

L'ATTIVITA' DI DEMOLIZIONE: L'USO DI ESPLOSIVI PER DEMOLIRE ROCCE E STRUTTURE



DETON SRL ESPLOSIVI: Fresi ing. Giuseppe Roberto

Presentazione della DETON srl

- Azienda che ha sede a Tempio Pausania nel nord Sardegna: è rivenditrice di esplosivi industriali nell'isola in nome e per conto della Società Pravisani S.p.A. (ex-Italesplosivi SpA) titolare di depositi ad alto stoccaggio a Sassari – Cagliari;
- la Deton srl collabora inoltre con la Non-Explo Italia srl per le cartucce di tipo detonante e in lavori di demolizione; oltre alla vendita si occupa di assistenza tecnica alle imprese del settore e opera con gli esplosivi dal 1983 in Sardegna e penisola, i campi applicativi sono:
 - **Settore minerario:** cave – miniere ;
 - **Settore civile:** abbattimenti di roccia per la realizzazione di strade, gallerie, opere in contesti urbani con micro-cariche, bonifiche di rocce pericolanti, demolizioni controllate con esplosivi tradizionali e tecniche innovative con dispositivi di tipo Autostem – attività di monitoraggio sismico durante le operazioni di sparo.

L'ATTIVITA' ESPLOSIVISTICA NELLE APPLICAZIONI CIVILI

A) SETTORE MINERARIO - ESTRATTIVO

- Cave di inerti
- Cave di estrazione materiale lapideo ornamentale
- Miniere a cielo aperto e in sotterraneo

B) SETTORE CIVILE - INDUSTRIALE

- Scavi a cielo aperto
- Strade e gallerie
- Sbancamenti per costruzione edifici
- Demolizione di strutture ed edifici civili e/o industriali
- Bonifiche di massi e costoni pericolanti
- Sbancamenti subacquei

L'ATTIVITÀ DI DEMOLIZIONE

- Patrimonio edilizio vecchio e conservato male
- Mancanza di suolo edificabile

Demolire e ricostruire appare in molte circostanze non solo un'opzione alla ristrutturazione ma una vera e propria necessità:

- ❖ Ridimensionamento del grosso problema della mancanza di suolo edificabile: la crescita delle città deve avvenire per sostituzione e non solo per espansione;
- ❖ Iniziativa di profondo rinnovamento sociale contribuendo allo svecchiamento del patrimonio edilizio e alla riqualificazione delle aree urbane;
- ❖ Demolire e ricostruire come leva del sistema economico;
- ❖ La soluzione del problema del risparmio energetico non si può risolvere soltanto con la messa in regola del vecchio: nella stragrande maggioranza dei casi è necessario abbattere e ricostruire;
- ❖ In un'ottica di sviluppo sostenibile bisogna mettere in conto il recupero dei rifiuti da Costruzione e Demolizione (C&D) consentendo un risparmio di materie prime vergini a volte presenti come risorse limitate.

Quali opere si demoliscono?

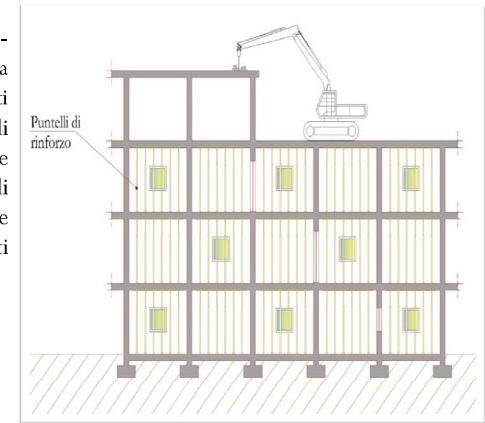
- STRUTTURE INDUSTRIALI
- EDIFICI MULTIPIANO
- VIADOTTI E PONTI STRADALI -FERROVIARI
- SERBATOI PENSILI IN C.A
- VASCONI SBARRAMENTI
- TORRI PIEZOMETRICHE, CIMINIERE.

5

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Demolizione progressiva selettiva

La demolizione progressiva selettiva (o top-down o floor by floor) è la procedura utilizzata negli ambienti urbani caratterizzati da assenza o comunque limitati spazi di manovra. La procedura operativa prevede una rimozione controllata di parti di struttura facendo attenzione a mantenere staticamente efficienti le parti rimanenti ricorrendo all'ausilio di opere provvisorie.



Esempio di demolizione progressiva selettiva eseguita con martello demolitore montato su escavatore: da notarsi gli elementi di rinforzo.

7

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

TECNICHE DI DEMOLIZIONE

Le demolizioni, in generale, possono essere sia di tipo parziale che totale: una vera distinzione può comunque essere fatta in base all'approccio alla distruzione e potremo distinguere quindi in:

- DEMOLIZIONE SELETTIVA PROGRESSIVA
- COLLASSO DELIBERATO
- RIMOZIONE DI ELEMENTI

6

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Collasso deliberato

Si procede con la rimozione di elementi chiave a livello statico così da creare un cinematico che comporti il collasso della struttura: è il metodo tipicamente usato con gli esplosivi.



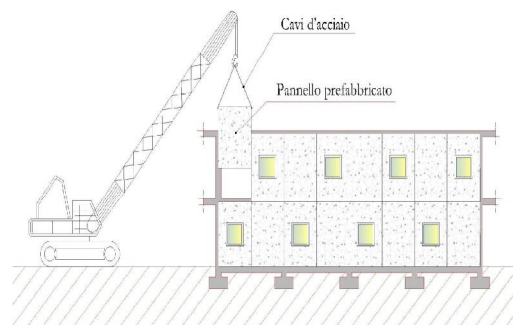
Abbattimento del Topeka Boulevard Bridge

8

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Rimozione di elementi

La demolizione per rimozione di elementi è effettuata per smontaggio, quasi a fasi inverse a quelle seguite per la costruzione ed è la tecnica utilizzata generalmente per la demolizione di strutture reticolari in acciaio o strutture prefabbricate. La sequenza operativa, consistendo in una decostruzione, si esegue sezionando in conci e trasportando a terra con la gru. Per questo motivo viene anche chiamato metodo *Cut & Lift*.



Esempio di decostruzione

9

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

VANTAGGI NELL'UTILIZZO DELL'ESPLOSIVO PER LE DEMOLIZIONI

- **FATTORE TEMPO:** strutture di notevoli dimensioni richiedono tempi molto lunghi con la demolizione meccanica.
- **FATTORE COSTO:** è conseguenza diretta del fattore tempo e permette un notevole risparmio economico nelle operazioni di demolizione.
- **FATTORE RISCHIO:** le demolizioni meccaniche impegnano mezzi e operatori con strutture che per ampiezza e dimensione li sovrastano – esposizione costante al rischio di impatto con elementi labili o indeboliti dai mezzi nei telai strutturali delle opere in oggetto di demolizione.

11

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Nella realtà una demolizione è spesso il risultato di diversi metodi

Fattori che influenzano la scelta:

- Sicurezza degli operatori e incolumità pubblica
- Aspetti ambientali
- Aspetti economici
- Tempistiche
- Aspetti fisici relativi all'immobile.

10

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

DEMOLIZIONE CON ESPLOSIVI

Oggetto delle demolizioni sono le strutture progettate in base ai principi della scienza delle costruzioni e costruite assemblando con sistemi di vincoli più o meno complessi elementi rigidi quali travi, pilastri, piastre e profilati metallici. Obiettivo di una demolizione con esplosivo è quindi quello di individuare esattamente gli elementi portanti della struttura la cui distruzione consente la sua disarticolazione e il crollo.

LA DEMOLIZIONE DI UN MANUFATTO INIZIA DA UN' ANALISI DELLE PARTI STRUTTURALI.

- Reperimento di disegni strutturali
- Rilievo in dettaglio di parti strutturali e non.
- Individuazione delle parti strutturali quali, PILASTRI – SETTI – TRAVI - SOLAI.
- Prove sclerometriche, pacometriche, ultrasoniche, etc.
- Progetto del metodo di abbattimento: caduta verticale o laterale.
- Progetto di posizionamento cariche.

12

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

L'ESPLOSIVO

- Un 'esplosione è una reazione chimica di decomposizione di una sostanza solida o liquida ad altissime velocità, la quale, durante questa fase sprigiona nelle immediate vicinanze: calore, pressione ed onda d'urto violenta con tutti gli effetti sulle strutture e/o oggetti nell'ambiente circostante.
- La possibilità e la capacità di controllare tale energia è, da sempre, continua ricerca degli studiosi nelle varie applicazioni dell'ingegneria civile.

13

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

ESPLOSIVI CLASSICI DETONANTI

15

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

ESPLOSIVI AD USO INDUSTRIALE E CIVILE

- Gli esplosivi in generale sono suddivisi in due grandi categorie:

1. **ESPLOSIVI DETONANTI**

2. **ESPLOSIVI DEFLAGRANTI** (non detonanti)

Il limite fisico tra i due tipi è la velocità di decomposizione della sostanza esplosiva; tale limite fissato convenzionalmente a 1.500 - 2.000 m/s

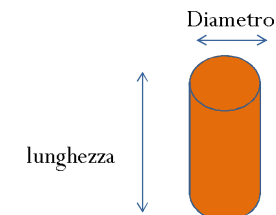
14

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Che aspetto hanno gli esplosivi?

Gli esplosivi ad uso civile sono sostanze chimiche solide o pulverulente (non esistono esplosivi liquidi o gassosi) omologate dal Ministero dell'Interno;

sono confezionati in cartucce normalmente cilindriche con diametri variabili da 25 a 100 mm e lunghezze non superiori a 1 m



16

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Tipologie di esplosivi in commercio:

In base alla sostanza chimica esistono tre categorie di esplosivi ad uso civile:

1. **Gelatinati:** sostanze solide di aspetto pastoso (colore rosa pelle) avvolte in materiale plastico o cartaceo che contengono, in forma stabilizzata, la nitroglicerina.
2. **Slurries e/o emulsioni:** sostanze solide pastose di colore normalmente grigio che contengono Nitrati ammonici opportunamente miscelati con polveri di alluminio
3. **Pulverulenti:** sostanze in polvere di varia colorazione di Nitrati minerali e riutilizzo di Tritoli e Amatoli dallo smembramento di armamenti militari.

17

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

CARATTERISTICHE DEGLI ESPLOSIVI CLASSICI

- **Gelatinati** a base di Nitroglicerina, con velocità di detonazione comprese tra 5.500 – 6.500 m/s
- **Emulsioni o Slurries** con velocità 4.500 – 5.500 m/s
- **Pulverulenti** a base di nitrati minerali: velocità comprese tra 3.000 – 4.000 m/s
- **Micce detonanti** con pentrite > 7.000 m/s



19

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Quali sono le grandezze fisiche che caratterizzano gli esplosivi?

