

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

A.A. 2017/2018

***Tecniche di abbattimento controllato in una cava a
cielo aperto per l'ottimizzazione della profilatura dei
fronti di scavo***



Relatori

Prof. Marilena Cardu

Prof. Claudio Oggeri

Candidata

Nicoletta Pennisi

PREMESSA 8

Capitolo 1 CENNI SUGLI ESPLOSIVI E I SISTEMI DI INNESCO 10

1.1	Gli esplosivi: cenni storici e caratteristiche generali	10
1.2	Tipi di esplosione	11
1.3	Valori tipici per diversi esplosivi	12
1.4	Caratteristiche principali degli esplosivi	12
1.4.1	Velocità di detonazione	12
1.4.2	Energia e potenza	12
1.4.3	Pressione d'esplosione	13
1.4.4	Consumo specifico	13
1.5	Altre caratteristiche importanti degli esplosivi	14
1.6	Concetti di mina e volata	14
1.7	Tipologie delle volate e Piano di tiro	15

Capitolo 2 TECNICHE DI ABBATTIMENTO CONTROLLATO 17

2.1	Inquadramento del problema e scopo della ricerca	17
2.2	Impiego dell'esplosivo per lo scavo in roccia	19
2.2.1	Frantumazione della roccia con esplosivo	19
2.2.2	Splitting con esplosivo	20
2.2.3	Abbattimento controllato	20
2.2.4	Tecniche di scavo delle rocce con abbattimento con esplosivo	21
2.2.5	Abbattimenti al contorno degli scavi: controllo delle esplosioni	22
2.2.6	Smooth Blasting	27
2.2.7	Cushion Blasting	29
2.2.8	Buffer Blasting	31

2.2.9	Line Drilling	32
2.2.10	Volate di distacco (Splitting)	34
2.2.11	Presplitting	36
2.2.12	Fracture Control	37
Capitolo 3	PRESPLITTING: STATO DELL'ARTE	38
3.1	Analisi bibliografica sull'abbattimento controllato a giorno	38
3.2	Modalità di realizzazione tecniche di profilatura: Smooth Blasting e Presplitting	44
3.2.1	Caratteristiche dei parametri influenti nel dimensionamento di una volata	53
3.2.2	Caratteristiche geometriche Presplitting	53
3.2.3	Dimensione e spaziatura della maglia di perforazione	55
3.2.4	Scelta della tipologia di esplosivo	55
3.2.5	Confezionamento dell'esplosivo	55
3.2.6	Presenza d'acqua	55
Capitolo 4	IL CASO STUDIO ESAMINATO: LA CAVA DI SABBIO CHIESE (BS)	57
4.1	Inquadramento territoriale e geomorfologico	57
4.2	Inquadramento geologico	59
4.2.1	Situazione geologica locale	59
4.2.2	Idrogeologia	60
4.2.3	Caratteristiche vegetazionali dell'ambito	61
Capitolo 5	ANALISI SPERIMENTALE SVOLTA	62
5.1	Piano di coltivazione e Tecnica di scavo utilizzata	62
5.1.1	Volata sperimentale	65
5.1.2	Tipo di perforatrice utilizzata	67
5.1.3	Dati volata sperimentale	70

5.1.4	Confronto fra le due volate	75
5.1.5	Calcolo costi e tempi	76
Capitolo 6	RECUPERO AMBIENTALE	79
Capitolo 7	CONCLUSIONI	87
Capitolo 8	Bibliografia	89

Figura 1 - Esempi di volate con diverse configurazioni della fronte e della superficie di perforazione (Mancini e Cardu, 2001)	16
Figura 2 - Riduzione del volume di scavo ottenibile con l'abbattimento controllato (Berta 1985)	23
Figura 3- Miglior sfruttamento del giacimento di roccia utile ottenibile con l'abbattimento controllato (Berta 1985)	23
Figura 4 - Formazione di una superficie libera distante V_c dalle mine di contorno a seguito dell'esplosione delle mine di produzione (Berta 1985)	25
Figura 5 - Esempio di pezzatura più grossolana proveniente dalle mine di contorno rispetto a quella proveniente dalle mine di produzione (Berta 1985).....	25
Figura 6 - Smooth Blasting of contours (Rock Excavation Handbook, 1999)	28
Figura 7 – Modalità di caricamento in foro (Berta 1985).....	29
Figura 8- Schema Cushion Blasting (Rock Excavation Handbook, 1999).....	30
Figura 9 - Schema di una mina di Cushion Blasting (Berta 1985)	31
Figura 10 - Schema di perforazione per un abbattimento con mine di Buffer (Coppe)	32
Figura 11 - Smooth Blasting of contour (Rock Excavation Handbook, 1999).....	33
Figura 12 Schema Tipico e procedura di un lavoro di Line Drilling (Matti 1999).....	34
Figura 13 - Schema di perforazione Line Drilling (Vari 02/2002)	34
Figura 14 - Caricamento con miccia detonante dei fori di splitting in una cava di granito (Vari 02/2002)	36
Figura 15 - Cava di pietra dura coltivata con il metodo dello splitting dinamico (Mancini-Cardu-Lover (Vari 02/2002).....	36
Figura 16 - Tipico esempio di Presplitting Blast design (Sharma 2011)	37
Figura 17 - Foro con scanalatura per le mine di contorno nel Fracture Control (Berta 1985)	37
Figura 18 - Stress Levels from Decoupled shots (Rock Blasting and Overbreak Control, 1991)	40
Figura 19 - Old Concepts of Stress Wave Breakage (Rock Blasting and Overbreak Control, 1991)	40
Figura 20 - A destra realizzazione di una trincea in roccia mediante esplosivo; l'uso del Presplitting consente un buon rispetto delle pareti di scavo; a sinistra esempio di Presplitting realizzato nell'ambito del Niagara Power Project (Langefors U. 1967).....	41
Figura 21 - Il Crazy Horse Memorial ; monumento ai Nativi Americani, scolpito con esplosivo nel granito del Black Hills Sud Dakota (1966 (Vari 02/2002)	42

Figura 22 Dettagli sul carico adottato per le esplosioni sperimentali 1,2,3 (Seccatore J. 2015)	45
Figura 23 Risultati Blast 1 (Seccatore J. 2015).....	46
Figura 24 Risultati Blast 2 (Seccatore J. 2015).....	46
Figura 25 Risultati Blast 3 (Seccatore J. 2015).....	47
Figura 26 Vista della parete finale (Seccatore J. 2015)	47
Figura 27 Esempi volate di Presplitting (Marilena 2018/2019).....	48
Figura 28 - Schema di una volata di sbancamento con Presplitting. Le mine di taglio sono innescate sempre simultaneamente e in anticipo rispetto alle mine di produzione (Berta 1985)	50
Figura 29 - Lesioni della roccia al di fuori dei limiti di progetto(a), evitabili con l'esecuzione di fori guida non caricati(b) (Berta 1985).....	51
Figura 30 - Fratturazioni indesiderate della roccia nelle zone d'angolo(a) sono evitabili non caricando i fori(b (Berta 1985)).....	51
Figura 31 - Taglio di bancata con miccia detonante (Sogeca 2013).....	56
Figura 32- Riempimento dei fori con acqua (Sogeca 2013)	56
Figura 33 Inquadramento generale dell'area esaminata	57
Figura 34 Corografia Sabbio Chiese (BS) scala 1:10.000 (ECOMIN s.r.l 2013).....	58
Figura 35 Immagine cartografica Sabbio Chiese (BS) (ECOMIN s.r.l 2013).....	58
Figura 36 Sezione tipo gradonatura (ECOMIN s.r.l 2013).....	62
Figura 37 Vista sezione del fronte Sabbio Chiese (BS) (Fassa Bortolo 2017)	63
Figura 38 Dimensionamento della volata di Presplitting.....	64
Figura 39 - Schema di Presplitting (Berta 1985)	66
Figura 40 - Profilo iniziale della cava di Sabbio Chiese prima della volata sperimentale	67
Figura 41 - Profilo iniziale della cava di Sabbio Chiese prima della volata sperimentale	67
Figura 42 Immagine della perforatrice Tamrock Ranger 800.....	69
Figura 43 Stabilizzato utilizzato come borraggio [0-18mm]	73
Figura 44 Caricamento fori volata sperimentale.....	74
Figura 45 Volata di Presplitting con tecnica tradizionale Fassa	74
Figura 46 Volata sperimentale di Presplitting.....	75
Figura 47 Vista del fronte dopo la volata sperimentale	75
Figura 48 Confronto fori nelle due volate.....	76

Figura 49 Particolare delle due volate.....	76
Figura 50 - Palificata semplice in legno (Fassa Bortolo 2017).....	80
Figura 51 - Vista fronte gradonato e palificata semplice in legno (Fassa Bortolo 2017)	80
Figura 52 - Profili finali dei gradoni soggetti a recupero (Fassa Bortolo 2017).....	81
Figura 53 - Particolare della canalina di drenaggio delle acque meteoriche durante del secondo gradone (Fassa Bortolo 2017).....	82
Figura 54 - Sezione tipo (Fassa Bortolo 2017)	82
Figura 55 - Piantumazione essenze su gradone con pedata a quota 387 m (Fassa Bortolo 2017).....	85
Figura 56 - Piantumazione essenze su gradone con pedata a quota 387 m (Fassa Bortolo 2017).....	85
Figura 57 - Piantumazione essenze su gradone con pedata a quota 371 m (Fassa Bortolo 2017).....	86

Tabella 1 - Drilling and Charging plans for Smooth Blasting (Rock Excavation Handbook, 1999)	28
Tabella 2 – Vantaggi e svantaggi del Cushion Blasting	31
Tabella 3 Valori indicativi per lo Smooth Blasting	45
Tabella 4 Parametri operativi di Presplitting Du Pont (Berta 1985).....	53
Tabella 5 Confronto valori densità di carica	54
Tabella 6 - Drilling and charging plans for presplit blasting (Matti 1999).....	54
Tabella 7 Dati gradone	63
Tabella 8 Dati geometrici volata Presplitting	64
Tabella 9 Dati volata di Presplitting	64
Tabella 10 Dimensionamento volata sperimentale di Presplitting.....	66
Tabella 11 Caratteristiche perforatrice Tamrock Ranger Rock Pilot 800 (Sandvik Tamrock Corp. Tampere Plant 2005).....	69
Tabella 12 Caratteristiche tecniche cartucce Riordin (Pravisani s.p.a Maxam 2017).....	70
Tabella 13 Condizioni e limiti d'impiego cartucce Riordin (Pravisani s.p.a Maxam 2017).....	71
Tabella 14 Confezioni cartucce Riordin (Pravisani s.p.a Maxam 2017).....	72
Tabella 15 Dati tecnici e limiti d'impiego della miccia detonante Riocord (Pravisani s.p.a Maxam 2017)	72
Tabella 16 Dati confronto volata Fassa Bortolo- volata sperimentale.....	73
Tabella 17 Valutazione costi e tempi delle due volate.....	77
Tabella 18 Riepilogo	78
Tabella 19 - Specie arbustive- (Fassa Bortolo, 2017).....	84
Tabella 20 – Specie rampicanti (Fassa Bortolo 2017)	84

RINGRAZIAMENTI

Giunta al termine del mio percorso universitario vorrei spendere alcune parole per ringraziare coloro che hanno consentito la riuscita del mio lavoro di tesi. Innanzitutto vorrei ringraziare la professoressa Ing. Marilena Cardu unita al professore Ing. Claudio Oggeri per la disponibilità e la pazienza dimostrata nei miei riguardi. Nonostante le tante difficoltà ho cercato di svolgere al meglio il lavoro cercando di superare i miei limiti. Un particolare ringraziamento va all'Ing. Alberto Marzano della ditta Fassa Bortolo s.r.l., all'Ing. Chiara Bondioli per la cava di Sabbio Chiese e a tutti gli altri collaboratori che hanno permesso lo svolgimento del presente lavoro, mostrandomi sempre grande disponibilità.

Infine ci tengo a ringraziare coloro che mi hanno sostenuto con il loro affetto e hanno sempre creduto in me. Innanzitutto il mio pensiero va' a Francesco Rispoli, che in tutti questi anni mi ha sempre incoraggiata a non mollare mai e a credere in me stessa, anche quando io non l'ho mai fatto. Lo voglio ringraziare per essermi sempre vicino e spero sempre di poter contare su di lui.

Vorrei ringraziare tutti i miei amici e colleghi che mi hanno sostenuta in tutti i momenti difficili che ho vissuto in questi anni.

Infine la mia famiglia, che è stata non solo il mio sostegno economico, ma anche morale in tutti questi anni; in particolare mio padre perché se ho preso probabilmente una strada che non era la mia, l'ho fatto anche per lui, perché fosse fiero di me. Nonostante le tante delusioni, sento che nel mio piccolo li ho resi felici e questa è forse la più grande soddisfazione.

Ed infine, un grazie voglio dirlo pure a me stessa, perché non ho mai mollato, perché di questi lunghi anni probabilmente non mi rimarranno le nozioni tecniche, ma una cosa molto più importante la determinazione. Ho imparato a cadere tante volte, ma allo stesso mi sono sempre rialzata con grande umiltà; adesso mi sento una persona più forte, pronta ad affrontare i tanti ostacoli a cui la vita mi sottoporrà in futuro.

Un grazie di cuore a tutti.

PREMESSA

L'attività di cava, come noto, deve rispettare le esigenze di produzione previste dal progetto e detto progetto deve soddisfare esigenze tecnico-economiche ed amministrative: il progetto deve prevedere, prima dell'inizio della coltivazione, e durante il suo sviluppo, un piano di recupero ambientale in armonia con le esigenze del territorio su cui insiste l'attività estrattiva, soprattutto nel caso in cui esistano aree compromesse, in tutto o in parte, da precedenti coltivazioni.

Il caso che verrà trattato in questo studio rientra in queste condizioni, in linea non solo con quanto previsto dalla Legge Mineraria Nazionale, ma anche con quanto raccomandato dallo stesso Ministero per l'Ambiente.

Il presente lavoro si concentra sulle tecniche di abbattimento controllato in uno scavo a giorno, allo scopo di ottimizzare la profilatura della fronte di scavo. La parte iniziale della tesi è stata dedicata ai concetti riguardanti gli esplosivi in generale. Dopo una breve panoramica su tali concetti è stata posta l'attenzione sulle diverse tecniche di abbattimento controllato, particolareggiando quella del Presplitting. Sono stati riportati diversi esempi a riguardo prima di introdurre l'analisi sperimentale svolta.

La cava oggetto di studio è sita nelle vicinanze del comune di Sabbio Chiese in provincia di Brescia. Dopo aver inquadrato il sito dal punto di vista geografico, geomorfologico ed idrogeologico, ci si è concentrati sulla volata sperimentale. Sono stati realizzati 32 fori in totale, confrontando due modalità di caricamento differente, valutando la bontà dei risultati ottenuti sotto il profilo estetico della parete e facendo una stima dei costi e dei tempi di realizzazione. Infine è stato ipotizzato un possibile recupero ambientale della cava.

Puramente a scopo indicativo e per anticipare la tecnica di scavo impiegata nel contesto di studio, si premettono alcune considerazioni relative all'impiego degli esplosivi industriali.

1.1 Gli esplosivi: cenni storici e caratteristiche generali

L'esplosione è un fenomeno chimico-fisico che in un tempo breve o brevissimo sviluppa notevoli quantità di energia attraverso la produzione di gas a pressione e temperatura elevatissime. Il primo esplosivo di cui l'uomo ha potuto disporre è stata la polvere nera (miscela di nitrato di potassio, carbone e zolfo) che, nota fin dal XIII secolo, è stata usata oltre che per scopi militari anche per l'abbattimento di rocce sino alla metà del XIX secolo (ad esempio il traforo ferroviario del Fréjus fu portato a termine del 1857-1871 utilizzando quasi esclusivamente questo tipo di esplosivo). Dopo la scoperta della nitroglicerina e la messa a punto della dinamite (risultante dell'inibizione della nitroglicerina in un materiale poroso assorbente a base di farina di diatomee che sono alghe unicellulari in grado di fissare nel loro scheletro la silice dell'acqua del mare) ad opera di Nobel nel 1867, si iniziò nei lavori militari e civili ad utilizzare prodotti diversi, ma tutti caratterizzati da reazioni esplosive estremamente veloci (da 1800 m/s a 8000 m/s); tali reazioni sono tipiche degli "esplosivi detonanti". Questi ultimi si dividono in innescanti se abbisognano della fiamma per deflagrare ed in secondari nel caso in cui occorra un urto perché avvenga la detonazione. L'esplosione ha la caratteristica di liberare in un tempo brevissimo energia sotto forma di onde d'urto e di gas a pressioni e temperature elevate. Questa energia si propaga nella roccia sotto forma di pressione in grado di polverizzarla e plasticizzarla fino ad una distanza R attorno al foro, generalmente non maggiore del diametro della carica (quando essa è pressoché uguale al diametro del foro). A distanze maggiori l'onda d'urto attraversa la roccia alla velocità del suolo, senza provocare fratture. Quando però l'onda raggiunge una parete libera (ad esempio la superficie verticale di un gradone) essa viene riflessa come onda di tensione e le tensioni, se sono maggiori della resistenza a trazione della roccia possono provocare fratture disposte parallelamente alla parete stessa. Perché si verifichi il fenomeno della riflessione è necessario però che la superficie libera si trovi ad una distanza prefissata dalla mina; generalmente tale distanza può essere empiricamente messa in relazione con il diametro della carica. Gli effetti legati all'onda d'urto creano le condizioni per un'efficace

completamento del lavoro di abbattimento da parte dei gas prodotti dall'esplosione. Inoltre le fratture attorno al foro indeboliscono la roccia rendendola meno resistente e permettendo l'infiltrazione dei gas, ne favoriscono la completa demolizione.

1.2 Tipi di esplosione

Affinché un esplosivo sia utilizzabile è necessario che la reazione d'esplosione avvenga solo quando la sostanza è sottoposta ad uno stimolo particolarmente energetico come un riscaldamento o un urto. Definiamo questo stimolo "innesco". Inoltre è necessario che la reazione non s'interrompa, ma proceda rapidamente fino a completa decomposizione della carica. Quindi definiamo un esplosivo come:

sostanza (composto o miscela) allo stato condensato (solido o liquido), che in seguito ad uno stimolo localizzato (innesco) reagisce eso-termicamente, in tempo brevissimo, con prodotti finali in tutto, o in gran parte gassosi, alla temperatura raggiunta nella reazione. (Renato Mancini 2001)

Tutte le reazioni esplosive sono, per definizione, rapide. Tuttavia in base alla velocità di propagazione, esistono due categorie di reazioni d'esplosione: "Deflagrazioni", che si propagano con velocità relativamente bassa e le "Detonazioni" che si propagano con velocità altissima. La velocità a cui si fa riferimento è la velocità sonica nell'esplosivo: le deflagrazioni si propagano con velocità subsonica le detonazioni con velocità supersonica.

La deflagrazione si propaga perché i gas caldi sviluppati dalla combustione di una particella ne raggiungono un'altra che viene riscaldata alla temperatura di reazione. Invece la detonazione si propaga perché un'improvviso aumento locale di pressione e di temperatura porta la sostanza alle condizioni di reazioni, e l'energia sviluppata dalla reazione è in parte utilizzata per mettere in pressione lo strato adiacente di sostanza, nel quale il fenomeno si ripete. La velocità con cui si propagano le variazioni di pressioni in un mezzo è la velocità sonica di conseguenza le detonazioni si propagano con tale velocità.

In condizioni particolari possiamo avere passaggi da detonazioni a deflagrazioni e viceversa o anche arresti della reazione. Il fatto di avere l'una o l'altra reazione dipende dal modo in cui la reazione è innescata e da altri fattori. Si distinguono gli esplosivi in deflagranti (prima categoria) e detonanti (seconda categoria) in base alla facilità con cui possiamo ottenere l'una o l'altra reazione e al modo in cui vengono utilizzati.

1.3 Valori tipici per diversi esplosivi

Per gli esplosivi commerciali sono forniti dai produttori valori della velocità di esplosione (deflagrazione o detonazione). Questi valori sono rilevati con prove standard. Sono valori di orientamento anche se nella pratica possono aversi velocità diverse in funzione: del diametro della carica, del confinamento, della densità, dell'innesco, della granitura. Le velocità di deflagrazione variano in intervalli maggiori rispetto a quelle di detonazione.

1.4 Caratteristiche principali degli esplosivi

In questo paragrafo verranno descritte brevemente le principali caratteristiche degli esplosivi.

1.4.1 Velocità di detonazione

La velocità di detonazione può essere misurata in laboratorio o in un campo prove. In laboratorio mediante la prova Dautriche, molto utilizzata in passato adesso meno, che fornisce un valore medio della velocità di detonazione della carica e non è adatta a rilevare variazioni di velocità lungo la carica stessa. La velocità massima si stabilizza ad una certa distanza dal punto di innesco, è una caratteristica molto importante, perché assieme alla densità dell'esplosivo determina il valore di picco della pressione di esplosione. La V_d è la velocità con cui si propaga uno "stato" dell'esplosivo, cioè il fatto di essere detonato, non la velocità con cui si muovono i gas prodotti dalla reazione. La velocità di detonazione viene misurata anche in un campo prove su cariche cilindriche nude o in involucro standard oppure su cariche in foro di mina.

