



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 FUGGETO**

**LINEE GUIDA**

02-291 R2 2020-09-14 Viadotto FUGGETO - pag. 1/57

copia #

1 / 1

redatto da

**Roberto Folchi**  
 Ordine degli ingegneri - Brescia  
 Ccd. Identif. BS041621 00638  
 Albo Geologi Lombardia  
 Sez. A Geol. Special. n. 1748 AP  
 N. 4162

--	--	--	--

--	--	--	--

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 FUGGETO sx (5 impalcati e 4 pile).....	17
1.5 SOGGEZIONI ALL'ESECUZIONE DEI LAVORI DI DEMOLIZIONE.....	18
1.5.1 Abbattimento con esplosivi.....	18
1.5.2 Area di sicurezza per l'abbattimento.....	19
1.5.3 Demolizione meccanica a terra.....	19
1.6 TUTELA DI FLORA E DI FAUNA.....	19
2 ABBATTIMENTO CONTROLLATO CON ESPLOSIVO.....	21
2.1 Successione delle fasi preliminari all'avvio dei lavori.....	21
2.1.1 Progetto esecutivo d'abbattimento.....	21
2.1.2 Monitoraggio sismico.....	22
2.1.3 Comunicazioni e relazioni pubbliche.....	22
2.2 Fasi operative di abbattimento e demolizione (indicativo).....	23
2.2.1 Recinzione cantiere e cartellonistica.....	23
2.2.2 Messa in opera LINEA DI VITA.....	23
2.2.3 Demolizione di componenti non rilevanti per l'assetto statico.....	24
2.2.4 Perforazione FORI da MINA.....	25
2.2.5 Posa di reti di protezioni a maglia fine di cavi d'acciaio.....	28
2.2.6 CARICAMENTO e BRILLAMENTO MINE.....	29
2.2.7 Demolizione a terra.....	31
3 EFFETTI INDOTTI ALL'INTORNO DALL'ABBATTIMENTO.....	32
3.1 Generalità.....	32
3.2 Vibrazioni / onde elastiche /onde sismiche.....	32
3.2.1 Le onde sismiche.....	32
3.2.2 Non insorgenza di danno.....	35
3.2.3 Non insorgenza di disagio.....	35
3.2.4 Ampiezza delle vibrazioni.....	36
3.2.4.1 Brillamento delle cariche.....	36
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. FUGGETO sx (5 impalcati e 4 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 ammaloramento 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 FUGGETO** sx (5 impalcati e 4 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>
FUGETTO	<ul style="list-style-type: none"><li>• R- PILE FUGETTO;</li><li>• R- IMPALCATI FUGETTO;</li></ul>

### 1.1.3 Inquadramento geografico

Nelle foto da 1.1.3.i a “x”, sono riportate le foto aeree aeree 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.



