

vita di cava



La professoressa Marilena Cardu del Politecnico di Torino e l'ingegner Roberto Folchi della Nitrex sintetizzano per Costruzioni i risultati della ricerca sull'impiego delle emulsioni bicomponenti per il settore estrattivo e delle costruzioni generali

Più economiche, veloci da caricare, ma soprattutto molto più sicure (perché non esplodenti) in ogni fase della produzione, movimentazione, trasporto, stoccaggio

di Marilena Cardu
e Roberto Folchi



Con la direttiva 93/15/CEE del 5 aprile 1993, il Consiglio dell'Unione europea ha emesso norme per l'armonizzazione delle normative nazionali finalizzate a garantire, anche nel settore degli esplosivi per uso civile, la libera circolazione in ambito comunitario. La direttiva ha promosso lo sviluppo dell'industria italiana dei lavori da mina, accelerando il processo di adeguamento ai principi di libero mercato e di incremento della sicurezza e della qualità ambientale. Grazie a tale direttiva ed alle leggi nazionali di suo recepimento (D.Lgs. 7/97 e D.Lgs 272/02), nuovi prodotti, tra cui le emulsioni esplosive bicomponenti, e nuove tecnologie possono dunque essere impiegati anche dagli utenti italiani, consentendo loro di beneficiare dei sostanziali miglioramenti delle caratteristiche dei prodotti esplosivi impiegati. In

un "esplosivo" che, in tutta la filiera, dalla produzione al caricamento, non ha proprietà esplosive: queste sono assunte per reazione chimica conseguente alla composizione in situ di precursori non esplosivi e solo immediatamente prima del brillamento. Le caratteristiche esplosive decadono rapidamente, per cui, in caso di mancato brillamento, nessun rischio residuo è da prevedere. Il vantaggio immediato che ne consegue è dovuto all'eliminazione dei rischi connessi con la fabbricazione, il trasporto e il montaggio di esplosivi. La tecnica di miscelazione in situ, unitamente al caricamento di un prodotto sfuso, consente di migliorare le prestazioni della volata, permettendo di intervenire sia sulle dimensioni della maglia di tiro, svincolando la scelta del diametro di perforazione dal diametro delle cartucce, sia sulla composizione dell'esplosivo. Grazie

La rivoluzione dei bicomponenti

questo processo di ottimizzazione rientrano le emulsioni bicomponenti: tali prodotti, messi a punto negli USA nei primi anni '70, affiancano ai vantaggi delle emulsioni incartucciate i benefici derivanti dall'uso di

all'ottimo accoppiamento tra carica e foro si può, infatti, ridurre la perforazione specifica, a pari consumo specifico di esplosivo; inoltre, i ridotti tempi di caricamento assicurano notevoli vantaggi non solo sotto il

profilo della sicurezza, ma anche economici. L'emissione di gas pericolosi è contenuta, così da assicurare ottimali condizioni igieniche dell'ambiente di lavoro; nel caso di scavi in sotterraneo, ciò consente anche un più rapido accesso al fronte dopo il tiro, con un'ulteriore riduzione dei costi. La necessità di personale qualificato, di macchine e mezzi sofisticati e il rapido decadimento delle caratteristiche esplosive del prodotto miscelato ne rendono impraticabile l'utilizzo per fini illeciti, con enormi vantaggi anche sotto l'aspetto della pubblica sicurezza.

■ ■ Le emulsioni esplosive non esplosive

A differenza degli esplosivi tradizionali, la sensibilizzazione delle emulsioni bicomponenti non è dunque ottenuta mediante sostanze esplosive. Ciò comporta notevoli vantaggi dal punto di vista della sicurezza sia nel processo produttivo sia nelle fasi di impiego. Inoltre, molte sostanze usate per sensibilizzare gli esplosivi tradizionali, quali ad es. il TNT, il DNT o la