1.4.2 Energia e potenza

L'energia specifica d'esplosione è l'energia sviluppata da 1 kg di esplosivo quando reagisce dando i previsti prodotti finali (fumi e residuo solido). È un parametro molto importante per confrontare diversi esplosivi e per il dimensionamento delle cariche delle mine. Spesso con il termine potenza viene confuso con quello di energia specifica o pressione di detonazione. La potenza intesa come rapporto fra l'energia sviluppata e la durata della reazione ha valori enormi e differenti fra i diversi esplosivi.

1.4.3 *Pressione d'esplosione*

La pressione di esplosione può essere di due tipi la pressione “quasi statica” e la pressione di “detonazione”. La pressione quasi statica, che consegue dalla costrizione dei fumi in un piccolo volume e la pressione di detonazione, pressione impulsiva che si sviluppa solo durante la detonazione e sul fronte di detonazione. La pressione di detonazione è la pressione dei fumi che in seguito alla reazione acquistano una certa velocità ma sono arrestati da una parete (materiale o ideale). Risulta molto difficile misurare la velocità dei fumi per questo motivo i valori vengono calcolati come prodotto della velocità di detonazione V_d per la massa volumica dell'esplosivo ρ e per la velocità particellare dei fumi W .

1.4.4 *Consumo specifico*

Il consumo specifico è il rapporto fra la quantità di esplosivo C (espressa in Kg o g) necessaria per compiere un determinato lavoro ed il volume di roccia (o altro materiale, espresso in m^3) interessato da quel lavoro. Si misura in Kg/m^2 o g/ton

$$C_s = \frac{C}{V}$$

Indirettamente conoscendo il C_s si può risalire al quantitativo di esplosivo necessario a compiere un determinato lavoro.

$$C = C_s * V$$

Dipende da:

- Tipo di roccia;
- Volume interessato;
- Pezzatura finale che si vuole ottenere;
- Dalle condizioni al contorno (stato di fratturazione; superficie libera disponibile; etc.).

Quanto minore è la superficie libera, maggiore sarà il quantitativo di esplosivo da utilizzare per raggiungere il risultato. Ecco perché solitamente il consumo specifico è minore nelle cave a cielo aperto rispetto a quelle in sotterraneo.

1.5 Altre caratteristiche importanti degli esplosivi

Le caratteristiche descritte precedentemente sono le più importanti per conoscere le caratteristiche di un esplosivo ai fini dell'impiego di un lavoro d'abbattimento. Tuttavia altre caratteristiche sono importanti per scegliere ed utilizzare in maniera adeguata l'esplosivo. Per ogni esplosivo esiste un diametro di carica detto diametro critico al di sotto del quale la detonazione si arresta in quanto l'energia destinata ad alimentare il processo risulta insufficiente. La dispersione laterale è, inoltre, funzione crescente dello spessore della zona di reazione e ciò spiega il fatto che gli esplosivi detonanti "ideali", con piccolo spessore nella zona di reazione, hanno diametro critico minore rispetto a quelli "non ideali". Inoltre cariche con un diametro maggiore detonano con una velocità più elevata a parità di carica, ad esempio la pentrite anche con diametri di 2mm detona benissimo, l'ANFO ha una situazione opposta. La di carica è un valore di massa volumica specifico per ciascun tipo di esplosivo da non superare per garantire il corretto funzionamento.

1.6 Concetti di mina e volata

Una mina è una carica esplosiva disposta in una cavità praticata nella roccia e dotata dei necessari mezzi di innesco necessari a farla esplodere al momento desiderato, allo scopo di frammentare o distaccare un determinato volume di roccia. Raramente vengono utilizzate singole mine, in generale si utilizzano volate di mine che esplodono simultaneamente o in rapida successione e che cooperano a frammentare e distaccare. Una volata rappresenta la cooperazione fra mine o gruppi di mine, la posizione da assegnare alle cariche viene scelta sulla base del piano di tiro. Un volume di roccia che una volata deve abbattere ha una forma prismatica più o meno regolare. Una parete libera di tale volume deve essere accessibile ai mezzi di perforazione rappresenta la superficie di perforazione (Fig.10), quella da cui partono i fori.

Le mine di una volata possono essere divise in "gruppi funzionali":

- -mine di apertura: hanno la funzione di preparare condizioni favorevoli a quelle che esploderanno successivamente creando o estendendo "pareti libere";
- mine di produzione: hanno lo scopo di abbattere la maggior parte del volume, sfruttando le condizioni favorevoli create in precedenza;

- mine di profilo: solo quelle di Smooth Blasting hanno lo scopo di definire il contorno andando a distaccare ciò che è rimasto dopo che quelle di produzione hanno eseguito la maggior parte del lavoro.

1.7 Tipologie delle volate e Piano di tiro

Per prima cosa bisogna fare una distinzione tra volate con brillamento simultaneo (volate istantanee) e volate con brillamento in sequenza. Il brillamento simultaneo si adotta per indurre uno stacco netto, quello micro ritardato si adotta se si vuole frammentare la roccia. Nel caso si voglia ottenere il distacco viene utilizzato perché favorisce il “guidaggio” della frattura di distacco.

In generale le tipologie di volate vengono classificate in base al numero di superfici libere. Si distinguono volate con tre, due o una sola superficie libera.

Nel caso in cui siano presenti tre pareti libere, abbattimento facilitato, che corrisponde ad una fronte di scavo con un triedro positivo nel quale confluiscono i due diedri positivi che delimitano la fronte. Esploderà per prima la mina più vicina al vertice del triedro, creando la situazione di tre pareti libere a quella che esplode per seconda e così via. In tal caso non esistono mine con funzione di apertura. Questo caso riguarda principalmente i lavori a cielo aperto sia civili che estrattivi.

Le volate con due superfici liberi è il caso più comune sia in abbattimenti a cielo aperto che in sotterraneo. Qui esiste un solo diedro positivo, ad una faccia del quale è assegnato il ruolo di superficie di perforazione. Sostanzialmente ad una mina si assegna il compito di creare una nuova superficie, il brillamento si riconduce al caso visto con 3 superfici libere.

Infine il caso con una sola superficie libere si utilizza negli scavi a fondo cieco come gallerie, pozzi e fornelli. La fronte è delimitata da diedri negativi e la superficie di perforazione coincide con essa.

Di particolare interesse sono le volate di distacco ed in particolare, nel nostro caso, quelle di Presplitting. Sono volate di mine alle quali non è richiesto di frantumare la roccia, ma di creare una o più fratture di separazione, che isolino un predeterminato volume roccioso, che verrà asportato o abbattuto.

Il piano di tiro rappresenta il progetto esecutivo della volata, dà informazioni riguardanti diametro, posizione, lunghezza e orientamento dei fori, il loro caricamento e la temporizzazione delle esplosioni.

Il fatto di operare sulla roccia rende impossibile il rispetto di strette tolleranze geometriche, ragionevoli tolleranze devono essere consentite.

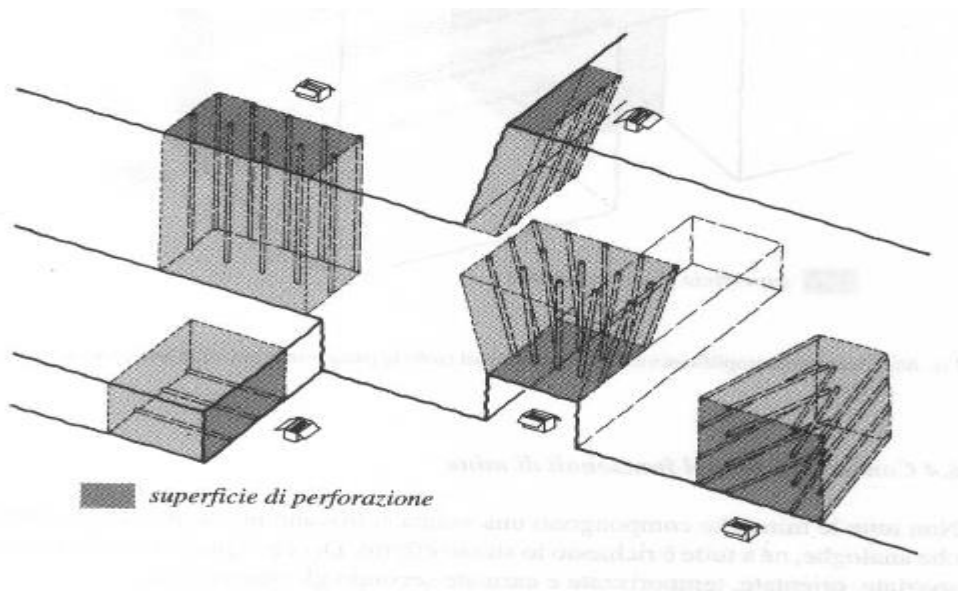


Figura 1 - Esempi di volate con diverse configurazioni della fronte e della superficie di perforazione Mancini e Cardu, 2001)

Capitolo 2 TECNICHE DI ABBATTIMENTO CONTROLLATO

2.1 *Inquadramento del problema e scopo della ricerca*

Il presente lavoro concerne l'analisi ed il successivo approfondimento di una attività estrattiva di cava di materiale calcareo per l'industria edilizia. L'attività estrattiva di proprietà della ditta Fassa Bortolo s.r.l, sita in località Sabbio Chiese (BS), viene condotta mediante abbattimento a giorno con esplosivo. In questa cava vengono eseguite volate di produzione, garantendo l'adeguata produzione giornaliera di materiale destinato all'industria edilizia, e volate di profilatura. A tale scopo è nata l'esigenza di eseguire un test sperimentale sulle volate di profilatura cercando di ottenere un risultato migliore in termini di profilo della parete; garantendo dei costi e dei tempi accettabili. In collaborazione con i tecnici e gli operatori della ditta Fassa Bortolo è stata eseguita una volata sperimentale, mediante tecnica del Presplitting, di cui rimandiamo la trattazione ai successivi capitoli. In questo capitolo verranno illustrate le diverse tecniche di abbattimento controllato facendo una panoramica generale in particolare sugli scavi in roccia.

Lo scavo a giorno prevede l'abbattimento di gradoni mediante il brillamento micro ritardato di cariche in foro. I lavori di scavo consistono nell'asportare rocce o terreni dalla loro posizione naturale (anche i lavori di sondaggio e trivellazione rientrano in questa definizione generale).

Spesso ci si riferisce ad una roccia o terreno generici come ad un mezzo.

I lavori di scavo, e naturalmente i cantieri in cui si svolgono, si diversificano enormemente per innumerevoli caratteristiche. Una possibile classificazione può essere basato su tre caratteristiche differenzianti:

- il mezzo in cui si svolge lo scavo
 - scavi in roccia (in materiale con coesione elevata);
 - scavi in terra (in materiali granulari, sciolti o con ridottissima coesione);
- l'ambiente
 - scavi a cielo aperto, o a giorno;
 - scavi in sotterraneo;

- scavi subacquei, o dragaggi;
- le finalità;
 - scavi con finalità estrattive;
 - scavi civili;

Ulteriori differenziazioni importanti sono:

- il carattere ciclico o continuo dell'operazione di scavo;
- la necessità o meno di accesso di persone alla fronte di scavo;
- la concomitanza o meno dello scavo con la costruzione delle opere di sostegno definitive della cavità prodotta.

Scopo di un lavoro di scavo può essere l'utilizzazione del materiale scavato, della cavità prodotta o di entrambi. Lo scopo può condizionare le modalità di esecuzione del lavoro.

Il mezzo in cui lo scavo deve svilupparsi ha naturalmente un'influenza notevole sul lavoro di scavo. Il mezzo può variare da una sabbia sciolta ad una roccia compatta.

Per quanto concerne il tipo di comportamento possiamo distinguere:

- mezzi incoerenti (es. una sabbia sciolta alla cui rimozione si oppongono solo peso ed attriti);
- mezzi coerenti a comportamento plastico, ossia mezzi che si deformano progressivamente sotto sforzo ben prima che si giunga a rottura e distacco (es. un terreno argilloso, in cui si può far penetrare la benna di una macchina di scavo sinché è colma, per successivamente distaccare ed asportare la porzione di materiale contenuto nella benna);
- mezzi coerenti a comportamento fragile, ossia comportamento elastico sino a rottura, che resistono con minima deformazione alle sollecitazioni loro applicate, sinché queste non raggiungono un certo livello, superato il quale vanno in frantumi (es. roccia salda, che dev'essere ridotta in frammenti dalle intense pressioni derivanti dal brillamento di una carica esplosiva, e quindi essere trasformata localmente in un mezzo incoerente, per poter essere rimossa).

2.2 *Impiego dell'esplosivo per lo scavo in roccia*

Nei lavori di scavo, l'obiettivo è la rimozione di un certo volume di roccia dalla sua sede naturale. Si distinguono due casi limite:

- Frammentazione: si vuole trasformare un certo volume di roccia in un materiale “granulare”, ossia si desidera che il risultato dello scavo sia la frammentazione del materiale. In tal caso l'esplosivo può essere definito come “un mezzo per immettere nella roccia lavoro di comminazione”.
- Distacco: si producono delle fratture che isolino un certo volume di roccia, senza indurre ulteriori fratture nel mezzo. In questo caso l'esplosivo può essere definito come un “mezzo per pressurizzare localmente la roccia”.

Oltre ai casi limite o alla combinazione di entrambi, l'esplosivo ha anche un altro effetto: lo spostamento del volume di roccia dalla sua posizione originaria. Anche le operazioni di esplosive casting, throw blasting, consistono nell'impiegare l'esplosivo per il suo effetto propulsivo: in tali casi lo si potrebbe definire un mezzo di trasporto. Un'importante considerazione va sottolineata, in caso di frammentazione risulta difficile individuare con precisione il risultato da ottenere, in quando non si hanno informazioni precise sulle dimensioni dell'abbattuto, situazione opposta si ha in caso di distacco (Renato Mancini 2001).

2.2.1 *Frantumazione della roccia con esplosivo*

Nei lavori di sbancamento per la produzione di granulati è importante che la granulometria del marino sia il più possibile omogenea e costante. Allo scopo si progetta una volata di mine con fori paralleli distanziati con regolarità. Il diametro di perforazione dipende generalmente dalla lunghezza dei fori, in ogni caso si utilizzano generalmente diametri di perforazione compresi fra 68 e 90 mm. Le volate prevedono il brillamento di più file parallele di fori che risultano distanziati secondo maglie quadrate o rettangolari, a seconda delle condizioni dell'ammasso roccioso. La distanza fra i fori può variare ma comunque si mantiene nell'ambito di una distanza parametrica di $30\div 40$ volte il diametro di perforazione. L'esplosivo viene distribuito in ragione del dimensionamento lungo il foro ed eventualmente spaziato utilizzando dei borraggi di sabbia. Il brillamento è sempre temporizzato in quanto si è verificato come la sequenza dei ritardi possa favorire la migliore frantumazione del materiale. Più la roccia è compatta,

meglio risulta la frantumazione; in presenza di rocce molto fratturate o alterate è necessario aumentare leggermente il consumo specifico di esplosivo che in ogni caso si assesta fra valori di $0,20 \div 0,30 \text{ kg/m}^3$ (Sogeca 2013).

2.2.2 *Splitting con esplosivo*

In molti casi si vuole ottenere con l'esplosivo un'unica frattura, che isoli un certo volume di roccia senza produrre altre lesioni. Qualora sia questo lo scopo, si riducono od aboliscono le azioni impulsive e si riduce la pressione quasi statica, in diversi modi: il più comune consiste nel disaccoppiare la carica rispetto al foro, il che determina una riduzione della densità di caricamento. I fori si allineano secondo la superficie di rottura desiderata e si cerca di ottenere l'esplosione simultanea. L'esplosivo in questi casi lavora come agente pressurizzante con effetto simile ad una pressione statica, quest'ultima rappresenta la pressione dei prodotti della reazione e si può considerare uguale in tutto il volume occupato dai fumi. (Renato Mancini 2001).

2.2.3 *Abbattimento controllato*

Con il termine abbattimento vengono indicate quelle operazioni volte a frammentare o distaccare porzioni di roccia dalla sede naturale. Inoltre il termine abbattimento può essere utilizzato come sinonimo di scavo, tuttavia ha un'applicazione meno estensiva, designando in particolare le operazioni con cui una roccia dotata di una certa coesione viene trasformata in materiale frammentato (Renato Mancini 2001).

Per il controllo degli effetti indotti all'intorno dell'esplosivo, ovvero per l'esecuzione di un "abbattimento controllato con esplosivi", sono necessarie specifiche tecniche, competenza ed esperienza. Il progetto dovrebbe essere redatto e firmato da un tecnico di comprovata esperienza nel settore. Nel progetto dovrebbero essere affrontate, in modo dettagliato ed esauriente, le problematiche relative alla sicurezza delle persone ed eventualmente dei manufatti all'intorno. In particolare il progetto dovrebbe essere sviluppato attraverso le seguenti fasi:

- Caratterizzazione del contesto socio-urbanistico entro il quale saranno eseguiti i lavori.
- Caratterizzazione geologica e geotecnica.
- Caratterizzazione sismica.
- Descrizione dei manufatti e degli impianti da salvaguardare.
- Sistemi di protezione per il lancio di frammenti d'abbattuto.

- Sistemi di contenimento delle vibrazioni.
- Sistemi di contenimento dell'onda di sovrappressione aerea.
- Sistemi di contenimento delle polveri.

Eventuale analisi di stabilità delle strutture all'intorno.

- Piano di monitoraggio strumentale con descrizione delle caratteristiche tecniche del sistema di misura che sarà impiantato.
- Schema di brillamento della volata (piani di tiro), con disegni e tabelle di caricamento ed indicazione della successione d'innesco delle cariche.
- -verifica del circuito di tiro, sia esso elettrico che non elettrico.
- -scheda di dati di sicurezza degli esplosivi e dei detonatori che saranno impiegati. (Roberto Folchi s.d.)

L'abbattimento controllato può essere impiegato in:

- ambiente civile (trincee, gallerie)
- ambiente estrattivo (controllo delle pareti residue dopo le volate di produzione)

Nel caso di studio verrà approfondito l'abbattimento controllato in ambiente estrattivo.

2.2.4 *Tecniche di scavo delle rocce con abbattimento con esplosivo*

Quando si vuol dimensionare una volata di mine, è imprescindibile la valutazione preventiva dell'utilizzo cui sarà destinato il materiale abbattuto o marino. Al progettista vengono pertanto richieste delle specifiche sull'abbattuto, la volata non deve danneggiare la roccia che deve rimanere in posto che dovrà mantenere inalterate le caratteristiche di resistenza meccanica. La comminazione prodotta dalla volata di mina, permette infatti di staccare l'ammasso roccioso lungo le naturali discontinuità dello stesso e lungo le nuove fratture prodotte dalla volata di mina. Nel caso in cui si effettuino volate di mina per la produzione di granulati, la frantumazione primaria con esplosivo sarà funzionale alle successive lavorazioni che di norma vengono svolte all'interno di impianti di frantumazione. In questo caso sarà importante che la pezzatura media della volata non sia troppo grossa, in modo da essere conforme con i diametri massimi lavorabili dagli impianti, ma che non sia nemmeno troppo fine, in modo da limitare la produzione di polveri e fini che egualmente limitano il corretto funzionamento degli impianti. Nel caso

in cui l'abbattimento del volume di roccia sia finalizzato alla produzione di pietre ornamentali sarà invece prevalente l'interesse di preservare la pezzatura dell'abbattuto. Il lavoro dell'esplosivo sarà pertanto dimensionato per effettuare dei tagli. In questo modo dalla volata potranno essere liberati volumi di dimensioni e forma adatte all'effettuazione delle successive lavorazioni che consistono nel taglio delle lastre e nella loro trasformazione. Tanto nella produzione dei granulati che in quella delle pietre ornamentali è fondamentale che il marino presenti delle caratteristiche di resistenza meccanica conformi con quelle dell'ammasso roccioso di appartenenza. Lastre di pietra ornamentale di dimensioni metriche possono essere resi inutilizzabili a causa di piccoli difetti o microfessurazioni prodotte da volate di mine non correttamente dimensionate perché ne possono pregiudicare le successive lavorazioni quali la fiammatura o la lucidatura. (Sogeca 2013)

2.2.5 Abbattimenti al contorno degli scavi: controllo delle esplosioni

Nella progettazione di un abbattimento è essenziale definire ed adottare tecniche che garantiscono in tutto l'ambiente circostante la zona di scavo, il controllo degli effetti distruttivi o comunque perturbanti delle esplosioni. L'onda d'urto produce nella roccia attorno al foro, una fitta rete di lesioni che sono alla base del processo di frantumazione. Oltre ai problemi di sicurezza legati al rilascio di masse rocciose, le lesioni delle pareti comportano una serie di costi aggiuntivi dovuti alla necessità di:

- caricare e trasportare roccia abbattuta in quantità superiore al previsto;
- in galleria riempire i vuoti indesiderati e mettere in opera sostegni;
- pompare acqua e/o fango e impermeabilizzare con iniezioni le pareti di cantieri sotto falda nel caso in cui discontinuità potenziali della roccia vengano aperte dalle esplosioni;

Si deve inoltre tener presente che la pendenza di un fronte di scavo che garantisca una situazione di stabilità dipende dalle condizioni geo-meccaniche della roccia, condizioni che sono notevolmente influenzate dalle sollecitazioni indotte dall'esplosione delle mine. Variazioni alla pendenza dei fronti di scavo comportano conseguenze economiche importanti, perché dal dover "addolcire" un profilo di scavo può derivare la necessità di uno sbancamento di maggiori dimensioni o l'abbattimento in posto di una maggior quantità di roccia utile.