- Le grandezze fondamentali che riguardano le applicazioni civili sono:
- VELOCITA' DI DETONAZIONE espressa in m/s
- ENERGIA DI ESPLOSIONE in MJ /kg
- MASSA VOLUMICA misurata in kg/m³

Hanno altresì importanza le seguenti caratteristiche fisiche:

- Resistenza all'acqua e/o all'umidità
- Sensibilità di innesco
- Distanza di colpo

18

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Esplosivi – Gelatinati a base di NGL



Esplosivi – Pulverulenti a base di Nitrati ammonici

Esplosivi – Emulsionati

20

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Cartucce di esplosivo non detonante



21

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

AUTOSTEM™
DROP AND GO

CARATTERISTICHE CARTUCCIA AUTOSTEM:

- Classificata come PIROTECNICO PER USO TECNICO (N° ONU 0432 1.4S)
- Iter autorizzativo e logistica di cantiere semplificati
- Nessuna generazione di gas nocivi
- Sicurezza nel trasporto e nell'utilizzo
- Frantumazione grossolana
- Ridotte vibrazioni

MOTIVAZIONE AUTOBORRAGGIO **CARATTERISTICHE** APPLICAZIONI

23

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

NON-EXPLO ITALIA
NON-EXPLOSIVE SYSTEM ■ Sistemi di demolizione sicuri e veloci

AUTOSTEM : un composto propellente non detonante

Composizione della carica:

Ogni cartuccia può contenere da 20g a 100G di polvere propellente (sia per la cartuccia di avvio che per il Booster)

50% in peso di ammonio nitrato (agente ossidante)

50% in peso di nitrocellulosa a basso titolo di azoto (agente combustibile) contenente un piccolo quantitativo di stabilizzanti e modificatori della velocità di combustione

Densità carica: 0.9 g/cm³

Temperatura di accensione: circa 170° C

NON-EXPLO ITALIA
NON-EXPLOSIVE SYSTEM ■ Sistemi di demolizione sicuri e veloci

22

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

AUTOSTEM™
DROP AND GO

GAMMA CARTUCCE AUTOSTEM:

DIAMETRO: 32 mm

GRAMMATURA: 20 gr
40 gr
60 gr
80 gr
100 gr



MOTIVAZIONE AUTOBORRAGGIO **CARATTERISTICHE** APPLICAZIONI

24

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

MECCANISMO DI BORRAGGIO AUTOMATICO

1. Si esegue la perforazione
2. Si inserisce la cartuccia (con il Booster se necessari) nel foro da mina
3. Si innesca la cartuccia tramite un esploditore
4. La pressione del gas apre il cono, bloccando l'espulsione della cartuccia

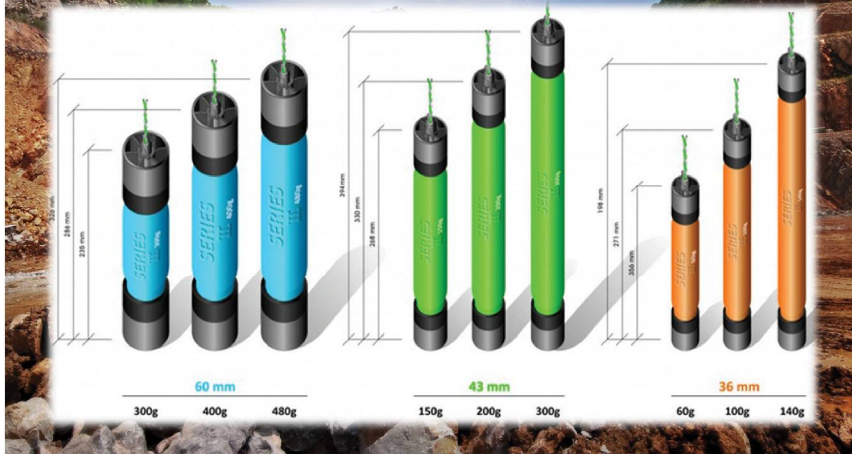
5. In contemporanea la pressione del gas generato, visto il contesto è confinato, trasmette le sollecitazioni alla roccia, portandola alla rottura. Nel caso del Booster si attiva per simpatia



SISTEMI DI INNESCO

DIMENSIONI DELLE CARTUCCE

60mm (300-, 400-, 480g) **43mm** (150-, 200-, 300g) **36mm** (60-, 100-, 140g)



SISTEMI DI INNESCO

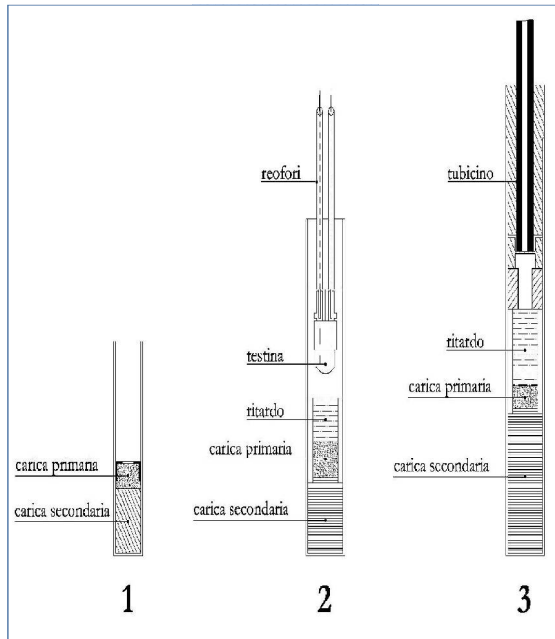
Quando si esegue un lavoro con esplosivo sorge la necessità di provocare il *brillamento* a un preciso istante e quando tutte le persone coinvolte sono a un'opportuna distanza di sicurezza. Questo obiettivo è raggiunto con i sistemi di innescamento i quali hanno un ulteriore compito: garantire la detonazione dell'esplosivo e temporizzare le esplosioni delle cariche.

TIPOLOGIE DI INNESCO:

- **Detonatori comuni** e miccia a lenta combustione
- **Detonatori elettrici**
- **Detonatori non elettrici** o ad onda d'urto
- **Micce detonanti** alla pentrite
- **Relais** per micce detonanti

Diversi tipi di detonatori:

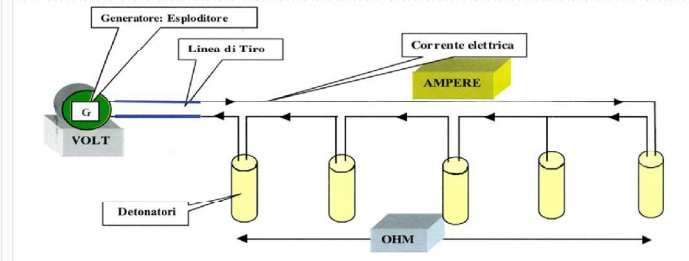
- 1) detonatore comune;
- 2) detonatore elettrico;
- 3) detonatore a onda d'urto.



29

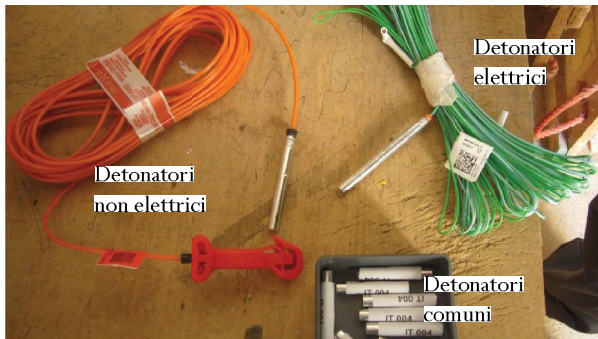
DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Modalità di innescamento degli esplosivi in generale e delle cartucce di tipo non detonante



31

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



I detonatori elettrici e non elettrici hanno il vantaggio di essere temporizzati: ogni detonatore che viene sensibilizzato dalla corrente elettrica o dall'onda d'urto si innesca dopo un certo tempo prefissato.

I tempi di ritardo tipici dei detonatori sono:

- 25 ms (scala microritardata)
- 100 ms scala di medio ritardo
- 250 ms scala di ritardo lungo



Miccia detonante

30

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Innescamento degli esplosivi



Preparazione di una 'smorza' con l'utilizzo della miccia detonante

32

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

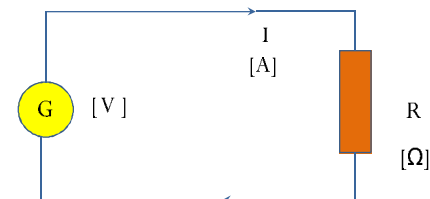
Innescamento e caricamento foro



33

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Elementi di circuiti elettrici



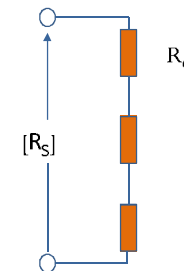
Le resistenze fisicamente simboleggiano i detonatori o le cartucce innescate

Legge di ohm: $V = R I$
 Effetto **Joule**: una corrente che scorre in una resistenza per un certo tempo produce calore....

Modalità di collegamento delle resistenze:

- Resistenze in serie: $R_s = R_c N_c$
- Resistenze in parallelo: $R_p = R_c / N_c$
- Resistenze in serie-parallelo

($N_c = n^{\circ}$ cartucce)



35

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Dispositivi per l'accensione elettrica

- Esplositore
- Ohmetro (analogico o digitale)
- Linea di tiro



34

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

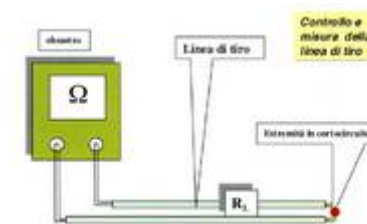
Dimensionamento elettrico di una volata

La linea di tiro ha una sua resistenza: $R_{lt} \approx 0,025 l / S$

Dove

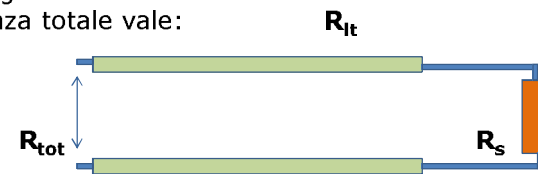
- l : lunghezza della linea in [m]
- S : sezione in [mm²]

Normalmente è sufficiente cortocircuitare gli estremi della linea e misurare con l'ohmetro per quantificarne il valore come da figura a fianco
 Pertanto la resistenza totale vale:



$$R_{tot} = R_s + R_{lt}$$

$$R_s = N_c R_c$$



36

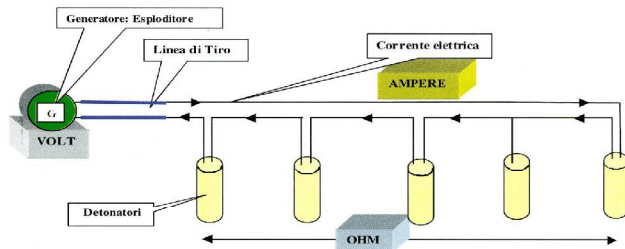
DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Esempio pratico

Calcolo del collegamento in serie di 10 (N_c) cartucce, con resistenza ognuna $R_c \approx 0,5 \Omega$, utilizziamo 100 m (l) di linea di tiro con conduttore di sezione $S = 1,5 \text{ mm}^2$ e pertanto $R_{lt} \approx 3,3 \Omega$, la resistenza complessiva ai morsetti della linea vale:

$$R_{tot} = R_s + R_{lt} = 10 \cdot 0,5 + 3,3 = 8,3 \Omega$$

Il disegno sotto-riportato mostra il circuito completo di sparo.



37

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

LA TEMPORIZZAZIONE DELLE MINE

L'ESPLOSIONE DELLE MINE RICHIEDE UNO STUDIO SUPPLEMENTIVO A RIGUARDO DEI TEMPI DI INNESCAMENTO. INFATTI L'ESPLOSIONE IN TEMPI DIVERSI DI PIU' MINE IN SENO AD UNA VOLATA E' SPESSO DETERMINANTE PER LE SEGUENTI MOTIVAZIONI:

- Riduzione delle vibrazioni nell'ambiente circostante
- Abbattimento del disturbo acustico
- Miglioramento della frantumazione del materiale o roccia oggetto di esplosione
- Direzione del materiale abbattuto in spazi prefissati
- Taglio netto del banco esploso dal massiccio che si trova alle spalle della volata
- Uniformità del materiale abbattuto in termini di pezzatura.

