

Zonizzazione geomeccanica di gallerie minerarie abbandonate: il caso di studio della miniera di Fontana Tasso (Monti del Matese, Campania)

Sossio Del Prete¹, Giuseppe Di Crescenzo²

¹ geologo, Federazione Speleologica Campana / Gruppo Speleologico Natura Esplora

² dottore di ricerca, Dip. Ing. Geot. Sez. Geologia Applicata - Università degli Studi di Napoli "Federico II"

Riassunto

Sui Monti del Matese, nella prima metà del XX secolo, si è concentrata e sviluppata una modesta attività mineraria che ha interessato mineralizzazioni manganesifere nei terreni del Miocene superiore, ma soprattutto il livello bauxitico del Cretacico medio.

Le bauxiti del Matese derivano da sedimenti alloctoni depositatisi sulla superficie erosa dei calcari durante la fase di continentalità tra il Cretacico medio e superiore e sono state oggetto di attività estrattiva, all'inizio del 1900, prima da parte della Società Anonima Monte Mutri e poi dalla Società Anonima Montecatini fino al 1965. Il Gruppo Speleologico Natura Esplora alla fine del 2000 sul Matese ha individuato, esplorato e topografato 12 gallerie minerarie ancora accessibili con uno sviluppo planimetrico variabile tra 10 m e oltre 1500 m per un totale di oltre 3000 m di gallerie sotterranee. I risultati pubblicati risvegliano l'interesse e la memoria storica della comunità locale e si iniziano a far strada le prime idee di una possibile fruizione turistica dei siti. Nell'intento di un possibile intervento di ripristino e messa in sicurezza delle gallerie per una valorizzazione e riconversione del sito a fini didattico culturali, sono stati avviati una serie di studi di dettaglio.

In questo contesto è stata redatta una carta geologica delle gallerie ed effettuata una valutazione della qualità degli ammassi finalizzata ad un'analisi preliminare dello stato di conservazione e di stabilità dell'ipogeo i cui risultati vengono presentati in questa sede.

PAROLE CHIAVE: miniera di bauxite, zonizzazione geomeccanica, Monti del Matese.

Abstract

GEOMECHANICAL CHARACTERISATION OF ABANDONED MINE GALLERIES: THE CASE STUDY OF FONTANA TASSO MINE (MATESE MOUNTAINS, CAMPANIA, SOUTHERN ITALY)

The Matese mountains are carbonatic massif of the Italian southern Apennines with important paleontological sites, epigeal and hypogean karst morphology and naturalistic and environmental evidence. Located at the border between Campania and Molise regions, the massif has an extension of about 1000 km². During the first part of the XX century, a minor mining activity developed there, focused on the Upper Miocene manganiferous mineralisations, and even more on the Middle Cretaceous bauxitic levels. The bedrock of the Matese massif is represented by a 3000 meters-thick Mesozoic carbonatic sequence. Continuity of the sequence is interrupted by bauxite levels of Albo - Cenomanian age.

The Matese bauxite represent an allochthonous sediment deposited on the eroded calcareous surface during the Late - Middle Cretaceous continental phase; this bauxite was mined first by Società Anonima Monte Mutri and then by Società Anonima Montecatini from 1900 to 1965. In this period over 3000 meters of underground galleries were realized, that have been recently explored from speleological investigation by Natura Esplora spelaeological group. The published results have drawn the attention of the local community which started thinking about the touristic exploitation of the site. In the light of this possible cultural and didactic exploitation, a detailed analysis for recovery of the galleries has started. In this note, the authors report the first results of this study, illustrating the geological map of the mine and the outcomes of the geomechanical zonation.

KEY WORDS: bauxite mine, geomechanical characterisation, Matese mountains.

INTRODUZIONE

Il massiccio del Matese occupa una superficie di circa 1000 km². Situato a ridosso del confine campanano-molisano, culmina a 2050 m s.l.m. nel territorio molisano con la cima del Monte Miletto.

Si tratta di uno dei massicci carsici più importanti dell'Appennino meridionale per le numerose e diffuse emergenze geologiche, naturalistiche e ambientali *s.l.* che spaziano dalle morfologie carsiche sia ipogee che epigee, alle tracce del glacialismo quaternario a siti fossiliferi di eccezionale rilevanza.

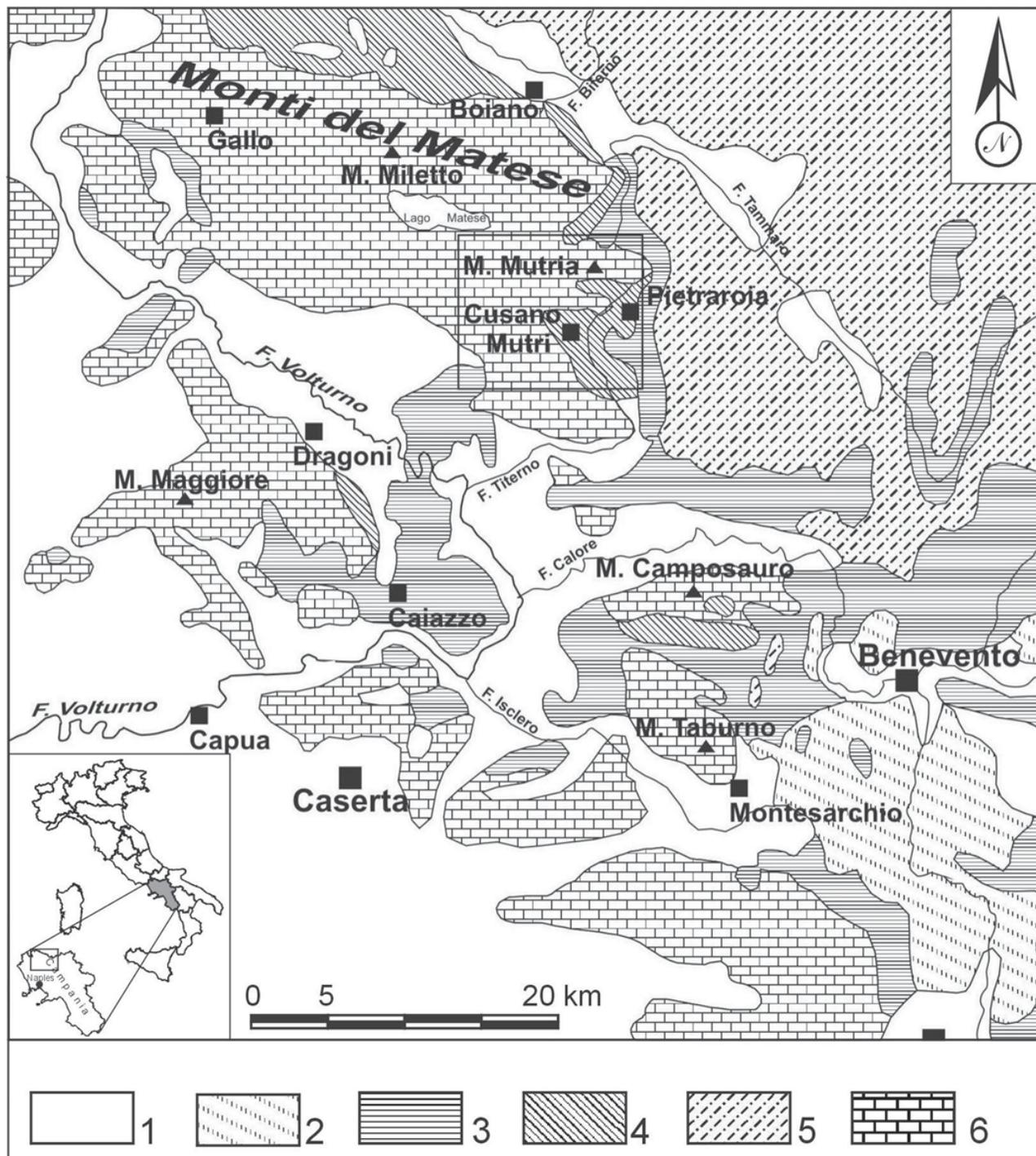


Fig. 1 - Schema geologico del massiccio del Matese (da D'ARGENIO, 1963, modificata).

Legenda: 1) Alluvioni, detrito di falda, sedimenti lacustri e depositi piroclastici (Pleist. Sup.- Olocene); 2) Conglomerati sabbie e argille (Pliocene); 3) Arenarie molassiche e flysch (Cenozoico); 4) Calcarei, marne e arenarie (Miocene); 5) Calcarei, calcari selciosi e conglomerati (Mesozoico-Cenozoico); 6) Calcarei e dolomie (Mesozoico).

Fig. 1 - Geological sketch map of Matese Mts (after D'ARGENIO, 1963). Legend: 1) Alluvial deposits, slope deposits, lacustrine and pyroclastic deposits (Upper Pleist. -Holocene); 2) Conglomerates, sands and clays (Pliocene); 3) Arenaceous flysch (Cenozoic); 4) Limestones, marls and sandstones (Miocene); 5) Limestones, flinty limestones and conglomerates (Mesozoic-Cenozoic); 6) Limestones and dolomitic limestones (Mesozoic).

In sintesi, l'assetto geologico del Matese (fig. 1) è costituito da una successione di terreni di ambiente di piattaforma che supera i 3000 m di spessore, costituita da depositi prevalentemente dolomitici che vanno dal Trias superiore al Lias inferiore e da depositi prevalentemente calcarei che vanno dal Lias medio al Cretaceo superiore. In trasgressione sulla successione carbonatica poggiano depositi calcareo marnosi e poi terrigeni di ambiente bacinale del Miocene.

La continuità della successione carbonatica (fig. 2) è interrotta dalla presenza di un livello bauxitico riferibile all'Albo-Cenomaniano (80-110 milioni di anni fa). Sul Matese, soprattutto nella prima metà del XX secolo, si è concentrata e sviluppata una modesta attività mineraria che ha interessato mineralizzazioni manganese affioranti in bancate di vari decimetri di spessore nei terreni del Miocene superiore o in filoni lungo discontinuità tettoniche (FRONGIA, 1939; BONI & DI NOCERA, 1976), ma soprattutto il livello bauxitico del Cretaceo medio.

Nel 2000 il Gruppo Speleologico Natura Esplora, ha avviato una campagna di studi e rilievi topografici delle miniere esistenti (DEL PRETE et al., 2002a, 2002b) che, ad oggi, ha permesso di individuare, esplorare e topografare 12 ipogei con uno sviluppo planimetrico delle gallerie variabile da 10 m a oltre 1500 m. Complessivamente sono state esplorate e cartografate oltre 3000 m di gallerie sotterranee (DEL PRETE et al., 2002b). I risultati pubblicati hanno risvegliato l'intere-

resse e la memoria della comunità locale, tanto che l'amministrazione comunale si è mostrata interessata a valutare la fattibilità di una valorizzazione delle miniere.

Nell'intento di un possibile intervento di ripristino e messa in sicurezza delle gallerie per una valorizzazione e riconversione del sito a fini didattico culturali e turistici sono stati avviati una serie di studi di dettaglio presentati in questa sede.

NOTIZIE STORICHE SULLO SFRUTTAMENTO MINERARIO DELLE BAUXITI DI CUSANO MUTRI

Le bauxiti del Matese derivano da sedimenti alloctoni depositatisi sulla superficie erosa dei calcari durante la fase di continentalità tra il Cretacico medio e superiore (CRESCENTI & VIGHI, 1970; BARDOSSY et al., 1977; D'ARGENIO, 1978). I principali costituenti chimici (MARANELLI, 1939; FRANCO, 1957; CRESCENTI & VIGHI, 1970) sono rappresentati da ossidi di alluminio (60-65%), ossidi di ferro (8-10%), ossidi di titanio (1-3%) e silice (5-6%). L'elevato tenore in silice (>6%) non ne ha favorito lo sfruttamento per l'estrazione di Alluminio metallico, nonostante l'alto tenore dell'ossido (>60%). Esse furono utilizzate, per lo più, per la produzione di mattoni refrattari, sali di Alluminio (per mordenti in tintoria, emostatici nell'industria farmaceutica, e nell'industria della carta) e preparazione di sostanze abrasive.

Le prime notizie sulla presenza di livelli bauxitici nella zona del Matese si devono al viaggiatore francese De Launay ai primi del 1900 (DE LAUNAY, 1913).

In seguito, tra il 1919 e il 1921, la Società Anonima Monte Mutri svolse lavori di ricerca che portarono alla localizzazione di formazioni bauxitiche nelle loc. Regia Piana e Pecorareccia, da sfruttare a scopo minerario. La Società, tra il 1921-24, realizzò una decina di trincee (250 m³ di scavo) e gallerie e rimonte per 450 m lineari; a causa degli eccessivi costi di produzione, nel 1924 la Società Anonima Monte Mutri terminò i lavori di estrazione della bauxite (MARANELLI, 1939). A partire dal 1925, la Società Anonima Montecatini avviò ricerche sui giacimenti bauxitici campani e nel 1939, dopo un lungo periodo di inattività, i giacimenti di Cusano Mutri vennero acquisiti dalla nuova Società che avviò un programma di ricerche minerarie proseguite fino a tutto il 1963 con due interruzioni tra il 1943-45 e nel 1950. Nel 1963 i lavori di estrazione terminarono definitivamente anche se i lavori di ricerca sono proseguiti fino al 1965 (CRESCENTI & VIGHI, 1970).