Foto 1.1.3.iv: Viadotto FUGGETO

## **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).

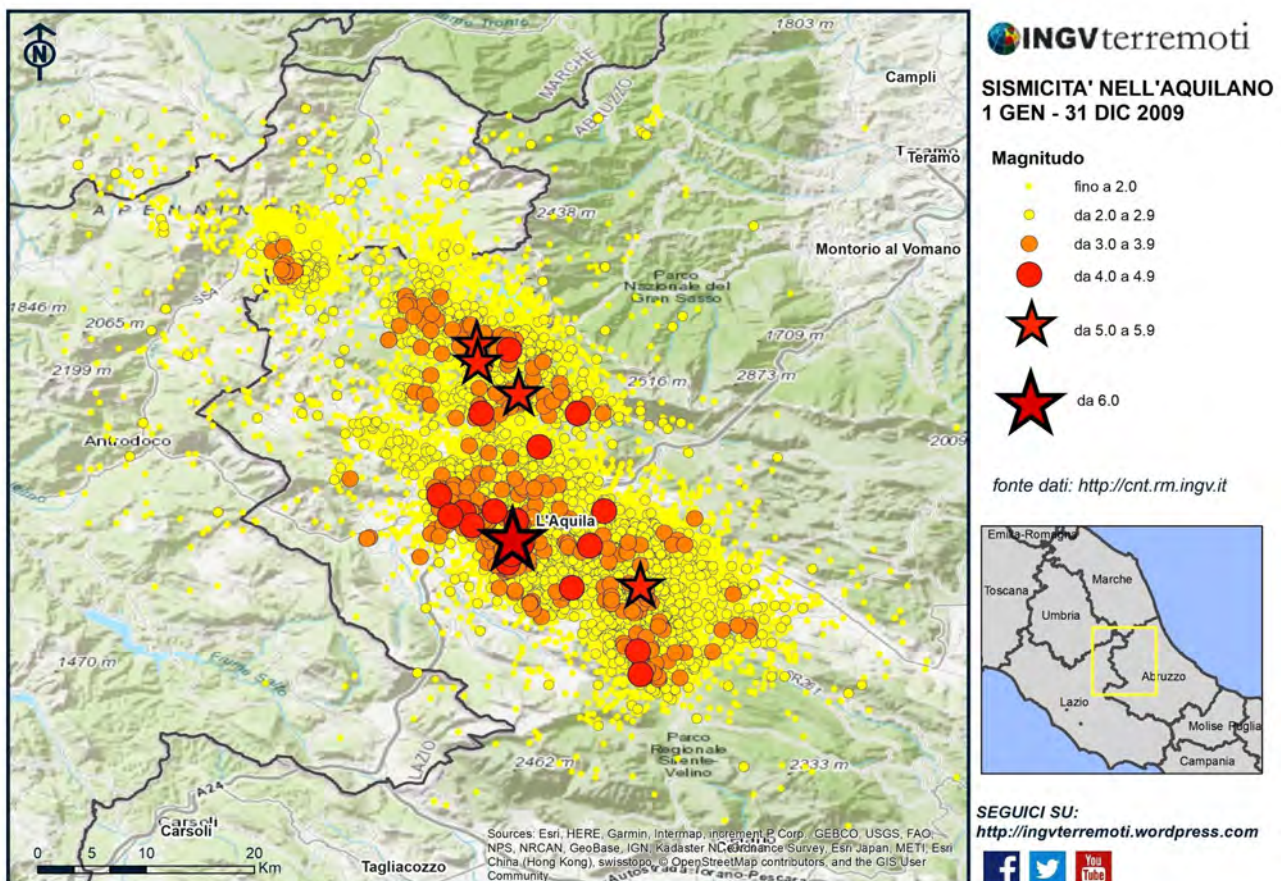


Figura 1.3.i: sequenza sismica in Abruzzo nel 2009.


**NTX<sup>®</sup> 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 si allarme anche quando si lavora in ambienti rumorosi, per una reazione nel più breve tempo possibile.

