PROGETTISTA

GEODES S.r.l.

COMMITTENTE

PAC S.p.A., per conto della Provincia Autonoma di Bolzano

OGGETTO INCARICO

Progettazione in corso d'opera e assistenza geologica-geotecnica per i lavori di costruzione della galleria S. Daniele, in comune di Ora (BZ)

IMPORTO DELL'OPERA

€ 23.242.433,55 di cui € 12.501.477,25 per le opere in sotterraneo

CATEGORIA PROGETTAZIONE

IXc - Gallerie

DESCRIZIONE DELL'OPERA

Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi e dei terreni, dimensionamento delle opere strutturali e verifiche di stabilità degli scavi, relativi all'esecuzione della galleria San Daniele nell'ambito del progetto della Circonvallazione di Ora della S.S. 12 con collegamento alla S.S. 48 Ora - S. Lugano, nel Comune di Ora (BZ).

PERIODO DI ESECUZIONE

2009 – in esecuzione

PROFESSIONISTI RESPONSABILI

Ing. Luisella Vai – Progettista e Geotecnica
Dott. Riccardo Amici – Geologia

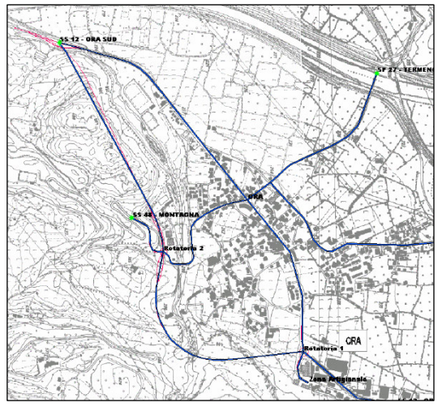
DESCRIZIONE PARTICOLAREGGIATA

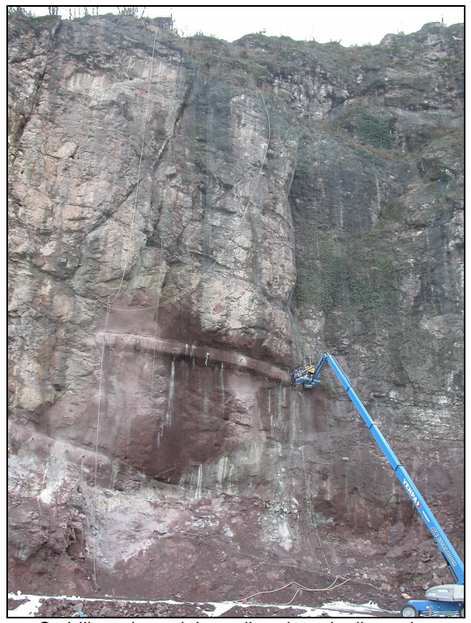
Il progetto è relativo alla realizzazione di una strada di circonvallazione, quale variante alla Strada Statale n. 12, nel tratto relativo all'attraversamento del centro abitato di Ora, allo scopo di ridurre il carico da traffico sulla viabitlità urbana.

Dopo una serie di studi preliminari ed un ultimo studio di fattibilità del 1992, la Provincia Autonoma di Bolzano ha indetto un concorso per la realizzazione della circonvallazione. Vincitore del concorso è risultato il Raggruppamento di imprese Bonifica, PlanTeam, Bergmeister, con una soluzione che è stata presentata all'Amministrazione, in forma di progetto preliminare, in data 03.08.2001. La soluzione è stata approvata dall'Amministrazione Provinciale nella riunione n°35 del Comitato Tecnico Provinciale in data 22.10.2001 e sulla base della stessa è stata avviata la campagna di indagini geognostiche. LA Provincia Autonoma di Bolzano, come ente appaltante, ha deciso di dividere il progetto completo in diversi lotti. Il primo lotto ha avuto come contenuto la realizzazione delle opere civili tra Ora Centro e Ora Sud con le gallerie Castelfeder e Montan. Il presente secondo lotto nel tratto Ora Nord, ha previsto:

- le opere civili nel tratto Ora Nord
- la galleria S. Daniele
- il collegamento del nuovo tratto sotterraneo del tracciato principale a Ora Centro
- il collegamento delle rampe d'entrata e d'uscita verso la rotatoria a Ora Centro

Nell'appalto è stato previsto il recupero del materiale derivante dallo scavo della galleria S. Daniele come risorsa lapidea, nota come "Rosso Ora", di tipo ornamentale.





