma di magnitudo Mw=6.3 ha devastato il centro storico della città di L'Aquila e di decine di altri paesi nell'intorno, provocando alcune centinaia di vittime. L'evento è stato preceduto da una lunga sequenza sismica iniziata nella seconda metà di Dicembre 2008.



Questa circostanza impone cautela, per le conseguenze di un possibile terremoto in concomitanza con le attività di predisposizione all'abbattimento, durante le quali le maestranze operano sul ponte, soprattutto nel caso di quei ponti i cui dispositivi antisismici dovranno essere rimossi perché di ostacolo all'abbattimento.

Per acquisire informazioni continuative ed immediate del contesto sismico dell'obiettivo sul quale si andrà ad operare, sarà installata una stazione di monitoraggio continuativo, accessibile in remoto. Durante le operazioni sul ponte, la stazione di monitoraggio sarà equipaggiata con un allarme a sirena installata sul ponte per avvisare il personale in tempo reale dell'occorrenza di un evento sismico, così da evaquare immediatamente il sito (fig. 1.3.ii).

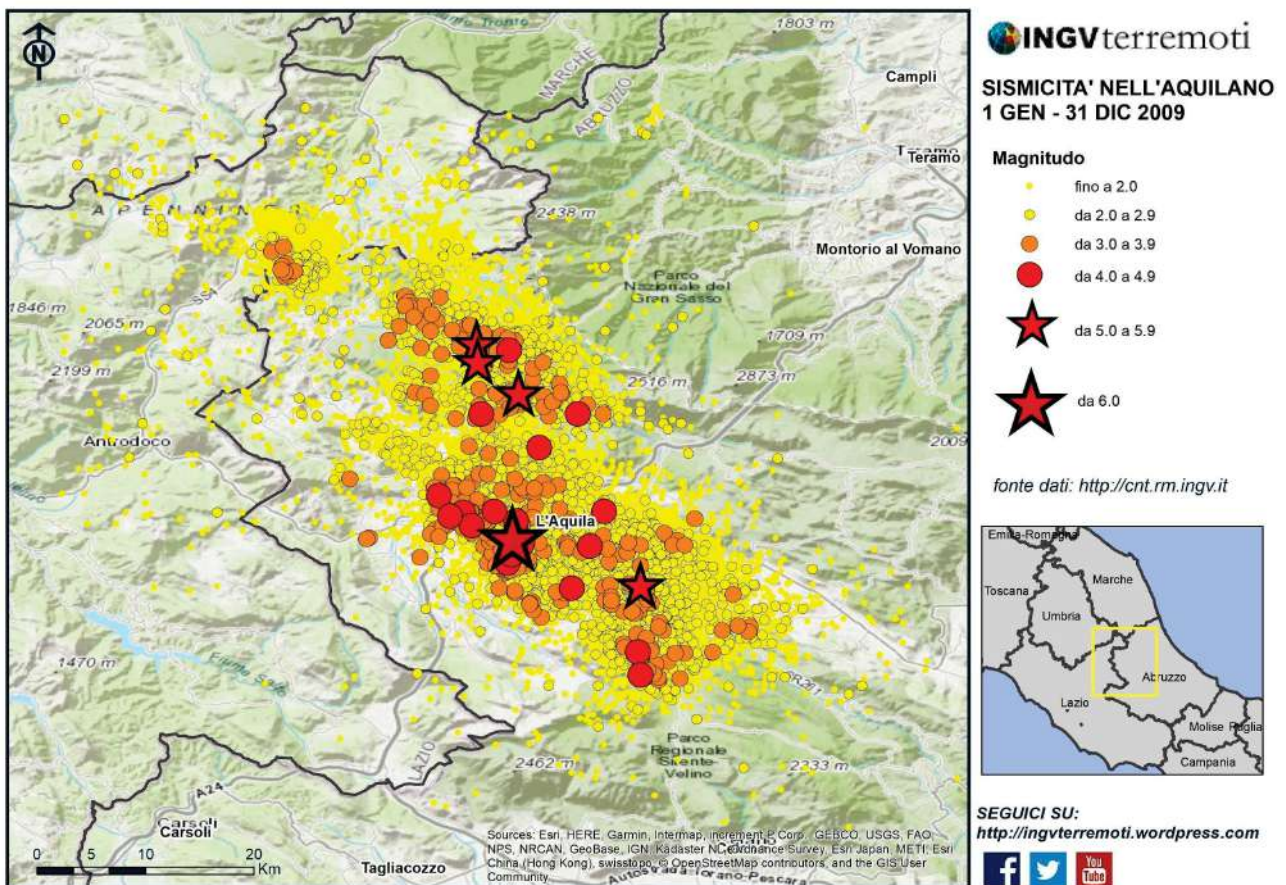


Figura 1.3.i: sequenza sismica in Abruzzo nel 2009.

**NTX** *NTX® srl*  
Via Mantova 59/C  
25017 Lonato del Garda (BS)  
tel. +39 030 91 97 596  
admin@ntx-int.com | www.ntx-int.com

**monitoraggio sismico con accesso da remoto**  
**SISTEMA d'ALLARME SM**  
*allarme sonoro e visivo per centraline di monitoraggio  
sismico acustico SM-PGS*



**Condizioni d'uso**

In alcune attività di scavo può essere necessario ricevere un **avviso immediato al manifestarsi d'un predefinito evento sismico**, ad esempio per una scossa di terremoto o per il franamento di roccia dal versante, o, ancora, per il rilascio di tensioni elastiche da rottura di roccia prima che questa frani (es. **lavori di bonifica e messa in sicurezza di versanti rocciosi franati o prossimi alla frana**).

Ma è anche il caso di lavori di **scavo a ridosso di recettori vulnerabili da salvaguardare con massima cura**, quali, ad esempio, le dighe, gli ospedali, gallerie idrauliche o monumenti. Per questi, infatti, le misure mitigative dell'impatto sismico devono essere adottate immediatamente, per evitare che siano superati i limiti di sicurezza stabiliti dalla Normativa.

In alternativa o in aggiunta al messaggio e-mail o SMS inviato dalla stazione di monitoraggio sismico remota SM-PGS al superamento del valore d'allarme (trigger) sismico (oppure acustico, ecc.), può essere anche acceso un lampeggiante luminoso e/o una sirena, così da dare immediato avviso del superamento del valore di allarme anche quando si lavora in ambienti rumorosi, per una reazione nel più breve tempo possibile.



Quando il sismografo rileva vibrazioni maggiori di quelle d'allerta (*trigger*), ordina l'accensione di sirena e lampeggiante sull'escavatore (e/o ad una lista di utenti).

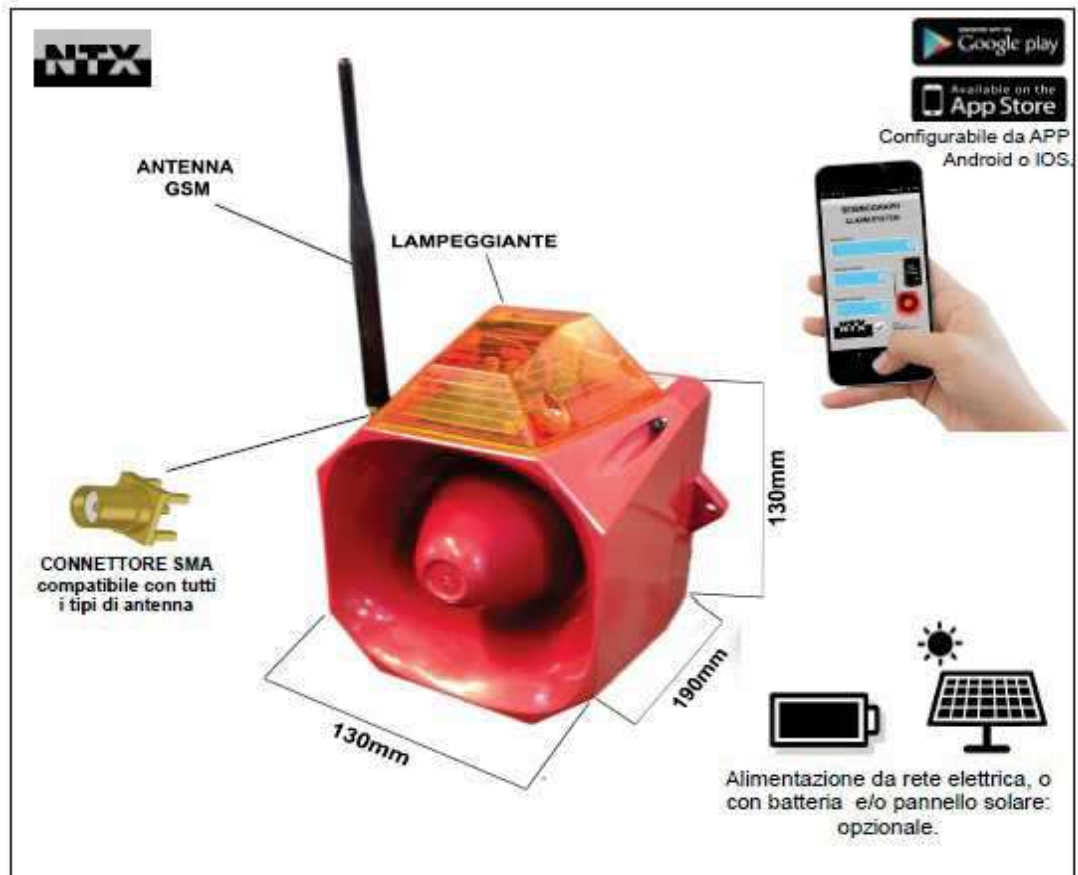


X000177 TDS alla rme SM 2020-04-30 - pag. 1/2

© Copyright NTX 2020 - Dati, immagini e caratteristiche in questa scheda sono indicativi. NTX si riserva il diritto di modificarli senza preavviso.

Fig. 1.3.ii.a.





### Specifiche tecniche

<i>Peso:</i>	2,0 kg
<i>Dimensioni:</i>	mm 130 x 130 x 190
<i>Leadtime (tra evento e allarme):</i>	4 secondi
<i>Attivazione da trigger:</i>	Sismico e/o acustico
<i>Attivazione da SMS o chiamata</i>	con SMS di risposta personalizzabile ad es: trigger attivato!
<i>Configurazione tramite:</i>	SMS o APP Android o IOS
<i>Sicurezza:</i>	La configurazione è modificabile solamente tramite password
<i>alimentazione</i>	12V (standard) A richiesta è possibile predisporre qualsiasi alimentazione
<i>Pannello solare:</i>	Opzionale
<i>Batteria:</i>	Opzionale
<i>Kit montaggio su palo:</i>	Opzionale
<i>Volume massimo:</i>	120 dB
<i>Tipologia rete:</i>	GSM 850/900/1800 / 1900MHz
<i>SIM:</i>	2 x SIM standard (a richiesta)

© Copyright NTX 2020 - Dati, immagini e caratteristiche in questa scheda sono indicativi. NTX si riserva il diritto di modificarli senza preavviso.

Fig. 1.3.ii.b.

## 1.4 MANUFATTO DA ABBATTERE (OBIETTIVO)

---

### 1.4.1 Generalità

Le caratteristiche tecniche rilevanti del manufatto da demolire (obiettivo) e di quelli da salvaguardare (recettori) saranno approfondite mediante una campagna di prospezione mirata. La definizione delle caratteristiche dei parametri geometrici, fisici e meccanici della struttura da abbattere costituisce un elemento critico per la riuscita del progetto. In carenza di dati dei valori dei parametri meccanici significativi per il c.a. dell' obiettivo, in prima approssimazione, sono stati adottati valori presi con riferimento conservativo a quelli di una struttura d'età e caratteristiche geometriche similari<sup>4</sup>:

- Resistenza a compressione uniassiale cls (UCS) = 25 MPa (carico statico - pile)
- UCS = 35 MPa (carico statico - impalcati)
- Resistenza a trazione cls media (brasiliiana) = 2 MPa (statico)
- Resistenza a trazione ferro media (rottura) = 300 MPa (statico)
- Resistenza a compressione uniassiale cls = 35 MPa (dinamico - impulsivo)
- Resistenza a trazione cls = 3,5 MPa (dinamico - impulsivo)
- Resistenza a trazione ferro (rottura) = 1000 MPa (dinamico - impulsivo)
- Peso di volume del cls = 24 KN/m<sup>3</sup>
- Peso di volume del c.a. = 25<sup>5</sup> KN/m<sup>3</sup>
- Angolo d'attrito interno = 35°
- Modulo di elasticità del ferro = 200 GPa
- Modulo di elasticità del cls = 40 GPa
- Coeff. di Poisson = 0,22
- Velocità onde di compressione (freq. acustiche) nel cls:  $C_p = 2300$  m/s (5100 m/s nel ferro).

---

<sup>4</sup> ponti e viadotti del MACROLOTTO 1, 2 e 3 dell'Autostrada A3 SA-RC – da Sicignano degli Alburni (SA) a Mormanno (CS)  
<sup>5</sup> approssimato per eccesso, per dare un margine di approssimazione conservativa al calcolo dei carichi gravanti sulla sezione di base della pila



### 1.4.2 Viadotto SANT'ONOFRIO dx<sup>6</sup> (5 impalcati, no pile)

Gli impalcati sono composti da quattro travi a doppio T, un impalcato per ciascuna carreggiata (fig. 1.4.2.i e "ii").

Dati di prima approssimazione su geometria e carichi di pile ed impalcati che andranno ad impattare al suolo sono riportati nella tabella 1.4.2.iii. Gli impalcati oggetto di demolizione sono quelli dal 2 al 6 carreggiata direzione L'Aquila, su pile scatolari, piani di via delle due carreggiate complanari (la carreggiata sx sarà con sovrastruttura nuova), quote d'imposta sulle pile complanari, con l'impalcato numero 1 da rimuovere a svapo perché sovrapposto ad un altro viadotto (attività esclusa dal presente studio). Abbattimento mediante realizzazione di cerniere plastiche presso gli appoggi, cinematismo di caduta in verticale, con testate e traversi di testata impattanti a distanza dal fusto delle pile, così da salvaguardarne l'integrità.

Impalcati con accentuata acclività della scarpata sottostante, ovvero a rischio di pattinamento del relitto verso la pila a valle, demoliti con esplosivi per una porzione estesa del loro sviluppo.

Descrizione	Sezione [m <sup>2</sup> ]	Lunghezza [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Massa <sup>7</sup> [ton]	Massa [kN]	H dal suolo	E <sup>8</sup> [MJ]
Imp. 2	4,9	37,05	182	454	4452	37,5	167
<b>Imp. 3</b>		<b>38,1</b>	<b>182</b>	<b>454</b>	<b>4452</b>	<b>50</b>	<b>223</b>
Imp. 4		38,1	182	454	4452	44	196
Imp. 5		38,1	187	467	4579	26,5	121
Imp. 6		37,05	182	454	4452	15	67

Tab. 1.4.2.iii. Massa ed energia cinetico d'impatto degli impalcati del viadotto S. Onofrio.

Recettori:

1. R- PILE S.ONOFRIO (quelle di imposta della sovrastruttura da abbattere e quelle della carreggiata adiacente);
2. R- IMPALCATI S.ONOFRIO;
3. Manufatto residenziale
4. Strada provinciale

6 dx = destra = carreggiata col traffico in direzione de L'Aquila

7 Considerando come peso specifico pari a 2.5 t/m<sup>2</sup>

8 Energia di impatto, equivalente all'energia potenziale dell'impalcato, calcolata moltiplicando la massa del grave per l'altezza media di caduta

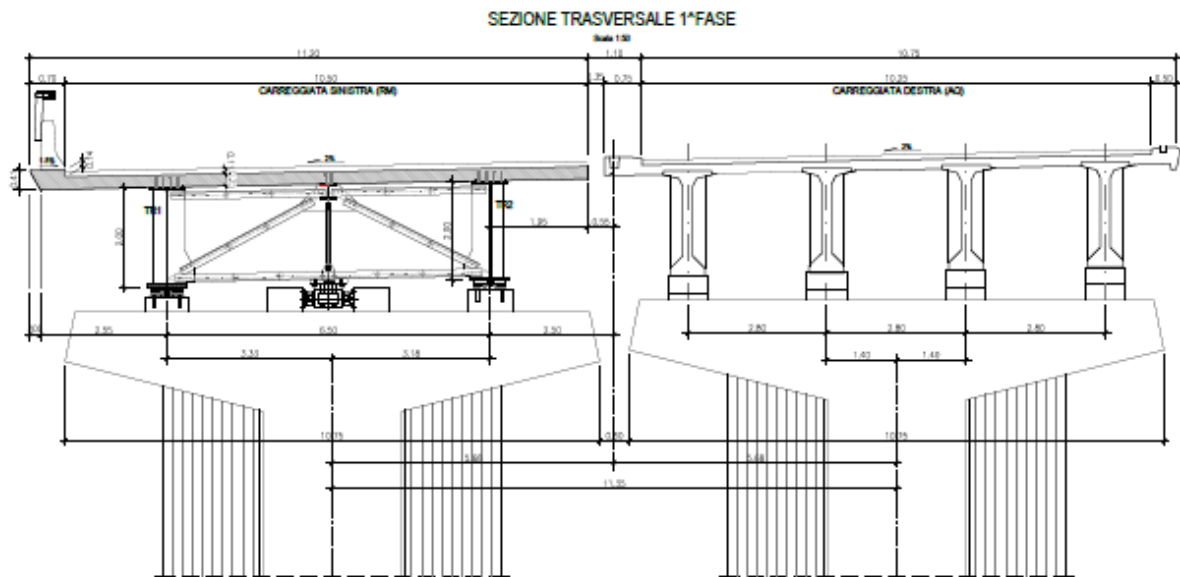


Fig. 1.4.2.i. Sezione trasversale del viadotto S. Onofrio (a sx il nuovo impalcato, a dx il vecchio impalcato da abbattere).

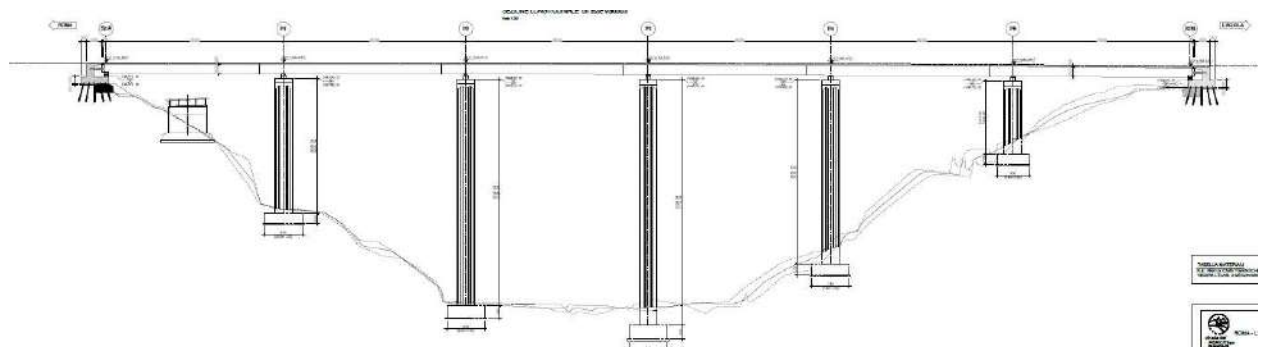


Fig. 1.4.2.ii. Sezione longitudinale del viadotto S. Onofrio (impalcati da 1 a 6, con 1 da svariare con le gru perché sovrastante un altro impalcato stradale).

## **1.5 SOGGEZIONI ALL'ESECUZIONE DEI LAVORI DI DEMOLIZIONE**

### **1.5.1 Abbattimento con esplosivi**

L'abbattimento sarà effettuato con interferenza col traffico veicolare adiacente (carreggiata opposta a quella da demolire, viabilità adiacente e sottostante in nell'area di sicurezza). L'interdizione del traffico potrà avvenire per chiusura (ad esempio, in coincidenza con altre lavorazioni che la dovessero richiedere) oppure per pilotaggio con interdizione per circa 45 minuti.

In tab 1.5.1.i. a titolo di esempio, sono riportate tempistiche indicative per l'abbattimento.

**Fase A – Consegna esplosivi**inizio **05:00**fine **05:10****B – Preparazione cariche**inizio **05:10**fine **10:00****C – Piazzamento cariche**inizio **07:00**fine **15:30****D – Predisposizione linea di tiro ed inneschi**inizio **15:00**fine **15:30****E – Sgombero aree di sicurezza (incluso blocco del traffico autostradale e secondario)**inizio **15.00**fine **15.30****F – brillamento****15:35****G – Controllo risultati volata**inizio **15:35**fine **15:40****H – Riapertura traffico****15.45**

Tab. 1.5.1.i. Tempistiche indicative relativa al giorno d'abbattimento.

### **1.5.2 Area di sicurezza per l'abbattimento**

L'estensione dell'area di sicurezza estesa per l'abbattimento con esplosivo, in linea di massima, può essere indicata pari a 150 m.

L'estensione dell'aria di sicurezza estesa (quella adottare per il brillamento) dovrà comunque essere precisata, in fase di progettazione esecutiva, una volta quantificati per lo specifico impalcato gli effetti secondari dell'esplosione (vibrazioni, lancio di frammenti d'abbattuto, sovrappressione in aria) e delle misure di contenimento adottate nel caso in cui fosse necessario ridurre localmente tale estensione (es. per presenza di manufatti o impianti, soggezioni ambientali, ecc.).

### **1.5.3 Demolizione meccanica a terra**

L'attività di demolizione meccanica non comporterà significative soggezioni, essendo gli effetti indotti all'intorno confinati all'immediato intorno dell'area di lavoro che, comunque, sarà recintata. Anche per le demolizioni meccaniche, nel caso in cui dovessero essere presenti recettori sensibili nell'immediato intorno, dovranno essere adottate misure di contenimento specifiche.

## **1.6 TUTELA DI FLORA E DI FAUNA**

In considerazione del pregio ambientale del contesto nel quale dovranno essere eseguiti i lavori, saranno adottate le seguenti precauzioni generiche:

- Preliminare rilievo fotografico del contesto ambientale.
- Censimento delle specie arboree presenti, così da poter effettuare il ripristino.
- Rimozione e ripristino delle specie arboree e cespugli in area di demolizione.
- Delimitazione dell'area di cantiere lungo tutto il tracciato del ponte, per una fascia di almeno 12 m dall'impronta al suolo, con rete da cantiere da 130 cm, per minimizzare gli sconfinamenti dei piccoli animali selvatici e domestici.
- Fasciature di contenimento lancio frammenti di calcestruzzo per l'esplosione, mediante reti di funi d'acciaio.
- Abbattimento polveri in fase di perforazione e demolizione.

