

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:	PROGETTISTA:	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI 	Ing. Geol. MASSIMO PIETRANTONI Responsabile Geologia e Geotecnica	Ing. PIETRO MAZZOLI Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche

PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI-BARI

RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO

1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO-FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO

APPALTATORE	SCALA:
Consorzio CFT IL DIRETTORE TECNICO Geom. C. Bianchi 11/07/2018	-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

IF1N	01	E	ZZ	RB	GE0005	002	A
------	----	---	----	----	--------	-----	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	M. Remigio	11/07/2018	M. Pietrantonì	11/07/2018	P. Mazzoli	11/07/2018	M. Pietrantonì
								11/07/2018

File: IF1N.0.1.E.ZZ.RB.GE.00.0.5.002.A.doc

n. Elab.:

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>2 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	2 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	2 di 59								

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1 DOCUMENTAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO POSTO A BASE DI GARA	4
2.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO DEL PROGETTO ESECUTIVO	6
2.3 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO	7
3. QUADRO DI RIFERIMENTO GEOLOGICO	8
3.1 FINESTRA SUD DELLA GALLERIA MONTE AGLIO	12
3.2 FINESTRA NORD DELLA GALLERIA MONTE AGLIO	12
4. CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO	14
4.1 PREMESSE	14
4.2 ASSETTO GEOSTRUTTURALE, GRADO DI FRATTURAZIONE E DI ALTERAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ	16
4.3 METODI DI CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI.....	18
4.4 RESISTENZA AL TAGLIO DELL'AMMASSO. MODELLO COSTITUTIVO DI HOEK-BROWN.....	27
4.5 DEFORMABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO	29
5. CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO.....	31
5.1 CARATTERISTICHE PETROGRAFICHE.....	31
5.2 CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE	31
5.3 INDICI DI AMMASSO.....	34
5.4 VALORI DI RQD	35
5.5 CARATTERISTICHE DELLE DISCONTINUITÀ	44
5.6 PARAMETRI MECCANICI DI AMMASSO	45
6. APPENDICE – RILIEVO GEOSTRUTTURALI NELLA CAVA TIXON.....	50
7. BIBLIOGRAFIA	57

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>3 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	3 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	3 di 59								

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito dell'Itinerario Napoli - Bari è compreso il Raddoppio della Tratta Canello-Benevento - 1° Lotto Funzionale Canello - Frasso Telesino, la Variante alla Linea Roma-Napoli Via Cassino nel Comune di Maddaloni e l'Interconnessione Nord, oggetto della progettazione esecutiva in esame.

Nella presente Relazione vengono descritti e commentati i risultati delle indagini che hanno riguardato in particolare l'opera in sotterraneo (Galleria Monte Aglio). Le indagini sono state eseguite durante le fasi preliminari del progetto (1985 e 2008-2009), nella fase di Progetto Definitivo (2013-2014, 2015 e 2016) e quindi durante il Progetto Esecutivo (2018). Sulla base di questi risultati è stata sviluppata la caratterizzazione geomeccanica delle formazioni interessate dalle opere in sotterraneo.

Come è già stato esposto nella Relazione Geologica, la galleria interessa in gran parte ammassi calcarei. In corrispondenza degli imbocchi si attraversano contatti tettonici che sovrappongono i calcari alla formazione delle Argille Varicolori. Le prime parti della galleria interessano quindi anche le Argille Varicolori e in piccola parte i terreni piroclastici di copertura del substrato.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni piroclastici, i quali interessano anche le gallerie artificiali e le trincee di imbocco, è stata trattata nella Relazione Geotecnica generale delle opere all'aperto, alla quale si rimanda per i dettagli.

In considerazione degli aspetti particolari che riveste il problema dell'interazione tra le argille varicolori, e in particolare il loro comportamento rigonfiante, e le strutture di sostegno provvisorie e definitive della galleria, si è proceduto ad uno specifico piano di prove di laboratorio per questi terreni, i quali rientrano tra le formazioni definite "strutturalmente complesse".

La trattazione di dettaglio di questi argomenti è riportata nelle singole Relazioni di calcolo della galleria. Questa Relazione si occuperà quindi, in particolare, della caratterizzazione geomeccanica degli ammassi calcarei.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>4 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	4 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	4 di 59								

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione del progetto definitivo posto a base di gara

Si riporta di seguito l'elenco dei documenti sulle indagini allegati al progetto definitivo cui si è fatto riferimento per l'elaborazione dei complessivi dati geotecnici. Oltre a questi elaborati si è fatto riferimento inoltre alle cartografie tematiche e alle Relazioni specialistiche (geologia e geotecnica) allegate al progetto definitivo (non riportate nel seguente elenco).

- [1] Geosud s.r.l. – “Campagna d’indagini geognostiche 1985 – Stratigrafie, Prove in sito” – (Doc. rif. – Protocol 105195-270115)
- [2] Progetto Preliminare Italferr - Imprefond s.r.l. – “Campagna d’indagini geognostiche – 2008/2009 - Stratigrafie, prove in sito, rilievo geomeccanico e documentazione fotografica” (Doc. rif. – IF3201R69SGGE0005001A)
- [3] Progetto Definitivo Italferr - Sidercem s.r.l. – “Campagna d’indagini geognostiche – 2013/2014 – Sondaggi, stratigrafie e prove in sito” (Doc. rif. IF5101D69SGGE0005001A)
- [4] SGG s.r.l. – “Indagini Geofisiche - Campagna Geognostica 2013-2014 – Prospezioni elettromagnetiche, sismica a rifrazione, carotaggi sismici DOWN HOLE, REMI E MASWS” (Doc. rif. Progetto Definitivo Italferr – IF5101D69IGGE0005017A)
- [5] Progetto Esecutivo Italferr - "Itinerario Napoli – Bari raddoppio tratta Canello – Benevento I lotto funzionale Canello - Frasso Telesino e variante alla linea Roma Napoli via Cassino nel comune di Maddaloni - viabilità di soppressione pl al km 143+833- via Calabroni - Indagini geofisiche Prospezioni elettromagnetiche e sismiche Down Hole” (Doc. Rif. IF0L00E69IGGE0001001)
- [6] Progetto Esecutivo Italferr - "Itinerario Napoli – Bari raddoppio tratta Canello – Benevento I lotto funzionale Canello - Frasso Telesino e variante alla linea Roma Napoli via Cassino nel comune di Maddaloni - viabilità di soppressione pl al km 143+833 - Via Calabroni – Prove di laboratorio” (Doc. Rif. IF0L00E69PRGE0001001)
- [7] Progetto Esecutivo Italferr - "Itinerario Napoli – Bari raddoppio tratta Canello – Benevento I lotto funzionale Canello - Frasso Telesino e variante alla linea Roma Napoli via Cassino nel comune di Maddaloni - viabilità di soppressione pl al km 143+833 - Via Calabroni – Relazione indagini geognostiche” (Doc. Rif. IF0L00E69SGGE0001001)

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>5 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	5 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	5 di 59								

- [8] Progetto Definitivo Italferr - "Itinerario Napoli – Bari raddoppio tratta Canello – Benevento I lotto funzionale Canello - Frasso Telesino e variante alla linea Roma Napoli via Cassino nel comune di Maddaloni – Prove di laboratorio" (Doc. Rif. IF0F01E69PRGE0001001)
- [9] Progetto Definitivo Italferr - "Itinerario Napoli – Bari raddoppio tratta Canello – Benevento I lotto funzionale Canello - Frasso Telesino e variante alla linea Roma Napoli via Cassino nel comune di Maddaloni – Prove di laboratorio" (Doc. Rif. IF0F01D69PRGE0001001)
- [10] Progetto Definitivo Italferr - "Itinerario Napoli – Bari raddoppio tratta Canello – Benevento I lotto funzionale Canello - Frasso Telesino e variante alla linea Roma Napoli via Cassino nel comune di Maddaloni – Indagini Geognostiche" (Doc. Rif. IF0F01D69SGGE0005001)
- [11] Progetto Definitivo Italferr - "Itinerario Napoli – Bari raddoppio tratta Canello – Benevento I lotto funzionale Canello - Frasso Telesino e variante alla linea Roma Napoli via Cassino nel comune di Maddaloni – Prove di laboratorio" (Doc. Rif. IF0F01D69PRGE0005001A)
- [12] Progetto Definitivo Italferr - "Itinerario Napoli – Bari raddoppio tratta Canello – Benevento I lotto funzionale Canello - Frasso Telesino e variante alla linea Roma Napoli via Cassino nel comune di Maddaloni – Indagini Geofisiche" (Doc. Rif-IF0F-01-D69-IG-GE0005-009)
- [13] Progetto Definitivo - Indagini geognostiche - Sondaggi profondi - Stratigrafie e Prove in situ - (Doc. rif. - IF0F01D69SG000005001)
- [14] Progetto Definitivo - Indagini geofisiche - Relazione geofisica - (Doc. rif. - IF0F01D69RH000005001)
- [15] Progetto Definitivo - Indagini geofisiche - Planimetria e Profilo Prospezione Sismica a riflessione - (Doc. rif. - IF0F01D69IG000005001)
- [16] Progetto Definitivo - Indagini geofisiche - Planimetria e Profilo Prospezione Sismica a rifrazione - (Doc. rif. - IF0F01D69IG000005002)
- [17] Progetto Definitivo - Indagini geofisiche - Prospezioni elettromagnetiche - (Doc. rif. - IF0F01D69IG000005003)
- [18] Progetto Definitivo - Prove geotecniche di laboratorio - (Doc. rif. - IF0F01D69PR000005001)

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>7 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	7 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	7 di 59								

2.3 Normativa e standard di riferimento

Si riporta di seguito l'elenco delle normative a cui si è fatto riferimento per la stesura della presente relazione:

- [1] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- [2] 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.
- [3] DM 06.05.2008 – “Integrazione al D.M. 14.01.2008 di approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- [4] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A del 21.12.2011- “Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario”.
- [5] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A del 21.12.2011 - “Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie”.
- [6] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 – “Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra”.
- [7] RFI DTC SICS SP IFS 001 A del 30.06.2014 - Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI.
- [8] 2008/217/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità (20/12/2007)”.
- [9] 2011/275/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo convenzionale (26/04/2011)”.
- [10] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [11] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

La Bibliografia tecnica di riferimento è riportata in appendice.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>8 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	8 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	8 di 59								

3. QUADRO DI RIFERIMENTO GEOLOGICO

Il lotto Canello-Frasso prevede un tratto in galleria naturale (galleria Monte Aglio) della lunghezza di circa 3.9 km.

Gran parte della galleria in naturale si sviluppa nelle formazioni calcaree mesozoiche. Tuttavia, ai due imbocchi e per tratti relativamente lunghi dopo di essi, si attraversano importanti discontinuità tettoniche (sovrascorrimento e faglie). che mettono in contatto le formazioni calcaree con altre unità di età geologica più recente.

Partendo dall'imbocco sud (lato Maddaloni), il sondaggio PNIF51G05 evidenzia che il fronte di scavo dell'imbocco sud interessa interamente la litofacies sabbioso-limoso "sciolta" del Tufo Grigio Campano (TGCs). Al di sopra di questi terreni si evidenzia la presenza di una coltre di copertura (piroclastica ed eluvio-colluviale di versante) dello spessore di circa 5-6m. Questo è evidenziato, oltre che dalla stratigrafia del sondaggio, dai diversi valori di N_{SPT} misurati (8 e 35 rispettivamente nei depositi superficiali e nelle piroclastiti sottostanti) e dal netto cambio di resistenze ricavato dalle prove penetrometriche PE-P10 e 11.

Procedendo verso l'interno della galleria tra le pk 3+220 e 3+260 circa lo scavo della galleria intercetta il contatto tra le piroclastiti e il substrato geologico, qui rappresentato dalle Argille Varicolori (ALV). Il contatto è stato intercettato alla profondità di 31.6 m dal sondaggio PE-S14. Trattandosi di un contatto di tipo erosivo (legato cioè ad una antica superficie di erosione che ha modellato l'originario versante in affioramento prima dell'inizio delle attività vulcaniche successivamente coperto dai depositi piroclastici) si è ipotizzato che questo limite si approfondisca verso la piana con inclinazioni compatibili con quelle che dovevano essere le inclinazioni medie dell'originario versante. Trattandosi di un versante modellato nelle argille varicolori (quindi facilmente erodibili) tale inclinazione dovrebbero essere inferiori a 20-30°. Il fronte di scavo interesserà quindi per un tratto relativamente lungo questo contatto.