Stabilizzazione del pendio prima degli scavi all'imbocco Sud della galleria

Realizzazione del preanello all'imbocco Sud

Il progetto costruttivo in corso d'opera

La scelta di risolvere il progetto della Circonvallazione di Ora (quale variante della S.S. 12) con un tracciato a monte del centro abitato, date le caratteristiche orografiche dell'area, ha richiesto la realizzazione di lunghi tratti in galleria naturale ed artificiale. La galleria S. Daniele costituisce l'opera più importante del Lotto 2 della Variante alla S.S. 12; si tratta di una lunga galleria bidirezionale con una corsia per senso di marcia.

La galleria naturale ha una lunghezza di 1058 m (dalla progressiva 0+164 m all'imbocco Nord alla progressiva 1+222 m all'imbocco Sud). All'imbocco Nord è presente un portale in artificiale della lunghezza di 15 m (da 0+149 m a 0+164 m), mentre a Sud l'imbocco della galleria risulta più complesso per la presenza a breve distanza della rotatoria per Ora centro e per la S.S. 48 Ora - S. Lugano.

La galleria naturale presenta quindi un camerone a sezione variabile tra la progressiva 0+940 m e l'imbocco Sud alla progressiva 1+222 m, che ospita il tracciato principale e le rampe di collegamento alla rotatoria sopraelevata. Sull'imbocco si trova poi un tratto artificiale tra 1+222 m e 1+237.22 m (cosiddetto portale Sud) da cui fuoriescono le rampe di raccordo alla rotatoria, mentre il tracciato principale continua in galleria artificiale sino a 1+260 m, progressiva di fine lotto, raccordandosi alle opere del Lotto 1.

Lungo il tracciato della galleria naturale sono presenti 2 piazzole di sosta ed emergenza sfalsate, una per ciascun senso di marcia, localizzate alle seguenti progressive:

- tra 0+727.40 e 0+773.40 m, per la carreggiata Nord
- tra 0+557.89 e 0+605.39 m, per la carreggiata Sud

in corrispondenza di quest'ultima piazzola, parte il cunicolo della via di fuga della galleria, avente una lunghezza di circa 210 m ed una sezione utile di 2.50x2.70 m.

La caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi e dei terreni, il dimensionamento delle opere strutturali e le verifiche di stabilità degli scavi sono stati basati sui risultati ottenuti dalla campagna di indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio e sullo studio geologico-geomeccanico inerente le formazioni incontrate nell'area. L'esecuzione dei lavori è costantemente affiancata da un sistema di monitoraggio dello scavo e delle aree adiacenti, mediante estensimetri multibase in foro, e mire topografiche.

Inquadramento geologico e geomeccanico

L'area in esame è compresa nel Distrettto Vulcanico Atesino (DVA), noto in letteratura come "Piattaforma Porfirica Atesina", costituita da una grande depressione tettonica permiana di forma quadrangolare, dove si sono accumulati, in ambiente subaereo, sino a 2 km di vulcaniti, intercalate a depositi di ambiente fluviale e/o lacustre.

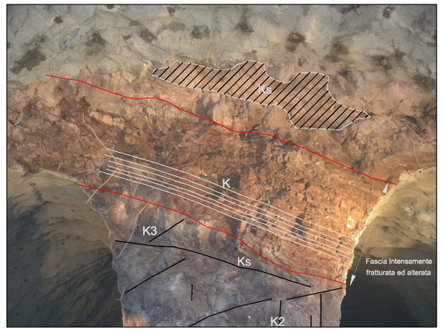
Nella zona delle opere, sono presenti conglomerati, areniti e ignimbriti riolitiche del Permiano Inferiore appartenenti, rispettivamente, alle seguenti unità:

- Conglomerati del Rio Nero (conglomerati e areniti)
- Ignimbriti riolitiche di Ora.

Sulla base delle indagini svolte in fase di progetto è stato tracciato il profilo geologico e geomeccanico in asse alla galleria S. Daniele, la quale si sviluppa per la maggior parte nel membro inferiore dell'unità dei Conglomerati del Rio Nero, costituito da conglomerati ignimbritici.

Dal punto di vista geomeccanico, l'ammasso roccioso incontrato dalla galleria è stato classificato in accordo alla Classificazione Geomeccanica di Bieniawski (1989), sulla base del valore caratteristico dell'indice di classificazione RMR, determinato attraverso le indagini condotte in sito ed in laboratorio.