- Minimizzazione della pezzatura delle componenti abbattute sui versanti acclivi così da poter lavorare con mezzi di dimensioni minori e limitare l'impatto per le piste d'arrocco.
- Programmazione temporale della demolizione con scadenze tali da minimizzare il disturbo alla fauna nei periodi riproduttivi.

## 2 ABBATTIMENTO CONTROLLATO CON ESPLOSIVO

### 2.1 Successione delle fasi preliminari all'avvio dei lavori

#### 2.1.1 Progetto esecutivo d'abbattimento

Per il controllo degli effetti indotti all'intorno dall'esplosivo, ovvero per l'esecuzione di un "abbattimento controllato con esplosivi", saranno attuate specifiche tecniche, competenza ed esperienza. Il progetto sarà redatto e firmato da un tecnico di comprovata esperienza nel settore, iscritto all'albo professionale degli ingegneri e dei geologi. Il progettista espletterà anche mansioni di Direttore dei Lavori da mina, assumendosi altresì la responsabilità dell'esecuzione, fornendo apposita polizza assicurativa. Nel progetto esecutivo saranno affrontate, in modo dettagliato ed esauriente, le problematiche relative alla sicurezza delle persone e dei manufatti all'intorno. In particolare il progetto sarà sviluppato attraverso le seguenti fasi:

- Caratterizzazione del contesto socio-urbanistico entro il quale saranno eseguiti i lavori.
- Indicazione delle soggezioni per l'esecuzione dei lavori (presenza di forti campi elettromagnetici per antenne o linee elettriche, presenza di cavidotti, di condutture per gas o combustibili, di impianti sensibili alle vibrazioni quali strumentazioni di analisi, turbine, ecc.).
- Caratterizzazione geologica e geotecnica (aspetti rilevanti per la sicurezza sismica).
- Descrizione del lavoro da svolgere.
- Descrizione dei manufatti e degli impianti da salvaguardare.
- Quantificazione degli effetti indotti all'intorno, con indicazione delle normative e dei valori limite a cui sarà fatto riferimento.
- Sistemi di protezione per il lancio di frammenti d'abbattuto.
- Sistemi di contenimento delle vibrazioni.
- Sistemi di contenimento dell'onda di sovrappressione aerea.
- Sistemi di contenimento polveri.
- Eventuale analisi di stabilità dinamica delle strutture all'intorno / scarpate.
- Quantificazione degli effetti indotti all'intorno dall'esecuzione dei lavori con esplosivi.
- Indicazione delle attività da seguire affinché siano garantite, in modo rigoroso, condizioni di tolle-

rabilità 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 del sistema di misura che sarà installato.
- Pericoli e rischi collegati con le attività.

### **2.1.2 Monitoraggio sismico**

Per contezza del rispetto dei valori di sicurezza previsti, sarà effettuato il controllo strumentale delle onde sismiche indotte (e delle onde di sovrappressione in aria), come previsto dalla normativa tedesca DIN 4150-1 e 3, quella di riferimento in Italia perché considerata la più restrittiva al mondo, per la misura delle vibrazioni saranno utilizzati trasduttori di velocità triassiale (per la misura dell'onda di pressione aerea saranno utilizzati microfoni). I valori registrati saranno poi confrontati con quelli di riferimento per la sicurezza della normativa, indicati tali da garantire al 100% la non insorgenza di danni o di disagio. Come indicato nel par. 1.3, dal monitoraggio sismico c.s. saranno anche acquisiti dati del contesto sismico ambientale (eventuali eventi tellurici). Per questo monitoraggio è prevista l'installazione di una stazione di misura onde sismiche – di pressione aerea in un punto di riferimento (es. nuovo viadotto Sant'Onofrio), con monitoraggio continuativo (H24, 7/7) giorni a settimana, per tutta la durata dei lavori di costruzione, così da fornire elementi di valutazione oggettiva nonché, appunto, un sistema d'allarme per le maestranze, in caso di occorrenza di eventi tellurici.

### **2.1.3 Comunicazioni e relazioni pubbliche**

Quella delle demolizioni con esplosivi è una pratica poco diffusa e poco conosciuta. L'esperienza insegna che vibrazioni e rumore indotti dall'impiego di esplosivi, anche se di ampiezza inferiore a quelle indotte dal traffico o da impianti industriali, sono considerate dalla popolazione più pericolose. Una buona informazione alla popolazione, sulle attività da svolgere e sulla precauzioni che saranno adottate, aiuterà quindi a minimizzare i rischi di contenzioso. La gestione delle pubbliche relazioni sia con la popolazione stessa che con i rappresentanti di popolazione ed autorità (*stakeholders*), assumerà, dunque, importanza rilevante per la prevenzione e minimizzazione del contenzioso.



## **2.2 Fasi operative di abbattimento e demolizione (indicativo)**

### **2.2.1 Recinzione cantiere e cartellonistica**

Per la segnalazione di pericoli e rischi per le attività di cantiere agli addetti ed ai terzi potenzialmente coinvolti / limitazione dell'accesso ai non addetti ai lavori.



### **2.2.2 Messa in opera LINEA DI VITA**

Per minimizzare il rischio di caduta le aree prive di parapetti.





### 2.2.3 Demolizione di componenti non rilevanti per l'assetto statico

Per favorire la realizzazione di cerniere o soluzioni di continuità nella struttura.



## 2.2.4 Perforazione FORI da MINA

Perforazione

- idraulica
- a carotaggio con utensili al diamante
- con martelli elettrici
- con martelli pneumatici
- 



Perforazione dei fori da mina sulle travi degli impalcati.



Perforazione a carotaggio



Perforazione con martello elettrico



Perforazione pneumatica

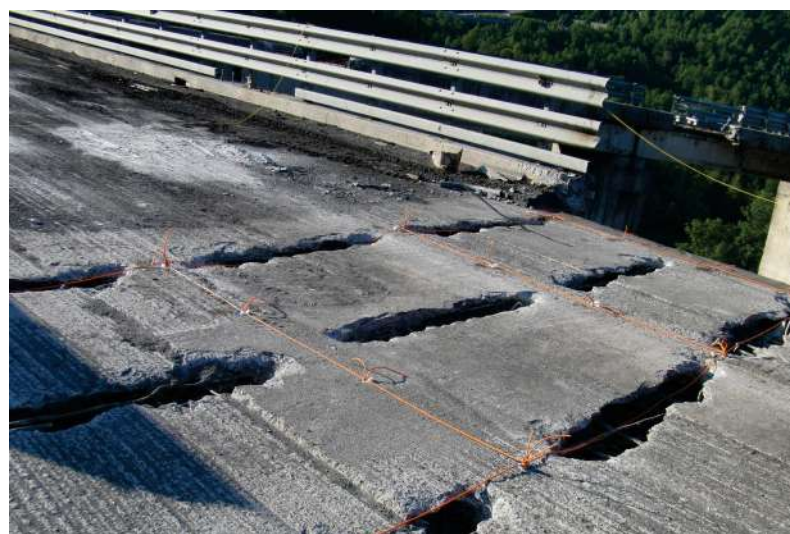


### 2.2.5 Posa di reti di protezioni a maglia fine di cavi d'acciaio

Per il contenimento del lancio di materiale. Le reti sono costituite da un cavo d'acciaio intrecciato in modo tale da espandersi tanto da lasciar passare i gas d'esplosione trattenendo però i frammenti di cls. Le reti dovranno essere posizionate attorno alle fasce da minare, in quantità tale da garantire il contenimento integrale del lancio di frammenti di cls frantumato dalle cariche esplosive.



## 2.2.6 CARICAMENTO e BRILLAMENTO MINE









### 2.2.7 Demolizione a terra





### 3 EFFETTI INDOTTI ALL'INTORNO DALL'ABBATTIMENTO

#### 3.1 Generalità

---

Per “controllare” l’abbattimento è necessario:

- prevedere gli effetti per i quali manufatti e persone all’intorno potrebbero avere risentimento,
- minimizzare questi effetti e, comunque,
- contenerli entro valori tali da garantire il rispetto della normativa per la “non insorgenza di danno” e di “disagio”.

Nel caso della demolizione del ponte nel presente progetto, gli effetti di cui manufatti e persone all’intorno potrebbero avere risentimento saranno dovuti a:

- vibrazioni (possono produrre lesioni nei manufatti e disturbo ai residenti);
- frammentazione primaria / lancio di frammenti d’abbattuto, polvere (rischio per la sicurezza del personale, possono produrre danno ai fabbricati e disturbo ai residenti);
- onda di sovrappressione in aria / rumore (disturbo ai residenti).

La trattazione delle fenomenologie per gli effetti come sopra, è riportata nel seguito.

#### 3.2 Vibrazioni / onde elastiche /onde sismiche

---

##### 3.2.1 Le onde sismiche

Una frazione dell’energia d’esplosione viene trasferita nel mezzo all’intorno sotto forma di onde elastiche le quali, per analogia con quelle prodotte dai terremoti, sono anche dette “sismiche”. Queste si propagano all’intorno e possono essere avvertite dai manufatti all’intorno.

I parametri delle onde sismiche, rilevanti ai fini del presente documento sono:

- velocità di propagazione del treno d’onda: “C” (dipende dalle caratteristiche fisiche, geomeccaniche e strutturali del mezzo e dal tipo di onda: “P”, di compressione, “S” di taglio, “R” superficiali di Raileigh, “L” superficiali di Love – caratteristiche dei mezzi stratificati);
- spostamento: “s”, velocità: “v” ed accelerazione: “a” della vibrazione prodotta dal passaggio dell’onda sismica (dipendono dalla distanza e dalla carica fatta brillare istantaneamente e dal sul

grado di confinamento nonché dalle caratteristiche geometriche, fisiche, geometriche, e geostutturali del mezzo di propagazione);

- frequenza d'oscillazione predominante del treno d'onda: "f" (dipende dalle caratteristiche geometriche, fisiche, geomeccaniche e strutturali del mezzo e dalla distanza dalla sorgente sismica);  
rapporto tra frequenza predominante: "f" e frequenza propria del manufatto.

Approssimando l'oscillazione indotta ad un moto armonico sinusoidale, le grandezze sopra riportate saranno legate dai seguenti legami funzionali:

$$a = (2 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot s) / G = (2 \cdot \pi \cdot f \cdot v) / G = (2v^2) / (G \cdot s)$$

$$v = \pi \cdot f \cdot s = (G \cdot a) / (2 \cdot \pi \cdot f) = ((G \cdot a \cdot s) / 2)^{0,5}$$

$$s = v / (\pi \cdot f) = (G \cdot a) / (2 \cdot \pi^2 \cdot f^2) = (2 \cdot v^2) / (G \cdot a)$$

dove G è 9,80665 m/s<sup>2</sup> per il sistema di misura metrico e 1m/s<sup>2</sup> per il Sistema Internazionale  
where G is 9,80665 m/s<sup>2</sup> for metric and 1m/s<sup>2</sup> for SI

La velocità di propagazione delle onde di compressione e di taglio sono esprimibili tramite le seguenti espressioni:

$$C_p \text{ (velocità delle onde di compressione)} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \times \frac{(1-\mu)}{(1+\mu) \times (1-2\mu)}}$$

$$C_s \text{ (velocità delle onde di taglio)} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

dove  $\rho$ : densità del mezzo di propagazione;

$\mu$ : modulo di Poisson dinamico

E: modulo di elasticità dinamico longitudinale e G: modulo di elasticità dinamico trasversale.

Le sollecitazioni associate al transiente sismico nel mezzo possono essere stimate come segue [Kolsky H., Stress Waves in Solids, Courier Dover Publications, 2003]:

$$\sigma_x = \rho \cdot C_p \cdot v_x$$

$$\tau_{xy} = \rho \cdot C_s \cdot v_{xy}$$

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.

L'ampiezza delle vibrazioni indotte dall'esplosione si riduce rapidamente all'aumentare della distanza dal punto di sparo. La funzione matematica che rappresenta il decadimento è di tipo esponenziale). Generalmente per esprimere il valore della massima velocità di vibrazione " $v_{MAX}$ " al passaggio del transiente sismico si stabilisce una proporzionalità diretta al quantitativo di carica fatta detonare istantaneamente<sup>9</sup> ed inversamente proporzionale alla distanza inclinata dal punto di sparo, secondo una legge tipo:

$$v_{MAX} = K \cdot Q^\alpha / R^\beta$$

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

"R" e "Q" sono rispettivamente la distanza dal punto di sparo e la massima carica esplosiva fatta brillare per ritardo d'accensione in una volata a brillamento sequenziale.

"K", " $\alpha$ " e " $\beta$ " sono calcolati, ed eventualmente per varie direzioni di propagazione, mediante regressione di potenza a due variabili indipendenti (R e Q) dei dati misurati in campagna ("v" variabile dipendente).

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

$$v_{MAX} = K \cdot (R/Q^c)^{-\beta} = K \cdot (DS)^{-\beta}$$

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

Le vibrazioni possono essere distinte in tipo "transiente" o tipo "prolungato" [DIN 4150-3, par. 3.4 e 3.5]. 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 (fig. 3.2.1.i). Come "prolungate" s'intendono tutte le vibrazioni non comprese nella definizione di "transienti". In questo caso gli effetti sono legati sia alle sollecitazioni dirette che a quelle indirette per oscillazione propria della struttura e/o per spostamenti differenziali delle parti componenti (fig. 3.2.1.ii). Per questa ultima fattispecie, ai fini della sicurezza, assume rilevanza anche il grado di libertà della struttura (fig. 3.2.1.iii).

9 ... nel caso di brillamento sequenziale: della carica cooperante...

### 3.2.2 Non insorgenza di danno

Per la verifica di compatibilità alle onde sismiche dei manufatti all'intorno è fatto riferimento alla normativa [DIN 4150-3] riprese anche dalle italiane [UNI 9916]<sup>10</sup>. Questa stabilisce una correlazione tra la velocità massima di vibrazione del terreno al passaggio dell'onda sismica e la possibile insorgenza di danni intesi come: "par. 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" (tab. 3.2.2.i fig. 3.2.2.ii, tab. 3.2.2.iii e fig. 3.2.2.iv).

Per garantire al 100%, la non insorgenza di danni ai manufatti, in prima conservativa approssimazione, possono essere adottati i seguenti valori limite " $v_{MAX}$ " per ciascuna delle componenti "x", "y" e "z" della velocità di vibrazione:

- **PILE: 150 mm/s in fondazione;**
- **IMPALCATI in c.a.: 150 mm/s in mezzeria e sul pulvino**
- **IMPALCATI METALLICI: 400 mm/s**
- **MANUFATTI INGEGNERIZZATI: 40 mm/s**
- **MANUFATTI NON INGEGNERIZZATI: 10 mm/s**
- **MANUFATTI PARTICOLARMENTE SENSIBILI ALLE VIBRAZIONI E SOTTOPOSTI A TUTELA BELLE ARTI: 5 mm/s**

### 3.2.3 Non insorgenza di disagio

Per quanto riguarda invece il disagio, in prima approssimazione può essere fatto riferimento al grafico di Goldmann (fig. 3.2.3.i).

Dai dati acquisiti durante il monitoraggio sismico potrà essere effettuato il calcolo di riscontro come da normativa [UNI 9614] (tab.3.2.3.ii) la quale, con riferimento alla normativa europea ISO 2631, definisce il metodo di misura delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi.

La norma, prevede criteri di valutazione differenziati a seconda della tipologia della vibrazioni (di livello costante, di livello non costante e impulsive).

<sup>10</sup> In Italia è generalizzato l'uso diretto delle DIN 4150.

I locali o gli edifici in cui sono immesse le vibrazioni sono classificati a seconda della loro destinazione d'uso in: aree critiche, abitazioni, uffici, fabbriche. Le vibrazioni possono essere valutate calcolando il valore efficace dell'accelerazione espresso in  $m/s^2$  o in termini di livello dell'accelerazione espresso in dB. Il livello dell'accelerazione è definito dalla seguente relazione:

$$L = 20 \log(a / a_0)$$

dove: a: valore efficace dell'accelerazione

$a_0 = 10^{-6} m/s^2$ : valore efficace dell'accelerazione di riferimento.

La norma prevede il filtraggio delle componenti armoniche dei transienti sismici misurati che attenuano il segnale in funzione della diversa percezione umana delle diverse componenti armoniche (da 1 ad 80 Hz) e limiti di accelerazioni complessive ponderate in frequenza (nei prospetti II e III riportati in seguito) per le diverse tipologie di manufatto e per differenti fasce orarie.

### **3.2.4 Ampiezza delle vibrazioni**

#### **3.2.4.1 Brillamento delle cariche**

Per la conformazione delle strutture da abbattere, con pareti a setto di piccolo spessore, la sismicità indotta dalle cariche esplosive poste in essa per la frantumazione del calcestruzzo non produrrà onde sismiche di ampiezza significativa.

Il brillamento della carica più in basso causerà soluzione di continuità nella pila così che l'onda sismica che si indurrà all'intorno dal setto, alla fondazione e quindi al terreno di posa, sarà dell'ordine del centinaio di grammi.

Il calcolo della sismicità indotta a distanza dal brillamento delle cariche è dunque trascurabile. Tale circostanza è confermata dagli oltre 700 abbattimenti di impalcati effettuati dallo scrivente in condizioni analoghe.

#### **3.2.4.2 Impatto al suolo del manufatto**

Per il calcolo dell'ampiezza della vibrazioni indotte dall'impatto è stato fatto riferimento alla curva di decadimento sperimentale<sup>11</sup>:

<sup>11</sup> Curva di decadimento ricavata dalle misure effettuate in 57 abbattimenti di ponti. Risultati pubblicati sulla rivista "Le Strade", numero 6 del 2012: "Calcolo delle onde sismiche da impatto al suolo dei gravi".

$$V_{\text{MAX}95\%} = 387 * (R / E^{0,187})^{-1,195},$$

dove:

- $V_{\text{MAX}95\%}$  [mm/s]: velocità di vibrazione con 95% di possibilità di non superamento;
- R [m]: Distanza dal recettore al baricentro di caduta dell'impalcato;
- E [MJ]: Energia potenziale di impatto = massa \* altezza \*  $G^{12} * 10^{-3}$

Le funzioni di trasferimento delle onde sismiche tra massa impattante e terreno e tra terreno di fondazione e sovrastante dato di fondazione devono essere valutate di volta in volta, in funzione dei rapporti tra le impedenze acustiche.

In seguito è riportato il calcolo dei valori di vibrazione eseguito sulla situazione più gravosa, cioè alla base della pila 3 del viadotto SANT'ONOFRIO (vedi dati di riferimento a pag. 19, tabella

1.4.2.iii.):  $V_{\text{MAX}95\%} = 387 * (20 / 230^{0,187})^{-1,195} = 36 \text{ mm/s.}$



Fig. 3.2.1.i. Vibrazioni transienti sulle strutture di dimensioni inferiori alla lunghezza d'onda dell'impulso sismico (sollecitazioni conseguenti alle forze d'inerzia).

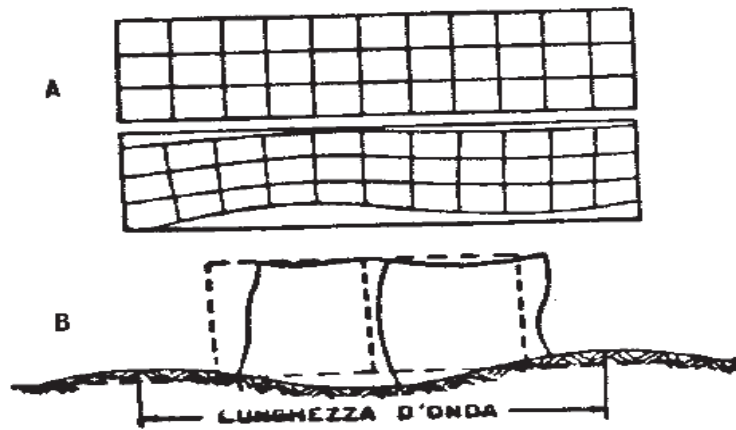


Fig. 3.2.1.ii. Vibrazioni prolungate sulle strutture di dimensioni confrontabili alla lunghezza d'onda dell'impulso sismico (sollecitazioni per forze d'inerzia e spostamenti differenziali).

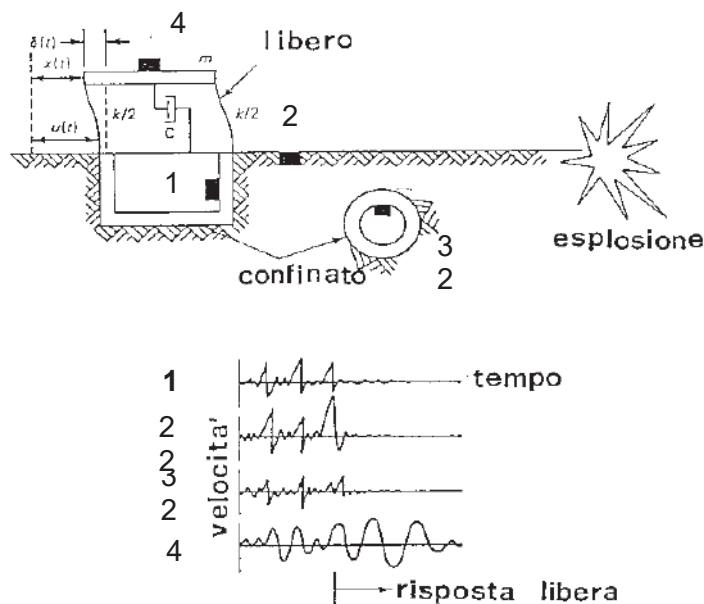


Figura 3.2.1.iii. Effetto delle vibrazioni prolungate. Differente risposta al transiente sismico di strutture con vari gradi di libertà perché in elevazione o interrate.

Riga	Tipi di edificio	Valori di riferimento per velocità di oscillazione $v_{MAX}$ in mm/s			
		misura sulle fondazioni Frequenze			Misura sull'ultimo solaio orizzontale
		Da 1 a 10 Hz	da 10 a 50 Hz	da 50 a 100 Hz (*)	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

Tabella 3.2.2.i. Velocità d'oscillazione di riferimento per la non insorgenza di danni [DIN 4150-3].

