



**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.:

RSCE

Data:

Aprile 2019

Disegnato: A. Talevi

Verificato: Ing. Gabbanelli

Scala: 1:1

Approvato: Ing. Rocco

Il Progettista incaricato dalla Committenza:

Dott. Ing. Gaetano Rocco

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

Fax: 0712075936 - E-mail: progetti@roccoengineering.it

Ordine degli Ingegneri della provincia di ANCONA

Dott. Ing. Gaetano ROCCO

A/1115

Ingegneria civile e ambientale,
Industriale e dell'informazione

**Il Tecnico incaricato dal ECO DEMOLIZIONI
per la parte specialistica:**

Dott. Ing. Giuseppe Brandimarti

Oggetto:

**RELAZIONE SPECIALISTICA E DI
CALCOLO ESPLOSIONI**

File: \lavori\00-2019\19-2019\elaborati grafici\NUOVI DISEGNI\piante fondazioni sezioni prospetti.dwg

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

RELAZIONE DI CALCOLO SPECIALISTICO ABBATTIMENTO SILOS CON ESPLOSIVO

1. Premessa

La seguente Relazione Specialistica costituisce parte integrante dell'intervento di demolizione dei silos insediamento della SAI SpA sita presso la banchina 21 porto di Ancona insistenti su area demaniale in concessione alla stessa SAI S.r.l.

Il presente documento riporta il calcolo specialistico dell'abbattimento controllato con microcariche esplosive. L'intento progettuale è quello di procedere ad una demolizione graduale con n. 4 esplosioni controllate al fine di valutare in cantiere le ipotesi previsionali eseguite ed allo stesso tempo far abituare i non addetti ai lavori allo scoppio delle cariche detonanti, così da non creare nessun tipo di allarmismo.

Al fine del calcolo prettamente ingegneristico dell'intervento di demolizione, così come è prassi procedere in tali casi, si è proceduto al calcolo dell'abbattimento ponendosi nella situazione limite, quella più gravosa ovvero 1° abbattimento blocco dei primi 3 silos.

Le fasi di abbattimento saranno le seguenti:

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.

Le suddette 4 fasi sono meglio descritte nei grafici inseriti nella presente relazione.

2. Norme di riferimento

I lavori oggetto dell'Appalto di demolizione saranno eseguiti in conformità a tutte le norme e prescrizioni applicabili alle lavorazioni di cui si compone l'intervento.

Le principali norme a cui si farà riferimento per condurre la verifica strutturale dell'edificio sono sostanzialmente le seguenti:

- **Legge n. 1086 del 5 novembre 1971** – “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica”
- **Legge n. 64 del 2 febbraio 1974** – “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”
- **Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18**

La commercializzazione ed il trasporto per l'impiego nei cantieri è disciplinata dalle seguenti leggi o decreti:

- **“Testo unico delle leggi di Pubblica Sicurezza” (T.U.L.P.S.) r.d 18/09/31 n. 773** e s.m.i. ed il “Regolamento per l'esecuzione del Testo unico 18/06/31 n. 773 delle leggi di pubblica sicurezza”: R.D. 06.05.040, n. 635 e s.m.i.
- **Decreto del Presidente della Repubblica del 19 Marzo 1956, n. 302** - Norme di prevenzione degli infortuni sul lavoro integrative di quelle generali emanate con decreto del Presidente della Repubblica 27 aprile 1955, n. 547.
- **Decreto Legislativo 25 novembre 1996, n. 624** - Attuazione della direttiva 92/91/CEE relativa alla sicurezza e salute dei lavoratori nelle industrie estrattive per trivellazione e della direttiva 92/104/CEE relativa alla sicurezza e salute dei lavoratori nelle industrie estrattive a cielo aperto o sotterranee”

- **Decreto del Presidente della Repubblica del 9 aprile 1959, n. 128** - Norme di polizia delle miniere e delle cave (G.U. 11 aprile 1959, n. 87, suppl. ord.).