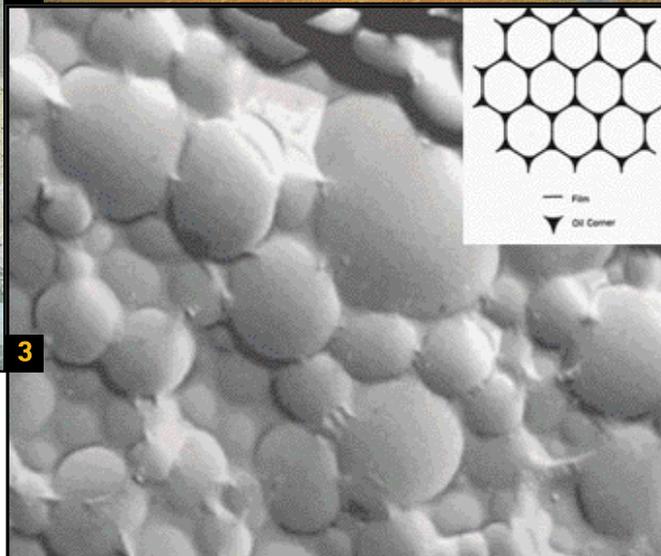
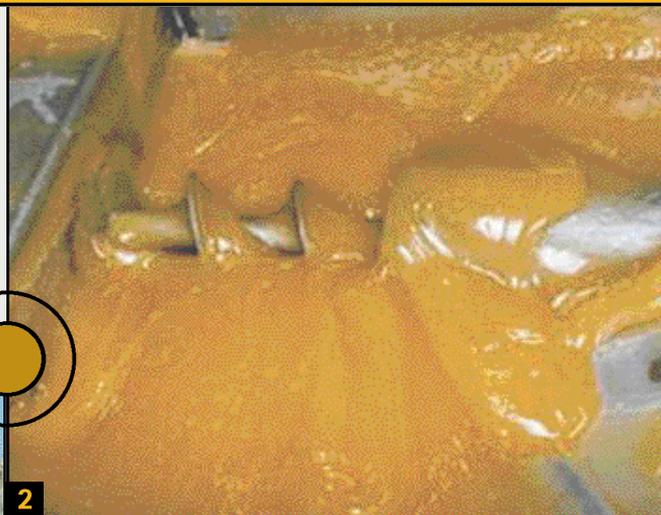
Nitroglicerina, oltre ad essere pericolose, in quanto implicitamente esplosive, sono dannose per la salute umana. L'eliminazione di queste sostanze, come previsto dall'art. 62 del D.lgs. 626/94, consente un grande miglioramento delle condizioni di sicurezza e igiene del lavoro. Nelle emulsioni bicomponenti la sensibilizzazione avviene addirittura nel foro da mina, estendendo fino al limite la condizione di "non esplosività" del prodotto, e in questo consiste il loro principale carattere innovativo. Anche dal punto di vista ambientale vi sono notevoli vantaggi. Le emulsioni non contengono residui non degradabili o componenti che potrebbero interagire con il terreno o inquinare le falde acquifere. Da prove effettuate, risulta che l'acqua defluita dalla roccia dopo il tiro ha un contenuto di nitrati più basso rispetto ad altri esplosivi.

È interessante osservare che, al variare della densità, o della percentuale di additivi energizzanti nella miscela, ad es. l'alluminio, è possibile ottenere una gamma di prodotti con differente energia specifica,

Esplodono solo al momento giusto

figure 1 e 5 Esempio di deposito dei precursori non esplosivi delle emulsioni bicomponenti sfuse. Nel contenitore sospeso è conservata la matrice (22 t), nei container il gassificante (nitrito di sodio diluito) e il correttore di acidità (acido acetico diluito).

figura 2 Sistema di trasporto a coclea della matrice per la produzione delle emulsioni esplosive bicomponenti (Westsprenng, Germaia, 2004)



con grande versatilità d'impiego. Valori di velocità di detonazione elevati, oltre ad assicurare una buona frammentazione, rendono le emulsioni idonee all'impiego come carica di fondo o come booster per gli esplosivi sordi. Le emulsioni, comparate alle gelatine dinamiti ed agli slurry, risultano meno sensibili agli urti e agli attriti; inoltre sono resistenti all'acqua e non devono essere incartucciate per l'utilizzo in fori bagnati. L'acqua presente nel foro viene spiazzata dal caricamento dell'emulsione. Anche la qualità dei fumi prodotti dall'esplosione è migliore di quella di altri esplosivi convenzionali. Le emulsioni producono, infatti, un volume di gas tossici (NOx, CO) marcatamente inferiore rispetto agli esplosivi a base di NG o agli AN-FO. Ciò è conseguenza diretta della miscelazione più spinta, grazie alla quale la reazione tende ad avvenire nella sua completezza, sviluppando una minore quantità di gas nocivi. Tale aspetto è rilevante nei cantieri in sotterraneo, dove le caratteristiche dei fumi influenzano sia le condizioni igieniche dell'ambiente sia la

velocità di esecuzione dei lavori. Il fronte diviene infatti accessibile più velocemente dopo la volata e ciò consente una riduzione sia dei tempi di ciclo sia dei costi di ventilazione.

