

**CONSORZIO DI BONIFICA DELLA
BARAGGIA BIELLESE E VERCELLESE**

**RIFACIMENTO INVASO SUL TORRENTE SESSERA IN SOSTITUZIONE
DELL'ESISTENTE PER IL SUPERAMENTO DELLE CRISI
IDRICHE RICORRENTI, IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA IDRICA
DEGLI INVASI ESISTENTI SUI TORRENTI RAVASANELLA ED OSTOLA,
LA VALORIZZAZIONE AMBIENTALE DEL COMPENSORIO**

DATA PROGETTO

APRILE 2010

AGGIORNAMENTO
PROGETTO

ATTIVITÀ DI PROGETTAZIONE



(dott. ing. Domenico Castelli)

CONDOTTA PRIMARIA ED UTILIZZAZIONE IDROELETTRICA

**STUDIO GEOLOGICO E GEOTECNICO
DELLA GALLERIA DI GRANERO
RELAZIONE GEOTECNICA**

ELABORATO N.

RC4.2

ATTIVITÀ SPECIALISTICA



(Geol. Ing. Massimo PIETRANTONI)

PROGETTO DEFINITIVO

PRATICA N°10131D

ARCH. N° IB080

MODIFICHE
AGGIORNAMENTI

Aggiornamento

Data

CONTROLLO

Firma

OPERATORE

AT

CONTROLLO

MP

APPROVAZIONE

DC

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
2.1	NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI	3
2.2	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO.....	3
3	DESCRIZIONE DELLE OPERE	4
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
5	INDAGINI ESEGUITE	7
6	DESCRIZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI	9
6.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE	9
6.2	INDAGINI GEOFISICHE	9
6.3	PROVE DI LABORATORIO	10
7	CARATTERIZZAZIONE DEI LITOTIPI PRESENTI	13
7.1	GENERALITÀ.....	13
7.2	AMMASSO GABBRO-DIORITICO	19
7.2.1	<i>Resistenza a compressione uniassiale</i>	<i>19</i>
7.2.2	<i>Peso di volume</i>	<i>20</i>
7.2.3	<i>Caratterizzazione di resistenza e deformabilità del litotipo</i>	<i>21</i>
7.3	BRECCE CEMENTATE	25
7.4	COPERTURE DETRITICHE	25
8	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	26

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo delle seguenti opere, comprese nel programma di razionalizzazione e potenziamento dell'uso della risorsa idrica del biellese orientale e del vercellese settentrionale:

- una nuova diga sul torrente Sessera, per il potenziamento dell'accumulo attuale, con collegamento alla centrale del Piancone tramite una galleria esistente;
- una condotta ad uso irriguo ed idroelettrico che collega la centrale idroelettrica del Piancone (prima con una galleria e poi con una condotta interrata) con l'invaso della Ravasanella e con la roggia Marchionale in località Pavona di Rovasenda.

Il documento, dopo una breve sintesi dello studio geologico dei terreni interessati dalle opere in sottoterraneo, analizza i risultati delle indagini eseguite e propone la caratterizzazione geotecnica dei litotipi incontrati lungo il tracciato della galleria, ai fini del dimensionamento delle opere.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normative e raccomandazioni

- Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. 2004.
- Norme Tecniche per la Costruzioni. D.M. 14/1/2008.
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008

2.2 Documentazione di progetto

Per la stesura della presente relazione si è preso a riferimento la seguente documentazione di progetto e relativi allegati, che si intende integralmente richiamata.

[G2] *Relazione illustrativa generale*

[RD1] *Relazione Tecnica*

[RC4.1] *Relazione geologica*

[RD7.1] *Relazione geologica della diga*

[RC4.3] *Galleria naturale - Relazione di calcolo*

[RC4.4] *Imbocchi galleria - Relazione di calcolo*

[RC4.5] *Carta Geologica*

[RC4.6] *Profilo Geomeccanico*

[RC4.7] *Relazione sulle Indagini*

[RC4.8] *Planimetria con ubicazione delle indagini*

[RC4.9] *Stratigrafie dei sondaggi*

[RC4.10] *Prove di Laboratorio*

[RC4.11] *Risultati dell'indagine geofisica*

[RD7.11] *Relazione sulle indagini della diga*

[RD7.12] *Planimetria con ubicazione delle indagini della diga*

[RD7.13] *Stratigrafie dei sondaggi e prove in sito della diga*

[RD7.14] *Prove di Laboratorio dei sondaggi della diga*

3 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Le opere in sotterraneo sono costituite da un tratto principale, costituito da una galleria naturale di lunghezza pari a circa 3700 m, con sezione circolare di diametro netto pari a circa 4.5 m, all'interno della quale verrà alloggiata una condotta di acciaio di diametro 1600mm.

Gli imbocchi della galleria sono ubicati nei pressi della Centrale del Piancone e nei pressi dell'abitato di Coggiola (in località Granero) dove verrà realizzato l'edificio di sezionamento. Per la realizzazione della galleria circolare è previsto l'impiego di una fresa da roccia scudata, con posa del rivestimento in conci di CLS prefabbricati a tergo dello scudo. L'avanzamento avverrà con sistema meccanizzato per l'intera tratta, a partire dall'imbocco lato Coggiola, ad eccezione di un breve tratto iniziale, interessato da materiale sciolto, in cui è previsto lo scavo a piena sezione con sistema tradizionale.

Per problemi legati alle fasi esecutive, in prossimità dell'imbocco lato Piancone la galleria si biforca in due rami:

- uno da scavare con fresa, eseguito in continuità con il resto della galleria, ma con un aumento di pendenza, con uscita a quote poco superiori a quelle del fondovalle del torrente Sessera, su un piazzale che sarà utilizzato anche per il carico e trasporto tramite teleferica dei materiali per la costruzione della diga. Questo tratto di galleria sarà utilizzato per il trasporto dei materiali durante la costruzione della diga e successivamente utilizzato come accesso supplementare per manutenzione alla condotta durante la fase di esercizio;
- uno da scavare in tradizionale, con sezione a ferro di cavallo, con uscita a quote inferiori al fondovalle in corrispondenza della vasca di carico della condotta; questo tronco di galleria sarà utilizzato per l'alloggiamento finale della condotta. Il ramo di galleria realizzato in tradizionale sarà collegato al ramo realizzato con fresa mediante un camerone di collegamento scavato in tradizionale, in allargò rispetto al tratto di galleria realizzata con fresa.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per completezza si riporta nel seguito una breve descrizione dell'assetto geologico ed idrogeologico, nonché degli aspetti morfologici e tettonici della zona interessata dalla galleria.