In fase esecutiva saranno osservate tutte le normative vigenti in materia di sicurezza e igiene sul lavoro ed in particolare:

- **Decreto Legislativo del 09 aprile 2008 n. 81 e ss.mm.ii.**

3. Verifiche delle condizioni cinematiche causanti il crollo

La tecnica di demolizione prevista è quella per ribaltamento o caduta laterale mediante l'utilizzo di microcariche esplosive. Tale metodo rispetto all'implosione o caduta verticale, garantisce una sicurezza di effetto maggiore durante il crollo ed un risparmio notevole sulle quantità di esplosivo impiegate. In questo capitolo, partendo dalla direzione di caduta prescelta, si procederà a quantificare il numero di elementi strutturali da rimuovere con l'esplosivo in modo da indirizzare effettivamente il crollo lungo le direzioni di caduta prescelte.

Gli elementi da rimuovere con l'esplosivo dovranno formare un ipotetico cuneo alla base, in maniera tale da produrre una rotazione della porzione superiore di struttura rispetto ad un'ideale cerniera materializzata negli elementi strutturali risparmiati nella sezione di base.

Nella tecnica del ribaltamento si possono distinguere tre diverse fasi temporali che caratterizzano l'efficacia del cuneo di rotazione e quindi la riuscita del crollo:

1. **Fase di brillamento:** il brillamento delle cariche, disposte a formare il cuneo di caduta alla base di ciascun pilastro, produce l'innescò di un movimento della parte superiore di ciascun elemento che inizia a ruotare seguendo l'ordine impartito dalla temporizzazione delle detonazioni. Nella struttura, per effetto della chiusura del cuneo, si ha la combinazione di un movimento verticale e di una rotazione che avverrà nella direzione impartita dall'orientamento del cuneo.

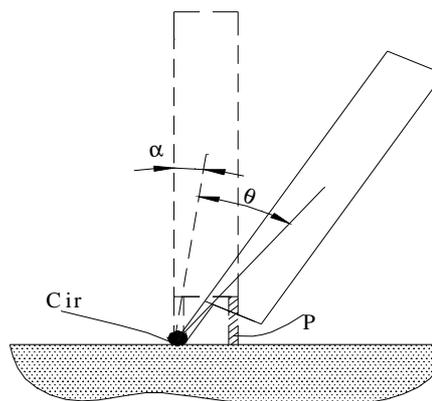


Figura 1: Prima fase della caduta

2. **Fase di chiusura del cuneo:** il progressivo collasso della struttura ristabilisce il contatto tra i due lembi del cuneo (istante in cui avviene la chiusura del cuneo), i movimenti di caduta verticale e di rotazione decelerano gradualmente.

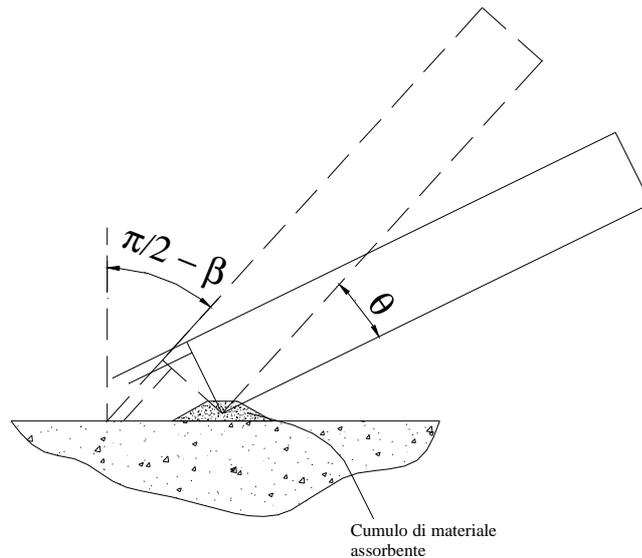


Figura 2: Seconda fase della caduta

3. **Fase del crollo:** se nell'istante della chiusura del cuneo vengono rispettate le condizioni cinematiche del crollo, ciascun pilastro riprende la rotazione sotto l'azione della componente verticale della propria forza peso terminando a terra il moto.

