



**COMUNE  
DI ANCONA**



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico Centrale

**AUTORITA' DI SISTEMA  
PORTUALE DEL MARE  
ADRIATICO CENTRALE**

## **STUDIO TECNICO Dott. Ing. GAETANO ROCCO**

### **S.A.I. S.p.A. INSEDIAMENTO PRESSO IL PORTO DI ANCONA MOLO SUD INTERVENTO COMBINATO DI DEMOLIZIONE MECCANICA ED ABBATTIMENTO CONTROLLATO CON ESPLOSIVO DEI SILOS**



*Committente:* **S.A.I. S.p.A.** - via Molo Sud Banchina 21 Ancona



**ECO DEMOLIZIONI**



*Tavola n.:*

# **RIM**

*Data:*

Aprile 2019

*Disegnato:* A. Talevi

*Verificato:* Ing. Gabbanelli

*Scala:* 1:1

*Approvato:* Ing. Rocco

*Il Progettista:*

**Dott. Ing. Gaetano Rocco**

Corso G. Garibaldi, 111 - 60121 Ancona - Tel.: 07156300

Fax: 0712075936 E-mail: [progetti@roccoengineering.it](mailto:progetti@roccoengineering.it)

*Oggetto:*

**RELAZIONE IMPATTO AMBIENTALE E MISURE DI MITIGAZIONE**

file:\lavori\00-2019\19-2019\elaborati dattilo\relazione impatto ambientale e mitigazione

*Proprietà riservata - Vietata la riproduzione, anche parziale, senza autorizzazione.*

## Sommario

0. Premessa .....	2
1. Sollecitazioni indotte nel terreno .....	3
1.1. Blocco composto da n. 3 silos: caduta in direzione Ovest (lato Dogana) .....	4
1.1.1 Prima fase del moto .....	4
1.1.1 Seconda fase del moto .....	6
1.1.2 Fase ammortizzata del moto .....	7
2. Sollecitazioni dinamiche.....	8
2.1 Vibrazioni indotte da esplosivo .....	8
2.1.1 Blocco composto da n. 3 silos .....	10
2.2 Vibrazioni indotte da Crollo .....	11
2.2.1 Blocco composto da n. 3 silos (2° esplosione) .....	12
3. Proiezioni di detriti .....	13
3.1 Blocco composto da n. 3 silos .....	14
4. Sovrappressioni e rumore .....	16
4.2 Piano zonizzazione acustica - Ancona.....	17
4.3 Blocco composto da n. 3 silos .....	18
5. Polveri.....	21
6. Salvaguardia acqua del mare .....	24

## 0. Premessa

Nella demolizione dell'insediamento dei silos SAI in oggetto assume particolare importanza l'analisi della fattibilità ambientale dell'intervento in quanto la realizzazione richiede particolari lavorazioni e tecniche che prevedono l'impiego di esplosivo.

L'analisi del contesto e delle strutture da demolire hanno fornito importanti informazioni riguardanti la fattibilità tecnica dell'intervento, in particolare hanno escluso la presenza di vincoli tali da non permettere l'esecuzione dell'intervento.

Tuttavia l'intervento di demolizione non è a impatto nullo sull'ambiente circostante, infatti nelle immediate vicinanze dell'area di cantiere si trovano punti sensibili, caratterizzati in particolar modo dai capannoni industriali vicini.

Durante la detonazione delle cariche di esplosivo ed a seguito del crollo verranno prodotti una serie di disturbi che andranno ad interessare i punti sensibili sopra esposti.

Tali disturbi sono suddivisibili:

- sollecitazioni dinamiche nel suolo (vibrazioni) prodotte sia dalla detonazione delle cariche di esplosivo sia dal crollo della struttura;
- proiezione di detriti causati dalla detonazione delle cariche di esplosivo e dall'impatto a terra del serbatoio;
- rumore generato dalla detonazione delle cariche;
- polveri prodotte dalla disgregazione della struttura.

Di seguito vengono descritte le grandezze che regolano il generarsi ed il propagarsi di questi disturbi dovuti alla demolizione dei silos della SAI fino ai punti sensibili e gli accorgimenti progettuali che saranno adottati in fase esecutiva per la loro attenuazione in funzione degli schemi di tiro e caricamento definiti nella relazione di calcolo specialistico.

Stante l'esperienza ricavata con l'abbattimento dei silos dell'adiacente insediamento della Silos Granari, dalla profonda conoscenza della tecnica delle esplosioni da parte della SIAG che ha già eseguito molti interventi tra cui, come detto, quello della Silos Granari, è stata progettata la metodica di abbattimento dei Silos della SAI con 4 esplosioni successive come meglio specificato nella relazione generale.

Tale metodica è stata scelta al fine di far abituare sia i non addetti ai lavori alle "volate" (esplosioni) ed allo stesso tempo consentire, agli addetti ai lavori, di eseguire la verifica e la calibrazione in maniera dettagliata dei letti di caduta previsti in fase progettuale.

La presente relazione illustra pertanto gli impatti ambientali e le misure di mitigazione che verranno messe in atto per la demolizione controllata con esplosivo dei silos della SAI.

Gli impatti ambientali dovuti all'abbattimento con esplosione controllata sono:

- Rumore (vedi relazione su impatto acustico)
- Vibrazioni e sollecitazioni nel terreno
- Polveri e proiezioni detriti

Le fasi di demolizione dei silos della SAI con esplosione controllata, sono le seguenti.

Sono state progettate le demolizioni con 4 esplosioni come appresso specificato.

---

### **Descrizione fasi abbattimento silos**

come rilevabile anche dalla descrizione dell'intervento di cui alla relazione generale, si praticherà la demolizione meccanica di tutte le infrastrutture in acciaio, le tettoie a terra, i manufatti in c.a.. Si eliminano anche i pannelli di tamponamento e della copertura delle strutture in acciaio presente sulla sommità dei silos, lasciando soltanto lo "scheletro" della suddetta struttura in acciaio.

Dopo tali fasi di demolizione e smantellamento meccanico, si passerà all'abbattimento del blocco dei 12 silos, in sommità lo scheletro della struttura in acciaio, ed in adiacenza (lato porto) la scala in acciaio esterno.

A questo punto si passerà all'abbattimento controllato con esplosivo da realizzare in 4 fasi successive.

I silos sono già suddivisi strutturalmente un giunto tecnico che divide in 2 gruppi da 6 silos cadauno.

Per eseguire la demolizione con esplosivo è necessario suddividere a loro volta questi 2 gruppi di silos con taglio con filo diamantato, in altri 2 gruppi, per realizzare in totale i 4 gruppi di silos da abbattere.

1) 1° fase abbattimento 3 silos lato dogana direzione abbattimento nord/ovest.

Si effettua come detto il taglio con filo diamantato e si abbattono i primi 3 silos in, direzione nord/ovest, con preparazione letto di assorbimento.

Tale abbattimento non occupa nè la rotatoria nè i binari della viabilità portuale.

2) 2° fase abbattimento degli altri 3 silos sempre in linea di abbattimento nord/ovest sul letto di macerie di cui al 1° abbattimento, e quindi si abbattono anche altri 3 silos in direzione nord/ovest, con letto di caduta più arretrato.

A questo punto rimangono i 6 silos lato porto con la scala in acciaio.

3) 3° fase abbattimento gruppo silos 2+2 x1/2 silos. Si effettua un taglio a filo diamantato sul diametro di 2 silos.

Si prepara il letto di macerie direzione nord (sull'inerte dei silos precedentemente abbattuti) e si abbattono i silos con direzione di abbattimento perfettamente perpendicolare a quella di cui alle fasi 1 e 2, ovvero in direzione nord, dove erano posizionati i silos precedentemente abbattuti.

4) 4° fase con la stessa modalità e stessa direzione di abbattimento si abbatte l'ultimo gruppo di 2+2x1/2 silos sempre in direzione nord sul letto di macerie dell'abbattimento precedente ed in questa fase l'abbattimento comprende anche la caduta della scala in acciaio.

## **1. Sollecitazioni indotte nel terreno**

Le sollecitazioni prodotte dalle strutture all'atto del crollo possono essere simulate in modo relativamente semplice. Esse devono essere suddivise in due quote:

1. le azioni che, durante le tre fasi del crollo, producono le tensioni di contatto fra la base del rilevato ed il molo;
2. le azioni che, durante la propagazione del microsisma locale, sollecitano le strutture vicine.

Le azioni prodotte dall’impatto delle strutture con il suolo sono state determinate nell’ipotesi più gravosa che il concio di silos non si fratturi durante la caduta, ma nella fase di impatto con i detriti di ammortizzamento, trasferendo tutta l’energia di caduta al molo senza alcuna dissipazione.