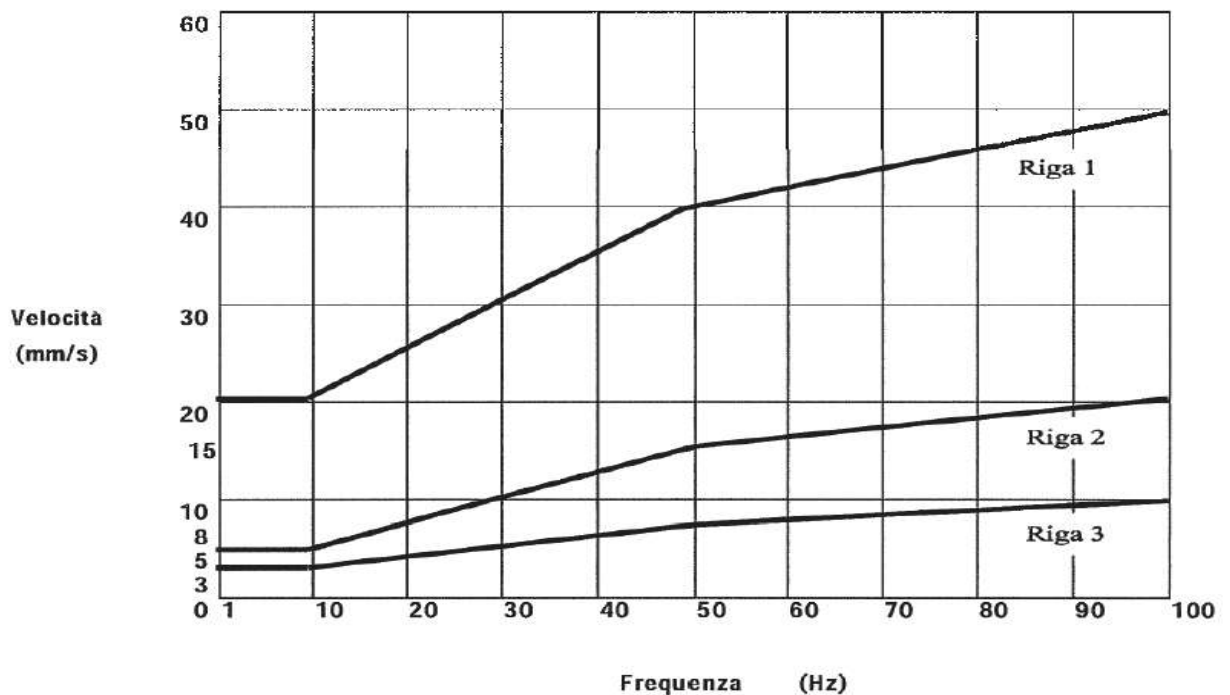


Figura 3.2.2.ii. Grafico dei valori di riferimento in fondazione come da tabella 3.2.2.i.



Riga	Materiali componenti le tubazioni	Valori di riferimento per velocità di oscillazione $v_{max}$ in mm/s sulle tubazioni
1	Acciaio, saldato	100
2	Gres, calcestruzzo, calcestruzzo armato, metallo con o senza flangia	80
3	Muratura, plastica	50

Tabella 3.2.2.iii. Valori di riferimento per velocità di oscillazione per le condutture interrate [DIN 4150-3].

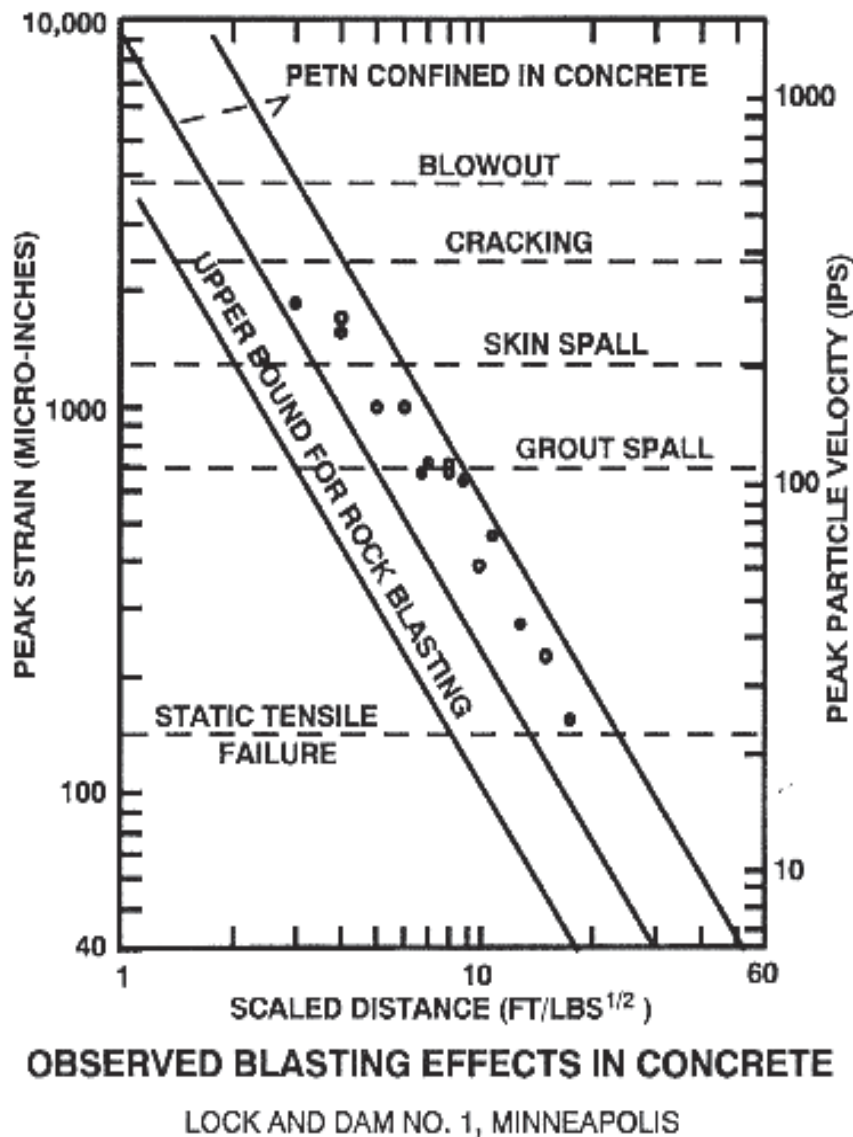


Figure 6-5.

Figura 3.2.2.iv. Valori di soglia della velocità di vibrazione indotta in strutture in cls per vari effetti indotti [Oriard, *Effects of Vibrations and Environmental Forces, Guide for the Investigation of Structures*, printed by International Society of Explosives Engineers, 1999].

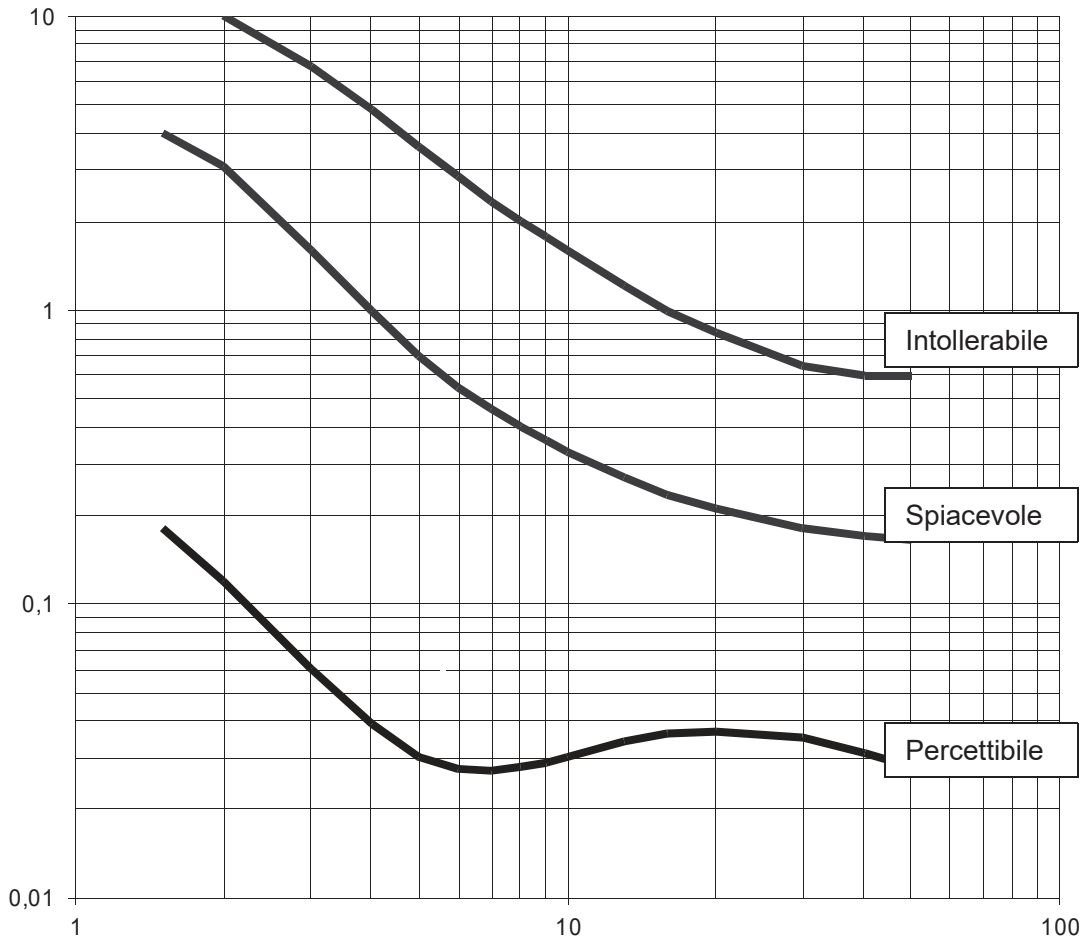


Figura 3.2.3.i. Risposta del corpo umano ad un moto vibratorio [Goldmann, 1948].

Prospetto II  
Valori e livelli limite  
delle accelerazioni  
complessive ponderate  
in frequenza  
validi per l'asse  
z

	a m/s <sup>2</sup>	L dB
aree critiche	5,0 10 <sup>-3</sup>	74
abitazioni (notte)	7,0 10 <sup>-3</sup>	77
abitazioni (giorno)	10,0 10 <sup>-3</sup>	80
uffici	20,0 10 <sup>-3</sup>	86
fabbriche	40,0 10 <sup>-3</sup>	92

Prospetto III  
Valori e livelli limite  
delle accelerazioni  
complessive ponderate  
in frequenza  
validi per gli assi  
x e y

	a m/s <sup>2</sup>	L dB
aree critiche	3,6 10 <sup>-3</sup>	71
abitazioni (notte)	5,0 10 <sup>-3</sup>	74
abitazioni (giorno)	7,2 10 <sup>-3</sup>	77
uffici	14,4 10 <sup>-3</sup>	83
fabbriche	28,8 10 <sup>-3</sup>	89

Tabella 3.2.3.ii. Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza come dal UNI 9614.

### **3.3 Frammentazione primaria**

---

#### **3.3.1 Il lancio**

Le parti di calcestruzzo frantumate dall'esplosione sono spinte dall'onda d'urto e, sostenute nel moto dai gas d'esplosione, sono proiettate a distanza. La distanza di proiezione dipende dall'energia rilasciata dall'esplosione, dalla velocità iniziale, dalla densità e dalla forma del frammento e dalla traiettoria, essendo massima per traiettoria "balistica" (45°). I frammenti così proiettati costituiscono un potenziale pericolo per i manufatti e soprattutto per le persone all'intorno, essendo il corpo umano vulnerabile all'impatto di solidi. Al contrario bassa è la vulnerabilità dei macchinari e dei manufatti. Anche per l'impatto al suolo dei manufatti, porzioni di cls possono staccarsi ed essere proiettate all'intorno (probabilità tanto maggiore quanto maggiore è la resilienza della superficie d'impatto).

#### **3.3.2 Non insorgenza di danno**

Per la non insorgenza di danno è dunque definita, attorno a ciascun manufatto da minare, una fascia di sgombero da persone e mezzi, così da evitare che questi possano essere coinvolti dalla frammentazione primaria. Il calcolo per la definizione dell'estensione di questa area è riportato nel paragrafo che segue. Se necessario le superfici cls minate saranno coperte da rete metallica (blasting shields NTX, fig. 3.3.2.i.), teli e, nel caso, sabbia, così da contenere il lancio nell'immediato intorno della volata (dispositivi di contenimento).

#### **3.3.3 Ampiezza del lancio**

La massima distanza di lancio aumenta all'aumentare della carica specifica e del diametro del foro, dalla densità del mezzo da abbattere e dal rapporto interasse dei fori / spalla d'abbattimento. Dipende inoltre dalla traiettoria e da parametri geometrici del materiale da abbattere quali dimensioni, sfericità, ecc.. In prima e conservativa approssimazione, per il calcolo della massima distanza di lancio in carenza di dispositivi di contenimento, è adottata la seguente formula [U.S.A.S.C., Minimum separation distances ...2000]:

$$R (m) = 130 * QE^{1/3};$$

con QE(kg di TNT equivalente) = carica di demolizione cooperante.

Per la dinamite, con energia d'esplosione pari a 4,1 MJ/kg, il TNT equivalente è pari a 0,9 (= 4,1 MJ/kg / 4,52 MJ/kg per il TNT). Per la Pentrite (l'esplosivo contenuto nella miccia detonate, il quale ha un'energia d'esplosione pari a 5,8 MJ/kg, ) il TNT equivalente è pari a 1,3 (ovvero 1 kg di Pentrite equivale a 0,8 kg di TNT). In prima approssimazione, per il calcolo della massima distanza di lancio è considerata il quantitativo in TNT equivalente.

Considerando una carica cooperante di 1,5 kg, ne deriva una distanza massima di proiezione pari a:

$$R_{f \max} = 130 * 1,5^{1/3} = 148,8 \text{ approssimato a } 150 \text{ m.}$$

In caso di proiezione a campo libero l'intorno dall'esplosione che potrebbe essere interessato da lancio di frammenti d'abbattuto sarebbe dunque pari a:

$$R_{f \max} = 150.$$

Per precauzione sarà dunque predisposta, per la fase di brillamento, un'area di sgombero allo scoperto pari a non meno di 150 m. L'area sarà sorvegliata da personale posizionato lungo il perimetro; il personale di sorveglianza sarà dotato di dispositivi di segnalazione, così da poter avvisare tempestivamente il responsabile del brillamento dell'eventuale violazione dell'area interdetta.


**NTX® srl**

Via Mantova 59/C  
I - 21017 Lonato (BS)  
Tel. +39 030 91 97 596  
Fax. +39 030 91 99 124  
admin@ntx-int.com  
www.ntx-int.com

# BLASTING SHIELD, in funi d'acciaio

per il contenimento integrale del lancio di  
frammenti di roccia e di frammenti metallici



## Descrizione

Si tratta di una rete, a maglia fitta di funi d'acciaio, utilizzata come cortina di protezione per i frammenti proiettati all'intorno dalle esplosioni.

La rete è realizzata in corda continua di trefoli d'acciaio ad alta resistenza, Ø16mm o Ø19mm. La trama consente lo sfogo dei gas d'esplosione bloccando ogni frammento solido, anche quelli metallici. La rete oppone una minima resistenza ai gas d'esplosione e così non viene spazzata, contrariamente a quanto avviene con protezioni realizzate con copertoni o con lastre continue (es. "pannelli"). La rete è fornita in vari formati e è predisposta con asole per la movimentazione.

X000163 TDS IT blasting shields 2014-02-01 - pag. 1/1



## Applicazioni

La rete Mazzella, trova il suo campo di applicazione come cortina di protezione, in ogni attività dove il personale o gli impianti devono essere protetti da proiezioni ad elevata energia di frammenti solidi:

- abbattimenti controllati con esplosivi in prossimità di strade, di case, impianti
- processi di fabbricazione di prodotti potenzialmente esplosivi (settore chimico, farmaceutico, aerospaziale, in genere);
- processi con rischio di protezioni per rotture meccaniche;
- demilitarizzazione di ordigni;
- protezione per attentati dinamitardi.

## Dimensioni e materiali standard

Dimensioni:		
430 cm x 430 cm	kg 1600	cod. X 000 164
300 cm x 300 cm	kg 900	cod. X 000 151
240 cm x 300 cm	kg 600	cod. X 000 158
120 cm x 210 cm	kg 190	cod. X 000 163

Materiale: corda in trefolo di filo di acciaio

© Copyright NTX 2013 - Dati, immagini e caratteristiche in questa scheda sono indicativi. NTX si riserva il diritto di modificarli senza preavviso.

Fig. 3.3.2.i. Blasting shields NTX.



### 3.3.4 Abbattimento polveri

Tra le dotazioni per la gestione ambientale di cantiere, si dovrà annoverare l'impiego di cannoni antipolvere da utilizzarsi inderogabilmente durante le operazioni di abbattimento con esplosivi e di demolizione a terra di pile ed impalcati, nonché per le operazioni di movimentazione terra.



## **3.4 Onda di sovrappressione in aria**

---

### **3.4.1 Onda di sovrappressione in aria**

Nel passaggio dalla fase solida a quella gassosa gli esplosivi aumentano di circa mille volte il loro volume, trasformandosi in gas. La reazione di decomposizione (detonazione) si propaga nell'esplosivo a velocità supersonica (da 3 a 9 km/s).

L'esplosione libera quindi, in frazioni di millesimi di secondo, energia sotto forma di gas ad elevata pressione (può superare i 30 GPa) e temperatura (può superare i 5.000°). La potenza associata è quindi molto elevata.

Il calcestruzzo è sottoposto ad elevatissime sollecitazioni che ne provocano la rottura istantanea. Impattando l'aria, i gas d'esplosione generano un'onda di sovrappressione che si propaga riducendo la sua ampiezza rapidamente in prossimità dell'esplosione e più lentamente a distanza, fino a riportarsi a valori ambientali.

### **3.4.2 Non insorgenza di danno**

I quantitativi di esplosivo che possono arrecare danni a manufatti per l'onda di sovrappressione aerea sono molto maggiori di quelli impiegati nelle demolizioni. A titolo di riferimento, nella tab. 3.4.2.i sono riportate le distanze limite di sicurezza ( $R_s$ , in metri) dall'esplosione di una carica aerea "Q" oltre la quale non si ha formazione di fratture in un muro di mattoni di spessore  $h$  (m) e, nella tabella tab. 3.4.2.ii la distanza di sicurezza oltre la quale si ha raramente la rottura dei vetri delle finestre [Melnicov, Safety in open pit mining ..., 1974].

In tabella 3.4.2.iii sono riportati gli effetti generalmente corrispondenti a varie ampiezze del picco di sovrappressione aerea [Siskind et Al., Structure response and ...1980].

### **3.4.3 Non insorgenza di disagio**

In carenza di normativa specifica sulla tollerabilità alle sovrappressione aeree, è sistematicamente fatto riferimento ai valori proposti dal CHBA *Committee on Hearing, Bioacustics and Biome-*



chanics, Washington D.C., USA (comitato sull'udito, bioacustica e biomeccanica) [Siskind et Al., *Structure response and ...1980*].

Questi valori derivano da una ricerca sperimentale (fig. 3.4.3.i). Dal grafico si rileva che sovrappressione quali quelle indotte dal brillamento delle cariche si mantengono entro valori tollerabili per le persone se non superano il valore di 146 dB (per una ripetizione al giorno).

### **3.4.4 Ampiezza dell'onda di sovrappressione aerea**

#### **3.4.4.1 Brillamento delle cariche**

Il valore del picco di sovrappressione aerea e dell'impulso associato dipendono dall'energia totale d'esplosione (quantità e tipo d'esplosivo), dalla potenza dell'esplosione, dalla distanza dal punto d'esplosione, dalla pressione e dall'umidità atmosferica, dal grado di confinamento dell'esplosione, dalla distanza del baricentro d'esplosione dal suolo, dalla conformazione del terreno lungo il quale l'onda di sovrappressione si propaga (per la conseguente generazione di onde di Mach, ecc.), dalla velocità e direzione del vento, ecc..

Per la stima di prima approssimazione dei valori di picco della sovrappressione aerea prodotta dalla demolizione può essere fatto riferimento alla curva di decadimento in fig. 3.4.4.1.i [Siskind et Al., *Structure response and ...1980*]. Da questa considerando il brillamento come poco confinato, in conseguenza dei bassi valori di spalla ed interasse e la carica specifica, (curva tratteggiata), si rileva che un valore di picco pari a 146 dB non verrà superato per distanze, scalate sulla radice cubica della carica, superiori a  $50 \text{ ft/lb}^{1/3}$  ovvero pari a  $31,7 \text{ m/kg}^{1/3}$  approssimato a  $32 \text{ m/kg}^{1/3}$ .

#### **3.4.4.2 Impatto al suolo del manufatto**

L'impatto al suolo della struttura non causerà rumore rilevante.

$$R_s = 0.4 * (Q/h)^{0.5}$$

<b>h (m) =</b>	<b>0.1</b>	<b>h =</b>	<b>0.2</b>	<b>h =</b>	<b>0.3</b>
<b>Rs (m)</b>	<b>Q (kg)</b>	<b>Rs (m)</b>	<b>Q (kg)</b>	<b>Rs (m)</b>	<b>Q (kg)</b>
28	5	20	5	16	5
40	10	28	10	23	10
57	20	40	20	33	20
80	40	57	40	46	40
98	60	69	60	57	60
113	80	80	80	65	80
126	100	89	100	73	100

Tabella 3.4.2.i. Distanza limite  $R_s$  (m) dall'esplosione di una carica aerea  $Q$  oltre la quale non si ha formazione di fratture in un muro di mattoni di spessore  $h$  [Melnicov, Safety in open ..., 1974].

$$R_s = 30 * Q^{0.5}$$

<b>Rs (m)</b>	<b>Q (kg)</b>
67	5
95	10
134	20
190	40
232	60
268	80
300	100

Tabella 030402ii Distanza  $R_s$  (m) dall'esplosione di una carica aerea  $Q$  (kg TNT eq.) oltre la quale si ha raramente la rottura dei vetri delle finestre [Melnicov, Safety in open ..., 1974].

<b>Ampiezza dell'onda di sovrappressione aerea (dB)</b>	<b>Effetto indotto</b>
180	POSSIBILE ROTTURA DEL TIMPANO
150	POSSIBILE ROTTURA DI VETRI DELLE FINESTRE
120	VIBRAZIONE DEI VETRI DELLE FINESTRE

Tabella 3.4.2.iii. Effetti generalmente corrispondenti a varie ampiezze del picco di sovrappressione aerea [Siskind et Al., Structure response and ...1980].

