

# Sicurezza esplosiva in una DEMOLIZIONE CONTROLLATA

Demolizione controllata con esplosivo di una galleria naturale instabile e pericolosa lungo la statale dei laghi n. 421 **GIACOMO NARDIN\*** e **CLAUDIO VALLE\*\***

## Premessa

Nel corso del 2006 una delle gallerie parietali della strada statale dei laghi di Molveno e Tenno n. 421 nel tratto che da S. Lorenzo in Banale porta a Molveno, iniziò a palesare evidenti problematiche di stabilità.

Dopo i primi crolli che interessarono il piedritto di valle sul lato San Lorenzo, l'interpretazione dei dati del monitoraggio predisposto dal Servizio Geologico della P.A.T., consentiva di apprezzare un evidente sviluppo del quadro defor-

mativo e quindi, a fronte di un provvedimento di sospensione cautelativo del transito, sorgeva la necessità di un intervento tempestivo destinato a ripristinare le necessarie condizioni di sicurezza. Nello specifico dopo alcune valutazioni circa le migliori modalità di intervento venne adottata la scelta di una totale rimozione delle porzioni d'ammasso degradate entro le quali era ricavata la galleria naturale. Le condizioni al contorno delle porzioni di roccia da abbattere obbligavano però ad un attento esame della situazione in quanto si ren-

deva assolutamente necessario evitare il danneggiamento della sede stradale esistente e degli edifici della frazione posta ai piedi del versante e, non ultimo, limitare al massimo le vibrazioni indotte nel versante stesso soprattutto per contenere le sollecitazioni indotte sulla nuova galleria in fase di costruzione, ubicata all'interno del versante a circa 50 m dalla zona di brillamento. I rilievi topografici effettuati dal geom. Walter Nardelli con stazione totale e gps hanno permesso di ricostruire un volume di roccia da abbattere di circa 4.058 mc isolato a monte da

un piano di faglia molto pervasivo e alla base dal cavo della vecchia galleria. La lunghezza complessiva del tratto di galleria oggetto di intervento raggiungeva i 30 metri per uno spessore medio di circa 8,0 – 10,0 m. Sulla base dei riscontri effettuati sulla qualità della roccia e sulle particolari condizioni dell'ammasso roccioso è stato progettato uno schema di volata con 256 fori da mina caricati complessivamente con 650 kg di esplosivo, 870 ml di miccia detonante e 250 detonatori.

Vista da sud prima della volata



Vista da sud dopo la volata



\* DOTT. GEOL. SO.GE.CA. S.R.L.

\*\* DOTT. GEOL. GEOLOGIA APPLICATA



Vista da nord in fase di perforazione

## Aspetti geologici-strutturali predisponenti il dissesto

La zona in oggetto ricade all'interno di un motivo strutturale regionale ben noto in letteratura come *sovrascorrimento di San Lorenzo in Banale*. In modo particolare la zona ricade all'interno del fianco meridionale dell'anticlinale di rampa del sovrascorrimento nel punto in cui si assiste alla forte verticalizzazione della serie stratigrafica liassico-cretacea. A tale struttura principale si accompagnano gli effetti macro e meso-strutturali correlabili a faglie trascorrenti appartenenti al fascio di strutture afferenti la Linea di Molveno. A queste ultime vanno sicuramente ricondotte le imponenti fasce cataclastiche con direzione NNO-SSE che caratterizzano localmente l'ammasso ed entro le quali è stata scavata la galleria stradale. L'ammasso roccioso che caratterizza la galleria naturale interessata dallo stato di dissesto presenta pertanto un pattern fessurativo ascrivibile ad un vero e proprio clivaggio con effetti disastrosi sulle condizioni di continuità della matrice rocciosa. A tale situazione di "matrice" si accompagna la presenza

Vista da nord dopo la volata



di importanti strutture da subverticali a mediamente inclinate allineate in senso NNW-SSE lungo le quali si riconoscono evidenti macro e meso-indicatori cinematici di trans-tensione che delimitano fasce cataclastiche piuttosto imponenti per estensione. Nel complesso tali strutture sono state attribuite a piani di taglio cui si correlano iniziali linee transpressive, e solo successivamente riattivate dalla fase distensiva, che comprendono lateralmente la piega trascinata che caratterizza il versante roccioso sovrastante la loc. Moline. Tali strutture si presentano nell'ammasso con spaziatura variabile tra un minimo di 50cm ed un massimo di 3m circa venendo a costituire un'ampia zona di plasticizzazione dell'ammasso roccioso ordinata per fasce subverticali a sviluppo ondulato.