L’analisi del moto dei silos viene svolta in maniera sintetica basandosi sulle seguenti ipotesi di calcolo:

- La struttura in caduta, a favore di sicurezza, si suppone rigida.
- Non si prevedono, a favore di sicurezza, fratture nel modulo, in modo che l’energia di caduta non sia dissipata e sia trasmessa integralmente al molo durante l’impatto.
- La massa del modulo si suppone concentrata nel suo baricentro.
- Nella prima fase del moto, il centro di rotazione è la base dei pilastri integri.
- Nella seconda fase del moto, il centro di rotazione è lo spigolo di contatto fra il modulo ed il molo.
- La fase di moto ammortizzato inizia quando il modulo entra in contatto con il cumulo di detriti previsto per assorbire l’urto.
- I detriti offrono, durante il contatto, una reazione limite pari alla loro resistenza a compressione.
- Le pressioni di contatto si suppongono uniformemente distribuite alla base del cumulo.

### 1.1. Blocco composto da n. 3 silos: caduta in direzione Ovest (lato Dogana)

#### 1.1.1 Prima fase del moto

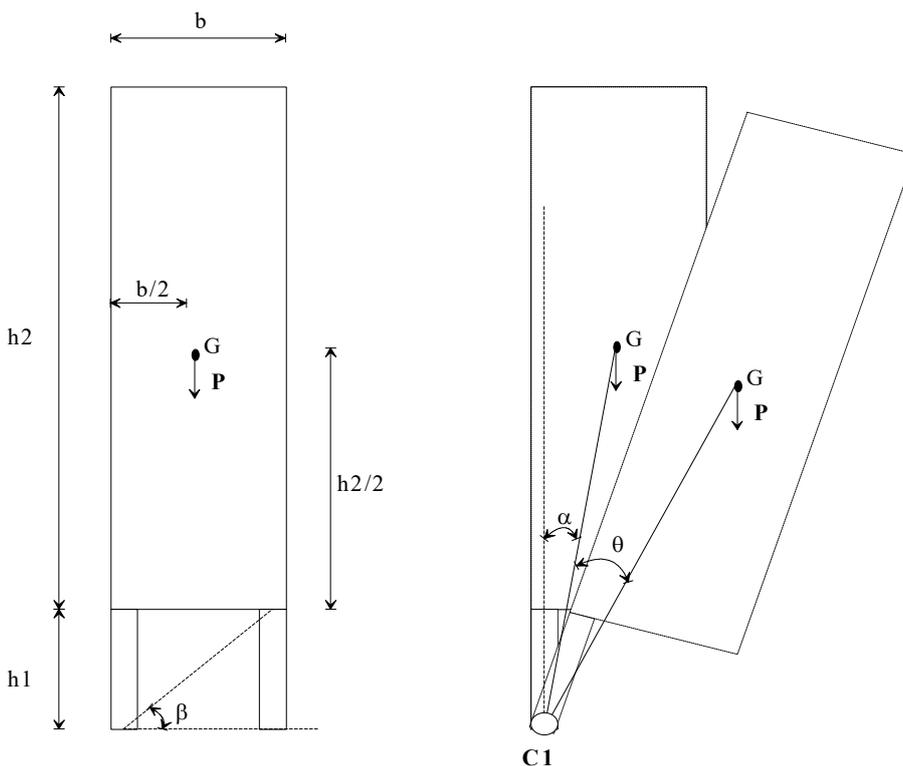


Figura 1 | Notazioni usate nella prima fase del moto.

L’equazione del moto è:

$$I_1 \frac{d^2}{dt^2} \theta(t) = P \cdot d \cdot \sin[\alpha + \theta(t)]$$

con  $0 \leq \theta(t) \leq \beta$ , dopo integrazione diretta con velocità iniziale nulla, una stima delle pressioni all'impatto indica che esse saranno tali da produrre la possibile rottura della pavimentazione del molo. Si ritiene necessaria l'introduzione di un manto di materiale assorbente che protegga la zona d'impatto del silos.

Massa dei silos  $P = 28.000 \text{ kN} = 2.800.000 \text{ Kg}$

$h_1 = 11.00 \text{ ml}$

$h_2 = 33.00 \text{ ml}$

$b = 9.40 \text{ ml}$

$$\alpha = \arctang\left(\frac{\frac{b}{2}}{h_1 + \frac{h_2}{2}}\right) = \arctang\left(\frac{\frac{9.40}{2}}{11 + \frac{33.00}{2}}\right) = 0.169 \text{ rad}$$

$$\beta = \arctang\left(\frac{11}{9.40}\right) = 0.864 \text{ rad}$$

$$I = \frac{P}{9.81} \left(h_1 + \frac{h_2}{2}\right)^2 = \frac{2.800.000}{9.81} \left(11 + \frac{33}{2}\right)^2 = 285.423,02 * 756,25 = 2.16 * 10^8 \text{ Kgm}^2$$

L'equazione del moto, dopo integrazione diretta, porta alla seguente relazione:

$$\theta = 0, 0.001 \times \beta$$

$$\omega(\theta) = \left[ \frac{2Pd}{I} (\cos(\alpha) - \cos(\alpha + \theta)) \right]^{\frac{1}{2}}$$

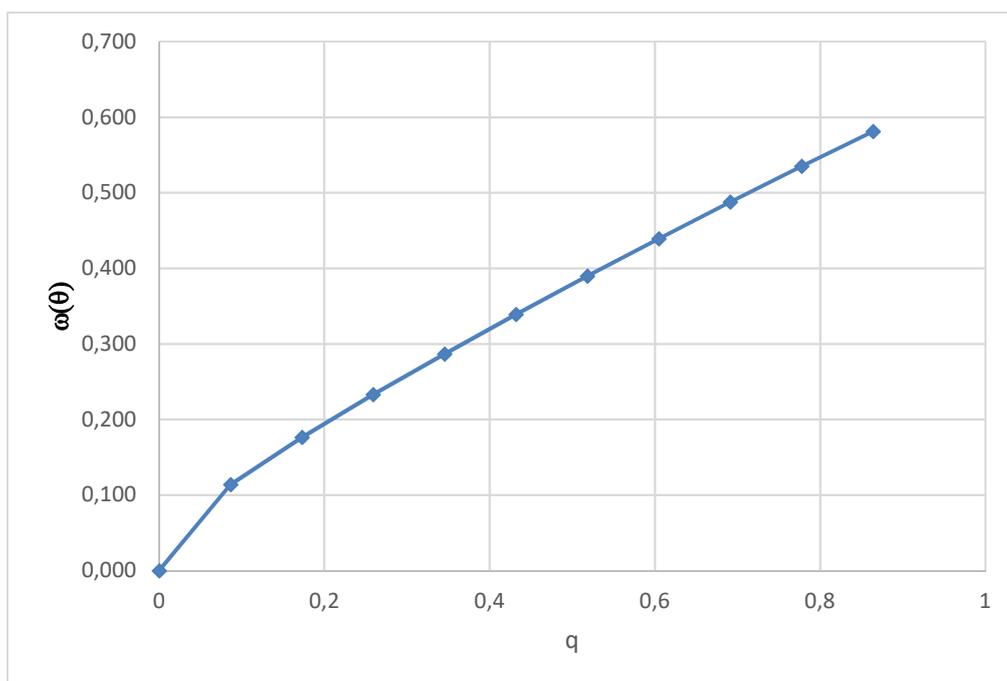


Figura 2 | variazione di  $\omega(\theta)$

$$\omega(\beta) = 0.581 \text{ rad/s}$$

La velocità dello spigolo è:

$$v(\beta) = \sqrt{(h_1^2 + b^2)} \omega(\beta) = 8.406 \text{ m/s}$$

Dopo aver posto:

$$\rho = \frac{2400}{981 \cdot 100^3} = \text{densità calcestruzzo} = 2.446 \times 10^{-6} \text{ Kg/cm}^3$$

$$C = (300000/\rho)^{1/2} = 350213$$

$$\sigma = \rho C v(\beta) \cdot 100/2 = 360.04 \text{ Kg/cm}^2$$

Le pressioni all'impatto possono portare alla rottura della pavimentazione sottostante i silos. Al fine di ridurre anche l'effetto vibratorio nel terreno si giudica necessaria la predisposizione di un materasso di

caduta avente larghezza pari alla lunghezza del blocco silos, ossia uguale a 30 ml, sconfinamento laterale (rampe laterali) 2,50 ml ed un'altezza media di circa ml 5,00.

### 1.1.1 Seconda fase del moto

Dopo il primo impatto il centro di rotazione cambia e diviene lo spigolo. La velocità angolare prima e dopo l'impatto rimane invariata a causa dell'assenza di momenti impulsivi. Nel seguito si usano le notazioni della figura 3.