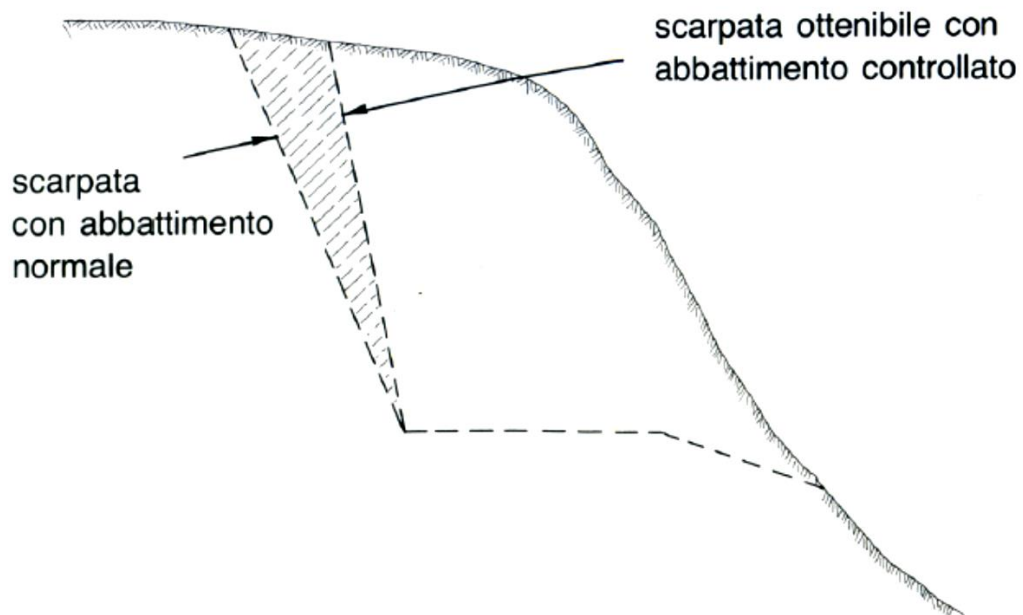


Figura 2 - Riduzione del volume di scavo ottenibile con l'abbattimento controllato (Berta 1985)

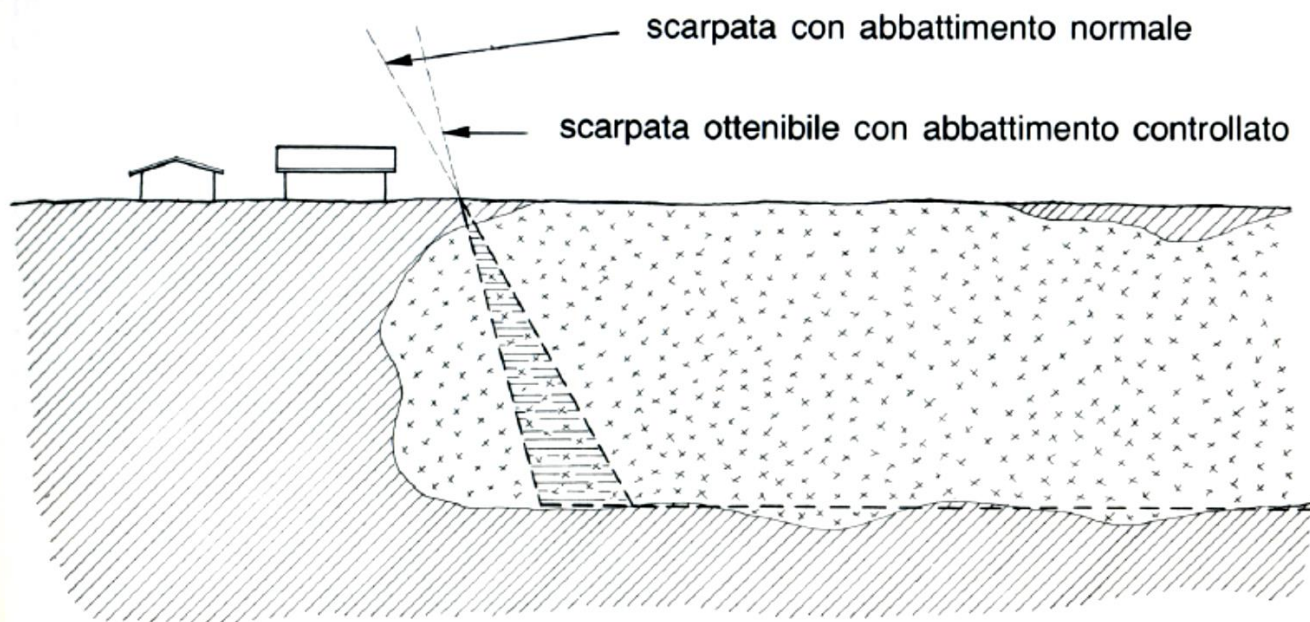


Figura 3- Miglior sfruttamento del giacimento di roccia utile ottenibile con l'abbattimento controllato (Berta 1985)

Quando si desidera rendere minimi o, al limite, eliminare gli effetti indesiderati conseguenti all'esplosione delle mine, si ricorre generalmente a tecniche che tendono soprattutto alla salvaguardia dell'integrità della roccia circostante la zona di scavo. Vale a dire che è necessario garantire una buona profilatura del fronte di scavo, evitando di frantumare eccessivamente la roccia in posto, o di indebolirla con il pericolo di successivi crolli, si deve ricorrere a tecniche di abbattimento controllato.

Con la definizione di “abbattimenti controllati” (controlled blasting) si intendono -gruppi funzionali di mine lungo il contorno (mine di profilatura) che vengono caricate e fatte brillare diversamente rispetto alle altre mine.

Le mine di profilatura sono caratterizzate da:

- *interasse* inferiore rispetto a quello delle altre mine della volata; Innescamento simultaneo
- Disaccoppiamento sostanzialmente superiore all'unità (generalmente ≥ 2);

In relazione ai tempi di innescamento le esplosioni controllate possono essere suddivise in 2 gruppi distinti:

- “*Abbattimenti Controllati*”, dove l'innescamento delle mine di profilatura è previsto dopo l'innescamento delle mine di produzione.
- “*Pre-tagli*”, in cui le mine al contorno sono innescate per prime, e creano con la loro esplosione una superficie di discontinuità tra la roccia da abbattere e la roccia che deve restare in posto

In galleria, ad esempio, si utilizza la tecnica dello Smooth Blasting nella quale le mine di contorno brillano per ultime, e possono quindi sfruttare le superfici libere che si formano a seguito dell'esplosione delle mine di produzione.



Figura 4 - Formazione di una superficie libera distante V_c dalle mine di contorno a seguito dell'esplosione delle mine di produzione (Berta 1985)



Figura 5 - Esempio di pezzatura più grossolana proveniente dalle mine di contorno rispetto a quella proveniente dalle mine di produzione (Berta 1985)

In queste condizioni le mine di contorno lavorano come mine di produzione e come tali possono essere calcolate in base alla relazione che definisce il bilancio energetico tra lavoro di esplosione e la lavoro di

frantumazione. In tutti gli abbattimenti controllati, dato che tra diametro del foro e diametro della carica intercorre un rapporto $\varphi_f \geq 2\varphi_c$, il valore di rendimento η_2 è molto basso. Di conseguenza il consumo di esplosivo necessario per ottenere l'abbattimento risulterebbe molto alto; per contenerlo si accetta che le dimensioni dell'abbattuto proveniente dalla zona del contorno siano maggiori di quelle relative alla produzione del resto della volata. (Berta 1985) Inoltre, dato che il taglio tra foro e foro deve risultare ben netto, è necessario che l'interasse tra queste mine sia inferiore al loro carico di roccia ($E_c < V_c$, molto frequentemente $E_c = 0.8 V_c$). Dato che nelle esplosioni controllate la carica esplosiva viene spesso alternata con materiale inerte, è necessario definire la densità di carica (q_c) contenuta in 1 m di foro. Il valore di V_c è allora dato dalla

$$\frac{q_c}{E_c * V_c * 1} = c \text{ (Berta 1985)}$$

che, tenendo conto di $E_c = 0.8 V_c$, dà

$$V_c = \sqrt{\frac{q_c}{0.8 * c}} \text{ (Berta 1985)}$$

Infine in caso di mine di produzione è molto importante prevedere per ogni tipo di abbattimento controllato cariche a fondo foro dimensionate per vincere la resistenza al taglio che la roccia oppone nella zona di incastro.

Abbattimento controllato: tecniche di realizzazione

Esistono diverse tecniche con quali è possibile realizzare un abbattimento controllato.

In questo paragrafo verranno trattati:

- -Smooth Blasting
- -Cushion Blasting
- -Buffer Blasting
- -Line Drilling
- -Splitting
- -Presplitting
- Fracture control

2.2.6 *Smooth Blasting*

Smooth Blasting significa “abbattimento liscio”. Una singola fila di fori è perforata lungo la linea di scavo pulita, caricata con cariche leggere e ben distribuite. Questa tecnica richiede fori di contorno ben forati, il risultato è determinato principalmente dalla perforazione. La Tab.1 mostra i piani di perforazione e di ricarica per lo Smooth Blasting basati sull’esperienza in diversi paesi. I valori di spaziatura espressi sono quelli massimi che consentono di ottenere buoni risultati. Quando la distanza tra i fori diminuisce, il corrispondente valore di carico deve essere aumentato per mantenere il prodotto $E \cdot V$ e il valore di carica specifica costante. (Matti 1999) La distanza tra i fori sulla linea di contorno dipende dalla tenacità, dalla solidità e dalla durezza della roccia. Questa tecnica viene considerata del Cushion Blasting, che verrà citato di seguito si differenzia solamente per il fatto che i fori vengono riempiti con una colonna continua di esplosivo posta ad esempio entro speciali contenitori tubolari di plastica, con disaccoppiamento pari a circa 2. L’intercapedine fra esplosivo e foro rimane vuota o riempita con sabbia quindi con presenza di sola aria viene usato in particolare in galleria per eseguire la profilatura delle mine di contorno in modo da ridurre al minimo il “fuori sagoma” che comporterebbe costi aggiuntivi nella successiva fase di rivestimento.

L’esplosivo usato, in galleria, prende il nome di “profil” o cariche di profilo e le cartucce portano inserite delle particolari alette di plastica allo scopo di mantenere le stesse ben centrate nel foro. Con tale definizione si vuole mettere in evidenza l’eccellente profilatura delle pareti degli scavi che con questa tecnica si riesce ad ottenere. Lo Smooth Blasting si applica frequentemente in sotterraneo, soprattutto nello scavo di gallerie, dove il diametro dei fori è sempre compreso nel campo

$$\varphi_f = 32 \div 51 \text{ mm}$$

I parametri delle mine di profilatura (E_c , V_c) possono essere calcolati, come già detto, in base alla formula generale del bilancio energetico applicata in funzione delle esigenze dell’abbattimento controllato.

Hole diameter		Charge	Pipe charge		Hole spacing	Specific drilling	Cracked zone
mm	in	kg/m dyn.	ϕ mm	length mm	m	dm ³ /m ³	m
32	1 1/4	0.13	22	380	0.45-0.7	2.22-1.43	0.4
32	1 1/4	0.21	25	1140	0.45-0.7	2.22-1.43	0.4
38	1 1/2	0.21	22	380	0.45-0.7	2.22-1.43	0.4
38	1 1/2	0.21	25	1140	0.45-0.7	2.22-1.43	0.4
51	2	0.38	32	1000	0.5-0.8	2.00-1.25	0.5
51	2	0.47	32	380	0.5-0.8	2.00-1.25	0.5
64	2 1/2	0.38	32	1000	0.5-0.7	2.00-1.43	0.5
64	2 1/2	0.47	32	380	0.5-0.7	2.00-1.43	0.5
64	2 1/2	0.55	25	1000*	0.7-0.9	1.43-1.11	0.9
76	3	0.55	25	1000*	0.7-0.9	1.43-1.11	0.9
76	3	0.71	40	380	0.6-0.9	1.57-1.11	1.1
89	3 1/2	0.90	32	1000*	0.7-1.0	1.43-1.00	1.7
89	3 1/2	1.32	50	380	0.8-1.1	1.25-0.91	1.9
102	4	0.90	32	1000*	0.7-1.0	1.43-1.00	1.7
102	4	1.32	50	380	0.8-1.1	1.25-0.91	1.9

Tabella 1 - Drilling and Charging plans for Smooth Blasting (Rock Excavation Handbook, 1999)

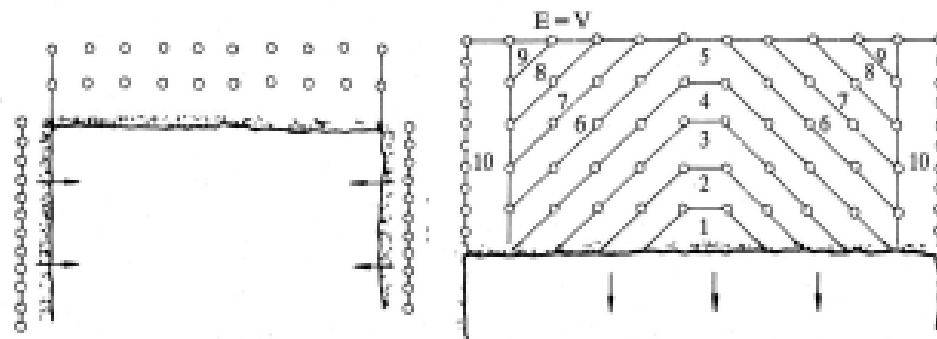


Figura 6 - Smooth Blasting of contours (Rock Excavation Handbook, 1999)

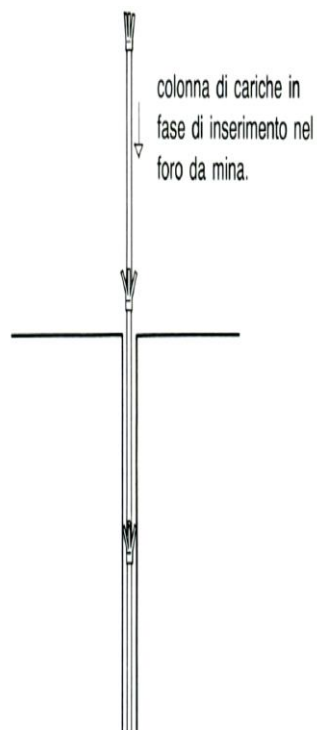


Figura 7 – Modalità di caricamento in foro (Berta 1985)

2.2.7 Cushion Blasting

Il “Cushion Blasting” è una tecnica di abbattimento molto simile allo Smooth Blasting. In realtà, mentre nello Smooth Blasting si lascia un gap d’aria tra la carica (che è continua) e le pareti del foro, nel Cushion Blasting, una singola fila viene perforata lungo il perimetro dello scavo. La dimensione del foro varia da 50 mm a 164 mm. I fori per gli ammortizzatori vengono caricati con piccole cariche e ben distribuite lungo i fori che vengono sparati dopo aver scavato lo scoppio principale. (Matti 1999) (Fig.6). Le cariche dovrebbero essere licenziate senza ritardi o ritardi minimi tra i fori. La miccia detonante o i detonatori elettronici rappresentano i mezzi migliori di iniziazione come rumore o aria non causano alcun problema. La forza di carica unificata taglia la rete tra i fori formando una superficie di roccia liscia. Il carico e la spaziatura varieranno con il diametro del foro nel perimetro di perforazione. I fori sono caricati con cartucce di esplosivi registrate su una detonazione down line. (Matti 1999) Le cariche esplosive, collegate lungo il foro con un cordone di miccia detonante, è frequente l’uso di tamponi pieni d’aria, preconfezionati, che aderiscono alle pareti del foro, per cui lo spazio tra la carica e pareti del foro viene completamente riempito. Dato il tipo di caricamento, questa tecnica è possibile solo in fori verticali, ed

è quindi adottata quasi esclusivamente nei lavori a cielo aperto. L'esperienza USA, dove il Cushion Blasting è adottato molto più frequentemente che in Italia, sembrano indicare che l'azione di smorzamento esercitata dal materiale inerte contenuto nei fori ha una efficacia più o meno analoga a quella del gap d'aria nei fori di Smooth Blasting. Nei lavori relativi a sbancamento a mezza costa con fori verticali per allargare strade in roccia, talvolta, è utile lasciare la parete finale ben tagliata anche per evitare di effettuare continui disaggi nei periodi in cui le condizioni metereologiche non sono ottimali (gelo o forti piogge). In questi casi è utile adottare la tecnica del taglio opportunamente modificata in quanto non è necessario fare un taglio netto. I fori di produzione sono eseguiti e caricati normalmente; la precisione di foratura è importante in quanto una deviazione di oltre 15 cm del piano teorico comporta risultati negativi. (Matti 1999) Il riempimento dei vuoti nel foro può essere effettuato con acqua o con sabbia fine. Il brillamento deve essere fatto simultaneamente per tutti i fori o micro-ritardato a gruppi qualora fosse necessario ridurre la carica per ritardo per problemi di vibrazioni. Più la roccia è compatta, migliore risulta il taglio; in presenza di rocce molto fratturate il risultato del taglio è meno evidente, ma comunque, sempre positivo. Quando la tecnica del Cushion Blasting viene utilizzata negli angoli di 90°, per ottenere una maggiore precisione si può usare in combinazione con la tecnica del Presplitting. (Matti 1999)ö

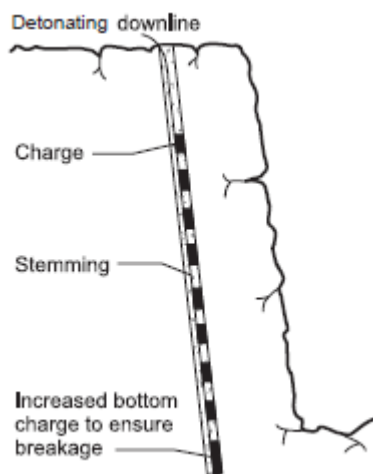


Figura 8- Schema Cushion Blasting (Rock Excavation Handbook, 1999)

Vantaggi	Svantaggi
Maggiore distanza tra i fori, meno foratura	È necessario sparare lo scoppio principale prima di inserire un ammortizzatore
Funziona bene nelle formazioni rocciose incompetenti	Difficile tagliare angoli di 90° senza combinare con il Presplitting

Tabella 2 – Vantaggi e svantaggi del Cushion Blasting

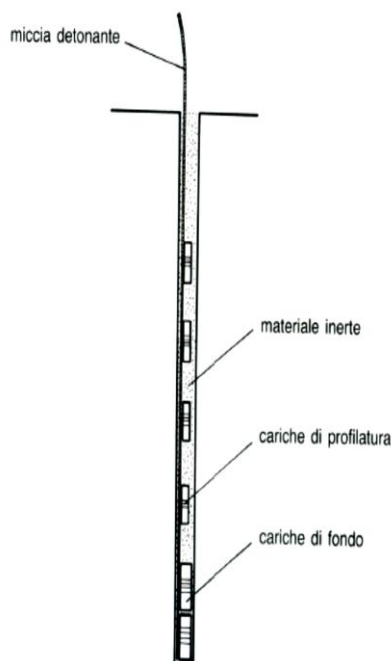


Figura 9 - Schema di una mina di Cushion Blasting (Berta 1985)

2.2.8 Buffer Blasting

La caratteristica distintiva del Buffer Blasting, è quella di richiedere per la sua applicazione l'esistenza di una superficie di discontinuità lungo il contorno definitivo dello scavo. In presenza di una fessura naturale, come una faglia o un piano di stratificazione subverticale, si risparmia l'utilizzo dei fori di Line Drilling. Anche in questo la linea dei fori più vicina alla fessura sarà con interasse più ristretto, non avrà sotto perforazione ed i fori conterranno meno esplosivo, che sarà, anche in questo distanziato lungo il foro. (Coppe ottobre 1999) Le mine di buffer vengono disposte su di un allineamento parallelo alla direzione della superficie di discontinuità che delimita alle spalle la zona di scavo; rispetto alle mine di

condizioni geologiche, queste agiscono come concentratori di tensioni o guide per creare delle crepe tra di loro. I fori della linea non caricati vengono talvolta usati in spazi ristretti per deformare le crepe in uno specifico angolo. In materiali che presentano particolari condizioni geologiche la perforazione potrebbe non funzionare come desiderato, in questo caso le fratture tendono a concentrarsi sui piani di debolezza presenti in natura piuttosto che sui piani di debolezza creati dai fori praticati sulla linea. Sebbene siano state condotte molte ricerche sull'uso esclusivo line drilling per scopi di controllo perimetrale, le applicazioni di questa tecnica in combinazione, ad esempio con la tecnica del presplitting, risulta un metodo collaudato e sicuro. (Rock Blasting and Overbreak Control, 1991). Il line Drilling trova ampio impiego laddove in quelle aree dove anche le cariche esplosive leggere associate ad altre tecniche di abbattimento controllate possono causare danni. Inoltre questa tecnica fornisce risultati migliori, quando le vibrazioni del terreno devono essere molto ridotte, in questo modo è possibile predisporre l'avvio con detonatori a breve ritardo. (Rock Excavation Handbook, 1999)