Per una trattazione completa ed esaustiva si rimanda alla "Relazione geologica".

Il rilievo attraversato dalla galleria è costituito quasi interamente dalla formazione gabbro-dioritica appartenente al *Corpo Basico di Ivrea*.

Si tratta di rocce con struttura granulare a grana grossa caratterizzate da frequenti passaggi di litologia (nel campo delle rocce gabbriche e dioritiche) senza una regola tale da far individuare settori con prevalenza di una litologia rispetto all'altra.

Negli affioramenti la roccia si presenta in genere fresca o poco alterata. L'alterazione è limitata a pochi centimetri dalle superfici e si estende in profondità solo attraverso i giunti di frattura più aperti. L'ammasso roccioso è attraversato da vari sistemi di fratture nell'ambito dei quali si possono quasi sempre riconoscere alcune famiglie prevalenti. Date le elevate coperture che caratterizzano gran parte del tracciato della galleria, l'orientazione riscontrabile in superficie non è riportabile con certezza a livello della galleria.

L'ammasso gabbro-dioritico è estesamente affiorante sul rilievo montuoso attraversato dalla galleria, in particolare nel settore settentrionale, verso la centrale del Piancone, mentre nel settore meridionale (lato Coggiola) un esteso manto detritico ricopre con spessori più o meno elevati le rocce del substrato. In gran parte si tratta di detriti di falda accumulatisi al piede dei versanti.

Le indagini eseguite in corrispondenza dell'abitato di Coggiola, dove è ubicato l'imbocco di Granero, hanno attraversato, al di sotto della copertura detritica, una breccia cementata, costituita da un aggregato di frammenti di rocce di varie dimensioni (da qualche mm a qualche cm) di varia litologia, prevalentemente gabbro-dioritica, ma anche di tipo granitoide, gneissico e quarzítico, legati da un cemento di vario colore da grigio a marrone-rossastro.

Il rilievo geologico ha inoltre consentito di indicare le principali dislocazioni tettoniche rilevate in affioramento e/o individuate dall'analisi interpretativa delle foto aeree.

In particolare è stato riconosciuto un sistema principale di faglie orientato circa NNW-SSE.

E' presumibile che in corrispondenza di tali dislocazioni lo stato di fratturazione dell'ammasso risulti maggiormente accentuato, anche se dai rilievi di superficie è emerso che anche le dislocazioni più importanti sono accompagnate da una fascia di disturbo relativamente stretto.

In linea generale è stato previsto che le principali dislocazioni potranno essere accompagnate da una fascia di roccia rilasciata e fratturata, di spessore variabile, a stima prevista dell'ordine della decina di metri.

Nella zona iniziale della galleria, a causa della presenza di lineamenti tettonici con direzione poco divergente rispetto alla direzione della galleria, potrebbe verificarsi l'attraversamento di porzioni di roccia fortemente suddivise per lunghi tratti.

Per quanto riguarda la situazione idrogeologica, i rilievi di superficie non hanno individuato la presenza di sorgenti o emergenze idriche tali da far prevedere la presenza di una falda idrica all'interno del rilievo, alle quote della galleria.

Non è tuttavia da escludere che all'interno del rilievo possano instaurarsi le condizioni per la formazioni di piccole falde sospese. Si tratterebbe in questo caso di circolazioni idriche di carattere stagionale, che avvengono nelle porzioni di ammasso molto fratturate e sostenute dalle porzioni di roccia più integra. Tenuto conto del presumibile scarso grado di permeabilità (per fratturazione) dell'ammasso roccioso, eventuali attraversamenti di falde sospese non dovrebbero tuttavia provocare problemi di rilevanza tecnica per lo scavo della galleria.

Una maggiore circolazione idrica potrebbe avvenire in corrispondenza delle zone di faglia, dove potrebbero verificarsi anche accumuli idrici di un certo rilievo i quali, una volta attraversati con lo scavo, potrebbero dare luogo a venute idriche.

5 INDAGINI ESEGUITE

Campagna di sondaggi

La galleria si sviluppa nel sottosuolo del rilievo della Bocchetta di Pontiggie con coperture molto importanti, superiori al centinaio di metri, già dopo poca distanza dagli imbocchi, stante la forte acclività dei rilievi. L'acquisizione di dati di sottosuolo diretti nelle zone con coperture maggiori avrebbe comportato la necessità di eseguire sondaggi molto profondi (alcune centinaia di metri), peraltro difficilmente eseguibili vista l'inaccessibilità dei siti posti sulla verticale della galleria e la pratica impossibilità di realizzare piste in una zona fittamente boscata. Per contro, l'uniformità delle condizioni geologiche riscontrate con i rilevamenti non ha fatto ritenere indispensabile l'esecuzione di sondaggi per l'individuazione di passaggi litologici e stratigrafici significativi.

Con tale impostazione sono state eseguite le seguenti indagini:

- nella zona di **imbocco lato Coggiola (Granero)**: 2 sondaggi a carotaggio continuo profondi 12 e 17m, con 5 prove SPT (Standard Penetration Test) nei terreni di copertura e prelievo di carote di roccia per prove di laboratorio;
- **lungo la galleria lato Coggiola**: 2 sondaggi, in parte a distruzione di nucleo e in parte a carotaggio, profondi 55 e 65m, con prelievo di carote di roccia per prove di laboratorio; uno dei sondaggi è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto per il rilievo dei livelli di falda;
- nella zona di **imbocco lato Piancone** (vasca di carico): un sondaggio verticale profondo 10 m e uno inclinato di 60° dalla verticale, della lunghezza di 25m; entrambi a carotaggio continuo con prelievo di carote di roccia per l'esecuzione di prove di laboratorio.

I risultati delle indagini in sito sono raccolti nello specifico elaborato RC4.9.

Sulle carote di roccia prelevate nei sondaggi sono state effettuate le seguenti prove di laboratorio:

- 19 determinazioni del peso di volume
- 19 prove di compressione uniassiale;
- 19 determinazioni di porosità
- 32 prove "point-load" (16 assiali e 16 diametrali)

I risultati delle prove di laboratorio sono raccolti nello specifico elaborato della tav. RC4.10.