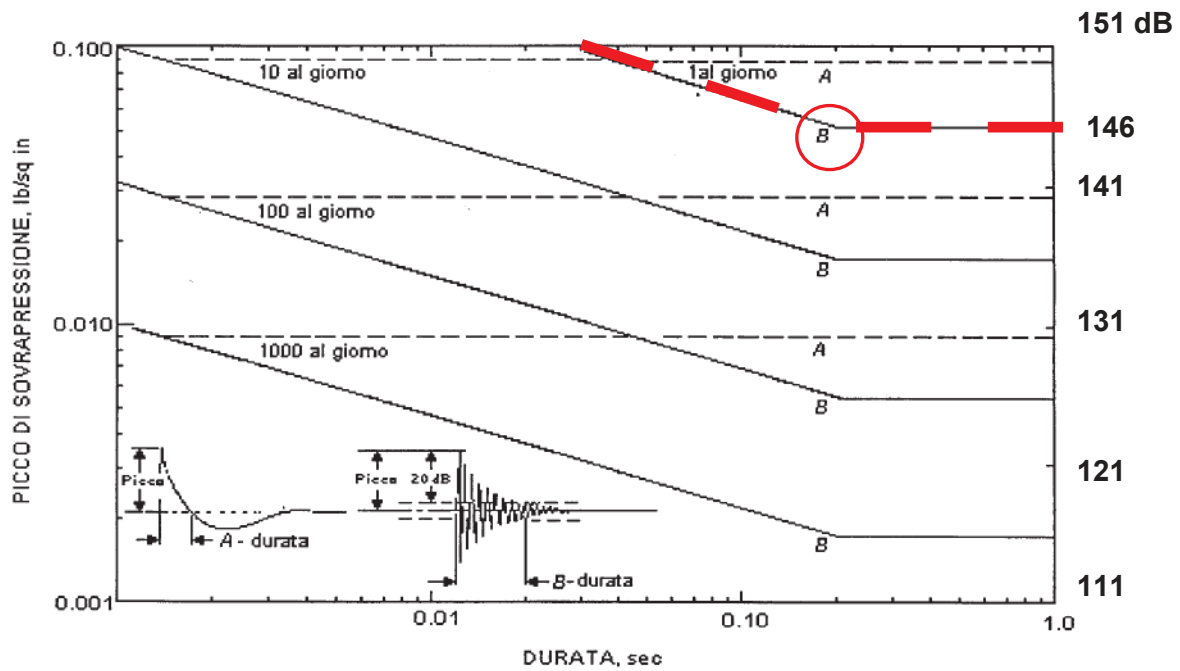


Figura 3.4.3.i. Valori di riferimento per la sopportabilità dell'onda di sovrappressione aerea stabiliti sperimentalmente dal CHBA: Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics, Washington D.C., USA [Siskind et Al., Structure response and ...1980].

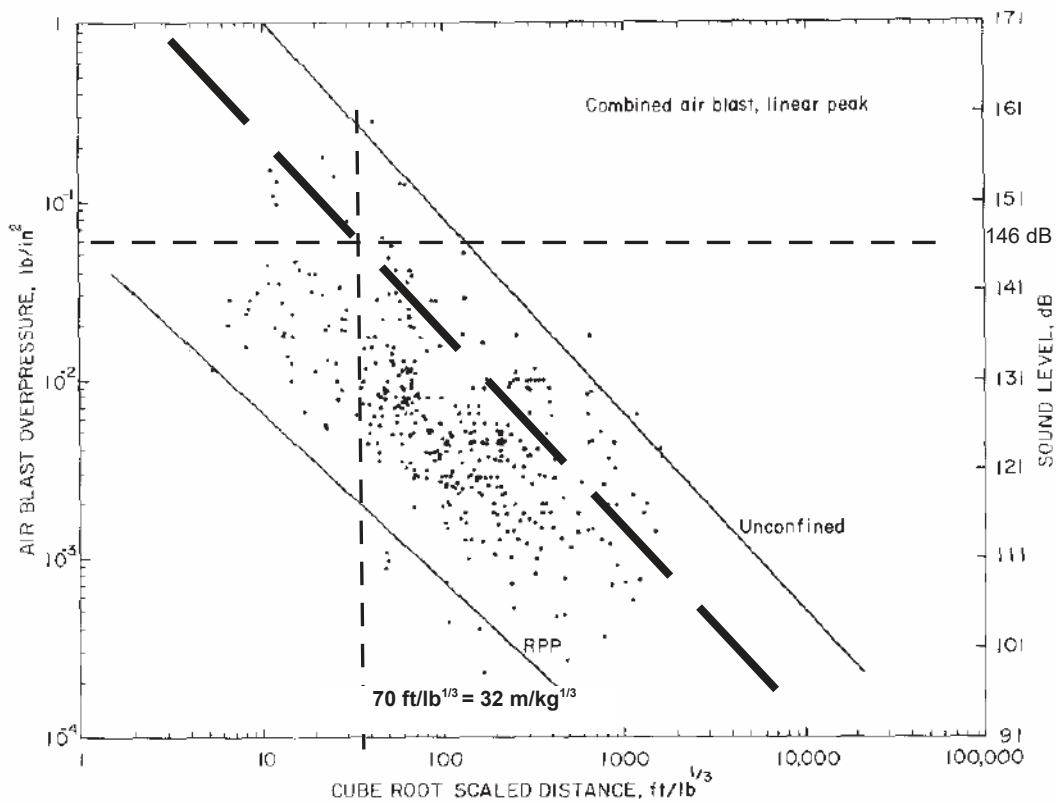


Figura 3.4.4.1.i. Legge di decadimento dell'onda di sovrappressione aerea al variare della distanza scalata sulla radice cubica della carica [Siskind et Al., Structure response and ...1980].

#### 4 CONTENUTI MINIMI DEL POS

- ORGANIZZAZIONE DELLA SICUREZZA
- REGOLAMENTAZIONE DELLE OPERAZIONI
- SPECIFICHE DI ESPLOSIVI ED INCENDIVI
- MEZZI D'ACCENSIONE ED ACCESSORI DA MINA
- PRESIDIO ANTINCENDIO ALTO RISCHIO
- PRESIDIO DI IGIENE E PRONTO SOCCORSO
- ACCESSORI SPECIALI
- DISTRUZIONE DEI MATERIALI ESPLOSIVI NON UTILIZZATI
- CONTROLLO CONFORMITÀ ATTREZZATURE
- TRASPORTO E SCARICO ESPLOSIVI NEL CANTIERE
- INTERDIZIONE AREA DI CANTIERE
- INTERDIZIONE AREA DI CANTIERE IN PRESENZA DI ESPLOSIVI
- PROCEDURE OPERATIVE E TEMPISTICA PER IL CARICAMENTO DELLE VOLATE
- AREE DI SGOMBERO PER CIASCUN IMPALCATO E PER CIASCUNA PILA
- SEGNALAZIONI ACUSTICHE DI BRILLAMENTO
- RISCONTRO REGOLARE ESECUZIONE DEL BRILLAMENTO
- INTERVENTO IN CASO DI COLPI MANCATI

## 5 MONITORAGGIO

### 5.1 Prospezione preliminare alla progettazione esecutiva

Un non elevato grado di approssimazione nella conoscenza dei parametri meccanici della struttura da demolire riduce la rappresentatività del modello di struttura e, conseguentemente, aumenta i margini d'errore nella previsione dei risultati del brillamento e del cinematismo di caduta.

È dunque indispensabile la preliminare definizione delle caratteristiche di resistenza per la quale sarà effettuata una campagna di monitoraggio mirata i cui contenuti minimi saranno:

1. sintesi dei dati tecnici relativi al manufatto;
2. indicazioni delle finalità del monitoraggio,
3. descrizione delle caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata,
4. indicazione delle impostazioni per garantire rappresentatività dell'evento fisico misurato (frequenza di campionamento, sensibilità, durata dell'evento, ecc.),
5. ubicazione punti di misura,
6. indicazione delle modalità di acquisizione (numero di ripetizioni, ecc.),
7. normativa di riferimento,
8. definizione degli schemi di reportistica,
9. indicazione delle analisi post – acquisizione (elaborazione statistica, trend, ecc.),
10. definizione dei contenuti del rapporto di monitoraggio,

per l'acquisizione di:

- PROSPEZIONI INTERNI ed ESTERNI di porzioni significative di struttura (mediante presa fotografica);
- STATO FESSURATIVO: posizione, lunghezza, forma ed apertura delle lesioni, trasposizione sui prospetti cartacei e/o fotografici (mediante rilievo organolettico);
- DIFETTI: ammaloramento del cls, ossidazione dei ferri, ecc. (mediante rilievo organolettico, apertura di finestre e tasselli, e riscontro con metodo "Sonreb" (ultrasuoni-sclerometro),
- CARATTERIZZAZIONE DINAMICA:
  - contesto sismico ambientale;
  - Frequenza di risonanza propria;

- velocità delle onde sismiche;
- modulo di elasticità dinamico, omogeneità di caratteristiche, resistenza a compressione dinamica;
- CARATTERIZZAZIONE STATICA:
  - peso volume;
  - resistenza a compressione uniassiale;
  - resistenza a trazione uniassiale (Brasiliana), modulo di elasticità e coeff. di Poisson;
  - stato tensionale in situ / stato di coazione.

## **5.2 Monitoraggio ambientale in fase d'abbattimento**

---

Per il riscontro strumentale delle condizioni di sicurezza a cui è stato attinto, saranno misurati gli effetti di cui manufatto e persone all'intorno avranno avuto risentimento per l'abbattimento. I contenuti minimi saranno:

- indicazioni delle finalità del monitoraggio,
- descrizione delle caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata,
- indicazione delle impostazioni per garantire rappresentatività dell'evento fisico misurato (frequenza di campionamento, sensibilità, durata dell'evento, ecc.),
- ubicazione punti di misura,
- indicazione delle modalità di acquisizione,
- eventuale normativa di riferimento,
- definizione degli schemi di reportistica,
- indicazione delle analisi post – acquisizione (elaborazione statistica, trend, ecc.),
- definizione dei contenuti del rapporto di monitoraggio,

per l'acquisizione di:

- VIBRAZIONI / ONDE ELASTICHE;
- FRAMMENTAZIONE PRIMARIA;
- ONDA DI SOVRAPPRESSIONE IN ARIA / RUMORE.

La sintesi del monitoraggio sarà essere riportata in un RAPPORTO DI MISURA provvisorio, mensile, sintetizzato a fine lavori in un RAPPORTO CONCLUSIVO.



# SERVIZI TARATURE E CALIBRAZIONI



NTX® srl è società certificata UNI EN ISO 9001:2008  
C.F. e P.IVA 03358890988  
C.C.I.A.A di Brescia – REA 544322  
Via Mantova, 59/C – 25017, Lonato del Garda (BS)  
Tel. +39 030 91 97 596 - Fax +39 030 91 99 124  
admin@ntx-int.com

## PEGASUS - NTX® Servizio di monitoraggio sismico - acustico continuativo con accesso da remoto tramite rete GSM o WIFI.



PEGASUS-NTX® è un servizio di monitoraggio sismico-acustico continuativo, in remoto tramite rete GSM, per controllo, riscontro ed analisi. Ciascuna stazione di monitoraggio sismico - acustico (cod. EQP.001.003.0002) è installata in un punto significativo della struttura da controllare, all'interno o all'esterno, con alimentazione da rete o da pannelli solari, ed è collegata con i server NTX via modem GSM. La stazione misura in continuo le onde sismiche (componente verticale, orizzontale e trasversale della velocità di vibrazione) e le onde di sovrappressione aerea (valore lineare di sovrappressione), registrando solo quegli eventi che superano i valori limite predefiniti (ad esempio  $>106$  dB e/o  $> 0,25$  mm/s).

Le registrazioni sono scaricate con cadenza opportuna e conservate presso i server NTX per il trattamento dei dati.

Se richiesto è possibile installare una scheda esterna di controllo in modo che questa invii messaggi di testo ad una lista di numeri di telefono, dando notizia, in tempo reale, del superamento del valore di soglia.

Con PEGASUS-NTX® è dunque possibile, a basso costo e con elevata affidabilità, il controllo remoto di:

- vibrazioni e onde di sovrappressione aerea prodotte da esplosioni, attività industriali o traffico;
- per verificare, da postazione remota, la reale entità dell'impatto indotto dalle vicine attività di cava, di scavo gallerie, di infissione pali o paratie, ecc., in strutture delicate da salvaguardare o, semplicemente, in manufatti residenziali o condomini che potrebbero essere disturbati da queste attività;
- per migliorare gli strumenti di indagine ed ottimizzare le fasi lavorative evitando adozione di fattori di sicurezza esagerati;
- per permettere l'ubicazione spaziale della sorgente sismica con la tecnica della triangolazione (tre stazioni necessarie);
- stabilità di versanti (scarpate in roccia o in terra a rischio o incombenti sull'abitato);
- per fornire un avviso di allarme via SMS ad una lista di distribuzione predefinita, in caso di inizio di registrazione di eventi.
- cinematismi negli ammassi ed eventi tellurici;
- per consentire, immediatamente dopo l'occorrenza dell'evento, la valutazione dei possibili effetti indotti su manufatti ed impianti, per l'efficace progettazione di eventuali interventi di risanamento mirati e correttamente dimensionati.



# SERVIZI TARATURE E CALIBRAZIONI

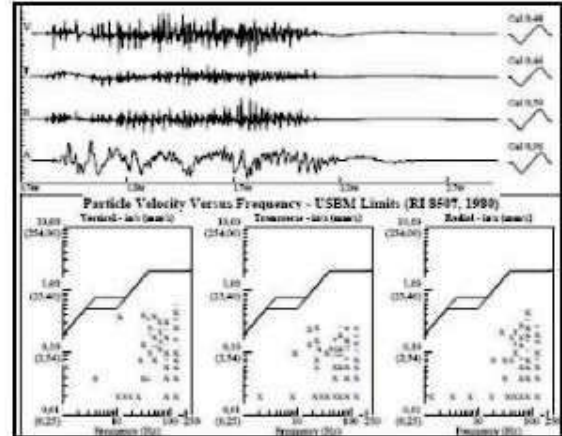


NTX® srl è società certificata UNI EN ISO 9001:2008  
 C.F. e P.IVA 03358890988  
 C.C.I.A.A di Brescia - REA 544322  
 Via Mantova, 59/C - 25017, Lonato del Garda (BS)  
 Tel. +39 030 91 97 596 - Fax +39 030 91 99 124  
 admin@ntx-int.com

Gli eventi registrati dai vari punti di misura sono trasmessi al server NTX via rete GSM o Wifi..



... quindi registrati, analizzati ed elaborati dai tecnici NTX ...



... riportati in una relazione, inviati in forma cartacea con data certa e per e-mail in formato .pdf e quindi archiviate in una cartella dedicata nel server NTX.



NTX® - Ing. Roberto Baccanini via S. Maria

Via Mantova, 59/C  
 25017, Lonato del Garda (BS)  
 Tel. +39 030 91 97 596  
 Fax +39 030 91 99 124

Il presente Rapporto è del tutto personale ed è riservato al solo cliente. È vietata la ristampa o l'uso non autorizzato.

DATA: \_\_\_\_\_

RAFFORTO DI MONITORAGGIO

DATA: \_\_\_\_\_

INDICAZIONE: \_\_\_\_\_

INDICAZIONE: \_\_\_\_\_

INDICAZIONE: \_\_\_\_\_



## 6 Contesto legislativo e normativo

### 6.1 Legislazione sulla sicurezza pubblica e lotta al terrorismo

- R.D. 18/6/31 n. 773 Testo Unico delle leggi di Pubblica Sicurezza" (T.U.L.P.S.)
- R.D. 6.5.40, n. 635: Regolamento per l'esecuzione del Testo Unico 18/06/31 n. 773 delle leggi di Pubblica Sicurezza.
- D. M. Industria 1.7.97: Norme per il rilascio dell'idoneità di prodotti esplosivi ed accessori di tiro all'impiego estrattivo, ai sensi dell'art. 687 del D.P.R. 128/59.
- D. M. Interno 15.8.05: Speciali limiti all'importazione, commercializzazione, trasporto e impiego di detonatori ad accensione elettrica a bassa e media intensità nonché all'impiego e al trasporto degli altri esplosivi di 2a e 3a categoria, ai sensi dell'articolo 8, comma 1, del D.L. 27.7.05, n. 144, convertito, con modificazioni, dalla legge 31.7.05, n. 155. (sostituito dal DM 2008-04).

### 6.2 Legislazione sulla prevenzione degli infortuni

- D.P.R. 19/03/1956 n. 302: Prevenzione infortuni nella produzione e nell'impiego degli esplosivi.
- DPR 20/03/1956 n. 320: Prevenzione degli infortuni ed igiene dei lavori in sotterraneo.
- DPR 09/04/1959 n. 128: Norme di Polizia Mineraria.

### 6.3 Normativa

- UNI 9614 del 1990: Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo.
- UNI 9916 del 2004: Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.
- DIN 4150-1 del 201: Erschütterungen im Bauwesen - Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen (Le vibrazioni nelle costruzioni: acquisizione grandezze fisiche correlate ad oscillazioni).
- DIN 4150-2 del 1992: Erschütterungen im Bauwesen - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden ( ...: effetto sulle persone).
- DIN 4150-2 del 20085: Erschütterungen im Bauwesen - Teil 3: einwirkungen im bauliche Anlagen ( ...: effetti sui manufatti).

  
Roberto Folchi  
Ordine degli ingegneri - Brescia  
Cod. identif. BS04162 | 00638  
Albo Geologi Lombardia  
Sez. A Geol. Specialista n. 1748 AP  


## Research Article

# Full-Scale Tests for Assessing Blasting-Induced Vibration and Noise

Chung-Won Lee,<sup>1</sup> Jiseong Kim,<sup>2</sup> and Gi-Chun Kang <sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Civil Defense and Disaster Management Training Institute, Ministry of the Interior and Safety, 269 Taejosan-gil, Dongnam-gu, Cheonan, Chungcheongnam-do 31068, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Cadastre & Civil Engineering, Vision College of Jeonju, 235 Cheonjam-ro, Wansan-gu, Jeonju, Jeollabuk-do 55069, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Civil Engineering, Engineering Research Institute, Gyeongsang National University, 501 Jinjudaero, Jinju, Gyeongsangnam-do 52828, Republic of Korea

Correspondence should be addressed to Gi-Chun Kang; gkang@gnu.ac.kr

Received 8 December 2017; Revised 7 April 2018; Accepted 26 May 2018; Published 28 June 2018

Academic Editor: Longjun Dong

Copyright © 2018 Chung-Won Lee et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Vibration and noise problems caused by a number of construction processes, specifically blasting for infrastructure development, are becoming important because of their civil appeal. In this study, a square root equation (SRE) with a 95% confidence level was proposed for predicting blasting-induced vibration through full-scale test blasting, and the vibration value predicted from this equation was located between the values predicted from the USBM (US Department of Interior, Bureau of Mines), NOF (Nippon Oil & Fats Co., Ltd.), and MCT (Ministry of Construction and Transportation) equations. Additionally, by comparing the measured noise level at full-scale test blasting with the calculated noise levels from several noise prediction equations, it was determined that the noise level predicted by the ONECRC equation had the best agreement with the measured results. However, in cases where blasting includes tunnel excavation, simultaneous measurement of vibration and noise is required to prevent damage to the surrounding facilities.

## 1. Introduction

Generally, in developing and developed countries, the expansion of national infrastructure and the number of highways, railways, subways, ports, and residential land development and redevelopment are increasing. Such construction requires underground excavation through rock cutting and breakage, underground drilling and piling, and ground compaction, and thus environmental damage caused by the inevitable vibration, noise, and dust also increases continuously. Recently, it has become one of the main causes of environmentally related social conflicts [1]. Along with noise, vibrations due to blasting are considered to be a major environmental damage factor, and they have significant meaning in terms of construction's disaster prevention.

The magnitude of the vibration varies depending on the type and characteristics of the explosive, the amount of charges, the method of explosion, the state of tamping or

density of loading, the size of the free surface, the distance between the explosives and the measuring point, the geological condition, and other factors. The maximum charge per delay ignition over regularly spaced intervals due to the usage of a delay detonator and the distance from the explosives are the factors affecting the propagation characteristics of the vibration. When the relationship between the true maximum vector sum and the scaled distance from the detection data of vibration is represented on the full logarithmic scale, and the linear regression is based on the method of least squares, it is possible to derive a linear correlation that reflects the propagation characteristics of the vibration. This is the common practice for presenting blast-induced vibration.

Many researchers have made great efforts to theoretically understand the propagation characteristics of such vibrations [2–16]. Based on the dimensional analysis of variables related to the blasting phenomenon, they presented that the vibration velocity of the ground, which is a measure of the damage

of the surface structure, can be represented in an empirical relationship by using the maximum charge per delay and the distance from the explosives as parameters. By including their studies and the empirical research result, the relationship can be expressed as (1) with the maximum charge per delay and the distance from the explosives as the main variables. On the other hand, in Japan, it is expressed in the form of (2), called the location characteristic conversion formula.

$$V = K \left( \frac{D}{W^b} \right)^n \quad (1)$$

$$V = KW^m D^n \quad (2)$$

Here,  $V$  is the vibration velocity of the ground (particle velocity, cm/sec),  $D$  is the distance from the blasting source to the point of measurement (m), and  $W$  is the amount of charge per delay (kg/delay). Additionally,  $K$ ,  $n$ , and  $m$  are constants that depend on the rock condition of geological features and the blasting condition, and  $1/2$  or  $1/3$  is used for  $b$ . In (1),  $D/W^b$  is Scaled Distance (SD), and if  $b$  is  $1/2$  then it is called Square Root Scaled Distance (SRSD) [17]; if  $b$  is  $1/3$ , it is called Cube Root Scaled Distance (CRSD) [8, 18]. It is known that the equations using these scaled distances are linear on the log-log paper, and it is appropriate to use the cubic root equation for short distances and the square root equation for long distances [19]. This study analyzes the size of cataclastic rock according to the type of Stage Advance V-Cut by performing the full-scale test blasting. Then, based on the result of the vibration measurement, this study compares the blasting vibration estimation with the existing blasting vibration equations in order to examine its applicability.