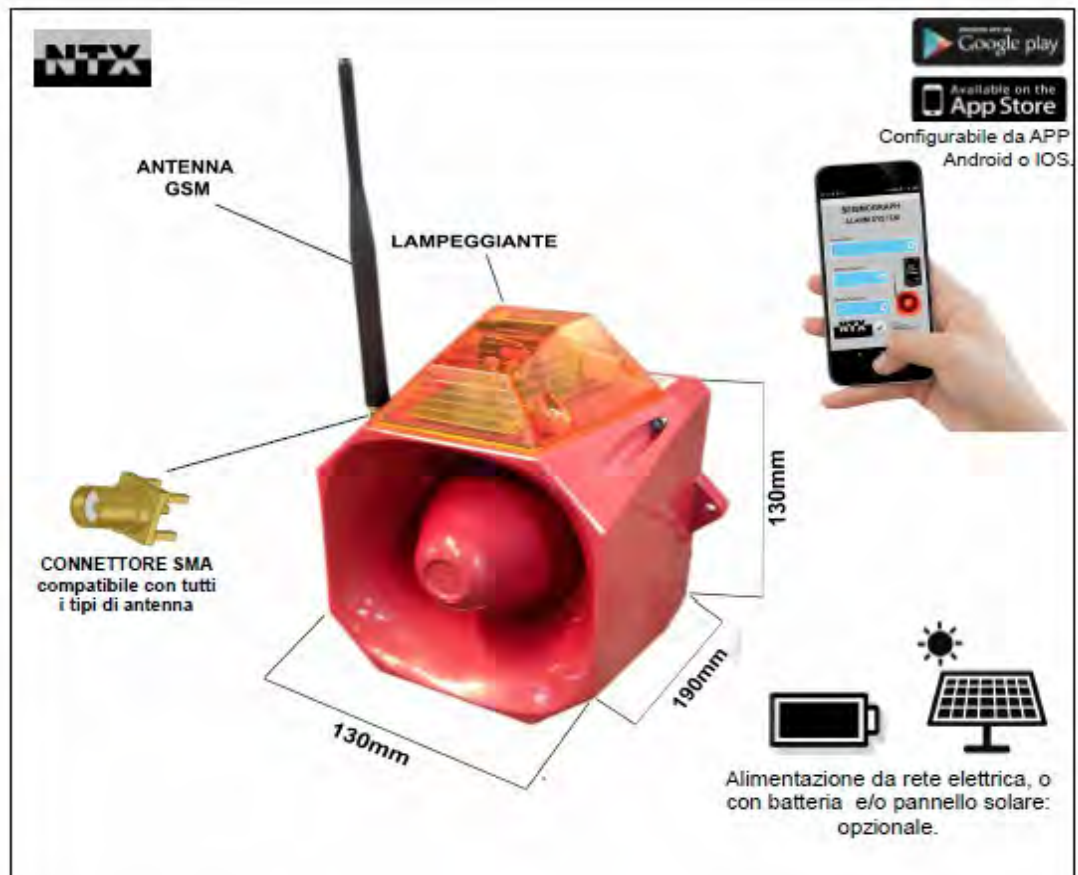


Quando il sismografo rileva vibrazioni maggiori di quelle d'allerta (*trigger*), ordina l'accensione di sirena e lampeggiante sull'escavatore (e/o ad una lista di utenti).

X000117 TDS allarme 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>3</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>4</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>3</sup> ponti e viadotti del MACROLOTTO 1, 2 e 3 dell'Autostrada A3 SA-RC – da Sicignano degli Alburni (SA) a Mormanno (CS)  
<sup>4</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 FUGGETO sx (5 impalcati e 4 pile)

Impalcati a solettone e pile piene a sx (carreggiata dx su rilevato a mezza costa), piani di via dx e sx complanari.

Abbattimento a demolizione integrale delle pile, per determinare il collasso del piano di via, con cerniera plastica in mezzeria dei due impalcati sulle spalle, così da agevolarne il disimpegno dagli appoggi e la stabile collocazione a terra per la successiva demolizione meccanica

Dati di prima approssimazione su geometria e carichi sulle pile e per gli IMPALCATI che andranno ad impattare al suolo in tab. 1.4.5.i.

Descrizione	Sezione [m <sup>2</sup> ]	Lunghezza [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Massa [ton]	Massa [kN]	H dal suolo	E [MJ]
Imp. 1	8,75	12,24	107	268	2627	9	24
Imp. 2		12,50	109	273	2682	9	24
Imp. 3		12,50	109	273	2682	6	16
Imp. 4		12,50	109	273	2673	6	16
Imp. 5		12,24	109	273	2673	6	16

Tab. 1.4.5.i.

Recettori:

1. R01: R-FUGGETO PILE
2. R01: R-FUGGETO IMPALCATI

## **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>5</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<sup>c</sup> (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).

5 ... 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>6</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>6</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>7</sup>:

<sup>7</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".

$$V_{MAX95\%} = 387 * (R / E^{0,187})^{-1,195},$$

dove:

- $V_{MAX95\%}$  [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 \*  $G^8 * 10^{-3}$

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.):  $V_{MAX95\%} = 387 * (20 / 230^{0,187})^{-1,195} = 36 \text{ mm/s.}$



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).