Campagna di indagini geofisiche

Con lo scopo di ricostruire la situazione di sottosuolo nelle zone di imbocco e di acquisire utili dati circa le caratteristiche meccaniche delle rocce, è stata eseguita una specifica campagna di indagine geofisica con il metodo della sismica a rifrazione.

Nel complesso sono stati realizzati

- nella zona di **imbocco lato Coggiola**: 2 stendimenti sismici a rifrazione, per una lunghezza complessiva di 117m;
- nella zona di **imbocco lato Piancone** (uscita galleria scavata con fresa): 2 stendimenti sismici a rifrazione, per una lunghezza complessiva di 48m;
- nella zona di **imbocco lato Piancone** (vasca di carico): 2 stendimenti sismici a rifrazione di 18 e 35m per una lunghezza complessiva di 53m nella zona della vasca di carico; 1 stendimento sismico a rifrazione lungo 18m nella zona d'alveo del Sessera dove è prevista la condotta di collegamento tra la centrale e la vasca di carico.

I risultati delle indagini sismiche sono raccolti nello specifico elaborato della tav. RC4.11.

6 DESCRIZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI

6.1 Indagini geognostiche

I sondaggi geognostici hanno confermato le evidenze di superficie che indicano un basso grado di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Nelle stratigrafie allegate alla documentazione sulle indagini sono riportati i dati di rilevamento geomeccanico effettuato sulle carote; sono riportati in particolare gli indici TCR (Total Core Recovery), SCR (Standard Core Recovery) e RQD (Rock Quality Designation), che forniscono indicazioni sullo stato di fratturazione della roccia, ed inoltre alcuni parametri geometrici e le caratteristiche dei giunti.

I risultati essenziali sono illustrati graficamente nel profilo geomeccanico RC4.6.

E' stata evidenziata una certa differenza, sia della litologia sia del grado di fratturazione, tra la zona del Piancone e di Coggiola. Dal punto di vista litologico si tratta solo di variazioni petrografiche (ma anche di grado di metamorfismo), pur sempre nell'ambito della formazione gabbro-dioritica.

In particolare nella zona del **Piancone** i sondaggi e i numerosi affioramenti presenti, indicano la presenza di rocce gabbro-dioritiche (con passaggi sfumati da un limite all'altro) con un grado di fratturazione e di alterazione molto basso già in superficie e che diminuisce rapidamente con la profondità. I fenomeni di alterazione sono poco evidenti e sono concentrati nelle fessure più aperte; nei primi 4-5 m di profondità si nota che ad una distanza di qualche centimetro dalle fessure il materiale si presenta solo appena decolorato; a partire da 15-20 m di profondità la roccia si presenta del tutto integra anche all'interno delle fessure. L'indice RQD è molto elevato già a poca profondità dal p.c. e tranne alcuni tratti con maggiore fratturazione, si mantiene spesso su valori tra 70 e 90%.

Nella zona di **Coggiola** i sondaggi hanno attraversato litotipi gabbri di colore nerastro, con un apprezzabile grado di metamorfismo segnato dalla presenza di minerali serpentinitici. Questo debole grado di metamorfismo forma una certa fissilità della roccia che provoca una microfessurazione della roccia (a volte latente che viene amplificata dalla perforazione). Per tali motivi il grado di RQD è risultato molto variabile con tratti medio-elevati (50-80%) alternati a tratti con RQD molto bassi fino a passaggi completamente frantumati.

6.2 Indagini geofisiche

Dai risultati degli stendimenti geosismici a rifrazione eseguiti nei siti di imbocco sono stati generalmente individuati due o tre strati:

- ✓ un primo sismostrato (identificato come coltre superficiale) con velocità di 500÷1000 m/s circa;

- ✓ un secondo sismostrato (detrito di pendio/roccia alterata) con velocità di 1000÷2000 m/s;
- ✓ un terzo sismostrato (roccia poco fratturata) con velocità superiore a 2000 m/s; ulteriori suddivisioni sono possibili nell'ammasso roccioso che arriva a raggiungere velocità fino a 5500 m/s nell'ambito dei primi 10-15m di profondità.

Maggiori dettagli sulle prospezioni geofisiche saranno esposti nei paragrafi specifici sugli imbrocchi

6.3 Prove di laboratorio

Nella campagna di indagini eseguita sono stati raccolti i seguenti dati di laboratorio con prove eseguite su carote prelevate dai sondaggi:

- determinazione del peso di volume;
- resistenza a compressione uniassiale;
- prove point load.

I risultati delle prove di laboratorio sono riassunti nella tabella seguente.

Sondaggio	prof.	Point load ASSIALE (MPa) <small>Raccomandazioni ISRM - 1985</small>	Point load DIAMETRALE (MPa) <small>Raccomandazioni ISRM - 1985</small>	Peso di volume (t/m ³) <small>ISRM Document 2 Dic. 1977</small>	Porosità (%) <small>ISRM Document 2 Dic. 1977</small>	UCS (MPa) <small>ISRM 1978</small>
SG2 - C1	9,0-10,0			2.33	14.16	10.70
SG2 - C2	11,0-12,0			2.93	0.74	9.70
SG6-C1	12,15-12,3	5.075	5.813	2.99	0.64	72.5
SG6-C2	15,4-16,0	0.974	3.571	3.00	0.24	110.9
SG6-C3	18,3-19,0	7.372	8.243	2.96	1.29	82.1
SG6-C4	21,0-21,7	9.055	4.811	2.82	1.17	82.5
SG6-C5	23,0-23,85	1.685	6.845	2.85	0.61	91.9
sg5-c1	6,77-6,95	11.01	7.408	2.97	0.61	137
sg5-c2	9,45-9,63	9.681	8.282	2.97	0.83	133.9
sg5-c3	12,0-12,18	10.842	8.962	3.00	0.35	119.5
sg4-c1	40,4-40,68	1.242	13.686	2.88	0.83	42.9
sg4-c2	45,7-45,88	12.148	10.472	2.86	0.77	59.3
sg4-c3	50,09-50,27	16.432	9.757	2.87	0.50	21.1
sg4-c4	59,4-59,58	3.781	11.242	2.86	0.26	22.7
sg4-c5	61,25-61,43	4.281	4.576	2.99	0.58	26.7
sg3-c1	36,32-36,5			2.72	0.35	8.2
sg3-c2	43,61-43,79	13.294	12.975	2.92	0.36	32.3
sg3-c3	47,72-47,9	2.98	9.764	2.87	0.82	32.3
sg3-c5	52,53-52,71	4.691	1.701	2.9	0.57	22.8

Per la caratterizzazione dell'ammasso gabbro-dioritico, sono state prese in considerazione anche le prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nell'ambito della campagna geognostica condotta per la progettazione della nuova diga. I relativi risultati sono riassunti nelle tabelle seguenti, suddivisi rispettivamente per la campagna eseguita per il Progetto definitivo e per il Progetto Preliminare.