Blasting noise, a major construction pollution factor along with vibration, can be caused by air pressure waves generated from self-deformation accompanied by the destruction of rocks or structures and pressure waves due to ground vibrations, but it is mainly caused by air pressure waves. The methods of expressing blasting noise include sound pressure (Pa) and sound pressure level (dB). Since the sound pressure is too wide and not proportional to the human body's sensitivity, the sound pressure level, which is expressed in an index scale, is widely used. The method of obtaining the sound pressure level from the sound pressure is shown in the following [20]:

$$SPL = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (3)$$

Here, the  $SPL$  means the sound pressure level (dB),  $P$  is the sound pressure (wind pressure, Pa), and  $P_0$  is the reference sound pressure ( $2 \times 10^{-5}$  Pa), and it is the lowest sound pressure that a person can recognize. The degree of attenuation according to the distance of noise depends on the type and form of the noise source. In a typical construction machine, it can be assumed that the noise source is in the form of a point at a distance of several meters. If the noise source is assumed to be a point source of sound, the degree of attenuation according to the distance of the noise is given by the following [21]:

$$SPL = SPL_0 - 20 \log \frac{r}{r_0} \quad (4)$$

Here, the  $SPL$  is the noise prediction level (dB (A)) according to the separation distance, and  $SPL_0$  is the synthesized noise level (dB (A)) for work classification,  $r$  is the distance (m) from the sound source to the predicted point, and  $r_0$  is the distance (m) from the sound source to the base point, in which 15m is applied [21]. Since the human ear is insensitive to low frequencies—even if the pressure is constant regardless of frequency—the noise should be measured using a filter that is appropriately calibrated according to the human perception of the frequency. For most environmental noises, a decibel A filter is used and the measured sound pressure level using the A filter in the field is expressed in dB (A).

The blasting noise includes (as mentioned above) the distance from the blasting source, and it is influenced by the charge per delay, the tamping length, the quality of the rock, the availability of the blasting mat, and moreover the weather conditions such as the topography and temperature of the blasting site and air pressure. Wind velocity and wind direction can also be major factors. Therefore, even if the noise prediction equation is derived through test blasting, the credibility of the equation is very low, which makes it difficult to predict the noise. This study compared the noise levels obtained from the measurements with the data of the existing noise prediction equations [20, 22–25] and thus studied the applicability of the predictive equations.

Namely, in this study, despite the location restriction, full-scale test blasting in Korea was performed to analyze the particle size of crushed rocks with the type of blasting. In addition, this study proposed a blasting-induced vibration equation based on the result of vibration measurements and compared this with the existing equations to examine its applicability. Also, the applicability of the noise prediction equations is examined by comparing the noise value obtained from the blasting measurements with the noise values obtained from the existing noise prediction equations. The results of this study will contribute to the optimal blast design of Korea.

## 2. Full-Scale Blasting Tests

The blasting design is usually performed based on the following three methods.

- (i) Methods based on empirical data such as existing design data and design factors of similar cases
- (ii) Methods using a vibration formula derived from borehole test blasting using a geotechnical borehole
- (iii) Methods using full-scale test blasting in the field bedrock or adjacent to the designed area to derive the vibration formula

When using existing empirical data, it is not possible to reflect the characteristics of the field bedrock, and there is no specific criterion among the data. As a result, the confidence of the design is very low. Therefore, it is desirable to determine the applicability after mutual analysis and review with the results of the test blasting performed on the field bedrock or adjacent area.

After installing the explosives at several points where the rocks appear in the borehole and installing a measuring



instrument a certain distance from the borehole, the borehole test blasting is carried out. The borehole test blasting measures the elastic wave propagating the rock. This data can be used as basic data for examining the sphere of influence from blasting in actual construction and the optimal design. However, since the vibration measurement results from this method are about the degree of measuring the size of the waves generated by blasting with a small amount of explosives, not about the vibration quantity generated when the force of the explosives break rock mass like actual blasting, there is a significant difference from the characteristic of vibration measured during actual blasting. Therefore, empirically, it is difficult to apply the design because the result of borehole test blasting is mostly conservative.

Finally, the full-scale test blasting is a method of testing the blasting pattern of the form to be applied in future blasting with the same pattern in the field bedrock or similar rock, which makes it the optimal pre-design test method. The full-scale test blasting has two experimental methods: large-scale blasting in a tunnel room and large-scale blasting in an open-room. The large-scale blasting in a tunnel room is a more practical method than any other test blasting since it blasts with a blasting pattern in accordance with the planned design at the tunnel site with the same rock quality as the designed area. However, this method has the following problems.

(i) It is very difficult to obtain an optimal site for test blasting. Even if it is obtained, it is practically impossible to apply a blasting pattern according to the task schedule.

(ii) Tunnel blasting differs from open blasting because it is difficult to divide the blastings. Therefore, it is necessary to perform blasting several times to obtain data for the design, which is almost impossible. Even if it is possible to perform it, it should be performed for a long time considering the time required for the work process of the site where the test blasting is performed.

(iii) When blasting, 5 to 10 measuring instruments are installed. In this case, the installation position should be a place where vibration measurement can be properly performed, and the work space to install this many instruments must be provided. However, most of the tunnels are in mountainous areas, and it is not easy to meet these conditions. If the measurement position is poor, the credibility of data for the design application also decreases.

On the other hand, for open-air blasting, the blasting pattern which will be performed in open-air can be carried out in full scale by reducing the Stage Advance V-Cut for the creation of free-side surface and tunnel blasting. It is possible to obtain all the elements necessary for the design since the location of the measuring device can be selected and performed freely within the blasting location. However, it is impossible to analyze the excavation boundary line, the excavation field, the scattering distance of the crushing rock, and the particle size analysis of the crushing rock as in an actual tunnel. It is also impossible to analyze the overbreak of the excavation boundary line as in an actual tunnel, the advance, the scattering distance, and the particle size of

the cataclastic rock. Alternately, since the vibration quantity generated during the blasting, which is the most important factor for blasting design, can be measured accurately in field bedrock or the same rock type, it can be applied in the design by deriving a highly reliable lasting vibration estimation equation for the relevant rock. Therefore, in this study, open-air blasting is performed to derive the blast vibration estimation equation.

*2.1. Prediction of Blasting-Induced Vibration.* As described in Section 1, the equation for estimating the blasting vibration has been proposed by a number of researchers so far. A typical example of this is the analysis of the results of blasting vibration on the quarry for around 10 years in USM by the US Department of Interior (Bureau of Mines), which is presented in the following [26]:

$$V = 160 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.6} \quad (5)$$

In addition, the Japanese gunpowder manufacturer Nippon Oil (currently NOF Corporation) proposes (6) for tunnel blasting [27].

$$V = 80W^{0.75}D^{-1.5} = 80 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.5} \quad (6)$$

In Korea, also, the blast vibration estimation equation is proposed to aid in selecting the blasting method appropriate to the vibration standard and the separation distance of the security facility as well as the appropriate blasting technique. For this, (1) where  $K = 160$ ,  $n = -1.6$ , which is based on the above-mentioned US Bureau of Mining with a confidence of 75% [28], is used. In December 2006, in order to improve the credibility of the reflection of the characteristics of the ground medium in Korea, the "Guidelines for the Design and Construction of Open Blast" published (7) with an 84% credibility using  $K = 200$ ,  $n = -1.6$  [29].

$$V = 200 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.6} \quad (7)$$

*2.2. Prediction of Blasting-Induced Noise.* Noises refer to an undesirable sound in terms of the human senses with the frequency of the audible range (20 to 20,000 Hz) among the sound waves due to the vibration of the air. In general, the undesired sound is defined as noise. Whether or not the sound is desired is often based on subjective human judgment, and it is impossible to accurately define it as a physical quantitative objective. However, in general, noise is considered to be a particularly loud sound, an unpleasant sound or an impact sound, a sound that interferes with listening to music or other voices, a sound that interferes with one's concentration or work, and thus a sound caused by blasting can be classified as noise. The unit is dB (A), and when the frequency magnitude changes, the sensory size of the sound pressure level varies with the human body, so the value is corrected based on the sensory sensitivity curve which is based on the center frequency of 1,000Hz

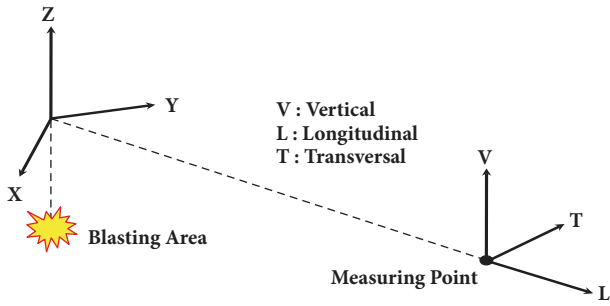


FIGURE 1: Schematic diagram on directions of blasting-induced vibration.

[30]. Siskind et al. [20] is shown in (8) as a noise prediction equation.

$$dB(A) = 20 \log \left( \frac{P}{P_0} \right), \quad P = 82 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.2} \quad (8)$$

Here,  $P_0$  is the reference sound pressure ( $2 \times 10^{-5}$  Pa),  $W$  is the maximum charge per kg (kg/delay), and  $D$  is the distance from the source (m). ONECRC [23] proposed (9) as a noise prediction equation.

$$dB(A) = -16.02 \log \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right) + 97.46 \quad (9)$$

Here,  $W$  is the maximum charge per delay (kg/delay), and  $D$  is the distance from the source (m). IOERSNU [24] presented the following equation as a noise prediction equation:

$$dB(A) = -14.05 \log \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right) + 97.46 \quad (10)$$

where  $W$  is the maximum charge per delay (kg/delay) and  $D$  is the distance from the source (m). Yang and Kim [22] proposed a noise prediction equation shown in the following:

$$dB(A) = -14.0 \log \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right) + 88.1 \quad (11)$$

Crocker [25] presented (12) as a predictive equation for the reduction of blasting noise caused by semispherical wave attenuation.

$$dB(A) = 120 - SPL \quad (12)$$

Here,  $SPL = 20 \log r - 8$  and  $r$  is the distance (m) from the source to the predicted point.

**2.3. Specifications to Measure Blasting Vibrations and Noise.** The instrument used for measuring vibrations and noise during test blasting is one BlastMate II, one BlastMate III, and three Minate 077 from the company Instantel in Canada and one SSU2000DK and one NOMIS NS 5400 from the company Geosonics in the US. These devices can measure ground vibrations as a dedicated device for blasting vibration and noise generated by blasting. The basic equipment configuration is shown in Figure 1 and is composed of a three-axis



(a) Portable seismic



(b) Microseismographs

FIGURE 2: Shape of Geosonics SSU2000DK.

transducer to detect ground vibrations in three directions: the vertical direction, longitudinal direction, and transversal direction of the vibration source proceeding from the width source, a sound level meter for sensing the blasting wind pressure transmitted to the air  $A$ , and a monitor for controlling and recording the measurement. For each vibration occurrence, the maximum particle velocity, the maximum particle displacement, the maximum particle acceleration, the frequency at the maximum velocity, the maximum vector sum rate, and the noise information for three directional components are produced and shown. Figures 2 and 3 represent Geosonics SSU2000DK and Blastmate Series, respectively.

**2.4. Performing Full-Scale Blasting Test.** The key problem with using equations for estimating the blasting-induced vibration and noise proposed in Sections 2.1 and 2.2 is that they are not site-specific. Hence, in this study, the full-scale test blasting was conducted. For this test, the rocks were composed of dacite, and an electric detonator (MS detonator) and a New Emulite 150 (160 g/ea  $\times$  32 mm diameter  $\times$  width 200 mm) for explosives were used. The test blasting was carried out five times: V-cut full-scale blasting, cylinder-cut full-scale blasting, cylinder Stage Advance V-Cut blasting, cylinder Stage Advance V-Cut blasting, and Stage Advance V-Cut. Herein, the diameter of the empty hole at the time of the cylinder blasting was 102 mm. The conditions and patterns of





FIGURE 3: Shape of Blastmate series.

TABLE 1: Conditions of each test blasting.

Test Number	#1	#2	#3	#4	#5
Blasting method	V-cut (Real scale)	Cylinder-cut (Real scale)	Cylinder-cut	Cylinder-cut	V-cut
Blasthole					
Diameter	45 mm	45 mm	45 mm	45 mm	45 mm
Length	2200 mm	2200 mm	2200 mm	2200 mm	2200 mm
Explosive	Emulsion	Emulsion	Emulsion	Emulsion	Emulsion
Number of blasthole	32	36	14	14	16
Total charge	30.76 kg	34.56 kg	11.52 kg	15.36 kg	15.36 kg

the test blasting for each test are shown in Table 1 and Figures 4–7. The drilling operation condition and blasting operation preparation conditions are shown in Figures 8 and 9.

### 3. Results of Test Blasting

**3.1. Particle Size Analysis of Blasted Rocks by Type of Cylinder-Cut Blasting.** Cylinder-cut (Test # 4) and V-cut (Test # 5) blastings were performed to confirm the blasting rock condition. As a result, the particle diameter of the crushed rocks was 40~50cm in the case of the cylinder blasting and 30~60cm in the case of the V-cut blasting (Figure 10). WipFrag, a digital particle size analysis program, was used to analyze the particle size of the crushed rocks. WipFrag analyzes the particle size of blasted or crushed rocks by inputting images or photographs. The results of the image processing by this program, the resulting crushed particle size distribution curve, and the crushed particle size cumulative curve obtained by cylinder blast blasting (average particle diameter 8.8 cm) and V-cut blasting (average particle diameter 10.5cm) did not show any significant differences. The digging lengths of Test #4 and Test #5 are 2.2m. Generally, the cut blast design is determined with the digging length. If the digging lengths match, the size of the crushed rocks seems to be similar as well. The image processing results of the crushed rocks for Test #4 and Test #5 and the crushing particle size distribution curve and the crushing particle size accumulation curve are shown in Figures 11 and 12, respectively.

**3.2. Results of Vibration Measurements.** Table 2 shows the results of the vibration measurements at the actual scale test blasting. It is typical to select the most adequate equation after calculating each constant through regression analysis from the measurement data which shows the propagation characteristics of blasting vibration. Therefore, for the vector sum of the three components of the blasting vibration, which are the vertical direction (*V*, Vertical), direction of progress (*L*, Longitudinal), and direction of tangent (*T*, Transversal), this study deduced an equation which shows a level of vibration of 50% (Confidence level 50%) and an equation which includes 95% of the data (Confidence level 95%) by using the square root scale distance and cube root scale distance methods. Thus, from this, the blast vibration estimation equation was determined to be the most suitable equation. The linear regression results and the derived coefficients for the SRSD and CRSD are shown in Figure 13 and Table 3.

**3.3. Determination of Vibration Estimation Equation for the Blasting Design.** The charge per delay based on the square root equation (SRE) and cube root Equation with 50% and 95% confidence levels gained from the full-scale test blasting was calculated for the following cases where the standard of vibration management was 0.2 cm/sec, 0.3 cm/sec, and 0.5 cm/sec. The results of the calculations are shown in Table 4, and the resulting graph is shown in Figure 14. The graph shows that when the confidence level is 50% and the vibration control standards are 0.2 cm/sec, 0.3 cm/sec, and 0.5 cm/sec, the SRE produces a safety level of 55 m, 45 m, and 30 m

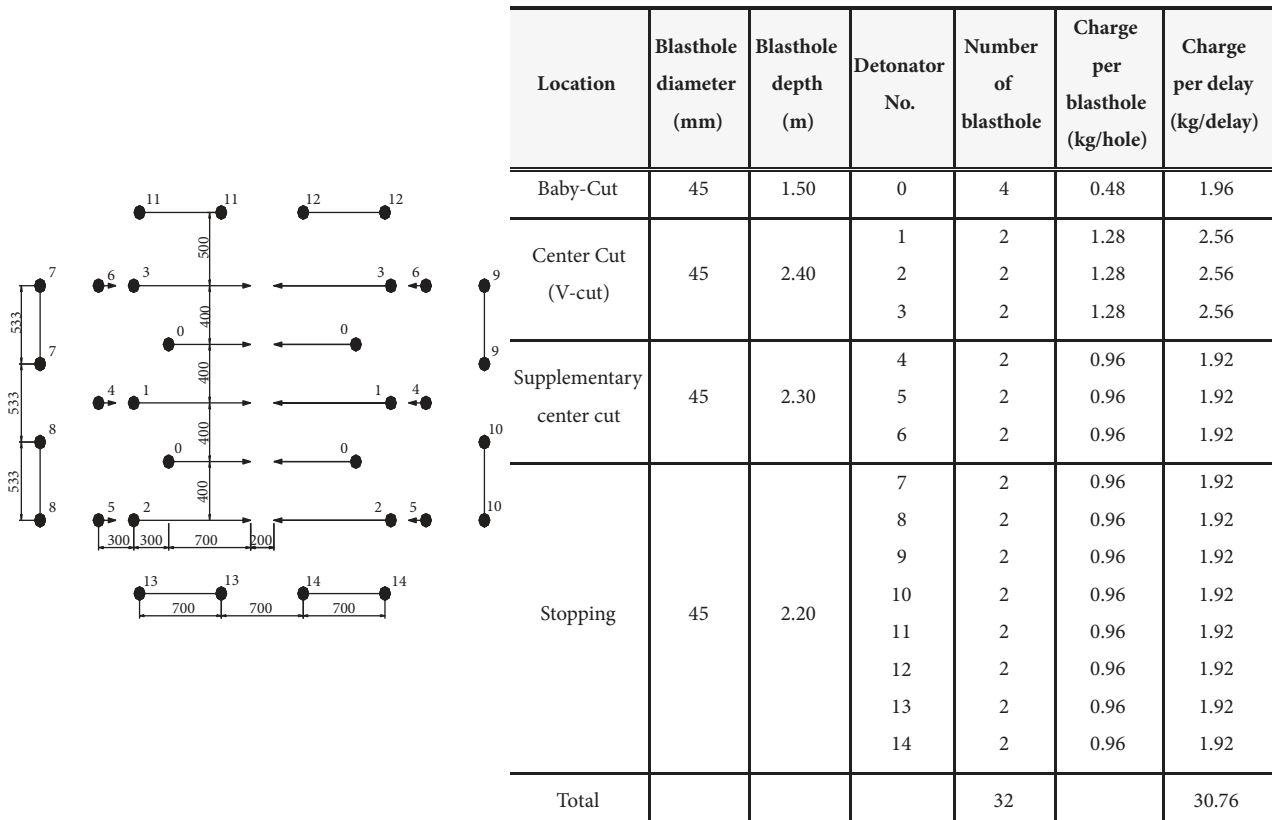


FIGURE 4: Blasting pattern (V-cut, real scale) (Test #1).

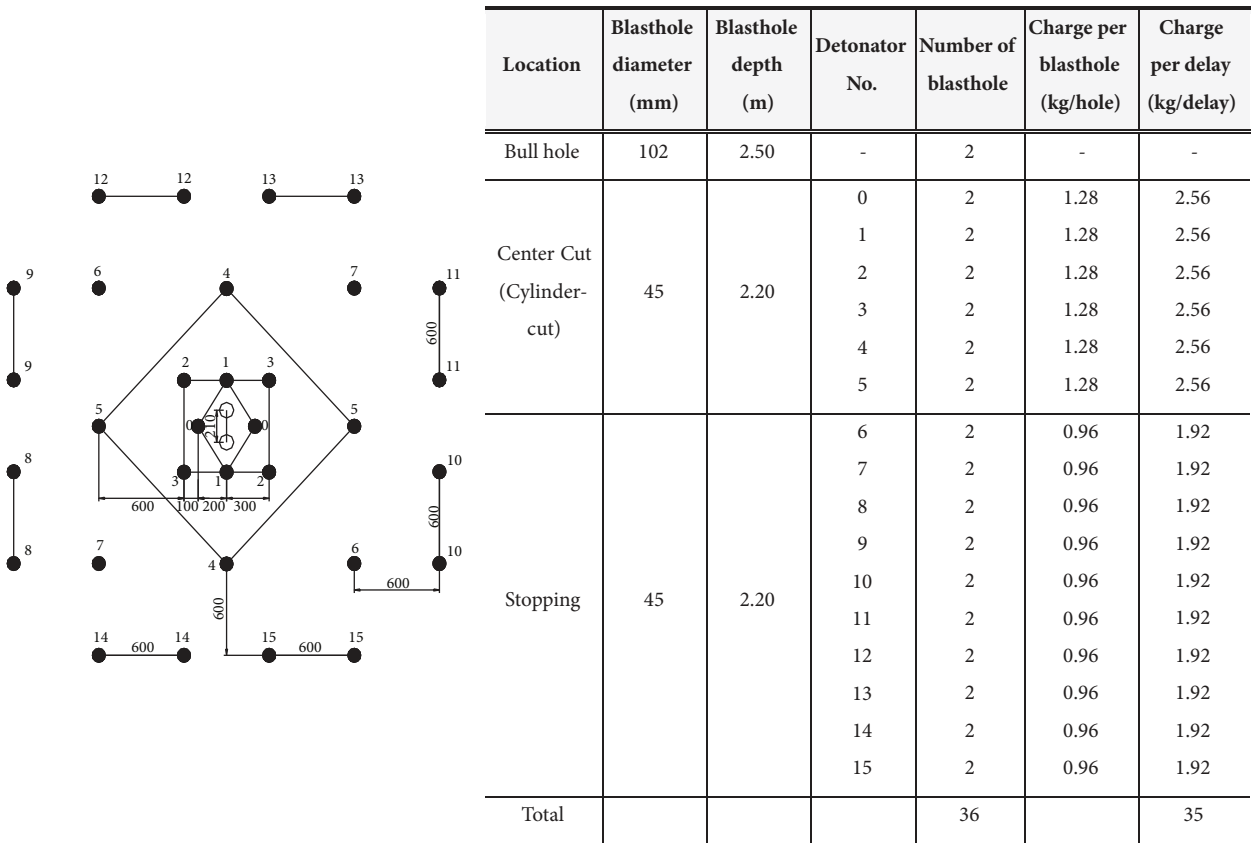
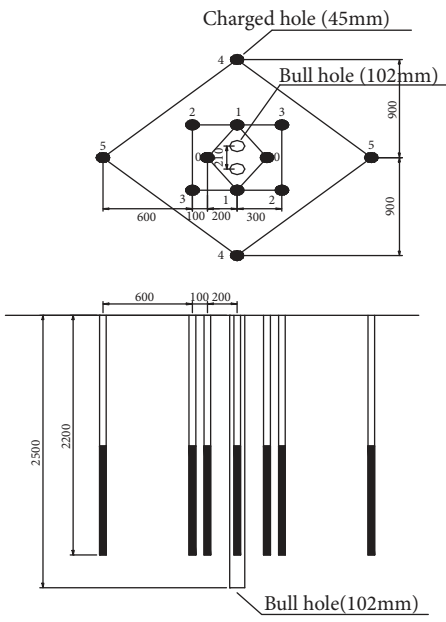
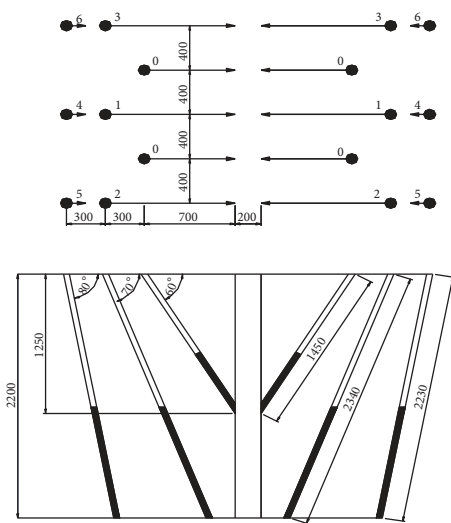


FIGURE 5: Blasting pattern (cylinder-cut, real scale) (Test #2).