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOLOGIA DELLE GALLERIE DELLA MINIERA DI FONTANA TASSO

L'area della Miniera di Fontana Tasso rappresenta la continuazione verso nord-est dell'affioramento bauxitico della loc. Regia Piana-Pecorareccia dove è possibile osservarlo con continuità in affioramento per circa 600 m.

Il rilievo geologico dei litotipi all'interno delle gallerie



Fig. 2 - Sezione stratigrafica tipo affiorante nella zone della Regia Piana (foto S. Del Prete).

Fig. 2 - Stratigraphic section outcropping at Regia Piana (photo S. Del Prete).

(fig. 3) si è basato anche sullo studio di CRESCENTI & VIGHI (1970) come fondamentale riferimento nella distinzione delle principali litologie e facies deposizionali. Dal basso verso l'alto stratigrafico i rilievi in galleria hanno permesso di distinguere Calcari di età Albiano, Bauxite di età Albiano p.p.-Turoniano p.p. e Calcari del Turoniano p.p. i cui rapporti giacitureali sono variamente complicati da fattori tettonici e stratigrafici.

Calcari Albiani

Si tratta di calcari neritici a letto della bauxite costituiti da calcari organogeni compatti, colore da avana a grigio cenere, sottilmente stratificati, talora marnosi, lastriformi e fissili. Localmente sono presenti intercalazioni di calcari detritici e sottili straterelli selciferi neri e giallastri in listarelle e arnioni (Albiano p.p.). La stratificazione, ben evidente tra i 60 ed i 190 m dall'ingresso della galleria n. 7 (o Ramo Basso), spesso è mascherata dall'intenso grado di fratturazione dell'ammasso nella prossimità di lineamenti tettonici (faglie) o in quei tratti dove più intenso è stato l'uso di esplosivi durante le fasi di scavo.

Bauxite

Sopra i calcari dell'Albiano poggia l'orizzonte bauxitico il cui spessore varia da qualche centimetro a 3-4 m. Lateralmente alla bauxite talora è presente un complesso litologico costituito da calcari rossastri e conglomerati calcarei con elementi a spigoli vivi per uno spessore di 15-20 m. La manifestazione bauxitica corrisponde ad una lacuna stratigrafica che va dall'Albiano p.p. fino al Turoniano p.p.

All'interno delle gallerie esplorate, la bauxite si presenta in una facies più litoide, ricca di pisoliti, di colore rosso scuro e compatta ed in una facies con aspetto relativamente più terroso e tenero, relativamente più alterata e di colore rosso giallognolo.

In eteropia laterale e/o verso l'alto stratigrafico sono localmente presenti sottili livelli argillosi associati ad oscillazioni marine o, più frequentemente, breccie calcaree con matrice argillosa gialla, grigio cenere, rossastra o verde.

La matrice argillosa è fortemente sovraconsolidata e si presenta con aspetto scaglioso. Soprattutto lungo la galleria n. 8 e lungo le gallerie di rimonta, le sezioni

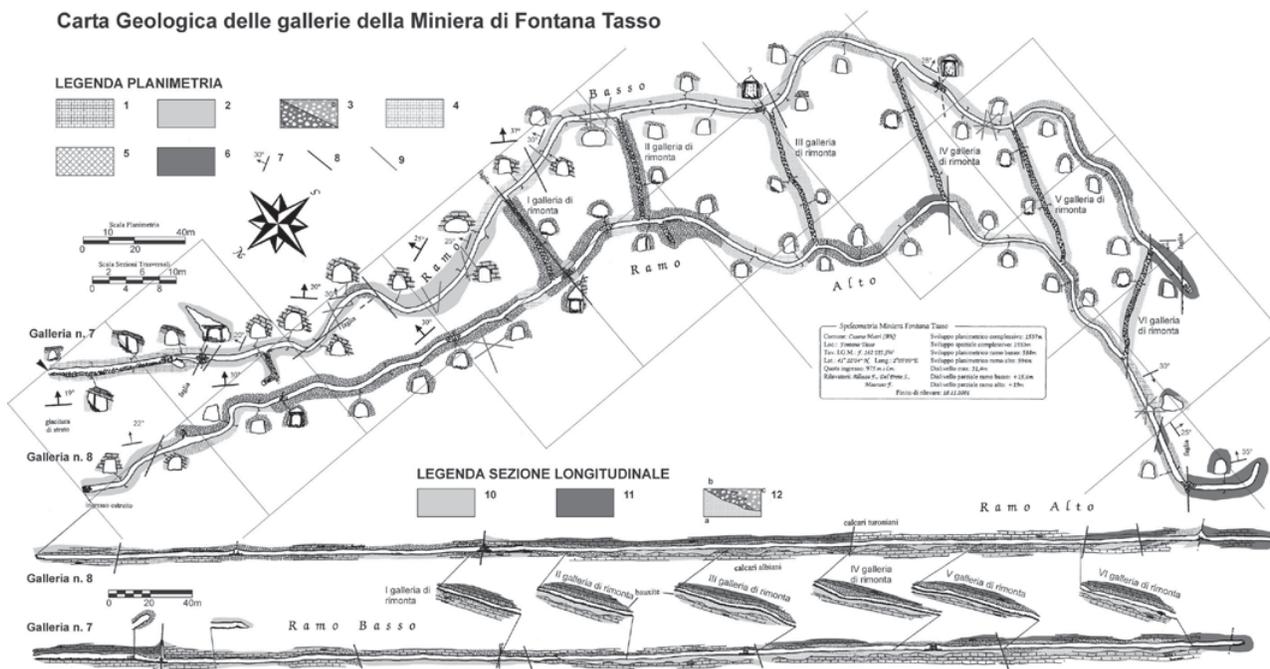


Fig. 3 - Carta geologica delle gallerie, per il dettaglio delle litologie si veda il testo. Legenda: 1) Settori di galleria con pareti laterali in bauxite e volta in depositi di transizione dell'orizzonte bauxitico e/o in calcari del Cenomaniano p.p. o del Turoniano p.p.; 2) Settori di galleria scavati nei calcari dell'Albiano; 3) Settori di galleria scavati nei depositi di transizione costituiti da breccie calcaree in matrice argillosa rossastra, giallastra, grigio cenere (a) e verde (b); 4) Settori di galleria con pareti laterali in calcare e volta nell'orizzonte bauxitico in facies brecciosa con matrice argillosa; 5) Settori di galleria con pareti laterali in bauxite e volta nella breccia calcaree in matrice argillosa bauxitica; 6) Settori di galleria scavati nei calcari del Turoniano; 7) Giacitura di strato e inclinazione; 8) Principale famiglia di frattura; 9) faglia. Legenda sezione longitudinale: 10) Calcari neritici, sottilmente stratificati. Albiano p.p.; 11) Calcari di ambiente costiero intercotidale. Cenomaniano p.p. - Turoniano pp.; 12) Orizzonte bauxitico con spessore variabile fino a 3-4m (a), breccie calcaree con intercalazioni argillose gialle, grigio cenere e rossastre (b) e verdi (c). Albiano p.p. - Cenomaniano p.p.

Fig. 3 - Geological map of the mine. Legend: 1) Gallery with walls in bauxite and vault in limestones (Cenomanian p.p.-Turonian p.p.) or in transitional deposits (clays or breccias in clay matrix); 2) Gallery in Albian limestones; 3) Gallery in calcareous breccias with yellow, red, grey (a) or green (b) clay matrix; 4) Gallery with walls in limestone and vault in breccias with clay matrix; 5) Gallery with walls in bauxite and vault in breccias with clay matrix; 6) Gallery in Turonian limestone; 7) Bedding; 8) Main discontinuity set; 9) Fault. Legend of longitudinal section: 10) Limestones with thin marl and flint stone levels (Albian); 11) Limestones fractured due to the explosives (Turonian); 12) Bauxite (a) in eteropy with clay level or calcareous breccias with yellow, red, grey (a) or green (b) clay matrix.

sono per lunghi tratti impostate interamente in questa litologia le cui scadenti caratteristiche tecniche danno spesso luogo all'innescio di piccoli collassi dalla volta e, subordinatamente, dalle pareti laterali non più contenute dalle opere di sostegno ormai in avanzato stato di degrado e marcescenza.

Calcari Turoniani

Sono i calcari a tetto della bauxite la cui giacitura in galleria è spesso mascherata dall'effetto della fratturazione indotta dall'uso di esplosivi per l'avanzamento dello scavo. Si tratta di un deposito ritmico di ambiente costiero intercotidale affiorante per lo più nei settori terminali delle gallerie n. 7 (Ramo Basso) e 8 (Ramo Alto). Cenomaniano p.p. - Turoniano pp.

Geologia della galleria n. 7 (Ramo Basso; cfr. fig. 3)

L'imbocco della galleria è ubicato alla base di una parete rocciosa sub verticale lungo la quale è ben esposta la successione stratigrafica tipo che caratterizza la geologia del sito.

A partire dall'ingresso, nei primi 60 m di galleria, lungo le pareti laterali si osserva il livello di bauxite che si presenta molto ricco in pisoliti e con giacitura immergente verso SSE. Verso l'alto la bauxite passa, con un contatto stratigrafico ondulato, a sottili livelletti argillosi scagliettati e di colore da giallo ocra, grigio cenere a rosso mattone per uno spessore complessivo

variabile da qualche centimetro a qualche decimetro. Al di sopra di questi livelli si passa alle breccie calcaree in matrice argillosa rossa e verde nelle quali si imposta l'intera volta del settore in esame.

Lungo la destra della galleria è presente con continuità un cumulo di materiali da crollo distaccatisi in parte dalla volta ed in parte dalle pareti. A conferma di queste evidenze di instabilità è anche la presenza diffusa di resti di quadrine e puntelli di sostegno della galleria ormai non più funzionali (fig. 4).

Le ultime quadrine sono ubicate in corrispondenza dell'intersezione di un'evidente linea di faglia oltre la quale si passa al settore successivo della galleria, tra 60 e 200 m dall'ingresso, la cui sezione è interamente impostata nei calcari albiani (fig. 5), con la sola eccezione di un breve tratto compreso grossomodo tra i 130-140 m dall'ingresso.

I calcari si presentano ben stratificati e con giacitura compresa tra SE, nel primo tratto, e NE, nel secondo, ed inclinazione inferiore a 30°. Nel tratto prima citato, compreso tra i 130-140 m dall'ingresso, si incontra un evidente piano di faglia in corrispondenza del quale affiorano le breccie calcaree in matrice argillosa rossa. Lungo il piano di faglia si instaura anche un diffuso stillicidio che ha favorito lo sviluppo di diversi fenomeni di concrezionamento con formazione di crostoni carbonatici policromi.