Sondaggio	prof.	Point load ASSIALE (MPa)	Peso di volume (t/m3)	UCS (MPa)
		Raccomandazioni ISRM - 1985	ISRM Document 2 Dic. 1977	ISRM 1978
SD4 - C1	2,9-3,9	8.6	3.08	47.5
SD4 - C1	3,17-3,35		2.91	25.7
SD4 - C2	6,0-6,7	14.3	3.03	79.3
SD4 - C3	10,0-11,0	5.1	2.89	78.9
SD4 - C3	10,65-10,83		2.87	20.0
SD4 - C4	15,8-16,8	3.4	2.77	79.2
SD4 - C4	16,3-16,48		2.78	41.6
SD4 - C5	20,6-21,6	10.9	2.81	164.8
SD4 - C6	25,0-26,0	15.2	2.82	178.2
SD4 - C6	25,05-25,23		2.75	43.3
SD4 - C7	30,5-31,5	22.4	2.87	131.6
SD4 - C7	30,87-31,05			74.6
SD4 - C8	38,5-39,5	3.3	2.96	65.3
SD5 - C1	4,5-5,0	13.1	2.95	47.2
SD5 - C2	8,1-9,1	5.0	3.02	73.9
SD5 - C3	12,6-13,1	10.4	3.05	77.7
SD5 - C4	17,15-18,0	3.7	2.85	59.2
SD5 - C5	22,1-22,7	5.0	2.83	43.5
SD5 - C6	26,4-27,15	9.3	3.02	121.4
SD5 - C6	26,81-26,99		2.89	50.7
SD5 - C7	34,0-34,9	6.6	2.83	77.5
SD5 - C7	34,26-34,44			94.0
SD5 - C8	36,9-37,9	7.6	2.81	48.3
SD5 - C8	36,6-36,78		2.96	52.7
SD5 - C9	41,55-42,55	13.9	2.98	138.2
SD5 - C9	41,82-42,0		3.04	88.1
SD5 - C10	45,1-46,1	9.4	2.92	82.8
SD6 - C1	3,3-4,0	12.0	2.92	42.6
SD6 - C2	5,0-6,0	7.5	2.82	76.4
SD6 - C3	10,0-10,5	13.2	2.8	58.5
SD6 - C4	18,4-18,7	4.4	2.8	80.3
SD8 - C1	2,0-3,0	9.5	2.94	49.6
SD8 - C2	9,0-10,0	15.3	3.17	83.8
SD8 - C3	12,5-12,68			196.9
SD8 - C3	12,0-12,8	18.5	3.03	143.7
SD8 - C4	19,0-20,0	9.3	2.85	96.3
SD8 - C5	24,0-25,0	10.3	2.95	79.8
SD8 - C6	28,0-29,0	21.0	3.16	195.1
SD9 - C1	2,2-2,7	11.9	2.87	66.0
SD9 - C1	2,35-2,53		2.85	82.7
SD9 - C3	14,2-14,9	2.6	2.86	41.4
SD9 - C4	18,45-19,0	0.7	2.83	99.8
SD9 - C5	21,4-22,0	11.5	2.81	97.1
SD9 - C6	27,8-28,4	6.9	2.91	32.4

Risultati delle indagini condotte per il progetto definitivo

Sondaggio	prof.	Point load ASSIALE (MPa) <small>Raccomandazioni ISRM - 1985</small>	Peso di volume (t/m3) <small>ISRM Document 2 Dic. 1977</small>	UCS (MPa) <small>ISRM 1978</small>
S2 - C1	13.6	8.6	3.1	82.5
S2 - C1	17.5		3.1	109.1
S2 - C1	33	14.3	2.9	74.0
S2 - C2	33	5.1	2.9	75.3
S2 - C1	45.2		3.1	113.9
S2 - C2	45.2	3.4	3.1	62.7
S3 - C1	3.2		3.0	95.3
S3 - C2	3.2	10.9	3.1	86.8
S3 - C1	15.8	15.2	3.1	146.4
S3 - C1	25.7		3.2	88.9
S3 - C2	25.7	22.4	3.2	130.7
S3 - C1	31.2		3.1	121.0
S3 - C2	31.2	3.3	3.1	30.7
S3 - C1	37.5	13.1	3.1	156.2
S3 - C2	37.5	5.0	3.1	113.3

Risultati delle indagini condotte per il progetto preliminare

7 CARATTERIZZAZIONE DEI LITOTIPI PRESENTI

7.1 Generalità

Gli ammassi rocciosi sono strutture composte da una matrice intatta separata da giunti o discontinuità, serrate o più o meno aperte, a volte riempite da materiale di origine secondaria.

Le discontinuità hanno pertanto una fondamentale importanza per il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso che, dal punto di vista ingegneristico, viene assimilato ad un aggregato di blocchi, più o meno giustapposti.

La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso consiste quindi nella definizione dei parametri geomeccanici e geometrici più significativi e nell'individuazione di un modello che meglio approssimi il comportamento dell'ammasso, assimilandone il comportamento ad un mezzo "continuo" equivalente.

Alcuni semplici schemi di classifica tecnica degli ammassi rocciosi erano già in passato presenti per la previsione dei carichi agenti sui rivestimenti delle gallerie, ma più recentemente sono state introdotte, e via via aggiornate, alcune classifiche, note come RMR e Q, allo scopo di caratterizzare l'ammasso roccioso dal punto di vista delle sue proprietà meccaniche (resistenza, deformabilità e permeabilità), prescindendo dai parametri relativi ai carichi agenti sull'opera (condizioni idrauliche e stato di sforzo in situ), nonché dalle specifiche condizioni dell'opera medesima (ad esempio l'orientazione della galleria nei confronti dell'assetto strutturale).