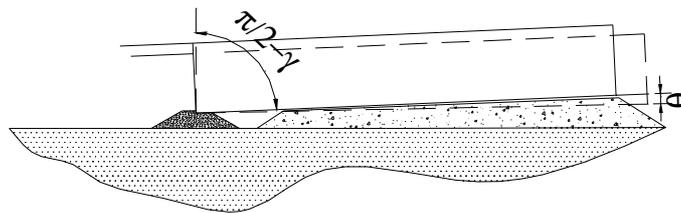


Figura 3: Terza fase della caduta

Affinché avvenga il ribaltamento di ogni modulo si devono verificare alcune condizioni:

- Verifica delle condizioni cinematiche del crollo: nell'istante in cui avviene la chiusura del cuneo verificando che la forza peso della struttura cada al di fuori del nocciolo di inerzia della sezione di base;
- Verifica dell'efficacia della cerniera di rotazione: mediante una verifica a rottura per pressoflessione degli elementi strutturali non minati alla base, sotto l'azione del peso proprio della struttura.

3.1. Ipotesi di calcolo

Per la verifica delle condizioni necessarie al ribaltamento si assumono alcune ipotesi necessarie a schematizzare un fenomeno reale molto complesso:

- gli elementi strutturali non subiscono deformazioni durante la creazione del cuneo;
- gli elementi strutturali minati vengono eliminati istantaneamente, ossia si trascurano i tempi di ritardo nelle detonazioni delle cariche;
- ogni elemento strutturale rimosso dall'esplosivo non offre più alcuna resistenza meccanica;

- la cerniera che si forma in ogni pilastro non minato alla base è un vincolo liscio ed ideale, ossia non oppone alcuna resistenza al moto;
- durante il crollo si trascura l'attrito generato tra struttura ed atmosfera.

3.2. Determinazione del peso gravante della struttura

L'analisi statica della struttura presuppone una valutazione sia della tipologia strutturale sia del peso gravante in condizione operativa di cantiere (quindi allo stato di fatto)

Il blocco dei serbatoi considerati hanno un'altezza di circa 35 m poggiati su pilastri di sostegno per una altezza totale di 44 m oltre a 8 m di struttura metallica (solo intelaiatura) con una struttura interamente in calcestruzzo armato poggiante su setti e pilastri anch'essi in calcestruzzo armato ed aventi dimensioni variabili. I vari silos hanno diametro esterno pari a 8.31 m, con spessore della parete dello spessore di cm 18 circa.

Le fasi di demolizione sono 4 già descritte nella premessa della presente relazione.

3.2.1. 1° abbattimento Blocco da n. 3 silos

Il peso totale gravante della struttura considerato al livello di fondazione risulta essere pari a ca 28.000 kN (2800 ton).

3.2.2. DIMENSIONAMENTO DELLA CARICA DI ESPLOSIVO

Il dimensionamento delle cariche da predisporre nei pilastri dipende essenzialmente dalla forma, dallo spessore di essi e dalle caratteristiche dei materiali utilizzati.

In relazione a:

calcestruzzo, vista anche l'età della costruzione si associa una classe pari a C25/30;

acciaio, si ipotizza l'uso di un FeB38K.

Il consumo specifico di esplosivo da utilizzarsi nella demolizione di una struttura in calcestruzzo armato avente pilastri con sezioni assimilabili a setti (una direzione pari al doppio dell'altra) può essere assunto pari ad 1,00. Questo valore si riferisce al dimensionamento delle cariche per la demolizione di pilastri sufficiente a consentire un buon intasamento dei fori caricati e con sezione trasversale rettangolare, che consente il miglior sfruttamento del potere disgregante della carica. Dato che lo scopo del brillamento è quello di ottenere una disgregazione molto spinta della porzione di pilastro minato, in modo che il calcestruzzo sgretolato non resti ingabbiato nell'armatura fornendo ancora una certa capacità portante, a seguito della detonazione delle cariche, si assume un consumo specifico medio di esplosivo pari al massimo del range fornito dalla letteratura in materia, ossia $C=0,50$ Kg/mc. Lo scopo del brillamento però, è anche quello di disgregare delle porzioni continue dei pilastri portanti, evitando la produzione di crateri separati in corrispondenza delle cariche; pertanto la spaziatura dei fori non dovrà eccedere di molto lo spessore del pilastro.