Lo spessore della fascia cataclastica nel suo complessivo sviluppo veniva stimato nell'ordine di grandezza dei 15m. I primi collassi del piedritto rientravano appieno in un trend di affaticamento della matrice cataclastica che, a seguito di fenomeni di dilatanza lungo le grandi superfici consentiti dallo scarso confinamento sul piano orizzontale al permanere di condizioni di carico invariato sull'asse verticale, con riduzione progressiva della resistenza a taglio disponibile soprattutto lungo le interfacce ad alta continuità. Su condizioni strutturali preesistenti favorevoli allo svincolo cinematico, quali fattori predisponenti la deformazione, si affiancava una condizione di criticità della resistenza disponibile sia lungo le interfacce strutturali che a livello di matrice rocciosa stessa. A fronte di un tale panorama risultava evidente che un intervento conservativo di recupero, oltre che rischioso sotto il profilo operativo e fortemente dispendioso, conteneva in sé un ristretto margine di riuscita.

## Metodo di lavoro

Sulla base dei riscontri e delle stringenti condizioni al contorno venne pertanto individuata come migliore soluzione di intervento l'abbattimento dell'intera porzione rocciosa entro la quale era ricavata



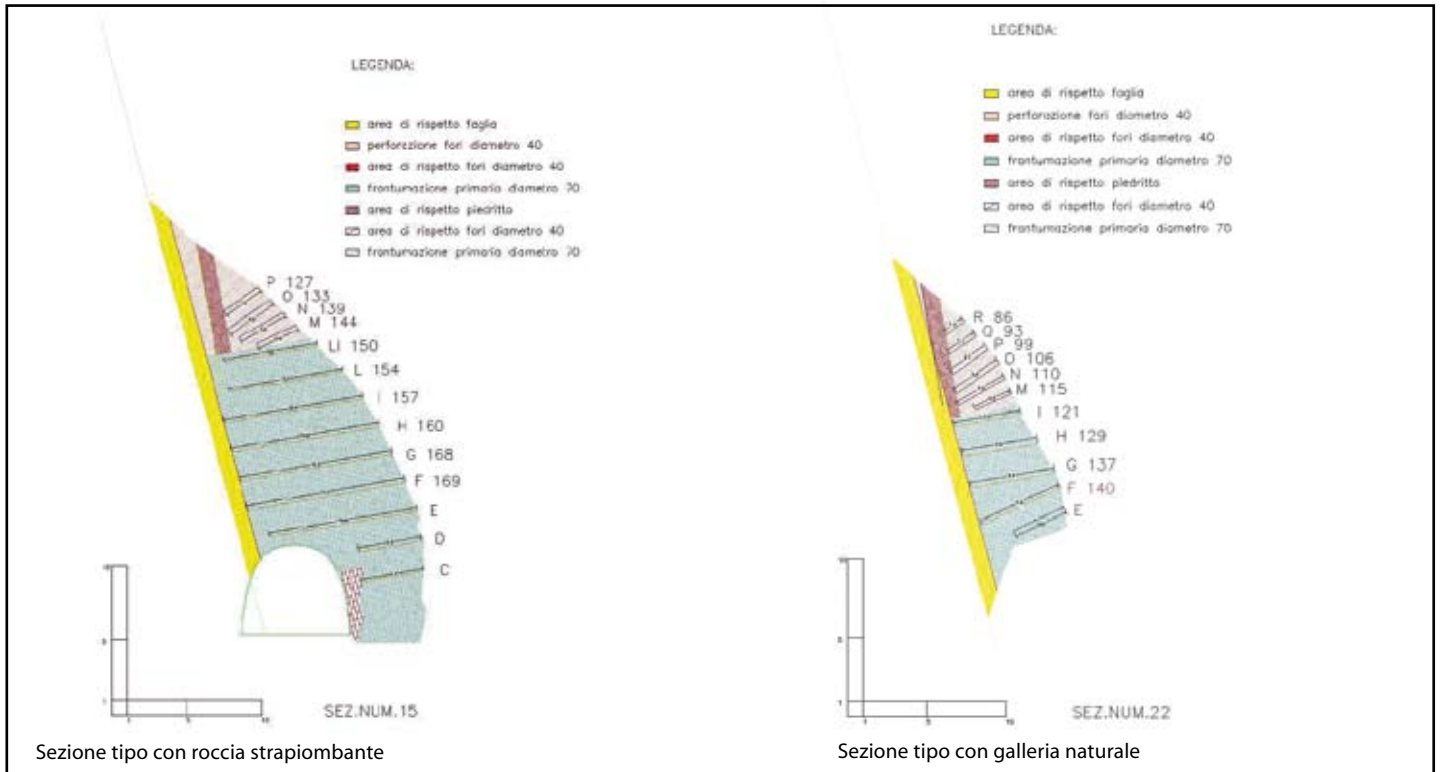
Vista sul versante in primo piano si vedono le case della frazione in secondo piano sul versante si vede la galleria prima della volata

la galleria naturale.