Location	Blasthole diameter (mm)	Blasthole depth (m)	Detonator No.	Number of blasthole	Charge per blasthole (kg/hole)		Charge per delay (kg/delay)	
					#3	#4	#3	#4
Bull hole	105	2.50	-	2	-	-	-	-
Center Cut (Cylinder-cut)	45	2.20	0	2	0.96	1.28	1.92	2.56
			1	2	0.96	1.28	1.92	2.56
			2	2	0.96	1.28	1.92	2.56
			3	2	0.96	1.28	1.92	2.56
			4	2	0.96	1.28	1.92	2.56
5	2	0.96	1.28	1.92	2.56			
Total				14			11.52	15.36

FIGURE 6: Blasting pattern (cylinder-cut) (Test #3, #4).



Location	Blasthole diameter (mm)	Blasthole depth (m)	Detonator No.	Number of blasthole	Charge per blasthole (kg/hole)	Charge per delay (kg/delay)
Baby-Cut	45	1.50	0	4	0.48	1.92
Center Cut (V-cut)	45	2.40	1	2	1.28	2.56
			2	2	1.28	2.56
			3	2	1.28	2.56
Supplementary center cut	45	2.30	4	2	0.96	1.92
			5	2	0.96	1.92
			6	2	0.96	1.92
Total				16		15.36

FIGURE 7: Blasting pattern (V-cut) (Test #5).

compared to the CRE. When the confidence level is 95%, it produces a safety level of 105 m, 80 m, and 60 m compared to the CRE. In other words, a safety level was produced at a comparatively long distance when the SRE's confidence level was 50% and 95%. Based on the results, this paper's researchers decided to use the blasting vibration estimation with a 95% confidence level.

This study evaluates the applicability by comparing the proposed equation for estimating other blasting vibrations and the SRE with a 95% confidence level, which is determined as the blasting vibration estimation. For comparison, this study used the estimation equations from the US Department

of the Interior, Bureau of Mines (USBM) [26]; the NOF Corporation [27]; and the MCT (Ministry of Construction and Transportation) of Korea [29]. These equations are used for the blast design when test blasting is not conducted. In order to compare these equations under the same conditions, this study's researchers set the maximum charge per delay at 1.0 kg to compare the vibration velocity of the ground (particle velocity, cm/sec) according to the scaled distance of the blasting vibration estimation (SD, Scaled Distance), which is shown in Figure 15. Here, the scaled distance becomes equal to the actual distance. Compared to the actual scale blasting results, the blast vibration estimation according





FIGURE 8: Performing blasthole-drilling.

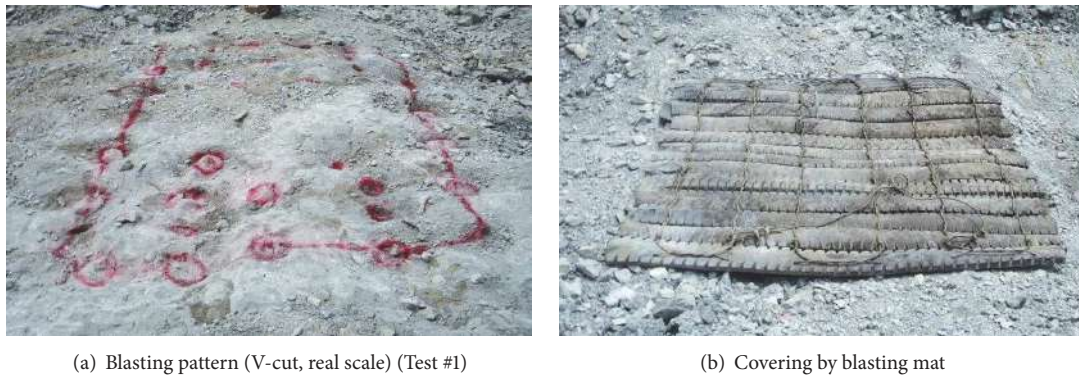


FIGURE 9: Preparation of blasting.

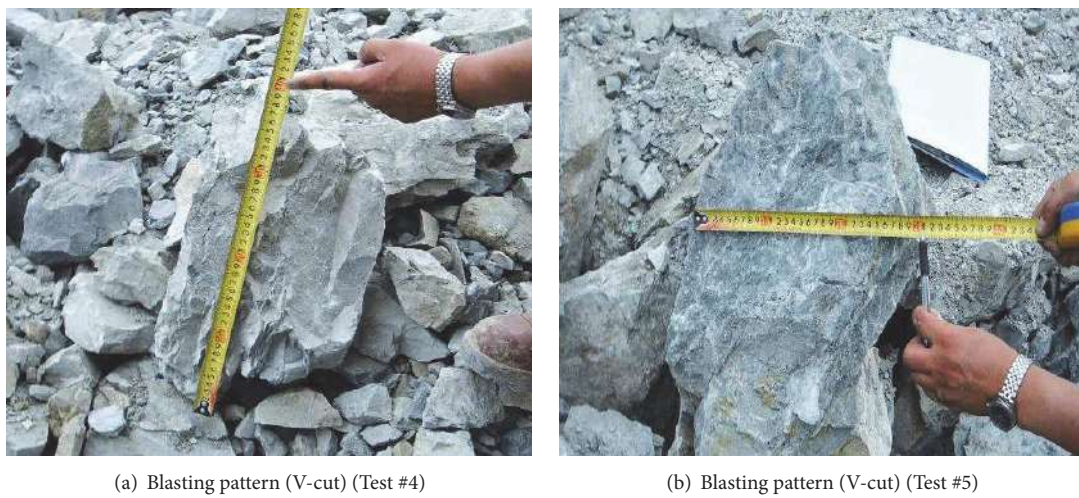
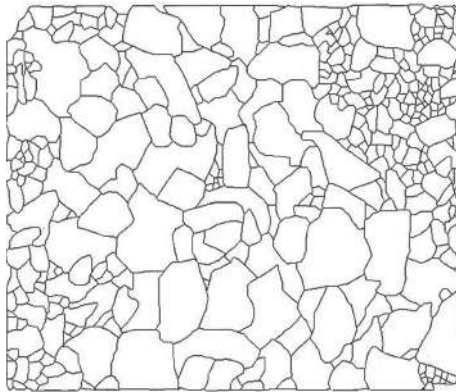
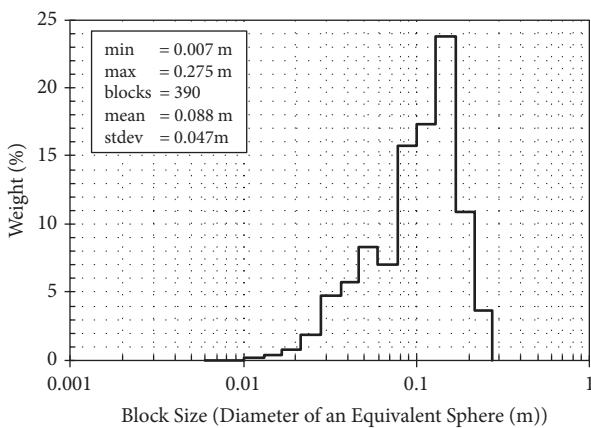


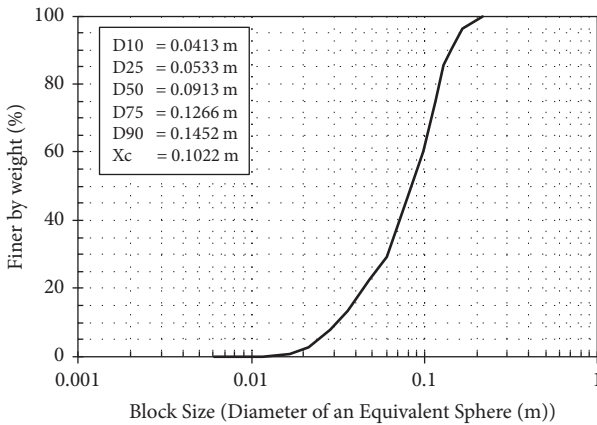
FIGURE 10: Shape of blasted rock with blasting method.



(a) Image-processed result

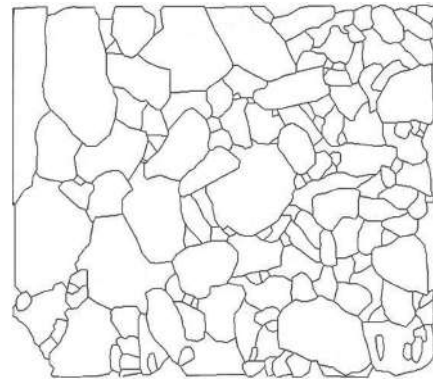


(b) Particle size histogram

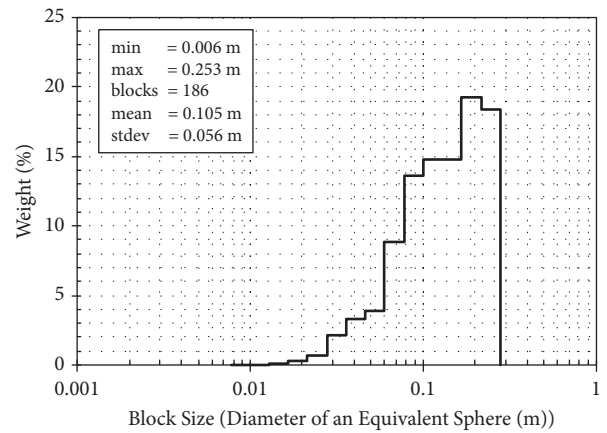


(c) Particle size distribution curve

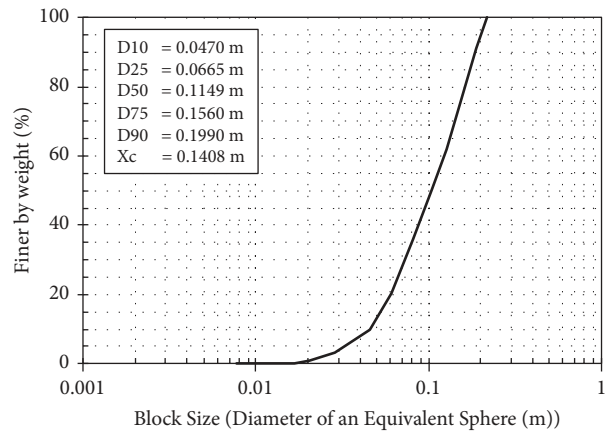
FIGURE 11: Particle size histogram and particle size distribution curve of blasted rock (WipFrag). (cylinder-cut, Test #4; Min. 0.7cm, Max. 27.5cm, Ave. 8.8cm).



(a) Image-processed result



(b) Particle size histogram



(c) Particle size distribution curve

FIGURE 12: Particle size histogram and particle size distribution curve of blasted rock (WipFrag). (V-cut, Test #5; Min. 0.6cm, Max. 25.3cm, Ave. 10.5cm).

to the distance is the most conservative in the case of the MCT of Korea, and the actual scale blasting results show a middle tendency between the Japanese full-scale blast (NOF) and the US full-scale blast (USBM). Hence, a prediction equation for blasting-induced vibration should be developed based

on full-scale blasting tests in the field for the optimal blast design.

The proposed equation in this study was induced through the full-scale blasting test for field bedrock composed of dacite. Hence, this equation has the advantage and can more accurately predict blast-induced vibration than the current



TABLE 2: Measured results of blasting-induced vibration.

Blasting pattern	Test No.	Measuring location	Max. Charge weight (kg)	Trans. (cm/sec)	Vert. (cm/sec)	Long. (cm/sec)	PVS (cm/sec)	Distance (m)
V-cut (Real scale)	1	NO. 1	2.56	1.03	0.978	0.876	1.22	17
		NO. 2		0.762	0.356	0.381	0.787	23
		NO. 3		0.622	0.711	0.495	0.887	30
		NO. 4		0.292	0.267	0.140	0.346	44
		NO. 5		0.445	0.222	0.235	0.498	38
		NO. 6		0.45	0.20	0.40	0.53	50
		NO. 7		0.20	0.14	0.20	0.27	58
Cylinder-cut (Real scale)	2	NO. 1	2.56	0.584	0.432	0.660	0.775	23
		NO. 2		0.203	0.190	0.165	0.236	29
		NO. 3		0.324	0.254	0.330	0.410	36
		NO. 4		0.184	0.152	0.146	0.205	44
		NO. 5		0.184	0.114	0.0953	0.216	50
		NO. 6		0.25	0.05	0.30	0.33	56
		NO. 7		0.08	0.07	0.08	0.13	64
Cylinder-cut	3	NO. 1	1.92	0.127	0.762	0.241	0.257	38
		NO. 2		0.152	0.0508	0.0762	0.161	42
		NO. 3		0.146	0.0826	0.0826	0.151	47
		NO. 4		0.159	0.0572	0.0762	0.173	53
		NO. 5		-	-	-	N/A	-
		NO. 6		0.05	0.05	0.05	0.10	63
		NO. 7		0.06	0.07	0.06	0.10	71
Cylinder-cut	4	NO. 1	2.56	0.445	0.165	0.597	0.598	45
		NO. 2		0.229	0.114	0.127	0.235	50
		NO. 3		0.165	0.108	0.159	0.194	56
		NO. 4		0.222	0.127	0.184	0.284	63
		NO. 5		0.152	0.0762	0.133	0.176	68
		NO. 6		-	-	-	N/A	-
		NO. 7		0.02	0.02	0.03	0.04	81
V-cut	5	NO. 1	2.56	0.203	0.0889	0.279	0.335	37
		NO. 2		0.140	0.0762	0.140	0.193	40
		NO. 3		0.197	0.0699	0.114	0.214	45
		NO. 4		0.140	0.0635	0.114	0.176	52
		NO. 5		0.0889	0.0381	0.0635	0.105	57
		NO. 6		-	-	-	N/A	-
		NO. 7		0.14	0.08	0.13	0.20	69

TABLE 3: Determined parameters for square root and cube root equations with confidence levels (50%, 95%).

Parameter	Linear regression using SRSD		Linear regression using CRSD	
	50%	95%	50%	95%
K	56	118	74	167
n	-1.565	-1.565	-1.576	-1.576
R2	0.776	0.776	0.762	0.762

equations such as those proposed by USBM, NOF, and so on in dacite bedrock. However, this equation is limited because it was induced from only one study. Therefore, verification is required for this equation through continuous field tests.

*3.4. Determination of Noise Estimation Equation for Blasting Design.* As described in Section 1, blasting noise is greatly affected by weather conditions such as topography, temperature, air pressure, wind velocity, and wind direction of

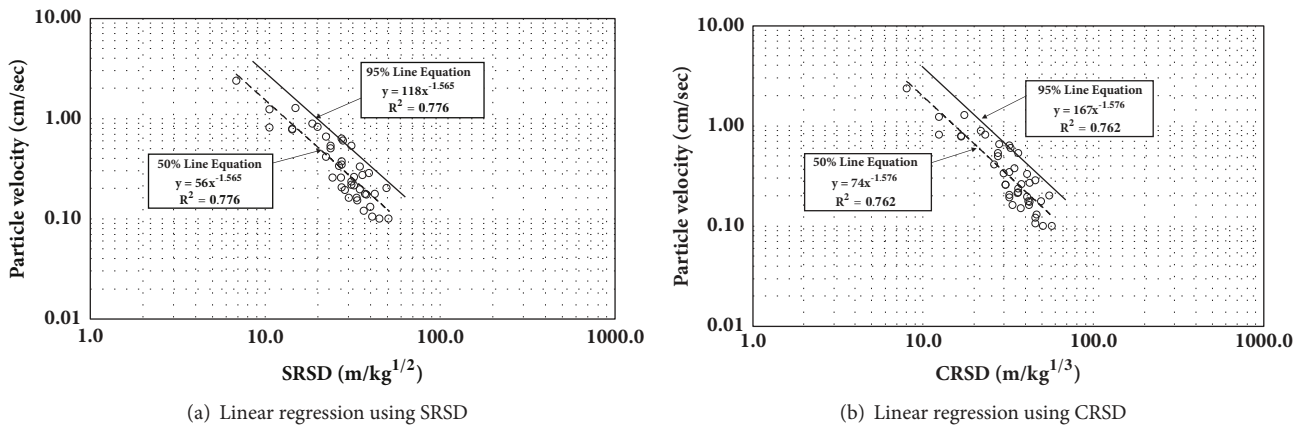


FIGURE 13: Determination of equation for predicting blasting-induced vibration.

TABLE 4: Maximum charge per delay with vibration value and distance (unit: kg/delay).

		(a) V = 0.2cm/sec											
Equation	Confidence level	Distance (m)											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
SRE	50%	0.07	0.30	0.67	1.19	1.86	2.68	3.65	4.77	6.04	7.46	9.02	
	95%	0.03	0.12	0.26	0.46	0.72	1.04	1.41	1.84	2.33	2.88	3.48	
CRE	50%	0.01	0.10	0.35	0.83	1.62	2.79	4.43	6.62	9.42	12.92	17.20	
	95%	0.00	0.02	0.07	0.18	0.34	0.59	0.94	1.41	2.00	2.74	3.65	

		(b) V = 0.3cm/sec											
Equation	Confidence level	Distance (m)											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
SRE	50%	0.13	0.50	1.13	2.00	3.13	4.51	6.14	8.01	10.14	12.52	15.15	
	95%	0.05	0.19	0.43	0.77	1.21	1.74	2.37	3.09	3.91	4.83	5.85	
CRE	50%	0.03	0.22	0.75	1.79	3.49	6.04	9.59	14.31	20.38	27.96	37.21	
	95%	0.01	0.05	0.16	0.38	0.74	1.28	2.04	3.04	4.33	5.94	7.90	

		(c) V = 0.5cm/sec											
Equation	Confidence level	Distance (m)											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
SRE	50%	0.24	0.96	2.16	3.85	6.01	8.66	11.79	15.39	19.48	24.05	29.11	
	95%	0.09	0.37	0.84	1.48	2.32	3.34	4.55	5.94	7.52	9.28	11.23	
CRE	50%	0.07	0.59	2.00	4.73	9.24	15.97	25.36	37.85	53.89	73.92	98.39	
	95%	0.02	0.13	0.42	1.00	1.96	3.39	5.39	8.04	11.45	15.70	20.90	

the blasting point. Therefore, even if the noise prediction formula is derived through field test blasting, the reliability of the equation is not satisfactory. Therefore, in this study, the researchers tried to compare the results of the typical noise prediction formula applied in Korea and the measured values by test blasting. A blasting point distance of 29 m was used along with the previously proposed noise prediction equations [20, 22–25], and the calculated noise level was compared as shown in Table 5 and Figure 16. As a result, the noise prediction equation of ONECRC [23] was found to be most similar to the one measured from test blasting. However, since the propagation pattern of noise varies depending on various weather conditions such as temperature and

pressure, it is necessary to constantly measure and manage the noise to prevent damage to surrounding security objects when performing actual blasting operations, such as tunnel construction.

#### 4. Conclusion

In this study, the researchers performed real scale test blasting to analyze the particle size of crushed rocks according to the type of blasting and based on the result of vibration measurement. The proposed blasting vibration equation was compared with existing equations to examine its applicability. Additionally, the applicability of the estimations was also

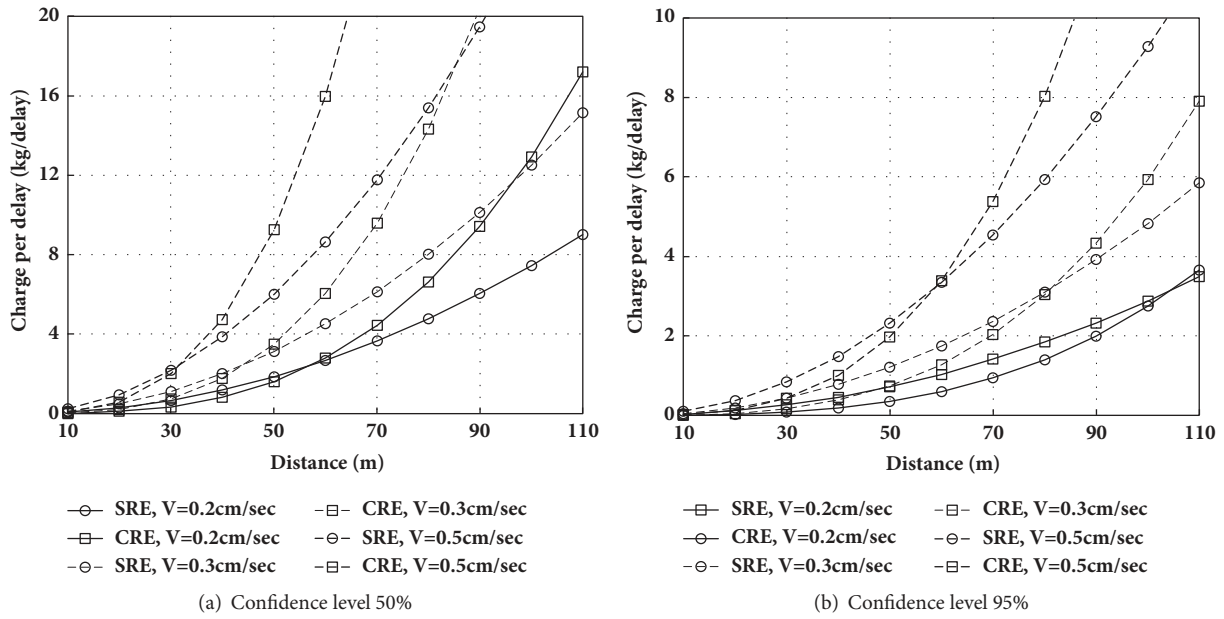


FIGURE 14: Graph of maximum charge per delay with vibration value and distance.

TABLE 5: Comparison among noise levels obtained from test blasting and several equations for noise prediction.