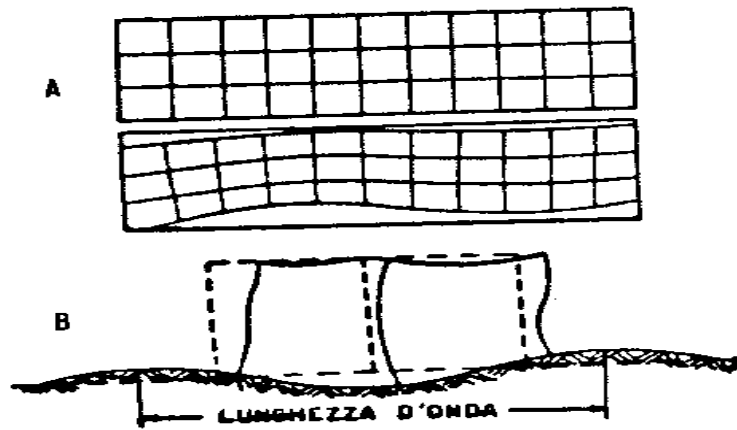


Fig. 3.2.1.ii. Vibrazioni prolungate sulle strutture di dimensioni confrontabili alla lunghezza d'onda dell'impulso sismico (sollecitazioni per forze d'inerzia e spostamenti differenziali).

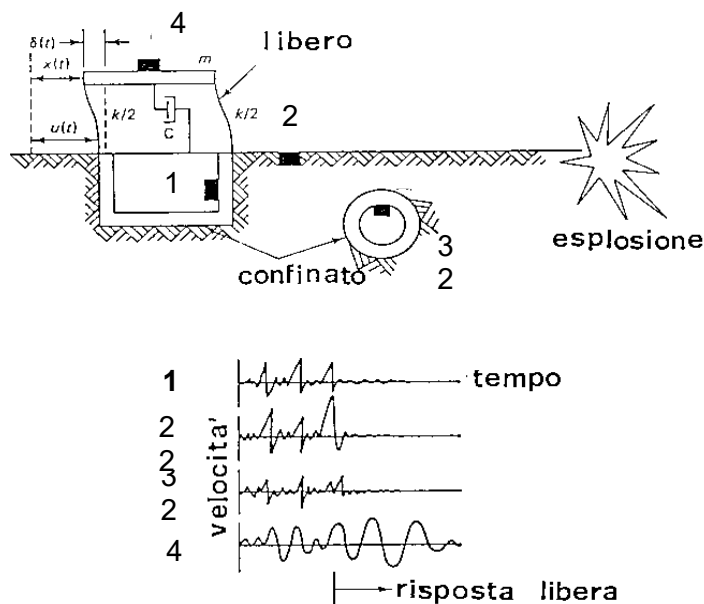


Figura 3.2.1.iii. Effetto delle vibrazioni prolungate. Differente risposta al transiente sismico di strutture con vari gradi di libertà perché in elevazione o interrate.

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].