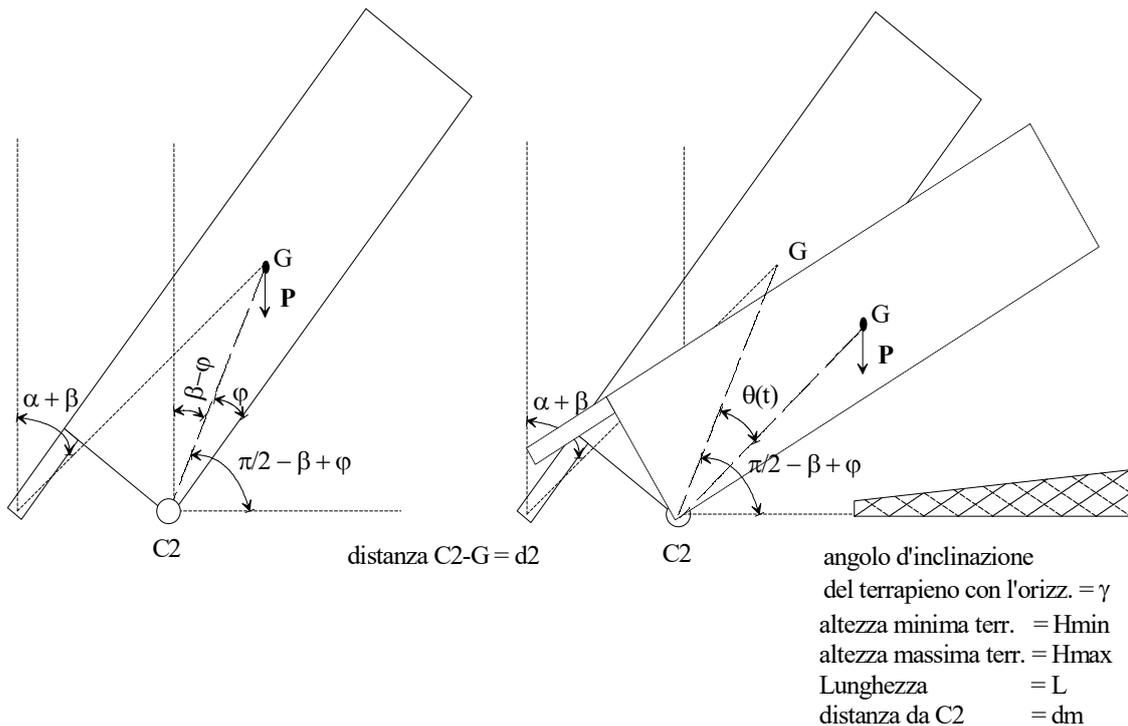


Figura 3 | Notazioni relative alla seconda fase del moto

Usando le notazioni di Fig. 3, l'equazione del moto è

$$I_2 \frac{d^2}{dt^2} \theta(t) = P \cdot d_2 \cdot \sin[\pi/2 - \beta + \phi - \theta(t)]$$

con  $0 \leq \theta(t) \leq \pi/2 - \beta - \gamma$

Dopo l'impatto il centro di rotazione cambia e diviene lo spigolo. La velocità angolare prima e dopo l'impatto rimane invariata a causa della mancanza di momenti impulsivi. Pertanto la velocità angolare nella seconda fase del moto è data dalla relazione:

$$\omega_2(\theta) = \left[ \frac{2Pd_2}{I} \left( \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) - \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta + \theta\right) \right) + \omega(\beta)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\theta=0, 0.001 \times \beta$$

$$\omega_2(\beta) = 0.907 \text{ rad/s}$$

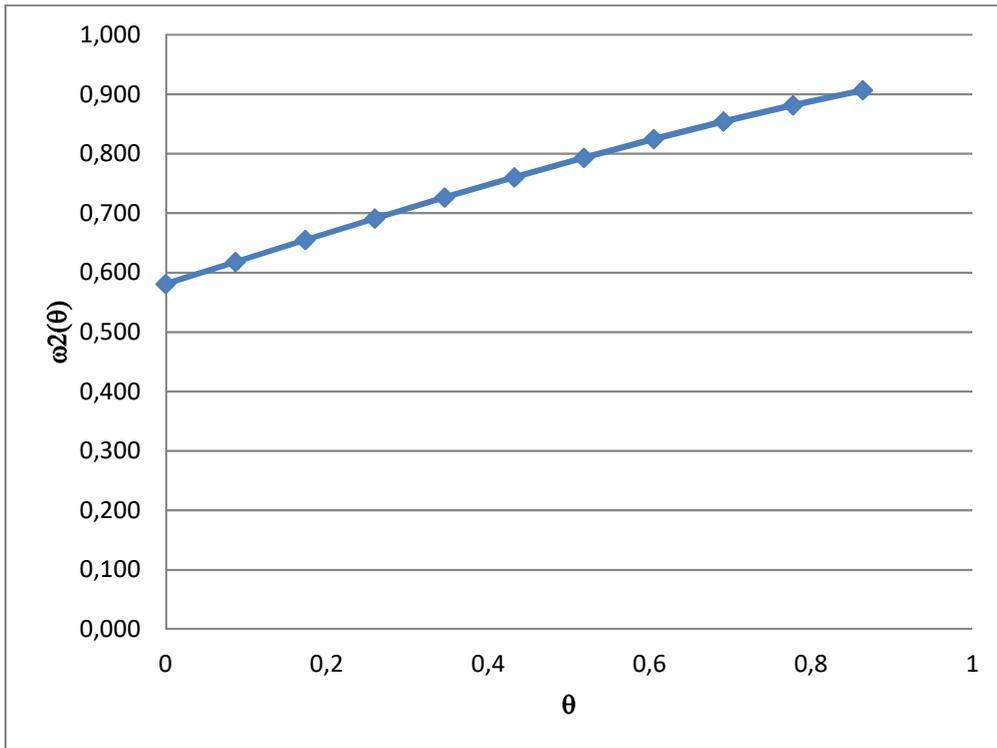


Figura 4 | Variazione di  $\omega_2(\theta)$

La velocità dell'estremo più lontano (33.00 ml) è:

$$v(\theta) = h_2 \omega_2(\beta) = 29.93 \text{ m/s}$$

Dove  $d_2 = 16.50 \text{ ml}$

### 1.1.2 Fase ammortizzata del moto

Considerando che la reazione,  $F$ , offerta dal terrapieno ammortizzante sia applicata nel baricentro della zona di contatto posto a distanza  $d_t$

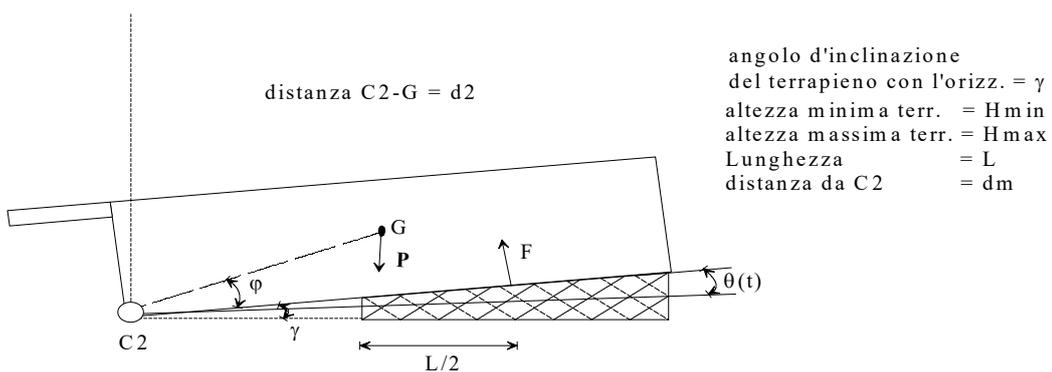


Figura 5 | Notazioni relative alla terza fase del moto

il moto durante la terza fase ammortizzata è descritto dalla seguente equazione:

$$I_2 \frac{d^2}{dt^2} \theta(t) = P \cdot d_2 \cdot \sin[\pi/2 - \beta + \phi - \theta(t)] - F \cdot d_t$$

con  $0 \leq \theta(t) \leq \gamma$ .

Disponendo di un letto di caduta che inizia a 5 ml dallo spigolo, centro di rotazione, ed inclinato di:

$$\gamma = 0.045 \text{ rad}$$

$$\omega 2(\beta - \gamma) = 0.894 \text{ rad/s}$$

$$v(\theta) = h_2 \omega 2(\beta - \gamma) = 29.50 \text{ m/s}$$

$$\omega 3(\theta) = \left[ \frac{2Pd_2}{I} \left( \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) - \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma + \theta\right) \right) + \omega 2(\beta - \gamma)^2 - LB100^2 \left( \frac{2}{I} \sigma_1 \theta \right) \left( \frac{L}{2} + 8 \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$a(\theta) = \left[ \frac{2Pd_2}{I} \left( \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) - \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma + \theta\right) \right) + \omega 2(\beta - \gamma)^2 - LB100^2 \left( \frac{2}{I} \sigma_1 \theta \right) \left( \frac{L}{2} + 8 \right) \right]$$

Dalla risoluzione delle equazioni sopra riportate si ottiene un valore  $a_f = 0.01$

A cui corrisponde un affondamento pari a  $\delta = h_2 a_f = 0.35 \text{ m}$ , valutabile realmente in 0.50 ml

## 2. Sollecitazioni dinamiche

L'utilizzo di esplosivi per la demolizione di strutture di elevata altezza comporta due tipologie di vibrazioni: quelle generate dalla esplosione delle cariche e quelle provocate dalla caduta dei manufatti sul terreno.