Procedendo verso l'interno della galleria, il sondaggio PNIF51G06 ha intercettato (al di sotto della copertura piroclastica dello spessore di circa 15 m) un contatto tra i calcari e le argille varicolori alla profondità di 38.7m). I calcari risultano fortemente fratturati fino a completamente tritutati (verosimilmente per i forti stress tettonici subiti) e il contatto con le sottostanti argille varicolori risulta netto e segnato da una superficie che dovrebbe essere inclinato più di 45° dall'orizzontale.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>9 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	9 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	9 di 59								

Il successivo sondaggio PE-S05 eseguito più o meno nella stessa posizione del PNIF51G06, ma inclinato di 55° dalla verticale verso l'interno della montagna, ha attraversato (sotto la copertura piroclastica di 12 m circa di spessore), fino alla profondità di fondo foro di 91.5m, solamente calcari. Anche in questo sondaggio i calcari risultano fortemente fratturati e triturati oltre che interessati da fenomeni di carsismo, anche con vuoti di oltre un metro (tra 33.3 e 34.8 m, da 57.0 a 58.5 m, e altre di più piccole dimensioni ma rilevabili intorno a 72, 75, 81, 83, 85 e 87 m circa). Le cavità interessano quindi anche l'ambito di profondità di scavo della galleria.

Una volta superato il contatto tettonico tra calcari e le argille varicolori, la galleria si sviluppa interamente in calcari per tutto il tratto a maggiore copertura.

In questo tratto la ricostruzione del sottosuolo è stata effettuata sulla base di tre sondaggi profondi.

Per superare il limite delle informazioni puntuali derivanti da 3 soli sondaggi su un tratto di oltre 2 km, è stata eseguita una prospezione geoelettrica profonda che ha fornite utili indicazioni su fasce fratturate per disturbi tettonici e zone di probabile carsismo accentuato.

Le zone tettonizzate sono state ipotizzate in corrispondenza di nette diminuzioni di resistività, soprattutto se concentrate su fasce e bande molto inclinate (tenuto conto che si tratta di tettonica di tipo distensivo); la diminuzione di resistività è stata attribuita alla presenza di frazione fina nelle fasce tettoniche (cataclasiti e miloniti) e la possibile circolazione, anche se modesta, di acqua percolante dall'alto,

Per contro, la presenza di zone con resistività molto elevata, superiore ai valori tipici per calcari molto compatti (>4000-5000 ohm/m) è stata attribuita alla possibile presenza di cavità carsiche diffuse nell'ammasso.

Oltre a tali possibili fasce tettoniche e carsiche, nel profilo geologico sono state riportate, con diversa simboleggiatura, anche le ipotesi di allineamenti e fasce tettoniche riportate nel profilo geologico del Progetto Definitivo, delle quali non sono state riscontrate evidenze nel presente studio, ma che verosimilmente derivano da informazioni acquisite nei precedenti studi geologici, anche se non esplicitate nelle documentazioni disponibili,

Tra le pk 5+900 e 6+000 circa è probabile l'attraversamento dell'importante contatto tettonico per sovrascorrimento dei calcari al di sopra delle Argille Varicolori Superiori (*thrust* di Monte Aglio). Si tratta di un sovrascorrimento a medio e basso angolo, con direzione NE-SW immergente verso sud con

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>10 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	10 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	10 di 59								

inclinazioni stimate di 20-30°, che porta i terreni più antichi di piattaforma interna dell'Unità dei Monti Lattari-Picentini-Alburni su quelli più recenti dell'unità del Sannio.

Sulla probabilità dell'attraversamento in tale ambito di progressive vanno fatte le seguenti considerazioni.

Il sovrascorrimento è stato intercettato da 3 sondaggi, di cui uno solo in asse (PE-S02), alla profondità di 26.6m, quindi molto superficialmente rispetto alla profondità della galleria sulla verticale di questo sondaggio (circa 75 m). Lo stato di forte fratturazione dei calcari (di fatto prelevati in frammenti e pochissime carote) non consente di verificare l'inclinazione del contatto sulle carote.

Il sondaggio S2 della precedente fase di indagine è ubicato a notevole distanza dal tracciato quindi esso è stato proiettato con criteri geologici.

Il contatto è stato poi incontrato nel sondaggio del progetto esecutivo PE-S07, ma molto fuori asse dal tracciato, cioè lungo la finestra nord della galleria, nel settore settentrionale della dorsale di Monte Aglio.

La ricostruzione di un piano con due sole verticali di indagine (peraltro molto distanti tra loro) può essere solo ipotizzato sulla base di una giacitura supposta del suddetto sovrascorrimento.

Un parziale aiuto alla ricostruzione deriva dall'indagine geoelettrica che ha individuato un netto cambio di resistività attribuibile appunto al sovrascorrimento dei calcari (alto resistivi) sulle argille varicolori (basso resistivi). Utilizzando l'inclinazione di tale discontinuità geoelettrica, i due sondaggi suddetti e una ipotesi di direzione del sovrascorrimento, è stata tracciata la probabile superficie del sovrascorrimento che dovrebbe intercettare la galleria appunta tra le pk 5+900 e 6+000.

Le considerazioni svolte in precedenza fanno capire che si tratta comunque di una ipotesi che può subire delle variazioni sostanziali, anche dell'ordine delle decine di metri qualora la superficie di discontinuità avesse una giacitura (direzione e inclinazione) diversa da quella ipotizzata e/o qualora fossero presenti nel sottosuolo altre discontinuità (di tipo distensivo) che abbiano provocato la dislocazione del sovrascorrimento e della relativa zolla di calcari verso il basso, con un meccanismo di faglie a gradinata, che la struttura geologica regionale indica per questa zona.

In tale contesto, la forte anomalia geoelettrica incontrata tra le pk 5+750 e 5+850 circa è stata interpretata come una delle dislocazioni tettoniche a meccanismo diretto che avrebbero provocato il

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>11 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	11 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	11 di 59								

ribassamento della zolla a nord della faglia. Con tale ipotesi, a sud della faglia la zolla che contiene i calcari e il sovrascorrimento sulle argille varicolori si dovrebbe trovare a quote più elevate.

Pur non potendo conoscere l'entità di questo rigetto, nel profilo geologico si è ipotizzato che il sovrascorrimento individuato con i sondaggi sia in effetti incluso in una zolla ribassata; nella zona più interna della dorsale, quindi a tergo del disturbo tettonico, lo stesso sovrascorrimento può trovarsi a quote più elevate, quindi fino ad interessare due volte (a seconda dell'entità del rigetto) la galleria di progetto.

Dopo aver attraversato il sovrascorrimento la galleria procede nella formazione delle Argille Varicolori. Queste sono risultati sempre molto ricche di frammenti lapidei di varia natura e di varia dimensioni. L'attraversamento di calcari tra 21 e 26 m nel sondaggio PE-S08, direttamente al di sopra delle Argille varicolori, potrebbe essere attribuito alla presenza di un grosso olistolite immerso nelle Argille Varicolori stesse (come avviene spesso) oppure alla presenza di un grosso blocco di calcare franato da monte e rotolato a valle in epoche molto antiche (prima dell'inizio della fase vulcanica). Potrebbe tuttavia trattarsi di una ulteriore zolla ribassata dei calcari e del relativo sovrascorrimento sulle argille varicolori secondo lo schema della tettonica distensiva già descritto. In questo caso il rigetto sarebbe notevole dell'ordine del centinaio di metri.

Qualsiasi fosse il motivo della presenza di questo grosso blocco di calcare, non si avrebbero significative ripercussioni sulle previsioni di scavo in galleria, che sarebbe comunque in argille varicolori, anche se la presenza della dislocazione potrebbe introdurre un ulteriore disturbo nella formazione argillosa stessa. Questa fascia disturbata, peraltro segnalata anche negli studi del PD, anche se leggermente traslata, è stata indicata nel profilo geologico.

Procedendo verso nord la galleria interseca il contatto (anche in questo caso, come per l'imbocco sud, di natura erosiva) tra le argille varicolori e la soprastante copertura piroclastica e detritica.

In questo caso il contatto è stato attraversato da 5 sondaggi (PE-S08, PNIF32G01, PE-S01, PE-S39, PNIF51G07) che mostrano una inclinazione molto blanda di questo contatto, dell'ordine di pochi gradi.

Il contatto viene attraversato dalla galleria tra le pk 6+550 e 6+805 circa, secondo quanto indicato dal sondaggio PE-S01/39 (23m di profondità) e PNIF51G07 (21 m di profondità); vista la debole inclinazione del contatto, il passaggio litologico verrà incontrato per un tratto molto lungo (circa 250 m).

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>12 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	12 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	12 di 59								

In entrambi i sondaggi citati la copertura piroclastica (Tufo Grigio Campano TGCs) ha caratteristiche mediocri come indicato dai bassi valori delle prove SPT (in alcuni casi molto bassi, fino a $N_{SPT} = 2$). Nelle piroclastiti sono presenti livelli di scorie e pomici molto porose, alterate e sature. La porzione più scadente del tufo grigio campano appartiene ad una litofacies limosa del tufo che si riscontra anche in altre zone lungo il tracciato.

3.1 Finestra Sud della galleria Monte Aglio

Nell'ambito delle opere di imbocco della galleria va inserita la finestra sud alla galleria. L'imbocco di tale finestra ricade in un'area di cava abbandonata (Cava Tixon) perimetrata come area di pericolosità P4 dalla ex Autorità di Bacino Campania centrale. Gli aspetti relativi all'imbocco di questa finestra sono stati trattati nella specifica relazione dello Studio di Compatibilità Idrogeologica (SCI), consegnata al Distretto idrografico competente. Tale Relazione di SCI è allegata ai documenti progettuali e a questa si rimanda per la trattazione degli argomenti di carattere geologico.

La finestra interessa interamente le formazioni calcaree, variamente fratturate e carsificate, in assenza di falda idrica.

Sono da segnalare le condizioni di stabilità dei fronti di cava dove verrà realizzato l'imbocco della finestra, per la presenza di crolli di roccia. Una analisi specifica di questi fronti è riportata nella Relazione dello SCI.

3.2 Finestra Nord della galleria Monte Aglio

La finestra nord ha inizio nella zona dell'acquedotto Angioino e procede in direzione N-S in discesa per collegarsi alla galleria alla progressiva 5+500 circa.

L'imbocco di questa finestra ricade in un'area perimetrata di Pericolosità elevata dalla ex Autorità di Bacino Liri-Garigliano. Si tratta di un'area a pendenza molto blanda coperta da una coltre detritico-eluviale di matura prevalentemente piroclastica.

Lo studio geomorfologico di dettaglio condotto in questa area non ha individuato criticità particolari in termini di stabilità dei versanti, a parte la presenza di alcuni antichi solchi erosivi oggi completamente coperti da vegetazione.

Si rimanda alla specifica relazione dello Studio di Compatibilità Idrogeologica (SCI), consegnata al Distretto idrografico competente, per i dettagli e la relativa cartografia allegata.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>13 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	13 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	13 di 59								

Lo scavo della galleria inizia in terreni detritico-piroclastici per poi entrare rapidamente nei calcari risultati completamente fratturati e frantumati.

Il sondaggio PE-S07 eseguito inclinato ha intercettato il sovrascorrimento dei calcari sulle argille varicolori già commentato in precedenza. Essendo stato attraversato in un solo sondaggio, l'inclinazione del contatto tettonico è stato tracciato secondo i criteri prima esposti per la galleria principale.

Per i motivi già esposti c'è da attendersi che la presenza di una serie di dislocazioni tettoniche di tipo distensivo abbia provocato un ribassamento a gradinata della zolla. In questo caso l'ipotesi è suffragata da considerazioni geometriche. Con l'inclinazione ipotizzata per il sovrascorrimento, intercettato in profondità nel sondaggio PE-S07, il sondaggio PE-S06 avrebbe dovuto intercettare le argille varicolori, mentre sono stati carotati solo calcari, in realtà completamente frantumati (a conferma quindi della presenza di una zona di forte disturbo tettonico).