L'indice di caratterizzazione attualmente più utilizzato è il GSI (derivato dalla predetta classifica tecnica RMR)

Sono state poi proposte correlazioni, che consentono di valutare i parametri di resistenza, deformabilità e permeabilità di un ammasso a partire dagli indici GSI e Q'.

Tale indice è stato introdotto da Hoek, Kaiser e Bawden (1995) e può essere definito sulla base delle caratteristiche d'ammasso o sulla base di un confronto diretto con l'indice RMR della classificazione di Bieniaski.

Nella figura seguente è riportato l'abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali d'ammasso.

DESCRIZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA		CONDIZIONI SUPERFICIALI				
STRUTTURA		DIMENSIONE DELLA QUALITÀ SUPERFICIALE DELL'AMMASSO ROCCIOSO				
	A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.	BVG	B/G	BF	B/P	BVP
	CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, riccamente incastriati, con più sbocciature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.	VBVG	VB/G	VB/F	VB/P	VBVP
	A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.	BDVG	BD/G	BD/F	BD/P	BDVP
	DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.	DVG	D/G	D/F	D/P	DVP

INDICE GEOLOGICO DI RESISTENZA GSI (Geological Strength Index)		CONDIZIONI SUPERFICIALI				
STRUTTURA		DIMENSIONE DELLA QUALITÀ SUPERFICIALE DELL'AMMASSO ROCCIOSO				
	A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.	80	70	60	50	40
	CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, riccamente incastriati, con più sbocciature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.	70	60	50	40	30
	A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.	60	50	40	30	20
	DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.	50	40	30	20	10

Stima dell'indice GSI (Geological Strength Index) sulla base della descrizione geologica dell'ammasso roccioso

Vista la diffusione del sistema di classificazione di Bieniawski, è stata anche definita dagli autori una correlazione diretta fra il valore di GSI ed il valore di RMR; in particolare nel caso si faccia riferimento al sistema di classificazione di Bieniawski del 1976, indicando con RMR_{76} il valore dell'indice RMR ottenuto assumendo per le condizioni idrauliche dei giunti l'ipotesi di giunti umidi con un valore dell'indice pari a 10 e non applicando alcuna correzione per effetto dell'orientamento dei giunti si può considerare:

- per $RMR_{76} > 18$ → GSI = RMR_{76}
- per $RMR_{76} < 18$ → Non applicabile

Nel caso si faccia riferimento alla classificazione di Bieniawski del 1989 indicando con RMR_{89} il valore dell'indice RMR ottenuto assumendo per le condizioni idrauliche dei giunti un indice pari a 15 e, come sopra, non adottando alcun indice correttivo per l'orientamento dei giunti si può scrivere:

- per $RMR_{76} > 23$ → GSI = $RMR_{89} - 5$
- per $RMR_{76} < 23$ → Non applicabile

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI									
PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniaxiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	INDICE	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%			
	INDICE	20	17	13	8	3			
3	SPAZIATURA GIUNTI	> 2 m	0.6-2 m	200-600 m	60-200 mm	< 60 mm			
	INDICE	20	15	10	8	.5			
4	CONDIZIONE GIUNTI (vedi E)	Superfici molto scabre non continue Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o aperture 1-5 mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui			
		INDICE	30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m lunghezza tunnel (l/m)	Assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Pressione acqua nei giunti Rapp. Soil. nat. in situ	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	Completamente asciutto	Umido	Molto umido	Stillicidio	Severi problemi idraulici		
		INDICE	15	10	7	4	0		
B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI (vedi F)									
Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Stavorevole	Molto sfavorevole			
INDICI	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12			
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25			
	Pendii	0	-5	-25	-50				
C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI									
Indice RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<21				
Classe	I	II	III	IV	V				
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente				
D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO									
Classe	I	II	III	IV	V				
Tempo di autosostegno	20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 sett. per L=5	10 ore per L=2.5m	30 minuti per L=1m				
Coesione dell'ammasso roccioso (KPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100				
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso (*)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15				
E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ									
Lunghezza delle discontinuità (persistenza) Indici	< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0				
Separazione (apertura) Indici	Nessuno 6	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0				
Scabrezza Indici	Molto scabro 6	Scabro 5	Leggermente scabro 3	Liscie 1	Liscie o laminate 0				
Riempimento Indici	Nessuno 6	Compatto < 5 mm 4	Compatto > 5 mm 2	Tenero < 5 mm 2	Tenero > 5 mm 0				
Alterazione Indici	Non alterato 6	Leggerm. alterato 5	Moderatam. alterato 3	Altamente alterato 1	Decomposto 0				
F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ SULLA STABILITÀ DI UNA GALLERIA									
Perpendicolare all'asse della galleria			Parallelo all'asse della galleria						
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°			Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°			Inclinazione 45 - 90°		Inclinazione 20 - 45°	
Molto favorevole			Favorevole			Molto favorevole		Discreta	
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°			Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°			Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike			
Discreto			Stavorevole			Discreta			

Sistema di classificazione di Bieniawski, versione 1989

L'indice RMR viene calcolato sulla base di un indice caratteristico del grado di fratturazione definito "RQD" che rappresenta la percentuale di carotaggio con spezzoni di carota superiori a 10 cm e di per sé stesso rappresenta un buon indicatore qualità della roccia secondo le classi riportate nella tabella seguente:

RQD (%)	Grado di fratturazione	Qualità della roccia
< 25	Molto elevato	Molto scadente
25÷50	Elevato	Scadente
50÷75	Medio	Discreta
75÷90	Debole	Buona
90÷100	Quasi nullo	Eccellente

Qualità della roccia sulla base dell'indice RQD

Normalmente tale indice viene definito in relazione alle carote estratte dai sondaggi; occorre tuttavia sottolineare che il disturbo indotto nell'ammasso durante le fasi di perforazione può alterare (anche in maniera significativa) il grado di fratturazione, riducendo fittiziamente il valore di RQD.

Per la caratterizzazione meccanica dell'ammasso roccioso è stato adottato un criterio di resistenza contraddistinto, nel piano di Mohr, da una marcata curvatura con concavità verso il basso; tale criterio comporta che, a modeste pressioni di confinamento, la superficie di rottura tende a seguire piani di discontinuità con giacitura prossima a quella di rottura, mentre ad elevate sollecitazioni la rottura interessa più estese porzioni di roccia integra.

Tale comportamento viene bene descritto dal criterio di resistenza non lineare di Hoek e Brown generalmente adottato per gli ammassi rocciosi.

