



POLITECNICO DI TORINO

prof. ing. Marilena CARDU

Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie

Contratto di Consulenza tra

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle
Geotecnologie (DITAG)

e

Holcim Italia S.p.A.

**Definizione di un piano di tiro da impiegare in prossimità del
profilo di abbandono del fronte est, applicabile nella fase di
espansione dei lotti 5 – 6 della cava Faraona sita a Ternate (VA) –
Holcim Italia S.p.A.**

Relazione conclusiva

responsabile: prof. Marilena Cardu

collaboratore: ing. Alessandro Giraudi

Torino, Luglio 2011

SOMMARIO

Premessa	3
1. Informazioni generali sulle tecniche di abbattimento controllato	3
1.1 Modifica della maglia di tiro	4
1.2 Line drilling	4
1.3 Presplitting	5
1.4 Smooth blasting	10
2. Modalità di attuazione del presplitting	11
3. Normativa tecnica di riferimento per la misurazione e la valutazione delle vibrazioni	13

Premessa

La presente relazione esamina le tecniche di abbattimento controllato impiegabili al fine di preservare il profilo di abbandono e minimizzare l'overbreak in prossimità della fronte di scavo est - fase di espansione dei lotti 5 – 6 della cava Faraona sita a Ternate (VA). Nel seguito, saranno proposti un piano di tiro da adottare in prossimità del profilo finale e le modalità da seguire per valutare la correttezza delle operazioni, tramite il monitoraggio delle vibrazioni generate dalle volate.

1. Informazioni generali sulle tecniche di abbattimento controllato

In molti casi si desidera ottenere dall'esplosivo una semplice azione di distacco, per consentire l'isolamento di un determinato volume di roccia, senza produrre lesioni all'ammasso destinato a rimanere in posto.

Attualmente, il profilo di scavo è realizzato con comuni volate di produzione ma, al fine di ridurre l'entità del danneggiamento nell'ammasso roccioso, è possibile utilizzare delle tecniche, alcune attraverso l'impiego di esplosivo, altre con l'ausilio di mezzi meccanici, che consentano di ottimizzare la bontà del risultato.

Tali tecniche, descritte ed esaminate nel seguito, consistono in:

- modifica della maglia di tiro;
- line drilling;
- presplitting;
- smooth blasting.

L'accuratezza del risultato è influenzata principalmente da cinque fattori, quali:

- caratteristiche geologiche;
- caratteristiche geomeccaniche del mezzo;
- presenza d'acqua,
- inclinazione del profilo di abbandono;
- durata in vita prevista del pendio (esempio: 1 anno; 5 anni; illimitata).

Occorre comunque ricordare che il principale fattore condizionante la bontà del risultato, in ciascuna delle tecniche in seguito descritte, è la precisione nell'esecuzione della perforazione.

1.1 Modifica della maglia di tiro

La tecnica più pratica da adottare, al fine di preservare il profilo di abbandono, è la modifica della maglia di tiro nella volata di produzione a contatto del fronte residuo. Tale modifica può avvenire attraverso l'adozione di una carica di esplosivo ridotta e di una minore sottoperforazione per la fila di fori da mina più vicina al profilo di abbandono. Questa tecnica ha buone probabilità di successo in ammassi rocciosi competenti e/o in pendii che devono garantire un elevato fattore di sicurezza.

Apportando tale modifica sull'ultima fila di mine, l'energia sviluppata dall'esplosivo si riduce, con conseguente riduzione della retro-fratturazione (overbreak) nell'ammasso roccioso. Questo miglioramento può essere talora raggiunto con la sola diminuzione della quantità di carica per ritardo impiegata (riduzione variabile dal 30% al 60%; ISEE, 2011).

La controindicazione dell'uso di tale tecnica può essere dovuta al fatto che, se la quantità di esplosivo/mina è troppo ridotta, si rischia di deformare plasticamente la roccia senza indurne la fratturazione lungo il piano di distacco voluto, con l'eventualità che avvenga un rigonfiamento del materiale destinato a rimanere in posto. Per tale motivo, nel presente contesto la tecnica succitata non sarà oggetto di trattazione.

1.2 Line drilling

Il line drilling consiste nella realizzazione di una singola fila di fori affiancati, con le generatrici interferenti, ottenendo in tal modo una discontinuità tra il materiale da asportare e quello destinato a rimanere in posto. In Figura 1 si riporta un esempio di realizzazione di tale tecnica. La discontinuità artificiale (detta diaframma) permette di smorzare le vibrazioni che si generano durante l'abbattimento di produzione, ottenendo pertanto un profilo finale di scavo con buone caratteristiche geomeccaniche.

Nell'utilizzare questa tecnica si adottano normalmente diametri di perforazione compresi tra 38 e 76 mm. Il line drilling è applicabile principalmente in formazioni rocciose omogenee con deboli fratturazioni o particolarmente vulnerabili all'azione dell'esplosivo.

Le sue applicazioni sono in genere limitate, anche a causa di alcune controindicazioni, fra cui la difficile previsione della certezza d'effetto, tranne in rocce molto omogenee.