Superato questo settore, tra i 200 e i 236 m dall'ingresso, si attraversa un tratto in cui, sebbene le pareti della sezione siano ancora in calcare, la volta è inte-

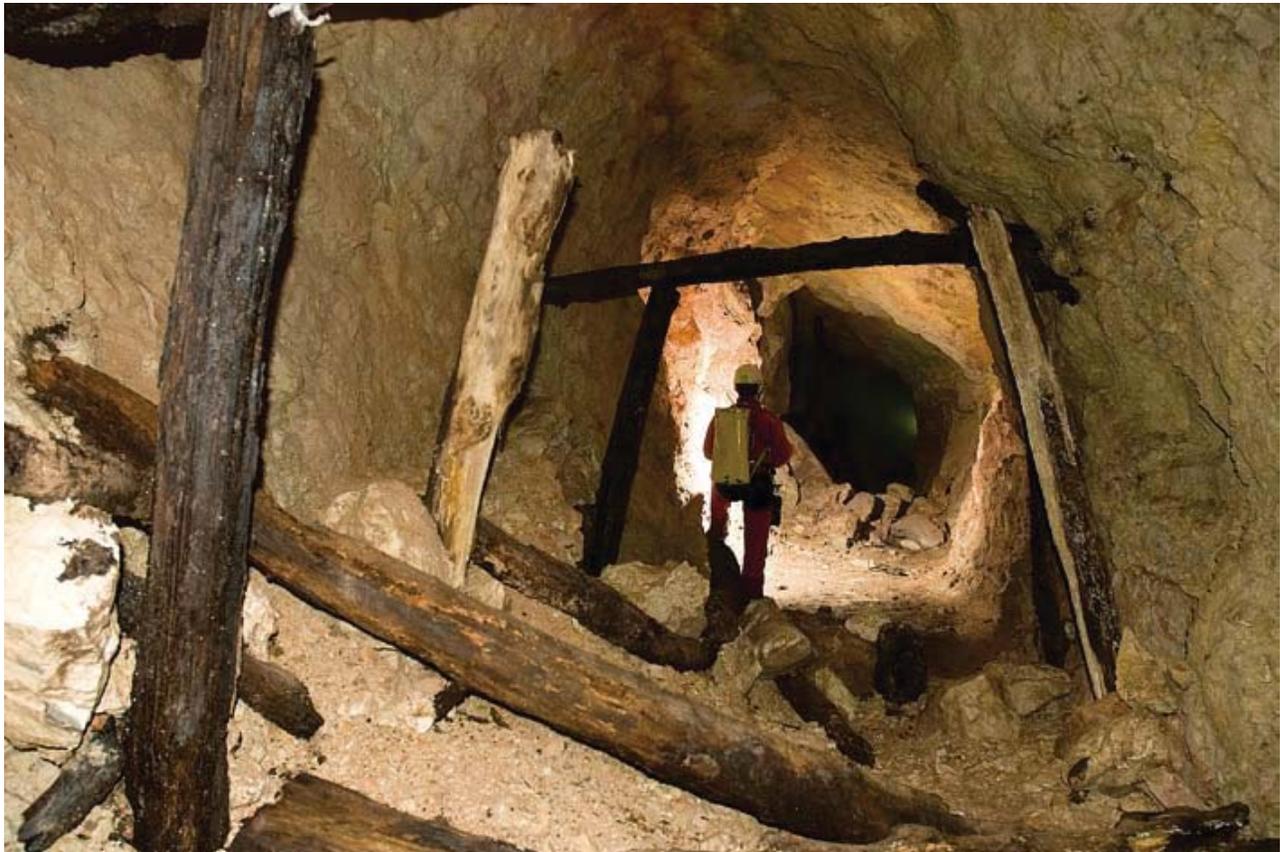


Fig. 4 - Settore con crolli dalla volta e rottura di quadrine e sostegni (foto N. Russo).
Fig. 4 - Sector of mine with roof collapses and break of its support (photo N. Russo).

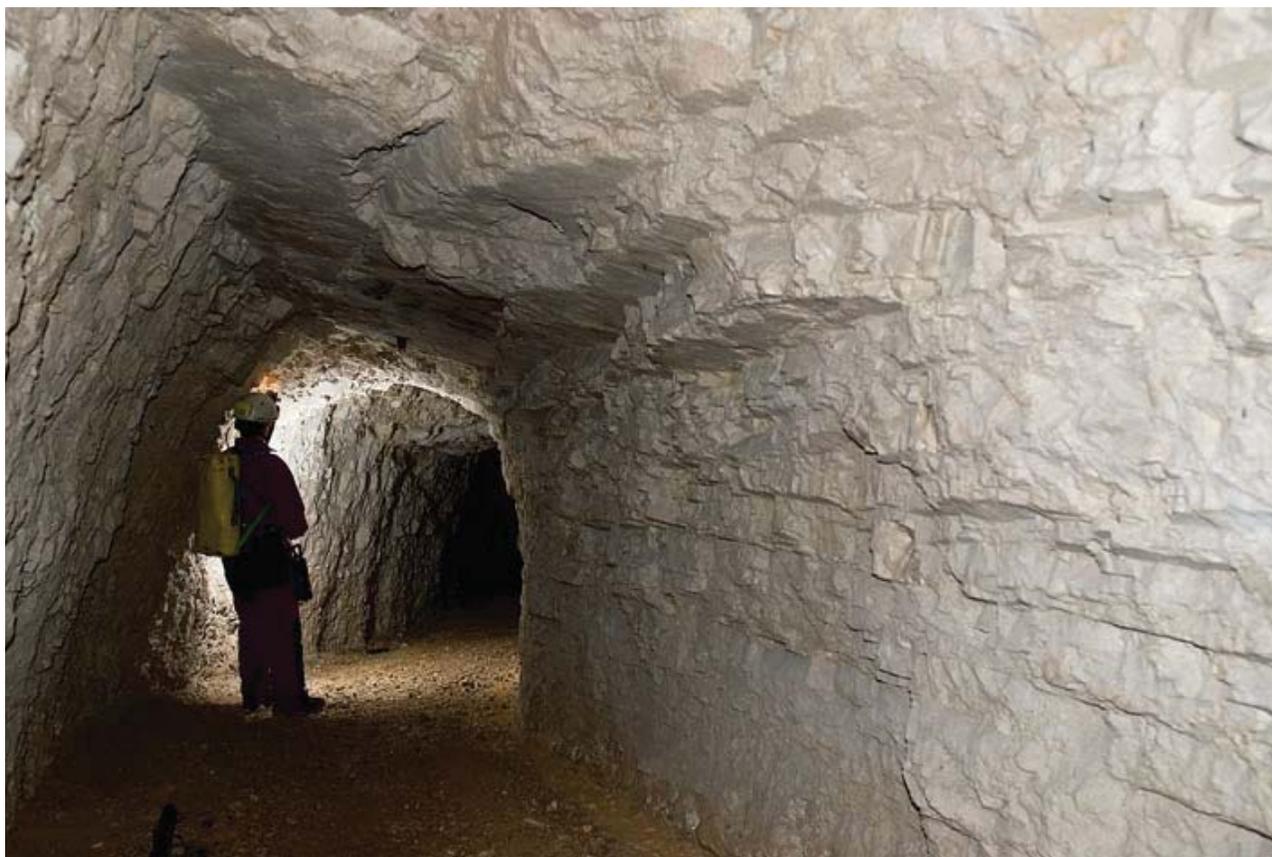


Fig. 5 - Settore in calcari della galleria n. 7 (foto N. Russo).
Fig. 5 - Sector of gallery n. 7: limestone (photo N. Russo).

ramente impostata nel livello delle breccie calcaree in matrice argillosa. In questo settore, inoltre, si intersecano una prima faglia all'incrocio con la *I galleria di rimonta* ed una seconda alla fine del settore stesso. A seguire e per un tratto di circa 15 m la sezione della galleria ritorna nuovamente a impostarsi interamente nei calcari.

Oltre, tra i 250 e i 340 m circa dall'ingresso, i calcari, affioranti alla base della sezione, tendono gradualmente a scomparire e lungo le pareti della galleria è ben esposta la bauxite mentre la volta è quasi sempre impostata nelle breccie calcaree a matrice argillosa.

Localmente, all'interno delle breccie, sono presenti anche sacche di argille policrome di colore variabile dal grigio cenere, al giallo, al verde e al rosso.

Nel tratto terminale di questo settore, a ridosso dell'incrocio con la *III galleria di rimonta*, è ancora presente una struttura di sostegno della volta che maschera la presenza di qualche frattura beante in corrispondenza della quale si instaura un intenso stillicidio attivo in ogni periodo dell'anno.

Poco oltre, ancora una faglia interrompe la continuità geolitologica della galleria.

Nel settore successivo, infatti, affiorano nuovamente i calcari che ben presto, però, lasciano il posto nuovamente al livello di bauxite. Questa, a luoghi, sfuma lateralmente e superiormente verso quelle facies di transizione rappresentate dalle breccie calcaree in matrice argillosa policroma.

Un'altra faglia, presente all'intersezione con la *V gal-*

leria di rimonta, segna il passaggio al settore successivo che fino alla *VI galleria di rimonta* si sviluppa interamente nei livelli delle breccie calcaree con matrice argillosa policroma. In questo settore solo raramente affiora, alla base della sezione, un sottile livello decimetrico di bauxite.

Infine, l'ultimo tratto della galleria n. 7 che si sviluppa oltre l'incrocio con la *VI galleria di rimonta*, è interamente impostato nei calcari di tetto della bauxite, presumibilmente del Turoniano. Qui, infatti, l'intenso grado di fratturazione indotto anche dall'utilizzo di esplosivi nelle fasi di coltivazione, ha completamente mascherato ogni struttura primaria contribuendo all'ulteriore degrado della qualità complessiva dell'ammasso.

Geologia della galleria n. 8 (Ramo Alto; cfr. fig. 3)

La galleria n. 8 presenta un assetto geologico relativamente meno articolato della precedente.

A partire dall'ingresso attualmente ostruito, il primo tratto di circa 35 m è interamente impostato in calcari molto fratturati, sebbene comunque si riesca ad identificare la stratificazione immergente verso SE con un'inclinazione di 22°.

Successivamente, dopo un primo tratto di pochi metri nelle breccie calcaree in matrice argillosa verde, tutto il settore che si sviluppa fino alla *IV galleria di rimonta* è interamente impostato nelle breccie calcaree in matrice prevalentemente rossa con limitati tratti in cui alla base dei piedritti della sezione affiora la bauxite

(fig. 6) e/o, subordinatamente, calcari rossastri .

Le scadenti caratteristiche tecniche di questi materiali sono alla base dei numerosi dissesti che si rinvennero in questo tratto.

È da segnalare a pochi metri dall'incrocio con la *I galleria di rimonta*, la presenza di un condotto carsico del diametro di circa 50 cm in alto sulla parete del lato ovest. Il condotto è attivo e le acque che apporta in miniera hanno concrezionato la parete ed il pavimento. Diversi sono i resti e le tracce delle originarie opere di sostegno ormai non più funzionali ed in avanzato stato di degrado.

Tra la *IV* e la *VI galleria di rimonta*, le uniche varianti rispetto al settore appena descritto consistono in una più frequente variabilità laterale tra le facies delle breccie in matrice argillosa rossa e quella in matrice argillosa verde; mentre la bauxite litoide affiora sempre di rado e sempre con spessori limitati alla base della sezione di scavo. La volta si imposta sempre nelle breccie.

Il tratto finale della galleria n. 8 vede una prima zona delimitata da due faglie, in cui a tetto affiorano calcari turoniani molto fratturati ed alla base prima un livello di breccie calcaree in matrice rossa o verde, per uno spessore di alcuni decimetri, e poi bauxite. Nella seconda zona, anch'essa delimitata da due faglie, si attraversa, anche se molto disturbata dalla tettonica,

l'intera successione che dai calcari turoniani passa alle breccie e alla bauxite fino ai calcari albani di base. Al termine di questo tratto si interseca un importante piano di faglia caratterizzato da una zona di taglio costituita da cataclasite per uno spessore di almeno 3 m, il cui parziale collasso ha distrutto le opere di sostegno ivi presenti e divelto e sepolto le rotaie dei binari sottostanti.

Oltre, l'appendice finale della galleria n. 8 si imposta interamente nei calcari presumibilmente del turoniano. L'utilizzo di esplosivi non consente una facile determinazione delle strutture sedimentarie primarie.

Geologia delle gallerie di rimonta (cfr. fig. 3)

Tutte le sei gallerie di rimonta si sviluppano all'interno del livello bauxitico *s.l.*, hanno pendenza media di circa 15-20° e sono piuttosto anguste.

In particolare, la *I* e la *II galleria* si sviluppano quasi interamente nelle breccie calcaree in matrice argillosa rossa, mentre la bauxite affiora raramente e con spessori limitati lungo le pareti della sezione di scavo.

Da segnalare una piccola sorgente perenne a metà circa della *III galleria di rimonta*.

Nelle restanti gallerie la bauxite, invece, affiora con maggior continuità lungo le pareti, mentre le volte sono sempre impostate nelle breccie calcaree in matrice argillosa.