39

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Per l'utilizzo dell'esplositore (dispositivo che genera la corrente di innesco) è bene **attenersi scrupolosamente** alle istruzioni d'uso del Produttore che normalmente indica un limite superiore (da non superare) sia per la resistenza ai morsetti, sia un numero preciso di cartucce (normalmente collegate in serie).

Per quanto riguarda il calcolo di correnti e tensioni, sconsiglio **vivamente** la nuda applicazione della legge di ohm, poiché entrano in gioco parametri elettrotecnici di non facile applicazione per chi non ha dimestichezza e conoscenze approfondite in tale disciplina.



38

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

COME SI IMPOSTA LA TEMPORIZZAZIONE

NELLO STUDIO DI UNA VOLATA OCCORRE VALUTARE QUANTO SEGUE:

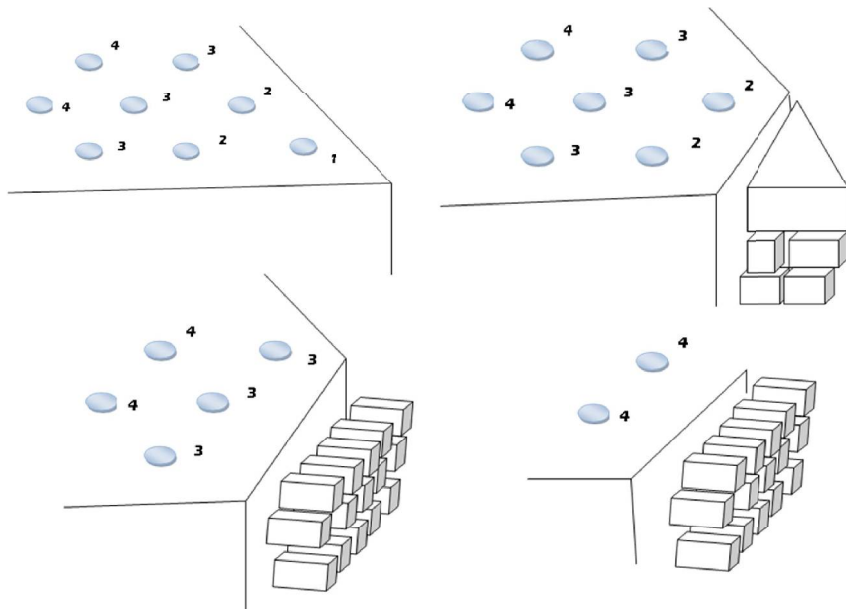
1. Presenza di superfici libere dove orientare lo sparo delle mine
2. Disposizione per file o per gruppi di innescamento simultaneo attribuendo ad ogni foro o gruppo di fori un tempo di ritardo progressivo, che può essere relativo alla disgregazione di una roccia oppure alla demolizione di una struttura
3. Scelta adeguata del tipo di innesco da usare
4. In talune situazioni (p. esempio in centro urbano) può essere indispensabile utilizzare più tempi di innesco all'interno dello stesso foro (se si tratta di una demolizione di roccia)

L'esempio che mostriamo successivamente mostra l'utilità di disgregare un ammasso roccioso tramite una temporizzazione delle mine e le successioni di distacco dell'ammasso roccioso, oppure in caso di demolizione di edifici l'orientamento di caduta.

40

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

IL CONCETTO DI TEMPORIZZAZIONE



41

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Modalità d'utilizzo e precauzioni
nell'impiego delle cartucce di tipo non
detonante

42

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Caricamento e borrhaggio



43

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Collegamento reofori

Stesura linea di tiro

Verifica resistenza
circuito



44

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Evacuazione della zona di tiro
Caricamento esploditore
Sparo della volata



45

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

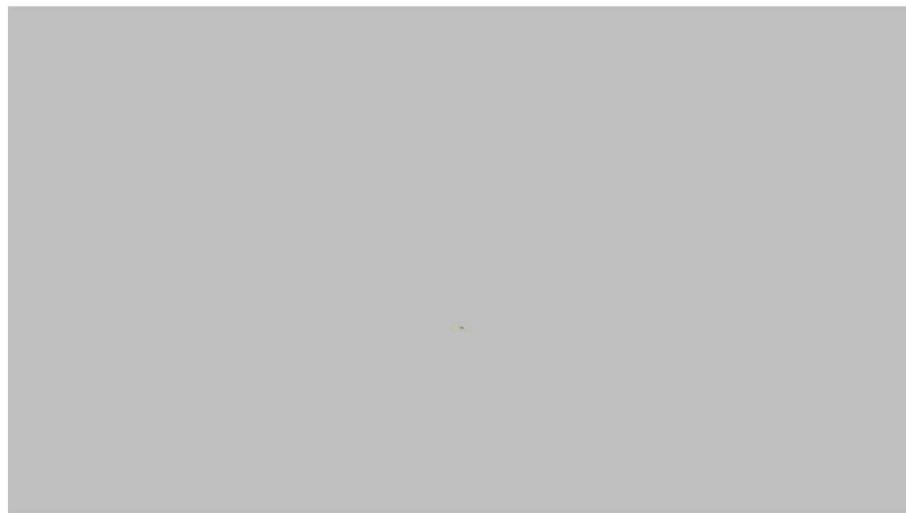
Requisiti di sicurezza lavorando con le cartucce di tipo non detonante

- Non fumare entro 10 m
- Conservare le cartucce al sicuro e lontano da calore e fiamme libere
- Se si sospettano temporali sospendere l'utilizzo
- Le cartucce danneggiate o inesplose devono essere rimosse e distrutte da personale autorizzato (cfr. Scheda di sicurezza)
- In prossimità di elettrodotti o cavi di alta tensione interrati rispettare la distanza minima di sicurezza in funzione della tensione dell'elettrodotto
- nessuna parte del circuito deve giacere su una superficie bagnata
- la linea di tiro o i reofori non devono essere disposti parallelamente alle linee di alta tensione

47

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Modalità di utilizzo di cariche non detonanti in cantiere



46

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Requisiti di sicurezza lavorando con il sistema non detonante

- Prima di effettuare lo sparo evacuare l'area valutando il quantitativo di carica utilizzata in funzione del tipo di protezione adottato per contenere la proiezione di frammenti
- Normalmente è sufficiente un'area di sgombero del personale di 30 - 50 m: è comunque sempre l'operatore a dover valutare le misure di sicurezza da adottare
- In aree urbane o comunque a forte presenza antropica è da prevedersi l'utilizzo di sistemi di protezione assoluta dal lancio di frammenti
- Le cartucce danneggiate o inesplose devono essere rimosse e distrutte da personale autorizzato (cfr. Scheda di sicurezza)

48

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Elementi di esplosivistica

49

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Dimensionamento di una carica esplosiva

Bilancio energetico di una mina

$$C = \frac{\epsilon_{SS} S}{\eta_1 \eta_2 \eta_3 E} \quad (^\circ) \quad [\text{kg/m}^3] \quad V = \Phi_c \sqrt{\frac{\rho_e \pi}{4 c}} \quad [\text{m}]$$

C – incidenza specifica di esplosivo [kg/ m³]

ε_{SS} - energia specifica superficiale roccia [MJ/ m²]

η₁ - Rendimento energetico accoppiamento esplosivo – roccia [0 – 1]

η₂ - Rendimento disaccoppiamento diametro foro/carica [0 – 1]

η₃ - Rendimento diretto alla frantumazione circa pari a 0,15

E – energia per unità di massa [MJ/kg]

V – Carico di roccia [m] **Φ_c** - Diametro della carica in [m]

ρ_e – Massa volumica dell'esplosivo [kg/m³]

(^o) L'esplosivo strumento di lavoro – G.Berta – Italesplosivi spa

51

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

DIMENSIONAMENTO DELL'ESPLOSIVO

L'applicazione classica e storica dell'esplosivo è disgregare un volume roccioso in porzioni di dimensioni piccole e di facile rimozione meccanica, la modalità è la seguente:

- Si pratica, nella roccia, uno o più fori a sezione circolare e di lunghezza opportuna, a distanza **V** dalla fronte libera (denominata in gergo *Carico di roccia*), e interasse **E** da foro a foro.
- Si calcola una precisa quantità di esplosivo da calare all'interno di ogni foro abbinata all'innesco.
- L'ultima parte del foro in alto viene intasata di terra per evitare lancio eccessivo di frammenti rocciosi nell'ambiente circostante.
- Normalmente si inclina il foro di alcuni gradi rispetto alla verticale e si pratica una sottoperforazione aggiuntiva per consentire di rimuovere completamente il volume della parte bassa della roccia.

Pertanto il foro/i da mina assume un posizionamento preciso e dettagliato nel contesto roccioso che va sotto il nome di: **Geometria di perforazione.**

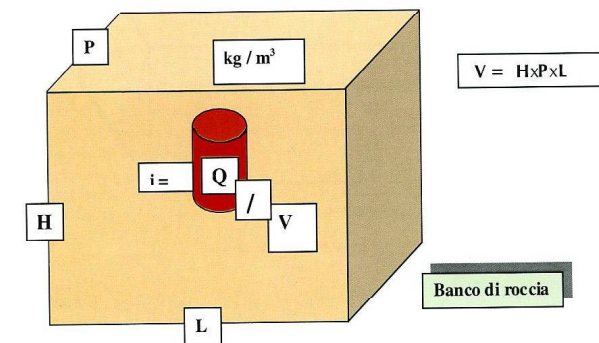
50

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

CONCETTO DI INCIDENZA ESPLOSIVO

$$i = Q/V$$

Incidenza di esplosivo = Quantità di esplosivo / Volume di roccia.



52

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Per impostare la distanza di un foro dalla superficie libera in una prima valutazione è possibile stimare empiricamente V come segue:

$$V \leq 40 \Phi_c$$

Dove

Φ_c è il diametro della carica in [m]

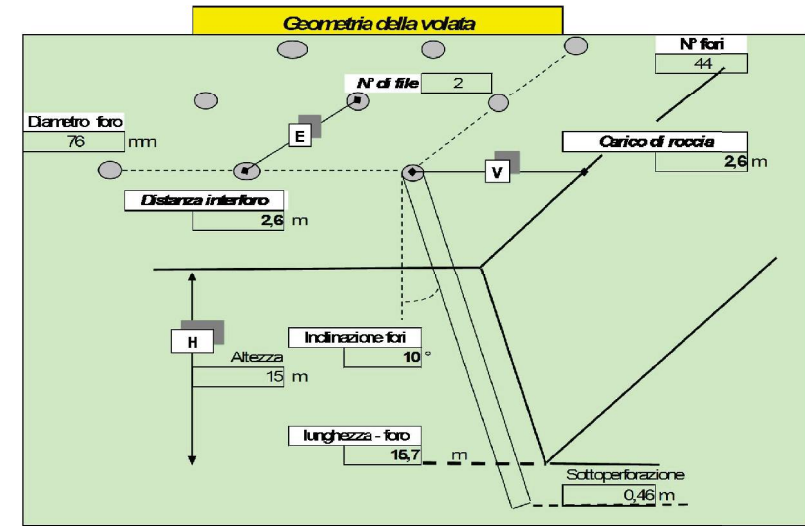
V è il carico di roccia in [m]

La distanza tra foro e foro indicata spesso con [E]

può essere la stessa di V oppure diversa, in caso di rocce con comportamento anisotropo, comunque compreso tra 0,8 e 1,2 la dimensione di V .