■ ■ Affidabilità delle bicomponenti

Le emulsioni bicomponenti, che costituiscono un notevole perfezionamento di quelle convenzionali, sono in Italia una novità assoluta. Come per ogni altro prodotto, il processo evolutivo è stato guidato dalla ricerca di maggiori livelli di competitività la quale, soprattutto nel campo degli esplosivi, è determinata da affidabilità ed efficienza. L'affidabilità è da intendere in termini di incremento della sicurezza in tutte le fasi che caratterizzano l'esistenza di un esplosivo, dalla produzione all'utilizzo e allo smaltimento degli eventuali residui. Poiché le emulsioni sono costituite da una miscela di sostanze non esplosive, si è pensato di scindere e mantenere separate queste sostanze fino al momento dell'impiego, ossia fino al caricamento nei

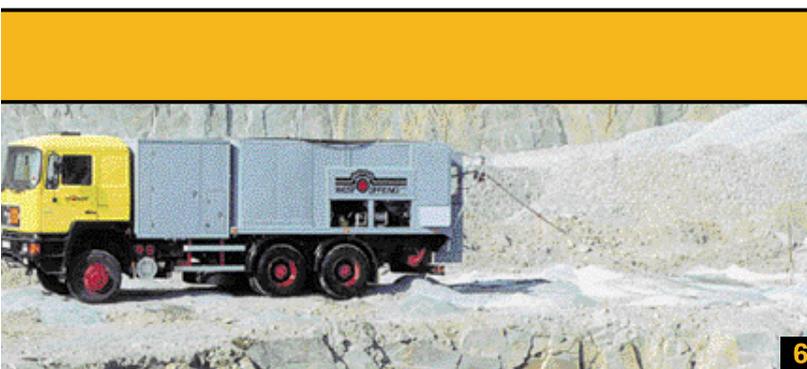
**4****5**

figura 3 Fotografia al microscopio elettronico di una emulsione esplosiva e rappresentazione della struttura a nido d'ape (Nitrochimie EPC, 1998)

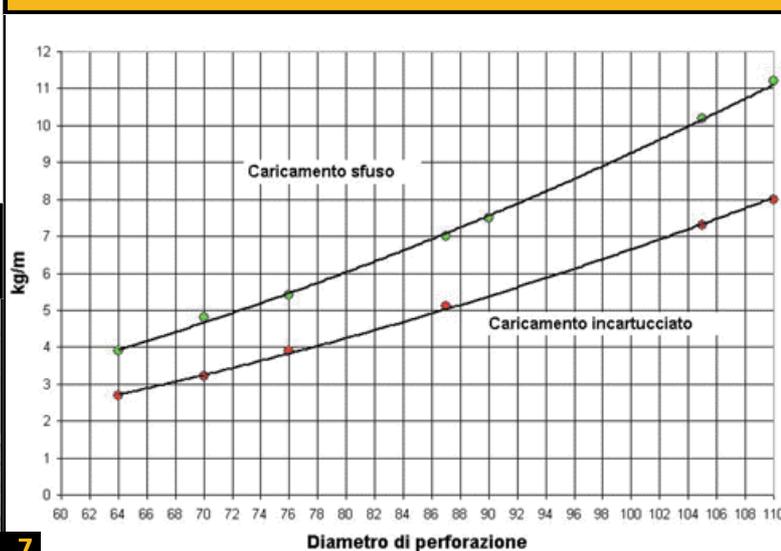
figura 4 Il foro allestito per l'innesco e l'inserimento dell'innesco. Si osservano il detonatore Nonel e il booster (miccia detonante). (Roberti, 2004)