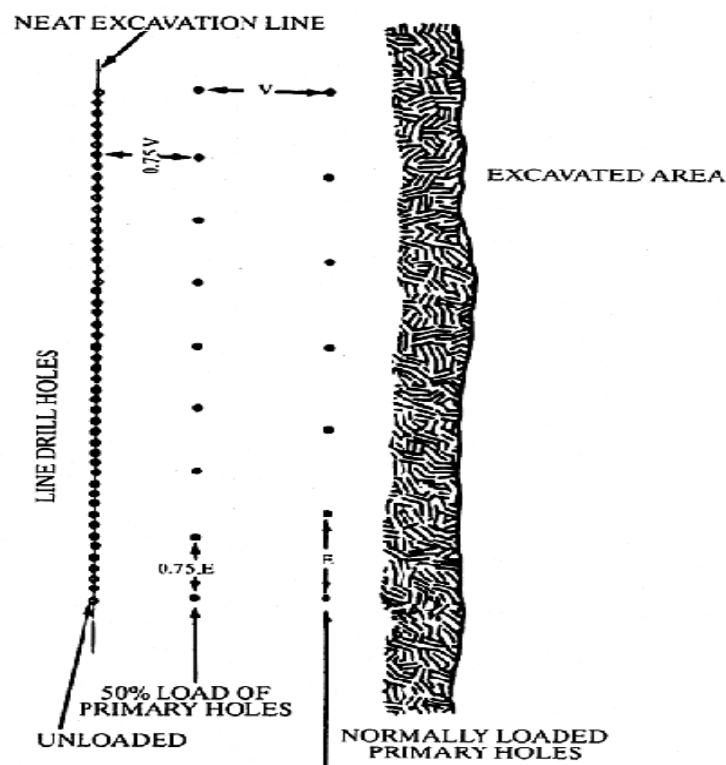


Figura 11 - Smooth Blasting of contour (Rock Excavation Handbook, 1999)



Figura 12 Schema Tipico e procedura di un lavoro di Line Drilling (Matti 1999)

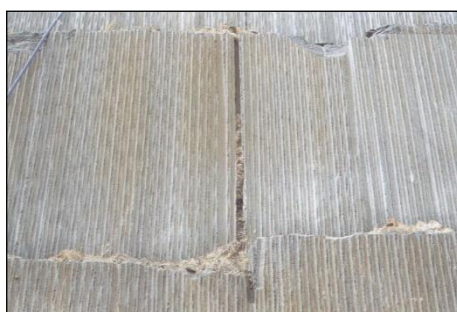


Figura 13 - Schema di perforazione Line Drilling (Vari 02/2002)

2.2.10 Volate di distacco (Splitting)

Sono volate di mine alle quali non è richiesto di ridurre la roccia in frantumi, ma solo di creare una (o più) fratture di separazione, che isolino un predeterminato volume roccioso. (Fig.10-11). Detti anche “tagli preventivi” È importante nel caso in cui sono richieste cautele per la salvaguardia di strutture sensibili alle vibrazioni indotte dal brillamento delle cariche. Si tratta di creare una fessurazione artificiale che si interpone fra la massa da frantumare e la struttura o la roccia da salvaguardare. Infatti nelle coltivazioni di materiali lapidei è importante non creare lesioni ai blocchi da estrarre. Si potrebbe utilizzare, ad esempio la polvere nera per spingere i blocchi tagliati con il filo diamantato, oppure i tagli si creano con degli allineamenti ravvicinati di fori da mina. Con questa tecnica l’esplosivo lavoro con azione tagliente, facendo confluire l’energia unidirezionalmente fra un foro e l’altro, anziché lavorare per frantumare la roccia. I fori sono ravvicinati, anche il diametro di perforazione è ridotto.

Utilizzando le cariche di profilatura il diametro dei fori varia da 28 a 34 mm, se si utilizzano cordoni di miccia detonante anche valori più bassi. Tutti i fori devono detonare simultaneamente, di conseguenza ogni foro avrà un detonatore con lo stesso numero oppure una miccia detonante che conetterà tutti i fori.

L'interasse dei fori dipende dal tipo di roccia, dall'altezza della bancata e dal tipo di esplosivo. Se si tratta di materiali lapidei da tagliare, si possono utilizzare fori distanti fra loro 15-30 cm. In questi casi è consigliabile un riempimento con acqua dopo il caricamento per evitare l'annerimento delle bancate. Nel caso in cui lo Splitting ha lo scopo di ridurre le vibrazioni la distanza fra i fori può raggiungere anche il metro. Le cariche di profilo sono provviste di alette che mantengono centrato nel foro il candelotto. (Coppe ottobre 1999) Evitando il contatto con un lato del foro e quindi garantendo un lavoro più efficace in quella direzione (Fig.7).

Possiamo distinguere due casi:

- Presplitting: la frattura ha lo scopo di separare dalla massa un volume di roccia destinato ad essere poi frantumato con ordinarie volate di mine e rimosso.
- Distacco di blocchi regolari: la frattura ha lo scopo di isolare blocchi integri che verranno rimossi ed eventualmente sezionati per essere commercializzati.

Nel primo caso è tollerata la comparsa di qualche altra frattura oltre a quella desiderata di separazione, nel secondo caso deve essere esclusa. Il dimensionamento delle mine di presplitting è molto diverso da quello delle mine di Splitting. Innanzitutto il presplitting non esige fori di 32 mm, lo Splitting sì; le mine di Splitting hanno un disaccoppiamento che può arrivare a 10, quelle di presplitting al massimo hanno un disaccoppiamento pari a 3. Nel caso dello Splitting è evidente che un disaccoppiamento così elevato è possibile solo con miccia detonante. Anche gli interassi sono diversi per le due tecniche, ciò che le accomuna è che entrambe lavorano indipendente dall'esistenza di una spalla. Le volate per il distacco di blocchi devono usufruire di tre pareti libere, per consentire un piccolo spostamento laterale del blocco distaccato.



Figura 14 - Caricamento con miccia detonante dei fori di Splitting in una cava di granito (Vari 02/2002)



Figura 15 - Cava di pietra dura coltivata con il metodo dello Splitting dinamico (Mancini-Cardu-Lover (Vari 02/2002)

2.2.11 Presplitting

Questa tecnica viene usata per ottenere una parete regolare mediante il brillamento preventivo delle mine di contorno. È considerata la tecnica di abbattimento controllato più comune e viene impiegata sia in grandi miniere a cielo aperto che nelle costruzioni civili. Questo metodo prevede la perforazione di fori ravvicinati sul perimetro di scavo che sono leggermente caricati con elementi di disturbo allo scopo di generare una pressione appropriata all'interno del foro. Spesso per motivi tecnici si preferisce utilizzare piccoli diametri, poiché il costo può essere ridotto (Sharma 2011) Figura 16

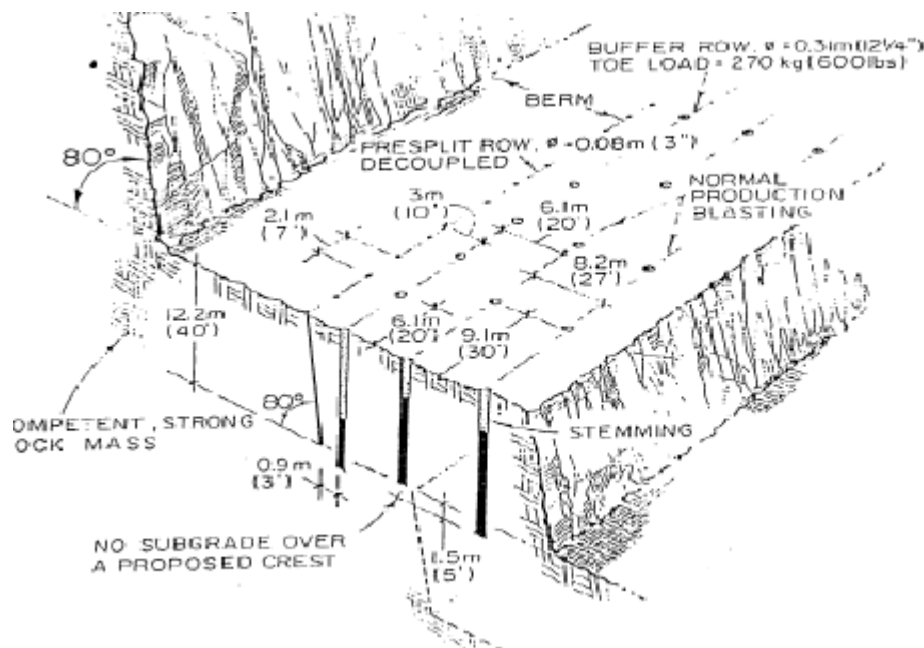


Figura 16 - Tipico esempio di Presplitting Blast design (Sharma 2011)

2.2.12 Fracture Control

Il Fracture Control è una tecnica che presenta una variazione rispetto al presplitting. I fori lungo il perimetro ravvicinati e paralleli, vengono scanalati secondo il piano di taglio per mezzo di un apposito utensile che è collegato al mezzo perforante. La scanalatura nelle pareti dei fori favorisce il taglio lungo il piano che essa stessa definisce. In questo modo la carica lineare viene alleggerita e la distanza tra i fori aumentata rispetto alle mine di presplitting. Le scanalature consentono uno sfruttamento più razionale della perforazione e dell'esplosivo rispetto al presplitting.

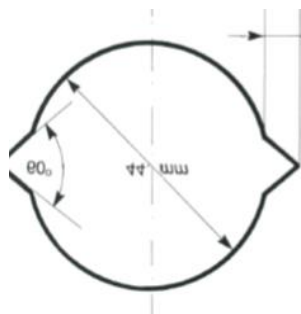


Figura 17 - Foro con scanalatura per le mine di contorno nel Fracture Control (Berta 1985)

Capitolo 3 **PRESPLITTING: STATO DELL'ARTE**

3.1 Analisi bibliografica sull'abbattimento controllato a giorno

Sono state sviluppate diverse tecniche per controllare l'overbreak ai limiti dello scavo. Il progettista deve decidere lo scopo ultimo della tecnica di controllo, prima di selezionare quella che verrà utilizzata. Alcune tecniche vengono usate per produrre delle pareti esteticamente ben profilate, come nel nostro caso di studio. Altre ancora sono state usate per fornire stabilità e possono non portare alla realizzazione di pareti ben profilate, ma garantiscono un'adequata stabilità. (U.S. Department of Transportation Federal Highway 1991) I metodi di controllo dell'overbreak possono essere suddivisi in tre tipi:

- 1) Presplitting
- 2) Cushion Blasting
- 3) Line Drilling

Per quanto concerne il Cushion Blasting ed il Line Drilling sono stati già trattati in precedenza, si approfondirà la tecnica del Presplitting che verrà utilizzata nel caso applicativo.

Con il termine Presplitting si intende come “tagliato prima”. Un allineamento di fori da mina ravvicinati, che detonano prima delle cariche di produzione, determinano la creazione del distacco da quanto è da proteggere. Diversamente dal line drilling, i fori vengono caricati con materiale esplosivi. (Coppe ottobre 1999)

I Primi importanti impieghi della tecnica si ebbero nel campo dello scavo in roccia condotto esclusivamente con esplosivi. Per migliorare la modalità di controllo delle esplosioni, abbastanza frequentemente si ricorre a tecniche di abbattimento che prevedono l'esecuzione di “pretagli”. Tali nuove superfici hanno una duplice funzione, in quanto come superfici libere permettono di ottimizzare il lavoro di frantumazione delle mine di produzione, e come superfici di separazione costituiscono un ostacolo al propagarsi delle sollecitazioni al di fuori della zona di abbattimento. Qualora il taglio della roccia fosse eseguito prioritariamente alle volate di produzione, allo scopo di creare una frattura contro la quale le vibrazioni delle mine possono smorzarsi, la tecnica prende il nome di Presplitting. Lo scopo di questa tecnica è quello di formare un piano di frattura, attraverso il quale le fessure radiali dall'esplosione di

produzione, non possono viaggiare, il piano di frattura formato potrebbe avere un aspetto gradevole esteticamente.

Il Presplitting dovrebbe essere pensato come misura protettiva per evitare che il muro finale venga danneggiato dalla produzione. (U.S. Department of Transportation Federal Highway 1991) La superficie di separazione è una frattura ottenuta applicando alla roccia un ben dosato e direzionato impulso.. Tuttavia vanno migliorati l'accuratezza della superficie di distacco ottenuta e la certezza di prevedibilità dell'ottenimento dell'effetto voluto, specie in materiali anisotropi e disomogenei. Un miglioramento è dato affiancando all'azione dell'esplosivo un intaglio meccanico parziale; oppure riducendo la spaziatura tra i fori, fino ad arrivare all'intaglio puramente meccanico ottenuto con il metodo delle perforazioni a contatto. L'isolamento preventivo può essere richiesto per evitare danni alla roccia che deve rimanere in posto, per limitare la trasmissione di vibrazioni alla massa nel successivo abbattimento, o per ambedue i motivi.

L'esplosivo utilizzato per il Presplitting normalmente contiene nitrato di ammonio. L'esperienza mostra che l'alta produzione di gas esplosivi produce una frattura migliore e allo stesso tempo riduce la possibilità di formazione di incrinature sulle pareti del foro. Regole empiriche comuni indicano il diametro di carica inferiore alla metà del diametro del foro. Utilizzando una carica di piccolo diametro in un foro di diametro maggiore, le pressioni del gas diminuiscono rapidamente a causa dell'espansione in un volume più grande. Questa procedura è definita disaccoppiamento. Questo rapido decremento della pressione ha l'effetto di portare diverse pressioni esplosive in uno stretto intervallo di valori per la maggior parte degli esplosivi di comune impiego.

Accade, che con il corretto disaccoppiamento, diversi esplosivi producono delle tensioni nella roccia entro un intervallo di circa il 10% l'uno dall'altra in un'applicazione di Presplitting. Il disaccoppiamento è definito come il diametro del foro diviso quello della carica. Si riporta un esempio delle tensioni prodotte (Figura 18).

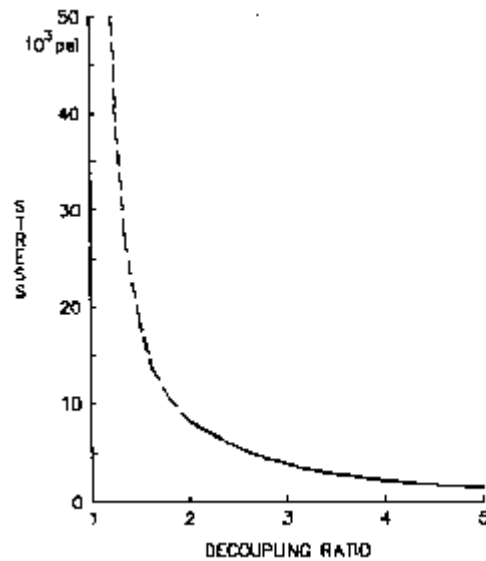


Figura 18 - Stress Levels from Decoupled shots (Rock Blasting and Overbreak Control, 1991)

In passato si riteneva che il Presplitting fosse causato interamente dal riflesso di onde di sollecitazione come è mostrato in Figura 19. Le ricerche successive hanno dimostrato che la grandezza del risultante d'onda delle tensioni è insufficiente a creare l'azione di spaccatura in situazioni di brillamento reale. Nel caso in cui si considerassero solo le onde di tensioni per causare Presplitting, le spazature dovrebbero essere ridotte a 1/5 rispetto a quelle utilizzate in campo. Sempre in riferimento alla Figura 19 se gli spari di Presplitting non sono stati sparati istantaneamente, non si avrebbe la frattura poiché non si verificherebbe una collisione delle onde di tensione tra i fori.

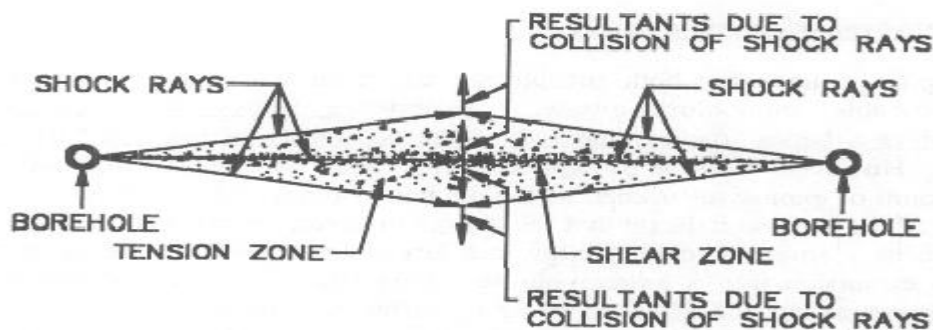


Figura 19 - Old Concepts of Stress Wave Breakage (Rock Blasting and Overbreak Control, 1991)

Due cariche sono innescate simultaneamente in fori adiacenti. La collisione delle onde d'urto derivanti dalla detonazione pone in tensione il ponte di roccia compreso fra gli assi delle cariche e determina la frattura, che si allarga grazie all'espansione dei gas, in funzione di tre fattori:

- Proprietà e condizioni della roccia;
- Interasse fra i fori;
- Quantità e tipo di esplosivo utilizzato.

Questa è una considerazione importante, in quanto se si considerasse nel concetto di rottura di onde di tensione come principale meccanismo di Presplitting, allora tutti i fori dovrebbero essere licenziati in maniera instabile. Nella maggior parte dei casi, molti fori sparati istantaneamente indurrebbero vibrazioni nel terreno molto alte. Il fatto che i fori possono essere ritardati è importante perché consente all'operatore, se necessario, di sparare ogni foro su un ritardo separato. (U.S. Department of Transportation Federal Highway 1991)

Il Presplitting non è una tecnica recente, divenne molto conosciuta per il controllo delle pareti quando venne usata a metà degli anni '50 nel Niagara Power Project (Fig.2). In questo caso si ricercava più che smorzare effetti vibro metrici, di ottenere un ciglio regolare lungo le pareti di scavo. Tuttavia tracce del suo impiego risalgono già agli anni '40.

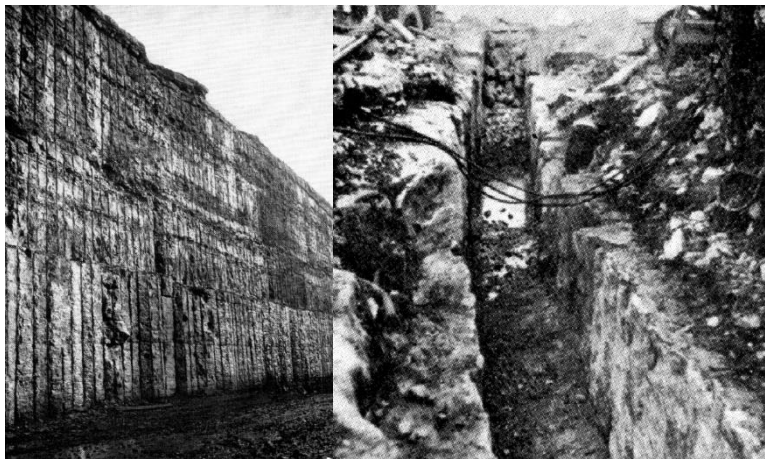


Figura 20 - A destra realizzazione di una trincea in roccia mediante esplosivo; l'uso del Presplitting consente un buon rispetto delle pareti di scavo; a sinistra esempio di Presplitting realizzato nell'ambito del Niagara Power Project (Langefors U. 1967)

Ancora oggi si possono ammirare scarpate tagliate con grande precisione presso alcuni valichi europei. Grazie ad una coltivazione a trincee orizzontali ripetute, si osservano pareti di diverse decine di metri che mostrano le cosiddette “canne d’organo”, ovvero fori da mina tagliati longitudinalmente che delimitano con precisione la scarpata anche verticale. Il Presplitting era stato utilizzato come tecnica di fratturazione della roccia prima che venissero usati gli esplosivi. Anche gli antichi egizi costruirono le piramidi utilizzando questa tecnica. La tecnica veniva impiegata martellando cunei di legno in fessure naturali o fori praticati nella roccia. Le zeppe di legno erano piene d’acqua, tal modo l’espansione del legno causava fratture tra i cunei. I blocchi potevano essere rimossi.

Nei climi nordici, l’uomo ha scoperto che il ghiaccio poteva essere utilizzato per creare fratture nella roccia, praticare i fori in una massa rocciosa riempiendoli con acqua e lasciando gelare l’acqua durante l’inverno. Così la roccia si spezzerebbe fra i fori rilasciando i blocchi. Sia le zeppe di legno che l’acqua gelata esercitano una pressione statica sulla massa rocciosa simile a quella che si verifica dalla pressione esplosiva dei gas. Gli anni novanta saranno ricordati per un impiego particolare dell’esplosivo, la faraonica creazione del Crazy Horse all’interno delle Black Hills nel Sud Dakota. (Figura 14) Per la realizzazione di questa gigantesca opera si ricorse all’utilizzo di esplosivo e perforatrici in grandi quantità.