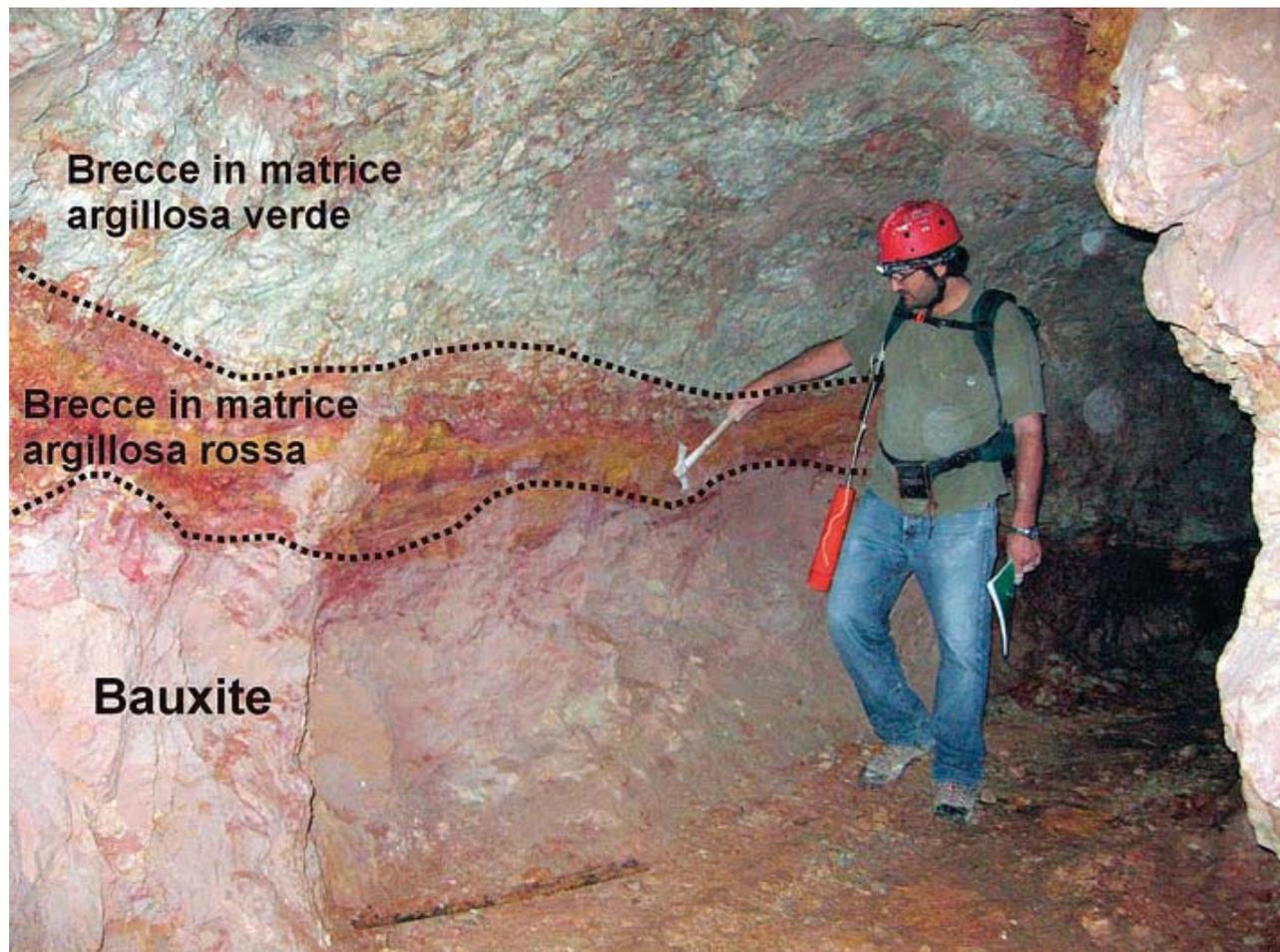


Fig. 6 - Sezione geologica tipo di un settore della galleria n. 8 (foto S. Del Prete).

Fig. 6 - Geological section of a sector of mine gallery n. 8 (photo S. Del Prete).

Il pavimento di tutte le gallerie di rimonta è cosparso di detriti in parte derivato dagli scarti di lavorazione, ma per lo più derivato da piccoli distacchi dalle volte e dalle pareti.

Da segnalare la difficile praticabilità allo stato attuale di alcune di esse, con particolare riguardo alla I, alla V ed alla VI galleria impostate lungo linee di faglia che per loro natura rappresentano anche punti di debolezza degli ammassi.

CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE GALLERIE

La valutazione del grado di stabilità e di deformazione di un cavo di galleria può essere effettuato mediante metodi analitici (comportamento della galleria secondo la legge dell'elasticità sforzo/deformazione), metodi numerici (modellazione dei processi di deformazione mediante modellazione con i metodi degli elementi finiti, elementi discreti o delle differenze finite), metodi osservazionali (basato sulle misurazioni di tensioni e deformazioni che si verificano durante lo scavo) e metodi empirici (utilizzo delle classificazioni geomeccaniche per la caratterizzazione degli ammassi rocciosi a partire da dati di affioramento e semplici prove in sito o laboratorio).

Questi ultimi metodi si sono andati consolidando sempre più nella pratica poiché costituiscono un accettabile compromesso tra le esigenze di rigore metodologico proprie della meccanica delle rocce e la necessità di dover esprimere in tempi brevi e grandi estensioni una valutazione affidabile delle caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso stabilendo correlazioni tra le classi di roccia e i parametri resistenti di coesione e angolo di attrito.

Le classificazioni geomeccaniche più utilizzate sono la Classifica di Bieniawski o RMR (BIENIAWSKI, 1979, 1989), la Classificazione di Barton o Q (BARTON et al. 1974) e la classificazione SRC (GONZÁLEZ DE VALLEJO, 1985, 2003).

Sebbene tutte valide, la Classificazione RMR si è andata sempre più affermando come indice geomeccanico per la valutazione delle proprietà dell'ammasso roccioso per la maggiore facilità di acquisizione dei dati di base e la maggiore economicità di applicazione.

Nello specifico i vari tratti di galleria della miniera di Fontana Tasso presentano una notevole variabilità sotto il profilo della stabilità. Ciò è funzione delle caratteristiche geomeccaniche delle rocce (variabili da luogo a luogo in funzione della litologia e degli assetti geostrutturali), delle dimensioni dei vuoti e del grado di decompressione consentito, nel tempo, alla massa rocciosa dalle opere di sostegno realizzate all'epoca della coltivazione in sotterraneo.

Come descritto in precedenza, le gallerie della miniera attraversano diverse tipologie di terreni che per questo motivo hanno richiesto approcci diversificati nella valutazione non solo delle loro caratteristiche tecni-

che, ma anche nella valutazione del grado di stabilità generale.

In proposito, mentre per le gallerie impostate in ammassi litoidi (calcari e bauxite) si è potuto procedere ad una caratterizzazione mediante l'applicazione di metodologie classiche della geomeccanica (BIENIAWSKI, 1973; 1974; 1979), per i tratti impostati in breccia tale approccio non è stato possibile.

La classifica degli ammassi rocciosi RMR (Rock Mass Rating), introdotta da Bieniawski nel 1973 e perfezionata in diversi lavori successivi (1979, 1989, 1993), considera cinque parametri elementari:

- 1) Resistenza a compressione uniassiale del materiale intatto;
- 2) Percentuale di carotaggio (RQD);
- 3) Spaziatura delle discontinuità;
- 4) Condizione dei giunti;
- 5) Condizioni idrauliche.

Ad ognuno dei parametri viene assegnato un punteggio, la cui somma definisce l'RMR di base. A questo valore si somma algebricamente il punteggio relativo ad un sesto parametro, che tiene conto dell'orientazione dell'asse della galleria rispetto alla giacitura delle famiglie di frattura e della stratificazione. Si ottiene così il valore finale di RMR, compreso tra 0 e 100, da considerare come indicatore della qualità dell'ammasso roccioso. Nel caso specifico, il fattore correttivo è stato considerato ininfluenza dato che i piani di strato hanno sempre una pendenza inferiore a 30-35°.

Caratterizzazione geomeccanica dei settori di galleria impostati nelle brecce a matrice argillosa

Tenendo conto degli aspetti geolitologici, per quei tratti di gallerie impostati nelle brecce calcaree in matrice argillosa non è applicabile, come è noto, una classificazione geomeccanica tipica degli ammassi litoidi essendo, nel caso specifico, il comportamento controllato essenzialmente dalle caratteristiche della matrice.

Ciò premesso, si evidenzia pertanto che questi terreni, a seconda del rapporto tra matrice argillosa e frazione calcarea, possono presentare notevoli variazioni delle proprietà fisico meccaniche, della resistenza al taglio, della deformabilità e delle permeabilità, che risultano anche difficili da parametrizzare per l'intrinseca difficoltà/impossibilità di effettuare dei campionamenti ai fini delle esecuzioni di eventuali prove di laboratorio.

Le osservazioni in sito, tuttavia, hanno consentito di notare che la frazione argillosa si presenta sempre con aspetto scaglioso tipico delle argille sovraconsolidate e con superficie delle scaglie lisce e lucide. Senza scendere nel dettaglio di una trattazione sul comportamento dei terreni argillosi, che peraltro esula dagli obiettivi di questo contributo, va ricordato che i terreni sovraconsolidati hanno una deformabilità considerevolmente inferiore a quella dei terreni normal consolidati e che si comportano sempre in modo approssimativamente elastico. Le argille sovraconsolidate sono materiali a maggior rigidezza, sono dotati di coesione e raggiun-

gono tensioni di taglio nettamente superiori a quelle di un terreno normal consolidato.

Alla luce di quanto appena detto, è derivato che per tutti i tratti di gallerie impostati in questi depositi, si è potuto solo procedere ad una caratterizzazione generica e ad una classificazione della resistenza a compressione semplice dei terreni sulla base di verifiche speditive e di prove col martello di Schmidt, seguendo comunque le raccomandazioni dettate dall'ISRM (1981; tab. 1).

Le valutazioni in situ (tab. 1), puramente descrittive, hanno evidenziato che la matrice argillosa è classificabile da *argilla consistente* (classe T4) ad *argilla molto consistente* (classe T5). È stato osservato che la variabilità di comportamento è soprattutto associabile al diverso contenuto d'acqua.

Tale analisi ha carattere preliminare dal momento che esistono metodi di individuazione delle caratteristiche geotecniche degli ammassi rocciosi eterogenei (MARINOS & HOEK, 2001) basati sulla determinazione del GSI (Geological Strenght Index, HOEK & BROWN, 1997).

Caratterizzazione geomeccanica dei settori di galleria impostati in roccia litoide (calcari e bauxite) mediante analisi geostrutturale

A differenza dei settori di galleria prima discussi, per quelli impostati in rocce litoidi sono stati raccolti dati e informazioni sui sistemi di fratture e faglie riguardanti la direzione di immersione (*dip direction*), l'inclinazione, la persistenza, l'apertura, il riempimento, la spaziatura delle singole fratture o famiglie di fratture, individuate ed analizzate in base alle norme ISRM (1978), alle quali si rimanda per specifici approfondimenti.

È stato realizzato un rilievo geomeccanico delle due gallerie (n° 7 e 8) sia alla macroscala, mediante rile-

vamento delle discontinuità di maggiori dimensioni (fratture e faglie) riscontrate lungo di esse, che alla mesoscala, attraverso rilievi speditivi su stendimenti di lunghezza pari a circa 2 m.

L'orientazione delle faglie, delle fratture e della stratificazione sono confluite su diagrammi polari (proiezione equiareale di Schmidt) per l'individuazione di famiglie di discontinuità preferenziali.

Nel complesso è emerso che per la galleria n. 7 la distribuzione generale dei poli delle famiglie di discontinuità principali, delle faglie/fratture e della stratificazione occupa in maniera abbastanza diffusa i quadranti NE, SE e SW, con concentrazioni preferenziali in alcune aree (fig. 7a) che hanno permesso di individuare le ciclografiche rappresentative delle famiglie di discontinuità più importanti (fig. 7d).

Lo stesso procedimento è stato adottato anche per la galleria n. 8 per la quale si riduce il numero di stazioni geomeccaniche poiché essa, per gran parte, si sviluppa nelle brecce in matrice argillosa. L'analisi geostrutturale ha comunque evidenziato che nelle stazioni della galleria n. 8 si riduce il numero di poli (fig. 8a) e di conseguenza il numero di famiglie di discontinuità (fig. 8d), pur conservando grosso modo giaciture simili a quelle rilevate nella galleria n. 7.

Oltre ad un'analisi cumulativa dei dati per ogni singola galleria, nei punti ritenuti più significativi sono stati effettuati degli stendimenti e per ogni stazione considerata sono stati elaborati dei diagrammi polari che hanno evidenziato i piani rappresentativi delle famiglie individuate in ogni singolo sito (fig. 9).

Determinazione della resistenza a compressione delle superfici delle rocce tramite prova sclerometrica (JCS)

La resistenza a compressione delle pareti delle discontinuità è stata valutata con la prova sclerometrica, uti-

Classe	Descrizione	Riconoscimenti di campagna	Intervallo di resistenza a compressione semplice (MPa)
T1	Argilla priva di consistenza	Il pugno entra facilmente vari cm	<0,025
T2	Argilla poco consistente	Il dito penetra facilmente vari cm	0,025-0,05
T3	Argilla moderatamente consistente	È necessaria una piccola pressione per infilare un dito	0,05-0,1
T4	Argilla consistente	È necessaria una forte pressione per infilare un dito	0,1-0,25
T5	Argilla molto consistente	Con una certa pressione si può incidere con l'unghia	0,25-0,5
T6	Argilla dura	Si incide con difficoltà facendo pressione con l'unghia	>0,5
R0	Roccia estremamente tenera	Si può incidere con l'unghia	0,25-1,0
R1	Roccia molto tenera	Si sminuzza colpendola con la punta del martello. Con un coltello si taglia facilmente	1,0-5,0
R2	Roccia tenera	Si taglia con difficoltà con un coltello. Colpendola con la punta del martello si producono piccole incisioni	5,0-25
R3	Roccia moderatamente dura	Non si può tagliare con il coltello, si può fratturare con un colpo forte di martello	25-50
R4	Roccia dura	Si richiede più di un colpo con il martello per fratturarla	50-100
R5	Roccia molto dura	Si richiedono molti colpi con il martello per fratturarla	100-250
R6	Roccia estremamente dura	Colpendola con il martello saltano solamente schegge	>250

Tab. 1 - Stima e classificazione della resistenza a compressione semplice dei terreni e delle rocce a partire da verifiche speditive di campagna (ISRM, 1981). Con il bordo più spesso sono evidenziate le classi T4 e T5 in cui ricadono i terreni della galleria.