Definiti a livello teorico gli effetti che si vogliono ottenere in ogni singolo pilastro, si passa al dimensionamento reale della carica di esplosivo, sulla base dei seguenti criteri:

consumo specifico di esplosivo $C = 0.60$ Kg/mc

Interasse tra i fori

$i =$ spessore pilastro

Inclinazione fori

$\alpha = 15^\circ$ (rispetto all'orizzontale)

Lunghezza perforazione

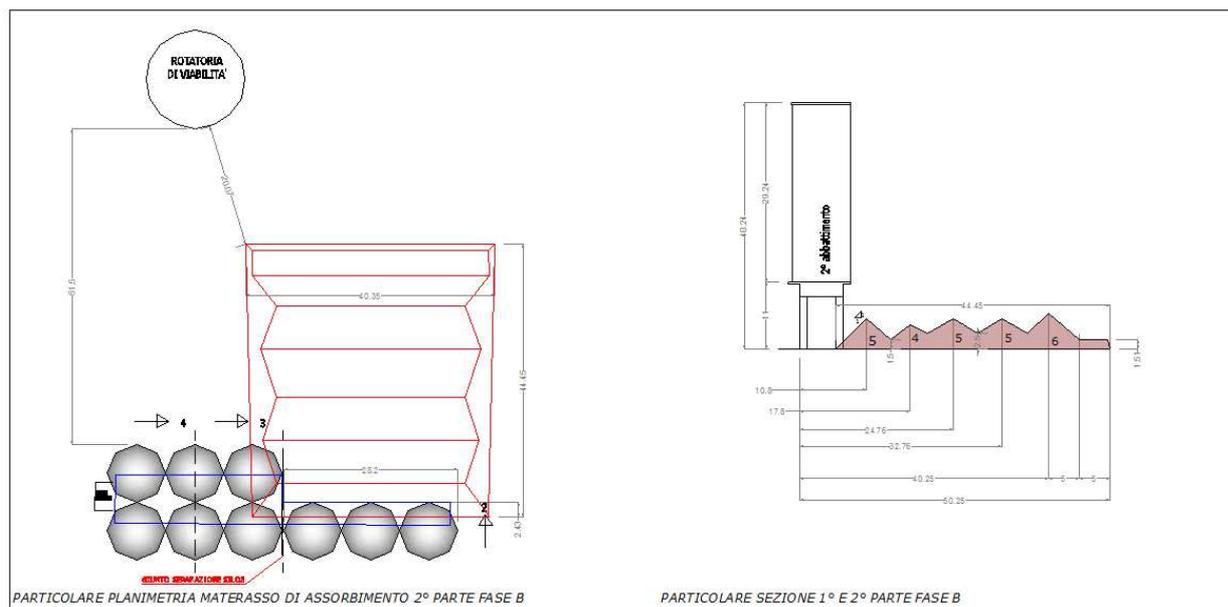
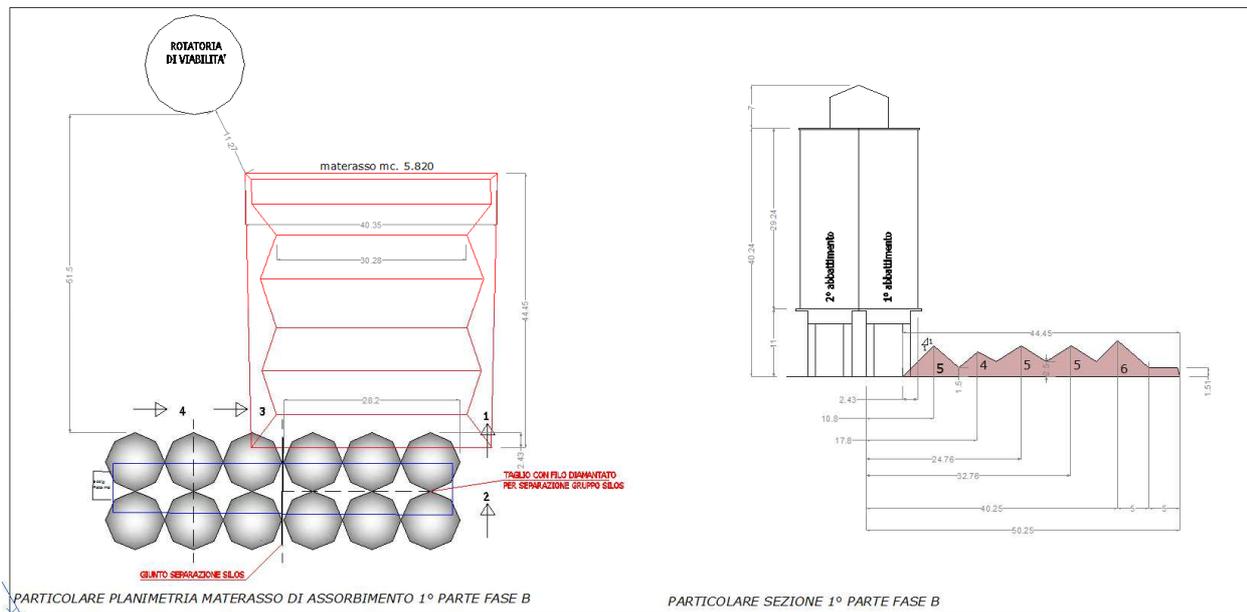
$L = 2/3B$ (lato minore maggiore)