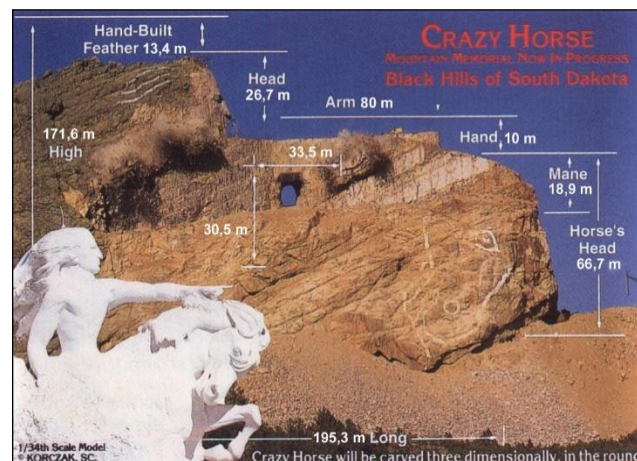


Figura 21 - Il Crazy Horse Memorial ; monumento ai Nativi Americani, scolpito con esplosivo nel granito del Black Hills Sud Dakota (1966 (Vari 02/2002))

Quest'opera venne progettata ed iniziata da Paul Muehl, prematuramente scomparso senza aver potuto veder completata la sua opera. Certamente determinate condizioni risultati sono stati possibili grazie a due condizioni essenziali: una roccia compatta ed omogenea ed una grande precisione nella perforazione. (Coppe ottobre 1999)

Le formule empiriche utilizzate nel Presplitting di solito non considerano la forza caratteristica della massa rocciosa. Se la pressione esplosiva all'interno del foro ha un valore al di sotto della forza di schiacciamento e un valore superiore alla resistenza a trazione, le fratture si verificheranno senza danneggiare la massa rocciosa attorno al foro. Nella maggior parte delle applicazioni di Presplitting la pressione varia da $5.5 * 10^7 \text{ Pa}$ a $1.03 * 10^8 \text{ Pa}$. (U.S. Department of Transportation Federal Highway 1991)

Il Presplitting, così come il Cushion Blasting ed il Line Drilling, danno migliori risultati nelle rocce massicce. Su questo tipo di rocce si possono osservare i semi calchi o la metà di ogni foro sulla parete finale. Alcuni operatori cercano di valutare il successo o il fallimento di queste tecniche tramite un fattore denominato Half Cast Factor (HCF) dato dal rapporto percentuale tra la totale lunghezza di “mezze canne di fori” osservabili sulla parete residua dopo il tiro e la totale lunghezza di fori di mina di contorno che si erano preparati e fatti brillare. Si tratta di un indicatore dell'esiguità del danneggiamento indotto dalle mine di contorno, in quanto ciò che direttamente indica è solo il fatto che la frattura di distacco è stata “ben guidata”. Siccome però è noto che un buon guidaggio della frattura si ha solo se le pressioni nei fori non superano di molto il minimo indispensabile ad avere il distacco, si può assumere il fattore HCF come indicatore di grave (HCF nullo), moderato (HCF medio) o basso (HCF elevato) danneggiamento meccanico alla parete residua. Se, ad esempio, solo il 40 % dei fori di perforazione rimane visibile sulla parete finale come semi calchi, allora l'HCF sarà pari al 40 %.

Questa tecnica presenta ottimi risultati quando viene applicata su materiale massiccio omogeneo. Tuttavia i mezzi calchi potrebbero non essere visibili su una roccia che presenta caratteristiche geologiche complicate. Questo non significa che l'esplosivo non ha svolto in maniera adeguata il suo lavoro. In questa tipologia di roccia non si forma una frattura semplice, bensì una zona frantumata lungo il perimetro, e tale zona funge da protezione per la parete finale, dagli effetti di incrinature radiali provenienti dall'esplosione di produzione.

Quando la roccia presenta numerosi giunti ed essi si intersecano al viso con angolo inferiore di 15° non sarà possibile formare un viso liscio con le tecniche di controllo. Per avere una parete esteticamente gradevole il giunto deve intersecare la faccia con angolo maggiore di 30° . Per valori inferiori si verranno a creare delle fratture che intersecheranno la giuntura, grandi porzioni di materiale cadranno durante lo scavo.

In materiali scadenti è importante l'abilità dall'operatore. Alcune macchine esercitando una spinta elevata possono scavare una parete non murata e danneggiare il contorno finale. Altri fattori geologici che influenzano il risultato sono le cuciture morbide o cuciture di fango. Se la bancata presenta numerose cuciture di fango risulta molto difficile ottenere buoni risultati. (U.S. Department of Transportation Federal Highway 1991)

3.2 Modalità di realizzazione tecniche di profilatura: Smooth Blasting e Presplitting

Il brillamento di contorno, viene eseguito utilizzando cariche di forma lineare, disaccoppiate dai fori di trivellazione. Questo metodo è comune negli scavi a giorno e in sotterraneo, sia per scopi civili che minerari. Per ottenere migliori risultati in termini di rottura delle rocce e di rispetto del profilo di scavo, si suggerisce che le cariche debbano essere inserite coassialmente nei fori per garantire una distribuzione uniforme dell'energia esplosiva e di conseguenza ottenere un raggio di danno uniforme. Tuttavia per diverse ragioni molto spesso vengono impiegate cariche non coassiali. I metodi di carica non coassiale includono l'uso di un cavo detonante ad alta potenza (da 40 a 100 g/m), un cavo detonante che collega cartucce di piccolo diametro (in genere 10 g/m di cartucce di innesco). Si valutano gli effetti sulla qualità delle pareti finali. Verrà illustrato un esperimento condotto presso la miniera sperimentale del centro di ricerca per l'estrazione responsabile dell'Università di San Paolo in Brasile, dove sono stati eseguiti diversi test sperimentali con l'obiettivo di valutare il rapporto minimo di carica/ massima spaziatura che garantisce un buon controllo delle pareti. In Brasile i test sono stati eseguiti con la tecnica dello Smooth Blasting utilizzando diverse configurazioni di carica non coassiale seguendo diverse geometrie di perforazione; nel caso di studio è stata utilizzata la tecnica del Presplitting con una sola configurazione di carica con le stesse finalità. Nei test sperimentali si distinguono due casi:

- carica lineare costante lungo i fori e variazione della spaziatura tra i fori del contorno;
- spaziatura costante tra i fori del contorno e variazione della carica lineare lungo i fori.

In ogni prova il borraggio è stato eseguito mediante acqua prima del brillamento, nei casi in cui la roccia mostrava delle discontinuità naturali, l'acqua non poteva essere trattenuta ed alcuni buchi sono stati fatti detonare solo parzialmente o per nulla riempiti d'acqua

Facendo un confronto fra le due tecniche lo Smooth Blasting può essere utilizzato prima del brillamento di produzione in alternativa al Presplitting; inoltre, i fori presentano stesso diametro e profondità rispetto a quelli usati nel Presplitting leggermente distanziati e caricati con una densità di carica leggermente più elevata. Se il carico viene ridotto lo Smooth Blasting produce una superficie di bancata regolare. Anche i valori di HCF risultano più bassi di quelli ottenuti con il Presplitting. Lo Smooth Blasting dà migliori risultati in rocce dure, sebbene possa essere utilizzate anche in rocce fratturate aumentando la spaziatura dei fori e aggiungendo dei fori guida non caricati. Nella tabella sono mostrati i diametri del foro, il carico, la spaziatura e le cariche esplosive più impiegate nello Smooth Blasting.

Hole Diameter [mm]	Spacing [m]	Burden [m]	Explosive Charge [kg/m]
38-44	0.6	1.0	0.005-0.55
50	0.75	1.06	0.005-0.55

Tabella 3 Valori indicativi per lo Smooth Blasting

Di seguito verranno riportate alcune immagini relative ai test sperimentali effettuati nella miniera sperimentale a San Paolo.

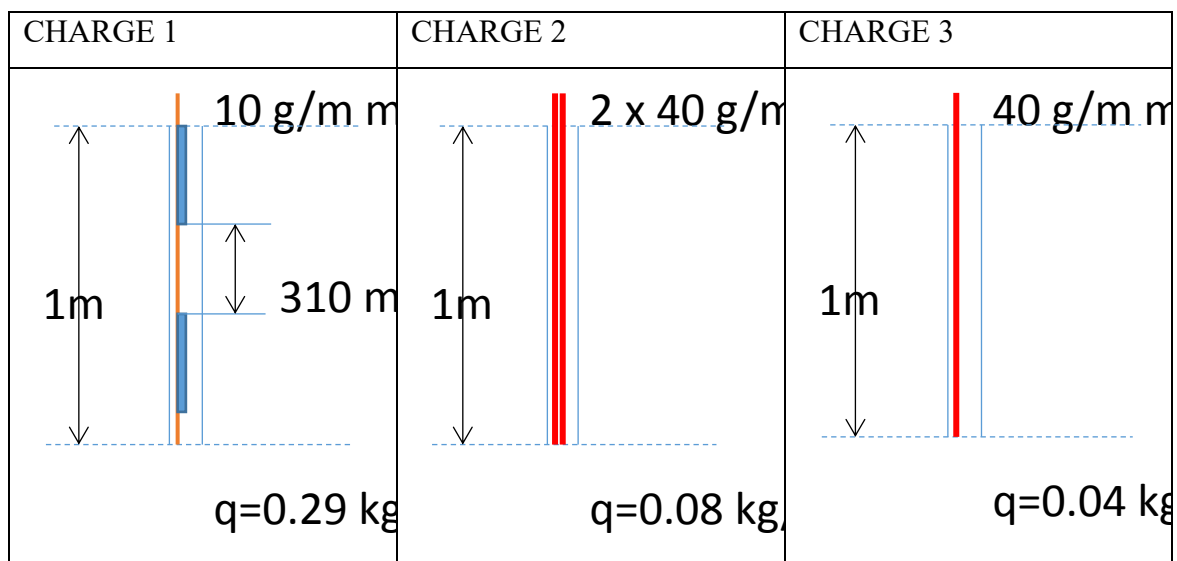


Figura 22 Dettagli sul carico adottato per le esplosioni sperimentali 1,2,3 (Seccatore J. 2015)

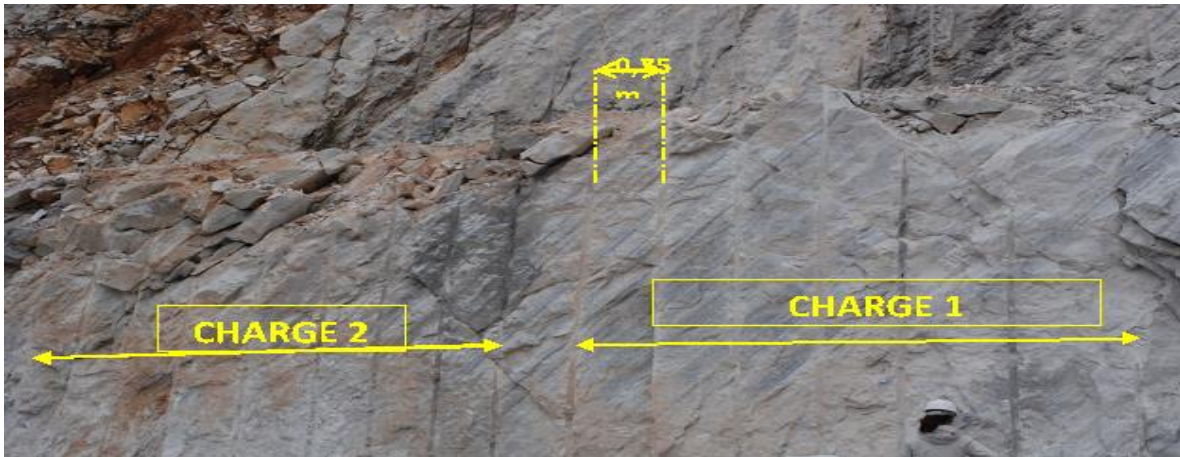


Figura 23 Risultati Blast 1 (Seccatore J. 2015)

Si può osservare sulla parete restante la presenza dei fori del contorno con un HCF prossimo al 100%

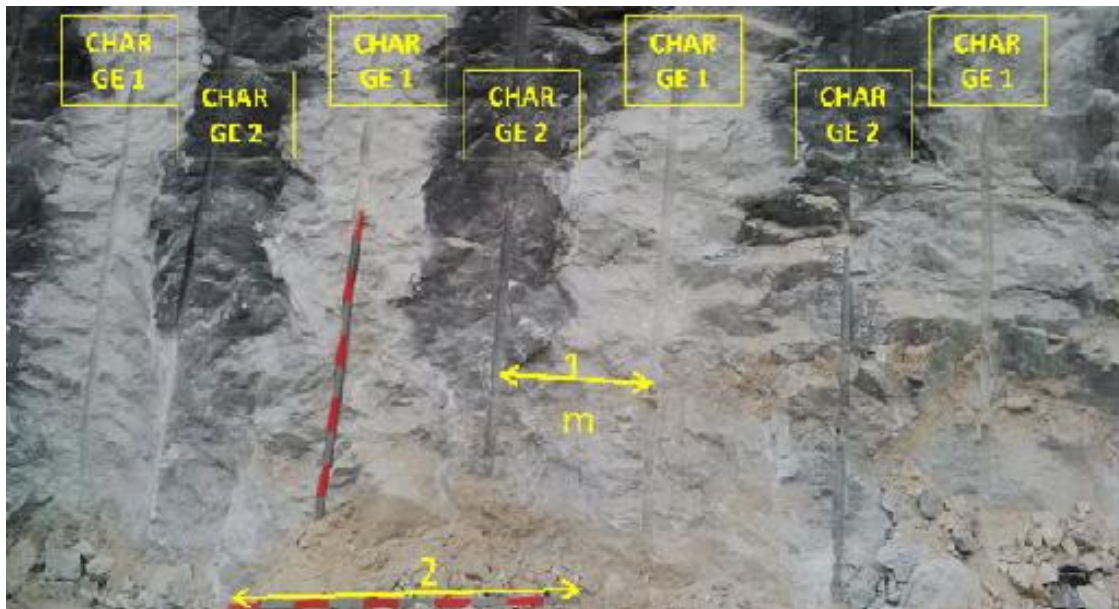


Figura 24 Risultati Blast 2 (Seccatore J. 2015)

Stessa situazione vista nel Blast 1 anche qui l'HCF risulta prossimo al 100%

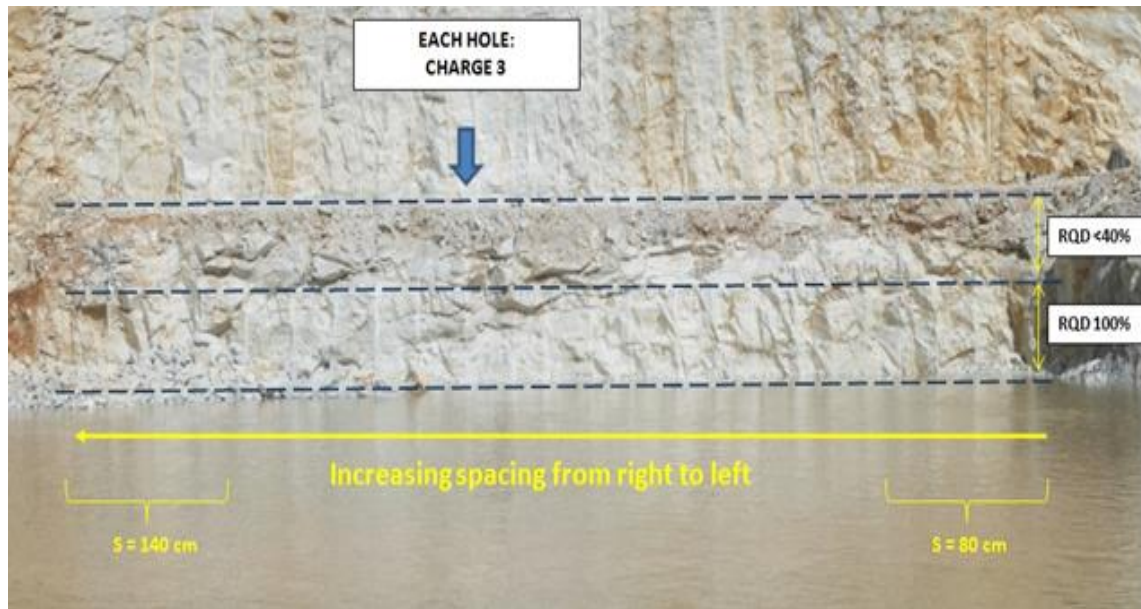


Figura 25 Risultati Blast 3 (Seccatore J. 2015)

Questa è stata eseguita aumentando la spaziatura tra i fori, nell'immagine seguente viene mostrata la vista finale del muro.



Figura 26 Vista della parete finale (Seccatore J. 2015)

Dopo aver parlato dello Smooth Blasting relativamente al caso sperimentato in Brasile, si porrà ampio spazio alla trattazione del Presplitting; tali volate hanno lo scopo di creare una più fratture di separazione, che isolino un predeterminato volume di roccia, che verrà successivamente asportato od abbattuto.

PRESPLITTING: la frattura ha lo scopo di separare dalla massa un volume di roccia destinato ad essere poi frantumato con ordinarie volate di mine e rimosso. L'isolamento preventivo può essere richiesto per evitare danni alla roccia che deve rimanere in posto, per limitare le vibrazioni alla massa nel successivo abbattimento o per entrambi i motivi. (Gupta RN. 1987) La comparsa di fratture oltre a quella voluta di separazione generalmente è tollerata.

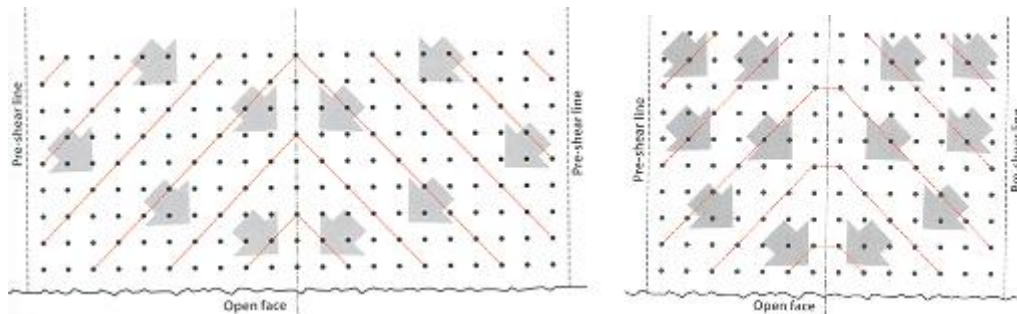


Figura 27 Esempi volate di Presplitting (Marilena 2018/2019)

Il Presplitting crea una frattura continua lungo tutto il foro accuratamente caricato e distanziato lontano dalla faccia libera. La frattura stabile risultante dopo il Presplitting riflette le onde elastiche di tensione e utilizza l'energia esplosiva per essere sprecata oltre la zona di frattura. Questa tecnica è caratterizzata da:

- allineamento di fori paralleli, molto ravvicinati (in genere da 6 a 25 volte il diametro), lungo il contorno dello scavo
- cariche con disaccoppiamento $\varphi_f \geq 2\varphi_c$
- il brillamento simultaneo se possibile, altrimenti micro-ritardato e antecedente alle mine di produzione

I fori di Presplitting possono essere inclusi come cariche di contorno in un'esplosione ordinaria. Le cariche possono essere disposte facendo riferimento ai principi del dimensionamento statico ed i fattori più importanti per ottenere il risultato voluto sono:

- carica lineare unitaria che rappresenta il rapporto tra la carica e la lunghezza del foro;

- diametro del foro;
- rapporto tra la spaziatura ed il diametro.

L'esplosivo è utilizzato con forte disaccoppiamento e il brillamento dovrebbe essere simultaneo. In genere il diametro del foro è piccolo, ma in particolari casi è possibile utilizzare anche diametri di 100 mm. In questi casi la carica lineare è costituita da file di normali cartucce tubolari fissate ad un cordone di detonazione, o con esplosivo versato in tubi con diametri più piccolo del foro o eventualmente esplosivo diluito. In genere i dati necessari vengono forniti dai produttori, nei casi in cui le cariche non siano disponibile esistono formule empiriche (Del Greco O. 1983) che garantiscono un corretto dimensionamento di cui menzioniamo:

$$\left(\frac{\Phi_c}{\Phi_f} \right)^2 \cdot \frac{L_c}{L} \cdot \frac{\delta_c}{1000} \cdot P_s \cdot \left(\frac{\Phi_f}{E - \Phi_f} \right) = T$$

dove:

- Φ_c è il diametro delle carucce in (m);
- Φ_f è il diametro dei fori in (m);
- δ_c è la densità delle cartucce di esplosivo in ($\frac{kg}{m^3}$);
- P_s è la pressione specifica dell'esplosivo in (MPa);
- E è la spaziatura in (m);
- L_c è la lunghezza caricata in (m);
- L è la lunghezza del foro (m);
- T è la resistenza a trazione della roccia in (MPa).

Qualora non fossero disponibili i dati di resistenza a trazione si può assumere un valore pari a 20 MPa, per la pressione specifica si può ipotizzare 1200 Mpa per la dinamite di gelatina, 800 MPa per gli ANFO. Un'altra formula empirica è stata suggerita da (M. 2000)

$$W = 0.036 \cdot (D)^2$$

dove:

- W è il peso dell'esplosivo [kg]
- D è il diametro in [m]

La funzione delle mine è essenzialmente un'azione di taglio. Frantumazione e spostamento della roccia non sono né previsti né desiderati, quindi le mine sono calcolate seguendo criteri differenti rispetto alla progettazione delle mine di abbattimento. Non è certamente applicabile al presplitting la formula del bilancio energetico, in quanto la distribuzione dell'energia trasmessa alla roccia avviene in modo ben diverso rispetto agli abbattimenti di produzione ed anche a quelli controllati, basti pensare che la quota di energia sviluppata dall'esplosivo da spendersi in frantumazione e spostamento è nulla.