L'entità del rigetto di queste faglie dirette riportata nel profilo geologico è solo ipotizzata e potrebbe essere anche molto diversa. L'entità di questo rigetto ha implicazioni progettuali di non poco conto poiché in funzione di quanto è stata ribassata la zolla potrebbe verificarsi anche l'attraversamento, sia pur per un breve tratto, del sovrascorrimento e quindi delle argille varicolori. Di tale possibilità il progetto ne ha tenuto debitamente conto della distribuzione percentuale delle sezioni tipo attuabili.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>14 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	14 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	14 di 59								

4. CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

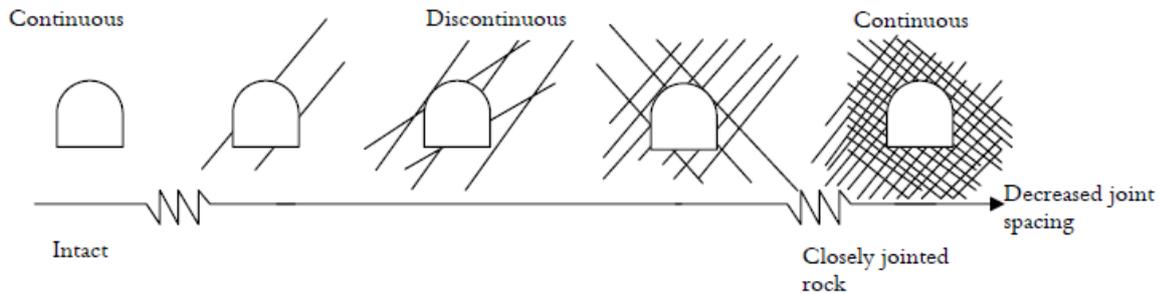
4.1 Premesse

Come è noto, per la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi vengono seguiti criteri e approcci diversi da quelli tipici della Meccanica delle Terre, a causa della forte disomogeneità e, spesso, anisotropia degli ammassi rocciosi. Questi sono infatti strutture composte da una matrice rocciosa intatta (o più o meno alterata) separata da giunti di discontinuità (primarie e secondarie, cioè giunti di strato o di origine tettonica), serrate o più o meno aperte, a volte riempite da materiale di origine secondaria. Le discontinuità hanno pertanto una fondamentale importanza nel comportamento meccanico dell'ammasso roccioso che, dal punto di vista ingegneristico, viene assimilato ad un aggregato di blocchi, più o meno giustapposti.

Caratteristica comune dei giunti di discontinuità è una trascurabile resistenza alla trazione e valori di resistenza a taglio sensibilmente inferiori a quelli della roccia intatta. Le caratteristiche meccaniche alla scala dell'ammasso roccioso, quindi, dipendono in gran parte dalle resistenze disponibili lungo i piani di discontinuità e dall'orientazione di queste nello spazio.

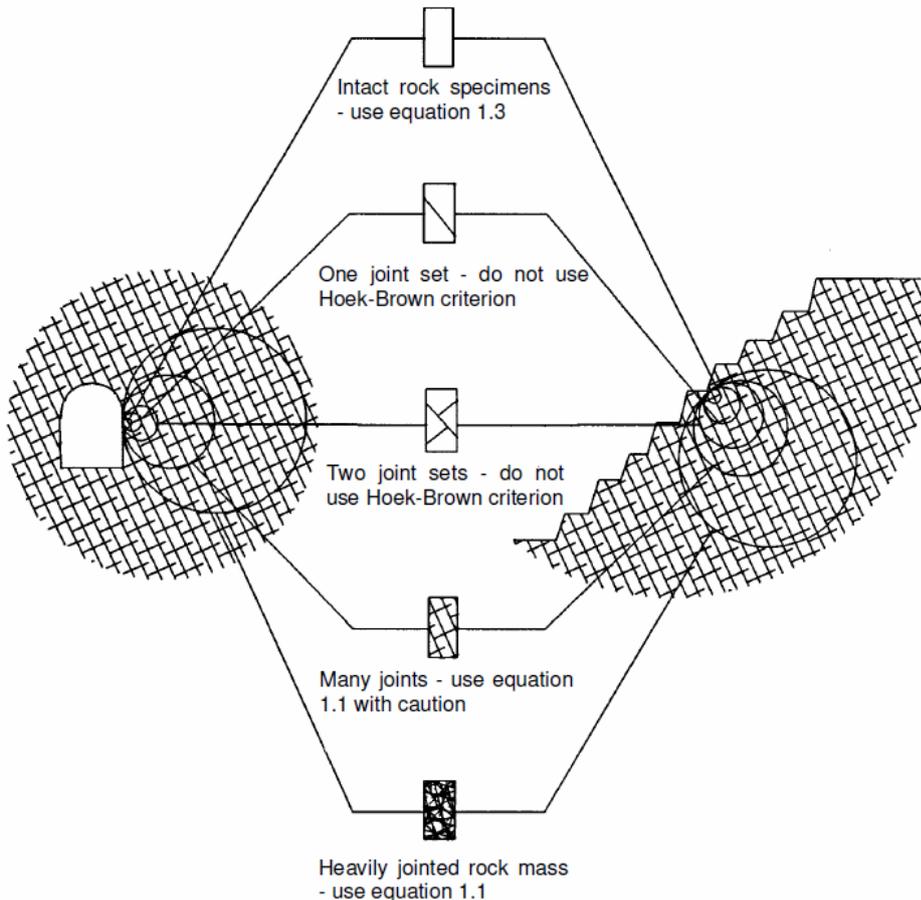
Il passo principale e propedeutico per una caratterizzazione dell'ammasso roccioso è rappresentato quindi dall'analisi della geometria dei vari sistemi di discontinuità in relazione alla situazione specifica da analizzare (orientazione del fronte di scavo, della galleria, ecc..). Da questa analisi preliminare si deve decidere se l'orientazione dei giunti condiziona o meno la stabilità (o più in generale il comportamento meccanico d'insieme dell'ammasso). Nel primo caso l'ammasso va trattato come un mezzo anisotropo e le caratteristiche meccaniche del giunto (e la sua geometria) condizionano direttamente il comportamento d'insieme dell'ammasso (con la formazione di cunei e diedri di roccia). Nel secondo caso, l'ammasso roccioso può essere trattato come un mezzo "pseudo-omogeneo", in cui i giunti condizionano il comportamento di ammasso in termini di frequenza e caratteristiche, senza tuttavia condizionarne il cinematismo di rottura. Il concetto è ben espresso dalla figura seguente tratta dal testo di Catrin Edelbro (Evaluation of rock mass strength criteria). Si può quindi passare da un mezzo continuo, cioè roccia intatta (di fatto un caso mai applicabile nei contesti geologici italiani), a mezzi variamente discontinui fino ad un "continuo equivalente", nel caso in cui il reticolo di discontinuità suddivide fittamente l'ammasso (con riferimento anche al volume del problema) senza orientazioni preferenziali (sempre rispetto al problema da trattare).

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>15 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	15 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	15 di 59								



Il concetto è ben espresso da Hoek (vedi figura seguente) riferendosi a uno dei metodi più noti e utilizzati nel campo della geomeccanica, che si basa su “indici” di ammasso (GSI) e su uno specifico modello costitutivo (Hoek-Brown).

La figura individua vari casi in cui il metodo Hoek-Brown non è applicabile (roccia intatta o suddivisa da uno o due sistemi, o “famiglie”, di giunti preferenziali) e i casi in cui il metodo è applicabile (ammasso suddiviso da molti giunti in relazione al volume del problema o ammasso fittamente suddiviso, tale da renderlo, appunto, “pseudo-omogeneo”).



  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>16 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	16 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	16 di 59								

Per mezzi discontinui, la caratterizzazione si basa sui parametri dei giunti e sulla definizione della loro geometria.

Nel caso di mezzi pseudo-omogenei la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso consiste invece nella definizione dei parametri meccanici e geometrici più significativi della roccia intatta e dei giunti e quindi nell'individuazione di un modello che meglio approssimi il comportamento dell'ammasso, assimilandolo ad un mezzo "continuo" equivalente.

Gli usuali approcci in campo progettuale prevedono quindi l'utilizzo di "indici" di caratterizzazione e l'applicazione poi di uno specifico modello costitutivo.

Tra questi metodi, il primo in ordine cronologico è quello introdotto da Bieniawski (1973) noto come metodo RMR, la cui naturale evoluzione può essere considerato il metodo di Hoek-Brown (noto come metodo GSI, Global Strength Index). Altri metodi molto usati in campo applicativo sono il metodo "Q" di Barton e il metodo RMI di Palmstrom.

In questa sede si farà un diretto utilizzo del metodo GSI, ma alcuni criteri applicati per gli altri metodi possono essere impiegati per una più corretta definizione delle caratteristiche di ammasso e/o per una taratura o confronto (a volte anche per correlazioni) con il metodo GSI.

Prima della descrizione dei metodi di caratterizzazione è però necessario richiamare i criteri utilizzati per la descrizione quantitativa dei sistemi di discontinuità degli ammassi rocciosi.

In considerazione della complessità dei problemi e dei numerosissimi riferimenti di letteratura, nei paragrafi seguenti vengono ovviamente riportati solo alcuni elementi sintetici, rimandando ai testi e agli articoli scientifici specifici per una trattazione di maggiore dettaglio (v. Bibliografia di riferimento).

Nel successivo capitolo verranno quindi descritti e commentati i vari parametri ricavati dalle indagini, utili per la caratterizzazione dell'ammasso oggetto del presente studio viene invece riportata nel successivo capitolo.

4.2 Assetto geostrutturale, grado di fratturazione e di alterazione delle discontinuità

Per la definizione delle caratteristiche delle discontinuità viene seguito il criterio ISRM 1988 (Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses) da applicare su stazioni di misure. In tali stazioni vengono analizzate le caratteristiche strutturali della roccia in corrispondenza di allineamenti (traverse); le traverse sono rappresentate da ideali linee sull'affioramento, posizionate a discrezione dal rilevatore in modo che esse intercettino in maniera significativa le discontinuità che intersecano l'ammasso. Per le discontinuità intercettate vengono rilevati i seguenti dati:

- distanza dal punto di inizio della traversa;
- giacitura del piano di discontinuità (immersione e inclinazione);

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>17 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	17 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	17 di 59								

- lunghezza visibile della frattura;
- apertura/larghezza della frattura;
- rugosità della superficie di frattura;
- tipo di riempimento (se presente).

I dati di giacitura delle discontinuità sono elaborati e rappresentati graficamente con i metodi di proiezione stereografica. Con tale metodo un piano nello spazio è definito dalla direzione della linea di massima pendenza proiettata sull'orizzontale (immersione), misurata in gradi in senso orario dal riferimento Nord, e dalla sua inclinazione rispetto all'orizzontale. La rappresentazione piana viene fatta proiettando l'intersezione del piano con l'emisfero di riferimento (arco di cerchio nella proiezione equatoriale conforme), detta ciclografica, o in alternativa riportando il suo polo (intersezione tra la superficie dell'emisfero di riferimento e la normale al piano passante per il centro) su uno stereogramma polare. Il criterio prima enunciato è illustrato graficamente nella figura seguente.

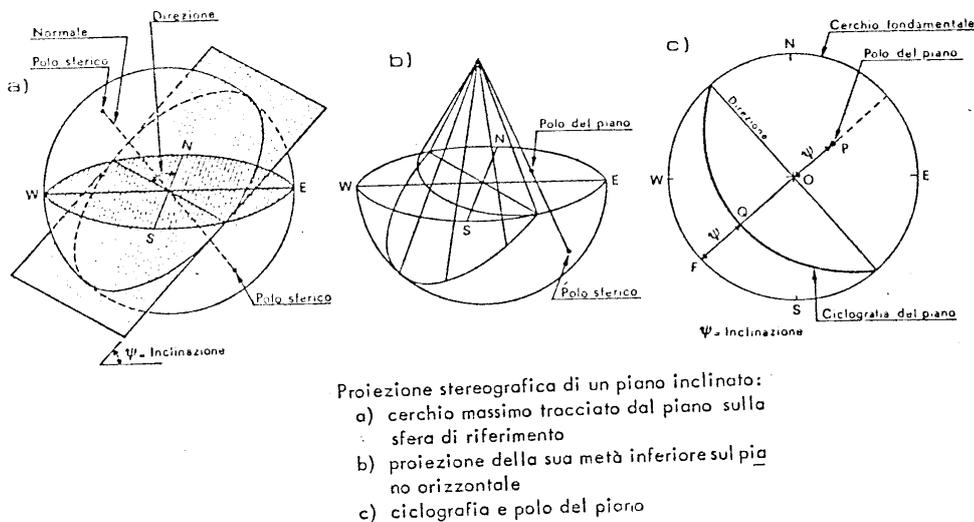


Fig. 4-1 Sistema di rappresentazione stereografica delle discontinuità dell'ammasso roccioso

I dati delle discontinuità così rappresentati sono poi elaborati statisticamente e rappresentati graficamente sempre sulle proiezioni stereografiche con una rappresentazione delle isodense (linee di uguale densità dei punti rappresentativi delle discontinuità).

Ulteriori rilievi geomeccanici possono essere effettuati sulle carote dei sondaggi riferendosi quantomeno agli indici TCR (Total Core Recovery), SCR (Standard Core Recovery) e RQD (Rock Quality Designation), che forniscono indicazioni sullo stato di fratturazione della roccia.