Nel caso specifico il lavoro dell'esplosivo consisteva nella disaggregazione di una massa già fortemente ammalorata e pertanto non si trattava di vincere chissà quali resistenze di matrice, bensì di esercitare uno stato di sovrappressione nel fittissimo pattern fessurativo preesistente. L'ottimizzazione dell'abbattimento con esplosivi passava quindi per una drastica riduzione della carica unitaria grazie ad un'elevata distribuzione dei fori all'interno del volume da abbattere. In questo modo è stato possibile prevedere una buona comminazione del materiale da abbattere al fine di limitare i danni alla sede stradale esistente o peggio il rotolamento di massi di rilevanti dimensioni verso la frazione sottostante.

Allo scopo è stata definita la caratterizzazione sismica del sito, al fine di effettuare una stima attendibile delle vibrazioni prodotte dalla volata di mina. Nello specifico è stato fatto riferimento alla norma UNI 9916 2004. In via preventiva, in assenza di misure dirette, è stata determinata la carica massima unitaria, prendendo a riferimento i valori di vibrazioni ammessi dalla normativa ed i valori di trasmissività dell'ammasso roccioso desunti dalla caratterizzazione geomecanica e dai dati di letteratura.





L'entità del possibile assorbimento delle vibrazioni da parte della discontinuità rappresentata dalla foglia, in ragione dell'assenza di misure di campagna, in via cautelativa è stata trascurata. Quanto sopra premesso la carica simultanea è stata fissata pertanto in kg. 11,0

### Problematiche di progetto

Attraverso un'attenta ottimizzazione della distribuzione dell'esplosivo all'interno della massa da abbattere si è garantita la massima omogeneità della distribuzione della carica.

Questa è stata ottenuta distribuendo la maglia di perforazione in maniera regolare ma anche spaziando la stessa carica all'interno del singolo foro, al fine di

evitare la concentrazione dell'esplosivo a fondoforo.

Il rilievo topografico di dettaglio incrociato con i risultati dello studio strutturale dell'ammasso hanno permesso di stabilire l'esatto andamento della foglia all'interno delle porzioni da abbattere e calibrare la lunghezza dei fori da mina. A scopo cautelativo, e al fine di evitare sconvenienti energizzazioni oltre il piano di foglia, i fori da mina sono stati spinti fino a circa 1,5 m dalla probabile posizione della discontinuità.

In questo modo poteva essere appunto garantita l'ottimizzazione della volata senza andare ad intaccare o deteriorare la stabilità del fronte roccioso risultante a seguito della volata.

Tale ottimizzazione avrebbe altresì limitato la propagazione di energia elastica

nelle porzioni più interne dell'ammasso e quindi anche a ridosso della galleria in costruzione.

Il previsto crollo di circa 4000 – 5000 mc, buona parte dei quali provenienti da circa 20 m di altezza, avrebbe potuto esercitare un tale azione meccanica lungo il versante sottostante da causare danni importanti alla sede stradale.

Al fine di salvaguardare il piano viabile è stata individuata, come intervento di mitigazione dei probabili effetti, la preservazione della spalla esterna della galleria, con funzione di argine naturale. L'argine di roccia inoltre avrebbe potuto favorire un migliore trattenimento del materiale abbattuto sulla sede stradale. La riduzione delle proiezioni di frammenti rocciosi verso valle è stata definita anche attraverso il dimensionamento

La sequenza dell'abbattimento con esplosivo



lunghezza foro [m]	diametro [mm]	volume max [mc]	perforazione specifica max [ml/mc]	n. cariche effettive	kg espi per foro
2	32	1,8432	1,09	3,5	0,50
3	32	2,7648	1,09	5	0,72
4	32	3,6864	1,09	6,5	0,93
lunghezza foro [m]	diametro [mm]	volume max [mc]	perforazione specifica max [ml/mc]	n. cariche effettive	kg espi per foro
5	70	20	0,25	7,5	4,46
6	70	24	0,25	10,0	5,95
7	70	28	0,25	12	7,14
8	70	32	0,25	13,5	8,03
9	70	36	0,25	15,5	9,22
10	70	40	0,25	17	10,12

del consumo specifico di esplosivo, un limitato sovraccarico del quantitativo di esplosivo necessario alla volata favorisce infatti il lavoro di comminazione della roccia e riduce la possibilità di sviluppo di proiezioni.

Secondariamente il borraggio, quale ostruzione del tratto di foro non caricato, interviene attivamente nel contenimento del lavoro dell'esplosivo all'interno dell'ammasso roccioso, in ragione della difficoltà di effettuare l'ostruzione dei fori con sabbia in parete si è operato utilizzando una boiaccia di cemento sollevata in parete con una pompa idraulica.