In accordo alla caratterizzazione geologica e geomeccanica dell'ammasso roccioso lungo il tracciato, è stato possibile fare una proiezione delle tratte di galleria dove, in base alla geometria della sezione di scavo, è possibile prevedere il recupero del conglomerato ignimbritico come risorsa lapidea utilizzando metodi di scavo tipici delle cave in sotterraneo. Il recupero della risorsa lapidea in grossi blocchi o pezzame per pavimentazioni dipende dal grado di fratturazione dell'ammasso roccioso.



Ed. 05/2007
GEODES
Piazza Arturo Graf, 124 – 10126 Torino

Sezioni tipo di scavo

In base alle dimensioni delle sezioni considerate e al tipo di formazione attraversata, sono state definite differenti modalità di avanzamento e di rivestimento necessario alla stabilità provvisoria e definitiva. Un ulteriore variazione nella metodologia di scavo è stata considerata nelle zone di cavigione delle risorse lapidee.

Per raggiungere degli ottimi obiettivi in termini di sicurezza e recupero di grossi blocchi (ove possibile), è stata adottata una tecnica mista di scavo che utilizza il taglio cieco con filo diamantato unito all'avanzamento con esplosivo o il solo avanzamento con esplosivo, in funzione delle condizioni della roccia.

Per le sezioni tipo (escluse le zone delle piazzole di sosta e il camerone), la tecnica di avanzamento mista è stata sviluppata parzializzando lo scavo in due fasi, con recupero di blocchi di grandi dimensioni nel ribasso e recupero di pezzame nella calotta rispettivamente usando filo diamantato ed esplosivo.

Nel caso della sezione di scavo della piazzola di sosta, lo scavo del ribasso è stato ulteriormente parzializzato in senso orizzontale incrementando la produttività del sistema di taglio stesso.

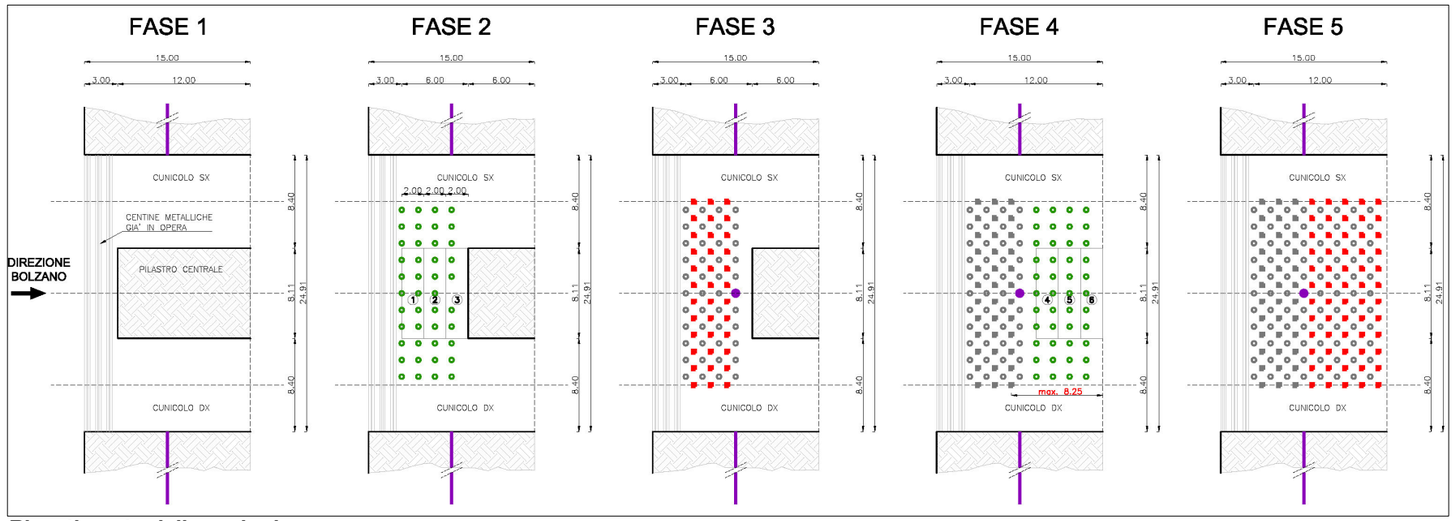
Le sezioni di scavo del camerone, data la notevole luce libera di 31 m, sono state scavate a sezione parzializzata, così suddivisa: cunicoli laterali, scavo della calotta in tre fasi, scavo dello strozzo e, dopo il completamento di tutta la sezione, scavo del ribasso che ospita le corsie di marcia del tracciato principale.