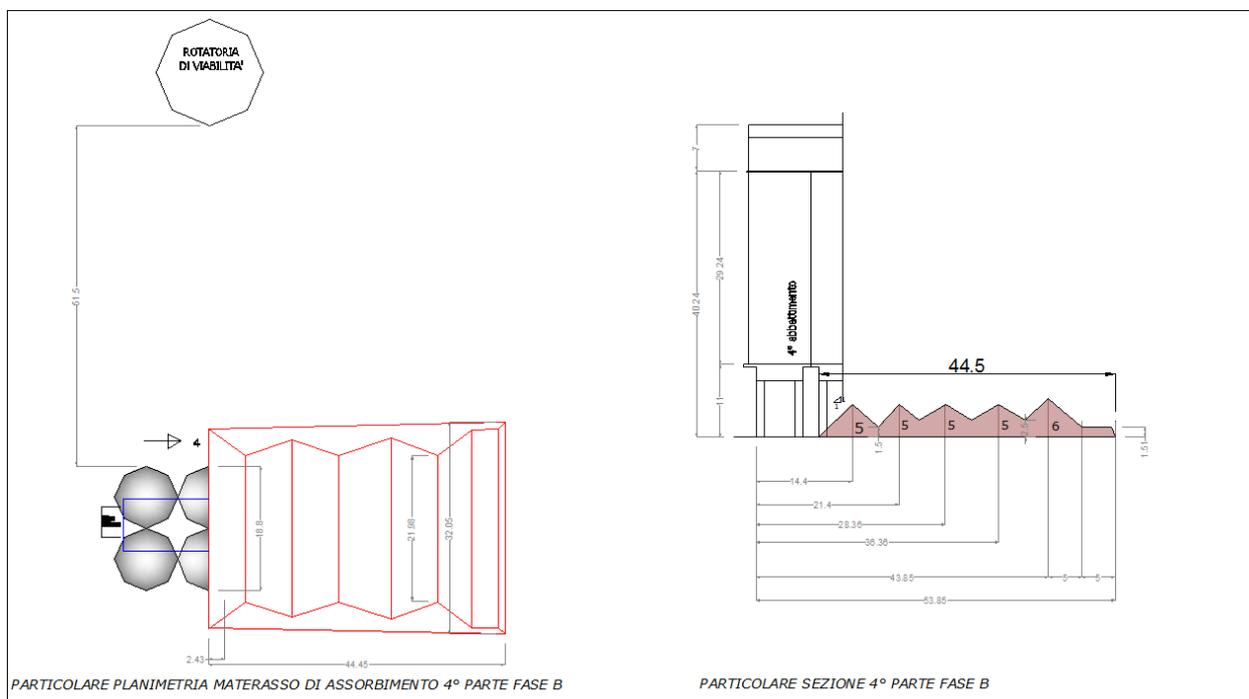