## Rilievo topografico

Ai fini di una rigorosa ricostruzione 3D dell'ammasso roccioso finalizzata sia alla esatta cubatura delle porzioni d'ammasso interessate dall'abbattimento, sia soprattutto a consentire la ricostruzione di un modello strutturale quale base di partenza per la programmazione dello schema di perforazione e di volata, il rilievo topografico di dettaglio ha costituito un importantissimo supporto alla

progettazione di tutto l'intervento.

Il contributo si è rilevato prezioso soprattutto a fronte della necessità di trasferire alla scala reale della parete l'ubicazione e lo sviluppo dei fori predisposti sul modello.

Grazie al rilevamento combinato delle superfici esterne e dell'intradosso galleria è stato possibile trasferire esattamente in parete quanto già tracciato sul modello, riferendosi ovviamente alla ubicazione della testa dei singoli fori da mina, la loro orientazione, inclinazione e lunghezza.

## Ottimizzazione del sistema di perforazione

La progettazione ha cercato di ottimizzare la perforazione specifica al fine di ridurre in parete i punti di posizionamento. In questo modo è stato scelto di operare con due diametri, 70 mm per fori di lunghezza mediamente superiore a 4 - 5 ml, 40 mm per fori di lunghezza inferiore.

La direzione di perforazione è stata fissata in relazione all'orientazione media del piano di faglia, cercando di impostare una rete di fori con andamento circa perpendicolare

alla stessa.

I fori eseguiti con perforatrice su slitta sono stati mantenuti debolmente inclinati mentre quelli eseguiti con fioretto per evidenti problematiche operative sono stati eseguiti leggermente più inclinati.

In ragione della presenza di un generale detensionamento nell'ammasso roccioso da abbattere, ed in ragione della sostanziale bassa inclinazione dei fori, si è provveduto a incamiciarli con tubi in pvc.

L'utilizzo di fori di piccolo diametro ulteriormente ridotti dall'uso delle camicie in pvc ha portato a propendere per l'uso di esplosivo tipo gelatinoso, quindi sensibile, nei diametri 25 mm e 38 mm.

I candelotti di diametro maggiore spazati lungo il foro sono stati innescati contemporaneamente mediante l'uso di miccia detonante innescata a boccaforo da un detonatore, i candelotti di diametro 25 mm sono stati innescati direttamente con detonatore.

## Tipologia di esplosivo e degli inneschi

Il dimensionamento della volata è stato effettuato al fine di ottimizzare il lavoro di abbattimento del volume roccioso garan-



tendo un buon lavoro di comminazione del materiale abbattuto.

A questo scopo è stato necessario introdurre una carica di ca. 200 gr per ogni metro cubo di roccia da abbattere, sufficiente non solo a vincere la resistenza a trazione dell'ammasso (di per sé piuttosto bassa) ma soprattutto a creare il giusto grado di sovrappressione all'interno del pattern fessurativo per raggiungere un elevato grado di frantumazione del materiale.

La particolare esposizione dell'area di progetto unita all'elevato numero di inneschi da collegare, ha portato a valutare anche la possibilità di improvvisi cambiamenti meteorici in fase di caricamento o in fase di realizzazione dei collegamenti. In questo senso si è ritenuto di utilizzare detonatori ad onda d'urto insensibili alle correnti vaganti. Inoltre la scelta di utilizzare detonatori ad

onda d'urto di tipo *Duodet* ha permesso di gestire i ritardi "a cascata" in quanto ogni detonatore è in grado di imprimere un ritardo discreto (25 ms) ai detonatori ad esso connessi. In questo modo è stato possibile avere a disposizione un numero sovrabbondante di ritardi e quindi ottima possibilità di frazionare il quantitativo della carica unitaria innescata contemporaneamente.

## Risultati

La volata dopo una lunga fase di perforazione effettuata dalla ditta Battocchi Giorgio srl di Daone durata un mese ha richiesto due giorni per il caricamento e perfezionamento dei collegamenti fra i detonatori.

Le vibrazioni prodotte dalla volata sono state monitorate da tre apparecchiature

di misura posizionate due direttamente all'interno del cavo della nuova galleria in corrispondenza dell'area di brillamento e una all'interno di un condotto di aerazione perpendicolare al condotto principale a circa 150 ml dall'area del brillamento. Le misure hanno confermato valori di picco compresi fra 2,79 mm/s all'interno del cavo della galleria nel lato verso valle e 2,66 all'interno del condotto di aerazione.

La spalletta esterna della vecchia galleria ha agevolato il trattenimento del marino della volata mentre la fascia di protezione a monte della faglia ha garantito la buona pulizia del versante e contemporaneamente ha protetto la parete messa a nudo dalla volata da possibili danneggiamenti. La buona comminazione del marino della volata ha protetto dalla caduta massi la frazione sottostante come la sede stradale della strada statale. ■