Scavo del pilastro centrale - Disgaggio

Bullonatura della chiave di calotta da rampa

Messa in opera dello spritz-beton

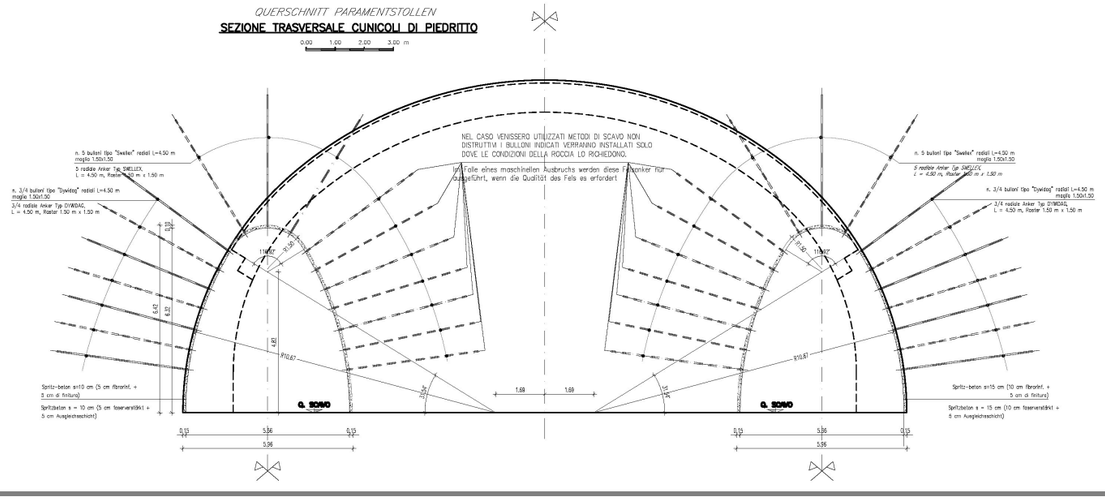
Rivestimento di prima fase completato



Rivestimento delle sezioni

Il sistema di sostegno adottato si compone di un rivestimento di prima fase costituito da bulloni tipo Swellex, disposti su maglia regolare e da uno strato di calcestruzzo proiettato. Il dimensionamento della lunghezza dei bulloni, della maglia e lo spessore dello Spritz-beton sono progettati in funzione della larghezza della sezione di scavo e delle condizioni della formazione rocciosa attraversata. Il rivestimento di seconda fase è costituito da calcestruzzo proiettato di sezione variabile dalla calotta a i piedritti.

Tutte le sezioni sono armate con bulloni e Spritz-beton, tuttavia le modalità di installazione del sostegno si differenziano per la diversa parzializzazione dello scavo della sezione di galleria , la cui dimensione trasversale varia dai 19 m agli oltre 30 metri del camerone.