Le prime, per quanto eclatanti poiché associate al caratteristico botto, sono di frequenza molto elevata e ampiezza limitata e pertanto totalmente trascurabili nelle considerazioni relative alla integrità strutturale delle strutture limitrofe.

Le seconde, associate all'impatto delle strutture a terra sono invece normalmente a bassa frequenza e con intensità variabile in funzione della mole e della forma delle stesse. In generale si può affermare che le vibrazioni sono funzionali dell'energia trasferita durante l'impatto delle strutture col terreno e per questo sono numerosi i fattori per cui le vibrazioni che si producono non sono mai preoccupanti: in particolare va osservato che la struttura non impatta il terreno tutta insieme ma in un arco di tempo variabile tra i due ed i cinque secondi, e di conseguenza viene diluito il picco delle vibrazioni prodotte, che la maggior parte dell'energia viene dissipata nella disgregazione del materiale della struttura stessa e quindi non trasferita nel terreno e che le vibrazioni si riducono esponenzialmente al crescere della distanza del punto di osservazione e pertanto quasi sempre gli edifici da preservare sono a distanza di sicurezza. In caso di necessità la formazione di cuscini di materiali incoerenti opportunamente progettati crea un letto di caduta che durante l'impatto dissipa energia in eccesso ed evita il propagarsi di vibrazioni nel terreno; inoltre variando la posizione e tempistica di esplosione delle cariche si può ulteriormente variare, dilatandola nel tempo, la dinamica di caduta del manufatto.

### 2.1 Vibrazioni indotte da esplosivo

L'effetto sulle strutture delle vibrazioni prodotte da esplosioni è qualitativamente analogo agli effetti sismici: la differenza sostanziale consiste nel fatto che le vibrazioni da esplosione hanno frequenze notevolmente più elevate (quindi meno pericolose), più breve durata e minore elongazione.

I parametri che entrano in gioco nella definizione del piano di tiro sono la quantità di esplosivo fatta brillare contemporaneamente (CPD), il numero dei tempi di innesco e la geometria della volata. I parametri che caratterizzano il mezzo di trasmissione sono la distanza tra punto di scoppio e strutture da tutelare e delle costanti dimensionali, in funzione del tipo di terreno.



Figura 6 | Schema parametri di analisi e mitigazione del rischio



Figura 7 | Sigillatura fori da mina con schiuma poliuretanicà

L'effetto sulle strutture delle vibrazioni prodotte da esplosioni è qualitativamente analogo agli effetti sismici: la differenza sostanziale consiste nel fatto che le vibrazioni da esplosione hanno frequenze notevolmente più elevate (quindi meno pericolose), più breve durata e minore elongazione.

In letteratura ci sono diverse formule empiriche per il calcolo della PPV; in esse compaiono le grandezze che caratterizzano il piano di tiro utilizzato ed il mezzo in cui si propaga l'onda sismica.

I parametri che entrano in gioco nella definizione del piano di tiro sono la quantità di esplosivo fatta brillare contemporaneamente (CPD), il numero dei tempi di innesco e la geometria della volata. I parametri che caratterizzano il mezzo di trasmissione sono la distanza tra punto di scoppio e strutture da tutelare e delle costanti dimensionali, in funzione del tipo di terreno.

Nella forma di tipo più generale, queste relazioni possono essere espresse nel seguente modo:

$$v=KR^aCPD^b$$

dove:

$v$  [mm/s] è la velocità particellare di picco del fenomeno vibratorio;

R [m] è la distanza tra punto di scoppio e punto di misura della vibrazione;

CPD [Kg] è la massima carica per ritardo o massima carica esplosiva;

K,a,b [-] sono costanti adimensionali in funzione della geometria, della volata e del terreno.

La normativa dell'USBM (United States Bureau of Mines) considera indipendenti gli effetti di due cariche la cui esplosione avviene con scarto temporale di almeno 9ms; le normative europee considera assenza di cooperazione per ritardi superiori ai 20 ms (i detonatori utilizzati nella demolizione sono microritardati ossia hanno un tempo di ritardo di 25 ms).

La relazione che si è scelto di utilizzare per una previsione dei picchi di velocità indotti dall'esplosione è quella di Langerfors e Kihloström nella forma:

$$v = K \sqrt{\frac{CPD}{R^3}}$$

Il parametro K dipende essenzialmente dalle caratteristiche del mezzo di trasmissione e può assumere valori compresi tra 0 (terreni incoerenti) e 400 (rocce); il valore 0 è il minimo ideale ad indicare un materiale che non trasmette alcuna perturbazione ed in genere non viene utilizzato. In base alla tipologia del terreno di fondazione riportato nella relazione geologica è possibile caratterizzare il sito e scegliere un valore opportuno del coefficiente. Lo schema litostratigrafico dell'area di cantiere è costituito da materiali argillosi e sabbiosi di riporto, sovrastanti uno strato sabbioso limoso sovrastanti un substrato argilloso limoso marnoso. Il terreno può essere assimilato a sabbie umide con un coefficiente k valutabile pari a 100.

### 2.1.1 Blocco composto da n. 3 silos

Si procede di seguito col calcolo del massimo valore di carica per ritardo di volata sulla base della distanza tra la struttura minata e la costruzione più vicina.

#### - Fabbricato più vicino

Identif.	Distanze	ml
1	Capannone	65.00

Nel caso in esame, la massima carica cooperante risulta essere quella avente il ritardo n. 4, in cui detonano contemporaneamente 3,50 Kg di esplosivo.

Essendo definite le vibrazioni indotte da esplosivo come vibrazioni occasionali si fa riferimento la norma Svizzera SN 640312a – “Effect des ébranlement sur le construction”. La classe principe di riferimento è la 3 ovvero quella della sensibilità normale (edifici civile abitazione) che per frequenze elevate <30 Hz la ppv max è uguale a 15 mm/s. Tale valore, può essere raddoppiato nel caso di edifici poco sensibili (classe 2), come lo sono quelli industriali prossimi ai silos da abbattere.

Classe	Limiti (p.p.v. in mm /s), per le diverse frequenze		
	< 30 Hz	30 ÷ 60 Hz	> 60 Hz
3 (sensibilità normale)	15 mm/s	20 mm/s	30 mm/s
1 (molto poco sensibile)	3 volte i valori della classe 3		
2 (poco sensibili)	2 volte i valori della classe 3		
4 (particolarmente sensibile)	0.5 volte i valori della classe 3		

**Figura 1 | Valori limite della Peak Particle Velocity (p.p.v.) secondo la norma SN 640312a.**

Si ottengono inserendo i valori suddetti di K, velocità (v) e distanze (R) le massime cariche per ritardo utilizzabili in ciascun ritardo per rimanere al di sotto dei limiti di vibrazione imposto dalla Norma suddetta e rispettivamente:

- $Q = 10.50 \text{ kg}$  per la volata in oggetto;

Se si confrontano i valori limite ottenuti con le rispettive massime cariche per ritardo ricavate in ogni edificio dagli schemi di caricamento realmente adottati, si può vedere che in nessun caso viene mai raggiunto il valore limite.

Edifici	Valore limite teorico di carica per ritardo CPD (kg)	Massima Carica per ritardo reale CPD (kg)
Capannone	10.50	3,50

Volendo fare un confronto sulle velocità attese si ha che per la massima carica per ritardo reale, pari a 3,50Kg la previsione di picco fornisce:

$$v = 100 \sqrt{\frac{4.50}{65^2}} = 9.3 \text{ mm/s}$$

**inferiore ai 15 mm/s della Norma sopra riportata che fa riferimento ad edifici normali. Essendo le strutture all'interno dell'area portuale definibili come poco sensibili se non addirittura molto poco sensibili i valori massimi della velocità ammissibile può essere duplicata se non addirittura triplicata, raggiungendo quindi valori pari a 45 mm/s.**

Volendo calcolare in prima approssimazione la frequenza delle vibrazioni del suolo prodotte dalle esplosioni, si può far riferimento alla seguente formula:

$$F = \frac{1}{0.02 \log R} = \frac{1}{0.02 \log 65} = 27.58 \text{ Hz}$$

## 2.2 Vibrazioni indotte da Crollo

Le grandezze che governano la propagazione delle onde sismiche prodotte dal crollo sono essenzialmente due:

- il tipo di terreno attraversato dalle onde di vibrazione durante la demolizione;
- la distanza che intercorre tra il punto di misura ed il baricentro delle macerie a terra.
- quantità di energia liberata durante il crollo



Figura 8 | Schema parametri di analisi e mitigazione del rischio

Il crollo della struttura provocherà delle vibrazioni del terreno del molo. Le vibrazioni devono essere valutate preventivamente per evitare danni alle opere vicine.