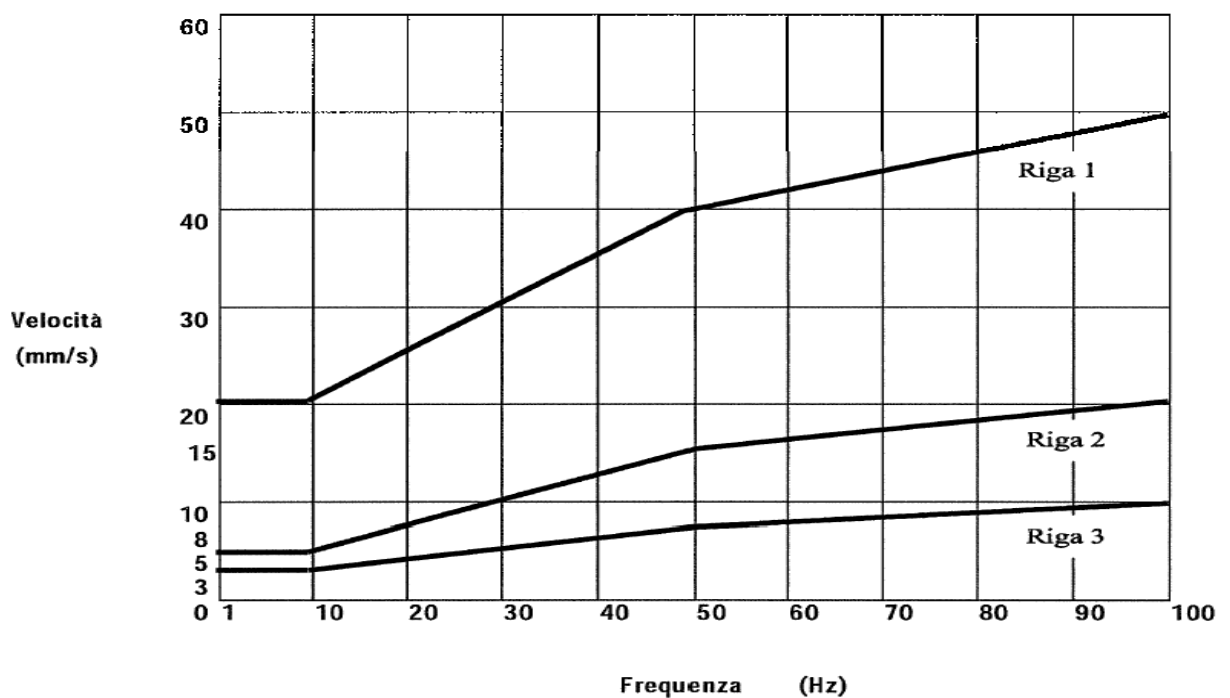


Figura 3.2.2.ii. Grafico dei valori di riferimento in fondazione come da tabella 3.2.2.i.





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].

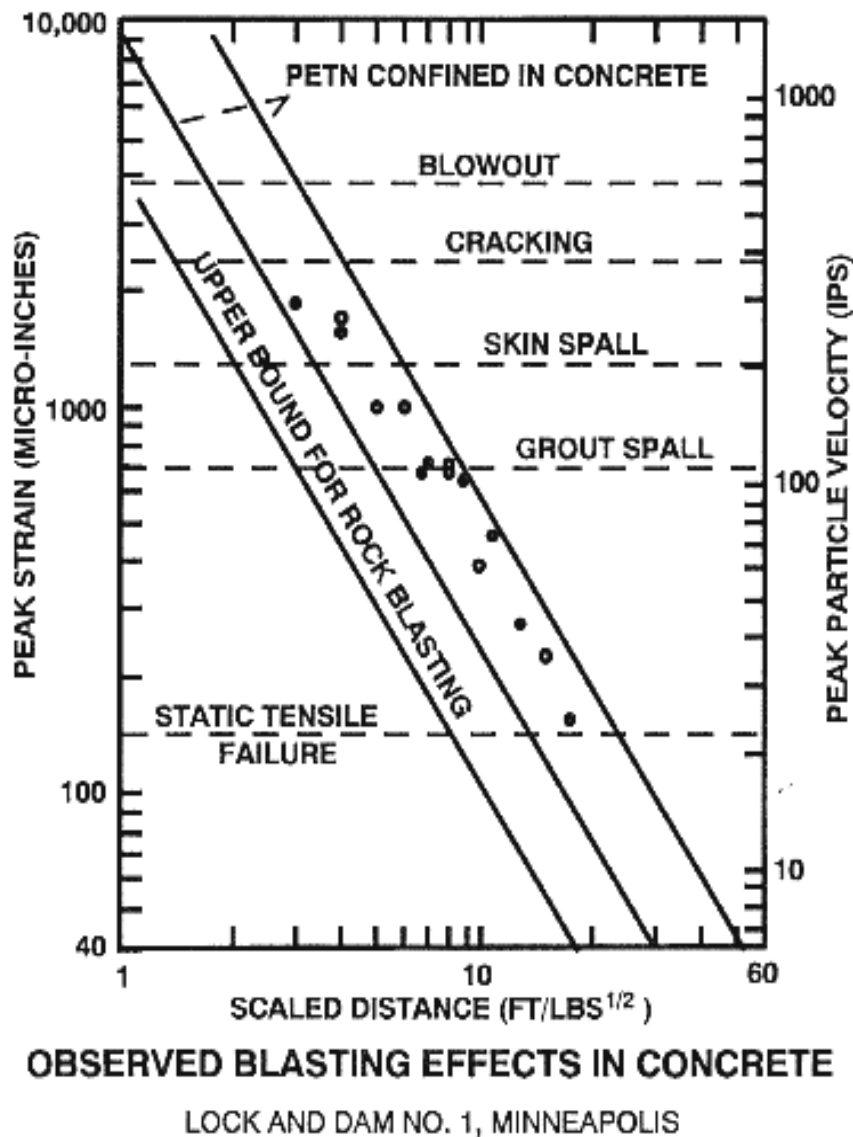


Figure 6-5.