Method for obtaining noise level	Noise level (dB(A))
Test blasting	89.50
Siskind et al. [20]	80.42
Yang and Kim [22]	69.53
ONECRC [23]	96.40
IOERSNU [24]	78.82
Crocker [25]	98.75

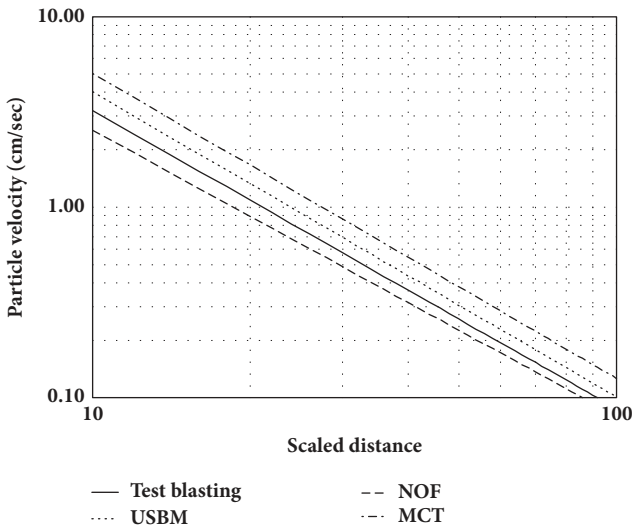


FIGURE 15: Comparison between tendencies of blasting-induced vibration with distance.

examined by comparing the noise values obtained from the blasting measurements with the noise values obtained from

the existing noise estimations. The conclusions drawn from this are as follows.

(1) The diameters of crushed rocks in the case of cylinder and V-cut blasting were 40~50cm and 30~60cm, respectively. In addition, the fragment size distribution curve and the fragment size cumulative curve from the results of the image processing by WipFrag, a digital particle size analysis program, did not show a significant difference between the cylinder blast (average particle diameter of 8.8 cm) and the V-cut blast (average particle diameter of 10.5 cm).

(2) Based on the results of the vibration measurement from the actual scale blasting test, the square root equation and cube root equation with confidence levels of 50% and 95%, respectively, were derived. For both levels of confidence, the square root scale equation produced a better safety level at long distances than the cube root equation. Therefore, in this study, the equation at the confidence level of 95% is used for the blast vibration estimation equation.

(3) The results of the comparison between the blast vibration estimation equation obtained by actual scale blasting and the existing blast vibration estimation equations from the Japanese blast vibration (NOF), the US Bureau of Mines (USBM), and the Ministry of Construction and Transportation (MCT) of Korea showed that the MCT equation had the

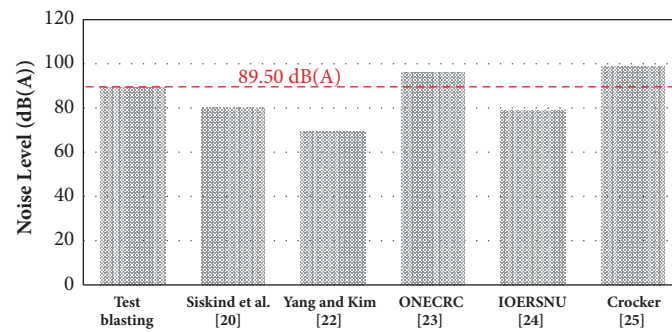


FIGURE 16: Graph for comparison of each noise level (based on Table 5).

most conservative result. The blasting vibration estimation equation in this study showed a middle tendency between the US and the Japanese equation.

(4) After comparing the noise levels measured by actual scale test blasting with the previously calculated noise predictions, the noise prediction equation of ONECRC [23] was found to be the most similar to the data measured from the test blasting. However, since the propagation pattern of noise varies depending on various weather conditions such as temperature and pressure, it is necessary to continuously manage the noise so as not to cause damage to surrounding security objects when performing actual blasting work, such as tunnel construction.

### Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

### Acknowledgments

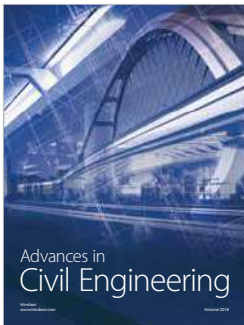
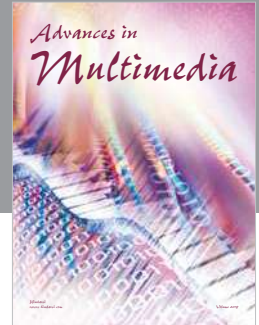
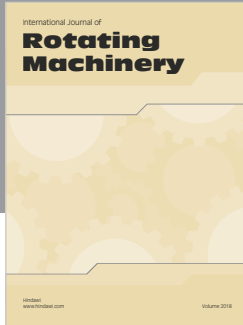
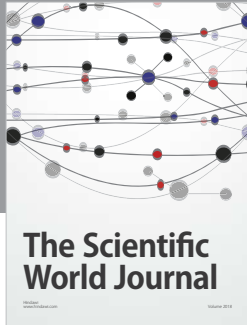
This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean Government (MSIT) (no. NRF-2017R1C1B5017461).

### References

- [1] A. Fişne, C. Kuzu, and T. Hüdaverdi, "Prediction of environmental impacts of quarry blasting operation using fuzzy logic," *Environmental Modeling & Assessment*, vol. 174, no. 1–4, pp. 461–470, 2011.
- [2] G. Morris, *Vibrations due to Blasting and Their Effects on Building Structure*, London, The Engineer, 1950.
- [3] G. M. Habberjam and J. T. Whetton, "On the relationship between seismic amplitude and charge of explosive fired in routine blasting operations," *Geophysics*, vol. 17, no. 1, pp. 116–128, 1952.
- [4] J. F. Devine, "Vibration Levels from Multiple Holes per Delay Quarry Blasts," *Earthquake Notes*, vol. XXXIII, pp. 32–39, 1962.
- [5] J. F. Devine and W. I. Duvall, "Effect of Charge Weight on vibration Levels for Millisecond Delayed Quarry blasts," *Earthquake Notes*, vol. XXXIV, pp. 17–24, 1963.
- [6] B. Davies, I. W. Farmer, and P. B. Attewell, "Ground Vibration from Shallow Subsurface Blasts," *The Engineer*, vol. 217, pp. 553–559, 1964.
- [7] P. B. Attewell, I. W. Farmer, and D. Haslam, "Prediction of Ground Vibration Parameters from Major Quarry Blasts," *Mining and Minerals Engineering*, vol. 1, no. 16, pp. 621–626, 1965.
- [8] N. R. Ambraseys and A. J. Hendron, *Dynamic Behavior of Rock Masses, Rock Mechanics in Engineering Practice*, K. G. Stagg and O. C. Zienkiewicz, Eds., John Wiley & Sons, Inc, London, 1968.
- [9] C. H. Dowding, *Response of Buildings to Ground Vibrations Resulting from Construction Blasting [Ph.D. thesis]*, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, 1971.
- [10] R. Gustafsson, *Swedish Blasting Technique*, SPI, Gothenburg, Sweden, 1973.
- [11] A. Ghosh and J. J. K. Daemen, "A Simple New Vibration Predictor (Based on Wave Propagation Laws)," in *Proceedings of the in Inproceedings of 24th US Symp. on Rock Mech*, pp. 151–157, Texas, Tx, USA, 1983.
- [12] P. P. Roy, "Prediction and Control of Ground Vibrations due to Blasting," *Colliery Guardian*, vol. 239, no. 7, pp. 215–219, 1991.
- [13] W. M. Yan and K.-V. Yuen, "On the proper estimation of the confidence interval for the design formula of blast-induced vibrations with site records," *Rock Mechanics and Rock Engineering*, vol. 48, no. 1, pp. 361–374, 2015.
- [14] L.-J. Dong, J. Wesseloo, Y. Potvin, and X.-B. Li, "Discriminant models of blasts and seismic events in mine seismology," *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, vol. 86, pp. 282–291, 2016.
- [15] L. Dong, J. Wesseloo, Y. Potvin, and X. Li, "Discrimination of mine seismic events and blasts using the fisher classifier, naive bayesian classifier and logistic regression," *Rock Mechanics and Rock Engineering*, vol. 49, no. 1, pp. 183–211, 2016.
- [16] L. Dong, D. Sun, X. Li, and K. Du, "Theoretical and Experimental Studies of Localization Methodology for AE and Microseismic Sources Without Pre-Measured Wave Velocity in Mines," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 16818–16828, 2017.
- [17] D. E. Siskind, M. S. Stagg, J. W. Kopp, and C. H. Dowding, "Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Mine Blasting," USBM RI 8507, 1980.
- [18] C. H. Dowding, *Construction Vibrations*, Prentice Hall, 1996.
- [19] H. S. Yang, S. S. Lim, and W. B. Kim, "Tunnel blasting design with equations obtained from borehole and crater blasting," *Journal of Korean Geotechnical Society*, vol. 19, no. 5, pp. 327–333, 2003.
- [20] D. E. Siskind, V. J. Stachura, M. S. Stagg, and J. W. Kopp, "Structure response and damage produced by airblast from surface mining," *Report of Investigations - United States, Bureau of Mines*, no. 8485, 1980.

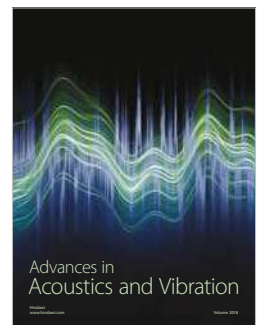
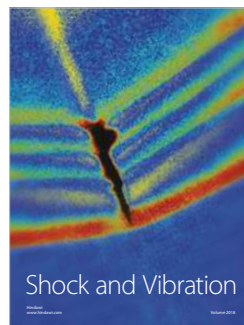
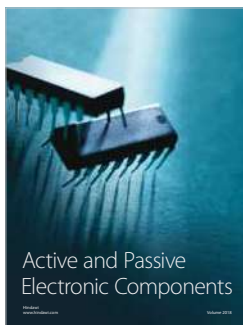
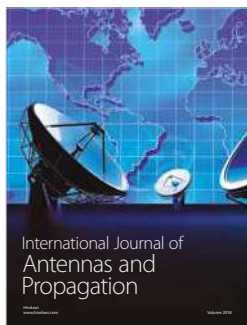
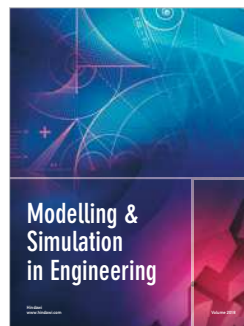
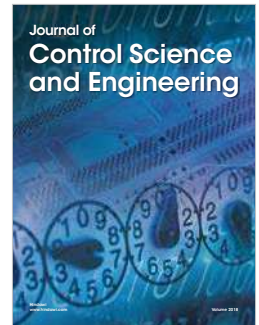
- [21] ONECRC, *A study on improvement of noise and vibration estimation method for environmental conflicts at a construction site*, Office of National Environmental Conflict Resolution Commission, 2007.
- [22] H. S. Yang and N. S. Kim, "Blasting design considering noise and vibration regulatory law," in *Proceedings of the in Inproceedings of KSRM annual conference at Korean Society for Rock Mechanics*, pp. 21–27, 1999.
- [23] ONECRC, *A study on examining criteria on cause and effect relationship for noise damage and calculation of damage cost*, Office of National Environmental Conflict Resolution Commission, 1997.
- [24] IOERSNU, *Influence evaluation of blasting-induced vibration and noise at rock excavation part of 9th construction area of Daegu-Pohang Expressway*, Institute of Engineering Research at Seoul National University, 2000.
- [25] M. J. Crocker, *Handbook of noise and vibration control*, John Wiley & Sons, 2007.
- [26] H. R. Nicholls, C. F. Johnson, and W. I. Duvall, "Blasting vibrations and their effects on structures , U.S. Department of Interior," *Bureau of Mines Bulletin*, vol. 656, 1971.
- [27] JEIA, "Examples of blasting," in *Japan Explosives Industry Association*, Eiko printing, Co., Ltd., 2002.
- [28] MCT, "Design criteria of rock blasting," *Ministry of Construction and Transportation*, 2003.
- [29] MCT, *Design and construction criteria of surface mine blasting for road works*, Ministry of Construction and Transportation, 2006.
- [30] H. J. Whang, "On the Problem and Counter Measurement for Allowable Value of Blasting Noise and Vibration," *Explosives and Blasting*, vol. 15, no. 1, pp. 36–43, 1997.





**Hindawi**

Submit your manuscripts at  
[www.hindawi.com](http://www.hindawi.com)





NITREX



*explosives  
engineering*

2007-2016

# 100 BRIDGES

successfully demolished with explosives in 10 years

**a record we are proud of!**



[www nitrex-explosives-engineering com](http://www.nitrex-explosives-engineering.com)

NITREX



explosives  
engineering

NITREX srl  
Via Mantova 61  
25017 Lonato del Garda - ITALY

Tel. (+39) 03 09 90 40 39  
Fax (+39) 03 09 90 61 89  
info@nitrex.it  
www nitrex-explosives-engineering com

Branch \ Field office :

Contact person:

## ***It was a challenge!***

NITREX has successfully applied state-of-the-art explosives technology and engineering to demolish 100 bridges over the past 10 years. In accomplishing this feat, significant constraints and unique challenges were faced.

On some projects, up to 5 adjoining roads carried live traffic, on others, housing and industrial buildings were located nearby and even below the target bridge. These cases required exact design to leave nearby roads and structures undamaged after blasting.

Some of these bridge demolition projects presented challenges never before faced. In one case, new pylons 57 meters high had already been built within the footprint of the 650 ton, 70 meters high spans that were to be demolished. On another project, the new superstructure was built a handful of centimeters above the old one to be demolished. This approach was adopted so the old bridge could be used as a construction platform while 200-ton cranes assembled the beams of the new bridge. This unique construction method was made possible through properly controlled demolition blasting, decreasing construction costs and time by an order of magnitude.

Many of the projects were made more complex by significant environmental constraints, including locations:

- in national parks
- immediately beneath high voltage power lines
- above oil and gas and water pipelines buried only a few meters below the blast impact zone,
- involving slopes in active landslide mode
- with rivers, water channels, water springs within the work zone, and
- where existing retention walls, sewer facilities, other permanent structures to be retained.

Each of the 100 bridges had varied, distinct characteristics in shape, structure and condition, so it was necessary to produce a targeted blast design for each to ensure success. The blast demolition timeline varied from 1 to a maximum of only 8 weeks. The longer work times applied only to those projects that required several thousands of blast holes, extended preliminary cuts and concrete breakage. This timetables lead to significant overall cost savings, a drastic decrease in environmental impacts, and dramatically lowered the man-hour exposure to the potential for work site accidents, particularly in comparison with standard mechanical demolition techniques which require a much longer work time.

The successful results of these 100 projects provide clear evidence that demolition of bridges with explosives is much safer, quicker and less expensive than the alternative technique of mechanical “deconstruction”, overturning an established preconception.

Pictures and data pertaining to each of the 100 bridge demolition projects follow.

## ***Background***

ANAS, the Italian roads agency, started a significant highway refurbishment and reconstruction project to match the latest European standards resulting in the need to demolish and replace many older bridges.

The highways targeted for improvement generally had been built in the late 1960's and early 1970's. Bridges were constructed of reinforced concrete, with pylons of a maximum height reaching 130 meters. The horizontal span length varied, but was generally 16, 32 or 45 meters, mostly 32 but frequently also of 45, on 4 or 3 post-tensioned beams. Some pylons had longitudinal cantilevers, to cover a spacing up to 80 meters; some other had transverse cantilever to sustain both carriageways; other were built above arches up to 120 m long.





At the time of construction, it was general practice to contract only a few kilometers of highway at a time. As a result, ten of different companies had been involved in the construction of the bridges, working from the designs of the best Italian structural engineers.

Design parameters were targeted to minimize concrete and iron quantities, and to take advantage of the low cost of high qualified manpower at that time. These design considerations produced the iconic highway bridge appearance so recognizable today: pylons with a slim and elegant geometry, many angled surfaces and spans with a minimalist form. The resulting designs also included hollow foundations, even in earthquake-sensitive areas.

Because no official standardization of the construction design was set in place, almost each bridge was built with its own unique shape and structure, according to the best practice and experience developed by each construction company and their trusted engineers and teams.

The ANAS refurbishment and reconstruction projects included total or partial demolition of the bridges on the targeted highways. Where the road layout had to be moved, both spans and pylons were demolished to restore the original environment. Where the road layout didn't change, just the spans were demolished to replace the old obsolescent reinforced concrete superstructure with a new one in COR-TEN steel, weighting about half so much and with better seismic resistance and longer shelf life.

## ***Demolition work***

Demolitions were executed by placing blasting charges within holes in the structure being locally reduced in size.

Static safety factor was always left high because of the lack of live loads on the structures after removal of the service traffic.

Explosives were used to create plastic hinges and to trigger collapse in a given sequence. Explosives were also used to disintegrate the structure in case of steep slopes where the falling span or pylon could slide toward the closest acceptor such as the next pylon to be left in place, a retention wall, or similar, or just slide away down the slope making it impossible to retrieve for crushing and mucking.

## ***Equipment***

Several kinds of equipment were used, depending on the ease of the access.

Drilling was executed mostly with remote controlled hydraulic rigs but also by diamond coring, hand driven electric hammers or pneumatic hammers. Hole diameter of 30 mm was common but on occasion holes up to 60 mm were used, depending on the characteristics of the specific bridge. Hole length varied from 10 cm to 3 m.

Horizontal cuts were executed with a floor saw with a diamond blade. In case of difficult access or for vertical cuts, small hand driven wall-saws and diamond wire saws were used.

Concrete breakage prior to and following blasting was executed with remote controlled excavators, both self-propelled and small-size electric.

In order to access high spots for drilling, blasthole loading or other work items, both telescopic lifters-booms (up to 50 meters reach) and suspended platforms up to 120 m reach, were used. When necessary, personnel accessed the work sites on double-rope and harness safety systems.



TOTALS	Spans (pc.)	Pylons (pc.)	Boreholes (pc.)	Explosives (kg)	Det. Cord (m)	Length of drilling (m)
	<b>724</b>	<b>472</b>	<b>60.000</b>	<b>14.500</b>	<b>155.000</b>	<b>85.000</b>

Nr.	NAME OF THE BRIDGE / VIADUCT	YEAR	CUSTOMER	SPANS	PYLONS	MAX HEIGH PYLONS	ARCH LENGTH	
1	LONTRANO	2007- 2008	<b>CMC RAVENNA S.p.A.</b>	9	8	110		
2	S. ONOFRIO 1			5	4	90		
3	TANAGRO			4	4	42		
4	MURUSELLA			3	2	16		
5	P. PETROSO			2	0			78
6	P. TANAGRO			12	10			50
7	P. MOLINO North	2009- 2010	<b>PIZZAROTTI S.p.A.</b>	8	6		46	
8	P. MOLINO South			8	6		46	
9	P. TANAGRO North			15	13		64	
10	P. TANAGRO South			15	13		64	
11	CERRETA 1 South	2008- 2014	<b>SIS S.C.p.A.</b> (Sacyr S.A., INC srl e Sipal spa)	7	6	14		
12	CERRETA 1 North			7	6	14		
13	MALVO North			5	0	25		
14	MALVO South			5	0	25		
15	SALESE South			6	0	29		
16	SALESE North			8	0	29		
17	PENNARONE 1 North			3	2	35		
18	PENNARONE 1 South			3	2	35		
19	PENNARONE 2 North			4	3	34		
20	PENNARONE 2 South			4	3	34		
21	CALABRIA North			3	2	32		
22	CALABRIA South			3	2	32		
23	STAGNO North			8	7	26		
24	STAGNO South			8	7	26		
25	PALAZZO North			5	4	36		
26	PALAZZO South			5	4	36		
27	NOCE North			4	0	75		
28	NOCE South			4	0	75		
29	DRAGONARA North			2	0	28		
30	DRAGONARA South			2	0	38		
31	CALANCHI 1 North			6	5	13		
32	CALANCHI 2 South			3	2	15		
33	CALANCHI 3 North			12	11	15		
34	CALANCHI 3 South			12	11	15		



Nr.	NAME OF THE BRIDGE / VIADUCT	YEAR	CUSTOMER	SPANS	PYLONS	MAX HEIGH PYLONS
35	CERRETA 2 South	2010- 2014	<b>SIS S.C.p.A.</b> (Sacyr S.A., INC srl e Sipal spa)	8	7	20
36	CERRETA 2 North			9	8	25
37	CALORE North			7	6	13
38	CALORE South			7	6	13
39	CERRITIELLO North			3	2	16
40	CERRITIELLO South			3	2	16
41	ALBANESE North			9	8	38
42	ALBANESE South			9	8	38
43	PECORONE North			24	23	26
44	PECORONE South			24	23	26
45	TORRETTA North			15	14	25
46	TORRETTA South			15	14	25
47	SECCO North			6	5	38
48	SECCO South			6	5	38
49	SAN SALVATORE North			9	8	25
50	SAN SALVATORE South			9	8	25
51	BITONTO North			4	3	16
52	BITONTO South			4	3	16
53	VURRIELLO North			7	6	15
54	VURRIELLO South			7	6	15
55	ROCCA SAN DANIELE	2012	<b>CMC RAVENNA S.p.A.</b>	9	8	42
56	MACERA 1 North	2012- 2014	<b>CARENA COSTRUZIONI S.p.A.</b>	5	0	16
57	MACERA 2 North			9	0	26
58	MACERA 2 South			9	0	26
59	PETRARO North			5	0	20
60	PETRARO South			5	0	20
61	RENA BIANCA 1 North			6	0	12
62	RENA BIANCA 1 South			6	0	12
63	RENA BIANCA 2 North			8	0	18
64	RENA BIANCA 2 South	8	0	18		
65	CABALLA North	2013	<b>TECNIS S.p.A.</b>	5	4	70
66	CABALLA South			5	4	70
67	FRANCO South	2014	<b>ZOLDAN S.r.l.</b>	8	7	25
68	LECARRE 2 North	2014	<b>COLLINI S.p.A.</b>	3	0	30
69	LECARRE 2 North	2015	<b>SCL S.r.l.</b>	5	0	30
70	PANTANO North	2014- 2016	<b>ITALSARC S.C.p.A.</b>	2	1	15





N°	<i>name of the bridge / viaduct</i>	year	customer	Spans	Pylons	<i>max heigh Pylons</i>
71	PANTANO North	2014- 2016	<b>ITALSARC S.C.p.A.</b>	2	1	15
72	CAPOLANZO North			2	1	15
73	CAPOLANZO South			2	1	15
74	FORNO North			3	2	20
75	FORNO South			2	1	20
76	FILOMATO North			3	2	15
77	FILOMATO South			7	6	18
78	MEZZANA North			3	2	10
79	MEZZANA South			3	2	10
80	CARPINETA North			8	7	20
81	CARPINETA South			2	1	15
82	SAN MICHELE South			4	3	35
83	FELICITÀ North			2	1	20
84	FELICITÀ South			3	2	20
85	LA PINETA North			7	6	25
86	LA PINETA South			7	6	25
87	BATTENDIERO 2 North			3	2	20
88	BATTENDIERO 2 South			3	2	20
89	BATTENDIERO 3 North			3	2	15
90	BATTENDIERO 3 South			3	2	15
91	MANCUSO North			6	5	15
92	MANCUSO South			6	5	15
93	ITALIA North			16	4	120
94	ITALIA South			16	0	120
95	PIETRASTRETTA Est	2014	<b>COLLINI S.p.A.</b>	15	0	50
96	BATTENDIERO 1 North	2016	<b>ITALSARC S.C.p.A.</b>	9	8	70
97	BATTENDIERO 1 South			7	6	70
98	SVINCOLO LAURIA	2012	<b>SIS S.C.p.A.</b> (Sacyr S.A., INC srl e Sipal spa)	50	48	25
99	JANNELLO North	2015-2016	<b>ITALSARC S.C.p.A.</b>	11	0	136
100	JANNELLO South			11	0	136

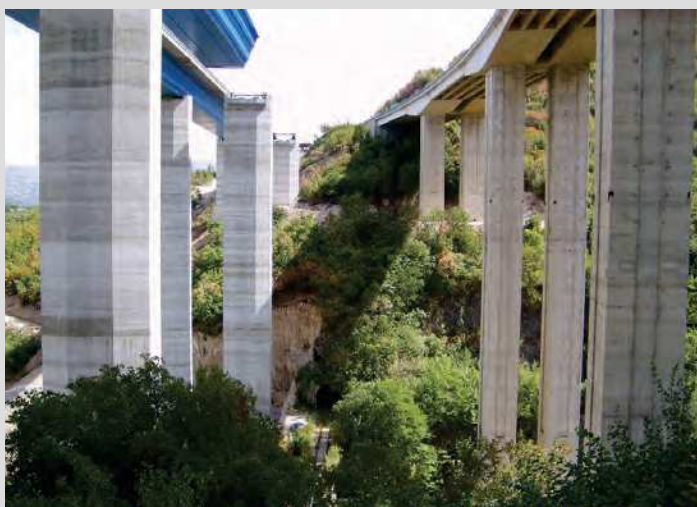


1

Bridge **LONTRANO**Customer: **CMC spa**Site Job: **Auletta (Salerno) Italy – A3 SA-RC Highway**Date: **2007**

Designed by prof. Cestelli Guidi. Built in the 1960's. Maximum height 100 meters. Number 8 pylons with 50 meter cantilever. Nine spans each 32 meters long. Total length of 690 meters. Minimum distance to the nearest structure to be safeguarded (the new Bridge): 4 cm.