Per la definizione del grado di alterazione della roccia ci si è analogamente riferiti alla metodologia proposta dall'ISRM.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>18 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	18 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	18 di 59								

4.3 Metodi di classificazione degli ammassi rocciosi

Una prima versione della **classifica RMR** è stata proposta da **Bieniawski** nel 1973 e nel 1976. Una seconda versione, con la modifica di alcuni parametri relativi soprattutto alla spaziatura e alle caratteristiche dei giunti, è stata proposta nel 1979 ed è stata ripresa da Bieniawski (1989), per cui essa è conosciuta come RMR₈₉.

La valutazione dell'indice è ottenuta come somma di rating parziali relativi a caratteristiche della roccia e dei giunti, come illustrato nella tabella seguente. Il valore così ottenuto, che può essere definito come RMR intrinseco, nelle applicazioni progettuali (ad esempio per la valutazione delle opere di sostegno in galleria) viene corretto con un fattore additivo (nullo o negativo) che tiene conto della orientazione più o meno sfavorevole dei giunti rispetto alla direzione della galleria. In questa sede, ci si sofferma esclusivamente alla individuazione dei rating parziali ai fini della classificazione dell'ammasso.

Conseguentemente il valore di RMR intrinseco, include il "rating" relativo alle condizioni idrauliche in quanto esse entrano nei carichi agenti e nelle condizioni di resistenza che vengono espresse in termini di sforzi efficaci.

Determinazione dell'indice RMR (1989)

PARAMETER			RANGE OF VALUES						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	> 8 MPa	4÷8 MPa	2÷4 MPa	1÷2 MPa	For this low range uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compr. strength	> 200 MPa	100÷200 MPa	50÷100 MPa	25÷50 MPa	10÷25 MPa	3÷10 MPa	1÷3 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill core quality	RQD	90%÷100%	75%÷90%	50%÷75%	25%÷50%	< 25%		
	Rating	20	17	13	8	3			
3	Spacing of joints		> 2 m	0.6÷2 m	0.2÷0.6 m	60÷200 mm	<60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of joints		Very rough	Slightly	Slightly	Slickenside	Soft gouge > 5		

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>19 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	19 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	19 di 59								

		Not continuous No separation Hard joint wall	rough surfaces Separat. < 1 mm Hard joint wall	rough surfaces Separat. < 1mm Soft joint wall	d or Gouge <5mm or Joints 1÷5mm Continuous joints	mm thick or Joints open > 5 mm Continuous joints
	Rating	30	25	20	10	0
5	Hydraulic Conditions Inflow (l/min 10m behind the face)	No water	<10	10÷125	>25÷125	>125
	Rating	15	10	7	0	0

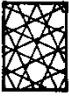
Il **metodo di Hoek-Brown GSI** (Geological Strength Index) è nato negli anni '80 per un ammasso roccioso generico ed è poi stato ampliato, dettagliato e integrato anche da altri autori per renderlo applicabile a vari tipi di ammasso e per superare l'approccio strettamente qualitativo originario.

Nella figura seguente si riporta lo schema base del criterio GSI che viene utilizzato per la determinazione del valore indice di riferimento in relazione al grado di fratturazione e alle condizioni dei giunti.

Il giudizio si basa sostanzialmente sulla struttura dell'ammasso, intensità della fratturazione e caratteristiche delle superfici dei giunti trascurando la resistenza del materiale roccioso.

Questo schema è poi stato modificato, integrato e adattato anche per altre tipologie di ammassi rocciosi (flysch, rocce scistose, ecc..) rimanendo però invariato l'approccio di base.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>20 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	20 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	20 di 59								

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX According to geological conditions, pick the appropriate box in this chart. Estimate the average value of the Geological Strength Index GSI from the contours STRUCTURE	DISCONTINUITY SURFACE CONDITION	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
 BLOCKY - very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets		80	70			
 VERY BLOCKY - interlocked, partially distributed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets			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

L'apparente semplicità del metodo GSI ha portato ad un uso intensivo (e spesso non consono alle effettive intenzioni degli Autori) di questo criterio. L'applicazione corretta di questo metodo presuppone la realizzazione di approfonditi studi e rilevamenti geomeccanici sul campo, con la disponibilità di affioramenti e fronti di scavo di dimensioni e qualità tali da garantire una significatività statistica dei dati di acquisizione oltre che una affidabilità degli stessi. La "sensibilità" ed esperienza del geologo che effettua questa caratterizzazione sono stati evidenziati dallo stesso Hoek come elemento imprescindibile per l'affidabilità del metodo.

Molto spesso gli affioramenti sono limitati, di ridotte dimensioni e disturbati da fenomeni di alterazione dell'ammasso. I dati principali circa lo stato di fratturazione della roccia derivano spesso dai soli dati di carotaggio (RQD ed esame delle condizioni delle superfici di discontinuità sulle carote).

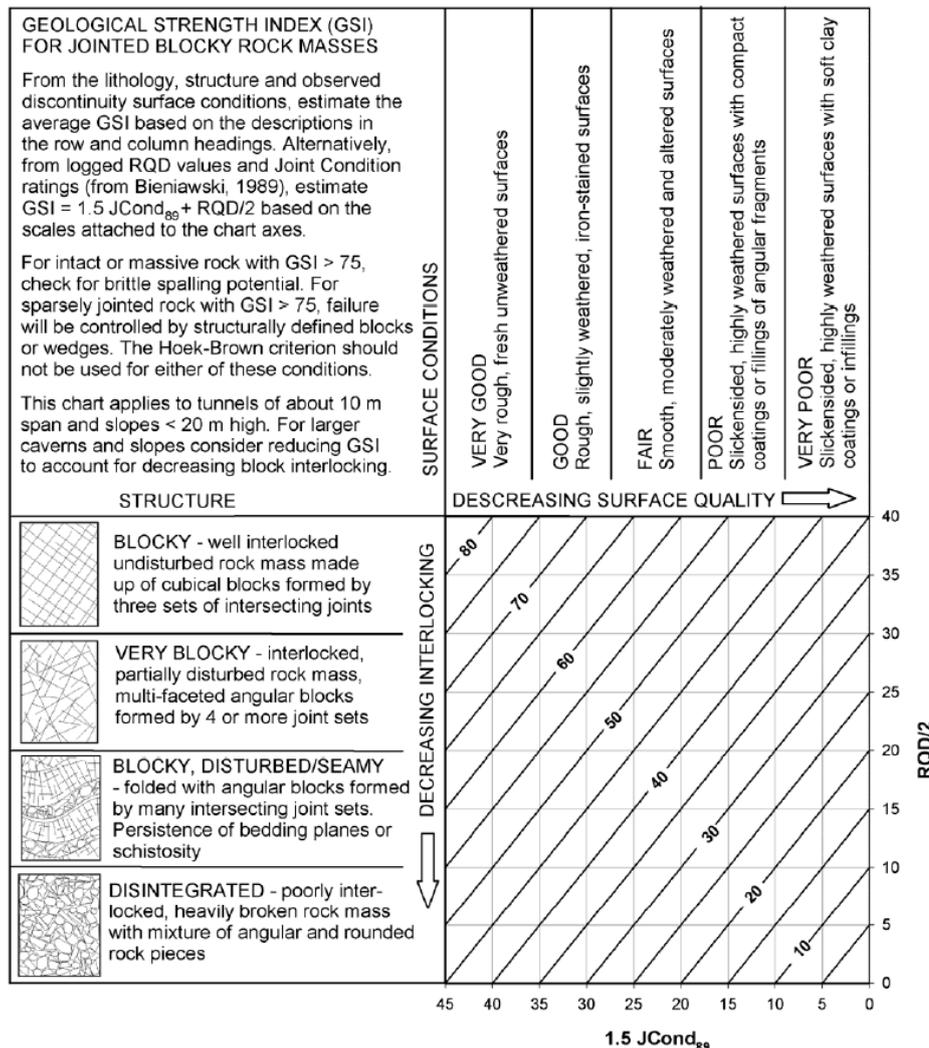
  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>21 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	21 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	21 di 59								

Tali circostanze hanno indotto Hoek ed altri autori a proporre un metodo “quantitativo” del GSI (“Quantification of the Geological Strength Index Chart” – Hoek, Carter, Diederichs – 2013) che prevede l'utilizzo dei soli dati RQD e J (condizioni delle discontinuità, già impiegate da Bieniawski con la sigla JCond₈₉, ad indicare “Joint Condition” secondo il sistema di Bieniawski del 1989).

Il sistema proposto è illustrato nella scheda seguente ed è rappresentabile dalla formula:

$$GSI = 1.5 JCond_{89} + RQD/2$$

La metodologia di calcolo del JCond₈₉ è riportata nella tabella seguente (ripresa dalla pubblicazione citata).



   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>22 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	22 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	22 di 59								

Table 1: Definition of $J_{Cond_{89}}$, after Bieniawski (1989) [5].

Condition of discontinuities	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous
Rating	30	25	20	10	0

Guidelines for classification of discontinuity conditions

Discontinuity length (persistence) Rating	< 1 m 6	1 to 3 m 4	3 to 10 m 2	10 to 20 m 1	More than 20 m 0
Separation (aperture) Rating	None 6	< 0.1 mm 5	0.1 – 1.0 mm 4	1 – 5 mm 1	More than 5 mm 0
Roughness Rating	Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slickensided 0
Infilling (gouge) Rating	None 6	Hard infilling < 5 mm 4	Hard filling > 5 mm 2	Soft infilling < 5 mm 2	Soft infilling > 5 mm 0
Weathering Rating	Unweathered 6	Slightly weathered 5	Moderate weathering 3	Highly weathered 1	Decomposed 0

Sempre per una stima semi-quantitativa dei parametri di ammasso, Hoek et al. (1995) hanno suggerito di utilizzare la versione della classifica RMR pubblicata nel 1976, escludendo l'influenza dell'orientazione dei giunti e attribuendo un valore costante e pari a 10 al fattore che nella versione originaria tiene conto dell'influenza dell'acqua.

In questo caso l'indice GSI viene definito come $GSI = RMR_{76} - 5$.

La classificazione geomeccanica del Norwegian Geotechnical Institute (**NGI**) è stata messa a punto da Barton, Lien e Lunde nel 1974 e si basa sulla determinazione dell'**indice Q**. L'indice Q è dato da

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

Il primo rapporto nella espressione di Q descrive le condizioni di fratturazione; il parametro J_n cresce all'aumentare del numero di sistemi di giunto presenti nell'ammasso per tener conto della maggior mobilità dei blocchi in queste condizioni. I parametri J_r e J_a descrivono rispettivamente la scabrezza e le caratteristiche sia di alterazione delle pareti sia del riempimento del giunto. Infine, il parametro J_w descrive le condizioni idrauliche presenti (mediante il livello della pressione idrostatica o l'entità dell'afflusso di acqua in galleria) e il parametro SRF la severità dello sforzo mediante il rapporto tra lo stato di sforzo naturale e la resistenza della roccia.

Nella tabella seguente vengono riportati i rating parziali atti a determinare l'indice Q.