Tale tecnica non è stata quindi trattata nel presente contesto, in quanto presenta la controindicazione di richiedere un apporto estremamente elevato in termini di perforazione specifica (numero di fori/superficie di distacco desiderata).



Figura 1 – Taglio con line drilling: si realizzano superfici di separazione, senza il ricorso ad elementi ausiliari di distacco, per mezzo di fori affiancati l'uno all'altro, con le generatrici interferenti.

1.3 Presplitting

Con il termine “presplitting” si intende la creazione di un pretaglio nell'ammasso roccioso, eseguito mediante l'impiego di esplosivo, da effettuare preliminarmente alla volata di produzione. In Tabella 1 sono riportati i valori caratteristici comunemente adottati per operazioni di profilatura in roccia.

Tabella 1 – Scelta del diametro di perforazione e dimensionamento della carica per ritardo e dell'interasse al fine dell'impiego del presplitting.

Diametro Foro		Densità di Carica		Interasse	
[mm]		[kg/m]		[m]	
min $\varnothing_f$	max $\varnothing_f$	min q_c	max q_c	min E_c	max E_c
38	44	0.07	0.17	0.3	0.45
51	64	0.17	0.29	0.45	0.6
76	89	0.17	0.66	0.45	0.9
102		0.29	1.17	0.6	1.2

Al fine di ottenere un buon guidaggio della frattura, è necessario realizzare i fori da mina con estrema precisione; l'innesco deve essere possibilmente simultaneo (o a gruppi di mine) ed antecedente a quello delle mine di produzione. In Figura 2 si riporta una schematizzazione teorica dell'effetto del guidaggio della frattura; il caso A è riferito a un foro isolato in un mezzo indefinitamente esteso (non si osserva la presenza di superfici libere, eccettuato il piano di perforazione) con carica completamente accoppiata: a seguito dell'esplosione, idealmente si osserva una raggiera di fratture che si estendono fino ad una distanza detta R_F (raggio d'azione della carica). Caso B: nelle stesse condizioni, un foro con carica disaccoppiata non dà luogo, dopo l'esplosione, a propagazione di fratture evidenti. Caso C: è illustrato un allineamento di fori con carica completamente accoppiata sufficientemente vicini per dare luogo ad una frattura di separazione, cui si sovrappone la rete di fratture radiali prodotta dalle singole cariche, mentre nel caso D, nelle stesse condizioni del caso C ma ricorrendo a disaccoppiamento delle cariche, si

osserva un'unica frattura di separazione.

Da quanto detto, emerge chiaramente che l'applicazione della tecnica del presplitting prescinde completamente dalla presenza di una superficie libera parallela al piano su cui giacciono i fori e, conseguentemente, non è necessario, ai fini del dimensionamento, contemplare la presenza della linea di minor resistenza (spalla o carico di roccia gravante sulle mine), che è del tutto influente (v. Tabella 1).

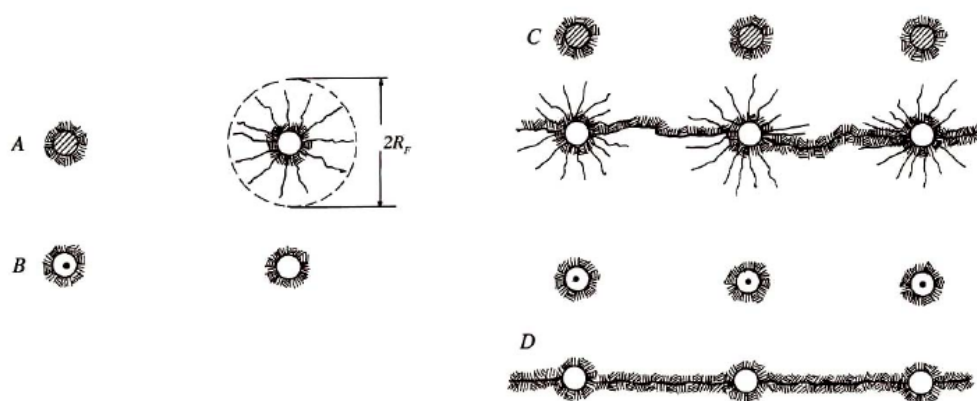


Figura 2 – Schematizzazione dell'effetto di guidaggio della frattura di distacco, nel caso di fori con carica accoppiata completamente (A, C) o disaccoppiata (B, D). (Mancini, Cardu 2001)

Una schematizzazione della teoria del presplitting è illustrata in Figura 3, che mostra due cariche 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 produce una frattura netta. Tale frattura, in seguito, si allarga grazie all'espansione dei gas, in funzione di tre fattori: 1) proprietà e condizioni della roccia; 2) interasse fra i fori; 3) quantità e tipo di esplosivo impiegato. A seguito della detonazione delle cariche si ottiene quindi una discontinuità che deve minimizzare o eliminare l'overbreak dovuto al successivo abbattimento di produzione e che dà luogo a una parete regolare e piana. Due esempi di caricamento di una mina rispettando le condizioni imposte dal presplitting sono dati in Figura 4.