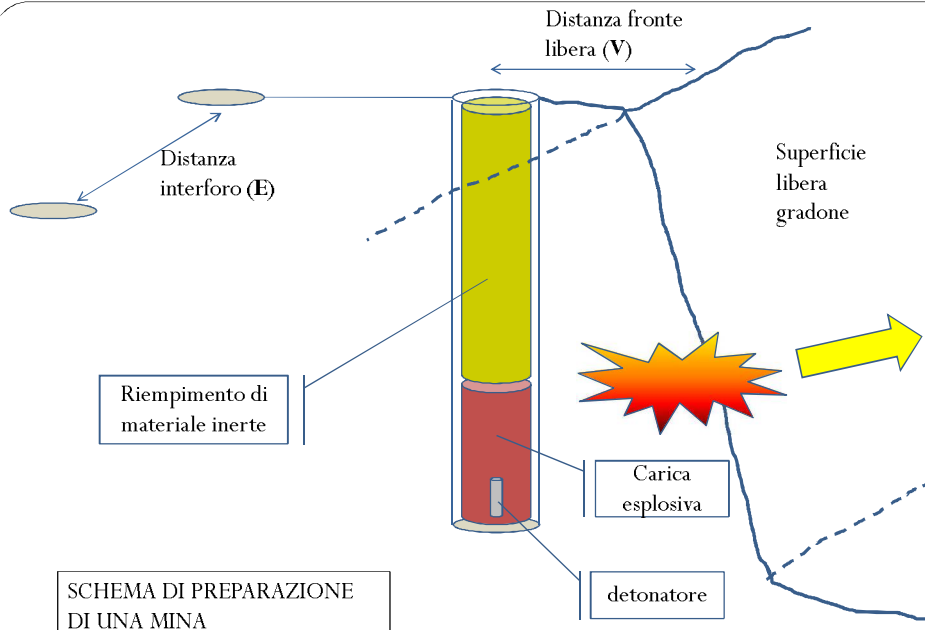
53

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



55

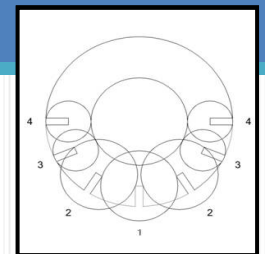
DETON SRL: demolizioni con esplosivo



54

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

LE DEMOLIZIONI



56

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

La demolizione di strutture

Oggetto delle demolizioni sono strutture progettate in base ai principi della scienza delle costruzioni e costruite assemblando con sistemi di vincoli più o meno complessi elementi rigidi quali travi, pilastri, piastre e profilati metallici. Obiettivo di una demolizione con esplosivo è quindi quello di individuare esattamente gli elementi portanti della struttura la cui distruzione consente la sua disarticolazione e il crollo.

LA DEMOLIZIONE DI UN MANUFATTO INIZIA DA UN'ANALISI DELLE PARTI STRUTTURALI.

- Reperimento di disegni sulle strutture da abbattere
- Rilievo in dettaglio di parti strutturali e non.
- Individuazione di PILASTRI – SETTI – TRAVI - SOLAI.
- Prove sclerometriche, pacometriche, ultrasoniche, etc.
- Progetto del metodo di abbattimento: caduta verticale o laterale.
- Progetto di posizionamento cariche.

57

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Dimensionamento delle cariche in generale

Per il dimensionamento delle cariche bisogna considerare se queste siano collocate all'interno dei fori (**cariche confinate**) o all'esterno (**cariche non confinate o appoggiate**). Quando è possibile si sceglie il primo metodo: consente un maggiore rendimento dell'energia di esplosione.

Per le cariche confinate il dimensionamento avviene normalmente secondo due metodi:

- **Raggio d'azione delle cariche;**
- **Carica specifica.**

Nel primo metodo si utilizza la seguente formula (attribuita a Weichert (*)):

$$L = W^3 c d$$

- Dove **L** è la carica in kg,
- **W** è la distanza della carica dalla superficie libera in [m] delle pareti,
- "**c**" e "**d**" sono dei coefficienti che tengono conto del tipo di esplosivo, della resistenza del muro e della bontà del borraggio o intasamento.

59

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Quali opere si demoliscono?

- Strutture industriali;
- Edifici multipiano;
- Viadotti, ponti stradali e ferroviari;
- Serbatoi pensili in c.a.;
- Vasconi, sbarramenti e opere di vario genere in calcestruzzo;
- Torri piezometriche, ciminiera.

Quali esplosivi si utilizzano?

- Opere semplici richiedono l'uso di **esplosivi non detonanti**
- Opere di notevole complessità invece si risolvono con **esplosivi detonanti** poiché richiedono valori di energia elevati e quantità industriali importanti.

TRATTEREMO NEL DETTAGLIO ENTRAMBI I SISTEMI

58

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

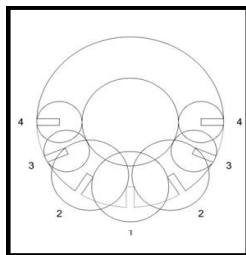
- Il coefficiente **c** dipende dal carico gravante sul muro e anche dal valore di **W**.
- Al coefficiente **d** è assegnato il valore 1 se il borraggio è ben eseguito (p. esempio lunghezza pari a 30 cm), mentre si può arrivare fino al valore di 1,25 se ad esempio ci si trova in presenza di un foro troppo corto che non permette un'adeguata sigillatura del foro carico.

- (*) Ingegneria delle demolizioni – Brandimarti - Giacchetti

60

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Applicazione del concetto della sfera d'azione alla demolizione di opere in muratura: l'azione distruttiva si considera perfettamente esplicata quando la sfera giunge a contatto o meglio supera la parete libera. Si noti inoltre la sequenza di esplosione delle cariche dal centro verso l'esterno.



Nel caso si debbano minare elementi strutturali armati, si preferisce dimensionare le cariche secondo il **concetto della carica specifica**: s'identificano i punti della struttura da attaccare, si valuta per ogni punto il volume che è necessario disgregare per eliminare l'eventuale vincolo e si calcola la carica totale necessaria per ottenere quell'obiettivo moltiplicando il volume da distruggere per una appropriata carica specifica (da 0,3 a 0,6 kg/m³ a seconda che il calcestruzzo sia poco o molto armato).

Metodo della carica specifica

$$Q = i \cdot \text{Vol}$$

Q = carica in kg
 i = incidenza variabile da 0,3-1 in kg/m³
 Vol = volume da abbattere in m³.

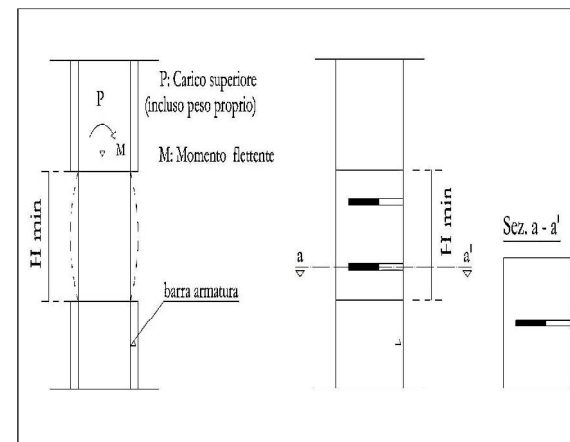
CARICHE NEI PILASTRI

Le cariche in foro possono garantire solo la disgregazione del calcestruzzo ma non danno per certo il taglio delle armature. Per un pilastro presso-inflesso l'altezza **h** di minatura si calcola in base alla lunghezza libera d'inflessione dei tondini denudati per cui si otterrebbe lo svergolamento a causa del carico cui il pilastro era sottoposto, come è evidenziato nel disegno che segue (*):

$$h = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{EJ}{P}}$$

P = carico critico gravante sul singolo tondino;
 E = modulo elastico della barra d'armatura;
 J = momento d'inerzia del tondino;
 h = lunghezza minima di inflessione.

(*) Ingegneria delle demolizioni - G. Brandimarti - R. Giacchetti.



Cariche non confinate

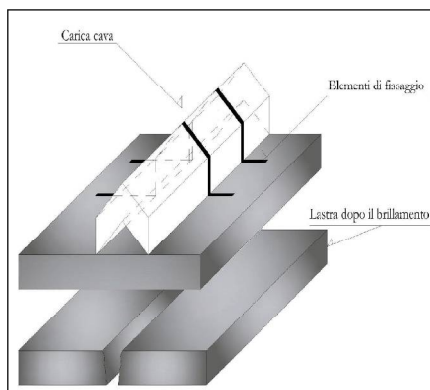
- Strutture pericolanti
- Interventi urgenti
- Strutture metalliche caratterizzate da spessori esigui



- Cariche appoggiate
- Cariche cave o sagomate

Cariche cave

Sfruttano il principio scoperto da Munroe e perfezionato da Neumann, secondo il quale una carica sagomata, durante l'esplosione, non rilascia la sua potenza in maniera uguale in tutte le direzioni, ma la concentra nella sua cavità. Sono più efficaci delle cariche appoggiate ma di difficile reperibilità. Sono realizzate con esplosivi solidi molto diversi: tritolo, pentrite, T4. Si indica in figura a lato il funzionamento.



Esempio di caricamento di un pilastro con cariche non detonanti



DETON SRL-ESPLOSIVISISTEMI
 LOC. BADILU GARILU- 0903 TEMPIO PAUZANZA

ANALISI DI UN PILASTRO

lato B=0,3 m

DATI PRELATIVI	
Lato a	0,3 m
Lato b	0,3 m
Altezza taglio h	2 m
N° Pilastrini	10
Interasse fori	0,3 m
Diámetro foro	25 mm
Lunghezza foro	0,2 m
Peso cartuccia	0,13 kg
Lunghezza cartuccia	0,2 m
Lunghezza Carica	0,2

lato a=0,5 m
 h: 2 m
 N° fori: 10
 Incidenza: 2 g/m³
 Quantità Esplos. Pilastro: 0,26 kg
 Quantità Esplosivo Totale: 2,6 kg

N° cartucce foro: 10
 N° cartucce pilastro: 2
 N° cartucce complessive: 12

Borraggio: 0,8 m
 0,15 m, 0,2 m, 0,35 m, 0,5 m

VISTA LATERALE DEL PILASTRO

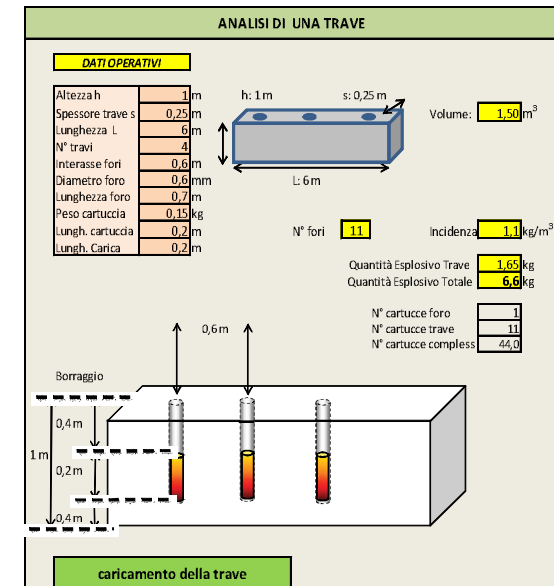
Demolizione di travi e ponti

- Analogamente si procede per le travi in c.a.; si stabilisce un'incidenza d'esplosivo necessaria a disgregare alcuni punti della trave e si colloca l'esplosivo lungo un allineamento di fori con interasse stabilito in base all'incidenza di esplosivo; essendo le travi spesso collegate ai pilastri, è sufficiente rompere 1 o 2 punti della trave (se in appoggio) per ottenerne la caduta a terra.