Le sollecitazioni prodotte dalle strutture all'atto del crollo possono essere simulate in modo relativamente semplice. Esse devono essere suddivise in due quote:

3. le azioni che, durante le tre fasi del crollo, producono le tensioni di contatto fra la base del rilevato ed il molo (si rimanda alla relazione geotecnica – All. 04);
4. le azioni che, durante la propagazione del microsisma locale, sollecitano le strutture vicine.

### 2.2.1 Blocco composto da n. 3 silos (2° esplosione)

L'effetto che una determinata porzione di manufatto provoca nel mezzo contro cui impatta viene infatti correlato alle energie che vengono coinvolte durante il crollo.

La previsione dell'intensità degli scuotimenti quantificati in PPV (mm/s) prodotti dai crolli strutturali sulle vicine strutture e punti sensibili è stato fatto utilizzando la seguente empirica di Zhou-Jin (2002) in funzione della distanza dal punto di impatto delle macerie e dell'energia potenziale dell'edificio.

La formula segue l'approccio della distanza scalata sulla radice cubica dell'energia liberata dal crollo. Un buon indicatore dell'energia gravitazionale da essa posseduta prima del crollo è data dal prodotto della loro massa per l'accelerazione di gravità  $Mgh$ .

La formula elaborata Zhou e Jin è:

$$ppv = 2.21 * \left[ \frac{R}{\left( \frac{Mg}{\sigma} \right)^{\frac{1}{3}}} \right]^a$$

Dove ppv è la velocità particellare di picco, in mm/s, R la distanza dal punto di impatto in m, M la massa dell'edificio in ton, g l'accelerazione di gravità in  $m/s^2$ , h l'altezza del baricentro della struttura in m.

Nel caso oggetto di intervento si hanno i seguenti parametri:

M = 1360 ton;

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

h = 27.5 m

R = 65 ml

$\sigma = 100$

a = -1.46

La velocità particellare di picco valutata è pari a 3.61 mm/s inferiore al massimo di normativa

Classe	Limiti (p.p.v. in mm /s), per le diverse frequenze		
	< 30 Hz	30 ÷ 60 Hz	> 60 HZ
3 (sensibilità normale)	15 mm/s	20 mm/s	30 mm/s
1 (molto poco sensibile)	3 volte i valori della classe 3		
2 (poco sensibili)	2 volte i valori della classe 3		
4 (particolarmente sensibile)	0.5 volte i valori della classe 3		

**Figura 2 | valori limiti della Peak Particle Velocity (p.p.v.) secondo la norma SN 640312a.**

Si riportano inoltre le velocità di picco a ml 100 e ml 150 dal punto di impatto:

ppv/100 ml = 1.93 mm/s

ppv/150 ml = 1.07 mm/s

I controlli in corso d'opera sono importanti per ogni aspetto del lavoro, al fine di verificare la correttezza dell'intervento condotto, e, pertanto anche per quanto concerne gli aspetti ambientali. I controlli in campo ambientale divengono, poi fondamentali quando gli impatti possono avere ricadute su obiettivi sensibili esterni all'area di intervento.

Vista l'importanza dell'intervento in oggetto si ritiene opportuno durante l'esecuzione dei lavori:

- Eseguire delle misurazioni degli impatti acustici e delle polveri aero disperse;
- eseguire controlli delle vibrazioni trasmesse al suolo.

### 3. Proiezioni di detriti

La balistica dei detriti derivati dalla frantumazione del materiale è una scienza empirica, ma comunque studiata e prevedibile. È possibile calcolare con buona approssimazione la distanza massima alla quale arriverà il materiale in base alla quantità di esplosivo utilizzato, alla tempistica delle detonazioni ed al volume di materiale da demolire. Tuttavia in pochi casi ormai ci si permette di disperdere detriti nel circondario. Quando gli spazi a disposizione sono insufficienti i professionisti degli esplosivi hanno l'esperienza necessaria a predisporre le necessarie protezioni, utilizzando a seconda dei casi barriere di rete, lamiere o materiali di recupero per ridurre la gittata dei frammenti. Sono stati compiuti negli anni studi sperimentali sul campo che hanno permesso di individuare a seconda delle caratteristiche del materiale

interessato dalle cariche il sistema più opportuno di protezione contro lanci balistici. Oggi è possibile anche eliminare totalmente il problema riducendo a zero il lancio di detriti dal punto di scoppio delle cariche.

Tra i disturbi ravvisabili durante l'esecuzione dell'intervento di demolizione con esplosivo si riscontra il lancio di frammenti spinti dai gas di esplosione; per prevedere la velocità teorica dei frammenti e la gittata ci sono formule empiriche in funzione dell'incidenza di esplosivo  $C_s$  misurata in ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) e l'alzo iniziale della traiettoria.



Figura 9 | Schema parametri di analisi e mitigazione del rischio

È possibile predeterminare la distanza teorica nel vuoto a cui possono arrivare i detriti di esplosione tramite la relazione seguente (Berta – 1991):

$$D_0 = \sin(2\alpha) \cdot \frac{V_0^2}{g}$$

$$V_0 = 23 \cdot \sqrt{C_s}$$

dove:

$D_0$  è la gittata in metri del generico frammento nel vuoto;

$\alpha$  è l'inclinazione della traiettoria sull'orizzontale;

$V_0$  è la velocità del frammento nel vuoto in m/s;

$g$  è l'accelerazione di gravità, pari a  $9,806 \text{ m/s}^2$ ;

$C_s$  è il consumo specifico di esplosivo in  $\text{Kg}/\text{m}^3$

La situazione più sfavorevole è quella che corrisponde alla massima gittata ossia con alzo iniziale di  $45^\circ$ .

### 3.1 Blocco composto da n. 3 silos

$$V_0 = 23 \cdot \sqrt{0.7} = ca \text{ } 19.20 \text{ m/sec}$$

$$D_0 = \sin\left(2 \cdot \frac{\pi}{4}\right) \cdot \frac{19.20^2}{9.81} = 37.6 \text{ m}$$

Per queste condizioni di velocità iniziale  $V_0$ , angolo e direzione del frammento si può calcolare la massima gittata reale con le tavole balistiche di Chernigovskii, che considera l'azione frenante dell'aria in funzione di

un diagramma sperimentale che mette in relazione la dimensione media del frammento  $X_{air}$  con i coefficiente di smorzamento  $K_{air}$ , in funzione delle diverse velocità iniziali  $V_0$  di partenza.

La massima dimensione del frammento si può stimare a metà della linea di minor resistenza  $W$ . Nel caso dei pilastri in esame:

$$W = \frac{A}{2} = 62.5 \text{ cm}$$

$$X_{ai} = \frac{W}{2} = 31.25 \text{ cm} = 0.30 \text{ m}$$

Inserendo questi valori nel sottostante diagramma di Chernigovskii si ottiene un coefficiente di smorzamento  $K_{air}$  pari a 1.25

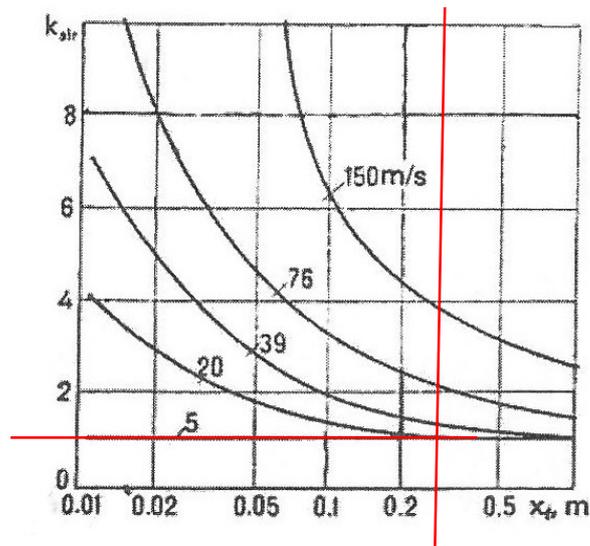


Figura 3 | Chernigovskii, A.A. - Correlazione tra riduzione della gittata rispetto al valore teorico (nel vuoto) La massima distanza raggiunta dai frammenti è pari a:

$$D = \frac{D_0}{1.00} = \frac{37.60}{1.00} = 37.60 \text{ m}$$

Al fine di ridurre ulteriormente la massima gittata al fine di contenerla il più possibile all'interno dell'area di cantiere, si dovrà procedere alla disposizione di reti paramassi nell'intorno dei pilastri minati ed al posizionamento di vecchi container, con funzione di barriera in corrispondenza della banchina lato est.