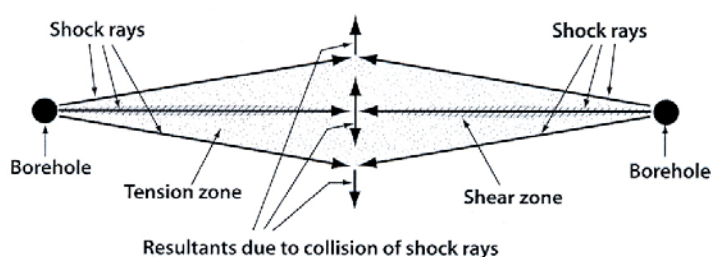


Figura 3 – Illustrazione schematica della teoria del presplitting. (ISEE, 2011)

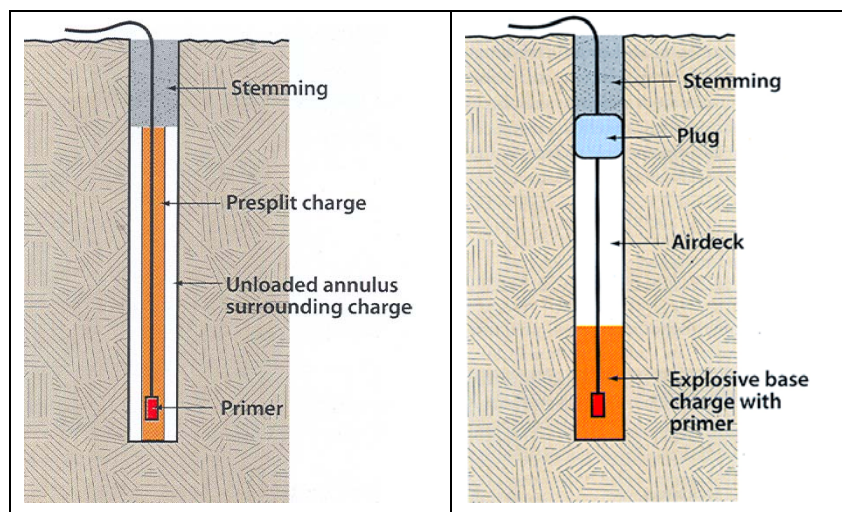


Figura 4 – A sinistra, tipico caricamento colonnare di una mina; si osserva molto chiaramente il disaccoppiamento della carica rispetto al diametro del foro. A destra, mina caricata mediante air decking: a parte la carica di fondo è innescata da un primer, ma gran parte del foro è scarica e, a contatto col borrhaggio, a bocca foro, è inserito un tappo che ha lo scopo di “intrappolare” il cuscino d’aria e garantire un minore impatto a seguito della detonazione delle cariche. In entrambi i casi, l’innesco è a fondo foro. (ISEE, 2011)

In Figura 5 sono illustrate alcune cariche di profilo disponibili in commercio e nel prospetto di Tabella 2 ne sono mostrate le principali caratteristiche tecniche.

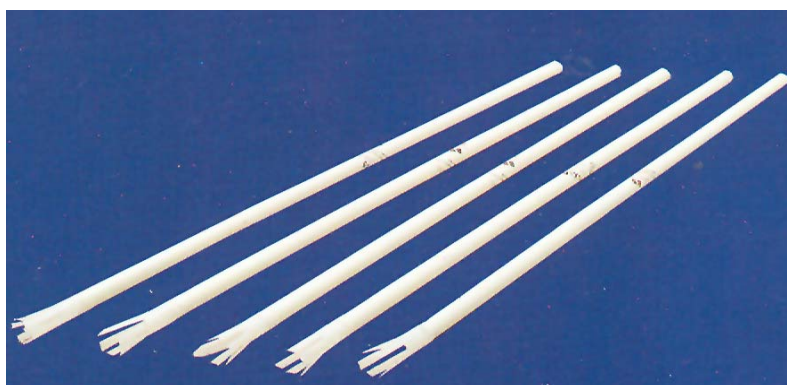


Figura 5 – Cariche specificamente designate per l'esecuzione di volate di profilatura (Pravisani). Si notano le alette di plastica deformabile (fornite nella confezione unitamente alle cartucce) che consentono un'ottima centratura della carica in foro. Il diametro ridotto rispetto a quello del foro garantisce inoltre un disaccoppiamento sufficiente a rispettare il risultato voluto.

Tabella 2 – Principali caratteristiche delle cariche di profilo (Pravisani S.p.A., Maxam).

Nome commerciale	Massa volumica	Energia specifica	Velocità di detonazione	Lunghezza	Diametro	Massa
Premex 300	[kg/dm ³]	[kJ/kg]	[m/s]	[mm]	[mm]	[kg]
	1.18	3120	5200	460	25	0.25

In commercio sono disponibili molti tipi di “plug” (tappi): in Figura 6 ne sono mostrati alcuni esempi. L'effetto che essi inducono in un foro da mina è invece illustrato in Figura 7: a seguito della pressione di esplosione il plug, a causa della sua geometria tronco-conica, forza sé stesso a farsi

strada attraverso il borraggio soprastante. Ciò fa sì che il materiale di borraggio intorno alla superficie esterna del tappo lo ancori saldamente per un tempo sufficiente a garantire che *tutta* l'energia esplosiva sia impartita alla roccia circostante.