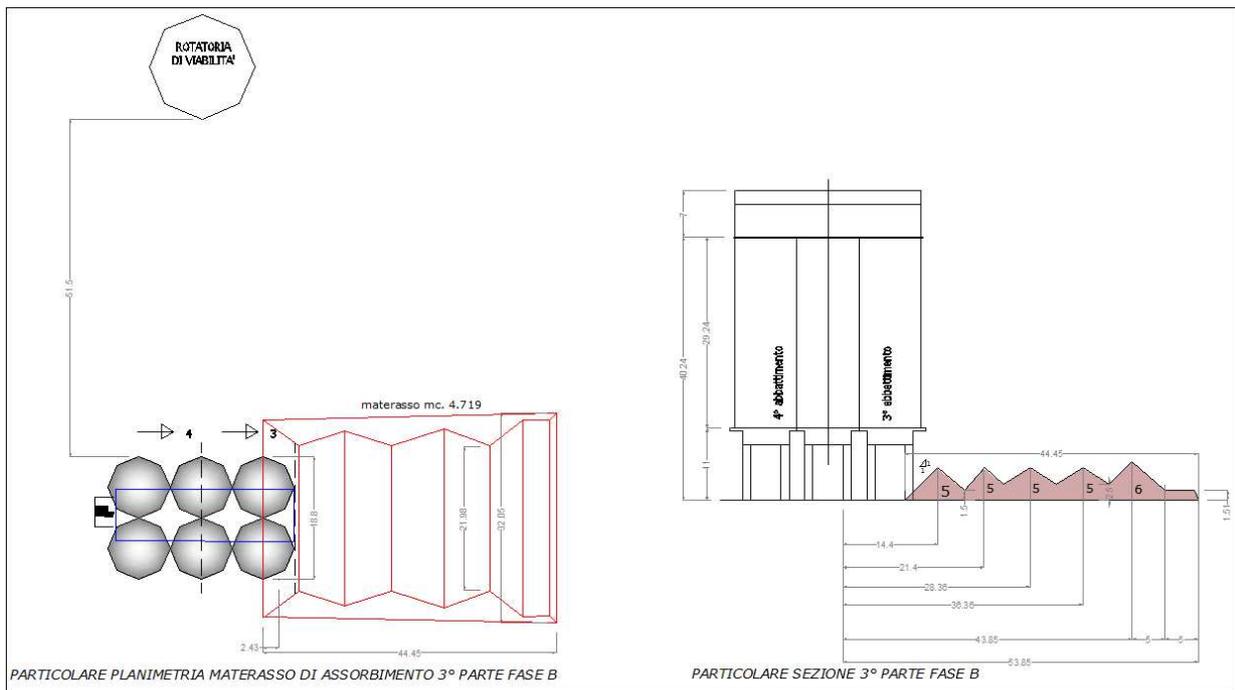
Altezza minima da minare