Tab. 1 - Evaluation of compressive strength of rock and weak rock in situ (ISRM, 1981). Bold line refers to the classes T4 and T5, where the gallery terrains belong.

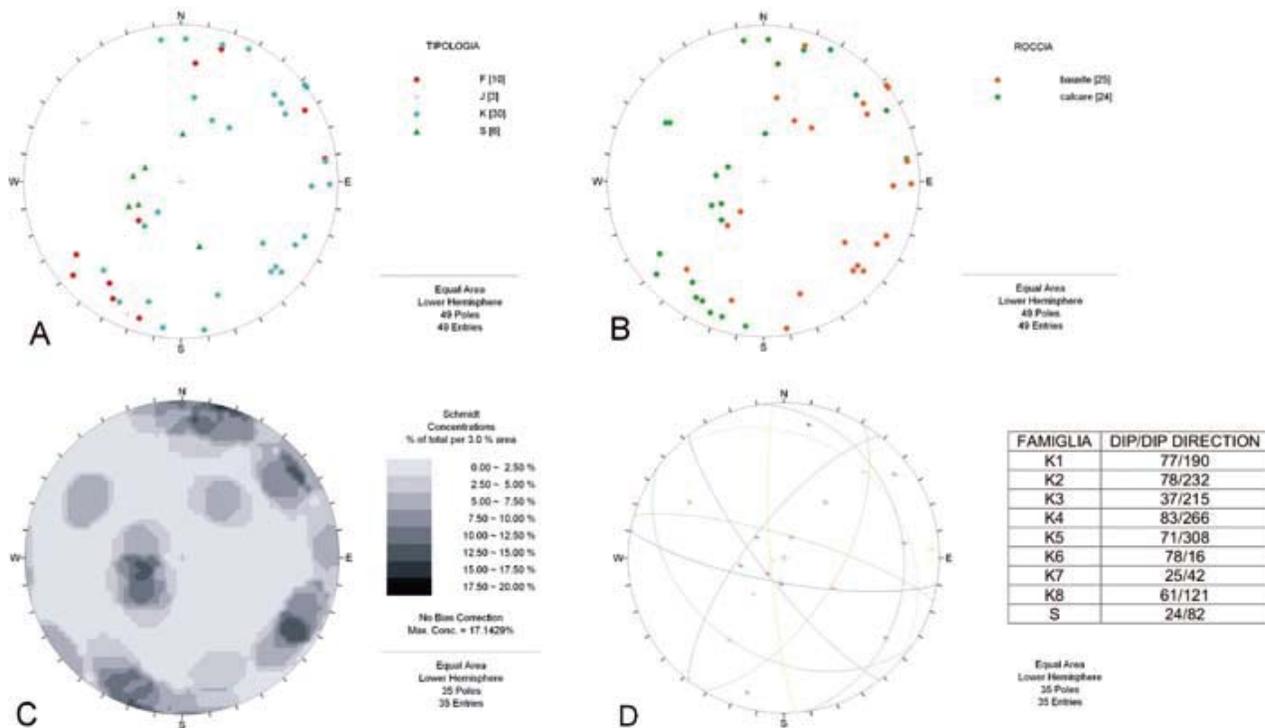


Fig. 7 - Distribuzione generale dei poli delle principali discontinuità rilevate nella galleria n. 7 distinti per tipologia (A) e per litotipo (B); contour plot (C) e ciclografiche rappresentative dalle principali famiglie di discontinuità individuate (D).
Fig. 7 - Poles of main discontinuity sets in the mine gallery no. 7, grouped for typology (A) and lithology (B); contour plot (C) and cyclographic charts of the main discontinuity sets (D).

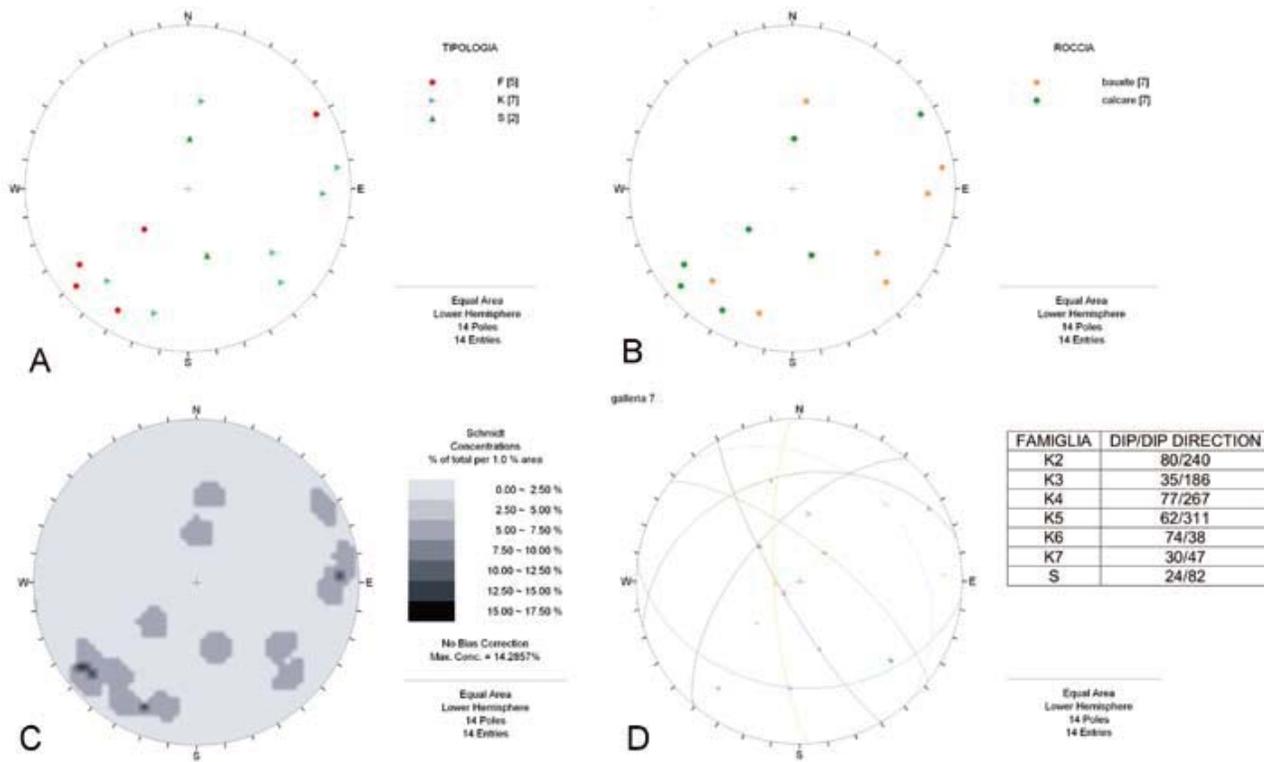


Fig. 8 - Distribuzione generale dei poli delle principali discontinuità rilevate nella galleria n. 8 distinti per tipologia (A) e per litotipo (B); contour plot (C) e ciclografiche rappresentative dalle principali famiglie di discontinuità individuate (D).
Fig. 8 - Poles of the main discontinuity sets in the mine gallery no. 8, grouped for typology (A) and lithology (B); contour plot (C) and cyclographic charts of the main discontinuity sets (D).

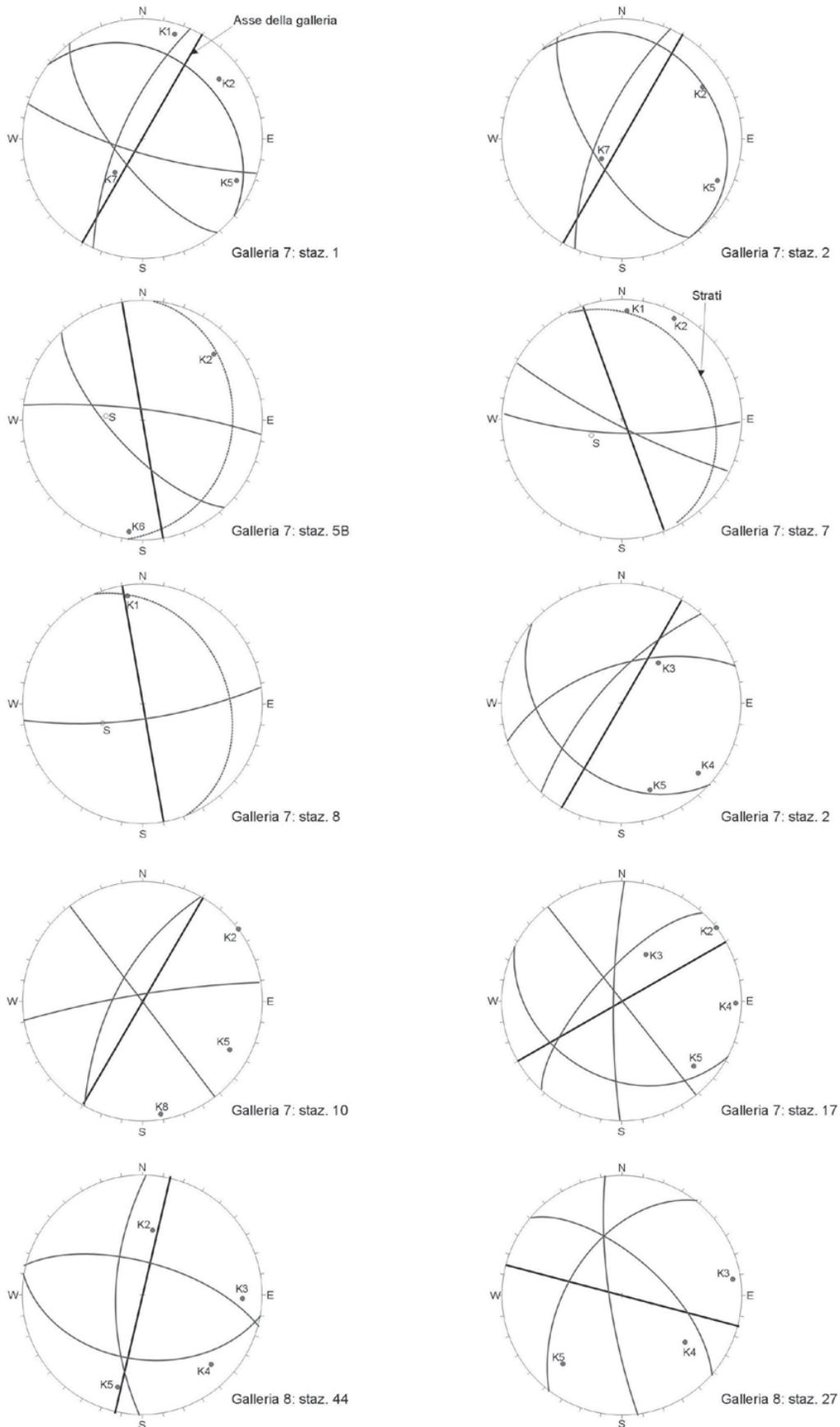


Fig. 9 - Piani rappresentativi della famiglie di discontinuità individuate in stazioni ubicate lungo la galleria 7 e 8 (Proiezione equiareale di Schmidt, emisfero inferiore).

Fig. 9 - Discontinuity set of measurement stations along the mine gallery no. 7 and 8 (Smith equiareal projection, lower emisphere).

lizzando il “martello di Schmidt”. Le prove sono state eseguite a gruppi di dieci e, nell’elaborazione, le 5 letture più basse di ogni gruppo sono state scartate e si è calcolato il valore medio (R) delle 5 letture più alte. Il valore di rimbalzo ottenuto è stato correlato, mediante un abaco, alla resistenza a compressione semplice in funzione della densità della roccia e dell’inclinazione del martello rispetto alla superficie indagata (DEERE & MILLER, 1966).

Il valore della densità della roccia è stato differenziato in funzione dei tre litotipi rinvenuti nelle due gallerie ovvero calcari, breccia e bauxite e, pertanto, non disponendo di prove di laboratorio, si sono adottati i valori da bibliografia (tab. 2; MARANELLI, 1939; FRANCO, 1957):

I valori di resistenza a compressione ottenuti si riferiscono ai valori medi calcolati su ognuna delle stazioni individuate nelle due gallerie (tab. 3).

Determinazione della resistenza a compressione uniassiale (UCS) mediante Point Load Test (PLT) e dell’indice I_s (Point Load Strength Index)

La prova di carico puntuale o prova di Franklin (Point Load Test) viene utilizzata per ottenere una rapida caratterizzazione della resistenza di una roccia e rappresenta un tipo di indagine largamente adottato sia in sito che in laboratorio per la caratterizzazione di un ammasso roccioso.