Nel caso specifico è stato adottato la più recente formulazione che definisce in maniera più rigorosa ed univoca i parametri di resistenza al taglio "equivalenti" nei termini propri del criterio di Mohr-Coulomb.

La resistenza di picco dell'ammasso roccioso è stata definita sulla base della seguente espressione:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

dove:

σ_c è la resistenza a compressione uniassiale del materiale roccioso e m ed s sono due parametri legati alla resistenza, rispettivamente di tipo attritivo e di tipo coesivo, ricavati con le seguenti espressioni:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/15}\right)$$

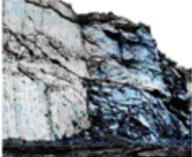
m_i costante adimensionale dipendente dal tipo litologico (assunto pari a 27 ± 3 per gabbri).

Nella tabella seguente sono indicate le correlazioni proposte dagli autori per la valutazione dell'entità del modulo elastico dell'ammasso.

LIMITI	RELAZIONE
$\sigma_{ci} < 100\text{MPa}$	$E_m (\text{GPa}) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)}$
$\sigma_{ci} > 100\text{MPa}$	$E_m (\text{GPa}) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot 10^{((GSI-10)/40)}$

Moduli elastici di ammasso (Hoek, 2002)

L'entità del parametro "D" di nuova introduzione (vedi figura seguente) risulta funzione del grado di disturbo dell'ammasso roccioso essendo variabile da 0 per rocce indisturbate ad 1 per rocce molto disturbate.

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	D = 0
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	D = 0 D = 0.5 No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	D = 0.8
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	D = 0.7 Good blasting D = 1.0 Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	D = 1.0 Production blasting D = 0.7 Mechanical excavation

Linee guida per la scelta del fattore di disturbo D dell'ammasso roccioso

I parametri di Mohr-Coulomb vengono così definiti sulla base delle seguenti espressioni (per i dettagli si rimanda alla pubblicazione citata):

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n}] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}}$$

dove:

$$\sigma'_{3n} = \sigma'_{3\max} / \sigma_{ci}$$

Si ritiene utile notare che il valore di $\sigma'_{3\max}$ rappresenta il limite superiore della tensione di confinamento e definisce pertanto l'intervallo nel quale è stata individuata l'equivalenza fra il criterio di rottura di Hoek-Brown e quello di Mohr-Coulomb.

Analisi svolte dagli autori consentono di ritenere corretta (sia per gallerie superficiali che profonde) la seguente espressione :

$$\frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma'_{cm}} = 0.47 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94}$$

dove σ'_{cm} è la resistenza "globale" dell'ammasso roccioso definita come segue:

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'}$$

da cui sostituendo i valori di coesione e angolo di attrito precedentemente definiti, si ottiene:

$$\sigma'_{cm} = \sigma'_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b / 4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

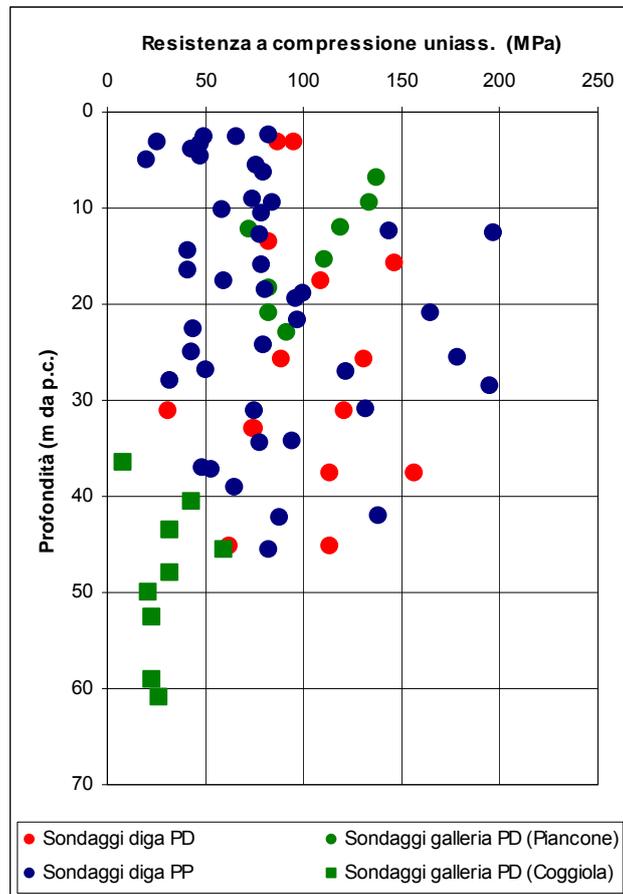
7.2 Ammasso gabbro-dioritico

7.2.1 Resistenza a compressione uniassiale

L'insieme dei risultati delle prove condotte, riepilogate nel paragrafo 6.3 è riassunto nella figura seguente; in particolare sono stati distinti i valori ricavati dai sondaggi eseguiti nella zona di Coggiola (sondaggi SG3 e SG4), da quelli ricavati dai sondaggi eseguiti in prossimità dell'imbocco lato Piancone (SG5 e SG6).

Tale suddivisione si è resa necessaria in quanto, come accennato, nella zona di Coggiola i sondaggi, hanno attraversato litotipi caratterizzati da un apprezzabile grado di metamorfismo che ha prodotto una certa fissilità della roccia con conseguente riduzione dei valori di resistenza riscontrati. Tale comportamento, si ritiene tuttavia proprio di una limitata zona dove l'ammasso risulta ammantato dalle citate potenti coperture detritiche; laddove invece l'ammasso è risultato affiorante (nella gran parte dello sviluppo della galleria) sono state riscontrate caratteristiche meccaniche più simili a quelle rinvenute con le indagini eseguite nei pressi dell'imbocco del Piancone, a loro volta del tutto omogenee a quelle ricavate dalle indagini eseguite per la progettazione della diga.