Figura 6 – Esempi di “plug” disponibili in commercio.

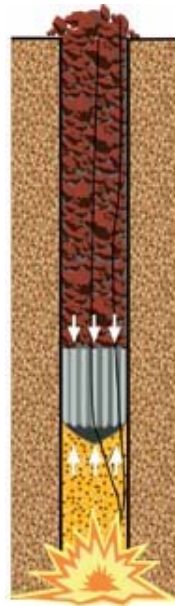


Figura 7 – Effetto indotto dalla presenza del “plug” in un foro da mina.

Si precisa che la tecnica dell'air decking richiede una carica di fondo avente lunghezza pari a quella del borraggio, per cui la quantità di esplosivo per foro che ne deriva (pur impiegando un'emulsione con massa volumica media di 1.2 kg/dm^3) è molto elevata (4.5 - 6.5 kg, in funzione del diametro delle cartucce). Per tale motivo, si suggerisce di non adottare tale tecnica nel caso in esame.

In Figura 8 è mostrato un esempio comparativo, osservabile su una parete in roccia, tra la tecnica

del presplitting e una normale volata di produzione. Si osservi che, se sono rispettati il parallelismo dei fori, il corretto interasse fra un foro ed il successivo ed un buon disaccoppiamento tra il diametro dei fori e quello della carica, il risultato è l'ottenimento di una parete profilata e non fratturata.

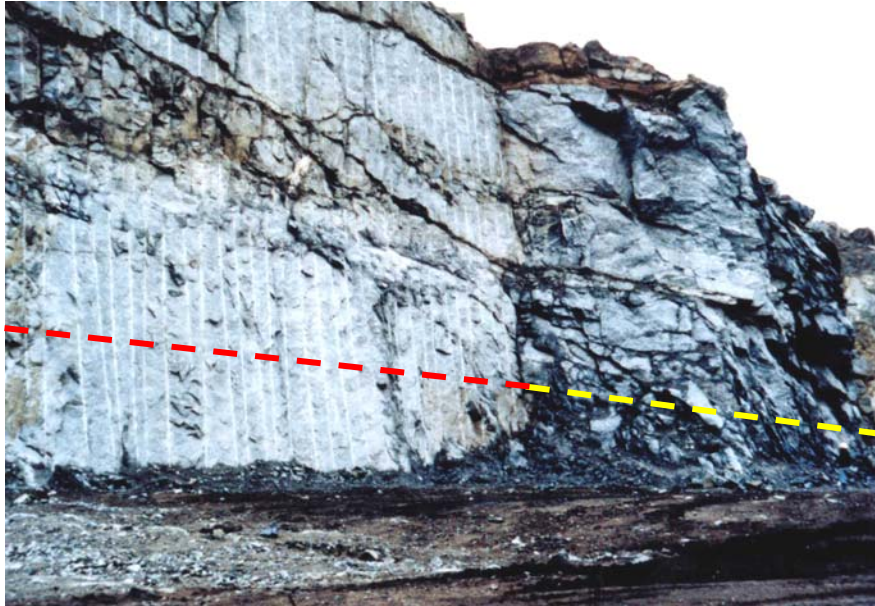


Figura 8 – Confronto tra i risultati ottenuti, in una cava di gneiss, dal presplitting a sinistra e da una ordinaria volata di produzione a destra. (Hoek, 2007)

In Figura 9 è illustrato uno schema esemplificativo dell'applicazione del presplitting ad una volata di produzione in prossimità del fronte di abbandono. In tale schema si è ipotizzato di ricorrere a perforazione di mine verticali per quanto attiene alla volata di produzione, mentre le mine di presplitting sono realizzate con un'inclinazione di circa 55° , ritenuta idonea a garantire la stabilità del fronte residuo. Per effettuare un buon raccordo fra l'ultima fila di mine di produzione e la fila di mine di presplitting, parimenti evitando la formazione di un prisma di roccia di volume eccessivo, che comporterebbe la necessità di effettuare un abbattimento secondario, si è realizzata un'ulteriore fila di mine aventi inclinazione di circa 70° . Esse hanno lunghezza pari a 3.6 m, per evitare la convergenza tra i fori, con conseguente eccessiva concentrazione di carica al piede.