La prova consiste nel comprimere fino a rottura un campione di roccia mediante l’applicazione di un carico puntuale trasmesso da una coppia di punte coniche normalizzate, misurando il carico necessario a raggiungere la rottura del campione e la distanza tra le punte dello strumento prima e dopo lo schiacciamento. Tale distanza deve essere compresa tra 15 e 100 mm. Per l’esecuzione delle prove è stato utilizzato un Point Load analogico costituito da un telaio di carico da 55 kN di portata, completo di martinetto idraulico azionato da una pompa manuale. Un’apposita asta graduata montata verticalmente sul telaio permette di misurare direttamente la distanza D tra le punte coniche prima e dopo la prova.

Tipo di roccia	Valore min t/m ³	Valore max t/m ³
Bauxite	22	26
Breccia	24	25
Calcarea	25	27

Tab. 2 - Valori di γ minimi e massimi adottati.

Tab. 2 - γ Range value of rock mine.

JCS	Bauxite	Breccia	Calcarea
Valore medio (MPa)	20	25	45
Deviazione standard	7	9	21

Tab. 3 - Valori di resistenza a compressione medi.

Tab. 3 - Compressive strength values.

Il carico di compressione applicato al campione viene misurato mediante la lettura diretta del valore indicato da due aghi (valore espresso in kN e N), che sono in grado di assicurare elevata precisione e di resistere agli sbalzi di pressione provocati dalla rottura rigida dei campioni di roccia. I campioni vengono sottoposti a prova in condizioni di umidità naturale.

Sono stati adoperati campioni di roccia di forma irregolare e con caratteristiche geometriche tali da soddisfare a quelle richieste dall’ISRM (1978).

Per ogni determinazione sperimentale, i risultati ottenuti sono stati elaborati per il calcolo di un indice I_s e poi riassunti in una tabella finale (tab. 4). Dal valore di carico (P) che porta a rottura si ottiene l’indice I_s che può essere posto in relazione con la resistenza a compressione semplice del materiale testato: $I_s = P/D^2$ (dove P è il carico di rottura e D è l’altezza del provino). I dati così ottenuti sono stati raggruppati per litotipo, per località di appartenenza e per orientamento (rispetto alla stratificazione) del campione di roccia irregolare (quest’ultimo aspetto è stato tenuto in considerazione solo per i campioni di roccia calcarea) sottoposto a prova rispetto al piano di carico dello strumento per poter ottenere l’indice $I_s(50)$ e determinare, così, il valore di resistenza a compressione dell’ammasso roccioso attraverso la relazione (BIENIAWSKI, 1974; BROCK & FRANKLIN, 1972):

$$UCS(MPa) = 24I_s(50)$$

Le figure 10 e 11 riportano per ogni gruppo di campioni, il diagramma utilizzato per la determinazione dell’indice di Point Load Test riferito ad un diametro standard di 50 mm [$I_s(50)$].

In particolare per i calcari il coefficiente correttivo di forma inizialmente calcolato (fig. 10a) è stato corretto eliminando i valori ritenuti anomali (fig. 10b). I valori di resistenza a compressione (UCS), così ottenuti sono sintetizzati in fig. 12.

Per quanto riguarda, invece, la bauxite sono stati prelevati dei campioni di forma irregolare sia all’interno delle due gallerie oggetto di studio che nella Miniera M1 in loc. Regia Piana (poco distante da Fontana Tasso). La rappresentazione grafica del rapporto tra P e D^2 per la determinazione del coefficiente I_{s50} mostra una distribuzione alquanto irregolare dei punti (fig. 11). Le curve di correlazione permettono di calcolare valori di resistenza a compressione più bassi (20,6 MPa) per i campioni di bauxite prelevati nelle due gallerie di Fontana Tasso rispetto a quelli reperiti nella miniera M1 (51,9 MPa): il range di variazione è compreso rispettivamente tra 13,6 e 26,9 MPa e tra 24,8 e 63,3 MPa (fig. 12).

Dai risultati ottenuti mediante le prove di cui sopra risulta che:

- la resistenza a compressione misurata sulla superficie della roccia calcarea tramite martello di Schmidt mostra valori (circa 45 MPa; cfr. tab. 3) più alti rispetto a quelli (intorno a 30 MPa; cfr. fig. 12) ottenuti tramite prova di Point Load su campioni di roccia;

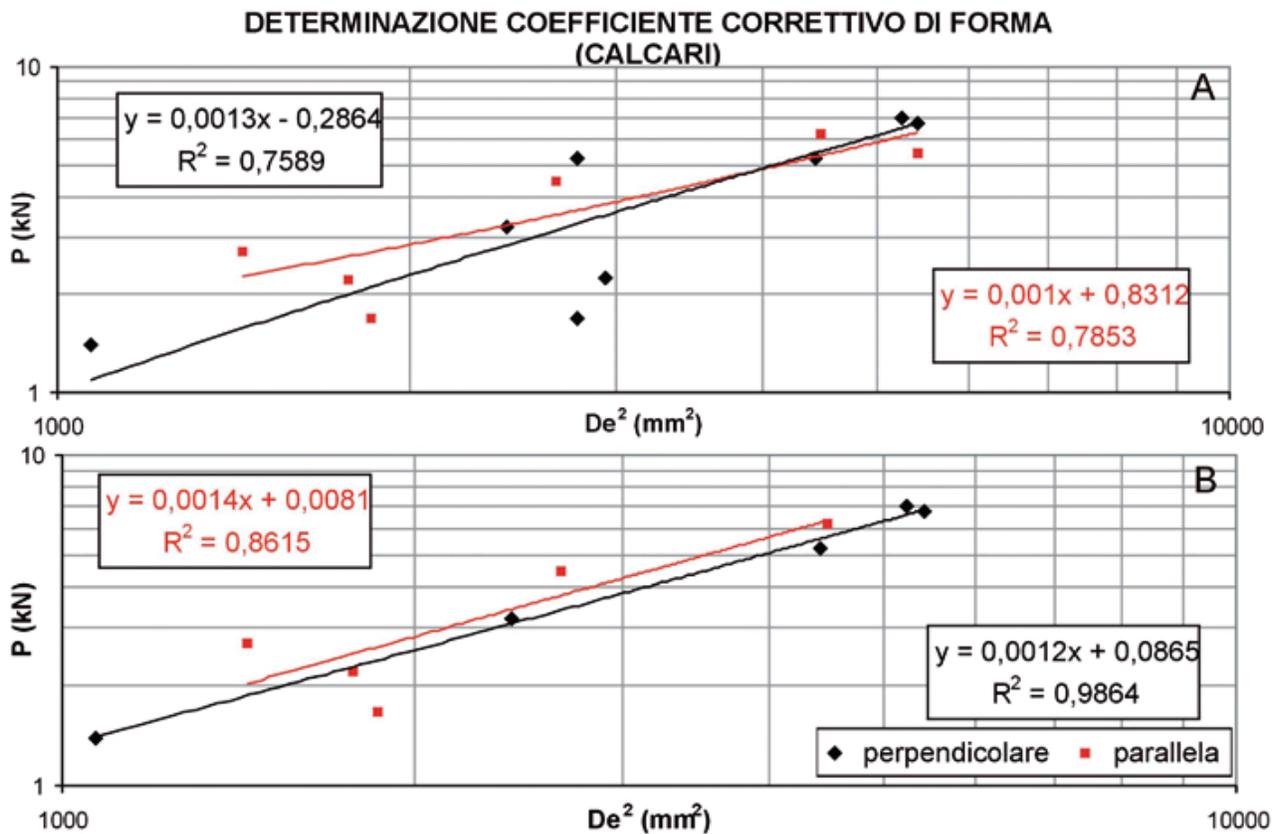


Fig. 10 - Grafico di correlazione per il calcolo del coefficiente correttivo di forma (A) ed eliminazione dei valori ritenuti anomali (B).
Fig. 10 - Correlation chart for evaluating the equivalent core diameter (A), also showing deletion of the anomalous values.

- gli stessi valori (circa 20 MPa cfr. tab. 3 e fig. 12) sono simili, invece, per la bauxite presente all'interno delle gallerie;
- i valori di resistenza a compressione uniassiale ottenuti tramite prova di Point Load su campioni prelevati nella vicina Miniera M1 in località Regia Piana risultano più alti di quelli relativi alle gallerie n. 7-8 (cfr. fig. 12) ed, in particolare, sono confrontabili in media con quelli relativi alla roccia calcarea (cfr. tab. 3);
- i valori di resistenza a compressione (circa 25 MPa), infine, della breccia presente nelle due gallerie, ottenuti mediante la sola prova sclerometrica, sono per lo più paragonabili a quelli ottenuti sulla bauxite dello stesso luogo. Tuttavia è da sottolineare che tale dato ha un valore puramente indicativo considerate la eterogeneità del materiale esaminato;
- i valori di resistenza a compressione così calcolati mettono in evidenza come le rocce in esame possono essere considerate (fig. 12) da deboli (bauxite delle gallerie) a resistenti (bauxite della miniera).

Indice RQD

Il valore dell'RQD (Rock Quality Designation) è stato calcolato sulla base della formulazione suggerita da Priest & Hudson (1981) secondo cui:

$$RQD = 100 e^{-0,1n} (0,1n + 1),$$

dove n = numero medio di discontinuità per metro.

I valori di RQD presentano valori che ricadono spesso

nelle classi di intervallo comprese tra 25 e 80%. I valori più bassi si rinvennero in quelle zone molto fratturate prossime a lineamenti tettonici (cfr. fig. 14) o dove l'utilizzo degli esplosivi ha fortemente alterato lo stato generale dell'ammasso. Ai valori di RQD così calcolati è stato assegnato l'indice di RMR relativo.

Spaziatura ed apertura delle discontinuità

I valori di spaziatura, misurati per ciascun sistema di discontinuità, sono stati elaborati statisticamente, al fine di determinare il valore modale tramite istogrammi. I dati sono stati divisi in classi scelte attraverso la relazione: $K = 1 + 3,3 \log N$ (dove N è il numero di dati). I valori di spaziatura e apertura, riferiti alle classi previste dall'ISRM (1978), sono risultati molto omogenei in tutti i tratti di galleria. In particolare, i valori di spaziatura delle varie famiglie di discontinuità ricadono sempre nella classe *moderatamente ravvicinata* (200-600 mm), mentre i valori di apertura ricadono nelle classi da *parzialmente aperta* (0,25-0,5 mm) ad *aperta* (0,5-2,5 mm). Isolati, e in genere corrispondenti a fratture drenanti o faglie, sono i giunti cavernosi (apertura > 1 m).

Condizioni dei giunti e condizioni idrauliche

Sia per le famiglie di discontinuità in bauxite che in calcari, i giunti si presentavano in genere poco scabri e, soprattutto nella bauxite, spesso addirittura lisci. Le superfici sempre umide, non presentano né alterazioni evidenti né riempimento. Solo nel caso dei calca-

ri, laddove si instaurano venute d'acqua, esse possono presentarsi incrostate di calcare sino ad essere anche completamente sigillate. In alcuni casi infatti, a tetto della bauxite impermeabile, può formarsi una modesta falda sospesa nei calcari che nel momento in cui intercetta i vuoti delle gallerie può alimentare piccole venute d'acqua concentrate in sorgenti o diffuse su

fronti di alcuni metri (fig. 13a). Raramente sono stati anche intercettati piccoli canali carsici attivi soprattutto nei periodi piovosi (fig. 13b). Nel primo caso se si è formato uno spesso concrezionamento sulle pareti e nelle fratture, questo può contribuire a migliorare la stabilità della sezione o di parte di essa.