65

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

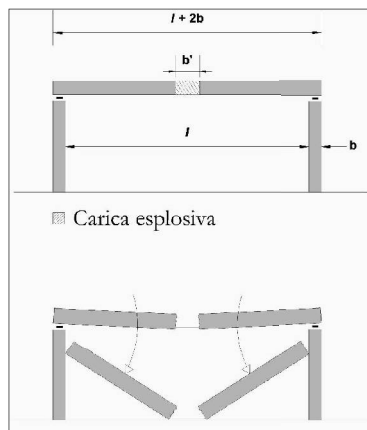
Esempio di demolizione di una trave



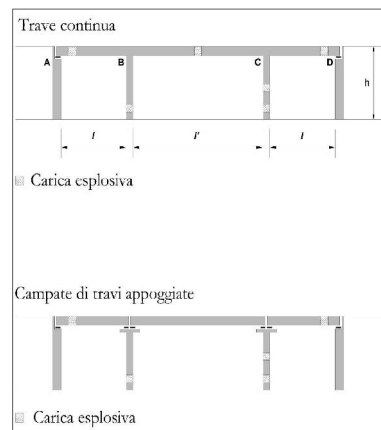
67

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Travi: alcune proposte di posizionamento delle mine



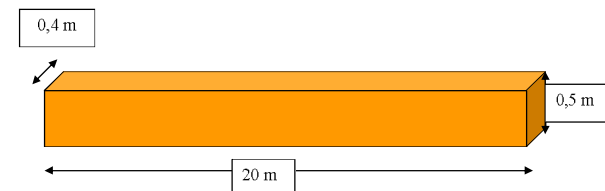
Trave in c.a. semplicemente appoggiata prima e dopo l'esplosione



Proposte di posizionamento delle cariche esplosive su trave continua e campate di travi appoggiate

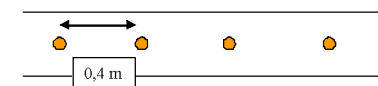
66

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Perforazione

Occorre impiegare una perforatrice ad aria compressa con fori diametro: 32 mm
Maglia di perforazione: 0,4 – 0,5 m circa realizzati su singola linea.
Lunghezza dei fori: 0,4 m circa.
I fori dovranno essere paralleli alle superfici libere del trave,



Sparo

L'esplosivo da usare è, vista la ridotta dimensione del trave, di tipo 1° categoria.
Con maglie così strette l'incidenza risulta compresa tra 0,7 – 0,9 kg/m³ sufficiente a disgregare il trave in dimensioni accettabili.
Effetti secondari: lancio di piccoli frammenti.
Protezione con teli elastici di adeguata robustezza collocati sopra i fori con l'esplosivo.

68

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

DEMOLIZIONE DI UNA TRAVE IN
C.A. in Zona Industriale – SASSARI
utilizzando Esplosivi non Detonanti

69

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



TRAVE DISARTICOLATA DALL'ESPLOSIONE

71

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

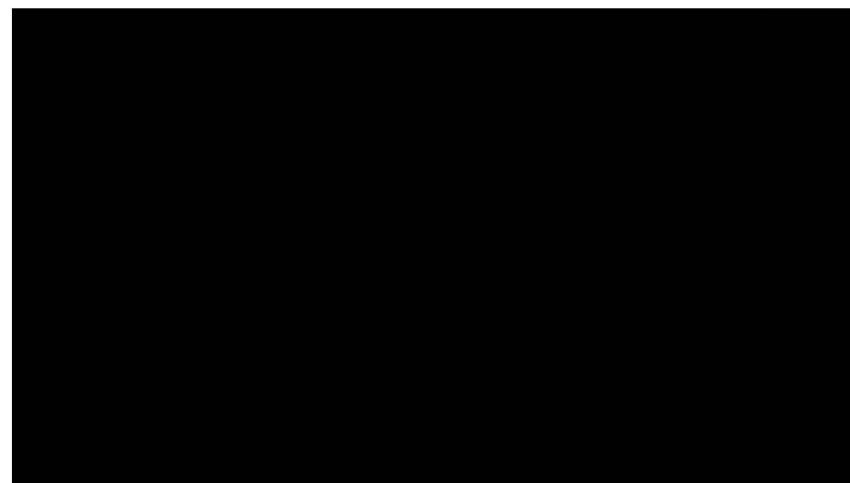
Eliminazione di una trave semplice in c.a. a Sassari loc. vialetto Zona Industriale con l'utilizzo di cariche Non Detonanti



70

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Utilizzo Cariche non detonanti per demolizioni di
travi in c.a ed esperimenti su granito sardo



72

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

DEMOLIZIONE DI UN PONTE
STRADALE CON ESPLOSIVI
TRADIZIONALI

73

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Vista del ponte prima dello sparo

75

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Demolizione di un ponte stradale con esplosivo ordinario
Strada Statale: Bosa – Alghero



PILASTRI
MINATI E
FASCIATI

74

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Brillamento del ponte

76

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Risultato dell'abbattimento

77

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Demolizione ponte ferroviario a Caltagirone – Gela
lunghezza 450 m – con l'uso di esplosivo ordinario



79

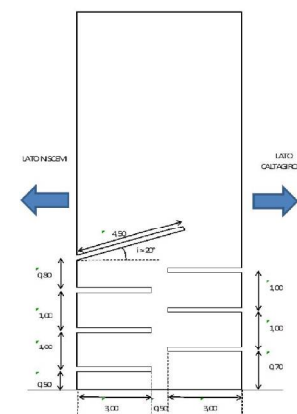
DETON SRL: demolizioni con esplosivo

DEMOLIZIONE DI UN PONTE
FERROVIARIO AD ARCHI CON
ESPLOSIVI CLASSICI

78

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

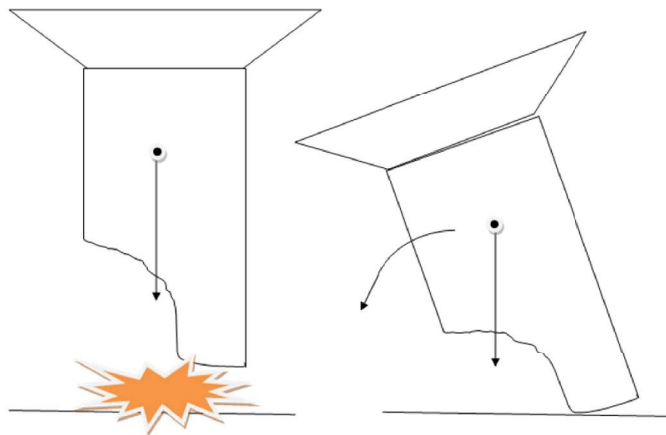
Dettaglio della pila da abbattere



80

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Cinematismo di abbattimento delle pile del ponte



81

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Ciò che rimane del ponte



3.3 - ponte caltagirone.mp4



83

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Operazioni di caricamento



82

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

DEMOLIZIONE DI EDIFICI E STRUTTURE

84

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

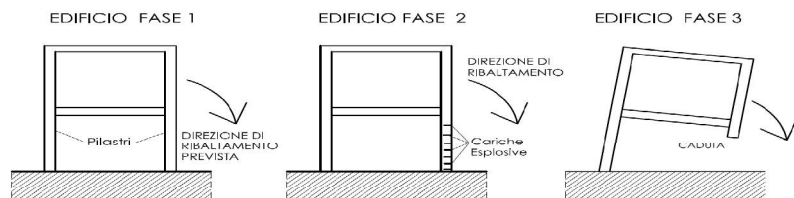
La demolizione può avvenire secondo vari metodi di caduta

RIBALTAMENTO

Caduta della struttura con cinematismo di rotazione attorno ad un asse posto alla base. Il ribaltamento è ottenuto minando alcune parti e lasciando intatte solo parti di struttura attorno alle quali dovrà instaurarsi il cinematismo. Cerniera



ESEMPIO di posa delle cariche per l'effetto di ribaltamento.



35

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

DEMOLIZIONE DI UN EDIFICIO A RIBALTAMENTO LATERALE

37

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

IMPLOSIONE

La struttura da demolire converge verso il centro, ottenuta abolendo per una certa altezza, la base di appoggio, mantenendo alcuni elementi portanti periferici e temporizzando le esplosioni in modo che il cinematismo cominci in anticipo nella parte centrale; lo scopo è il contenimento completo del volume di macerie nell'area di base.



CADUTA VERTICALE

Caduta della struttura da demolire con direzione prevalente verso il basso, ottenuta abolendo totalmente per una certa altezza alcuni livelli della struttura da demolire in modo da innescare un movimento verso il basso con una velocità tale da ottenere la forza sufficiente a disgregare le strutture portanti.



36

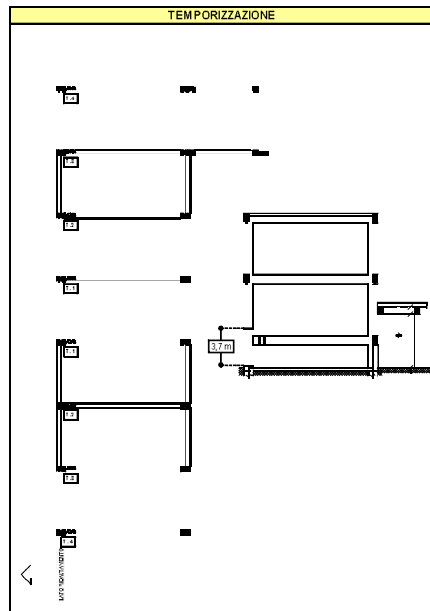
DETON SRL: demolizioni con esplosivo



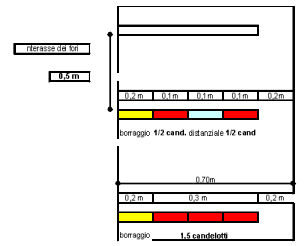
DEMOLIZIONE CON RIBALTAMENTO LATERALE - CABINA ELETTRICA SYNDIAL - ENICHEM PORTOTORRES (SS)

38

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



SEZIONE DI UN PILASTRO



Caricamenti di esplosivo

Pilastrino	Pilastrino	Caricamento	Caricamento esplosivo		n. pilastri		
			kg	m ³			
fori inf	8	3	2	7,20	26,1	16	24
fori sup	8	4	1	4,80	34,7	16	32
travi	8	2	1	2,40	17,5	16	16
Totale				14,40	79,30	32,00	72

89

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Lancio di corrente con l'esplositore- 2

91

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Sequenza di abbattimento - 1 (attesa lancio corrente)

90

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Sequenza di abbattimento - 3

92

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Sequenza di abbattimento - 4

93

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Sequenza di abbattimento - 6

95

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Sequenza di abbattimento - 5

94

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Sequenza di abbattimento - 7

96

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Fase di controllo del materiale abbattuto