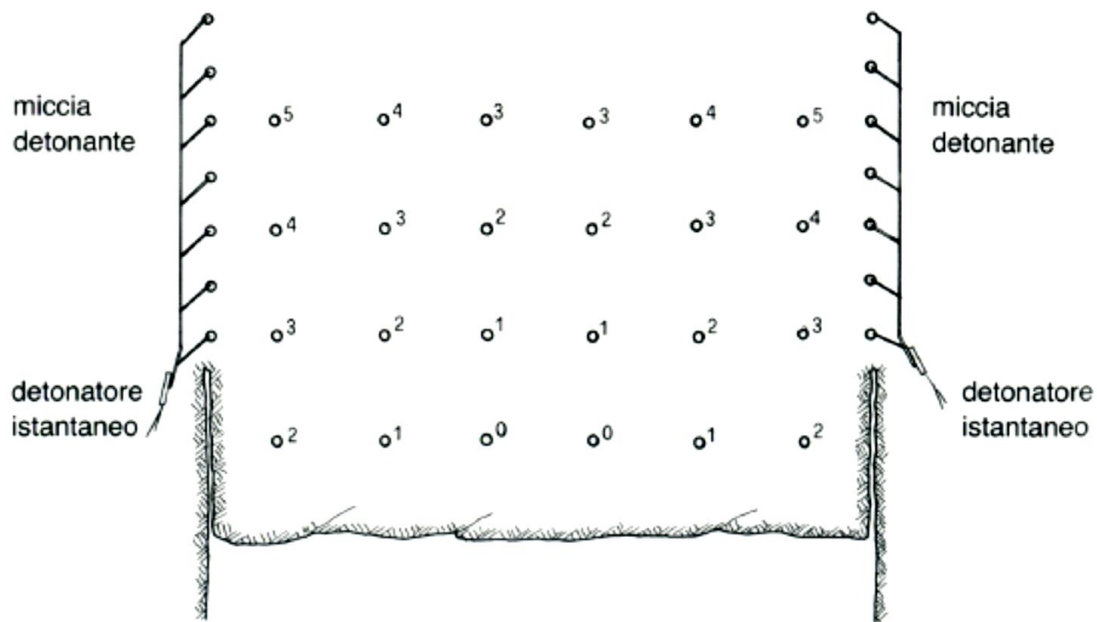


Figura 28 - Schema di una volata di sbancamento con Presplitting. Le mine di taglio sono innescate sempre simultaneamente e in anticipo rispetto alle mine di produzione (Berta 1985)

Quando si devono effettuare tagli lungo superfici allineate (Figura 28), è opportuno combinare il Presplitting con il line drilling. Ad esempio nei casi in cui si debbono eseguire tagli agli angoli, il caricamento di tutti i fori, potrebbe portare lesioni improvvise e non desiderate nella roccia che deve restare in posto.

A questo inconveniente si può rimediare con una serie di fori non caricati che fungono da guida al taglio senza originare sollecitazioni incontrollabili. Lo stesso può accadere anche in tagli ortogonali ad una

superficie libera. Il Presplitting è una tecnica dove i fori, solitamente verticali danno maggiori garanzie di rispetto del parallelismo.

Al contrario in sotterraneo, dove normalmente la perforazione è orizzontale, il Presplitting non si può attuare perché lo spostamento della roccia è ostacolato dalla presenza di diedri negativi.

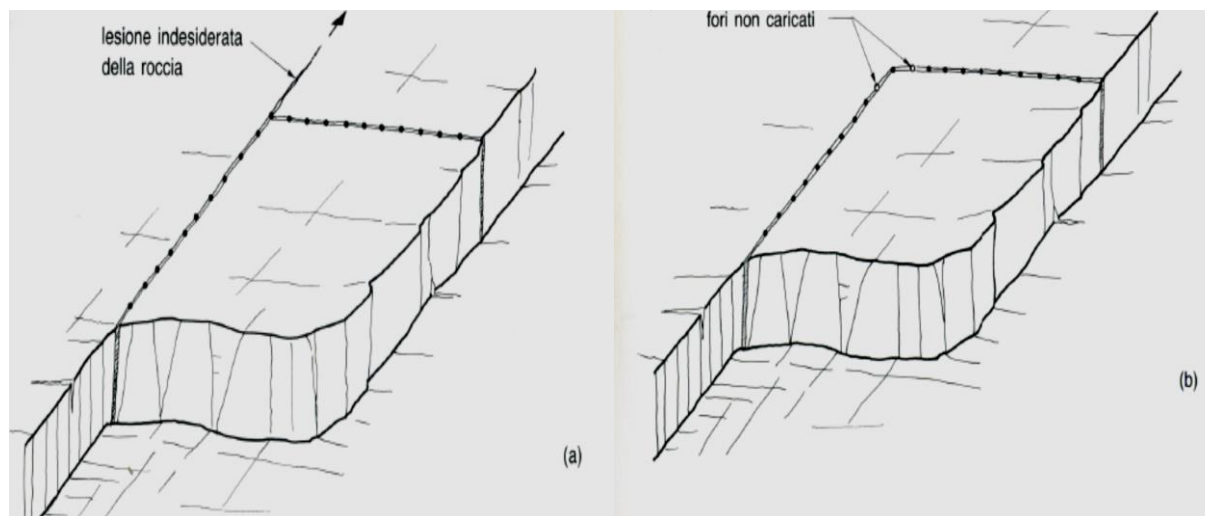


Figura 29 - Lesioni della roccia al di fuori dei limiti di progetto(a), evitabili con l'esecuzione di fori guida non caricati(b) (Berta 1985)

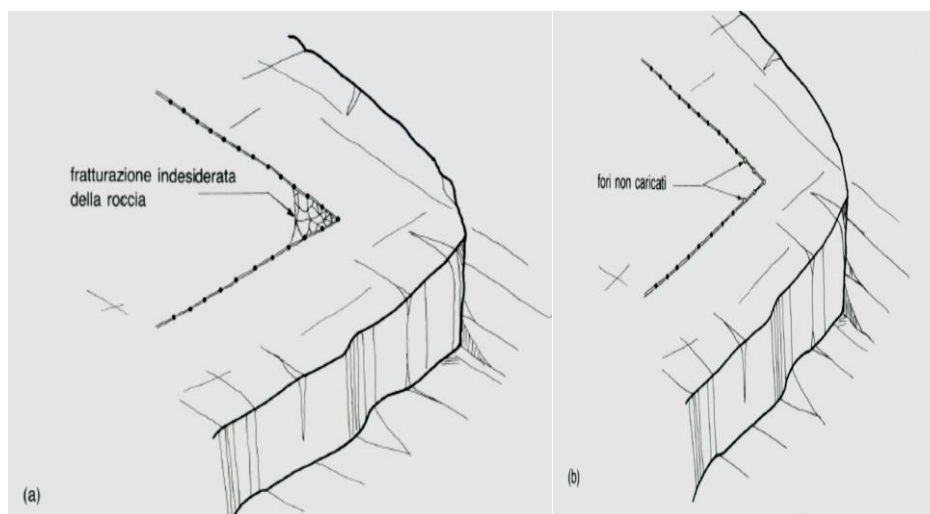


Figura 30 - Fratturazioni indesiderate della roccia nelle zone d'angolo(a) sono evitabili non caricando i fori(b) (Berta 1985))

Per valutare il piano di brillamento si possono utilizzare le equazioni riportate di seguito. Per determinare il carico di polvere che non danneggerà la parete, ma produrrà una pressione sufficiente a determinare la frattura, il carico di polvere può essere approssimato da:

$$d_{ec} = \frac{D_h^2}{28}$$

dove:

d_{ec} rappresenta il carico esplosivo

D_h rappresenta il diametro dei fori vuoti

Utilizzando questo carico di polvere, la spaziatura tra i fori può essere calcolata con questa equazione

$$S = 10 * D_h$$

dove:

S rappresenta la spaziatura

D_h rappresenta il diametro dei fori vuoti

La costante 10 è molto conservativa, è utilizzata per garantire che la distanza di Pre-splitting non risulti elevata e quindi la corretta riuscita della tecnica. L'esperienza in campo indica che questo valore spesso viene aumentato fino a 14. Nella maggior parte delle applicazioni non è prevista la perforazione sotto il livello. Una carica concentrata equivalente a 2 o 3 volte d_{ec} , viene posta nel fondo del foro. La volata dovrebbe essere sparata simultaneamente con un breve ritardo tra i fori. Nonostante siano stati ottenuti risultati accettabili, si sconsiglia di ritardare l'effetto di oltre 50 millisecondi tra i fori. Lo sparo ha lo scopo di causare una frattura e viaggiare verso la superficie del terreno. Le punte da trapano si potranno utilizzare come precauzioni in quanto hanno lo scopo di confinare i gas e ridurre il rumore. In genere i fori sono collocati nella parte superiore; maggiore è il diametro del foro, maggiore sarà il rischio di derivazione. (U.S. Department of Transportation Federal Highway 1991)

Vi sono differenti opinioni su come arginare tra le cariche nel foro. Si può affermare che se la massa di roccia da abbattere ha molte partizioni di bassa coesione e cuciture di fango, potrebbe essere saggio da arginare tra le cariche. La discontinuità tra le cariche non è necessaria, in particolare per quei materiali

che hanno una forza di schiacciamento bassa, come scisti deboli. Lasciare un vuoto d'aria attorno alle cariche è molto utile. Non derivando le cariche si ha così a disposizione un volume maggiore per il gas esplosivo abbassando rapidamente la pressione del gas. Vi sono diversi tipi di esplosivi in uso per il Presplitting; bobine di polietilene, questi tubi contengono liquami esplosivi; sottili cartucce di dinamite, accoppiate e inserite nel foro per formare una carica continua. La scelta di quale tipo di carica utilizzare dipende dall'operatore e da ciò che è disponibile nella sua area. Ciò che è ritenuto importante è che la carica sia meno della metà del diametro della mina.

3.2.1 *Caratteristiche dei parametri influenti nel dimensionamento di una volata*

I parametri che influiscono sull'efficacia di una volata e che determinano la prevalenza dell'azione di frantumazione su quella di taglio sono sicuramente di tipo geometrico ma anche di tipo chimico-fisico. Evidentemente la disposizione e le caratteristiche dei fori da mina giocano un ruolo fondamentale nell'ambito della progettazione di una volata. La scelta della tipologia più idonea di esplosivo e la definizione del corretto rapporto fra la quantità di carica da impiegare e volume di roccia da abbattere garantisce la riuscita della volata.

3.2.2 *Caratteristiche geometriche Presplitting*

In assenza dei dati definitivi sulle dinamiche del Presplitting è consigliabile affidarsi a formule pratiche piuttosto che teoriche. Nella seguente tabella vengono riportati i valori di diametro del foro, densità di carica e spaziatura Du Pont.

Diametro del foro Φ_f [mm]	Densità di carica q_c [kg/m]	Spaziatura S [m]
38-44	0.12-0.38	0.30-0.45
51-64	0.12-0.38	0.45-0.60
76-89	0.20-0.75	0.45-0.90
102	0.38-1.12	0.60-1.20

Tabella 4 Parametri operativi di Presplitting Du Pont (Berta 1985)

Negli Stati Uniti le cariche e le distanze fra i fori sono calcolate mediante formule empiriche:

$$S \leq 10 * \Phi_f \quad [1]$$

$$q_c = 0.15 * s^2 \left[\frac{kg}{m} \right] \quad [2]$$

dove la spaziatura che il diametro del foro sono espresse con la stessa unità di misura. La [1] rispetta la tabella proposta da Du Pont. Applicando la formula [2] ai valori di spaziatura della precedente tabella, è possibile comparare i valori della densità di carica suggeriti da Du Pont con quelli calcolati mediante la formula empirica americana [2].

S[m]	Du Pont q _c	Formula U:S:A q _c
0.30-0.45	0.12-0.38	0.07-0.17
0.45-0.60	0.12-0.38	0.17-0.29
0.45-0.90	0.20-0.75	0.17-0.66
0.60-1.20	0.38-1.12	0.29-1.17

Tabella 5 Confronto valori densità di carica

Nella seguente tabella vengono mostrati altre caratteristiche del presplitting.

Hole diameter		Charge	Pipe charge		Hole spacing	Specific drilling	Cracked zone
mm	in	kg/m dyn.	ø mm	length mm	m	dm ³ /m ²	m
32	1 1/4	0.13	22	380	0.45-0.7	2.22-1.43	0.4
32	1 1/4	0.21	25	1140	0.45-0.7	2.22-1.43	0.4
38	1 1/2	0.21	22	380	0.45-0.7	2.22-1.43	0.4
38	1 1/2	0.21	25	1140	0.45-0.7	2.22-1.43	0.4
51	2	0.38	32	1000	0.5-0.8	2.00-1.25	0.5
51	2	0.47	32	380	0.5-0.8	2.00-1.25	0.5
64	2 1/2	0.38	32	1000	0.5-0.7	2.00-1.43	0.5
64	2 1/2	0.47	32	380	0.5-0.7	2.00-1.43	0.5
64	2 1/2	0.55	25	1000"	0.7-0.9	1.43-1.11	0.9
76	3	0.55	25	1000"	0.7-0.9	1.43-1.11	0.9
76	3	0.71	40	380	0.6-0.9	1.67-1.11	1.1
89	3 1/2	0.90	32	1000"	0.7-1.0	1.43-1.00	1.7
89	3 1/2	1.32	50	380	0.8-1.1	1.25-0.91	1.9
102	4	0.90	32	1000"	0.7-1.0	1.43-1.00	1.7
102	4	1.32	50	380	0.8-1.1	1.25-0.91	1.9

Tabella 6 - Drilling and charging plans for presplit blasting (Matti 1999)

3.2.3 *Dimensione e spaziatura della maglia di perforazione*

I fori da mina infatti presenteranno un diametro e una spaziatura variabili in funzione delle caratteristiche dell'ammasso roccioso e della disposizione del fronte roccia.

La perforazione viene effettuata in cantiere con perforatrici idrauliche o pneumatiche. All'aumentare della profondità di perforazione è necessario utilizzare perforatrici di dimensioni via via crescenti che risultano più performanti anche per profondità di perforazione elevate. In ragione della profondità dei fori da mina si può spaziare da diametri di 50 mm per fori di pochi metri a diametri di 160 mm per fori di alcune decine di metri.

3.2.4 *Scelta della tipologia di esplosivo*

Rocce tenere (marne, calcari, dolomie non metamorfosate) possono essere fratturate anche con velocità di detonazione ridotte comprese fra 2000 e 3000 m/s. Rocce dure (calcari metamorfosati, graniti, porfidi) richiedono velocità di detonazione maggiori per ottenere i medesimi risultati di fratturazione per cui è necessaria una velocità di detonazione maggiore compresa fra 4000 e 5000 m/s.

3.2.5 *Confezionamento dell'esplosivo*

Sui cantieri l'esplosivo viene fornito in confezioni, cartucce, in diametri compresi mediamente fra 25 e 90 mm pertanto è importante scegliere il confezionamento ottimale in ragione del diametro del foro e del tipo di lavorazione da eseguire. Negli abbattimenti di produzione si desidera un accoppiamento fra carica e foro pari a circa il 100%. Nei lavori di taglio, al fine di favorire si opera utilizzando un disaccoppiamento fra il diametro del foro ed il diametro dell'esplosivo.

3.2.6 *Presenza d'acqua*

Nel caso in cui si utilizzino sostanze che risentono della presenza di umidità o di acqua è importante che il confezionamento sia realizzato con materiali impermeabili o pellicole impermeabili. In presenza di acqua è ragionevole scegliere un esplosivo che non soffra l'umidità, come le miscele gelatinose (dinamiti), gli slurry e le emulsioni, ed in sotterraneo che sia anche a bilancio di ossigeno positivo.



Figura 31 - Taglio di bancata con miccia detonante (Sogeca 2013)



Figura 32- Riempimento dei fori con acqua (Sogeca 2013)

Capitolo 4 IL CASO STUDIO ESAMINATO: LA CAVA DI SABBIO CHIESE (BS)

4.1 Inquadramento territoriale e geomorfologico

L'ambito territoriale estrattivo oggetto del presente lavoro è localizzato nel territorio di Sabbio Chiese, un piccolo comune in provincia di Brescia con una superficie di circa 18 km². La Fig.35 mostra l'ubicazione dell'abitato in relazione ai comuni vicini, fornendo una visione d'insieme.

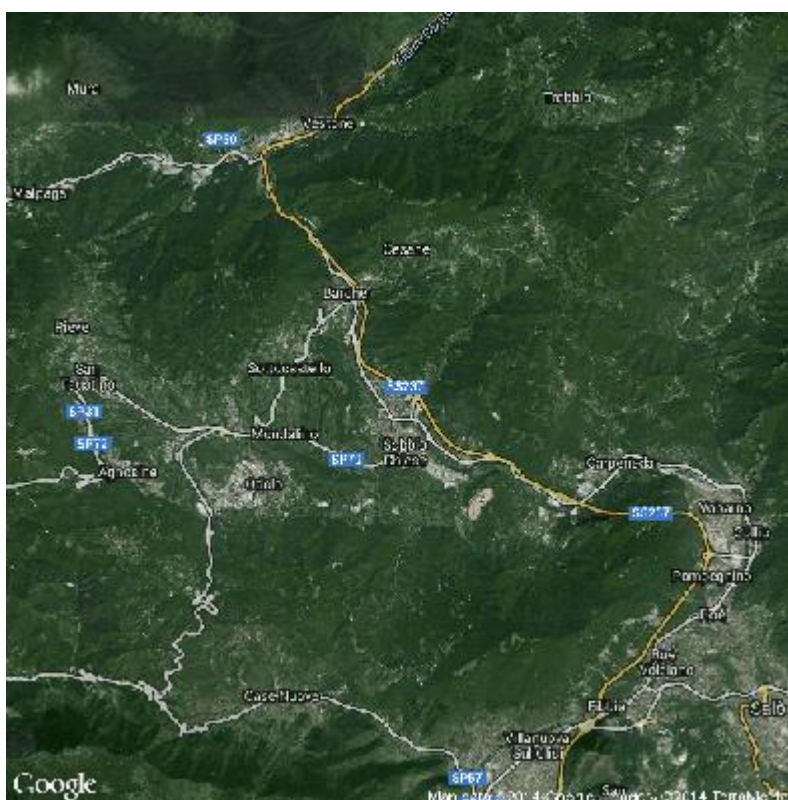


Figura 33 Inquadramento generale dell'area esaminata

L'ambito territoriale estrattivo fa parte della località Monte Castro-Fontanelle. L'area sulla quale insiste il progetto è ubicata in zona collinare a mezza costa, facilmente accessibile dalla strada di fondovalle che si diparte dalla S.S. 45 bis prima dell'abitato di Sabbio Chiese, attraversando il fiume Chiese e portandosi in destra orografica. Morfologicamente la cava è a mezza costa (da quota 390 ciglio superiore delle

coltivazioni precedenti, a quota 348 s.l.m., piazzale posto a fossa) in una zona che è ubicata verso il limite nord-est del bacino marmifero “Botticino”, il secondo in Italia sia per produzione che per numero di cave. Le quote di riferimento dell’Ambito lo pongono tra i m 290 s.l.m. e il massimo di m387 s.l.m. (ECOMIN s.r.l 2013).