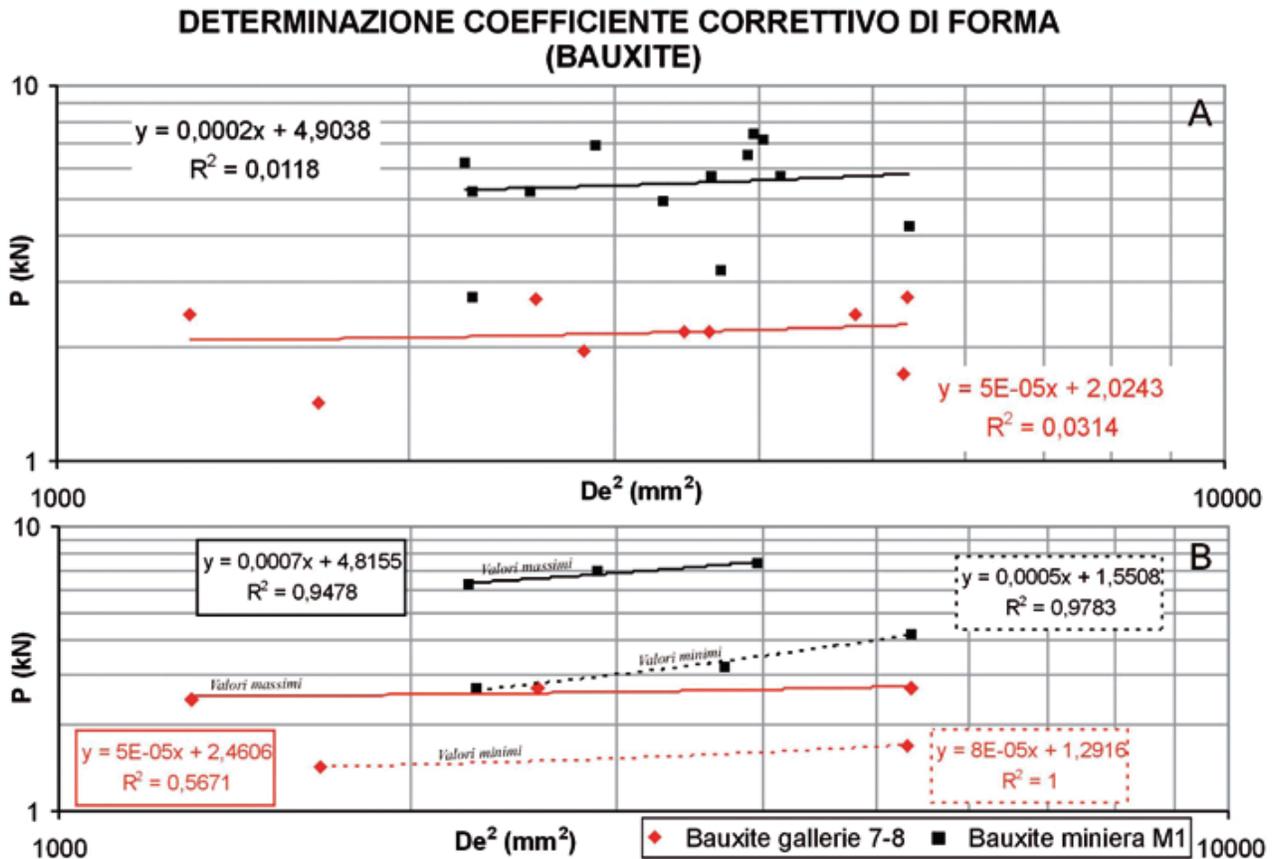


Fig. 11 - Grafico di correlazione per il calcolo del coefficiente correttivo di forma (A), differenze tra i valori massimi e minimi rispettivamente per le bauxiti prelevate nelle gallerie 7-8 e nella miniera M1 e grafico con l'eliminazione dei valori ritenuti anomali (B).
 Fig. 11 - Correlation chart for evaluating the equivalent core diameter (A), differences between maximum e minimum values for bauxites in the galleries 7 and 8 and in the mine M1, and chart showing deletion of the anomalous values.

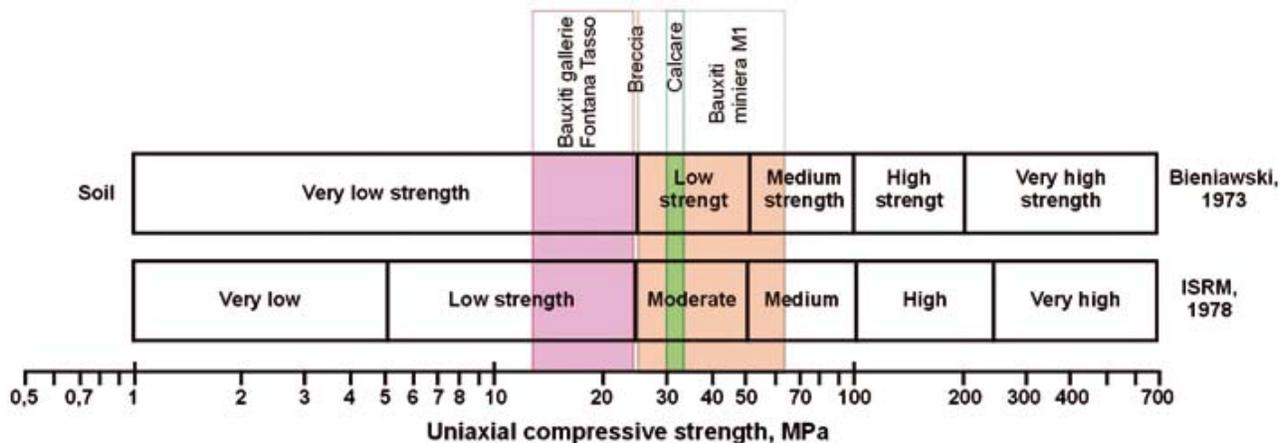


Fig. 12 - Classificazione delle rocce sulla base della resistenza a compressione uniaassiale secondo Bieniawski (1973) e ISRM (1978).
 Fig. 12 - Uniaxial compressive strength classification of Fontana Tasso rock masses according to Bieniawski (1973) and ISRM (1978).

CLASSI DI QUALITÀ E VALUTAZIONE PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA

Sulla base dei dati descritti e dalla caratterizzazione geomeccanica, le classi di stabilità individuate (fig. 14) in base all'RMR consentono di distinguere:

- 1) tratti di gallerie ricadenti nella Classe III (*Discreta*) di Bieniawski che hanno ormai raggiunto condizioni di equilibrio stabile o parzialmente stabile. I tratti di gallerie che rientrano in questa classe potranno essere resi fruibili senza necessità di interventi particolari salvo occasionali ed isolati lavori di disgiaggio. In genere corrispondono a zone in calcare poco o nulla mineralizzate con grado di fratturazione non elevato e scarse venute d'acqua;
- 2) tratti di galleria ricadenti nella Classe IV (*Scadente*) di Bieniawski con condizioni di equilibrio limite ed evidenze di instabilità relativamente recenti. Questi tratti di galleria necessitano, per garantire adeguate condizioni di sicurezza, di interventi di consolidamento comunque da realizzarsi senza alterare l'aspetto originario del sito. Sono, pertanto, da prevedere interventi di bullonatura, puntoni, butte e quadri in legname a ripristino di quelli esistenti ormai marcescenti. In quest'ultimo caso il lavoro di ripristino delle originarie opere di sostegno deve essere effettuato con il sistema "scuci e cucì", ad elementi singoli frazionati, al fine di evitare crolli, rilasci e/o franamenti laterali o in volta ed utilizzando legname tondo e marciavanti in larice. Il risanamento delle strutture in legno esistenti in miniera avverrà con fasi di lavorazione tali da non liberare superfici di tetto che sotto il proprio peso possano innescare distacchi di placche rocciose o altro materiale detritico. In generale, ricado-

no in questa classe gran parte dei tratti di galleria interessati da un grado di fratturazione medio in corrispondenza del quale si instaurano localmente, modeste venute d'acqua;

- 3) tratti di galleria ricadenti nella Classe V (*Molto Scadente*) di Bieniawski da ritenersi fortemente instabili con zone collassate, frequenti quando viene attraversata soprattutto la breccia calcarea immersa in matrice argillosa dotata di scadenti caratteristiche tecniche. Questi settori di galleria sono da ritenersi fortemente instabili in assenza di radicali interventi di consolidamento.

CONCLUSIONI

Sulla scorta dei dati della classificazione RMR è stata effettuata anche una valutazione qualitativa della condizione di stabilità del cavo e della necessità di adottare sostegni in funzione della larghezza delle gallerie sulla scorta del grafico di figura 15.

Dal grafico emerge che, a fronte delle caratteristiche generalmente scadenti dell'ammasso, nel complesso la ridotta sezione di scavo ha garantito lunghi tempi di autosostegno con fenomeni di dissesto molto localizzati.

Lo studio geologico-strutturale e geomeccanico ha consentito di effettuare una zonazione delle gallerie di Fontana Tasso evidenziando i diversi gradi di "stabilità" esistenti (cfr. fig. 14).

I tratti più critici sono posti in corrispondenza di faglie e delle zone scavate nei depositi di transizione della bauxite (breccie in matrice argillosa), in particolare quando quest'ultima si pone al tetto della sezione.

I tratti di galleria in cui la qualità degli ammassi rocciosi è molto scadente si collocano in corrispondenza

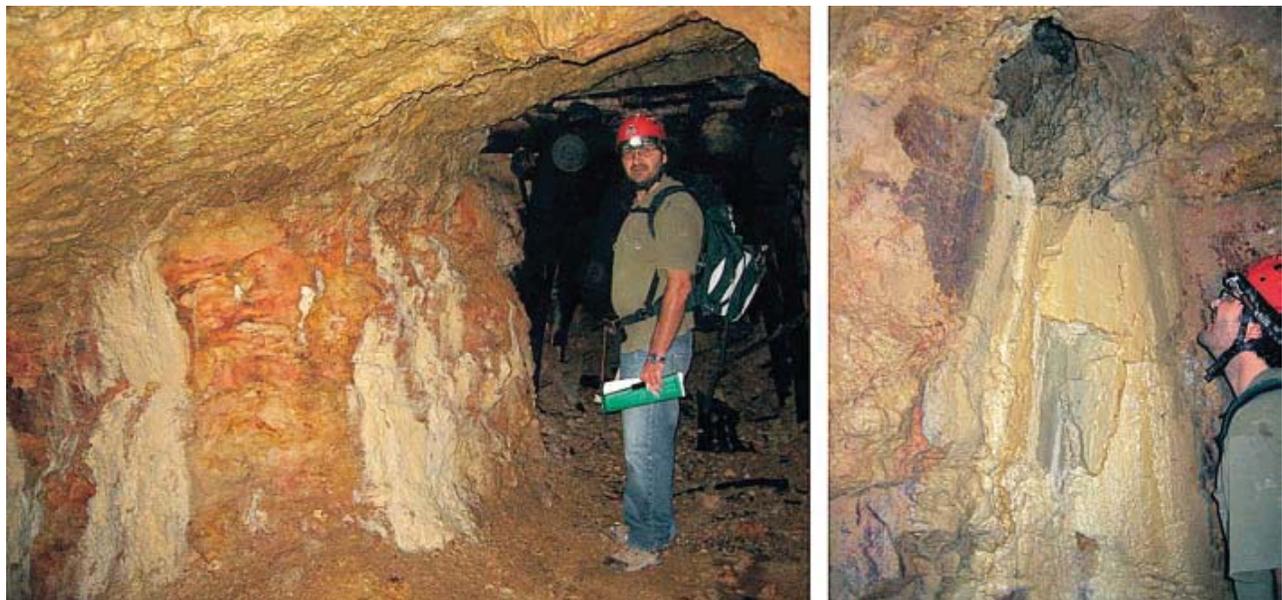


Fig. 13 - Esempi di venute d'acqua in miniera diffuse lungo fronti (a) e concentrate in canali carsici (b). Si noti nel primo caso i fenomeni di concrezionamento lungo le pareti associati alle infiltrazioni di acqua (foto S. Del Prete).

Fig. 13 - Example of groundwater conditions in mine, flowing through the wall (a) or by karstic spring (b). In the first case the development of a large calcite crust is common (photo S. Del Prete).

Carta della qualità degli ammassi rocciosi in relazione all'indice BRMR (Basic Rock Mass Rating) delle gallerie della Miniera di Fontana Tasso