fori. Si ottiene così un prodotto che fino a pochi istanti prima dell'utilizzo non può essere considerato esplosivo, con enormi vantaggi dal punto di vista della sicurezza. L'efficienza è valutata attraverso considerazioni di tipo tecnico-economico. Si è cercato di sviluppare un esplosivo estremamente adattabile ai diversi tipi di impiego (a cielo aperto, in sotterraneo, per lavori di produzione o di profilatura, ecc.), ma anche alle diverse variabili al contorno (tipo di roccia, condizioni idrogeologiche, stato dell'ammasso, diametro di perforazione). La possibilità di variare i parametri dell'esplosivo, come la densità e la velocità di detonazione (caratteristiche che per questo tipo di esplosivi risultano correlate tra loro), consente all'operatore di adattare la volata in base ai risultati attesi e alle differenti condizioni operative che si possono riscontrare. Altrettanto notevoli sono i vantaggi del caricamento sfuso di un esplosivo energeticamente comparabile alle dinamiti. Il perfetto accoppiamento tra carica e foro, non realizzabile con gli esplosivi incartucciati, consente di ridurre il numero dei fori a parità di volume da abbattere: ciò comporta notevoli vantaggi economici, in quanto da una riduzione della perforazione specifica conseguono la riduzione dei tempi necessari all'esecuzione dei fori ed una minore usura degli utensili. Il risparmio non è legato esclusivamente agli aspetti tecnici. La maggior quota parte dei costi compete infatti alle operazioni di trasporto e stoccaggio. Ciò è dovuto alla natura intrinsecamente pericolosa degli esplosivi, che richiede misure di sicurezza, sia in termini di personale sia di mezzi. Esplosioni accidentali di depositi o di mezzi durante il trasporto sono eventi rarissimi, ma dalle conseguenze disastrose. Rare, ma disastrose sono anche le sottrazioni di materiale esplosivo per fini illeciti. Le specifiche per la costruzione di un deposito sono severe, sia in termini

strutturali sia per la scelta del sito. Inoltre le procedure per ottenere i permessi sono lunghe, rallentate dal complicato apparato burocratico. Poiché non è sempre possibile disporre di un deposito di cantiere, il cliente deve rifornirsi presso i depositi esistenti, i cui costi di mantenimento gravano sul cliente stesso, in quanto sono aggiunti ai costi di trasporto. Gli esplosivi vengono spostati dalla fabbrica al deposito di fabbrica, quindi al deposito di vendita, infine al cantiere di utilizzo. Ad ogni passaggio i costi a carico dell'acquirente aumentano, così come i rischi di sottrazione a fini illeciti. Inoltre, nei cantieri non muniti di deposito è consentito l'approvvigionamento di esplosivo in quantità strettamente necessaria all'esecuzione della volata. Di conseguenza, specie per cantieri di dimensioni limitate, l'incidenza dei costi di trasporto può essere molto rilevante, al punto che spesso si preferisce ricorrere allo scavo meccanizzato. Il risparmio derivante dal trasporto e dallo stoccaggio di materiale non esplosivo è quindi enorme: le sostanze necessarie per la fabbricazione delle emulsioni possono essere stoccate direttamente in cantiere. Inoltre, potendo l'utilizzatore ricorrere quasi esclusivamente a un solo tipo di esplosivo, anziché ad esplosivi diversi per i diversi gruppi funzionali di mine, o per il caricamento misto di grandi mine, il risparmio è ulteriormente incrementato. I sistemi di caricamento sviluppati per questi esplosivi tengono conto del fatto che l'evoluzione del cantiere si orienta verso uno scenario organizzativo in



Un'attenta miscela



cui risulta predominante l'utilizzo di attrezzature e sistemi ad elevata meccanizzazione, sia per diminuire la quantità di manodopera da impiegare in loco sia per la difficoltà a reperirne di specializzata. Secondo queste linee sono state progettate e sviluppate le emulsioni bicomponenti.

■ ■ **Composizione e prestazioni delle emulsioni bicomponenti**

Si tratta di esplosivi composti da una matrice e da un gassificante. La matrice è una soluzione acquosa concentrata di nitrato ammonico emulsionata in idrocarburi, con eventuale aggiunta di alluminio. Presi singolarmente, i due componenti non sono esplosivi. Essi, conservati in contenitori separati, sono miscelati con miscelatore statico in un tubo attraverso il quale sono immessi direttamente in foro immediatamente prima del brillamento. Quando il gassificante è in intima commistione con la matrice, reagisce formando microscopiche bolle che conferiscono alla matrice proprietà esplosive. Le caratteristiche esplosive si manifestano in un arco di tempo variabile, in funzione della temperatura e del diametro di perforazione, da 10 a 20 minuti dopo il caricamento. Esse si mantengono tali solo per un massimo di due giorni, dopo di che le caratteristiche esplosive sono perse per sempre a causa del degrado chimico. Dunque, in tutte le fasi di lavorazione (fabbricazione, trasporto, stoccaggio,

miscelazione, caricamento della volata) il prodotto non è esplosivo. Il caricamento sfuso inoltre in cava rende possibile incrementare la maglia di tiro, con riduzione dell'incidenza della perforazione. Il miglior rendimento dell'esplosivo consente anche la migliore frammentazione dell'abbattuto e la migliore distribuzione del cumulo. In cava alcuni operatori preferiscono contenere la maglia di tiro e aumentare la frammentazione per ridurre i costi dell'abbattimento secondario e facilitare le operazioni di sgombero.