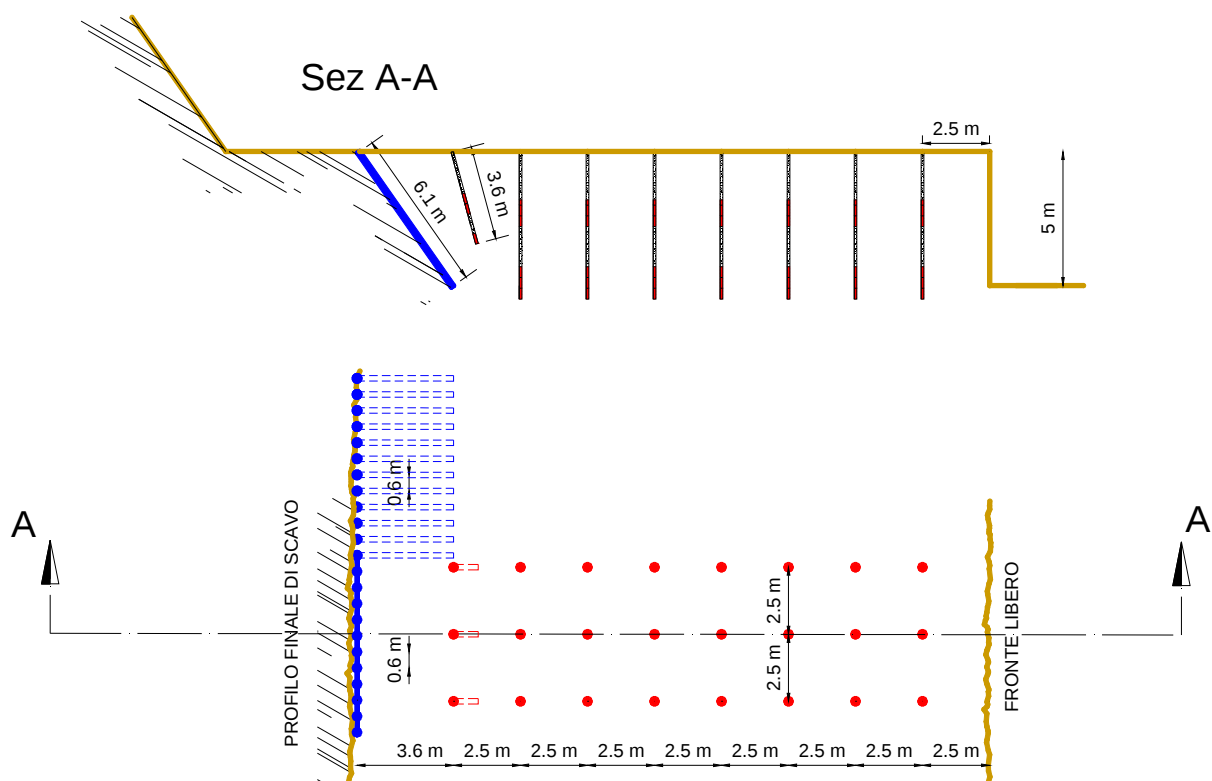


Figura 9 – Schema esemplificativo (sezione verticale e planimetria), dell'applicazione del presplitting ad una volata di produzione in prossimità del fronte di abbandono.

1.4 Smooth blasting

Tale tecnica, pur presentando molte analogie col presplitting, si basa sul fatto che le mine di profilo sono brillate successivamente alle mine di produzione anziché preliminarmente. Anche in questo caso, al fine di ottenere un buon guidaggio della frattura, la tecnica è efficace se i fori da mina (con diametro pari a 32 o 51 mm) sono realizzati con estrema precisione e se l'innesco è simultaneo o a gruppi.

Essendo le mine di *smoothing* destinate, come detto, a brillare per ultime, il loro compito è quello di completare lo scavo "rifornendolo" e, dunque, ai fini del dimensionamento, occorre considerare che tali mine devono abbattere un ridotto carico di roccia residuo dopo il brillamento dell'ultima fila di mine di produzione. I parametri di calcolo differiscono quindi dal presplitting (nel quale la distanza dalla superficie libera parallela al piano dei fori risultava indefinita), ed è quindi possibile incrementare l'interasse tra i fori da mina (riducendo la perforazione specifica) grazie alla presenza di una superficie libera prossima alle mine. In Tabella 3 sono riportati i parametri da adottare nel caso di impiego dello smooth blasting.

Di tale tecnica non è stato eseguito il dimensionamento, in quanto essa si presta preferenzialmente all'esecuzione di volate di profilatura in galleria, in cui si impiegano diametri di perforazione inferiori a quelli relativi al caso in esame. Inoltre, poiché le mine di smoothing brillerebbero per ultime, si rinunciarebbe al vantaggio di isolare preventivamente il volume di roccia da proteggere in prossimità del raggiungimento del profilo di abbandono.

Tabella 3 – Scelta dei fori da mina e dimensionamento della carica per ritardo e dell'interasse al fine dell'impiego della tecnica dello smooth blasting.

	Diametro Foro	Diametro Carica	Densità di Carica	Interasse	Carico di roccia
	[mm]	[mm]	[kg/m]	[m]	[m]
	$\varnothing_f$	$\varnothing_c$	q_c	E_c	V_c
Valori rilevati in cantiere	32	17	0.22	0.40-0.60	0.55-0.75
	51	25	0.50	0.65-0.90	0.80-1.20
Valori consigliati da Du Pont	32	-	0.18-0.38	0.60	0.90
	51	-	0.18-0.38	0.75	1.05

2. Modalità di attuazione del presplitting

Per il dimensionamento dei fori di profilatura si è fatto riferimento alla Tabella 1 in quanto, essendo molte le variabili, è necessario basarsi su dati di letteratura per effettuare una stima di massima da validare tramite prove al vero, per ottimizzare il quantitativo di esplosivo, la lunghezza di perforazione, l'interasse tra i fori e la temporizzazione del brillamento.