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].

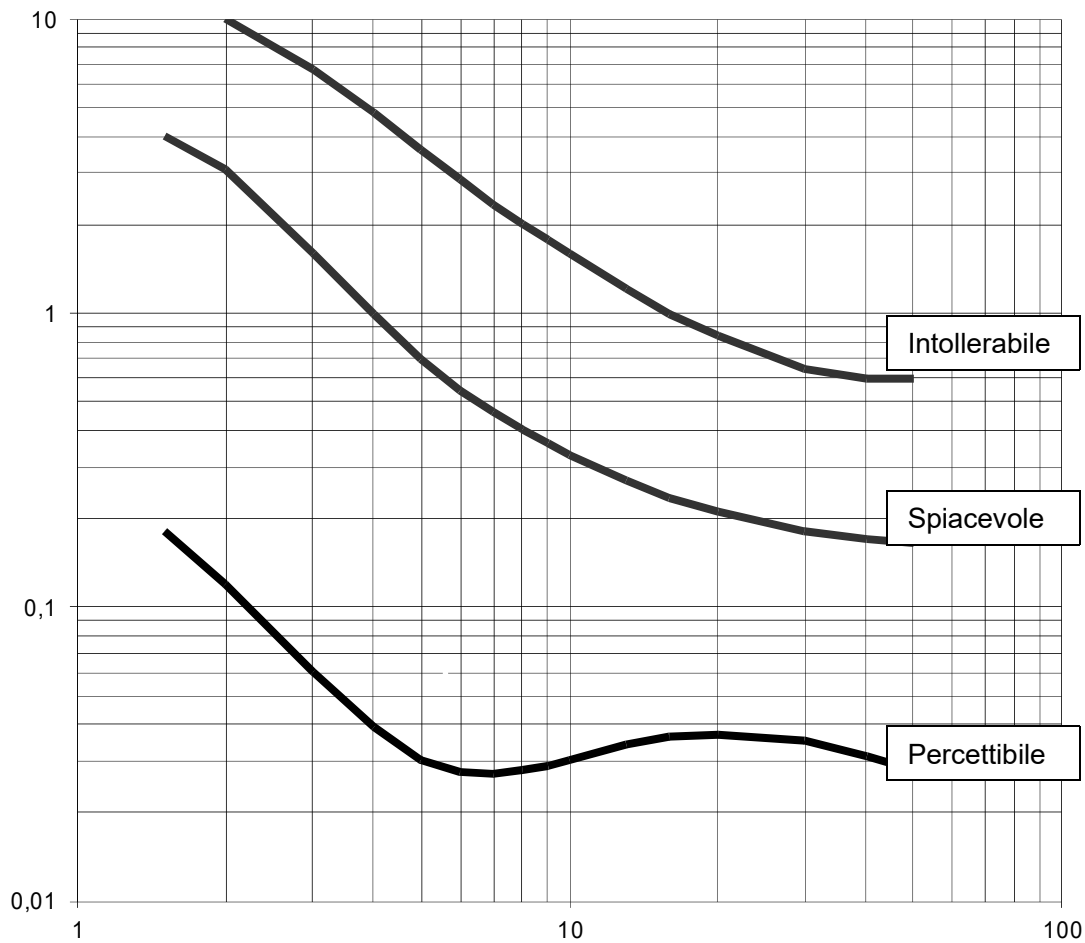


Figura 3.2.3.i. Risposta del corpo umano ad un moto vibratorio [Goldmann, 1948].

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	$5,0 \cdot 10^{-3}$	74
abitazioni (notte)	$7,0 \cdot 10^{-3}$	77
abitazioni (giorno)	$10,0 \cdot 10^{-3}$	80
uffici	$20,0 \cdot 10^{-3}$	86
fabbriche	$40,0 \cdot 10^{-3}$	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	$3,6 \cdot 10^{-3}$	71
abitazioni (notte)	$5,0 \cdot 10^{-3}$	74
abitazioni (giorno)	$7,2 \cdot 10^{-3}$	77
uffici	$14,4 \cdot 10^{-3}$	83
fabbriche	$28,8 \cdot 10^{-3}$	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 detonante, 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 sovrappressioni 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].