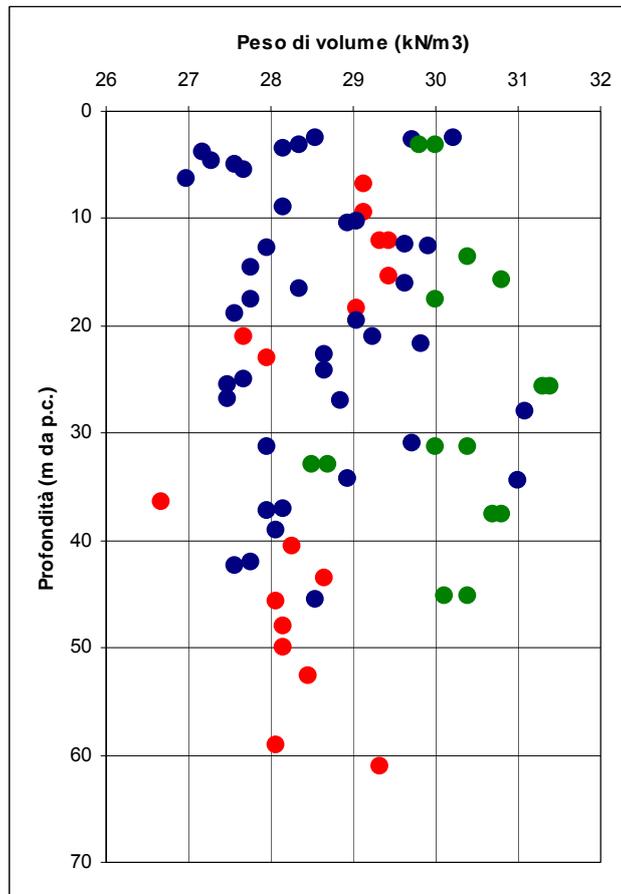
L'insieme dei valori ricavati è riportato nel grafico seguente.



I risultati sopra riportati sono contenuti in un ampio campo di variabilità, ancorché indipendente dalla profondità, pure confermata dai risultati delle prove Point Load. Ai fini della caratterizzazione dell'ammasso interessato dalla galleria è stato pertanto adottato, per i parametri caratteristici, un ampio range di valori, compresi tra 70÷100 MPa.

7.2.2 Peso di volume

Nella figura seguente sono riportati, con la stessa simbologia adottata per la resistenza a compressione uniassiale, i valori dei pesi di volume riscontrati nelle diverse campagne eseguite per la progettazione della galleria e della diga. I valori risultano mediamente piuttosto elevati, compresi tra 27 e 31.5 kN/m³; per il peso di volume caratteristico dell'ammasso è stato adottato, cautelativamente, un valore pari a $\gamma = 29 \text{ kN/m}^3$.



7.2.3 Caratterizzazione di resistenza e deformabilità del litotipo

Per la definizione dei parametri di resistenza e deformabilità dell'ammasso gabbro dioritico si è fatto riferimento alla classificazione geomeccanica GSI e ai criteri esposti nel paragrafo 7.1, utilizzando i risultati dei rilievi di campagna e dei risultati delle indagini e prove di laboratorio eseguite, descritte in precedenza.

In considerazione del notevole sviluppo della galleria e delle elevate coperture presenti lungo il tracciato, si è ritenuto opportuno prendere a riferimento per il litotipo in esame un ampio range dei valori dei parametri di riferimento, per tenere conto della possibile variabilità delle condizioni dell'ammasso, con particolare riferimento allo stato di fratturazione ed alterazione dello stesso.

L'ammasso è stato pertanto differenziato in due porzioni distinte, caratterizzate rispettivamente da uno stato di fratturazione medio-basso, GB-1, corrispondente alle condizioni "medie" dell'ammasso, e da uno stato di fratturazione ed alterazione più elevato GB-2, corrispondente alle porzioni interessate da estesi fenomeni di tettonizzazione. Per ciascuno di questi gruppi geomeccanici sono stati quindi definiti campi di variabilità delle caratteristiche di resistenza e deformabilità.

Sono stati inoltre definiti i parametri di resistenza minimi che potrebbero essere caratteristici delle zone cataclamate e milonizzate in corrispondenza delle principali zone di faglia e i parametri caratteristici delle zone d'imbocco.

Nella tabella seguente sono sintetizzati i parametri caratteristici assunti per la galleria naturale, ricavati assumendo un fattore di disturbo D nullo in ragione delle modalità di scavo adottate (scavo meccanizzato o comunque controllato).

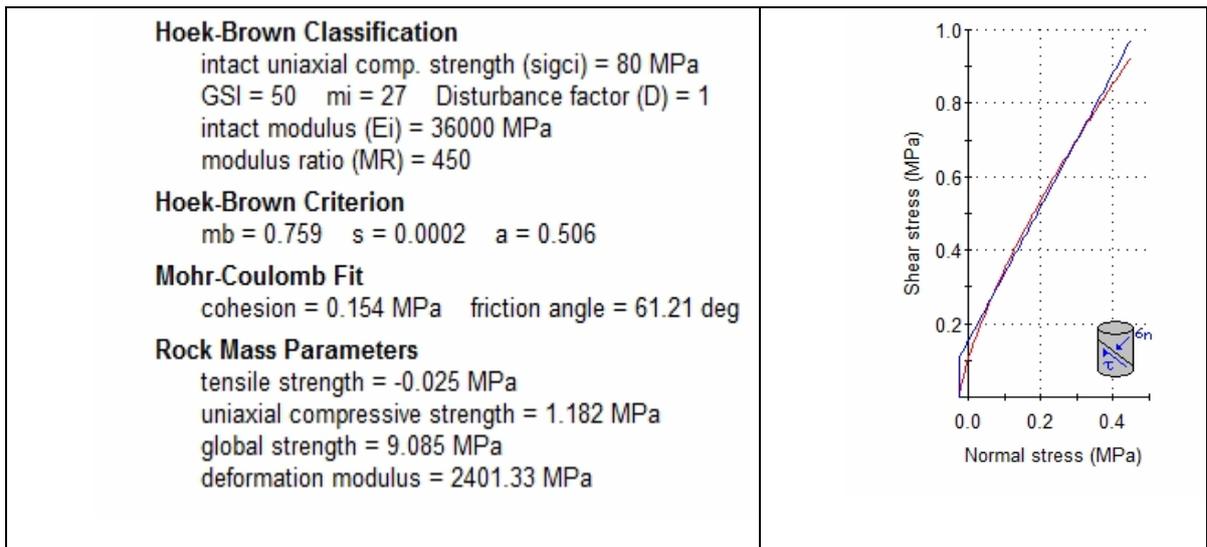
I parametri di Mohr-Coulomb corrispondenti sono stati ricavati per tre diverse classi di copertura significative.