In particolare, l'interasse adottato potrebbe eventualmente essere incrementato fino a 0.9 m, come pure potrebbe essere ridotta la carica/foro, con conseguente possibilità di innescare simultaneamente un numero di mine maggiore. Conseguentemente, i dati riportati in Tabella 4 fanno riferimento a valori medi plausibili, in quanto compresi negli abituali campi di variazione suggeriti in Tabella 1, ma eventualmente modificabili dopo avere eseguito le necessarie verifiche al vero.

Tabella 4 – Dati salienti riguardanti un intervento di presplitting.

Diametro Foro	[mm]	$\varnothing_f$	76
Diametro Cartuccia	[mm]	$\varnothing_c$	25
Interasse	[m]	E_c	0.6
Spalla	[m]	V	//
Densità di Carica	[kg/m]	q_c	0.54
N. cartucce per foro	[-]	n_c	9
Carica per foro	[kg]	Q	2.25
N. mine brillate simultaneamente	[-]	N	3
Carica per ritardo	[kg]	cpd	6.75
Lunghezza di perforazione	[m]	L	6.1
Lunghezza caricata	[m]	L_c	4.1
Borraggio	[m]	B	2.0
Inclinazione	[°]	L	55

Per l'innescò della volata di presplitting (Figura 10) si utilizzano i detonatori "nonel", con tempo di ritardo di 350 ms ed unità di connessione da 25 ms per l'innescò in superficie dei gruppi di mine.

I detonatori sono inseriti nella cartuccia di fondo foro al fine di trasmettere la detonazione all'intera carica in colonna. Ogni mina utilizzata per il presplitting (Figura 11) ha una carica di 2.25 kg di esplosivo (9 cartucce), con borraggio di 2 m.

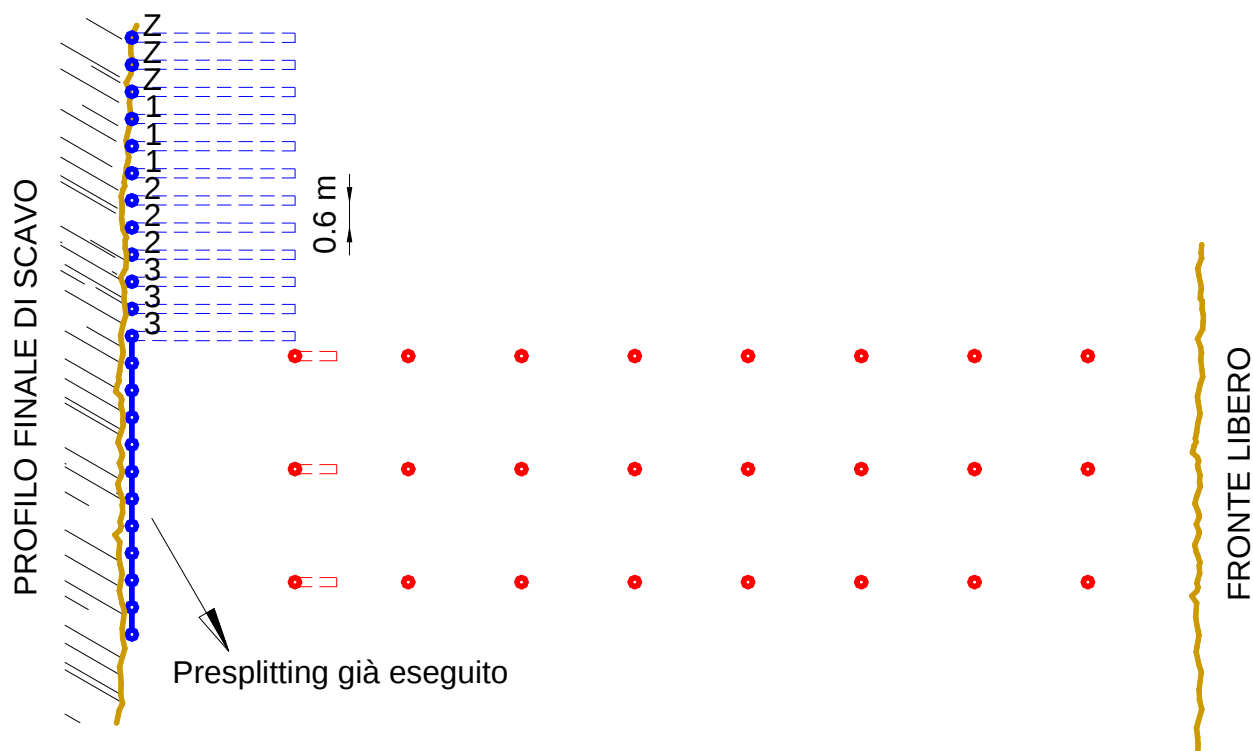


Figura 10 – Indicazione schematica della disposizione planimetrica della volata. I numeri sono riferiti alla sequenza di brillamento del presplitting. Le mine sono collegate a gruppi di tre con unità di connessione da 25 ms fra un gruppo ed il successivo, in modo da ottenere una carica per ritardo di 6.75 kg.