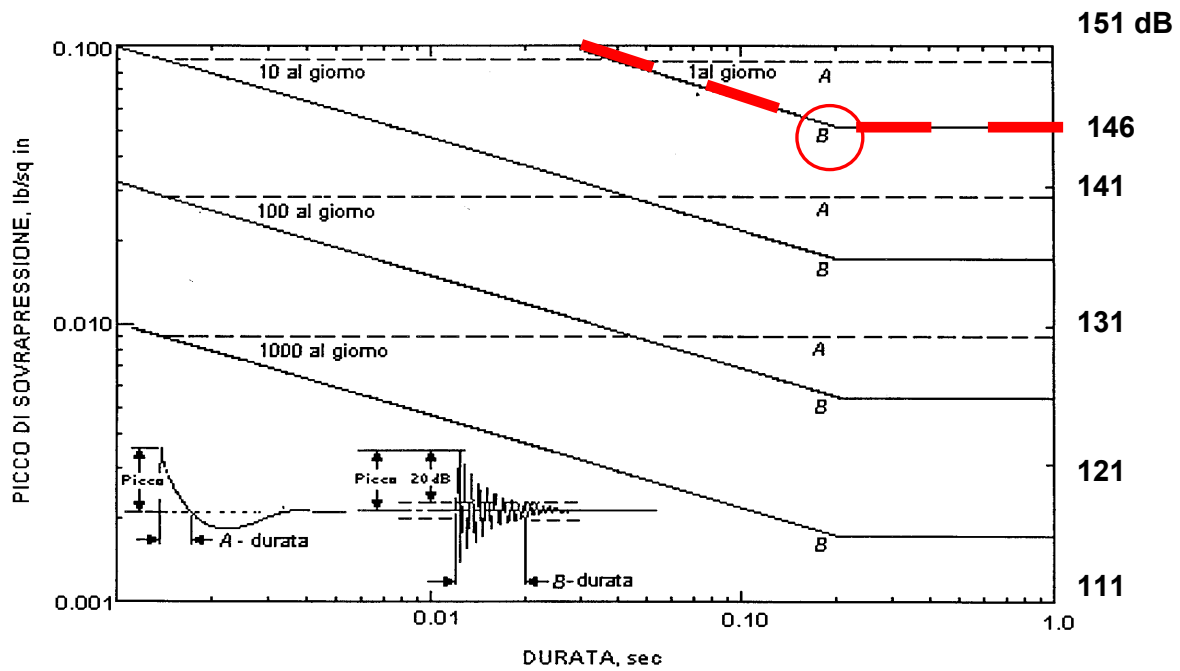


Figura 3.4.3.i. Valori di riferimento per la sopportabilità dell'onda di sovrappressione aerea stabiliti sperimentalmente dal CHBA: Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics, Washington D.C., USA [Siskind et Al., Structure response and ...1980].