2

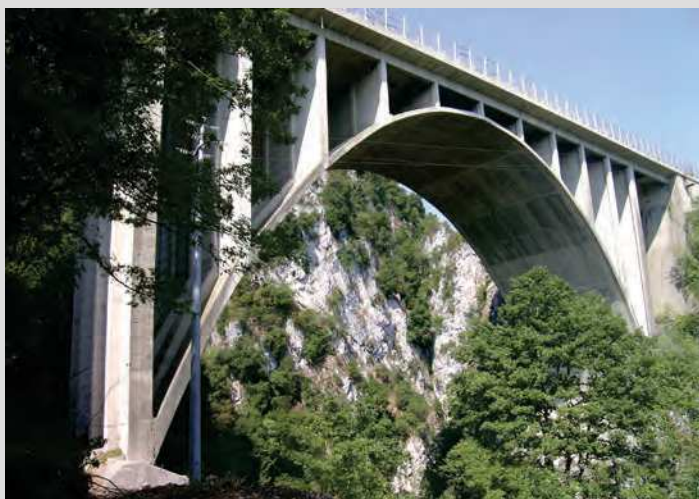
Bridge **SANT'ONOFRIO 1**Customer: **CMC spa**Site Job: **Petina (Salerno) Italy – A3 SA-RC Highway**Date: **2007**

Designed by prof. Cestelli Guidi. Built in the 1960's, maximum height of 120 meters, 4 pylons with 50 meter cantilever, three 32-meter spans, 200 meter length, minimum distance to the nearest structure to be safeguarded (an existing railway viaduct): 15 m.



## Bridge TANAGRO

3



Customer: **CMC spa**

Site Job: **Sicignano, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway**

Date: **2007 - 2009**

Designed by prof. Giangreco, the arch bridge was built in the 1970's, maximum height of 100 meters, arch span of 80 meters, structure with ribs and thin membrane (thickness from 15 cm to 25 cm), minimum distance from the nearest structure to be safeguarded (railway line): 80 m.

## Bridge MURUSELLA

4



Customer: **CMC spa**

Site Job: **Sicignano, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway**

Date: **2007**

The MURUSELLA bridge was built in the 1960's. Maximum height of 20 m. 2 piles and three 45 meter spans. Overlaying the nearest structure to be safeguarded: two 1400mm diameter methane gas pipelines (national gas line from Algeria) right 2,5 m the ground surface.





5

Bridge **PETROSO**Customer: **CMC spa**Site Job: **Sicignano, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway**Date: **2008**

The PETROSO arch bridge was built in the 1970's, Melan system (with iron framed beam embedded in the reinforced concrete) maximum height of 150 meters, arch span of 78 meters, minimum distance from the nearest structure to be safeguarded (the new bridge) - 4 m (above).

6

Bridge **TANAGRO**Customer: **CMC spa**Site Job: **Polla, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway**Date: **2007**

The Tanagro bridge: 5 spans 32 meter long, with I beams, with 50-meter support pylons.



## Bridges **MOLINO** North and South

7 - 8



Customer: **PIZZAROTTI spa**

Site Job: **Sicignano, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway**

Date: **2009 - 2010**

The Molino arch bridge: 8 spans 32 meter and 16 meter I beams, with 6 pylons and 46 meter arch to be tilted down.

## Bridges **TANAGRO** North and South

9 - 10



Customer: **PIZZAROTTI spa**

Site Job: **Sicignano, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway**

Date: **2010**

The Tanagro viaduct with arch bridge: 15 spans, 32 meter and 16 meter I beams, with 13 pylons and 64 meter arch.





11 - 12

Bridges **CERRETA 1** North and SouthCustomer: **SIS scpa**Site Job: **Montesano, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2010.**

The Cerretta 1 bridge: 14 spans 32 meter and with 12 pylons at 2cm from the nearby standing bridge.

13 - 14

Bridges **MALVO** North and SouthCustomer: **SIS scpa**Site Job: **Montesano, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2008 – 2010.**

The Malvo bridges: 10 spans, 32 meter long and 8 pylons to be safeguarded.

15 - 16

Bridges **SALESE** North and SouthCustomer: **SIS scpa**Site Job: **Montesano, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2008 – 2010.**

The Salese bridge: 8 spans 32 meters long and 7 pylons to be safeguarded.





## Bridges PENNARONE 1 North and South

17 - 18



Customer: **SIS scpa**

Site Job: **Lagonegro, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2008 – 2010.**

The Penarone 1 bridges: 6 spans 32 meters long and 4 pylons max high 35 meters.

## Bridges PENNARONE 2 North and South

19 - 20



Customer: **SIS scpa**

Site Job: **Lagonegro, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2008 – 2010.**

The Penarone 2 bridges: 8 spans 32 meters long, V beams, 6 pylons to be tilted down.

## Bridges CALABRIA North and South

21 - 22



Customer: **SIS scpa**

Site Job: **Lagonegro, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2008.**

The Calabria bridges: 6 spans 32 meters long, V beams, and 4 pylons to be tilted down.





23 - 24

Bridges **STAGNO** North and SouthCustomer: **SIS scpa**Site Job: **Lagonegro, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2008 – 2010.**

The Stagno bridges: 16 spans 32 meters long, V beams, with 14 pylons to be tilted down.

25 - 26

Bridges **PALAZZO** North and SouthCustomer: **SIS scpa**Site Job: **Lagonegro, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2008 – 2011.**

The Palazzo bridges: 10 spans 32 meters long and 8 pylons to be tilted down.

27 - 28

Bridges **NOCE** North and SouthCustomer: **SIS scpa**Site Job: **Lagonegro, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2008 – 2011.**

The Noce bridges: 8 spans 32 meters long, V beams, 6 pylons to be safeguarded.



Bridges **DRAGONARA** North and South

29 - 30

Customer: **SIS scpa**Site Job: **Lagonegro, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2008 – 2010.**

The Dragonara bridge: 4 spans 32 meters long; 2 pylons to be safeguarded.

Bridge **CALANCHI 1** North

31

Customer: **SIS scpa**Site Job: **Lauria, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2008 – 2011.**

The Calanchi 1 bridge: 6 spans 32 meters long, I beams, 5 pylons to be tilted down.

Bridge **CALANCHI 2** South

32

Customer: **SIS scpa**Site Job: **Lauria, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2008.**

The Calanchi 2 bridge: 5 spans 32 meters long; 4 pylons to be tilted down.





33 - 34

Bridges **CALANCHI 3** North and SouthCustomer: **SIS scpa**Site Job: **Lauria, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2008 – 2011.**

The Calanchi 3 bridge: 24 spans 32 meters long, I beams, 22 pylons to be tilted down.

35 - 36

Bridges **CERRETA 2** North and SouthCustomer: **SIS scpa**Site Job: **Montesano, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2010.**

The Cerreta 2 bridges: 17 spans 32 meters long; 15 pylons to be tilted down.

37 - 38

Bridges **CALORE** North and SouthCustomer: **SIS scpa**Site Job: **Casalbuono, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2012.**

The Calore bridges: 14 spans 32 meters long, I beams, 12 pylons to be tilted down.





## Bridges **CERRITIELLO** North and South

39 - 40



Customer: **SIS scpa**

Site Job: **Casalbuono, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2012.**

The Cerritiello bridge: 3 spans 32 meters long, I beams, 2 pylons to be tilted down.

## BridgeS **ALBANESE** 1 North and South

41 - 42



Customer: **SIS scpa**

Site Job: **Casalbuono, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway. Date: 2012 - 2013**

The ALBANESE bridges: 18 spans 32 meters long, I beams, 16 pylons to be tilted down.

## Bridges **PECORONE** North and South

43 - 44



Customer: **SIS scpa**

Site Job: **Lauria, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway. Date: 2013**

The Pecorone bridges: 48 spans 32 meters long, I beams, 46 pylons to be tilted down.





45 - 46

Bridges **TORRETTA** North and SouthCustomer: **SIS scpa**Site Job: **Montesano, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway. Date: 2010 - 2012**

The TORRETTA bridges: 30 spans 32 meters long, I beams, 28 pylons to be tilted down.

47 - 48

Bridges **SECCO** North and SouthCustomer: **SIS scpa**Site Job: **Lauria, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway. Date: 2013**

The Secco bridges: 12 spans 32 meters long, I beams, 10 pylons to be tilted down.



## Bridges **SAN SALVATORE** North and South

49 - 50



Customer: **SIS scpa**

Site Job: **Lagonegro, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2014.**

The SAN SALVATORE bridges: 18 spans 32 meters long, I beams, 16 pylons to be tilted down.

## Bridges **BITONTO** North and South

51 - 52



Customer: **SIS scpa**

Site Job: **Casalbuono, (Salerno), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2012.**

The Cerritiello bridge: 3 spans 32 meters long, I beams, 2 pylons to be tilted down.





53 - 54

Bridges **VURRIELLO** North and SouthCustomer: **SIS scpa**Site Job: **Lagonegro, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2014.**

The VURRIELLO bridges: 14 spans 32 meters long, I beams, 12 pylons to be tilted down.

55

Bridge **ROCCA SAN DANIELE**Customer: **CMC Ravenna**Site Job: **Favara, (Agrigento), Italy, year 2012**

The Rocca Daniele bridge: 9 spans 32 meters long, I beams, 8 pylons to be tilted down.



## Bridge **MACERA 1**

56



Customer: **CARENA spa**

Site Job: **Lauria, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway.**

Year: **2012- 2014.**

The MACERA I bridge: 5 spans 32 meters long, I beams, 4 pylons to be safeguarded.

## Bridges **MACERA 2 North and South**

57 - 58



Customer: **CARENA spa**

Site Job: **Lauria, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway.**

Years: **2012- 2014.**

The MACERA II bridges: 18 spans 32 meters long, I beams, 16 pylons to be safeguarded.





59 - 60

Bridges **PETRARO** North and SouthCustomer: **CARENA spa**Site Job: **Lauria, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway. Date: 2012- 2014**

The PETRARO bridge: 10 spans 32 meters long, I beams, 8 pylons to be safeguarded.

61 - 62

Bridges **RENA BIANCA 1** North and SouthCustomer: **CARENA spa**Site Job: **Lauria, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway. Date: 2012- 2014**

The MACERA 2 bridges: 18 spans 32 meters long, I beams, 16 pylons to be safeguarded.

63 - 64

Bridges **RENA BIANCA 2** North and SouthCustomer: **CARENA spa**Site Job: **Lauria, (Potenza), Italy – A3 SA-RC Highway. Date: 2012- 2014**

The RENA BIANCA 2 bridge: 16 spans 32 meters long, I beams, 14 pylons to be safeguarded.



Bridges **CABALLA** North and South

65 - 66

Customer: **TECNIS spa**Site Job: **Morano Calabro, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway. Date: 2013**

The CABALLA bridges: 10 spans 32 meters long, I beams, 8 pylons to be tilted down.

Bridge **FRANCO** North

67 - 68

Customer: **ZOLDAN S.r.l and SCL s.r.l.**Site Job: **Vietri di Potenza, (Potenza), Italy – A35 SI-PZ Highway. Date: 2014**

The FRANCO bridge: 8 spans 32 meters long, I beams, 7 pylons to be safeguarded.

Bridge **LE CARRE 2** North

69

Customer: **COLLINI S.p.A.**Site Job: **Vietri di Potenza, (Potenza), Italy – A35 SI-PZ Highway. Date: 2014 - 2015**

The LE CARRE II bridges: 8 spans 32 meters long, I beams, 7 pylons to be safeguarded.





70 - 71

Bridges **PANTANO** North and SouthCustomer: **ITALSARC S.C.p.A.**Site Job: **Laino Borgo, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2016.**The **PANTANO** bridges: 4 spans 32 meters long, I beams, 2 pylons to be tilted down.

72 - 73

Bridges **CAPOLANZO** North and SouthCustomer: **ITALSARC S.C.p.A.**Site Job: **Laino Borgo, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2016.**The **CAPOLANO** bridges: 4 spans 32 meters long, I beams, 2 pylons to be tilted down.

74 - 75

Bridges **FORNO** North and SouthCustomer: **ITALSARC S.C.p.A.**Site Job: **Laino Borgo, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2016.**The **FORNO** bridges: 5 spans 32 meters long, I beams, 3 pylons to be tilted down.





## Bridges **FILOMATO** North and South

76 - 77



Customer: **ITALSARC S.C.p.A.**

Site Job: **Laino Castello, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2015 – 2016.**

The FILOMATO bridges: 10 spans 32 meters long, I beams, 8 pylons to be tilted down.

## Bridges **MEZZANA** North and South

78 - 79



Customer: **ITALSARC S.C.p.A.**

Site Job: **Laino Castello, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2014 – 2015.**

The MEZZANA bridges: 6 spans 32 meters long, I beams, 4 pylons to be tilted down.

## Bridges **CARPINETA** North and South

80 - 81



Customer: **ITALSARC S.C.p.A.**

Site Job: **Mormanno, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway, years 2015 – 2016.**

The CARPINETA bridges: 10 spans 32 meters long, I beams, 8 pylons to be tilted down.





82

Bridge **SAN MICHELE**Customer: **ITALSARC S.C.p.A.**Site Job: **Mormanno, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2016.**The **SAN MICHELE** bridge: 4 spans 32 meters long, I beams, 3 pylons to be tilted down.

83 - 84

Bridges **FELICITA'** North and SouthCustomer: **ITALSARC S.C.p.A.**Site Job: **Mormanno, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2016.**The **FELICITÀ** bridges: 5 spans 32 meters long, I beams, 3 pylons to be tilted down.

85 - 86

Bridges **LA PINETA** North and SouthCustomer: **ITALSARC S.C.p.A.**Site Job: **Mormanno, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2016.**The **LA PINETTA** bridges: 14 spans 32 meters long, I beams, 12 pylons to be tilted down.





## Bridges **BATTENDIERO 2** North and South

87 - 88



Customer: **ITALSARC S.C.p.A.**

Site Job: **Mormanno, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2014 – 2015.**

The **BATTENDIERO 2** bridges: 6 spans 32 meters long, I beams, 4 pylons to be tilted down.

## Bridges **BATTENDIERO 3** North and South

89 - 90



Customer: **ITALSARC S.C.p.A.**

Site Job: **Mormanno, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2014 – 2015.**

The **BATTENDIERO 3** bridges: 6 spans 32 meters long, I beams, 4 pylons to be tilted down.

## Bridges **MANCUSO** North and South

91 - 92



Customer: **ITALSARC S.C.p.A.**

Site Job: **Mormanno, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway, year 2014 – 2015.**

The **VALLONE MANCUSO** bridges: 12 spans 32 meters long, I beams, 10 pylons to be tilted down.



explosives  
engineering

93 - 94

Bridges **ITALIA** North and South

Customer: ITALSARC S.C.p.A.

Site Job: Laino Borgo, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway

Date: 2015 - 2016

The ITALIA bridges: 32 spans 45 meters long, I beams, 6 pylons to be tilted down.



**Bridge PIETRASTRETTA**

95



Customer: COLLINI S.p.A.

Site Job: Vietri di Potenza, (Potenza), Italy – A35 SI-PZ Highway

Date: 2016

The PIETRASTRETTA bridge: 15 spans 45 meters long, I beams, 14 pylons to be safeguarded.



explosives  
engineering

96 - 97

Bridges **BATTENDIERO 1** North and SouthCustomer: **ITALSARC S.C.p.A.**Site Job: **Laino Borgo, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway**Date: **2016**The **BATTENDIERO I** bridges: 16 spans 35 meters long, I beams, 14 pylons to be tilted down.





## Svincolo LAURIA

98

Customer: **SIS scpa**Site Job: **Lauria, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway**Date: **2011 - 2012**

The Svincolo Lauria bridge: 50 spans with I beams and 48 pylons to be tilted down.





explosives  
engineering

99 - 100

Bridges **JANNELLO** North and South



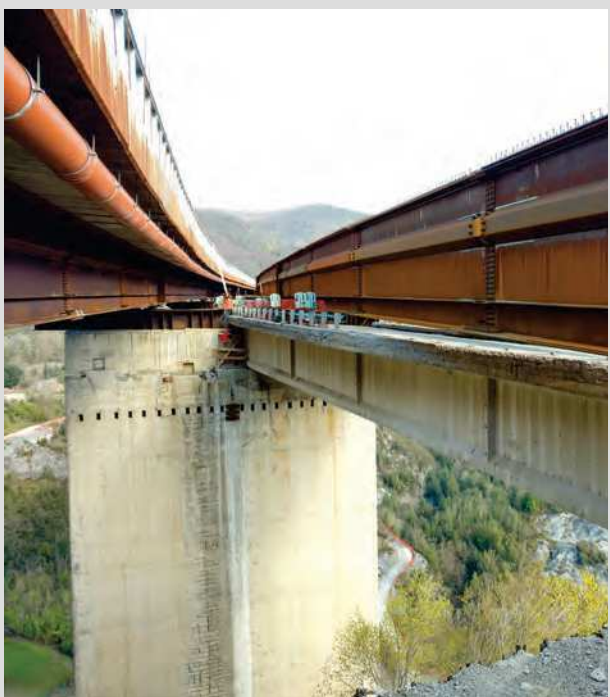
Customer: **ITALSARC S.C.p.A.**

Site Job: **Laino Borgo, (Cosenza), Italy – A3 SA-RC Highway**

Date: **2014 - 2016**

The **JANNELLO** bridges: 22 spans 45 meters long, I beams, 20 pylons to be safeguarded.



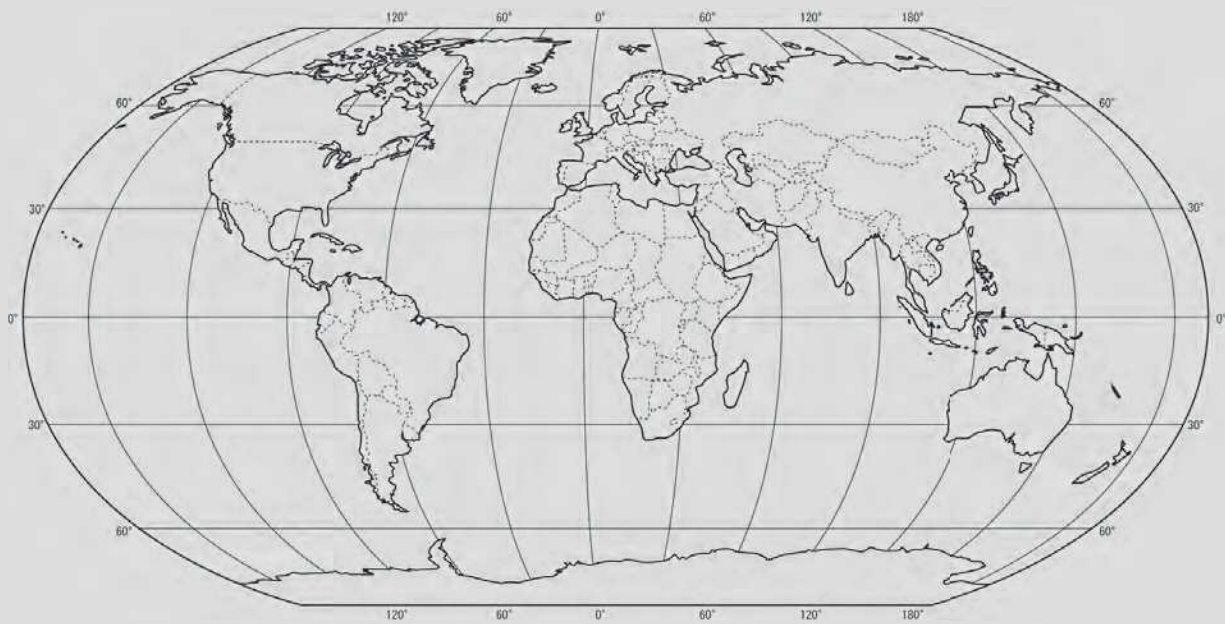








NITREX owns a worldwide All Risks insurance with no limitation of distance target - acceptors.



NITREX



*explosives  
engineering*

NITREX srl<sup>®</sup>

Via Mantova, 61

25017 Lonato del Garda (BS) - ITALY

Tel. +39 030 99 04 039

Fax +39 030 99 06 189

[info@nitrex.it](mailto:info@nitrex.it)

[www.nitrex-explosives-engineering.com](http://www.nitrex-explosives-engineering.com)