Ed. 05/2007
GEODES
Piazza Arturo Graf, 124 – 10126 Torino

Monitoraggio

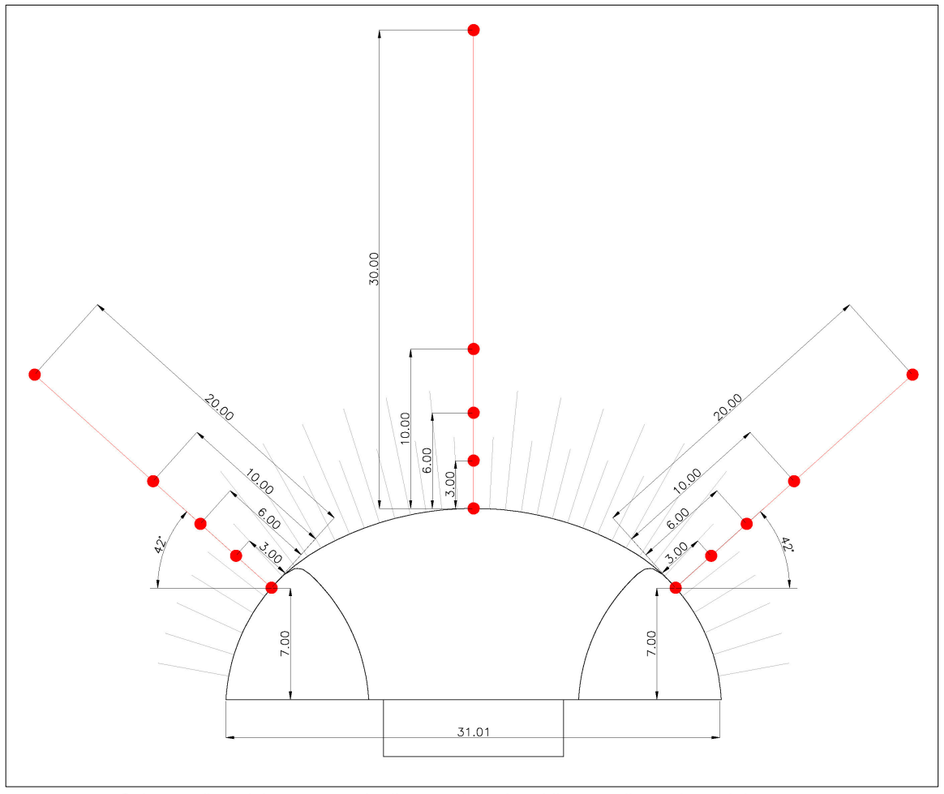
Il sistema di monitoraggio installato nelle diverse sezioni dello scavo ed in particolare nel camerone data l'importanza dell'opera, è costituito da allineamenti di estensimetri e stazioni di convergenza.

Gli allineamenti di estensimetri sono stati posti alle reni della galleria e in chiave di calotta. Gli estensimetri adottati sono a lettura manuale alla testa dello strumento mediante comparatore centesimale. Questo tipo di strumento permette di valutare l'andamento degli spostamenti in funzione del tempo per ciascuna delle basi degli estensimetri. Gli estensimetri utilizzati hanno lunghezze comprese tra 20 e 30 metri in modo da poter meglio definire la fascia di roccia allentata attorno allo scavo e il comportamento dell'ammasso roccioso all'apertura della galleria e durante l'avanzamento dello scavo.

Le stazioni di convergenza sono materializzate mediante cinque mire topografiche su allineamenti trasversali all'asse della galleria.

La posizione delle mire viene rilevata mediante battute topografiche con stazione totale con precisione ±0.001 m. I risultati vengono elaborati in termini di variazione di lunghezza di 6 corde che uniscono i vertici materializzati dalle mire topografiche in funzione del tempo.

Questa tecnica di misura consente la valutazione della convergenza della galleria e maggiori informazioni sul comportamento dell'ammasso roccioso.



Schema di posizionamento degli estensimetri multibase sulla sezione del camerone

Modellazione numerica

Per valutare lo stato tensio-deformativo nell'ammasso roccioso e lo stato di sollecitazione negli elementi di rinforzo, a seguito dello scavo del camerone dell'imbocco sud, sono state eseguite delle analisi con il Metodo degli Elementi Finiti in campo bidimensionale. E' stato quindi simulato l'avanzamento dello scavo, considerando le condizioni geometriche previste da Progetto e le caratteristiche di resistenza e deformabilità dei diversi materiali, nonché le modalità esecutive (avanzamento con scavo dei cunicoli laterali e successivo abbattimento del setto centrale.

Lo scopo delle analisi è stato quello di individuare le problematiche connesse all'esecuzione dello scavo della galleria, alla luce delle nuove proposte di intervento di presostegno avanzate a seguito dei rilasci di materiale in chiave di calotta. Di particolare interesse risulta essere la fase di completamento, con la rimozione del setto centrale fra i cunicoli laterali, con attenzione all'estensione delle zone plasticizzate e allentate e al comportamento degli elementi di rinforzo scelti.

Le analisi numeriche di simulazione delle scavo, con il Metodo agli Elementi Finiti, sono state condotte in campo bidimensionale, in condizioni di deformazione piana, utilizzando il codice di calcolo *Phase2*.

Nel codice *Phase2*, l'avanzamento dell oscavo viene simulato applicando all'interno del perimetro di scavo delle forze distribuite, pari all'aliquota dello stato tensionale originario non ancora rilasciato. Progressivamente queste forze vengono ridotte, sino ad annullarsi in corrispondenza del rilascio totale dello stato tensionale.