			AMMASSO			
			GB-1	GB-2	FAGLIA	
CLASSIF. GEOMECCANICA						
GSI		min	50	40		
		med	55	45	25	
		max	60	50		
PARAMETRI ROCCIA INTATTA						
mi		min	24	24		
		med	27	27	24	
		max	30	30		
sci		min	70	40		
		med	85	50	30	
		max	100	60		
PARAMETRI MASSA ROCCIOSA						
γ	KN/m ³	med	29	29	29	
mb		min	4.024	2.816		
		med	5.412	3.787	1.970	
		max	7.190	5.030		
s		min	0.0039	0.0013		
		med	0.0067	0.0022	0.0004	
		max	0.0117	0.0039		
a		min	0.506	0.511		
		med	0.504	0.508	0.522	
		max	0.503	0.506		
E	MPa	min	9500	3000		
		med	15000	4500	900	
		max	23000	7000		
v		med	0.25	0.25	0.25	
Parametri equivalenti Mohr-Coulomb per diverse coperture						
COPERTURA <100 M	c	MPa	min	0.64	0.39	
			med	0.83	0.46	0.27
			max	1.11	0.55	
COPERTURA 100÷200 M	φ	°	min	61	56	
			med	64	58	49
			max	66	61	
COPERTURA 200÷400 M	c	MPa	min	1.15	0.78	
			med	1.41	0.91	0.55
			max	1.75	1.06	
COPERTURA 200÷400 M	φ	°	min	55	48	
			med	58	51	41
			max	61	54	
COPERTURA 200÷400 M	c	MPa	min	1.75	1.22	
			med	2.11	1.42	0.87
			max	2.54	1.64	
COPERTURA 200÷400 M	φ	°	min	50	43	
			med	53	46	36
			max	56	49	

Per la caratterizzazione dell'ammasso nei confronti degli scavi per le opere d'imbocco (scavi armati o sostenuti con paratie), sono stati valutati valori di GSI dell'ordine di 50÷60 (vedi figura seguente da Hoek e Marinos, 2000) assumendo per i calcoli il valore minimo pari a GSI = 50, che certamente costituisce un valore cautelativo per il litotipo in esame.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		DISCONTINUITY SURFACE CONDITION				
According to geological conditions, pick the appropriate box in this chart. Estimate the average value of the Geological Strength Index GSI from the contours		VERY GOOD Very rough, unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered or altered surfaces	POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings containing angular rock fragments	VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
STRUCTURE						
 BLOCKY - very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets	80					
 VERY BLOCKY - interlocked, partially distributed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	70	60	50			
 BLOCKY/FOLDED - folded and faulted with many intersecting discontinuities forming angular blocks				40	30	
 CRUSHED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded blocks					20	10

Di seguito si riporta la curva intrinseca adottata per il materiale roccioso che, nell'ambito delle modeste tensioni di interesse, è risultato caratterizzato da una coesione di circa 150 kPa e da un angolo di attrito di circa 60°, adottando in questo caso, cautelativamente, un valore del fattore di disturbo D unitario, in considerazione delle modalità di scavo adottate.



7.3 Breccie cementate

Come detto, nel tratto iniziale della galleria circolare, in prossimità dell'imbocco lato Coggiola, lo scavo interesserà anche per un brevissimo tratto (circa 10 m) una breccia cementata.

Ai fini del dimensionamento delle opere, tale litotipo può essere caratterizzato mediante i seguenti parametri caratteristici stimati:

Peso di volume $\gamma = 24.0 \text{ kN/m}^3$;

Coesione $c' = 100 \text{ kPa}$;

Angolo di resistenza al taglio $\phi' = 40^\circ$;

Modulo elastico $E' = 3000 \text{ MPa}$;

Coeff. di Poisson $\nu' = 0.3$.

7.4 Coperture detritiche

Il tratto iniziale della galleria lato Coggiola interessa parzialmente un accumulo detritico costituito da limi argillosi e sabbiosi con inclusi frammenti litoidi di varie dimensioni, presenti in varia proporzione rispetto alla matrice fine.

I parametri caratteristici assunti vengono di seguito riportati:

Peso di volume $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$;

Coesione efficace $c' = 0 \text{ kPa}$;

Angolo di resistenza al taglio $\phi' = 30^\circ$;

Modulo elastico $E' = 50 \text{ MPa}$;

Coeff. di Poisson $\nu' = 0.3$.

8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Bieniawski, Z.T. (1974) “*Geomechanics Classification of Rock Masses and Its Application in Tunneling*”. In Proc., Third International Congress on Rock Mechanics, Denver, National Academy of Sciences, Washington, D.C., Vol. 2, Part 2, pp. 27-32.

Bieniawski Z. T. (1989). “*Engineering rock mass classifications*”. John Wiley and Sons, New York

Marinos, P.G. e Hoek, E. (2000) “*GSI: A geological friendly tool for rock mass strength estimation*” Proceedings of the International Conference on Geotechnical & Geological Engineering (GeoEng 2000), Technomic Publishing Co. Inc., pp 1422-1440, Melbourne, Australia.

Hoek E. & Brown E.T. (1980) “*Underground Excavations in Rock*”, The Institution of Mining and Metallurgy, Londra.

Hoek E. e Brown E.T. (1980) “*Empirical strength criteria for rock masses*”, J. Geotech. Eng. Div., ASCE, 106, no. GT9, 1013-1035.

Hoek, E. (1983) “*Strength of jointed rock masses*” 23rd Rankine Lecture, Géotechnique, 33(3): 187-223.

Hoek, E. e E. T. Brown (1988) “*The Hoek-Brown Failure Criterion-A 1988 Update*” In Proc., 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, University of Toronto, Canada.

Hoek, E. (1994) “*Strength of rock and rock masses*” ISRM News Journal, 2(2), 4-16

Hoek, E., Kaiser P.K., Bawden W.F. (1995) “*Support of underground excavations in hard rock*” p. 215. Rotterdam, Balkema..

Hoek & Brown (1997) “*Practical Estimates of Rock Mass*” Int. J. Rock Mech. Vol. 34(8) – pp. 1165-1186

Hoek, E., Carranza-Torres, C.T. e Corkum, B. (2002) “*Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition*” Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002.

Serafim J.L. and Pereira J.P. (1983). “*Consideration of the Geomechanics Classification of Bieniawski*”. Proc. Int. Symp. Engng. Geol. And Underground Construction, Lisbon, Portugal