97

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



99

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



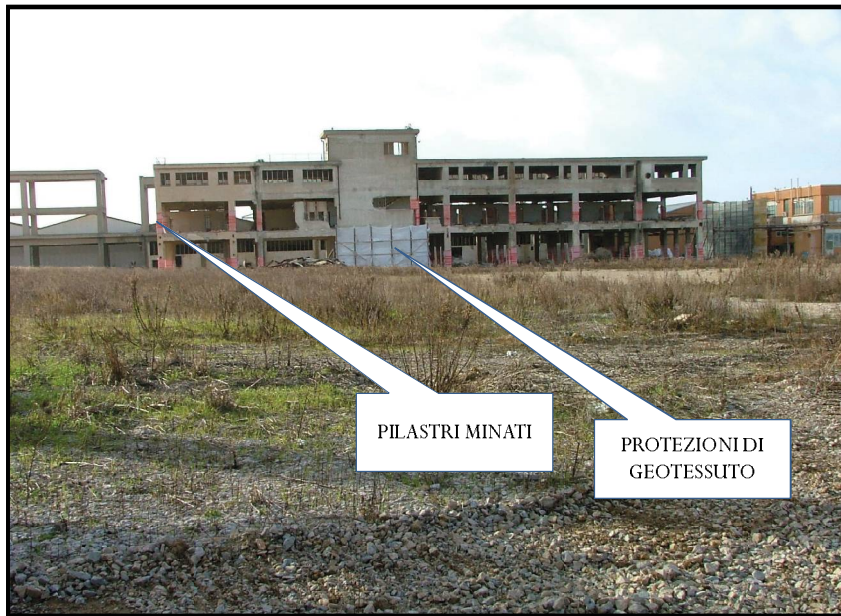
98

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

DEMOLIZIONE DI UN EDIFICIO
A CROLLO VERTICALE

100

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

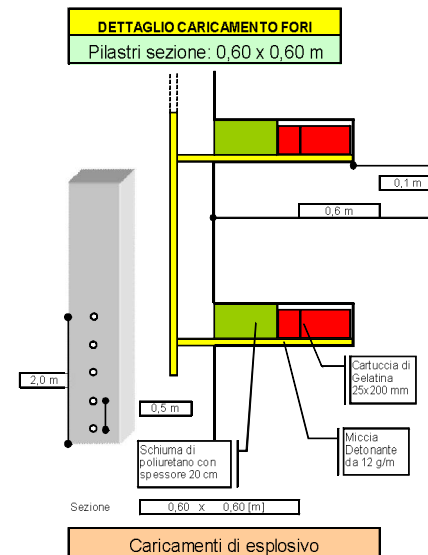


PILASTRI MINATI
 PROTEZIONI DI GEOTESSUTO

Demolizione Edificio "Bambury" – Area Syndial Enichem – Portotorres (SS)

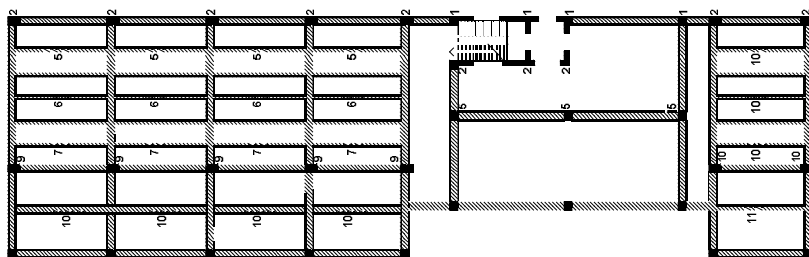
101

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



103

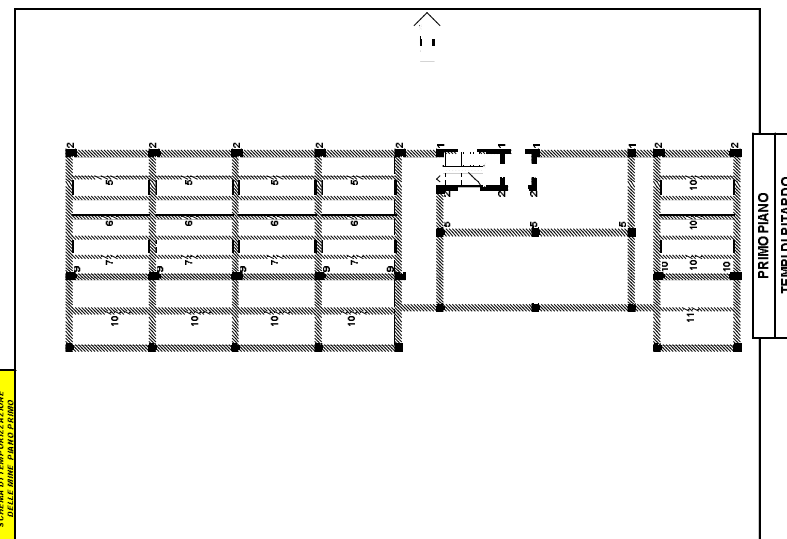
DETON SRL: demolizioni con esplosivo



TEMPORIZZAZIONE FORI A PIANO TERRA

102

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



TEMPORIZZAZIONE MINE A 1° PIANO

104

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Attesa precedente il brillamento

105

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Brillamento struttura

107

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Brillamento della struttura

106

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



DETON SRL: demolizioni con esplosivo

108



IMPACCHETTAMENTO DEI SOLAI A "SANDWICH"

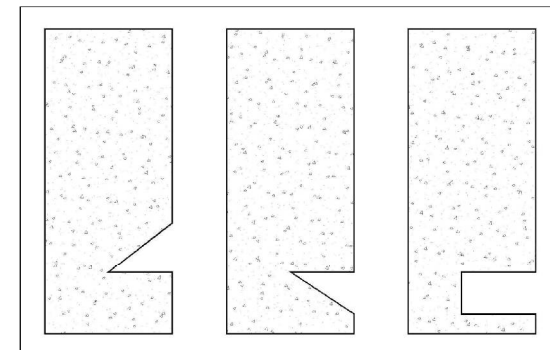
109

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

ABBATTIMENTO DI TORRI - SERBATOI PENSILI

Alcune strutture si prestano più di altre alla demolizione per caduta laterale e per alcune di esse è addirittura una scelta obbligata: stiamo parlando delle torri e qui affronteremo soltanto il caso delle ciminiere sia in muratura sia in cemento armato.

Per quanto riguarda le ciminiere in muratura, appare subito evidente che non resistendo le murature a trazione, basterebbe un'asportazione pari a metà della sezione resistente per ottenere il crollo. Per certezza d'effetto la frazione asportata è compresa tra un 1/2 e i 2/3 della sezione resistente.



Alcune forme del cuneo d' intaglio realizzate per l'abbattimento laterale

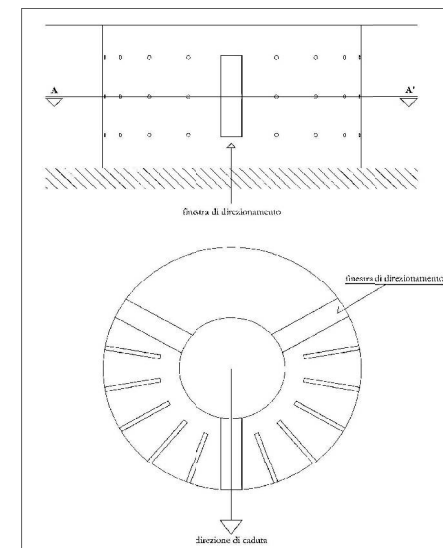
111

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

ABBATTIMENTO DI TORRI E SERBATOI PENSILI

Non essendo l'esplosivo uno strumento chirurgico di precisione assoluta è molto probabile che l'effetto distruttivo si propaghi ben oltre il volume che invece si vorrebbe intenzionalmente asportare, provocando il rinculo all'indietro della parte soprastante l'intaglio rendendo incontrollabile la direzione di caduta. Per ovviare a questo problema si creano con mezzi meccanici due o più aperture, chiamate finestre di direzionamento, che delimitano esattamente il confine della sezione resistente e allo stesso tempo fungono da parti libere per lo sfogo delle mine.

Le cose si complicano per le ciminiere in c.a. per almeno tre motivi: cadono a terra generalmente integre generando un intenso disturbo vibratorio, comprendono molto spesso più tubi coassiali in materiali diversi da conoscere esattamente per impostare un progetto di demolizione, ma soprattutto sono in grado di restare in bilico anche se il baricentro cade fuori dalla base di appoggio.



Possibile disposizione dei fori per abbattimento di una ciminiera in muratura o c.a. con tre finestre di direzionamento.

110

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

112

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Anche in questo caso il problema chiave è il posizionamento e la tenuta della cerniera dipendente dalla forma e dalla dimensione dell'apertura dell'intaglio. Quest'argomento è oggetto di molti studi e di seguito viene indicato un metodo proposto da tecnici cinesi rivelatosi di grande successo nell'abbattimento di ciminiera in c.a. Secondo questo metodo l'intaglio dovrà essere rettangolare, i fori e le finestre di direzionamento dovranno interessare un arco di 240° come indicato nella figura precedente. L'altezza h di tale intaglio dovrà essere così calcolato (*):

$$h > \frac{3D^2}{8z_c} \left(1 + \frac{7}{4} \frac{\sigma_s}{p} S \right)$$

Dove

D : è il diametro alla base,

z_c : l'altezza del baricentro,

σ_s la resistenza unitaria a trazione dei ferri,

p il peso della ciminiera,

S la somma delle sezioni dei ferri nella parte lasciata intatta che in pianta dovrà proiettare un arco di 120°.

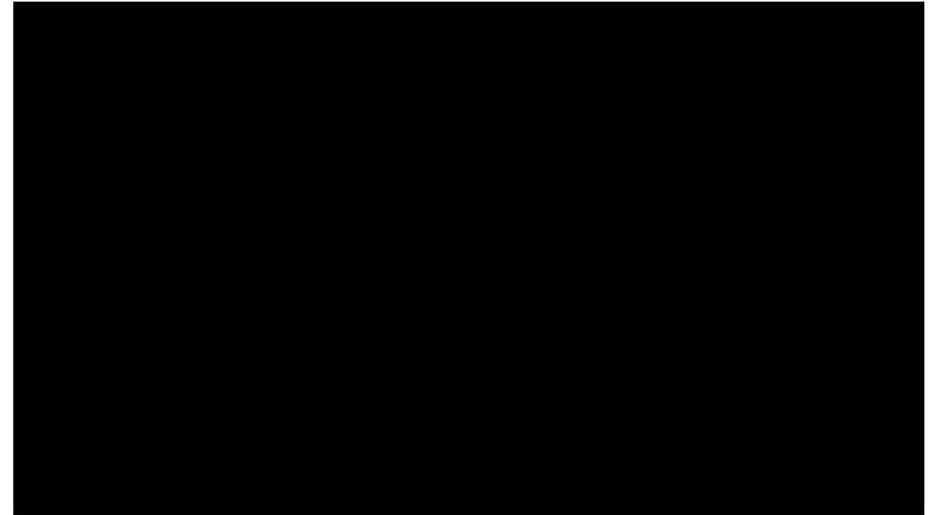
Per certezza d'effetto è consigliato moltiplicare il valore di h per un coefficiente di sicurezza compreso tra 1.1 e 1.5.

(*) Scienza delle distruzioni – Politecnico di Torino - Mancini – Michelotti.