Il metodo di analisi comporta:

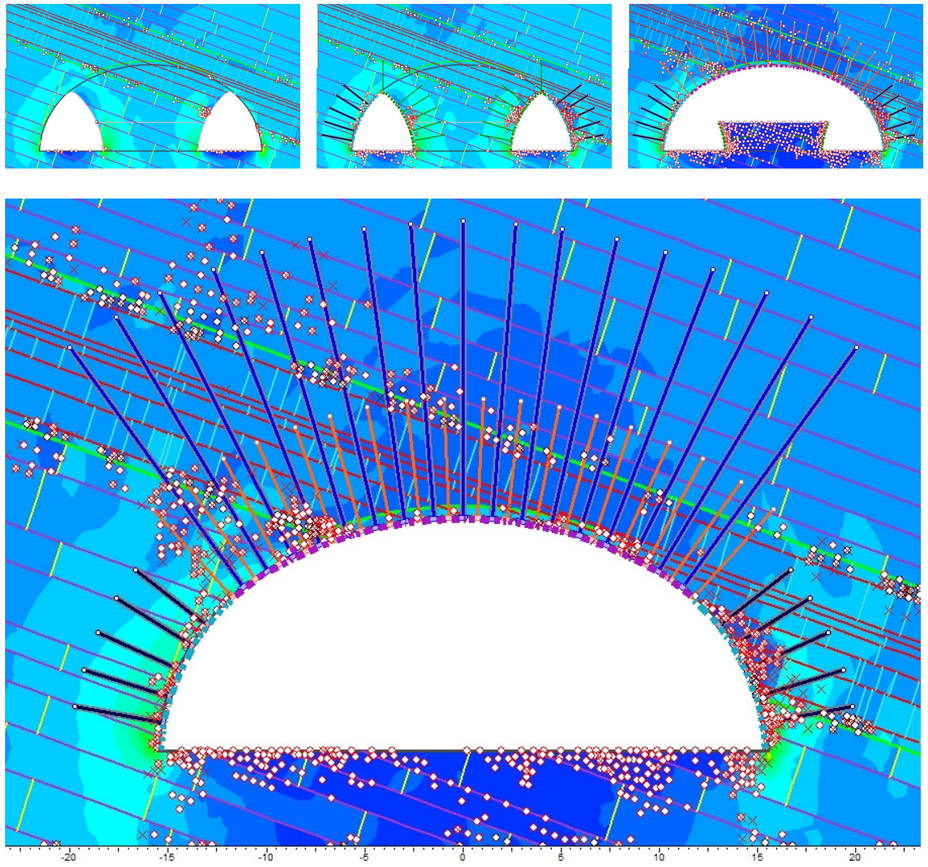
- definizione del modello numerico
- definizione delle leggi sforzo-deformazione e di resistenza dei materiali interessati
- definizione dello stato tensionale preesistente nell'ammasso roccioso
- simulazione delle fasi esecutive previste.

I modelli utilizzati sono stati sufficientemente estesi in profondità e lateralmente, in modo tale da permettere di ritenere trascurabili le condizioni al contorno. L'ammasso roccioso è stato discretizzato con elementi 2D a 6 nodi dimensionati in funzione della distanza dalla galleria. Per lo spritz-beton sono invece stati utilizzati elementi tipo "trave", connessi con l'amamsso roccioso ai nodi di contorno della superficie di scavo. Per simulare i chiodi tipo Super-swellex e le bullonature sono stati utilizzati specifici elementi presenti nel software di calcolo atti, per gli Swellex, a simulare l'effetto di "confinamento" indotto sull'ammasso al contorno del cavo e per le barre a simulare l'interazione bullone-malta e malta-roccia. Le barre "marciavanti" a protezione delle maestranze sono state considerate come contributo a taglio nella. fascia prossima al contorno di scavo

Nelle analisi svolte lo stato tensionale è stato supposto di tipo geostatico; per simulare le discontinuità presenti nell'ammasso roccioso, è stato inserito un pattern che simula la presenza della stratificazione e del sistema subverticale principale.

I risultati ottenuti hanno permesso di:

- verifica della lunghezza delle bullonature
- verifica a sfilamento della barra
- verifica a rottura della barra.



Ed. 05/2007
GEODES
Piazza Arturo Graf, 124 – 10126 Torino