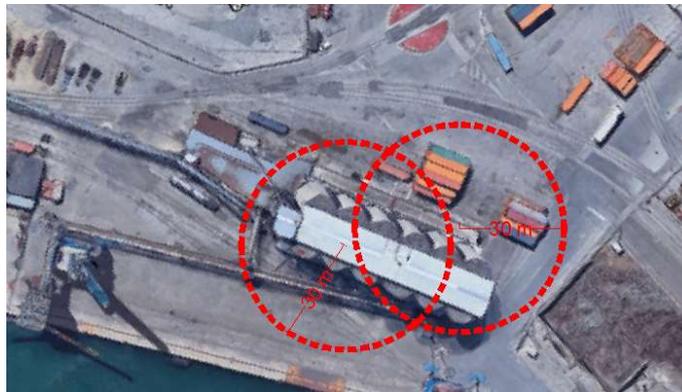


Figura 10 - Massima gittata nel caso di nessuna protezione

Come è possibile evincere dall'immagine sopra riportata la previsione di gittata non va ad interessare le strutture fuori terra esistenti anche al di fuori dell'area oggetto di intervento. Al fine di ridurre ulteriormente la massima gittata al fine di contenerla il più possibile all'interno dell'area di cantiere, si dovrà procedere alla disposizione di reti paramassi nell'intorno dei pilastri minati ed al posizionamento di vecchi container, con funzione di barriera, in corrispondenza del lato Nord-ovest e della banchina lato est. Nel lato ovest la funzione di barriera è svolta dal muro di confine. Si riporta di seguito una foto illustrativa delle modalità di posizionamento di rete paramassi atte a tali scopi.



Figura 11 | Predisposizioni di reti di protezione contro lancio di detriti

#### 4. Sovrappressioni e rumore

Le cariche non esplodono mai tutte contemporaneamente e di conseguenza anche se si usano quantità elevate di esplosivo non si produce un unico “bin bang” ma una serie di piccoli botti ravvicinati di pochi millisecondi percepibili solo con un orecchio esperto. Questo sfasamento per quanto piccolo è sufficiente a ridurre drasticamente il picco della sollecitazione indotta. Negli interventi ben progettati inoltre le cariche sono poste all'interno di fori perfettamente sigillati e non in aria libera, riducendo notevolmente anche in questo modo il rumore prodotto.

Entrando un po' più nel dettaglio la demolizione delle cariche di esplosivo nella demolizione genera un'onda di pressione impulsiva (air blast); questo fenomeno è caratterizzato da una breve durata e da un elevato contenuto energetico. Tra i vari fattori che concorrono alla produzione dell'air blast si trova principalmente:

- SRP – Stemming Release Pulse: l'espulsione del borraggio nel foro e la conseguente fuoriuscita dei gas di esplosione dal foro di mina;

il parametro che si assume come indicatore della nocività della perturbazione atmosferica prodotta dall'esplosione è la sovrappressione impulsiva dell'airblast che in genere viene espressa in kPa o in mbar o anche in dB trattandosi di un'onda acustica. In questa analisi si utilizzano formule che traducono il limite di sovrappressione in limite di carica per ritardo espressa in Kg, in funzione della distanza dal punto di scoppio.

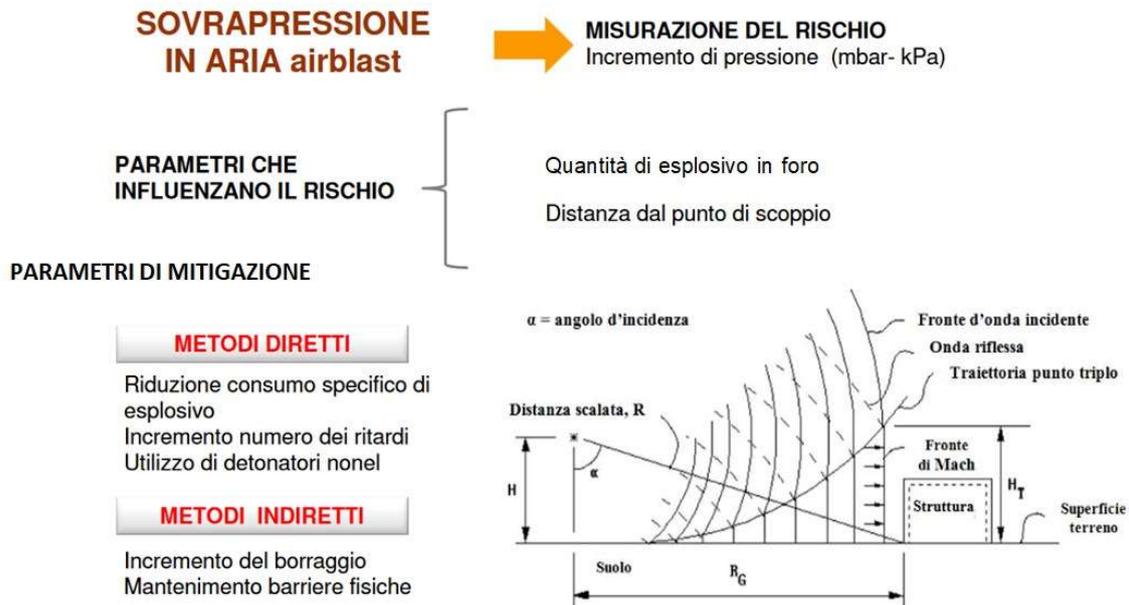


Figura 12 | Schema parametri di analisi e mitigazione del rischio

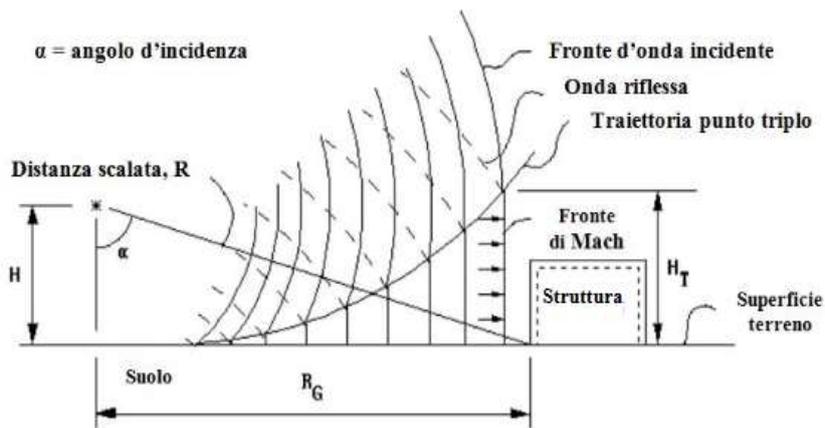
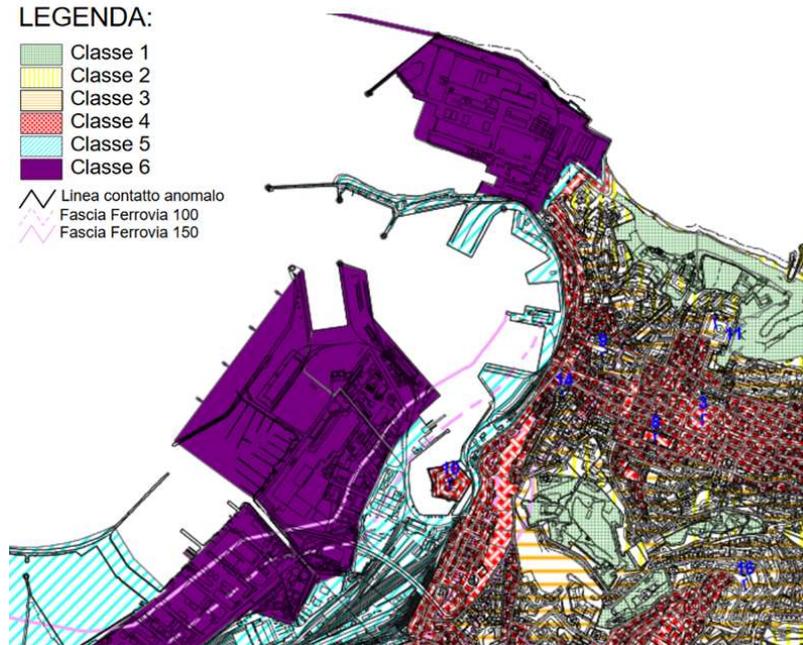


Figura 4 | Propagazione dell'onda impulsiva in atmosfera

Naturalmente l'effetto che va più ad incidere sulla popolazione risulta essere quello del rumore in occasione delle varie volate, che in virtù del contesto in cui si manifesterebbero e di una serie di condizioni si ritiene essere tollerabile e quindi valutabile al disotto di determinati livelli di soglia.