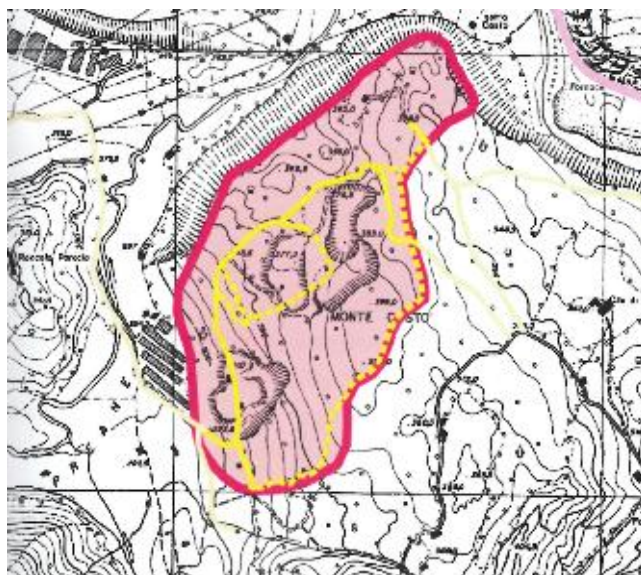


Figura 34 Corografia Sabbio Chiese (BS) scala 1:10.000 (ECOMIN s.r.l 2013)

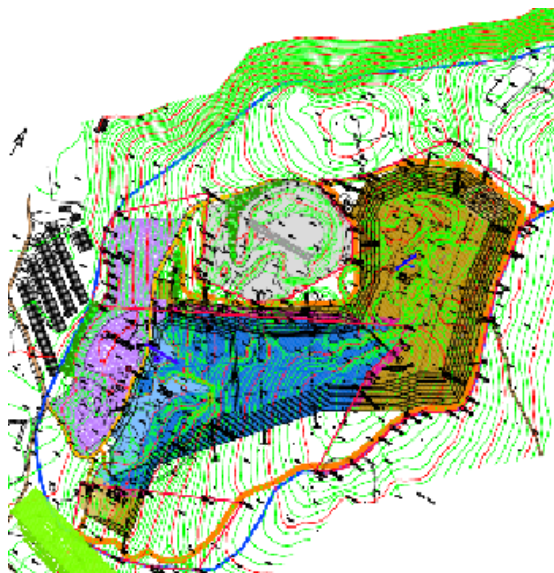


Figura 35 Immagine cartografica Sabbio Chiese (BS) (ECOMIN s.r.l 2013)

4.2 Inquadramento geologico

Il territorio esaminato è interessato da un'intensa attività estrattiva, che nel corso degli anni ha progressivamente modificato le forme del rilievo creando aree denudate ed aree ricoperte da cumuli di materiale detritico a carattere sia provvisorio che definitivo. La formazione carbonatica in affioramento sul Monte Casto (CORNA) è interessata da fenomeni di carsismo a scala da microscopica a mesoscopica sono a strutture di più grandi dimensioni (doline). Ci si riferisce alla pietrosità affiorante, all'assenza di una rete idrografica superficiale e, soprattutto, alle numerose strutture carsiche sia attive che non, relegate in particolare nelle zone a più alta quota dell'ambito estrattivo. Queste doline hanno profondità molto variabili mentre la loro distribuzione non lascia intravedere nessun tipo di condizionamento strutturale. Fenomeni carsici minori si sono impostati lungo i principali punti di debolezza, più fragili e quindi facilmente attaccabili dalla dissoluzione chimica; successivamente le varie cavità sono state riempite ed intasate d'argilla, tipico prodotto residuale del processo carsico, che il più delle volte determina la definitiva fossilizzazione del sistema di cavità superficiali. (ECOMIN s.r.l 2013)

4.2.1 Situazione geologica locale

Il rilievo del Monte Castro è interamente costituito dalla formazione calcarea della CORNA, caratterizzata da un aspetto particolarmente compatto, modellato in superficie dall'erosione degli agenti morfogenetici esogeni: essa è costituita da calcari, subordinatamente da dolomie, disposti in grossi banchi, ma talvolta anche a stratificazione indistinta. I calcari sono in genere compatti, di colore da bianco avorio a giallo paglierino, sino alle qualità variegata e striate, mentre in sezione sottile mostrano tessiture clastiche, cristalline e diagenetiche. Le tessiture caratteristiche sono l'oolitica e la pseudopolitica derivante dalla cementazione di singole particelle con genesi da precipitazione chimica; tipici sono anche i fenomeni di rinsaldamento diagenetico delle singole unità di sedimentazione ben rilevabili sulla superficie inalterata delle rocce. Nell'area in esame tale formazione si presenta in facies brecciata come un vero e proprio conglomerato calcareo dolomitico policromo formato dalla ricementazione irregolare e caotica di frammenti interclusi variamente colorati entro una pasta di fondo micritica di colore chiaro. La presenza delle interclasti di classe granulometrica e dimensione molto ampia (sino ad oltre 10-15 cm

di lato) è una nota costante della facies “*breccia variegata*” così come la policromia che si manifesta con colorazione assortita dei vari clasti, dal rosa al rosso intenso e dal violaceo sino al blu molto scuro.

La pasta di fondo è generalmente chiara ed uniforme mentre gli intraclasti di colore variegato si trovano riuniti ed addensati in modo variabile. In considerazione della composizione litosedimentologica e delle tessiture rilevabile nonché del suo contenuto faunistico, la CORNA locale deve ritenersi una formazione di margine di piattaforma carbonatica, assoggettata nelle fasi distintive a smembramenti e collassi delle porzioni più esterne, dando luogo a fenomeni cosiddetti di frana sottomarina o slumping. Tali fenomeni hanno permesso la deposizione di breccie e megabreccie carbonatiche in bacini deposizionali più profondi determinando contatti stratigrafici caratterizzati da *jatus temporali*. La presenza di depressioni ed avvallamenti di origine carsica hanno favorito l’accumulo di sedimenti fini limoso-argilloso in coltri di 2-3 m. Ai piedi del rilievo del monte Castro, praticamente a livello del fondovalle del torrente Preane, si riversano lembi di alluvioni fluvioglaciali e fluviali (ECOMIN s.r.l 2013).

4.2.2 *Idrogeologia*

Da un punto di vista idrogeologico, il territorio indicato si suddivide in un’area prevalente a circolazione sotterranea per fratturazione e carsismo, coincidente con il rilievo roccioso calcareo, ed un’area decisamente più limitata a circolazione ipogea per porosità, corrispondente ai depositi fluviali e fluvioglaciali di fondovalle ed a quelli eolici che ricoprono limitate aree sub-pianeggianti del rilievo. Il flusso idrico interno dell’ammasso roccioso è condizionato dal locale assetto geostrutturale e, soprattutto, dalla presenza in superficie di doline attive ed inghiottitoi in grado di convogliare in profondità le acque di ruscellamento superficiale attraverso i condotti carsici e delle cavità sotterranee a prevalente sviluppo subverticale. È facile immaginare che i bacini idrogeologici siano ben più estesi di quelli idrografici superficiali ed in grado quindi d’immagazzinare anche quantità d’acqua considerevole nonostante il parziale intasamento delle discontinuità e delle cavità superficiali ad opera dei depositi eluvio-colluviali e dell’argilla residuale. Le acque di origine carsica si versano direttamente nei depositi alluvionali di pianura attraverso le sorgenti al piede del rilievo le cui portate dipendono dall’alimentazione di monte e quindi dall’estensione del bacino idrogeologico. Complessivamente di minore entità l’apporto proveniente dalla superficie e la natura carsica del substrato roccioso hanno inibito lo sviluppo di

un'idrografia superficiale complessa. Infatti, all'interno del territorio in esame il reticolo idrografico è praticamente assente, o al più ridotto a singole vallecicole o impluvi appena accennati e senza un andamento ben definito; inoltre, essendo di tipo effimero, è normalmente asciutto attivandosi soltanto in occasione delle precipitazioni più intense. Il rilievo del Monte Castro, caratterizzato da versanti esposti verso i quadranti occidentale, settentrionale ed orientale piuttosto ripidi, evidenzia soltanto una traccia di reticolo idrografico di tipo anulare. L'unico elemento idrografico degno di questo nome è il torrente Preane sviluppatosi lungo il fondovalle costeggiando la base del rilievo del Monte Castro prima di confluire nel fiume Chiese. (ECOMIN s.r.l 2013)

4.2.3 Caratteristiche vegetazionali dell'ambito

Si assiste ad una considerevole semplificazione della fitogenesi originaria per l'effetto destabilizzante indotto dall'attività estrattiva. Particolarmente netta risulta la demarcazione tra la situazione vegetazionale presente a S e a NNE dell'ambito estrattivo rispetto a quella che caratterizza i rimanenti pendii a margine. Nel primo caso è rilevabile una tipica struttura biplana della vegetazione, correlabile alla presenza di soggetti arborei maturi e di buono sviluppo. La struttura biplana è stata raggiunta nelle zone di margine dove la vegetazione di tipo arbustivo ed arborescente è andata nel tempo ad inserirsi nel contesto del bosco ceduo coetaneo. Il ceduo citato è monospecifico, di densità ordinaria e costituito da Castagno (*Castanea sativa*), gestito da turni di pretaglio ventennali. (ECOMIN s.r.l 2013)

Capitolo 5 ANALISI SPERIMENTALE SVOLTA

5.1 Piano di coltivazione e Tecnica di scavo utilizzata

La coltivazione dell'Ambito Territoriale Estrattivo, nelle aree confinanti tra le diverse realtà, viene concordato con le Ditte esercenti, al fine di creare interventi omogenei e non interferire nelle diverse attività. Il metodo di scavo utilizzato è la tecnica di "coltivazione a fronte gradonato". Sostanzialmente il giacimento viene coltivato per fette orizzontali discendenti con configurazione della fronte a gradino. Il metodo è tipico delle coltivazioni a cielo aperto ed è impiegato nella coltivazione di giacimenti con lo scopo di minimizzare i rischi di cadute di massi e blocchi. I fenomeni di dilavamento sono più facilmente controllabili, perché il gradone dissipa l'energia delle correnti. Vengono illustrati in sezione i parametri medi caratteristici di un gradino: altezza, larghezza ed inclinazione, e quindi l'inclinazione media del fronte di scavo.

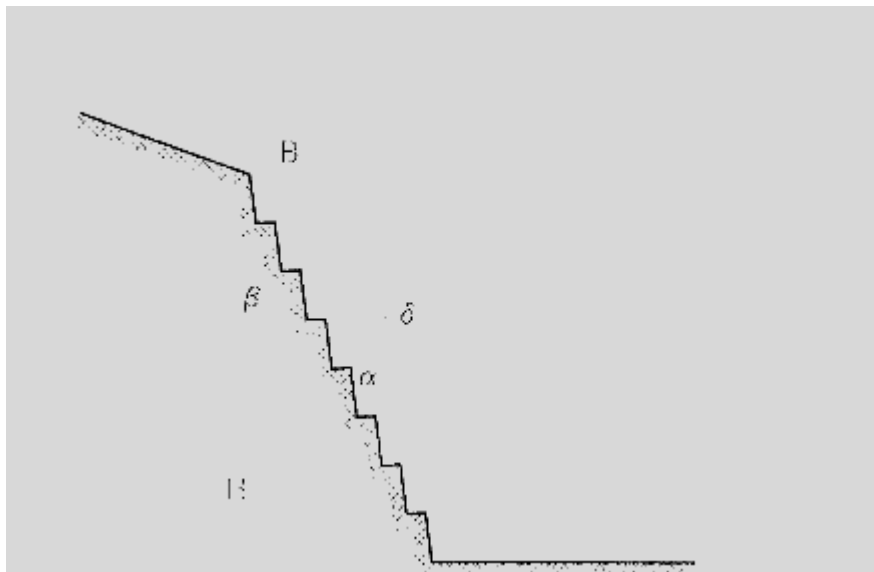


Figura 36 Sezione tipo gradonatura (ECOMIN s.r.l 2013)

dove:

- H =altezza singolo gradone;
- B = larghezza singolo gradone(Berma);

- β = inclinazione singolo gradone;
- α = inclinazione totale del fronte;
- δ = inclinazione della berma.

Nel caso in esame si ha:

H	10 m
B	4 m
β	78÷90
α	55÷63
δ	0÷10

Tabella 7 Dati gradone

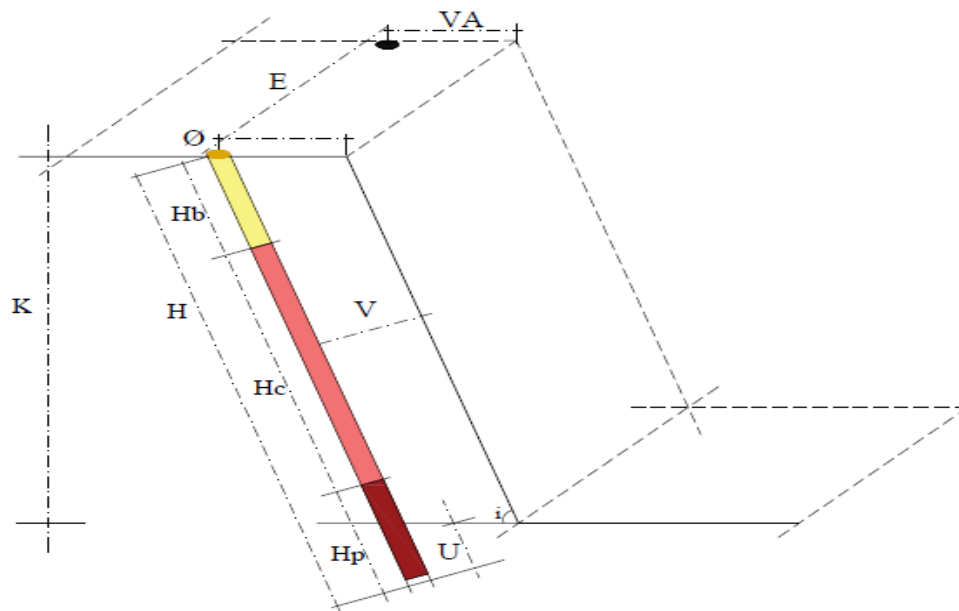


Figura 37 Vista sezione del fronte Sabbio Chiese (BS) (Fassa Bortolo 2017)

Si riportano nella seguente tabella di dati sulla volata di Presplitting

Φ_f	Diametro del foro	89 mm
H	Lunghezza del foro	8.5 m
K	Altezza del gradone	10 m
E	Interasse tra i fori	1 m

Tabella 8 Dati geometrici volata Presplitting

1	Carica di fondo	N ° 1 cartuccia RIODIN HE $\Phi = 50$ mm 0.926 Kg
2	Miccia detonante	Miccia detonante SIPECORD 100 g/m
3	Miccia detonante	Miccia detonante SIPECORD 15 g/m
4	Innesco	Detonatore comune /Nonel Rionel DDX

Tabella 9 Dati volata di Presplitting

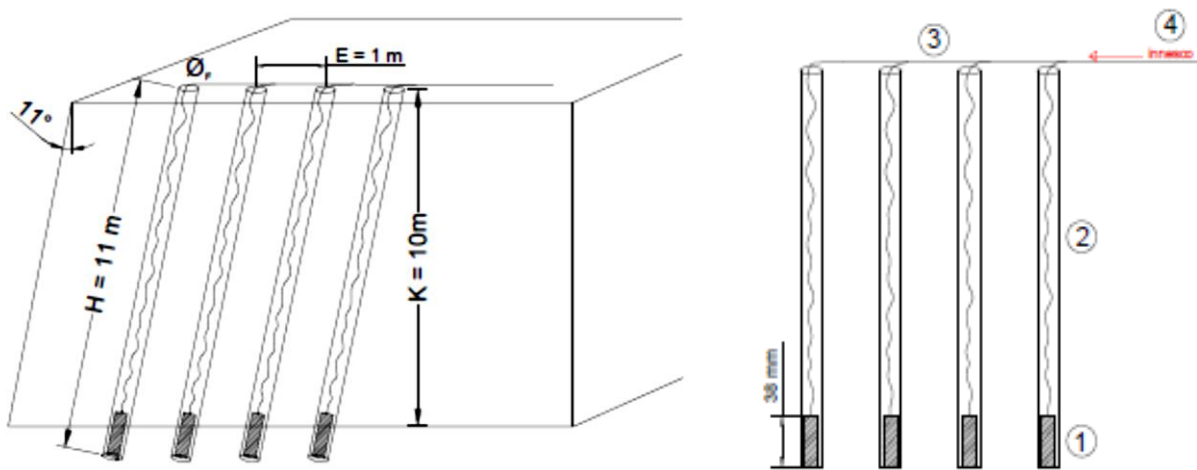


Figura 38 Dimensionamento della volata di Presplitting

La larghezza delle pedate, in fase di coltivazione, dipende dalle dimensioni delle macchine impiegate, mentre in fase di abbandono viene rilasciata a 4 m. La sistemazione del fronte alto di cava proseguirà contestualmente al ribasso dei piazzali esistenti, per procedere man mano fino alle zone a quota inferiore, modificando così l'attuale fronte di difficile recupero ambientale. Tale intervento relativo alla zona più settentrionale verrà effettuato al fine di ridurre l'altezza del fronte unico esistente

5.1.1 Volata sperimentale

Per la coltivazione del giacimento finalizzata alla produzione di granulati di marmo e agglomerati di marmo per l'industria, si adottano volate di mina.

			DIMENSIONAMENTO DELLA VOLATA DI PRESPLITTING	Cava Sabbio Chiesa
K	altezza del gradone (verticale)	10	m	
i	inclinazione del foro sull'orizzontale	89	°	
Ø	diametro del foro	89	mm	
H	lunghezza del foro	8,5	m	
V	spalla d'abbattimento pratica	3	m	
VA	spalla d'abbattimento apparente (su piano orizzontale)	3,00	m	
E/V	rapporto interasse/spalla	0,3		
E	interasse tra i fori	0,9	m	
U	sottoperforazione	0,5	m	
	volume d'influenza del foro (KxVxE)	21,6	m ³	
Ec	esplosivo in colonna			
	lunghezza media delle cartucce L	600	mm	
	diametro medio delle cartucce Ø	50	mm	
	peso medio cartuccia (tipo emulsione Premex)	1,388	kg	
	numero cartucce in colonna	2,5		
Ep	esplosivo al piede			
	lunghezza media delle cartucce L	0	mm	
	diametro medio delle cartucce Ø	0	mm	
	peso medio cartuccia (tipo emulsione Premex)	0	kg	
	numero cartucce al piede	0		
E ntot	numero cartucce complessivo	2,5		
H b	lunghezza borrhaggio / Foro scarico	7	m	
H c	lunghezza carica in colonna	1,5	m	
H p	lunghezza carica al piede	0	m	
QE c	quantità di esplosivo in colonna	3,47	kg	
QE p	quantità di esplosivo al piede	0	kg	

QE	quantità di esplosivo in foro	3,47	kg
QEsp	consumo specifico esplosivo	0,161	kg/m ³ in banco

Tabella 10 Dimensionamento volata sperimentale di Presplitting

Per quanto riguarda la profilatura dei gradoni è stata utilizzata la tecnica del Presplitting. Questa modalità di taglio prevede un allineamento di fori paralleli, molto ravvicinati, lungo il contorno dello scavo, carichi con miccia detonante ad elevata grammatura (100 g/m), una cartuccia di esplosivo al piede ed innescamento istantaneo delle mine secondo lo schema tradizionale utilizzato. Nella volata sperimentale si è deciso di operare in maniera differente, utilizzando una miccia detonante da 15 g/m anziché da 100 g/m, una cartuccia al piede e altre sei cartucce più piccole. I dati verranno riportati in seguito.

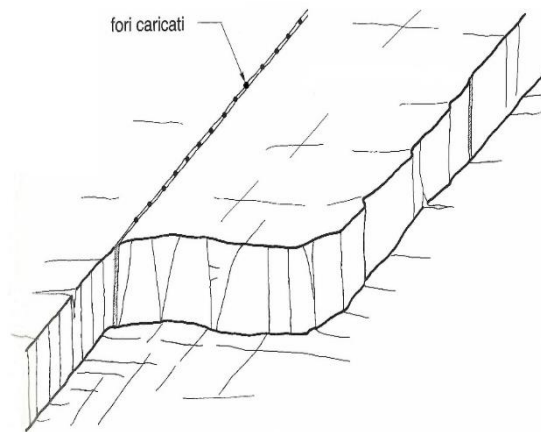


Figura 39 - Schema di Presplitting (Berta 1985)



Figura 40 - Profilo iniziale della cava di Sabbio Chiese prima della volata sperimentale



Figura 41 - Profilo iniziale della cava di Sabbio Chiese prima della volata sperimentale

5.1.2 Tipo di perforatrice utilizzata

La perforazione da mina consiste in un particolare sistema di scavo meccanico in roccia su sezione molto piccola; come tutti i sistemi di scavo deve disgregare un certo volume di roccia ed allontanare il detrito dal microfronte. Esistono perforatrici che si basano su diverse tecniche di perforazione quali:

- Perforazione a rotopercussione (percussione e rotazione continue);
- Perforazione a rotopercussione a fondo foro DHT(Down-The-Hole);
- Perforazione a rotazione.

La macchina utilizzata nella cava in esame è la Tamrock ranger rock Pilot 800. Il ranger 800 è un idraulico, semovente, con una piattaforma di superficie a base di cingoli dotato di una cabina e sistema di movimentazione aste. Fori verticale, inclinato od orizzontale, esegue fori con un diametro di 64-127 mm utilizzando prolunghe di aste da 38 a 51 mm. Il ranger 800 è equipaggiato con HL 800 T, piano idraulico, martello perforatore. Con una coppia di rotazione elevata, foratura ergonomica sofisticata si adatta bene anche in condizioni di roccia molto fratturata. Questa macchina è costituita da un Caterpillar con motore a diesel e un cambio, che divide la potenza per le pompe idrauliche e il compressore d'aria. Il powerpack è montato trasversalmente nella parte posteriore della sovrastruttura per mantenere il contrappeso sul lato opposto del braccio e l'alimentazione indipendentemente dalla direzione di perforazione. Presenta una cabina per aumentare la sicurezza e la visibilità dell'operatore.; viene certificata per R.O.P. S (struttura di protezione antiribaltamento) e F.O.P.S (Protezione da oggetti in caduta). Le finestre sono laminate per garantire una maggiore sicurezza, il livello di rumore è inferiore agli 80 dB. Inoltre è dotata di filtri per l'aria fresca in entrata per mantenere i livelli di polvere al minimo. Altre caratteristiche che garantiscono un buon ambiente operativo sono: sedile regolabile, buona visibilità, illuminazione adeguata e ottima temperatura di lavoro. Le funzioni di perforazione sono controllate o proporzionalmente da un telecomando idraulico: Alcune funzioni come l'antijamminig vengono eseguite automaticamente, è dotato di un numero ridotto di leva per garantire una certa facilità di utilizzo. Le tipiche applicazioni del Ranger 800 sono il taglio su strada, perforazioni di tubi e perforazioni di fondazioni, nonché nella perforazione di produzione di cave di medie dimensioni come nel nostro caso.