113

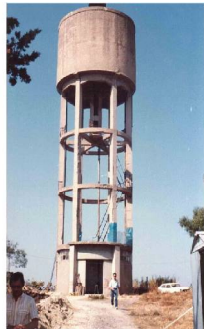
DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Demolizione Edificio industriale in Cecoslovacchia

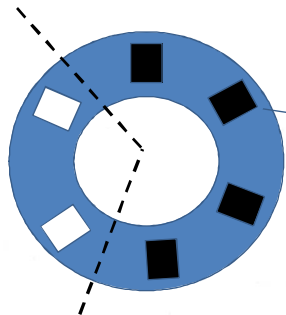


115

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



DEMOLIZIONE DI UN SERBATOIO
PENSILE A CHILIVANI (SS)



Pilastri minati

1

DEMOLIZIONE TORRE CIMINIERA

NON-EXPLO ITALIA
NON-EXPLOSIVE SYSTEM ■ Sistemi di demolizione sicuri e veloci

NON-EXPLO ITALIA s.r.l.

V.le A. Zonghi, 47/49
60044 Fabriano (An) ITALY
+39 338 2970000 (Paolo Pastuglia)
Tel. +39 0732 250609 - Fax+39 0732 3001
e-mail: info@nonexploitalia.it
www.nonexploitalia.it
www.autostem.it

116

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Esempi di sbancamenti in roccia

117

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



FORI DA MINA

Sparo in centro urbano a Tempio Pausania

119

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

REALIZZAZIONE DI SCAVI PER
COSTRUZIONE EDIFICIO IN
CENTRO URBANO – CARICHE
NON DETONANTI

118

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Dettaglio della frantumazione



120

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Risultato dell'abbattimento

121

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Perforazione roccia



123

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Scavo in roccia ad Arzachena con l'uso di cartucce Non - Detonanti.

122

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Sparo con dispositivi Non detonanti ad Arzachena (OT)

124

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



125

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

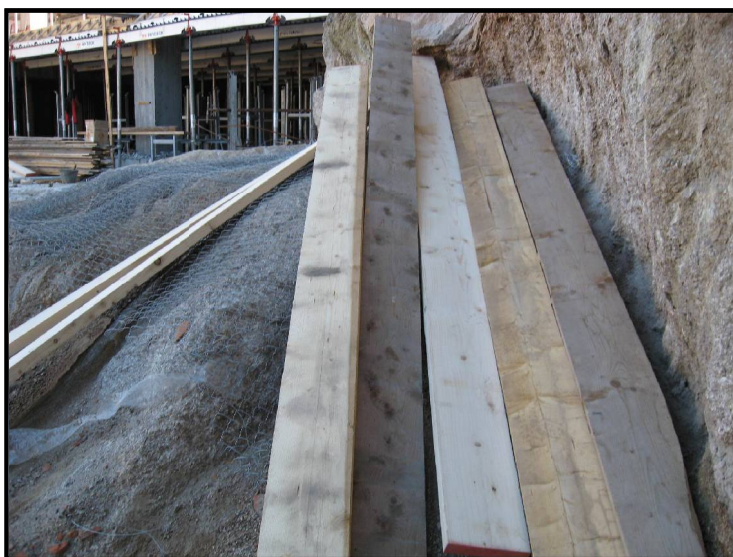
Collegamento cariche non-detonanti



127

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Copertura delle mine



126

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Risultato dell'abbattimento



128

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Apertura di una galleria di accesso sotto il castello di Exiles in Val di Susa (TO) con dispositivi Non - detonanti

129

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Esplosione...

131

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

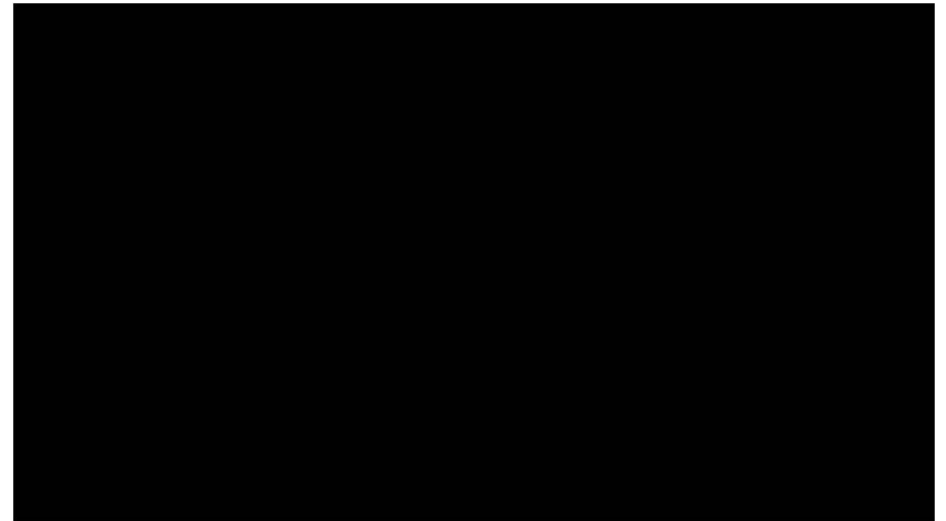


Preparazione di una rinora centrale a "V"

130

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

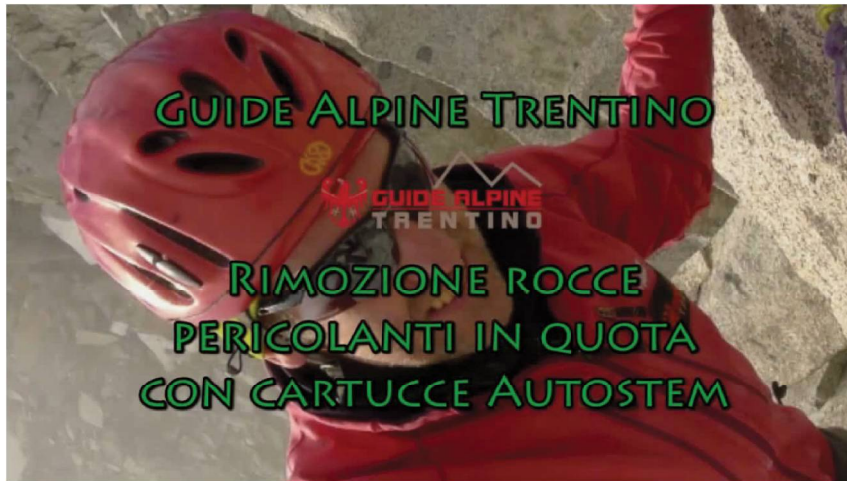
- Demolizione roccia a San Domenico di Varzo con cartucce Non detonanti



132

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Demolizioni rocce pericolanti



133

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Scavo in roccia di vano ascensore in una villa a Portorotondo con esplosivi classici

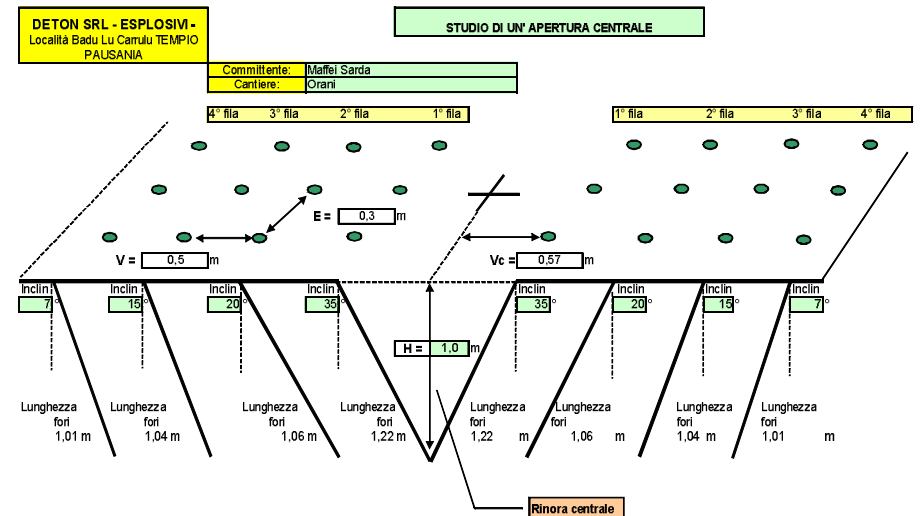
135

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

IMPIEGO DI ESPLOSIVI DETONANTI

134

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Schema della rinora a "V"

136

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Perforazione e caricamento di una rinora a "V" nello scantinato

137

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

EFFETTI INDESIDERATI DURANTE I BRILLAMENTI

139

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Copertura delle zone minate con pesanti lamieroni.

138

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

EFFETTI INDESIDERATI E POSSIBILI RIMEDI

- Lancio di frammenti;
- Vibrazioni nel terreno.
- Sovrappressioni nell'atmosfera;
- Materiali inquinanti;
- Emissione di polveri;

Materiali inquinanti → D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.

Emissione di polveri → Art. 153 c. 3 D.Lgs 81/08

140

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Lancio di frammenti: metodo di G.Berta

Sappiamo che l'equazione del moto di un proiettile può essere espressa dalla seguente equazione di secondo grado:

$$y = (tg\theta_0)x - \left(\frac{g}{2v_0^2 \cos^2\theta_0}\right)x^2$$

Ponendo quindi $y = 0$ e non considerando la soluzione $x = 0$, la gittata massima del "proiettile" sarà:

$$x_{max} = \frac{sen2\theta_0 v_0^2}{g}$$

Le formule proposte da Berta per l'acquisizione di v_0 sono due:

$$v_0 = 23\sqrt{c}; \quad c = 1,73 (q/W^2)$$

Dove: V_0 è la velocità iniziale in [m/s], c è l'incidenza di esplosivo direttamente collegata alla possibilità di lanci, q è il rapporto tra la carica in kg e la lunghezza caricata del foro e W , chiamato carico di roccia (*burden*), è la distanza in [m] tra la carica e la superficie libera.

141

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

PROTEZIONE DAI LANCI

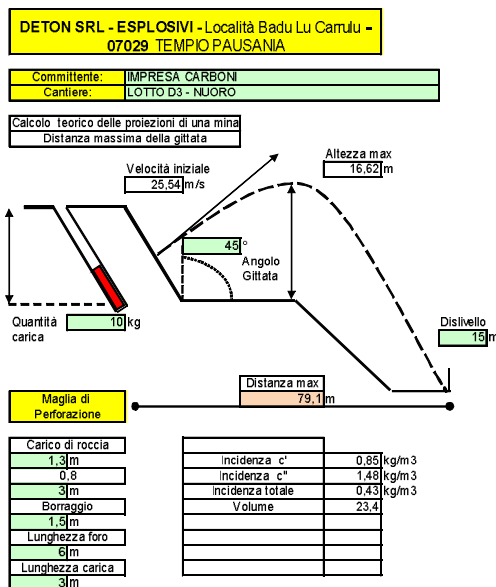
Anche se da quest'analisi dovesse risultare che le gittate massime siano di poche decine di metri, considerando che è raro trovare costruzioni tanto isolate, sarà necessario provvedere in qualche maniera alla totale esclusione dei lanci di frammenti,

Quest'obiettivo viene raggiunto avvolgendo le parti minate della struttura con delle schermature, realizzate appositamente per lo scopo, come le **Blasting Mats** ossia stuoie in gomma cucite con cavi d'acciaio, o impiegando materiali "opportunistici" come nastri trasportatori recuperati, vecchi pneumatici, balle di paglia, tavolati e così via.