#### 4.2 Piano zonizzazione acustica - Ancona

Dal piano di classificazione acustica del comune di Ancona si evince che l'area oggetto di intervento ricade all'interno della classe acustica 6 ovvero aree "esclusivamente industriali"



**Figura 13 | Classificazione acustica comunale Tav. 1 – inquadramento generale**

Il D.P.C.M. 14/11/97 fissa, per ciascuna classe, i limiti massimi di esposizione al rumore all'interno di ogni zona territoriale, utilizzando come indicatore il livello continuo equivalente di pressione ponderato A, espresso in dB(A) ed associando ad ogni zona quattro coppie di valori limite, uno per il periodo diurno (dalle ore 6 alle 22) e uno per il periodo notturno (dalle ore 22 alle 6).

Due coppie di valori sono relative alla disciplina delle sorgenti sonore e sono:

- valori limite di emissione;
- valori limite di immissione (suddivisi in assoluti e differenziali).

Le altre due coppie sono invece relative alla pianificazione delle azioni di risanamento e sono:

- valori di attenzione;
- valori di qualità.

### 4.3 Blocco composto da n. 3 silos

Si riporta di seguito il calcolo della sovrappressione impulsiva dell'airblast:

$$P = 700 \cdot \left( \frac{Q}{150} \right)^{1/3} \cdot \frac{1}{R}$$

Dove:

P [mbar] è la sovrappressione generata;

Q [Kg] è la massima carica per ritardo;

R [m] è la distanza tra punto di esplosione e bersaglio.

È dimostrato che si può avere una buona sicurezza se la sovrappressione non supera i 7-8 mbar

Nel caso in oggetto la massima carica per ritardo è pari a 4.5 Kg e la distanza è pari a ml 65.

$$P = 700 \cdot \left( \frac{4.50}{150} \right)^{1/3} \cdot \frac{1}{65} = 3.34 \text{ mbar} = 0.33 \text{ kPa}$$

Stabilendo un'area di sicurezza generale, si ha che all'esterno di tale zona la pressione sonora si è già ridotta a:

$$P = 700 \cdot \left( \frac{4.50}{150} \right)^{1/3} \cdot \frac{1}{150} = 1.45 \text{ mbar} = 0.15 \text{ kPa}$$

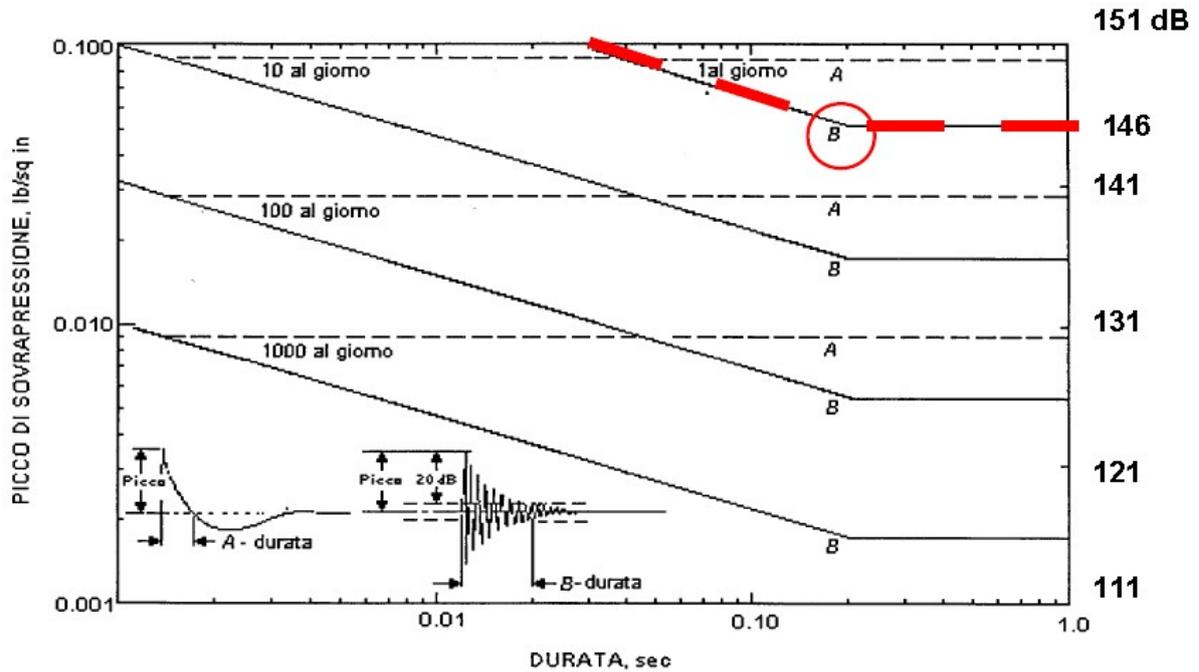
Come evidenziabile dalla tabella sottostante l'unico problema poteva essere rivolto ai vetri delle strutture entro un raggio di 50 metri dal punto di scoppio. Essendo assenti in tale raggio strutture prive di finestrate non si riscontrano problematiche di sorta.

Sovrappressione (in aria) kPa	Danno
0,2 - 6	Rottura di vetri
1	Rottura di vetri (valore tipico)
3 - 15	Danni a edifici
15 - 20	Distruzione di muri di mattoni
20 - 30	Cedimento di serbatoi per combustibili liquidi
30 - 70	Distruzione totale di edifici
35	Rottura di timpani
35	Abbattimento di pali di legno
50 - 60	Rovesciamento di vagoni ferroviari carichi
70	Danni letali ai polmoni

**Figura 14 | relazione tra sovrappressioni e danni a persone e cose**

Un intervento ben realizzato, che porta quindi anche ad un notevole abbattimento del rumore, è fatto ponendo le cariche all'interno di fori perfettamente sigillati. Inoltre le esplosioni rientrano negli "impulsi sporadici".

In carenza di normativa specifica sulla tollerabilità alle sovrappressioni aeree, si fa sistematicamente riferimento ai valori proposti dal CHBA Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics, Washington D.C., USA (comitato sull'udito, bioacustica e biomeccanica) [Siskind et Al., Structure response and ...1980].



**Figura 15 | Valori di riferimento per la sopportabilità dell'onda di sovrapposizione aerea stabiliti dal CHBA per demolizione con esplosivo**

Seppur risultino ammissibili superamenti della soglia massima (140 db) in situazioni e/o intervernti “non convenzionali” e manifetabili in uniche fasce orarie del giorno, per l’abbattimento dei silos in oggetto, si sono individuate tipologie di esplosivi e borraggi tali da non superare un’intensità di 100 db ad una distanza di sicurezza.

Il suddetto valore di intesità (100 db) è paragonabile a quella che si registrebbe in una discoteca o trovandosi a distanza di 1 ml da un martello pneumatico. Tale valore dovrà essere valutato in fase del primo abbattimento al fine di verificare e calibrare i successivi abbattimenti.

## 5. Polveri

Un intervento di demolizione controllato attraverso l'utilizzo di esplosivo genera sempre un discreto polverone. È risaputo che l'attività di demolizione di una struttura attraverso modalità tradizionale (impiego di soli meccanici) provoca anch'esso parecchia polvere, seppur in quantità giornalmente minore rispetto alla polvere prodotta in occasione di un abbattimento controllato con esplosivo, ma comunque distribuita per tutta la durata del lavoro. Sostanzialmente la quantità totale di polvere prodotta risulta pressoché identica. Ciò che si ritiene fondamentale sottolineare è che, attraverso l'utilizzo di esplosivo, il disagio arrecato alle strutture e/o aree vicine si concentra nei primissimi minuti successivi all'abbattimento. Situazioni di questo genere sono sopportabili per una sola giornata a differenza, invece, della continua e costante produzione di polvere che genera una demolizione meccanica. La polvere in entrambi i casi deve essere inerte, ossia deve essere scevra da sostanze tossiche o nocive, per Legge. Per ridurre il più possibile la polvere generalmente si bagna con idranti la zona di caduta (materasso di caduta e aree circostanti); qualora il giorno dell'intervento manifestasse nebbia o pioggia, la polvere verrebbe abbattuta in pochi secondi dentro l'area di cantiere.



Figura 16 | Getto di acqua nebulizzata mediante cannon fog

Per valutare la diffusione delle polveri negli ambienti circostanti l'area di intervento si sono prese in considerazione l'orografia del terreno, ed i dati del vento derivanti dalla stazione anemometrica posta all'interno del porto turistico di Ancona e riferita ai periodi 2001-2013 e 2010-2018.