$l_0 = 125$ cm (lunghezza libera d'inflexione)

La struttura è stata suddivisa in elementi omogenei interessati dagli stessi tempi di ritardo.

Fasi di abbattimento





Al fine del dimensionamento della carica di esplosivo effettiva si ipotizza che venga utilizzato un esplosivo appartenenti alla categoria delle gelatine dinamiti; questo esplosivo di consistenza plastica è sensibilizzato con nitroglicerina/nitroglicole e la sua alta energia di detonazione e densità lo rendono appropriato ai lavori di demolizione delle strutture.

Le specifiche tecniche di tale esplosivo sono riportate di seguito:

| | |
|-------------------------|------------------------|
| Potenza relativa | 85% |
| Densità della cartuccia | 1,40 g/cm ³ |
| Velocità di detonazione | 5200 m/s |
| Resistenza all'acqua | buona |
| Energia di esplosione | 1,114 Kcal/Kg |
| Innescamento | Detonatore n. |

L'esplosivo da utilizzare sarà confezionato in cartucce di carta paraffinata, ϕ 40 mm per una lunghezza di 400mm ed un peso di 730 g ciascuna, avente un diametro inferiore a quello di perforazione per agevolarne il caricamento nei fori da mina.

Si prevede la realizzazione di circa 42 fori per un totale complessivo di esplosivo pari a circa 30 Kg.

| Pilastri | Spessore minato (m) | Volume minato (m) | N. fori | Peso cartuccia Ø40x400 mm (Kg) | Cs teorico(Kg/mc) | Kg esplosivo teorico a pilastro | Kg esplosivo teorico a foro | tot. Cartucce a foro | Kg esplosivo a foro | Kg tot Rit | Cs (Kg/mc) |
|----------|---------------------|-------------------|---------|--------------------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|------------|------------|
| B1 | 1,25 | 6,25 | 6 | 0,730 | 0,500 | 3,125 | 0,521 | 1 | 0,730 | 4,38 | 0,7008 |
| | | 1,25 | 1 | 0,730 | 0,500 | 0,625 | 0,625 | 1 | 0,730 | 0,73 | 0,584 |
| B2 | 1,25 | 6,25 | 6 | 0,730 | 0,500 | 3,125 | 0,521 | 1 | 0,730 | 4,38 | 0,7008 |
| | | 1,25 | 1 | 0,730 | 0,500 | 0,625 | 0,625 | 1 | 0,730 | 0,73 | 0,584 |
| B3 | 1,25 | 6,25 | 6 | 0,730 | 0,500 | 3,125 | 0,521 | 1 | 0,730 | 4,38 | 0,7008 |
| | | 1,25 | 1 | 0,730 | 0,500 | 0,625 | 0,625 | 1 | 0,730 | 0,73 | 0,584 |
| B4 | 1,25 | 6,25 | 6 | 0,730 | 0,500 | 3,125 | 0,521 | 1 | 0,730 | 4,38 | 0,7008 |
| | | 1,25 | 1 | 0,730 | 0,500 | 0,625 | 0,625 | 1 | 0,730 | 0,73 | 0,584 |
| B5 | 1,25 | 6,25 | 6 | 0,730 | 0,500 | 3,125 | 0,521 | 1 | 0,730 | 4,38 | 0,7008 |
| | | 1,25 | 1 | 0,730 | 0,500 | 0,625 | 0,625 | 1 | 0,730 | 0,73 | 0,584 |
| B6 | 1,25 | 6,25 | 6 | 0,730 | 0,500 | 3,125 | 0,521 | 1 | 0,730 | 4,38 | 0,7008 |
| | | 1,25 | 1 | 0,730 | 0,500 | 0,625 | 0,625 | 1 | 0,730 | 0,73 | 0,584 |

TOT

42

30,66

4. DESCRIZIONE DEL PIANO DI TIRO

La tecnica di abbattimento utilizzata si basa sulla temporizzazione delle cariche di esplosivo posizionate all'interno dei pilastri, in modo da garantire il crollo controllato e direzionato del serbatoio pensile secondo il cinematismo voluto.

Tale cinematismo come spiegato in precedenza dovrà ingenerare nel silos, durante il crollo, delle componenti di moto verticali ed orizzontali tali da direzionare la struttura verso la direzione opposta al mare, dove è predisposta apposito materasso di caduta

Durante il crollo i carichi si ridistribuiscono sugli elementi strutturali che non sono stati interessati dall'esplosione. Dato che le sollecitazioni prodotte supereranno i valori di resistenza ultima degli elementi portanti si generano deformazioni plastiche che porteranno alla rottura della sezione resistente dei pilastri, fino al completo crollo delle strutture.

Il numero totale di fori da realizzare consente di adottare un sistema di brillamento puramente elettrico che prevede un detonatore per ogni foro e che allo stesso tempo elimina il pericolo di della rimanenza di cariche inesplose in foro.