143

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



142

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Bordighera : scavo di 500 metri cubi per ampliamento edificio

Rete in trefolo d'acciaio Mazzella 4,3x4,3 m; 1560 kg

Sistemi di contenimento integrale della proiezione di frammenti durante la demolizione con esplosivi non detonanti



144

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Vano ascensore – Isola d’Elba 2



145

DETON SRL: demolizioni con esplosivo



Pesanti lamieroni a
copertura delle zone
minate con esplosivo
classico

147

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Protezione con cassoni pesanti



146

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Pesante copertura metallica in uno scantinato



148

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

VIBRAZIONI NELL'USO DEGLI ESPLOSIVI

La grandezza fisica di controllo ai fini della valutazione dei danni che le vibrazioni possono provocare alle strutture è il **p.p.v. (peak particle velocity)** ossia la massima velocità particellare, denominata agli effetti pratici **velocità di vibrazione** espressa solitamente in **mm/s**; è un parametro dinamico che in funzione della frequenza di oscillazione in (**Hz**) viene utilizzata come riferimento per una correlazione tra i danni provocati in un struttura e l'uso di determinate quantità di esplosivo.

In Italia la normativa di riferimento per la misurazione, il trattamento e la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici è la **UNI 9916:2004**, che come dichiarato dalla norma stessa, si rifà ad altre normative tra le quali le famose norme DIN 4150-3 tedesche, BS 7385 inglesi e le SN 64031 2a svizzera.

149

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

VIBRAZIONI INDOTTE DALLE ESPLOSIONI – (1)

Fra le formule più utilizzate per la stima del p.p.v. si ricorda quella di *Langefors*:

$$p.p.v. = K \sqrt{\frac{Q_d}{R^{3/2}}}$$

Dove: **p.p.v.** è il picco di velocità di vibrazione in [mm/s]

Q_d è la quantità max di carica esplosa simultaneamente [kg]

R è la distanza della struttura dal punto di sparo in [m]

K è un coefficiente che dipende da vari fattori quali la trasmissione della roccia, il tipo di esplosivo, il disaccoppiamento tra l'esplosivo e il foro, ecc.

Valori orientativi del coefficiente di Langefors per distanze < 50 m

Materiale attraversato	Velocità di propagazione (m/s)	Coefficiente K
Calcere	3500÷5000	200÷400
Arenaria	2500÷4500	150÷350
Granito	4000÷6000	250÷400

151

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

DIN 4150 - Germania

	Tipo di costruzione	Valori indicativi velocità di vibrazione espressa in mm/s			
		Frequenze alle Fondazioni			Soloio ultimo piano, orizzontale
		1 Hz – 10Hz	10Hz – 50Hz	50Hz – 100Hz (*)	
1	Edifici ad uso artigianale, edifici ad uso industriale e costruzioni per uso analogo	20	20 - 40	40 - 50	40
2	Edifici ad uso abitativo e costruzioni simili per utilizzo e struttura	5	5 - 15	15 - 20	15
3	Costruzioni che per la loro sensibilità alle vibrazioni non rientrano nelle 1-2 (edifici di valore artistico)	3	3 - 8	8 - 10	8

(*) in presenza di frequenze superiori a 100 Hz, si possono applicare come minimo i valori indicativi per 100 Hz.

Il regolamento comunque chiarisce " Se si rimane entro i valori indicativi della tabella non si verificano, allo stato attuale della conoscenza, danni traducibili in una diminuzione del valore d'uso per cause riconducibili a vibrazioni. La presenza di eventuali danni sarebbe quindi da ricondurre ad altre cause, tuttavia il superamento dei valori indicativi riportati in tabella non costituisce di per sé causa di danni. Nel caso di consistente superamento di tali valori indicativi occorre approfondire ulteriormente le ricerche."

150

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

VIBRAZIONI INDOTTE DALLE ESPLOSIONI – (2)

La conoscenza della sola *p.p.v.* non è generalmente sufficiente a quantificare la dannosità delle vibrazioni indotte dalle esplosioni, occorre prevedere anche la frequenza. Questo dato non è facilmente valutabile, si cita comunque la seguente formula, di comune utilizzo per un veloce calcolo di prima approssimazione (*):

$$f = (K_f \log R)^{-1}$$

dove **f** è misurata in Hz e **R** in metri, **K_f** coefficiente che dipende dalla natura del mezzo trasmissivo (terreni sciolti circa 0,1 – rocce compatte 0,01). Nell'area di interesse circostante il brillamento, valutabile in un raggio di 50 m, il valore di **f** può tuttavia essere considerato orientativamente pari a 20 Hz.

(*) G. Berta – Italesplosivi spa Milano – Esplosivo strumento di lavoro

152

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI MEDIANTE LA FORMULA DI BERTA –

(3)

Relazione di Berta

$$v = \frac{\sqrt{Q}}{R} \cdot \sqrt{\frac{\eta_g \eta_1 \eta_2 E \cdot 10^6}{5K_f \log R \cdot \pi \cdot \rho_r C}}$$

Nell'equazione proposta da G.Berta in "Esplosivo strumento di Lavoro" si evidenzia in modo più dettagliato il K della formula di Langefors e le grandezze fisiche che concorrono nell'esplosione delle mine, infatti:

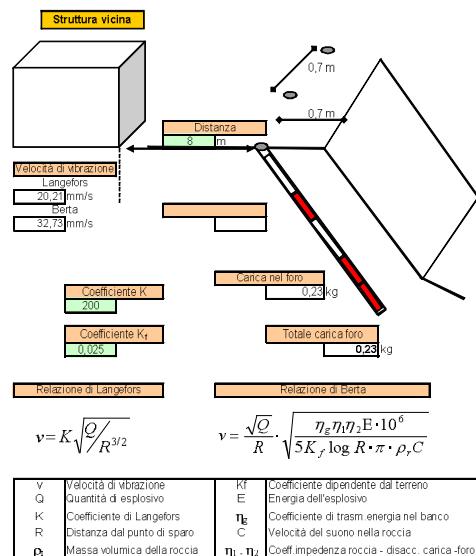
- η_g - illustra la quantità di energia immessa nel continuo roccioso tipicamente dell'ordine di 0,4 dell'energia totale
- ρ_r - è la massa volumica della roccia o materiale interessato [kg/m³].
- C - è la velocità del suono attraverso la roccia [m/s]
- K_f - parametro che dipende dalla compattezza rocciosa.
- E - energia per unità di massa dell'esplosivo [MJ/kg].
- R - distanza in [m] dalla struttura interessata.

CONTROLLO DELLE VIBRAZIONI

La possibilità del controllo delle vibrazioni indotte dall'esplosione o dal crollo della struttura è legata al frazionamento dell'immissione dell'energia nel suolo. Tutto ciò si ottiene nel seguente modo:

- Innescamento intervallato delle cariche (temporizzazione)
- Temporizzazione anche all'interno del singolo foro, se naturalmente si opera in condizioni molto critiche
- Utilizzo di esplosivi a bassa energia
- Riduzione del carico di roccia ossia della distanza del foro verso la superficie libera.

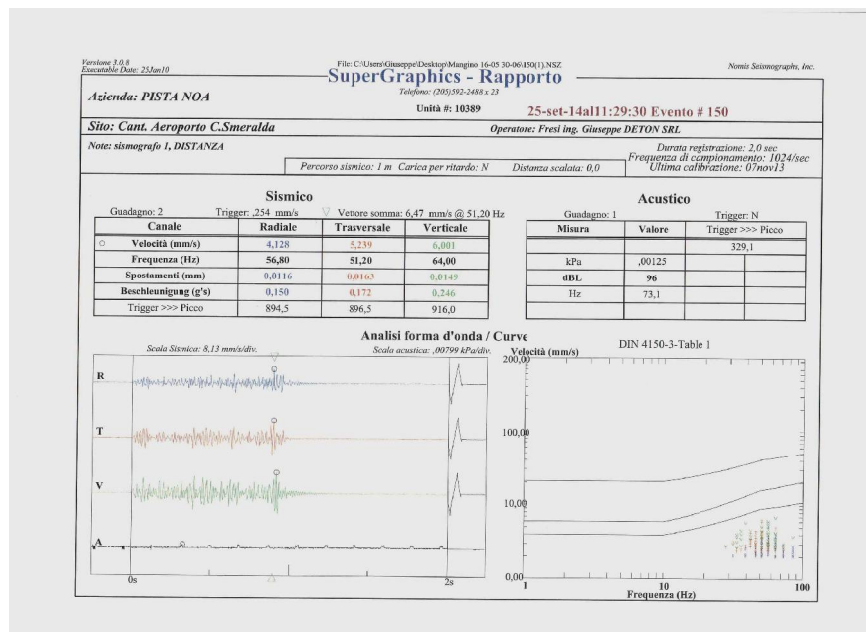
CALCOLO: VIBRAZIONI SU STRUTTURE



MISURA DELLE VIBRAZIONI

Durante l'operazione di brillamento mine occorre effettuare una misura strumentale per verificare che la vibrazione prodotta sui punti di interesse rispecchi il calcolo teorico preventivo; a tale scopo occorre disporre di uno strumento per catturare e restituire i valori di velocità, ampiezza, frequenza e accelerazione dell'onda elastica. Tale strumento prende il nome di **sismografo**. L'onda analizzata viene stampata graficamente nel dominio del tempo e come spettro nel dominio della frequenza, riportiamo a titolo di esempio un vibrogramma dove è possibile notare:

- Componente verticale, orizzontale e trasversale dell'onda espressa in mm/s
- Frequenza di oscillazione riferita alle tre componenti in Hz
- Ampiezza di spostamento in mm
- Accelerazione dell'onda elastica espressa in g



157

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Ma l'esplosivo è pericoloso?

- E' la domanda che spesso affligge le Amministrazioni per il rilascio delle licenze
- La risposta è semplice:
L'applicazione dell'esplosivo non ha un limite.....

Basta saperlo usare!

Vi ringraziamo dell'attenzione e speriamo di essere stati utili
 Grazie

159

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

SOVRAPPRESSIONI NELL'ATMOSFERA

È raro che mine progettate per una demolizione civile possano sviluppare sovrappressioni d'intensità così elevata da generare danni alle strutture, si potrebbe invece verificare la rottura di vetri. Per scongiurare questo bisognerebbe evitare di generare sovrappressioni superiori ai **3 mbar** (0,3 kPa), cosa non facilmente realizzabile nel caso siano utilizzate cariche non confinate.

Nel caso l'esplosivo sia collocato in fori da mina borrati a regola d'arte la formula correntemente utilizzata è la seguente:

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

Dove

- **Q** quantità di esplosivo espressa in [kg],
- **R** la distanza in [m]
- **P** la sovrappressione in [mbar].

Esempio: considerando **Q** = 0,1 kg di carica per ritardo, il limite per la sovrappressione di **P** = 3 mbar, il valore di **R** che si ottiene è 20,3 m.

158

DETON SRL: demolizioni con esplosivo

Riferimenti Utili

- **DETON s.r.l. Esplosivi** deposito in Loc. Badu lu Carrulu - TEMPIO PAUSANIA (OT) - Tel. 079/633183 - fax 079/633151.
- Fresi ing. Giuseppe Roberto Ufficio tecnico in via Palau, 21 tel. 335-7853635 grfresi@tiscali.it
- Fresi dr. Giovanni Maria 335-7516958 fresima@tiscali.it
- **Non-Explo Italia** srl Viale Zonghi 47/49 60044 FABRIANO (AN) -TEL. 0732-3001
- Pastuglia sig. Paolo tel. 338-2970000 info@nonexploitalia.it

160

DETON SRL: demolizioni con esplosivo