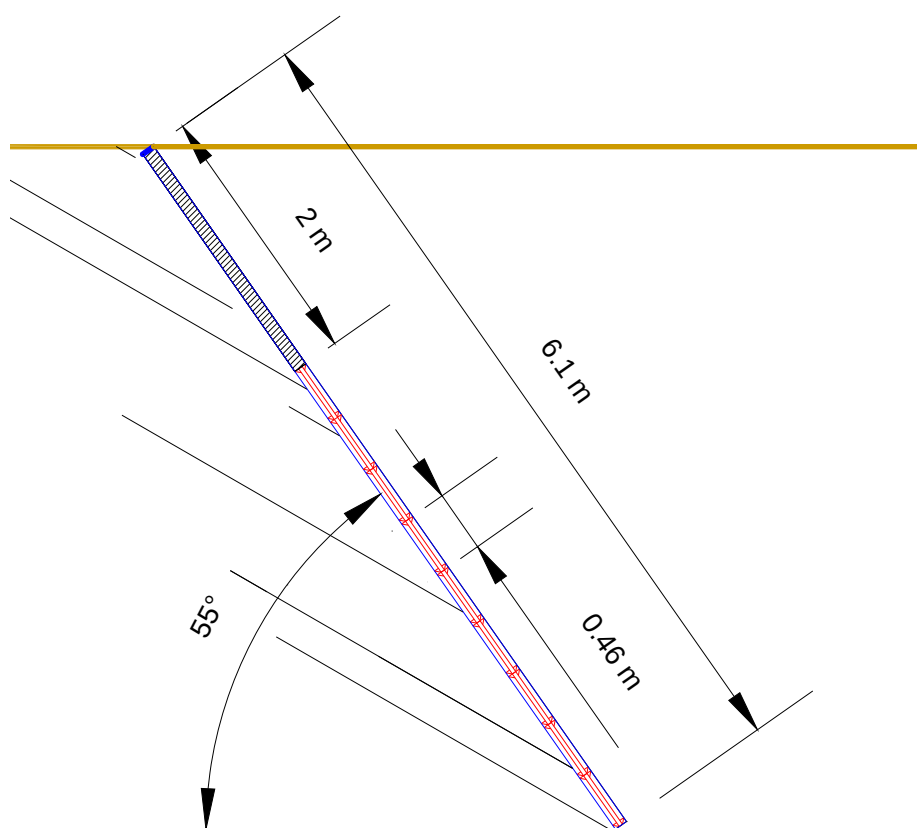


Figura 11 – Sezione schematica longitudinale di un foro caricato mediante presplitting.

3. Normativa tecnica di riferimento per la misurazione e la valutazione delle vibrazioni

La Norma UNI 9614:1990 “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo” si rivolge specificamente alla definizione dei criteri di valutazione del disturbo alle persone e prevede metodi di misura e di valutazione differenti a seconda che le vibrazioni siano di livello costante o variabile, oppure siano impulsive.

Le prime sono determinate da macchine quali i telai impiegati nelle aziende tessili o dal traffico su rotaia e su gomma, le seconde sono originate da eventi di breve durata (impatti) determinati da magli, presse, battipalo, detonazioni di cariche esplosive ecc.; tali vibrazioni possono costituire una fonte di disturbo per le persone esposte e ridurre il loro benessere, in quanto si tratta di eventi contraddistinti da un rapido innalzamento del livello dell'accelerazione sino ad un valore massimo seguito da un decadimento che può comportare, a seconda dello smorzamento della struttura, una serie di oscillazioni che tendono ad estinguersi nel tempo.

La Norma UNI 9916:2004 “Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici” indica criteri per la misura e la valutazione delle vibrazioni con riferimento ai possibili danni strutturali.

Va subito chiarito che le norme suddette non utilizzano in modo uniforme le definizioni delle grandezze fisiche e le scale numeriche impiegate per la loro valutazione: mentre infatti la norma relativa al disturbo umano fa impiego della scala dei dB per esprimere il valore del livello di accelerazione ponderata, la norma relativa ai danni strutturali fa riferimento a valori di velocità di vibrazione (espressa dunque in mm/s anziché in mm/s^2), lasciati in scala lineare e quindi senza far impiego della conversione logaritmica insita nell'utilizzo della scala dei dB.

La norma UNI 9916, nel suo allegato “D”, fornisce una indicazione sui valori della velocità di picco ammissibile per vari tipi di edifici (DIN 4150-3, 1999: Vibrazioni nell'edilizia. Parte 3: gli effetti sugli edifici); tali valori vengono riportati in Tabella 5, e di ciascuno viene anche indicato il corrispondente valore di accelerazione ponderata in dB, onde confrontare questi valori con quelli riferiti al disturbo alle persone.

Tabella 5 – Limiti per le costruzioni secondo la DIN 4150 parte 3° (modificata).