Determinazione dell'indice Q

	DESCRIPTION	VALU E		DESCRIPTION	VAL UE
1.	ROCK QUALITY DESIGNATION	RQD	4.	JOINT ALTERATION NUMBER	J_a

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>23 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	23 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	23 di 59								

A.	Very poor	0÷25	a. Rock wall contact	
B.	Poor	25÷50	A. Tightly healed, hard, non-softening, impermeable filling	0.7 5
C.	Fair	50÷75	B. Unaltered joint walls, surface staining only	1.0
D.	Good	75÷90	C. Slightly altered joint walls or non-softening mineral coatings, sandy particles, clay-free disintegrated, rock, etc.	2.0
E.	Excellent	90÷100	D. Silty, or sandy-clay coatings, small clay-fraction (non-softening)	3.0
2.	JOINT SET NUMBER	J_n	E. Softening or low-friction clay mineral coatings, i.e. kaolinite, mica. Also chlorite, talc, gypsum and graphite etc., and small quantities of swelling clays. (discontinuous coatings. 1÷2 mm or less in thickness)	4.0
A.	Massive, no or few joints	0.5÷1.0	b. Rock wall contact before 10 cm shear	
B.	One joint set	2	F. Sandy particles, clay-free, disintegrating rock, etc.	4.0
C.	One joint set plus random	3	G. Strongly over-consolidated, non-softening clay mineral fillings (continuous < 5 mm thick)	
D.	Two joint sets	4	H. Medium or low over-consolidation,	8.0
E.	Two joint sets plus random	6		
F.	Three joint sets	9		
G.	Three joint sets plus random	12		
H.	Four or more joint sets, random, heavily jointed, etc.	15		
J.	Crushed rock, earthlike	20		
3.	JOINT ROUGHNESS NUMBER	J_r		
	a. Rock wall contact			

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>24 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	24 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	24 di 59								

	b. Rock wall contact before 10 cm shear			softening clay mineral fillings (continuous < 5mm thick)	
A.	Discontinuous joints	4	J	Swelling clay fillings, i.e. montmorillonite, (continuous < 5 mm thick). Values of J_n depend on percent of swelling clay-size particles, and access to water	8÷1 2
B.	Rough and irregular, undulating	3			
C.	Smooth undulating	2			
D.	Slickensided undulating	1.5			
E.	Rough or irregular, planar	1.5		c. No rock wall contact when sheared	
F.	Smooth, planar	1.0	K.	Zones or bands of disintegrated or crushed rock and clay (see G, H and J for clay conditions)	6÷1 2
G.	Slickensided, planar	0.5			
H.	Zones containing clay minerals thick enough to prevent rock wall contact	1.0 (nominal)	L.	Zones or bands of silty- or sandy-clay, small clay fraction, non-softening	5.0
J.	Sandy, gravelly or crushed zone thick enough to prevent rock wall contact	1.0 (nominal)	M	Thick continuous zones or bands of clay (see G, H and J for clay conditions)	10÷ 20
5.	STRESS REDUCTION FACTOR a. Weakness zones intersecting excavation, which may cause loosening		6.	JOINT WATER REDUCTION FACTOR	
A.	Multiple occurrences of weakness zones containing clay or chemically disintegrated, very loose rock	10.0	A	Dry excavations or minor inflow, i.e., 5 l/min locally	1

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>25 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	25 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	25 di 59								

B	Single-weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock (depth of excavation < 50 m)	5.0	B	Medium inflow or pressure occasional outwash of joint fillings; water pressure <1 bar	0.6 6
C	Single-weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock (depth of excavation > 50 m)	2.5	C	Large inflow or high pressure in competent rock with unfilled joints; water pressure 1÷2.5 bar	0.5
D.	Multiple-shear zones in competent rock (clay-free), loose surrounding rock (any depth)	7.5	D	Large inflow or high pressure considerable outwash of joint fillings; water pressure 2.5÷10 bar	0.3 3
E.	Single-shear zones in competent rock (clay-free), depth of excavation <50m	5.0	E	Exceptionally high inflow or water pressure at blasting, decaying with time; water pressure 2.5÷10 bar	0.2 ÷0. 1
F.	Single-shear zones in competent rock (clay-free), depth of excavation > 50 m	2.5	F	Exceptionally high inflow or water pressure continuing without noticeable decay; water pressure >10 bar	0.1 ÷0. 05
G.	Loose open joints, heavily jointed, etc. (any depth)	5.0			
	b. Competent rock, rock stress problems				
H.	Low stress, near surface	2.5			
J.	Medium stress $\sigma_v/\sigma_1 = 200-10$	1.0			
K.	High-stress, very tight structure $\sigma_v/\sigma_1 = 10-5$	0.5÷2			
L.	Mild rock burst (massive rock) $\sigma_v/\sigma_1 = 5-2.5$	5÷10			
M	Heavy rock burst (massive rock) $\sigma_v/\sigma_1 < 2.5$	10÷20			

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>26 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	26 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	26 di 59								

Anche in questo caso per ottenere un indice, Q' , che rappresenti la qualità intrinseca dell'ammasso roccioso, piuttosto che le condizioni di stabilità di uno scavo, si possono eliminare i termini che rappresentano le condizioni idrauliche e la severità dello sforzo.

L'indice di caratterizzazione così ottenuto, indicato con Q' , diviene quindi:

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a}$$

Correlazioni tra gli indici

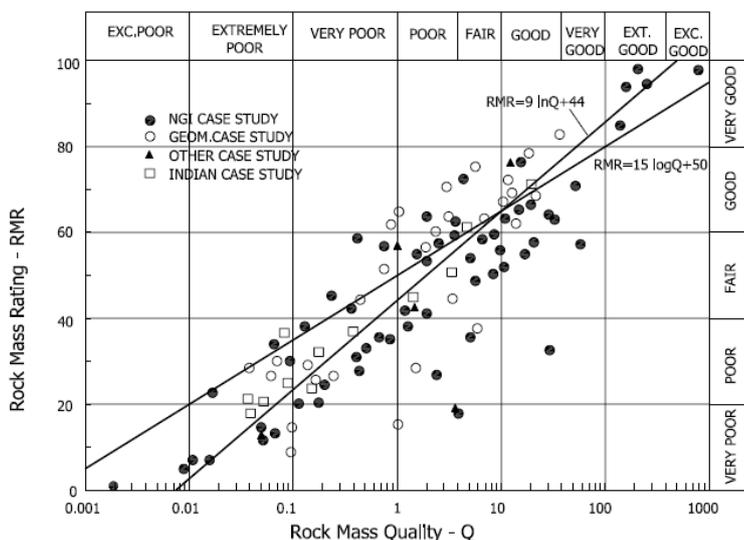
Le seguenti correlazioni sono state proposte dai vari autori (oltre a quella già citata tra RMR e GSI):

$RMR = 9 \times \ln Q + 44$ (Bieniawski, 1989), affetta da una sensibile dispersione.

Barton (1995) ha proposto invece la relazione: $RMR = 50 + 15 \log Q$

Entrambe le correlazioni sono rappresentate nella figura seguente.

Sia Bieniawski sia Hoek consigliano di utilizzare entrambe le classifiche RMR e Q , perché ciascuna di esse può mettere in evidenza aspetti diversi del comportamento dell'ammasso.



Correlazione tra gli indici di qualità RMR e Q

Correlazioni analoghe sono applicabili anche agli indici GSI e Q' , in base ai valori delle velocità sismica in sito.

In particolare, per gli ammassi a modesta profondità Barton e Grimstad (1994) hanno proposto la seguente relazione:

$$\log Q' = (V_p - 3.5) \quad (\text{con } V_p \text{ in km/s}).$$

La precedente espressione, utilizzando la correlazione tra GSI e Q' , diviene:

$$GSI = 20.7 V_p - 28.5$$

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>27 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	27 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	27 di 59								

4.4 Resistenza al taglio dell'ammasso. Modello costitutivo di Hoek-Brown

Il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso è descritto dal criterio di resistenza non lineare di Hoek e Brown (1980). Questo criterio di resistenza è contraddistinto, nel piano di Mohr, da una marcata curvatura con concavità verso il basso; ciò 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.

In termini di sollecitazioni principali efficaci σ_1' e σ_3' il criterio di resistenza è espresso dalle relazioni:

$$\begin{aligned} \sigma_1' &= \sigma_3' + \left\{ m_i \sigma_c \sigma_3' + s_i \sigma_c^2 \right\}^{1/2} && \text{materiale roccioso} \\ \sigma_1' &= \sigma_3' + \left\{ m_a \sigma_c \sigma_3' + s_a \sigma_c^2 \right\}^{1/2} && \text{ammasso roccioso} \end{aligned} \quad [1]$$

in cui 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.

Per il materiale roccioso viene usualmente assunto $m_i = 1$.

La resistenza a compressione uniassiale σ_{ca} e a trazione σ_{ta} dell'ammasso roccioso risultano rispettivamente pari a:

$$\begin{aligned} \sigma_{ca} &= \sqrt{s_a} \sigma_c \\ \sigma_{ta} &= \frac{\sigma_c}{2} \left(m_a - \sqrt{m_a^2 + 4s_a} \right) \end{aligned}$$

Il criterio, parte dalle caratteristiche meccaniche della roccia intatta, per poi introdurre dei coefficienti correttivi per tenere conto delle caratteristiche dei giunti dell'ammasso.

Per tenere conto di effetti di disturbo dell'ammasso, Hoek ha introdotto un criterio di rottura modificato e successivamente "generalizzato" in cui nell'equazione [1] è stato introdotto un coefficiente "a" per adattare meglio la forma della curva nel piano di Mohr.

In tal modo la [1] diventa:

$$\begin{aligned} \sigma_1' &= \sigma_3' + \left\{ m_i \sigma_c \sigma_3' + s_i \sigma_c^2 \right\}^a && \text{materiale roccioso} \\ \sigma_1' &= \sigma_3' + \left\{ m_a \sigma_c \sigma_3' + s_a \sigma_c^2 \right\}^a && \text{ammasso roccioso} \end{aligned}$$

Hoek e Brown (1980), per stimare i valori di m_a e s_a dell'ammasso roccioso a partire dall'indice GSI, hanno proposto le seguenti relazioni:

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right) \quad s_b = s_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right)$$

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>28 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	28 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	28 di 59								

Successivamente, alcuni autori (Hoek, Carranza-Torres and Corkum, 2002), al fine di tenere conto di effetti di disturbo o allentamento dell'ammasso, i valori di m_b , s e a sono stati ricavati dalle seguenti espressioni:

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$$

m_i costante adimensionale dipendente dal tipo litologico (assunto pari a 27 sulla base dei risultati delle prove triassiali e del tutto analogo al valore di letteratura, $m_i = 27 \pm 3$ per gabbri).

D coefficiente che tiene conto dell'effetto di disturbo in seguito all'abbattimento della roccia con esplosivo.

Ai fini delle verifiche di stabilità, il criterio di Hoek e Brown viene più convenientemente espresso in termini di curva intrinseca $\tau - \sigma'_n$ anziché in termini di sforzi principali, correlando in base a relazioni geometriche, lo sforzo di taglio in funzione della sollecitazione normale.

Lo sforzo normale e di taglio sono correlate agli sforzi principali dalle relazioni (Balmer, 1952):

$$\sigma'_n = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \cdot \frac{d\sigma'_1/d\sigma'_3 - 1}{d\sigma'_1/d\sigma'_3 + 1}$$

$$\tau = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \cdot \frac{\sqrt{d\sigma'_1/d\sigma'_3}}{d\sigma'_1/d\sigma'_3 + 1}$$

dove

$$d\sigma'_1/d\sigma'_3 = 1 + am_b(m_b\sigma'_3/\sigma_c + s)^{a-1}$$

Per il calcolo dei parametri di resistenza espressi in termini di coesione ed angolo di attrito efficaci lo stesso Hoek (1980) ha proposto la seguente procedura di calcolo:

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

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

dove

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

Il valore di $\sigma'_{3\max}$ è il limite superiore della tensione di confinamento per il quale viene considerata la correlazione tra il criterio di Hoek-Brown e di Mohr-Coulomb.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>29 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	29 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	29 di 59								

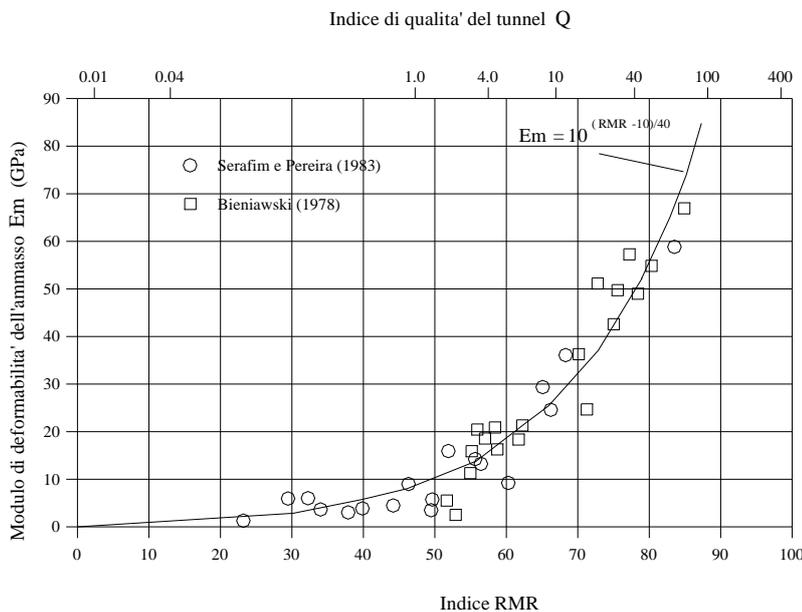
4.5 Deformabilità dell'ammasso roccioso

Anche in questo caso, come per la resistenza, anche per la deformabilità vanno distinte le caratteristiche a livello di campione intatto da quelle dell'ammasso, dove in quest'ultimo ovviamente influiscono la frequenza, l'apertura e le altre condizioni dei giunti di discontinuità.

Indicazioni preliminari sulla deformabilità dell'ammasso possono essere ricavate da una valutazione della qualità della roccia basata sulle classifiche tecniche. Dopo l'introduzione della classifica RMR, Bieniawski (1976) ha proposto la seguente correlazione (applicabile solo per valori di RMR superiori a 55) tra modulo di deformabilità e indice RMR:

$$E_d \text{ (GPa)} = 2 \cdot \text{RMR} - 100$$

Una modifica della relazione precedente, che tiene conto di dati di prova in rocce di qualità mediocre o scadente (vedi figura seguente), è stata proposta da Serafim e Pereira (1979) e adottata poi dallo stesso Bieniawski (1989).