■ ■ **Trasporto, stoccaggio e miscelazione delle emulsioni pompabili**

Le sostanze utilizzate per la composizione delle emulsioni bicomponenti vengono prodotte in fabbrica e trasportate separatamente in cantiere, dove sono stoccate in opportuni container. I serbatoi sono sottoposti a protezioni ignifughe per aumentarne la resistenza qualora siano soggetti a sollecitazioni termiche. La matrice è molto difficile da attivare, e inizia a bruciare solo quando l'acqua che la compone è stata eliminata. L'elevata viscosità ne limita la fuoriuscita accidentale. Le altre sostanze trasportate possono essere granuli di nitrato ammonico e polvere di alluminio, per variare la densità e l'energia dell'esplosivo. Un serbatoio per l'acqua garantisce la pulizia del circuito a fine caricamento. Complessivamente la capacità del mezzo di traspor-

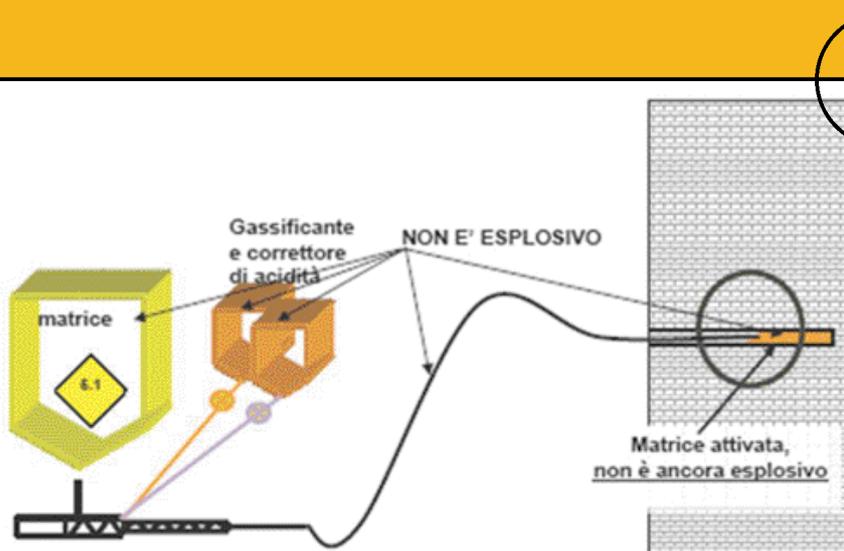


figura 6 Sistema semovente per il caricamento delle emulsioni esplosive sciolte per attività estrattive a giorno (Roberti, 2004)

figura 7 Variazione della carica lineare (kg/m di foro) in funzione del diametro (mm) rispettivamente con esplosivo sfuso e incartucciato (Westspreg, Germania, 2004)

figura 8 Schema di miscelazione e caricamento dei fori da mina con le emulsioni bicomponenti (Medex, Roma, 2004)

◎ Bicomponenti: i vantaggi della sicurezza

Le emulsioni bicomponenti divengono esplosive soltanto poco prima dell'uso. Negli ultimi anni sono state oggetto di notevoli studi finalizzati al miglioramento delle loro prestazioni, raggiungendo caratteristiche di efficacia, sicurezza ed economicità che ne giustificano un impiego sempre più frequente. Esse rispondono ai requisiti richiesti dalle leggi sul miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro (D.Lgs. 626/94) ed in particolare nelle attività estrattive (D.Lgs. 624/96).

I principali vantaggi offerti dalle emulsioni bicomponenti si possono così riassumere:

- **Risparmio dei costi di trasporto.** Con le emulsioni bicomponenti si può ovviare al problema della disponibilità di uno o più depositi (fattore di primaria importanza per operare sul mercato degli esplosivi in Italia) Il trasporto avviene, infatti, ai costi di trasporto di componenti non esplosivi. I componenti possono essere stoccati in area di cantiere e non necessitano di licenze per "esplosivi": le classi di rischio ADR sono 5.1. per la matrice e 6.1. per il gassificante. Non è necessario il trasporto giornaliero come per le forniture di esplosivi incartucciati. Nel caso di limitazione al traffico di merci pericolose, i lavori di abbattimento possono continuare in quanto le materie per il confezionamento degli esplosivi sono già in cantiere, stoccate in quantità tale da soddisfare il fabbisogno durante periodi di interdizione al traffico.
- **Disponibilità in quantità necessarie al momento dell'impiego.** L'esplosivo per la volata si ottiene nel foro da mina per miscelazione dei due componenti non esplosivi pompati al suo interno, come richiesto dagli art. 35 e 36 titolo I, Capo UI del D.Lgs. 624/96. Inoltre non occorre, se il consumo della volata differisce dal previsto, bruciare eventuali eccedenze o, al contrario, ridurre il volume da abbattere a causa della mancanza di esplosivo, come accade con gli esplosivi incartucciati.
- **Riduzione dei tempi di caricamento della volata.** Ricorrendo alle emulsioni bicomponenti sfuse, il tempo di caricamento si riduce a circa il 20-30% di quello necessario per una volata convenzionale di pari entità. Ciò si traduce anche in un incremento delle condizioni di sicurezza, per la riduzione del tempo di permanenza degli operatori in prossimità del fronte.
- **Incremento della sicurezza per gli operatori.** La considerazione è valida per tutte le fasi lavorative (stoccaggio, trasporto, innesco e caricamento), in quanto il prodotto non è esplosivo. Il principio di sostituire un mezzo potenzialmente pericoloso con uno meno pericoloso è esemplificato dall'articolo 62 della 626/94. Ciò è quanto si verifica utilizzando esplosivi privi di nitroglicerina, TNT e DNT, le cui caratteristiche nocive sono da tempo note. Inoltre, a differenza dei normali mezzi che trasportano esplosivi, i camion per il caricamento delle emulsioni sfuse possono muoversi liberamente all'interno del cantiere senza pericolo per gli operatori (art. 312, D.P.R. 128/59). Il numero di operatori necessari a compiere la successione delle fasi è ridotto, con una conseguente riduzione dei costi.
- **Miglioramento delle condizioni di pubblica sicurezza.** Ciò consegue dall'eliminazione del deposito e del trasporto di esplosivi su strada, e del rischio di sottrazione di esplosivi per fini illeciti.
- **Riduzione dei costi di perforazione e miglioramento delle prestazioni dell'esplosivo grazie al completo accoppiamento carica/foro:** con gli esplosivi incartucciati, il 40-50% del foro non è caricato e la pressione esercitata dai gas viene smorzata, con conseguente riduzione dell'efficacia del tiro. Inoltre, la possibilità di variare la densità di carica permette di ottenere esplosivi adattabili di volta in volta alle caratteristiche del sito; da ciò consegue anche una riduzione delle spese dovute all'utilizzo di esplosivi diversi all'interno della stessa volata. Bassa produzione di gas pericolosi. Grazie a ciò, non solo i tempi di sfumo risultano molto ridotti, ma si rispettano anche i termini imposti dall'articolo 45, titolo II, Capo 1 del D.Lgs. 624/96 e dall'articolo 72 U del D.Lgs 626/94 sulla protezione dagli agenti chimici.

to è compresa tra 1 e 15 t (Harrington, 1989). La portata delle pompe varia da 50 a 200 kg/minuto. Per le operazioni in sotterraneo, i mezzi di trasporto possono essere attrezzati con cestello per il caricamento dei fori alti. Inseriti l'innesco e il tubo a fondo foro, si procede con il caricamento, che può essere manuale o automatico. Il sistema è in grado di variare la composizione della miscela sia lungo il foro, sia tra i diversi fori della volata, stampando una tabella contenente tipi e quantitativi esatti di esplosivo caricati nei singoli fori. Variando, previa programmazione al pannello di controllo, quantità di polvere di alluminio, di agente gassificante e di prills di NA, si ottengono le formulazioni dei vari tipi di esplosivi

(tutti marchiati CE e riconosciuti idonei dal Ministero delle Attività Produttive) per il ruolo che essi devono svolgere: carica al piede, carica di colonna, rinora, produzione e profilatura, resistente all'acqua. Poiché la viscosità delle emulsioni è stabile nel tempo, non è necessario effettuare la pulizia del circuito di pompaggio dopo il caricamento di ogni foro (operazione invece necessaria per gli slurry), ma l'intera operazione può essere eseguita al termine del caricamento della volata. Grazie all'elevato livello di automazione, il numero di operai necessari ad assicurare il corretto caricamento della volata è ridotto a 2, con ulteriori vantaggi sia dal punto di vista della sicurezza sia da quello dei costi. ◎