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento da non superare per velocità di oscillazione (ppv) in mm/s			
		Frequenze alle fondazioni			Ultimo solaio orizzontale
		da 1 a 10 Hz	da 10 a 50 Hz	da 50 a 100 Hz *	tutte le frequenze
1	Costruzioni per attività commerciali, costruzioni industriali e costruzioni con strutture similari per struttura e utilizzo	20 (dB 107)	da 20 a 40 (dB 107 -113)	da 40 a 50 (dB 113 - 115)	40 (dB 113)
2	Edifici abitativi o edifici simili per costruzione e/o utilizzo	5 (dB 95)	da 5 a 15 (dB 95 – 104.5)	da 15 a 20 (dB 104.5 - 107)	15 (dB 104.5)
3	Edifici che per la loro particolare sensibilità alle vibrazioni non rientrano nelle precedenti classificazioni e che sono da tutelare in modo particolare (per esempio monumenti storici)	3 (dB 90.5)	da 3 a 8 (dB 90.5 – 99.1)	da 8 a 10 (dB 9.1 - 101)	8 (dB 99.1)

* per frequenze superiori a 100 Hz possono essere adottati come minimo i valori per 100 Hz

Si nota che per gli edifici storici, per i quali si prescrivono i livelli di vibrazione più bassi, la velocità di picco non deve superare i 3 mm/s, cui corrisponde un livello di accelerazione ponderata pari a circa 90.5 dB. Tale limite è inferiore a quanto suggerito dall'Appendice (prospetto V) alle Norme 9614: "Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per le vibrazioni impulsive" che, per abitazioni soggette a disturbo nell'orario diurno (h 07:00-22:00) fornisce un limite minimo di accelerazione pari a 0.22 m/s², corrispondente a 106.8 dB, come risulta dalla Tabella 6.

Le vibrazioni trasmesse agli edifici sono di entità tale da non determinare problemi per la salute fisica dei soggetti esposti. A questo proposito si può osservare che le accelerazioni verticali negli edifici (dell'ordine di 0.005 - 0.04 m/s²) sono enormemente inferiori a quelle che possono determinare effetti sulla colonna vertebrale (Peretti, 2002). In alcune situazioni le vibrazioni, di entità relativamente elevata, possono essere tollerate: si tratta in genere di vibrazioni limitate nel tempo o associate a eventi di breve durata.

Tabella 6 – Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza e accelerazione ponderata in dB validi per le vibrazioni impulsive (modificata).

Tipi di edificio	asse z	asse z	assi x e y	assi x e y
	m/s ²	dB	m/s ²	dB
Aree critiche	0.005	74	0.0036	71
Abitazioni (notte)	0.007	77	0.005	74
Abitazioni (giorno)	0.3	109.5	0.22	106.8
Uffici e fabbriche	0.64	116	0.46	113.2

Per quanto riguarda la sensibilità, deve essere tenuto presente che la soglia di percezione umana può variare significativamente da soggetto a soggetto: persone particolarmente sensibili possono quindi essere disturbate anche da vibrazioni di intensità molto bassa.

Pertanto, sulla base delle precedenti considerazioni, si ritiene necessario effettuare monitoraggi vibrometrici finalizzati sia alla valutazione della salvaguardia degli edifici sia a quella di eventuali disturbi causati alle persone, conformemente alle succitate Norme 9916 e 9614.

In particolare, il monitoraggio sarà effettuato mediante localizzazione di uno strumento in postazione fissa in prossimità dei recettori più critici (Frazione Pacit), specie in previsione dell'avvicinamento della coltivazione al suddetto nucleo, per controllare la correttezza dell'impostazione del cantiere, prevenire eventuali anomalie ed intervenire, se necessario, modificando la geometria delle volate, anche allo scopo di minimizzare i disturbi eventualmente causati alle persone esposte alle vibrazioni generate dal brillamento delle volate.

Inoltre, qualora necessario, saranno effettuate ulteriori campagne aggiuntive (temporanee o continuative di breve durata) in funzione di situazioni critiche specifiche che si possono verificare in corso d'opera in prossimità di altri recettori. Sulla base dei risultati ottenuti, saranno effettuate le opportune valutazioni, in accordo con le autorità competenti.

Bibliografia

MANCINI R., CARDU M. (2001) Scavi in roccia: gli esplosivi. Hevelius Edizioni, Benevento

HOEK E. (2007) Practical Rock Engineering.

ISEE (2011) BLASTERS' HANDBOOK. International Society of Explosives Engineers, USA

PERETTI A. (2002) Valutazione del disturbo da vibrazioni negli edifici. *Immissioni di rumore e vibrazioni da impianti civili e stabilimenti industriali*. Ferrara, 12 pp.

PIOVANO G., SORLINI A. (1994) Normative e raccomandazioni sulle vibrazioni: criteri di salvaguardia, tollerabilità degli edifici e delle persone, scelta dei parametri valutativi. *Explosives and Blasting*. n°1, pp. 27-30.

DIN 4150-3, (1999) Vibrazioni nell'edilizia. Parte 3: gli effetti sugli edifici. (Ed. Italiana) *DIN Deutsches Institut für Normung*.

UNI 9916 (2004) Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici. *Ente Nazionale Italiano di Unificazione*, 23 pp.

UNI 9614 (1990) Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo. *Ente Nazionale Italiano di Unificazione*, 7 pp.