Relazione di Serafim-Pereira per la valutazione di E definita dalla seguente relazione:

$$E_d \text{ (GPa)} = 10 \frac{\text{RMR} - 10}{40}$$

Una relazione per la stima della deformabilità dell'ammasso a partire da Q è stata invece proposta da Barton (1995)

$$E_d \text{ (GPa)} = 10 Q^{1/3}$$

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>30 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	30 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	30 di 59								

Tenendo conto della correlazione $RMR = 50 + 15 \log Q$, la relazione sopra indicata è equivalente alla seguente:

$$E_d (GPa) = 10^{\frac{RMR-5}{45}}$$

tenuto conto della correlazione $\log Q' = (V_p - 3.5)$ si ottiene una relazione che consente di valutare il modulo di deformabilità a partire dalla velocità sismica

$$E_d = 10^{\frac{V_p - 3.5}{3}}$$

In seguito, Hoek et al. (1995) hanno osservato che la relazione precedente tende a sovrastimare i moduli dell'ammasso quando il modulo del materiale roccioso è basso. La relazione precedente è stata quindi modificata introducendo un termine direttamente collegato alle proprietà del materiale roccioso. Tenendo conto anche della sostituzione dell'indice di caratterizzazione GSI all'indice RMR, si ha:

$$E_d (GPa) = \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{\frac{GSI-10}{40}} \quad \text{per } \sigma_c < 100 \text{ MPa}$$

Una modifica dello stesso tipo è stata introdotta da Barton (1999).

$$E_d (GPa) = 10 \left(Q' \cdot \frac{\sigma_c}{100} \right)^{1/3} \quad \text{per } \sigma_c < 100 \text{ MPa}$$

Hoek and Diederichs (2005) hanno riesaminato i predetti metodi empirici per stimare il modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso ed hanno aggiornato i criteri in precedenza esposti con la relazione:

$$E_d (MPa) = 100000 \left(\frac{1 - D/2}{1 + e^{((75+25D-GSI)/11)}} \right)$$

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>31 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	31 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	31 di 59								

5. CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Seguendo i criteri prima esposti, nei paragrafi successivi verranno descritte prima le caratteristiche a livello di campione intatto (o più o meno intatto), dalle caratteristiche petrografiche a quelle fisico-meccaniche, e quindi saranno commentati i dati necessari per la definizione degli indici di ammasso.

Sulla base di questi elementi e con riferimento al modello costitutivo dell'ammasso adottato, si giunge alla definizione dei parametri meccanici in termini di resistenza e deformabilità.

5.1 Caratteristiche petrografiche

Non si hanno a disposizione i risultati di analisi su sezioni sottili o altre analisi petrografiche- I campioni sono classificabili come calcari micritici, localmente dolomitici.

5.2 Caratteristiche fisico-meccaniche

Sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio su carote prelevate dai sondaggi:

- determinazioni del peso di volume
- determinazioni della velocità sonica;
- prove di compressione uniassiale;
- prove di compressione uniassiale con misura delle deformazioni e determinazione del coefficiente di Poisson;
- prove di punzonamento "point-load";
- prove triassiali;
- prove di trazione indiretta (tipo "brasiliiana").

I risultati delle prove di laboratorio sono riassunti nella tabella e nelle figure seguenti.

ITINERARIO NAPOLI – BARI

RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO

I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E
VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL
COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVORELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	32 di 59

Sondaggio	Camp.	Profondità			γ kN/m ³	Compressione Monoassiale				PL Is (50) MPa	Triax		Traz. MPa	Provasonica	
		da	a	z (m)		σ MPa	Esec GPa	Etan GPa	v		σ_3 MPa	σ_1 MPa		Vp m/s	Vs m/s
PNIF51G06	CL1	24,2	24,3	-24,25	24,32	22,81	110,69	156,66	0,289					6149	3344
PNIF51G06	CL2	27	27,5	-27,25	24,01	25,66	42,1	38,91	0,273					5212	2926
P12	CL1	37,6	38	-37,8	26,75	116,54	76,38	74,69	0,251					5518	3280
P12	CL2	49	49,24	-49,12	27,04	67,82	60,12	71,45	0,161					5661	3212
S2	A	70	70,4	-70,2											
S2	B	74,7	75	-74,85		25,16	70,28	72,81	0,114						
S2	C	80	80,5	-80,25		50,47	56,13	64,13	0,073						
PE-S03	CR1	244,3	244,6	-244,45	25,59								5,9		
PE-S03	CR2	260,1	260,6	-260,35	26,2		36,9	35,6	0,3		1	50,92	7,8		
							43,9	42	0,3		1,5	88,16			
							49,3	50,6	0,21		2	97,05			
PE-S03	CR3	274,3	274,8	-274,55	25,67		7,8	9	0,34		0,5	15,06	3,3		
							12,6	9,1	0,29		1,5	25,5			
							7,9	10,1	0,33		2,5	29,69			
PE-S03	CR4	284,4	284,8	-284,6	25,67	32,6	16,6	21,1	0,22				4,9		
PE-S03	CR5	290,5	291	-290,75	25,43		20,9	20,2	0,23		1	43,64	6,9		
PE-S03	CR5	290,5	291	-290,75			68,6	67	0,38		3	116,66			
PE-S03	CR5	290,5	291	-290,75			69,9	75,1	0,26		6	140,9			
PE-S03	CR6	297	297,4	-1635,7	25,94										
PE-S03	CR7	299,8	300	-299,9						2,4					
PE-S03	CR8	311	311,5	-311,25	25,16				0,31				3,4		
PE-S03	CR9	344,6	345	-344,8						1			3		
PE-S04	CR1	205,3	205,7	-205,5	27,27	90,8	132,3	176,7	0,16				5,7		
PE-S04	CR2	220,2	220,6	-220,4	26,05	66,8	40,8	82,3	0,17				6,2		
PE-S04	CR3	235,2	235,7	-235,45	24,93	106,8	84,2	118,8	0,35				4,4		
PE-S04	CR4	245	245,6	-245,3	24,73	91,4	150	149,3	0,24				3,8		
PE-S04	CR5	250,6	251	-250,8	25,89		13,6	13,6	0,26		0,2	39,6			
PE-S04	CR5	250,6	251	-250,8			48,4	44,1	0,29		1,5	58,5			
PE-S04	CR5	250,6	251	-250,8			86	85,1	0,27		2,5	115			
PE-S04	CR5	250,6	251	-250,8			25,8	40,5	0,3		3	109,4			
PE-S04	CR5	250,6	251	-250,8			57,4	56,3	0,22		3,5	123,4			
PE-S04	CR6	55,6	256	-155,8	25,6	100,5	101,8	137,4	0,32				4,7		
PE-S04	CR7	261,3	261,8	-261,55	26,96										
PE-S04	CR8	265	265,6	-265,3	26,96										
PE-S04	CR9	270,6	271	-270,8	26,51	120,8	122,5	125,8	0,28				6,9		
PE-S04	CR10	291,2	292	-291,6	26,83	101,3	240,9	180,4	0,25				7,3		
PE-S05	CR1	26	26,2	-26,1	22,76	19,3	17,29	17,29	0,15						
PE-S05	CR2	31	31,3	-31,15	26,67	101,3	44,19	44,19	0,22				6,95		
PE-S05	CR3	39,4	39,7	-39,55	26,36		94,2	79	0,4		2	159,6	10,6		
PE-S05	CR4	44	44,1	-44,05	26,98		95	80,9	0,27		1	143,3			
PE-S05	CR5	49	49,2	-49,1	26,59		120,6	136,7	0,19		3	188,3			
PE-S05	CR6	54	54,2	-54,1	26,59		133,3	131,6	0,17		5	261,6			
PE-S05	CR7	79,3	79,7	-79,5	26,76	42,4	24,2	24,2	0,33				6,16		
MEDIA					25,9	69,6	68,1	72,6	0,3	1,7	2,3	100,3	5,8	5635,0	3190,5
DEV.ST.					1,0	35,3	49,2	49,5	0,1	0,7	1,5	62,8	1,9	338,2	159,7

**RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IF1N

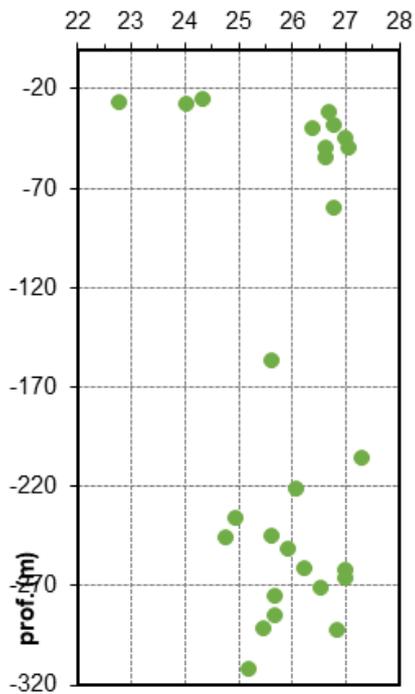
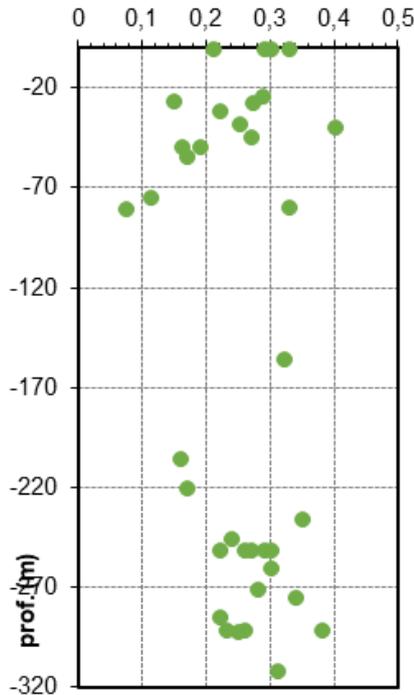
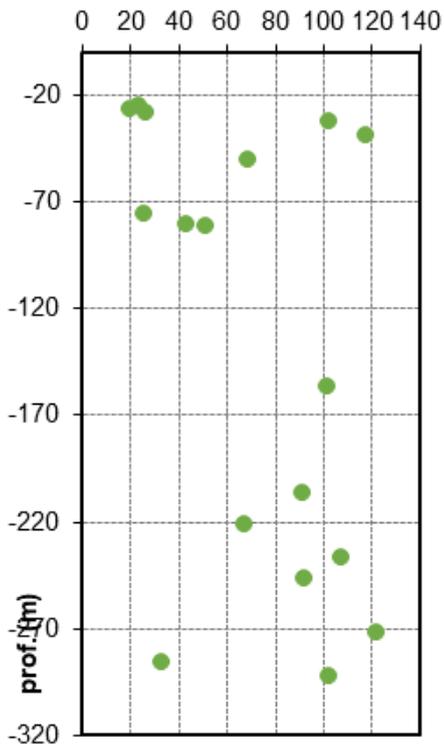
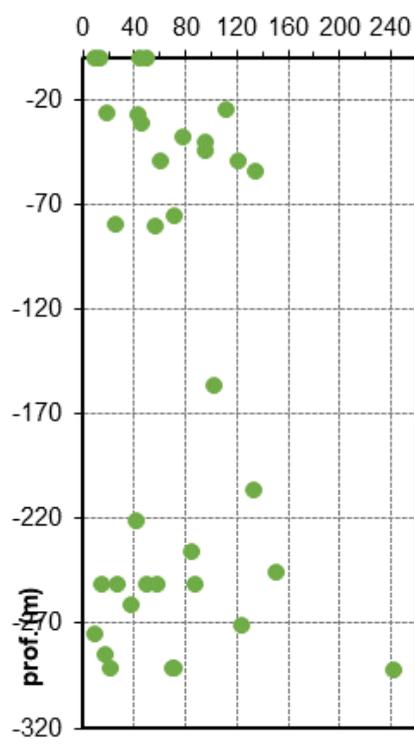
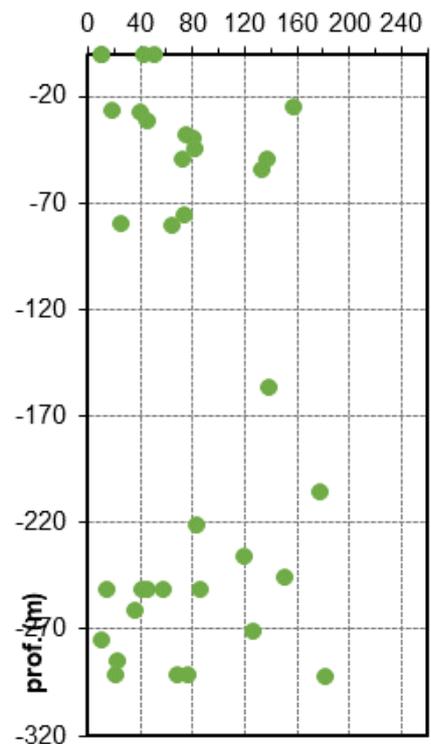
01 E ZZ

RB

GE0005 002

A

33 di 59


peso di volume (kN/m³)

Coeff. Poisson

 σ_c (MPa)

 E_{sec} (GPa)

 E_{tan} (GPa)

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>34 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	34 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	34 di 59								

Dal complesso delle prove eseguite si possono trarre sinteticamente le seguenti conclusioni.