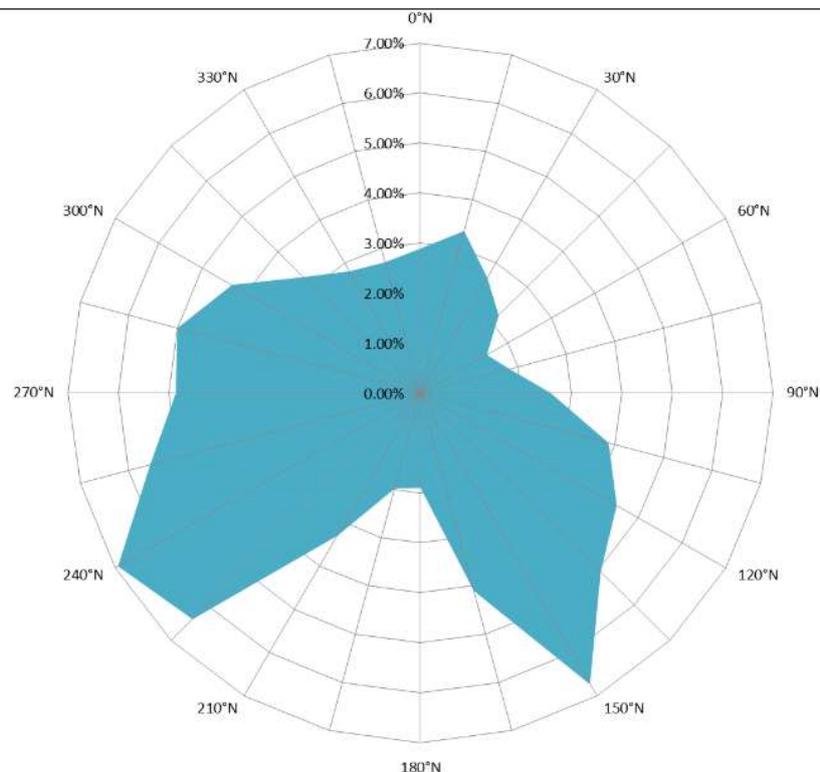


Figura 17 | Direzione e velocità vento periodo 2001-2013

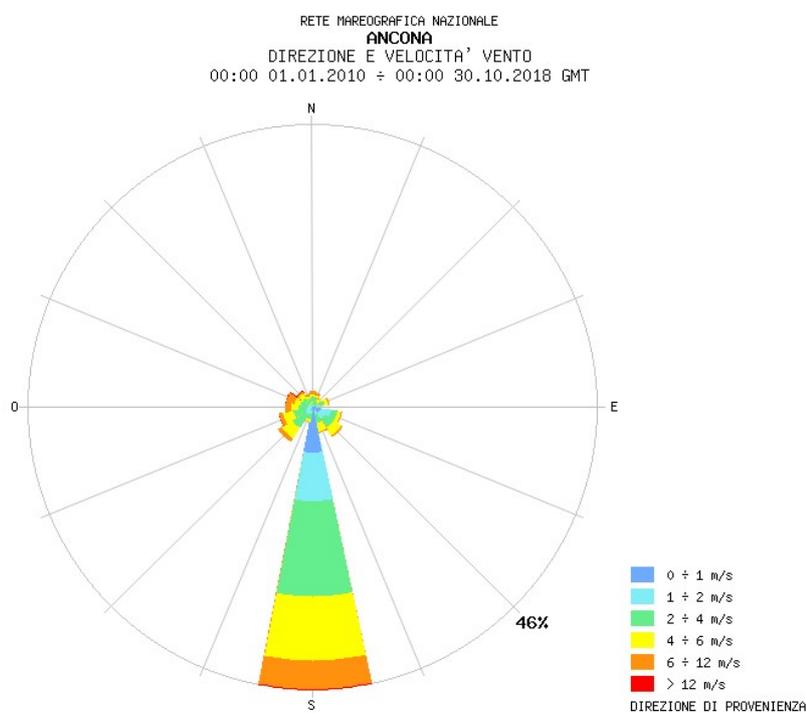


Figura 18 | Direzione e velocità vento periodo 2010-2018

L'emissione di polveri causata dalla disgregazione degli elementi degli edifici in seguito al crollo prima e poi dalla comminazione primaria e secondaria che i detriti subiranno in cantiere, possono condurre alla produzione di polvere aventi valori variabili tra 0.5 a 1 g/s di polvere prodotta.

Con l'utilizzo di cannon fog, ovvero idonei mezzi atti a produrre importanti getti di acqua nebulizzata, si può abbattere sensibilmente la polvere prodotta dall'attività di demolizione. Tali getti di acqua nebulizzata, indirizzati sul particolato avente dimensioni fino a 10 µm (PM 10) consentono di ottenere un abbattimento medio di circa il 15%; di conseguenza il tasso di emissione si può abbassare sino ad un valore medio di 0,075-0.15 g/sec.

I valori di soglia per le polveri PM 10 in aria, riscontrabili nella legislazione attualmente vigente e che recepisce i nuovi limiti disposti dalla Normativa Europea sono:

#### Limiti di riferimento (D.Lgs.155/2010)

Inquinante	Limite	Periodo di mediazione	Limite	Superamenti in un anno
PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	Valore limite sulle 24 ore per la protezione della salute umana	Media giornaliera	50 µg/m <sup>3</sup>	massimo 35
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m <sup>3</sup>	

Data la direzione principali dei venti agenti nell'area e l'utilizzo di cannoni nebulizzatori si ritiene che la eventuale propagazione delle polveri non avverrà in direzione del centro città. Si ricorda inoltre che le polveri da demolizione si dissolvono nel tempo max di qualche minuto. Inoltre durante le giornate lavorative si prenderanno a riferimento i rilevamenti anemometrici della stazione di rilevamento, al fine di posizionare i cannon fog nella giusta direzione per abbattere più quanta polvere possibile.

Altresì, per tutte le fasi che prevedono la demolizione attraverso modalità meccanica, si adotteranno escavatori dotati di ugelli nebulizzatori.

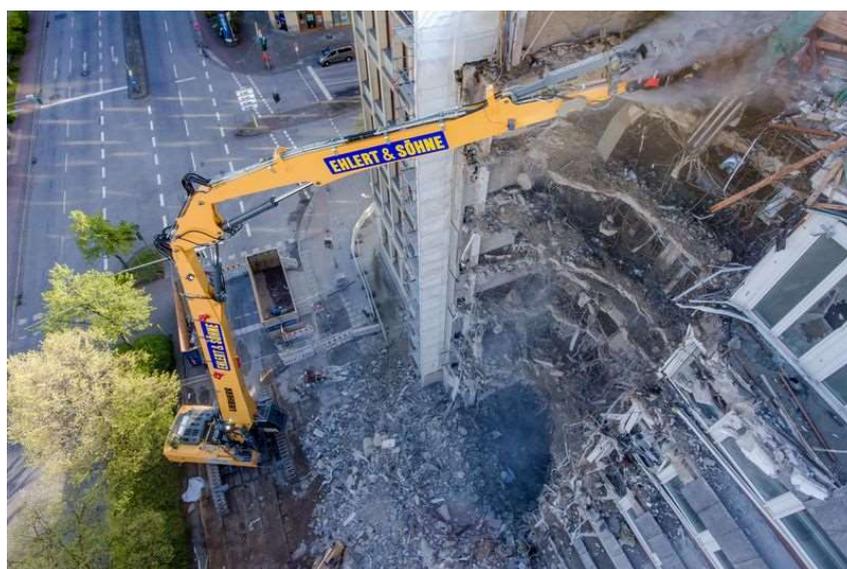


Figura 19 | Ugelli nebulizzatori montati su escavatore con braccio UHD



Figura 20 | Ugelli nebulizzatori montati su escavatore con braccio UHD

## 6. Salvaguardia acqua del mare

La minima distanza dell'area di intervento dal ciglio della banchina comporta potenziali impatti sulle acque di mare causati dalla caduta di detriti e dalla propagazione di polveri. Come soluzione per evitare tale problematica l'impresa dovrà adottare degli schermi protettivi posizionati lungo il fronte del mare che conterranno la caduta di detriti sulla banchina. Allo stesso modo l'impiego dei cannon fog consentirà di evitare la propagazione di polveri verso il mare abbattendo le stesse sul terreno della banchina. Al fine di evitare che si formino acquitrini sulla banchina e che tali acque possano finire in mare portando con sé polveri di calcestruzzo, l'impresa dovrà mettere in atto idonei accorgimenti:

1. evitare che le acque contenenti fango o polveri di calcestruzzo finiscano nella rete fognaria;
2. predisporre un idoneo sistema di smaltimento di tali acque presso idoneo impianto di smaltimento;
3. costante pulizia delle caditoie di cui va preservata la funzionalità durante le lavorazioni;
4. posa di un telo impermeabile lungo la banchina che fissato alla recinzione permetta di contenere le acque facendole defluire nella rete di raccolta delle acque meteoriche e non in mare.

Il Tecnico

**Dott. Ing. Gaetano Rocco**

Ordine degli Ingegneri della provincia di  
ANCONA  
**Dott. Ing. Gaetano ROCCO**  
A/1115  
Ingegneria civile e ambientale,  
Industriale e dell'informazione