Caratteristiche	
Tiro di trapano da roccia	HL 800 T
Diametro della barra di trivellazione	38-51 mm
Pressione di esercizio	100-200 bar
Velocità di percussione	55 Hz
Potenza di percussione in uscita	21 kW
Massima rotazione della coppia	1355 Nm
Altezza	3.6 /3.2 m
Larghezza	2.45 m
Peso	245 Kg

Tabella 11 Caratteristiche perforatrice Tamrock Ranger Rock Pilot 800 (Sandvik Tamrock Corp. Tampere Plant 2005)



Figura 42 Immagine della perforatrice Tamrock Ranger 800

5.1.3 *Dati volata sperimentale*

Per l'analisi sperimentale ci si è ispirati a test sperimentali condotti a San Paolo in Brasile. In quel caso era stata impiegata la tecnica dello Smooth Blasting con differenti configurazioni di cariche non coassiali e diverse geometrie di perforazione secondo due modalità:

- -carica lineare costante lungo i fori, facendo variare la spaziatura tra i fori di contorno;
- -spaziatura costante tra i fori del contorno, facendo variare la carica lineare lungo i fori.

Nel caso in esame, sono stati realizzati 32 fori, di cui i primi 16 seguendo il caricamento tradizionale utilizzato dalla Fassa Bortolo, cioè una cartuccia al fondo da 50 mm e miccia detonante da 100 g/m; i restanti 16 fori sono stati caricati seguendo la prima modalità di caricamento sperimentata nella cava di San Paolo in Brasile di cui abbiamo precedentemente parlato. Sia le cartucce che la miccia detonante sono confezionate dalla ditta Pravisani s.p.a Maxam.

- Il Riodin è un 'esplosivo a base di nitrogliceroglicole esente da composti quali dinitro e trinitrotoluene, grazie all'elevata densità e dirompenza è adatto per lavori di abbattimento e coltivazione di rocce molto dure inoltre è idoneo ad essere utilizzato come carica di innesco per altri esplosivi meno sensibili. Viene progettato in modo da minimizzare i fumi tossici così da ridurre i tempi di sfumo. È confezionato in cartucce di carta paraffina (per i diametri compresi fra i 25 e i 50 mm) e da film di polietilene (per diametri superiori ai 50 mm). Le cartucce sono contenute in casse di cartone omologate per il trasporto di esplosivo.

Densità	1.45 g/cm ³
Energia	4.1 MJ/kg
Velocità di detonazione	6000 m/s
Volume di gas	895 l/kg

Tabella 12 Caratteristiche tecniche cartucce Riodin (Pravisani s.p.a Maxam 2017)

Sensibilità alla miccia detonante	12 g /m di pentrite
Sensibilità al detonatore	8 scala Sellier -Bellot
Resistenza all'acqua	ottima
Massima pressione idrostatica	0.30 MPa
Temperatura di utilizzo	-10 , +60 ° C
Impiego in sotterraneo	si
Impiegabilità con polveri infiammabili	no
Temperatura di stoccaggio	-10, +30 °C
Periodo di utilizzabilità	18 mesi

Tabella 13 Condizioni e limiti d'impiego cartucce Riodin (Pravisani s.p.a Maxam 2017)

Diametro cartuccia [mm]	Lunghezza cartuccia [mm]	N° cartucce per cassa	Peso cartuccia[kg]	Peso netto di esplosivo per cassa [kg]	Imballo cartuccia
26	200	165	0.152	25	Carta paraffinata
32	200	105	0.238	25	Carta paraffinata
40	400	35	0.714	25	Carta paraffinata
50	380	24	1.042	25	Carta paraffinata
60	570	10	2.300	23	Film in plastica
70	545	8	3.000	24	Film in plastica
80	560	6	4.000	24	Film in plastica

90	570	5	5.000	25	Film in plastica
----	-----	---	-------	----	------------------

Tabella 14 Confezioni cartucce Riordin (Pravisani s.p.a Maxam 2017)

- La miccia detonante Riocord è costituita da un cordone flessibile di materiale plastico con un'anima di esplosivo(pentrite), ricoperto da una guaina che ne conferisce flessibilità, resistenza a trazione, ai tagli, all'abrasione e impermeabilità ad acqua ed olio, sia alle basse che alle alte temperature. Viene utilizzata per l'innescamento delle cariche esplosive ad essa collegate, per il taglio di pietre ornamentali e per la profilatura delle pareti rocciose. Inoltre il suo innesco avviene mediante detonatore n° 8 (elettrico, ad onda d'urto, a fuoco) o con un altro spezzone di miccia collegato con un nastro adesivo.

Prodotto	Contenuto di Petn [g/m]	Velocità di detonazione [m/s]	Diametro esterno [mm]	Colore rivestimento
Riocord PV 6	6	6800	3.6± 0.3 mm-	Fucsia
Riocord PV 10	10	7000	4.0± 0.3 mm	Rosso
Riocord PV 12	12	7000	4.4± 0.3 mm	Blu
Riocord 15	15	7000	4.7± 0.3 mm	Verde
Riocord PV 20	20	7000	5.8± 0.5 mm	Bianco
Riocord PV 40	40	7000	7.7± 0.5 mm	Verde
Riocord PV 80	80	6500	10.4± 0.5 mm	Giallo
Riocord PV 100	100	6500	11.2± 0.5 mm	Rosso

Tabella 15 Dati tecnici e limiti d'impiego della miccia detonante Riocord (Pravisani s.p.a Maxam 2017)

16 fori	Volata Fassa Bortolo	Volata Sperimentale
16 fori	-1 cartuccia al fondo da 50 mm Riodin - 136 m miccia detonante da 100g/m Riocord	- 1 cartuccia al fondo da 50 mm Riodin - 6cartucce da 26 mm Riodin - 136 m miccia detonante da 15g/m Riocord

Tabella 16 Dati confronto volata Fassa Bortolo- volata sperimentale

Rispetto ai test sperimentali di San Paolo, dove era stato effettuato un borraggio con acqua, nella volata sperimentale di Sabbio Chiese è stato utilizzato come borraggio lo stabilizzato [0-18 mm] di granulometria-.



Figura 43 Stabilizzato utilizzato come borraggio [0-18mm]



Figura 44 Caricamento fori volata sperimentale



Figura 45 Volata di Presplitting con tecnica tradizionale Fassa



Figura 46 Volata sperimentale di Presplitting

5.1.4 Confronto fra le due volate

Dal confronto visivo delle due volate, come mostrato nelle figure in basso, si evince un miglioramento considerevole della parete dal punto di vista estetico.



Figura 47 Vista del fronte dopo la volata sperimentale



Figura 48 Confronto fori nelle due volate



Figura 49 Particolare delle due volate

5.1.5 *Calcolo costi e tempi*

Dopo aver dimostrato i miglioramenti sul piano estetico della parete, si vuole eseguire una stima dei costi di esplosivo e dei tempi di lavoro.

Dati:

- Esplosivo Riodin 5.46 €/kg

- Miccia detonante Riocord da 15 g/m bob-50 0.79 €/m
- Miccia detonante Riocord da 100 g/m bob-40 2.31 €/m

Calcolo costo Volata Sperimentale

- 6 cartucce Riodin da 26 mm più;
- 1 cartuccia Riodin da 50 mm;
- 136 m miccia detonante Riocord da 15 g/m.

Calcolo costo Volata Fassa Bortolo

- 1 cartuccia Riodin da 50 mm;
- 136 m miccia detonante da 100 g/m.

Volata FASSA-BORTOLO		Cartuccia RIODIN da 50 mm	Cartuccia RIODIN da 26 mm	Miccia da 15 g/m	Miccia da 100 g/m	Totale Parziale [€]
	Cartuccia [kg]	1,042	0,152	-	-	405,3
	Numero	16	0	-	-	
	Lunghezza [m]	-	-	0	136	
	Prezzo [€/kg]	5,46	5,46	-	-	
	Prezzo [€/m]	-	-	0,79	2,31	
	Totale Parziale [€]	91,1	0	0	314,2	
	Manodopera [giorni/uomo]	0,5				100
	Prezzo [€uomo/giorni]	200				
TOTALE [€]						505,3
Volata sperimentale		Cartuccia RIODIN da 50 mm	Cartuccia RIODIN da 26 mm	Miccia da 15 g/m	Miccia da 100 g/m	Totale Parziale [€]
	Cartuccia [kg]	1,042	0,152	-	-	278,3
	Numero	16	96	-	-	
	Lunghezza [m]	-	-	136	0	
	Prezzo [€/kg]	5,46	5,46	-	-	
	Prezzo [€/m]	-	-	0,79	2,31	
	Totale Parziale [€]	91,1	79,7	107,5	0	
	Manodopera [giorni/uomo]	1,5				300
	Prezzo [€uomo/giorni]	200				
TOTALE [€]						578,3

Tabella 17 Valutazione costi e tempi delle due volate

	Volata Fassa Bortolo	Volata Sperimentale
Costo esplosivo [€/kg]	405.3	278.3
Costo Manodopera	100	300
Ore/uomo*giorno	4	12

Tabella 18 Riepilogo

Capitolo 6 RECUPERO AMBIENTALE

Il recupero ambientale procede per fasi:

- Rimodellamento delle scarpate: le superfici delle pedate sono state messe in sicurezza statica mediante disgaggio accurato dei fronti di scavo, effettuato sempre dopo lo sparo mine. In alcuni casi le discontinuità naturali presenti nell'ammasso roccioso (piani di stratificazione e faglie) non hanno permesso di poter mantenere il profilo finale desiderato.
- In particolare, nel gradone con quota della pedata pari a 387 m, a causa di un importante disgaggio che si è reso necessario per mantenere la funzionalità della canaletta di drenaggio dell'acqua, si è deciso di realizzare una palificata semplice in legno, tecnica molto comune ed efficace che appartiene all'impiegata nell'ingegneria naturalistica.
- Questa disciplina, che negli ultimi decenni si sta diffondendo sempre di più, prevede l'utilizzo di materiale vegetale e di legname come materiale da costruzione, in abbinamento in taluni casi a materiali inerti come pietrame e massi, terra, legname, ferro e acciaio, fibre vegetali e sintetiche, e permette di risolvere un'ampia gamma di problemi di rivegetazione, consolidamento e drenaggio di versanti, scarpate e sponde.
- Nello specifico le palificate semplici in legno sono opere utili alla stabilizzazione della porzione più superficiale di suolo, alla trattenuta di materiale superficiale soggetto a dilavamento e rotolamento di ciottolame o pietrame, alla rivegetazione e al consolidamento di superfici in erosione.
- Per la costruzione della palificata in oggetto è stato utilizzato tondami scortecciati di castagno con diametro circa di 20 cm, disposti perpendicolarmente alla linea di massima pendenza, legati e fissati a valle da tondini in acciaio ad aderenza migliorata di diametro 30mm inseriti in fori di diametro 32 mm per una profondità pari a un metro.
- Utilizzando legno naturale come materiale da costruzione, si aumenta la compatibilità ambientale dell'intervento, consentendo una migliore integrazione con l'ambiente circostante.



Figura 50 - Palificata semplice in legno (Fassa Bortolo 2017)



Figura 51 - Vista fronte gradonato e palificata semplice in legno (Fassa Bortolo 2017)



Figura 52 - Profili finali dei gradoni soggetti a recupero (Fassa Bortolo 2017)

Ricostituzione del substrato sulla pedata: sulle pedate dei terrazzi è stato predisposto un sottofondo detritico di provenienza locale. Tale strato, oltre alle funzioni drenanti, ha lo scopo di favorire il radicamento e conseguentemente lo sviluppo delle essenze arboree messe a dimora.

Infine, a copertura del materiale drenante, è stato collocato il terreno vegetale per uno spessore di circa un metro dalla pedata del gradone. Al di sopra è stato realizzato lo strato finale di terreno vegetale.

Per favorire il drenaggio delle acque meteoriche sono state realizzate delle canaline di raccolta, che sono state riempite di materiale granulare in pezzatura 100-150mm per mantenerne la funzionalità anche nel caso in cui ci sia un franamento di terreno vegetale dal gradone soprastante. L'inserimento dei ciottoli è stato realizzato come miglioria in aggiunta a quanto previsto dal progetto autorizzato. Infatti, a causa dell'elevata quantità di argilla, il semplice tracciamento della canalina rischierebbe, nel caso di franamento del terreno soprastante, di bloccare il deflusso dell'acqua. (Fassa Bortolo 2017)



Figura 53 - Particolare della canalina di drenaggio delle acque meteoriche durante del secondo gradone (Fassa Bortolo 2017)

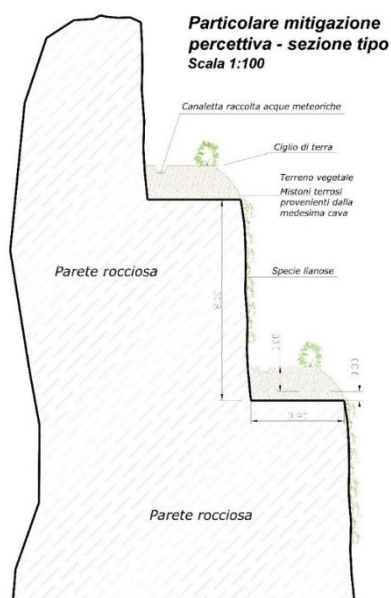


Figura 54 - Sezione tipo (Fassa Bortolo 2017)

Come da progetto, tutto le superfici ciglionate sono state seminate con essenze erbacee: nello specifico, l'inerbimento è stato realizzato a spaglio con l'utilizzo di un miscuglio di sementi così composto (quantitativo di seme 40-50gr/mq):

- Festuca ovina
- Festuca rubra
- Agrotis tenuis
- Digitaria
sanguinalis
- Cynodon
dactylon
- Dactylis
glomerata
- Lotus
corniculatus
- Achilla
millefolium
- Medicago sativa
- Medicago
lupulina
- Plantago
lanceolata
- Vicia sativa
- Matricaria
camomilla

Oltre alla semina si è provveduto alla messa a dimora di specie arbustive e rampicanti come indicate dalle Relazione tecnica-paesaggistica:

Specie arbustive	N° messe a dimora
Carpinus betulus (Carpino bianco)	13
Fraxynus Ornus (Orniello)	13
Fraxynus Excelsior (Frassino maggiore)	13
Ostrya carpinifolia (carpino nero)	13

Populus tremula (pioppo tremulo)	13
Acer campestre (Ciavardello)	13
Quercus putracea (Quercia rovere)	13
Quercus pubescens (Quercia roverella)	13
Quercus robur (Quercia farnia)	13
Sorbus terminalis (ciavardello)	13
Ulmus minor (Olmo Minore)	13
Cornus mas (Corniolo)	13
Corylus avellana (nocciolo)	13
Crataegus monogyna (biancospino)	13
Cornus sanguinea (Sanguinello)	13
Prunus spinosa (Prugnolo)	13
Viburnum Lantana (lantana)	13
TOTALE	221

Tabella 19 - Specie arbustive- (Fassa Bortolo, 2017)

Specie rampicanti	N° messe a dimora
Caprifoglio (Lonicera caprifolium)	13
Edera (Hedera Helix)	13
TOTALE	26

Tabella 20 – Specie rampicanti (Fassa Bortolo 2017)

Le specie scelte sono state piantumate ad una profondità minima di 20 cm, con collocazione di tutore in bambù. Le essenze rampicanti sono state messe a dimora sulla porzione esterna dei ciglioni, allo scopo di limitare ulteriormente l'impatto visivo del fronte gradonato; inoltre, grazie al loro apparato radicale profondo, i rampicanti contribuiscono a consolidare il terreno.



Figura 55 - Piantumazione essenze su gradone con pedata a quota 387 m (Fassa Bortolo 2017)



Figura 56 - Piantumazione essenze su gradone con pedata a quota 387 m (Fassa Bortolo 2017)



Figura 57 - Piantumazione essenze su gradone con pedata a quota 371 m (Fassa Bortolo 2017)

Capitolo 7 CONCLUSIONI

Il lavoro svolto presso la cava di Sabbio Chiese ha dato luogo ai risultati sintetizzati nel seguito.

Si premette una considerazione di validità generale, indipendentemente dalla tecnica impiegata: l'ottenimento di una geometria corretta in termini di evoluzione dello scavo e il rispetto delle pareti residue dipende da tre fattori:

- precisione della perforazione;
- caricamento e temporizzazione idonei ed accurati;
- qualità della roccia.

Quest'ultimo fattore non può essere controllato dall'operatore, tuttavia risulta necessario esaminarne l'influenza allo scopo di valutare se un risultato è accettabile o meno ed eventualmente quali interventi possono essere migliorativi.

Come indicatori della qualità della roccia si considerano il Rock Quality Designation R.Q.D. ed il Rock Mass rating R.M.R.

L'analisi sperimentale svolta ha consentito di ottenere un netto miglioramento della qualità della fronte;

I costi sono stati abbastanza contenuti rispetto alle volate tradizionali, in quanto a consuntivo si sono registrati valori intorno a 578 € nella volata sperimentale, di poco superiori a quelli derivanti dall'impiego di volate tradizionali, pari a circa 503€. Di conseguenza, visti i risultati nettamente migliori, si può dedurre che la tecnica proposta consente notevoli miglioramenti in termini di geometria del profilo di scavo, a fronte di un lieve incremento del costo.

I tempi sono un po' più elevati (circa 12 h, a fronte delle 4 h necessarie per l'effettuazione di una volata tradizionale), e uno degli obiettivi prevedibili nell'immediato futuro è tentare di ridurli; gli interventi migliorativi in tal senso potrebbero prevedere una riduzione del numero di cartucce da introdurre in foro, adottando nel contempo miccia detonante con grammatura maggiore di 15 g/m, al fine di evitare sostanziali modifiche della carica totale impiegata. Naturalmente occorrono ulteriori sperimentazioni per testare l'efficienza di alternative di questo tipo, ma la prima campagna condotta nell'ambito del presente studio ha fornito risultati confortanti.

Capitolo 8 BIBLOGRAFIA

Bibliografia

- [1] Berta, Giorgio. 1985. *l'esplosivo strumento di lavoro*. Milano: Italesplosivi -Milano.
- Coppe, Danilo. ottobre 1999. *Manuale Pratico di Esplosivista Civile*. Parma, Italia: Edizione Pei.
- Del Greco O., Fornaro M., Mancini R., Patrucco M. 1983. «Profilatura dei fronti di cava nell'abbattimento con esplosivi:analisi di alcuni esempi notevoli.» Bollettino dell'associazione mineraria Subalpina, XX, n°1-2, 136-159.
- ECOMIN s.r.l. 2013. «Progetto ATE 26 Sabbio Chiese.» Relazione tecnica, Viale duca degli abruzzesi 112 Brescia, 11-58.
- Fassa Bortolo. 2017. «Bonifica e messa in sicurezza Fronte di cava altamente instabile.» Relazione Tecnica, Sabbio Chiese (BS), 5-14.
- Gupta RN., Singh M.M., Singh B. 1987. «Application of presplitting and Smooth Blasting per excavation of a large power House Cavern.» *The 28 th U.S.Symposium on Rock Mechanics (USRMS)*. Tucson ,Arizona.
- Langefors U., Kihlstrom B. 1967. *The moder technique of rock blasting*. Stockholm, Sweden: Alm Quist & Wiksell.
- M., Morin R. 2000. «Wall Control -Construction.» In *Blasting Technology Course*. USA: Explotech Engineering Ltd.
- Marilena, Cardu. 2018/2019. «Drill & Blast Trenches and Controlled Blasting.» In *Excavation Engineering*, 11. Torino.
- Matti, Heiniö. 1999. «Rock Excavation Handbook.» (Sandvik Tamrock, Corp.1999) 98-8908-GB 6000: 191-197.
- Pravisani s.p.a Maxam. 2017. «Dinamite Riodin/Riodin HE.» Scheda Tecnica, Pedrengo (BG), 1-2.

- Pravisani s.p.a Maxam. 2017. «Miccia detonante flessibile Riocord.» Scheda Tecnica, Pedrengo (BG), 1-2.
- Renato Mancini, Marilena Cardu. 2001. *Scavi in roccia Gli esplosivi*. prima edizione agosto 2001. ISBN 88-86977-48-4 vol. Benevento: HEVELIUS EDIZIONI 2001.
- Roberto Folchi, Luigi Minicillo, Francesco Retacchi. s.d. «Abbattimenti controllati con esplosivi in aree antropizzate: autorizzazione, organizzazione ed esecuzione a regola d'arte.» *Ambiente & Sicurezza del sole 24 ore, N°23, anno 2002 Prescrizioni esplosivi 7-17 5-7*.
- Sandvik Tamrock Corp. Tampere Plant. 2005. «Technical specification Ranger Rock pilot 800.» Scheda Tecnica, Tampere, Finland, 1-4.
- Seccatore J., Golin F., Cardu M., Munaretti E., Bettercourt J., Koppe J. 2015. «Evaluating the effects of non-coaxial charges for contour blasting.» A cura di mineracao Universidade de Sao Paulo Projeto minaexperimental nap. *11 th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*. Sydney, Australia.
- Sharma, Partha Das. 2011. «Wall Control Blasting Techniques To minimize damage to the rock at the limits of surface and underground excavation in order to enhance safety standard and economy.» *Mining And Blasting 7-8*.
- Sogeca. 2013. «Manuale corso formazione fochini: gestione degli esplosivi in sicurezza.» 111-120.
- U.S. Department of Transportation Federal Highway. 1991. *Rock Blasting and Overbreak Control*. Vol. NHI course No 13211. National Highway Institute.
- Vari, Autori. 02/2002. «L'innovazione tecnologica negli scavi verso lo sviluppo compatibile con l'ambiente.» Verona. 1-5.