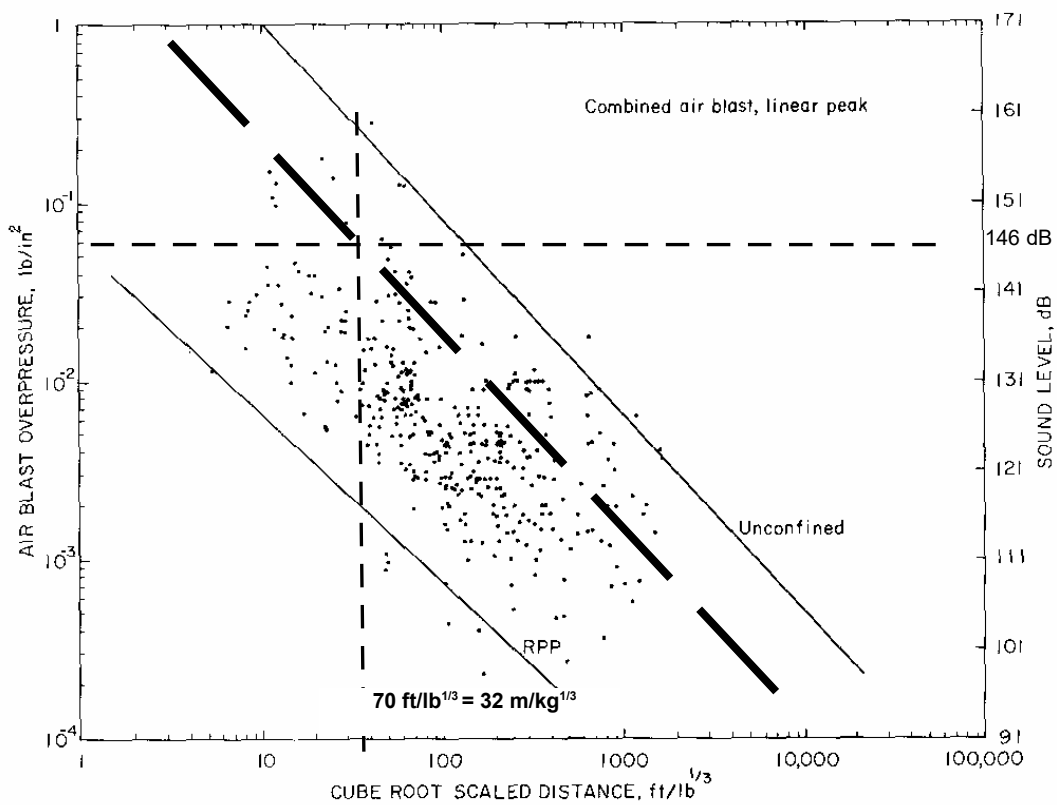


Figura 3.4.4.1.i. Legge di decadimento dell'onda di sovrappressione aerea al variare della distanza scalata sulla radice cubica della carica [Siskind et Al., Structure response and ...1980].

#### 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 (Brasiliiana), 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:

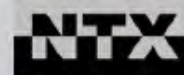
- indicazioni delle finalità del monitoraggio,
- descrizione delle caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata,
- indicazione delle impostazioni per garantire rappresentatività dell'evento fisico misurato (frequenza di campionamento, sensibilità, durata dell'evento, ecc.),
- ubicazione punti 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.

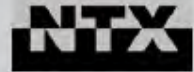
Se richiesto è possibile installare una scheda esterna di controllo in modo che questa invii messaggi di testo ad una lista di numeri di telefono, dando notizia, in tempo reale, del superamento del valore di soglia.

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

- **vibrazioni e onda 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

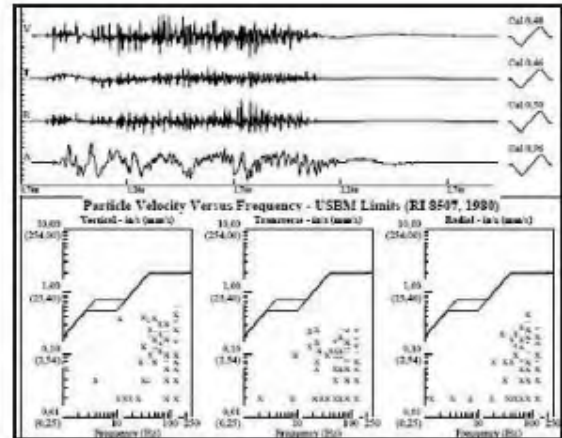


NTX® srl è società certificata UNI EN ISO 9001:2008  
 C.F. e P.IVA 03358890988  
 C.C.I.A.A di Brescia - REA 544322  
 Via Mantova, 59/C - 25017, Lonato del Garda (BS)  
 Tel. +39 030 91 97 596 - Fax +39 030 91 99 124  
 admin@ntx-int.com

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.



The image shows a screenshot of a monitoring report form. At the top, it features the NTX logo and the text 'Società specializzata in Diagnostica e Monitoraggio'. Below this, there are fields for 'Codice Cliente', 'Codice Progetto', and 'Codice Statione'. The main title of the form is 'RAPPORTO DI MONITORAGGIO'. There are several empty boxes and lines for data entry, including a section for 'MISURE' and 'OBSERVAZIONI'.



## 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 I 00638  
Albo Geologi Lombardia  
Sez. A Geol. Specialista n. 1748 AP