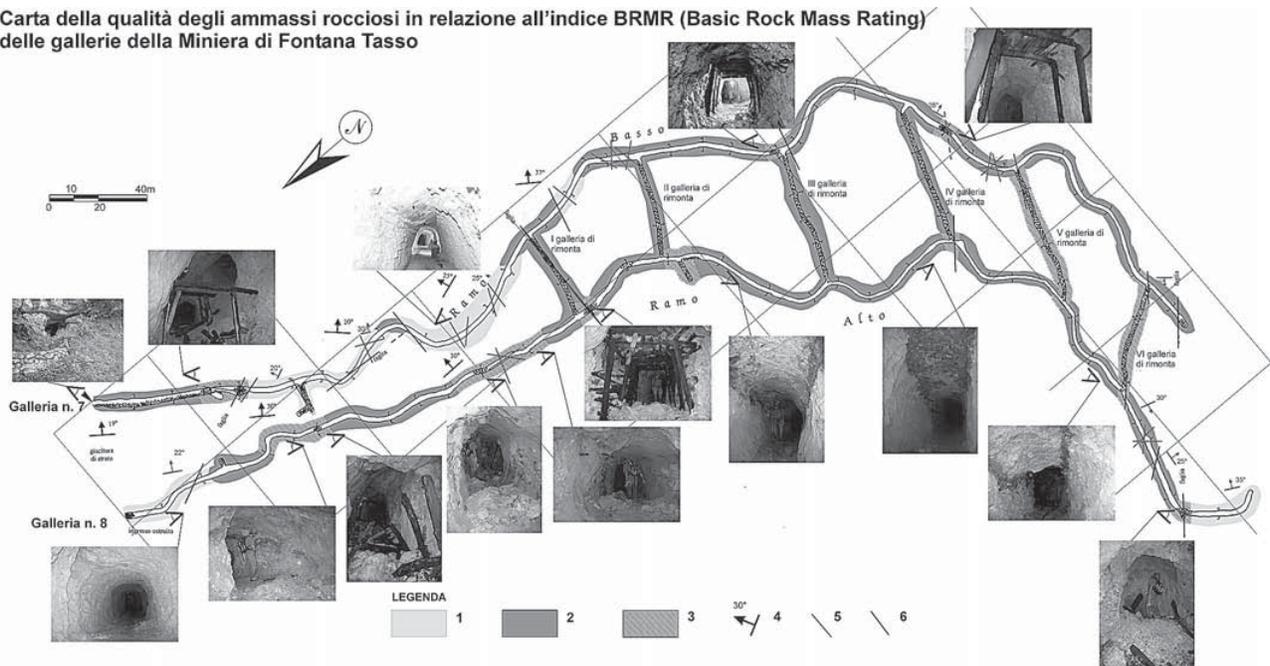


Fig. 14 - Carta della zonizzazione geomeccanica delle gallerie. Legenda: 1) Ammasso con valori di RQD compresi tra 75 e 90, valori di resistenza a compressione uniassiale compresi tra 25 e 50 MPa, spaziatura dei giunti mediamente non superiore ai 20 cm, superfici dei giunti lisce, generalmente umide e senza riempimento. Questi settori di galleria sono da ritenersi parzialmente stabili e caratterizzati da valori di coesione di 200-300 KPa e angoli di attrito di 35-40°: qualità DISCRETA (Classe III della classificazione di Bieniawski, 1989); 2) Ammasso caratterizzato da valori di RQD compresi tra 25 e 50, valori di resistenza a compressione uniassiale inferiori a 25 MPa, spaziatura dei giunti non superiore ai 20cm, superfici dei giunti lisce, generalmente umide e senza riempimento. Questi settori di galleria sono da ritenersi instabili e caratterizzati da valori di coesione di 100-200 Kpa e angoli di attrito di 30-35°: qualità SCADENTE (Classe IV della classificazione di Bieniawski, 1989); 3) Ammasso caratterizzato da valori di RQD inferiori a 50, valori di resistenza a compressione uniassiale non apprezzabili, spaziatura tra i giunti inferiore a 20cm, superfici dei giunti lisce, umide o spesso caratterizzate da stilloccidio e senza riempimento. Più frequentemente l'ammasso è costituito da una breccia calcarea immersa in matrice argillosa sovraconsolidata dotata di scadenti caratteristiche tecniche. Questi settori di galleria sono da ritenersi fortemente instabili e caratterizzati da valori di coesione di <100 Kpa e angoli di attrito intorno ai 30°: qualità MOLTO SCADENTE (Classe V della classificazione di Bieniawski, 1989); 4) Giacitura di strato e relativa inclinazione; 5) Principale famiglia di frattura; 6) faglia.

Fig. 14 - Geomechanical map of gallery. Legend: 1) Rock masses with RQD between 75 and 90, uniaxial compressive strength 25-50 MPa, spacing of set discontinuity 20 cm, joint surface smooth, damp and no filling material. This sector of mine is partially stable with cohesion value of 200-300KPa and friction angle of 35°-40°: discrete quality (Class III, Bieniawski, 1989); 2) Rock masses with RQD value between 25 and 50, uniaxial compressive strength <25 MPa, spacing of set discontinuity 20 cm, joint surface smooth, damp and no filling material. This sector of mine is partially unstable with cohesion value of 100-200KPa and friction angle of 30°-35°: poor quality (Class IV, Bieniawski, 1989); 3) Rock masses with RQD value < 50, uniaxial compressive strength not appreciable, spacing of set discontinuity 20 cm, joint surface smooth, damp or dripping and no filling material. In this sector rock masses are calcareous breccias in clay matrix. This sector of mine is unstable with cohesion value < 100 KPa and friction angle of 30°: very poor quality (Class V, Bieniawski, 1989); 4) bedding; 5) discontinuity set; 6) fault.

delle gallerie di rimonta e in buona parte della galleria n. 8 (ramo alto).

Le analisi geomeccaniche hanno confermato che la qualità della bauxite, indipendentemente dalle caratteristiche mineralogiche, è inferiore a quella delle altre gallerie della Regia Piana.

Le miniere hanno contribuito allo sviluppo storico ed industriale del nostro paese e per questo possono essere considerate patrimonio collettivo, luoghi di formazione e cultura legati alle storie degli uomini.

Le miniere di bauxite di Cusano Mutri rappresentano un importante sito di archeologia industriale che può essere riconvertito a fini turistici.

I risultati dello studio presentato dimostrano la necessità di effettuare interventi di sistemazione estensivi in diversi tratti della miniera che possono avere come risvolto l'obliterazione di evidenze significative da un punto di vista didattico-culturale, nonché un significativo dispendio economico.

Sarebbe opportuno definire un criterio di fruibilità selettiva che consenta di limitare gli interventi estensivi ai soli tratti destinati al turismo di "massa", mentre nei tratti di galleria più "compromessi" o di sezione più ridotta porre in essere interventi più *soft* limitando, nel contempo, l'accesso ad un turismo più "speleologico".

TEMPO DI AUTOSOSTENTAMENTO

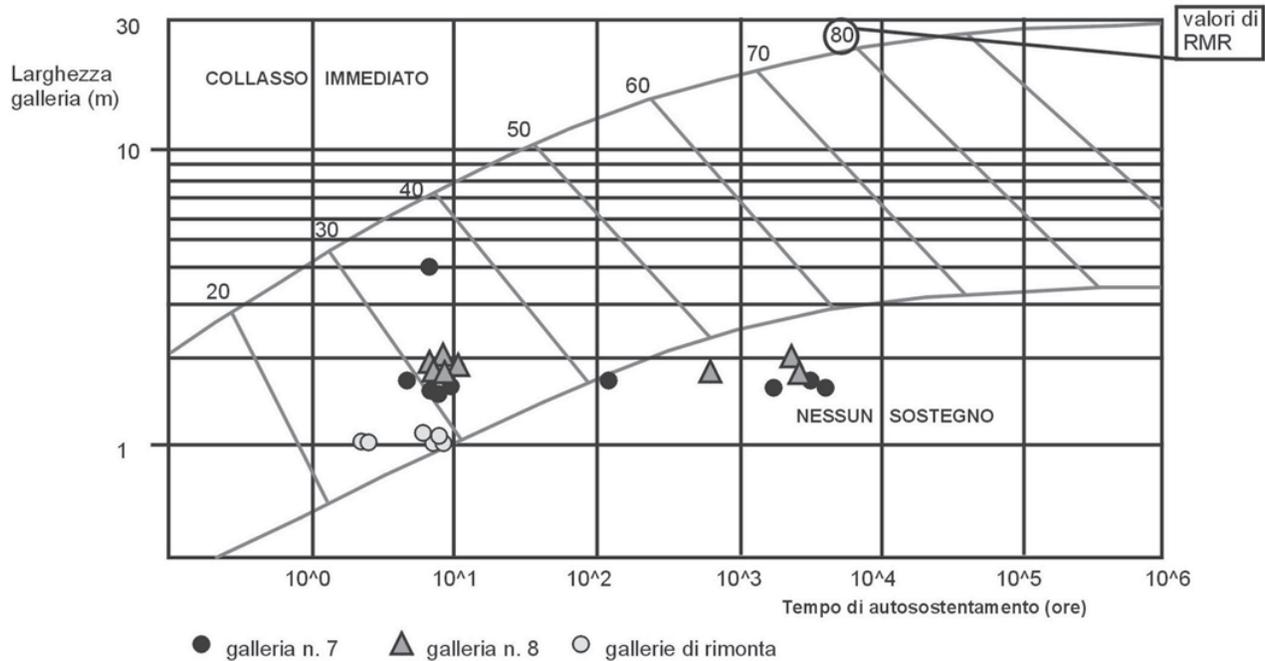


Fig. 15 - Condizioni di stabilità delle gallerie di Fontana Tasso nel tempo in rapporto alla qualità degli ammassi e alla sezione di scavo (da BIENIAWSKI, 1973).

Fig. 15 - Stability of Fontana Tasso galleries with time, based upon rock mass quality and tunnel section (after BIENIAWSKI, 1973).

Bibliografia

- BARDOSSY G.Y., BONI M., DALL'AGLIO M., D'ARGENIO B., PANTÒ G.Y., 1977, *Bauxites of Peninsular Italy. Composites on origin and geotectonic significance*, Monograph Series on Mineral Deposits, 15, pp. 61, Gerbrüder Borntraeger. Berlin-Stuttgart.
- BARTON N., LIEN R., LUNDE J., 1974, *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support*, Rock Mechanics, Springer Verlag, 6, pp. 189-239.
- BIENIAWSKI Z.T., 1973, *Engineering Classification of jointed rock masses*, Trans. S. Afric. Inst. of Civil Eng., 15, pp. 335-344.
- BIENIAWSKI Z.T., 1974, *Geomechanics Classification of rock masses and its application in tunnelling*, Proc. 3rd Int. Congr. on Rock Mechanics, vol. 2A, pp. 27-32.
- BIENIAWSKI Z.T., 1979, *The Geomechanics Classification in Rock Engineering applications*, Proc. 4th Int. Congr on Rock Mechanics, vol. 2, pp. 51-58.
- BIENIAWSKI Z.T., 1989, *Engineering rock mass classifications*, John Wiley and Sons.
- BIENIAWSKI Z.T., 1993, *Classification of rock masses for engineering; the RMR system and future trends*, in: J.A. Hudson, Rock testing and site characterization, pp. 553-573, Pergamon Press, Oxford, UK.
- BONI M., DI NOCERA S., 1976, *Le mineralizzazioni manganeseifere del massiccio del Matese. Prime osservazioni*, Boll. Soc. Nat. in Napoli, 85, pp. 1-48.
- BONI M., D'ARGENIO B., 1978, *Paleocarsismo medio Cretacico epigeo e bauxiti*, Conv. su: Processi paleocarsici e neocarsici e loro importanza economica nell'Italia meridionale - Guida alle escursioni. Istituto di Geologia e Geofisica dell'Università di Napoli - Gruppo Speleologico del CAI sez. di Napoli, 1-3 aprile 1978, pp. 73-81.
- BROCK E., FRANKLIN J.A., 1972, *The point load strength test*, Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 9, pp. 669-697.
- CRESCENTI U., VIGHI L., 1970, *Risultati delle ricerche eseguite sulle formazioni bauxitiche cretache del Casertano e del Matese, in Campania*, Mem. Soc. Geol. It., 9, pp. 401-434.
- D'ARGENIO B., 1962, *Impronte di disseccamento (sun cracks) nelle bauxiti del Matese*, Boll. Soc. Nat. in Napoli, 71, pp. 90-102.
- DEERE D.U., MILLER R.P., 1966, *Engineering classification and index properties for intact rock*, Technical Rep., Air Force Weapons Laboratory, New Mexico.

- DE LAUNAY L., 1913, *Gites minéraux et metallifères*, Vol. II, pag. 237, Paris.
- DEL PRETE S., MELE R., ALLOCCA F., BOCCHINO B., 2002a, *Nota Preliminare sulle miniere di bauxite di Cusano Mutri (BN), Monti del Matese (Campania)*, Atti del V Convegno Nazionale Cavità Artificiali, 28 aprile-1 maggio 2001, Osoppo (UD), pp. 239-248.
- DEL PRETE S., MELE R., ALLOCCA F., BOCCHINO B., 2002b, *Le miniere di bauxite di Cusano Mutri (M.ti del Matese - Campania)*, Opera Ipogea, 1, pp. 3-44, Erga Edizioni, Genova.
- FRANCO D., 1957, *Giacimenti alluminiferi di Cusano Mutri (BN)*, Boll. Soc. Nat. in Napoli, 66, pp. 101-116.
- FRONGIA A., 1939, *Miniere manganeseifere nel Matese*, Materie prime d'Italia e dell'Impero, 4, pp. 495-506.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO L.I., 1985, *Tunneling evaluation using the surface rock mass classification system SRC*, Symp. ISRM on the role of Rock Mechanics in Excavation for Mining and Civil Works, Zacatecas, México.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO L.I., 2003, *SRC rock mass classification of tunnels under high tectonic stress excavation in weak rocks*, Engineering Geology, 69, pp. 273-285.
- HOEK E., BROWN E.T., 1997, *Practical estimates of rock mass strength*, Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 34, pp. 1165-1186.
- HUDSON J.A., 1992, *Rock Engineering System: Theory & Practice*, High Plains Press (JAH), 185 pp.
- ISRM, 1978, *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*, Int. J. Rock Mech. Min. Soil & Geomech. Abstr., 15, pp. 319-368.
- MARANELLI A., 1938-39, *I giacimenti bauxitici del Sannio*, Boll. Soc. Nat. in Napoli, 50, pp. 183-193.
- MARINOS P., HOEK E., 2001, *Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch*, Bull. Eng. Geol. Env., 60, pp. 82-92.
- PRIEST S.D., HUDSON J.A., 1981, *Estimating of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys*, Int. Jour. of Rock Mechanics Min. Sci & Geomech., Abstr., 18, pp. 183-197.