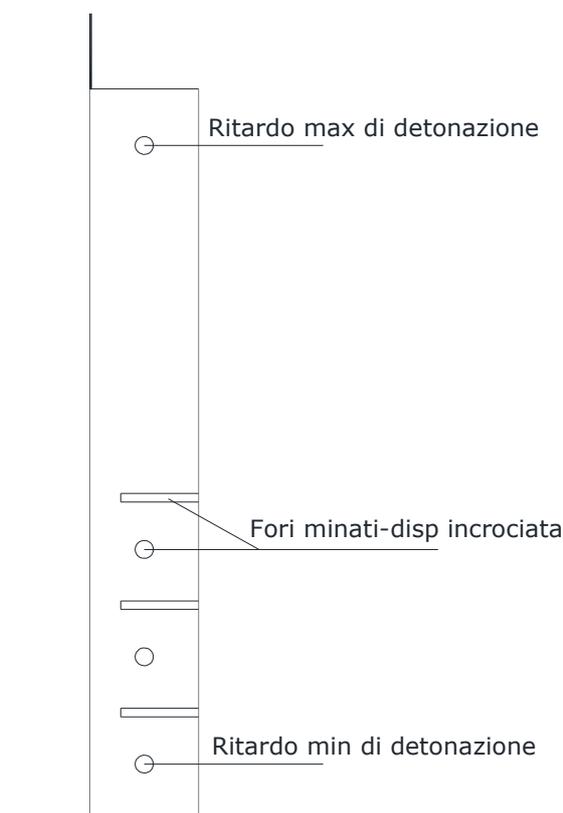


Figura 4: Schema di caricamento dei fori minati

Gli inneschi elettrici (detonatori) che verranno utilizzati per la realizzazione delle demolizioni dovranno essere del tipo microritardati con ritardo nominale di 25 ms con corrente di accensione a

alta intensità, come previsto dalla normativa vigente.

In totale si prevede di utilizzare 42-56 detonatori suddivisi in 11 numeri di ritardo come riportato nella Tabella seguente. Tale configurazione dovrà essere verificata in fase di esecuzione dei lavori a seconda dell'esplosivo e dei detonatori disponibili sul mercato.

Si prevede una richiesta, in licenza, di un quantitativo totale di detonatori **450**

Si prevede una richiesta, in licenza, di un quantitativo totale di miccia detonante pari a **ml 750**

4.1. Calcolo della massima carica per ritardo

Come massima carica per ritardo è da intendersi il massimo quantitativo di esplosivo che viene fatto brillare contemporaneamente, in pratica la massima carica che è innescata con detonatori aventi lo stesso microritardo.

La massima carica per ritardo riscontrata è quella ottenuta con i ritardi n. 6 e 7 che hanno un quantitativo di esplosivo che detona simultaneamente pari a 4.50 Kg circa

| Ritardo | Kg espl |
|----------------|----------------|
| 1 | 1,46 |
| 2 | 1,46 |
| 3 | 2,92 |
| 4 | 2,92 |
| 5 | 4,38 |
| 6 | 4,38 |
| 7 | 4,38 |
| 8 | 2,92 |
| 9 | 2,92 |
| 10 | 1,46 |
| 11 | 1,46 |
| TOT | 30,66 |

5. MASSIMO QUANTITATIVO DI ESPLOSIVO IN CANTIERE

In cantiere per l'esecuzione di ogni abbattimento (n. 4 previsti) verranno consegnati n. 2-3 scatoloni di esplosivi contenenti il quantitativo minimo pari a Kg 50-75 (negli abbattimenti 3 e 4 i pilastri interessati passano da 6 a 8). Oltre ai 250 kg da richiedere in licenza si prevede di aggiungere un quantitativo di sicurezza per una eventuale giornata annullata in cui l'esplosivo sia stato obbligatoriamente smaltito in loco, quindi altri 50 kg, per un totale di **300 kg**.

L'esplosivo in eccesso, volta per volta, così come i detonatori e la miccia non utilizzati verranno distrutti in cantiere (dopo ogni abbattimento) immediatamente dopo l'esecuzione della volata.

Ancona, maggio 2019

19-2019/elaborati dattilo/relazione di calcolo specialistico abbattimento silos con esplosivo

Ordine degli Ingegneri della provincia di
ANCONA
Dott. Ing. Gaetano ROCCO
Ingegneria civile e ambientale,
industriale e dell'informazione

Pag. 11