Il peso di volume varia senza una apprezzabile relazione con la profondità tra 25 e 27 kN/m³. Alcuni valori molto bassi sono verosimilmente da attribuire alla presenza di vacuoli e fessure da carsismo. Gran parte di questi valori bassi sono concentrati in alcuni campioni relativamente superficiali. In profondità i valori si mantengono nel range indicato. Il valore medio del peso di volume è di 25.9 kN/m³.

I valori della resistenza a compressione variano tra 20 e 120 MPa con valori molto dispersi soprattutto nelle zone meno profonde. Escludendo i campioni più superficiali si nota una lievissima tendenza all'aumento dei valori di resistenza con la profondità. Il valore medio della resistenza è 35 MPa.

A questi valori di resistenza sono associati valori del modulo secante tra 20 e 120 GPa (valore medio 49 GPa) e del modulo tangente in un range sostanzialmente analogo, con il limite superiore fino a 160 GPa tra (valore medio 49.5 GPa).

Il coefficiente di Poisson è risultato molto variabile tra 0.15 e 0.4 con un valore medio di 0.3.

Le prove di trazione hanno fornito valori medi di circa 6 MPa.

5.3 Indici di ammasso

Una stima dell'indice di ammasso può essere ricavata dalle stazioni geostrutturali eseguite nei siti.

In Appendice si riportano i risultati delle stazioni eseguite nella cava Tixon dove è ubicato l'imbocco della finestra sud. Questi rilievi hanno portato a stimare valori di GSI tra 30 e 40.

Valori più elevati erano stati stimati nel progetto definitivo, ma il range di valori indicato (GSI = 42-51) è da attribuire alle porzioni di ammasso più profonde, cioè in effetti è stato poi adottato nel profilo geomeccanico del PD. Da questo si evidenzia che i valori adottati variano nel range di GSI tra 30 e 60.

La caratterizzazione degli ammassi riguarda in particolare le opere in galleria.

Per la stima del valore di GSI è stato preferito il metodo quantitativo descritto in precedenza, considerando che gli ammassi di diretto interesse per gli obiettivi progettuali sono quelli nel sottosuolo al di sotto delle coperture e a intervalli di profondità notevoli.

La stima del grado di fratturazione può quindi essere stimato in gran parte dai valori di RQD.

Le caratteristiche delle discontinuità richieste per la stima quantitativa del GSI (Jcond) possono essere stimate dai rilievi geomeccanici eseguiti sulle carote.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>35 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	35 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	35 di 59								

5.4 Valori di RQD

Il valore di RQD è risultato molto variabile in relazione all'attraversamento di fasce tettoniche e più in generale del grado di fratturazione degli ammassi. Nell'attraversamento delle fasce più tettonizzate l'RQD è molto spesso nullo (vedi PE-S05 nell'imbocco sud, PE-S06 e PE-S07 nella finestra nord).

Esaminando i singoli sondaggi si possono individuare vari valori di RQD nell'intervallo di profondità di interesse per la galleria.

A partire dall'imbocco sud della galleria il sondaggio **PE-S05** interseca le quote della galleria tra 45 e 60 m circa. In questo tratto si alternano tratti con RQD anche discreti (da 30-40% a >50%) alternati con tratti completamente disgregati e tratti ancora con vuoti dell'ordine di alcuni decimetri fino al metro.

In questo tratto l'ammasso calcareo è vicino al contatto tettonico con le argille varicolori.



  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>36 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	36 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	36 di 59								

Sondaggio PE-S05 da 45 a 55m



Sondaggio PE-S05 da 60 a 70m

Procedendo verso l'interno della galleria il sondaggio **PE-S04** intercetta la galleria tra le profondità 255 e 275 m. L'ammasso risulta poco fratturato con valori di RQD molto elevati, di fatto pari al 100%.

Ghella



ITINERA

ITINERARIO NAPOLI – BARI

RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO

1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E
VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL
COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	37 di 59



Sondaggio PE-S04 da 255 a 265m

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>38 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	38 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	38 di 59								



Sondaggio PE-S04 da 265 a 270m

Nel sondaggio della precedente fase S1, al centro del rilievo nelle zone delle massime coperture, la stratigrafia indica tra 295 e 310 m risultati molto variabili, da valori di 40% a 80 % fino a 307m, per poi passare ad un tratto completamente fratturato (RQD=0) e carsificato.



Sondaggio S1 da 296 a 301

RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	39 di 59



Sondaggio S1 da 301 a 311

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>40 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	40 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	40 di 59								

Sempre all'interno del rilievo, ma sul versante nord il sondaggio **PE-S03** intercetta la galleria tra le profondità 285 e 305 m. In questo intervallo, dopo aver attraversato un ammasso poco fratturato, si attraversano molti tratti fortemente fratturati alternati a tratti con RQD basso ma apprezzabile



Sondaggio PE-S03 da 300 a 305 m

Sul versante nord del Monte Aglio il sondaggio **PES02** ha attraversato il sovrascorrimento. A questa progressiva i calcari sono stati incontrati a quote più elevate della galleria, ma le loro caratteristiche di fratturazione possono rendere l'idea dello stato di stress che si è generato al contatto tettonico con le argille varicolori.

Lo stato di fratturazione dei calcari intercettati a questa profondità dal sondaggio PE-S02 può essere estrapolato ai calcari a maggiore profondità in corrispondenza del contatto tettonico.

RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	41 di 59



Sondaggio PE-S02 da 20 a 30m

Gradi di fratturazione molto elevati sono stati verificati anche nella galleria della finestra nord.

All'imbocco il sondaggio **PE-S06** ha intercettato un ammasso completamente frantumato.

RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	42 di 59



Sondaggio PE-S03 da 10 a 20 m

Nella zona più profonda della finestra il sondaggio **PE-S07** ha intercettato il sovrascorrimento. I calcari al di sopra del contatto risultano completamente disgregati, prelevati in frammenti e graniglia, con solo qualche carota integra.

RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	43 di 59



Sondaggio PE-S07 da 90 a 105 m

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>44 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	44 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	44 di 59								

Dall'insieme di questi dati si ricavano range di valori di RQD molto ampi ma che in sintesi possono essere raggruppati in 4 famiglie:

- (a) Calcari totalmente disgregati da contatti tettonici: RQD = 0÷10%
- (b) Calcari fortemente fratturati, in corrispondenza delle fasce associate ai disturbi tettonici o fortemente carsificati: RQD = 10÷30%
- (c) Calcari mediamente fratturati: RQD = 30÷50%
- (d) Calcari poco fratturati o integri: RQD > 50%

5.5 Caratteristiche delle discontinuità

Per una valutazione delle caratteristiche delle discontinuità secondo il criterio di Bieniawski (Jcond) prima descritto, si può fare riferimento ai rilievi geomeccanici sui giunti condotti sulle carote dei sondaggi.

Si è fatto in particolare riferimento ai sondaggi S1 e S2 che riportano una dettagliata descrizione delle condizioni dei giunti delle carote.

Dei parametri riportati nella tabella successiva, l'unica non determinabile dai sondaggi è la persistenza. Questa si può ricavare dai rilievi eseguiti sui fronti di cava che indicano persistenze sempre mediamente elevate, da alcuni metri alla decina di metri per le fratture secondarie sub-verticali (che arrivano però ad alcune decine di metri nei veri e propri giunti tettonici/faglie) a persistenze molto alte (alcune decine di metri) per i giunti di strato. Si è fatto riferimento sempre ad un range 3÷10m con un rating 2.

Table 1: Definition of JCond₈₉, after Bieniawski (1989) [5].

Condition of discontinuities	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous
Rating	30	25	20	10	0

Guidelines for classification of discontinuity conditions

Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 to 3 m	3 to 10 m	10 to 20 m	More than 20 m
Rating	6	4	2	1	0
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	More than 5 mm
Rating	6	5	4	1	0
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided
Rating	6	5	3	1	0
Infilling (gouge)	None	Hard infilling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft infilling < 5 mm	Soft infilling > 5 mm
Rating	6	4	2	2	0
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderate weathering	Highly weathered	Decomposed
Rating	6	5	3	1	0

Nell'insieme si può fare riferimento quindi ai seguenti valori.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>45 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	45 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	45 di 59								

TIPO DI ROCCIA	Persistenza	Apertura	Scabrezza	Riempimento	Alterazione	JCond ₈₉
	Rating	Rating	Rating	Rating	Rating	Rating
(a)	2	1	3	2	2	10
(b)	2	2	3	4	3	14
(c)	2	4	5	4	5	20
(d)	2	4	6	6	6	24

Si ricavano quindi, dalla relazione $GSI = 1.5 JCond_{89} + RQD/2$, i seguenti campi di RQD per i 4 tipi di ammassi rocciosi individuati.

- Tipo (1) $GSI \approx 15 \div 20$
- Tipo (2) $GSI \approx 25 \div 35$
- Tipo (3) $GSI \approx 40 \div 50$
- Tipo (4) $GSI \approx 50 \div 60 > 60$

5.6 Parametri meccanici di ammasso

Secondo l'approccio di Hoek&Brown prima descritto i parametri di ammasso possono essere ricavati in termini di "m" ed "s" o di "c" e "φ" a seconda del modello costitutivo adottato.

I parametri di ammasso saranno funzione poi del livello di tensioni di interesse e di altre condizioni al contorno che sono specifiche per ognuna delle situazioni progettuali da affrontare.

Solo come orientamento si riportano nelle schede seguenti i parametri di ammasso ricavati direttamente dal software RocLab della RocScience per ognuno dei tipi di roccia individuati adottando il modello di Tunnel nell'ambito di profondità tra 50 e 200 m. Nella scheda è indicato anche il valore della deformabilità di ammasso ricavato dalla relazione con GSI.

Si specifica che non necessariamente i parametri di ammasso adottati nelle modellazioni di calcolo corrispondono a quelli indicati nelle schede seguenti, in quanto diverse classi di roccia possono essere associati a diversi ambiti di profondità (quindi di tensioni), a diversi livelli di resistenza meccanica (a livello di campione) e a diverse condizioni al contorno (grado di disturbo dello scavo, condizioni preferenziali dei giunti, ecc...).

Gli specifici parametri di progetto saranno individuati nelle singole Relazioni di calcolo.

RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	46 di 59

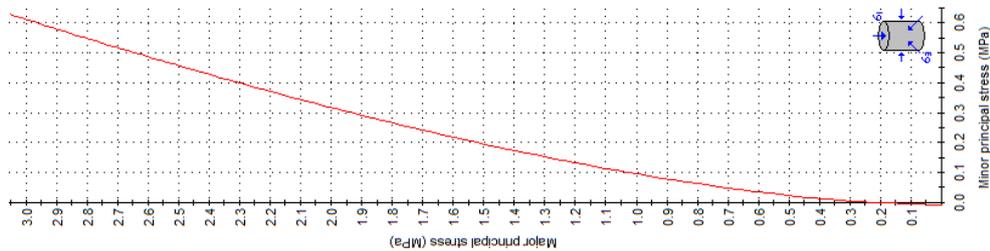
Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial comp. strength (sigci) = 30 MPa
 GSI = 20 mi = 8 Disturbance factor (D) = 0
 intact modulus (Ei) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.459 s = 0.0001 a = 0.544

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.145 MPa friction angle = 37.72 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.009 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.239 MPa
 global strength = 2.160 MPa
 deformation modulus = 548.06 MPa



Hoek-Brown Classification

sigci 30 MPa

GSI 20

mi 8

D 0

Ei 12000 MPa

MR

Hoek-Brown Criterion

mb 0.459

s 0.0001

a 0.544

Failure Envelope Range

Application: Tunnels

sig3max 0.6239 MPa

Unit Weight 0.026 MN/m3

Tunnel Depth 50 m

Mohr-Coulomb Fit

c 0.145 MPa

phi 37.72 deg

Rock Mass Parameters

sigt -0.009 MPa

sigc 0.239 MPa

sigom 2.160 MPa

Erm 548.06 MPa

Copy Data

Rock Science
www.rockscience.com

RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	47 di 59

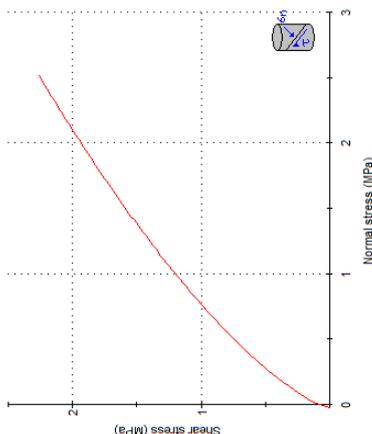
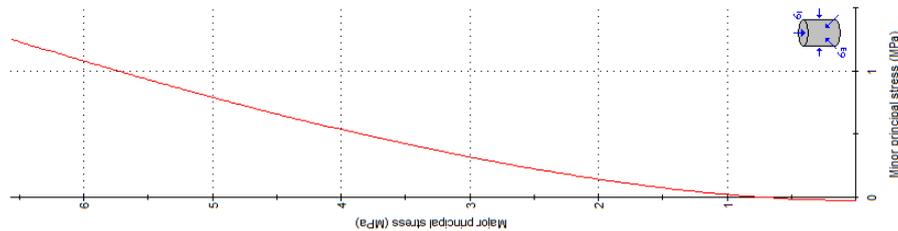
Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial comp. strength (sigci) = 40 MPa
 GSI = 50, mi = 8, Disturbance factor (D) = 0
 intact modulus (Ei) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.657, s = 0.0004, a = 0.522

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.336 MPa, friction angle = 38.99 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.026 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.688 MPa
 global strength = 3.910 MPa
 deformation modulus = 976.60 MPa



<p>Hoek-Brown Classification</p> <p>sigci 40 MPa</p> <p>GSI 50</p> <p>mi 8</p> <p>D 0</p> <p>Ei 12000 MPa</p> <p>MR</p>	<p>Hoek-Brown Criterion</p> <p>mb 0.657</p> <p>s 0.0004</p> <p>a 0.522</p>	<p>Failure Envelope Range</p> <p>Application: Tunnels</p> <p>sig3max 1.2523 MPa</p> <p>Unit Weight 0.026 MN/m3</p> <p>Tunnel Depth 100 m</p>	<p>Mohr-Coulomb Fit</p> <p>c 0.336 MPa</p> <p>phi 38.99 deg</p>	<p>Rock Mass Parameters</p> <p>sigt -0.026 MPa</p> <p>sigc 0.688 MPa</p> <p>sigcm 3.910 MPa</p> <p>Erm 976.60 MPa</p>	<p>Copy Data</p> <p>Rockscience www.rockscience.com</p>
--	---	---	--	--	--



ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO
1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E
VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL
COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	48 di 59

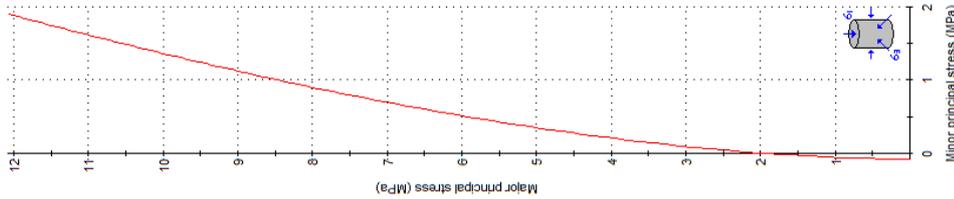
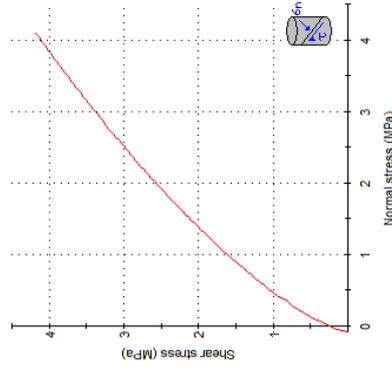
Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 60 MPa
 GSI = 40 m_i = 8 Disturbance factor (D) = 0
 intact modulus (Ei) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion
 m_b = 0.939 s = 0.0013 a = 0.511

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.652 MPa friction angle = 42.38 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.081 MPa
 uniaxial compressive strength = 1.984 MPa
 global strength = 7.506 MPa
 deformation modulus = 1915.83 MPa



Hoek-Brown Classification
 σ_{ci} : 60 MPa
 GSI: 40
 m_i : 8
 D: 0
 Ei: 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion
 m_b : 0.939
 s : 0.0013
 a : 0.511

Failure Envelope Range
 Application: Tunnels
 σ_{3max} : 1.9064 MPa
 Unit Weight: 0.026 MN/m³
 Tunnel Depth: 150 m

Mohr-Coulomb Fit
 c: 0.652 MPa
 phi: 42.38 deg

Rock Mass Parameters
 σ_{t1} : -0.081 MPa
 σ_{c1} : 1.984 MPa
 σ_{cm} : 7.506 MPa
 E_m: 1915.83 MPa

Copy Data
 Rocscience
 www.rocscience.com



ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO
1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E
VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL
COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	49 di 59

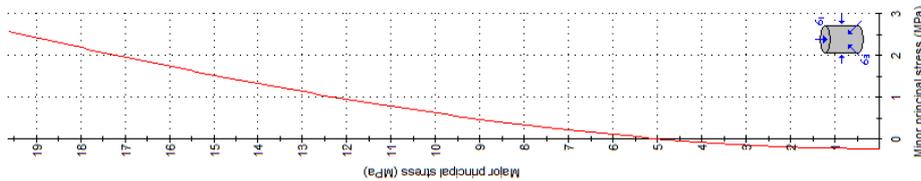
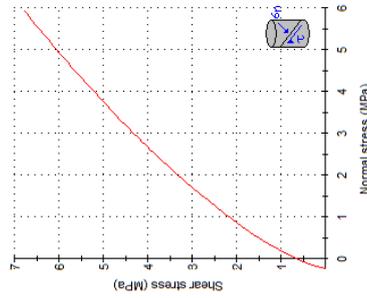
Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial comp. strength (sigc) = 80 MPa
 GSI = 50 mi = 8 Disturbance factor (D) = 0
 intact modulus (Ei) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion
 mb = 1.341 s = 0.0039 a = 0.506

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 1.153 MPa friction angle = 45.20 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.231 MPa
 uniaxial compressive strength = 4.818 MPa
 global strength = 12.557 MPa
 deformation modulus = 3686.23 MPa



Hoek-Brown Classification	
sigc 80 MPa	<input type="button" value="↺"/>
GSI 50	<input type="button" value="↺"/>
mi 8	<input type="button" value="↺"/>
D 0	<input type="button" value="↺"/>
Ei 12000 MPa	<input type="button" value="↺"/>
C MR	<input type="button" value="↺"/>
Hoek-Brown Criterion	
mb 1.341	<input type="button" value="↺"/>
s 0.0039	<input type="button" value="↺"/>
a 0.506	<input type="button" value="↺"/>
Failure Envelope Range	
Application: Tunnels	<input type="button" value="↺"/>
sig3max 2.5768 MPa	<input type="button" value="↺"/>
Unit Weight 0.026 MN/m3	<input type="button" value="↺"/>
Tunnel Depth 200 m	<input type="button" value="↺"/>
Mohr-Coulomb Fit	
c 1.153 MPa	<input type="button" value="↺"/>
phi 45.20 deg	<input type="button" value="↺"/>
Rock Mass Parameters	
sigt -0.231 MPa	<input type="button" value="↺"/>
sigc 4.818 MPa	<input type="button" value="↺"/>
sigcm 12.557 MPa	<input type="button" value="↺"/>
Erm 3686.23 MPa	<input type="button" value="↺"/>
<input type="button" value="📄"/> <input type="button" value="Copy Data"/>	
 www.rocscience.com	

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>50 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	50 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	50 di 59								

6. APPENDICE – RILIEVO GEOSTRUTTURALI NELLA CAVA TIXON

Gli ammassi presenti nella parte basale della dorsale di Monte Aglio sono interessati da uno stato di fratturazione generalmente elevato, in relazione verosimilmente ai forti stress subiti durante gli eventi tettonici che hanno portato al sovrascorrimento di questa unità sulla formazione (geologicamente più recente) delle Argille Varicolori.

Dai rilievi è emerso che la fratturazione, associata allo stato di abbandono dei fronti di cava, ha determinato alcune forme di instabilità; il fronte della cava è soggetto a caduta di frammenti e blocchi di roccia di varie dimensioni che vanno dal cm ad alcuni dm, fino a circa un metro cubo. Si tratta di frammenti, ma in alcuni casi di blocchi irregolari, diedri e prismi di roccia, con superfici di scivolamento anche fresche. Sono presenti anche forme di carsismo.



  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>51 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	51 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	51 di 59								



Viste le condizioni di stabilità del fronte si è deciso di procedere con un accurato studio geomeccanico che ha previsto:

- esecuzione di rilievi geomeccanici tradizionali nella parte bassa del fronte di cava;
- rilievo (topografico/geomeccanico) con drone multicottero, in grado di stazionare sul fronte per la ripresa con tecnica areofotogrammetrica.

L'indagine con drone è stata eseguita in data 17/04/2018 e ha consentito di ottenere i seguenti dati:

- ✓ ortofoto planimetrica georeferenziata;
- ✓ modello digitale del fronte di cava tramite “nuvola di punti” associata a informazioni RGB georeferenziati nel sistema di coordinate di progetto;
- ✓ ortofotopiani del fronte di cava sviluppati su più segmenti di sezione;
- ✓ analisi dei piani di frattura che interessano tutto il fronte di cava e una ulteriore analisi dei piani di frattura concentrata solo sulla zona di imbocco della galleria in progetto;
- ✓ modello digitale 3D con i principali piani di frattura su nuvola di punti RGB

Nel seguito si mostra uno degli ortofotopiani del fronte di cava, in particolare quello che interessa l'imbocco della galleria.

Da questa immagine si evidenzia che la parte bassa non mostra la fitta stratificazione evidente invece nella parte media e alta del fronte. I principali giunti sub-verticali proseguono anche verso il basso, dove,

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>52 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	52 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	52 di 59								

nel dettaglio, la suddivisione è molto spinta a causa principalmente di sistemi di fratturazione sub-verticali. Sono evidenti inoltre alcune nicchie e rientranze formate dal distacco di diedri e prismi di roccia. Questo è evidente dai risultati dei rilievi meso-strutturali e geomeccanici eseguiti nella parte bassa del fronte, realizzati con metodo tradizionale, con bussola. Questi rilievi hanno consentito di rilevare i principali piani di discontinuità, oltre a valutare le proprietà geomeccaniche dell'ammasso e dei giunti.



I risultati del rilievo sono stati rappresentati su reticolo di Schmidt emisfero inferiore, in termini di piani e poli secondo regole e convenzioni note che per chiarezza si riassumono negli schemi seguenti.

**RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IF1N

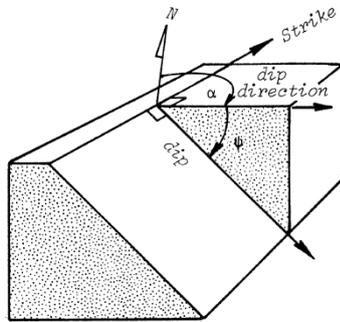
01 E ZZ

RB

GE0005 002

A

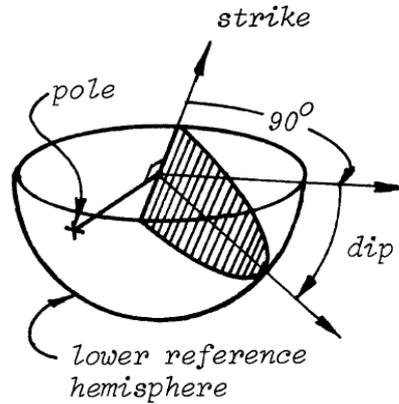
53 di 59



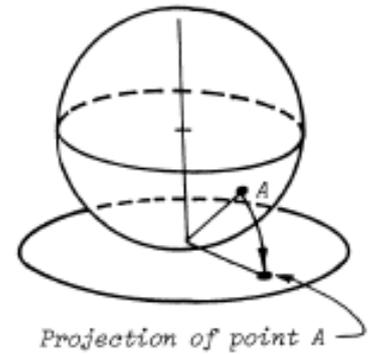
Definition of geometrical terms

Definizione dei termini geometrici:

*- Immersione - Azimut d'immersione -
Direzione.*

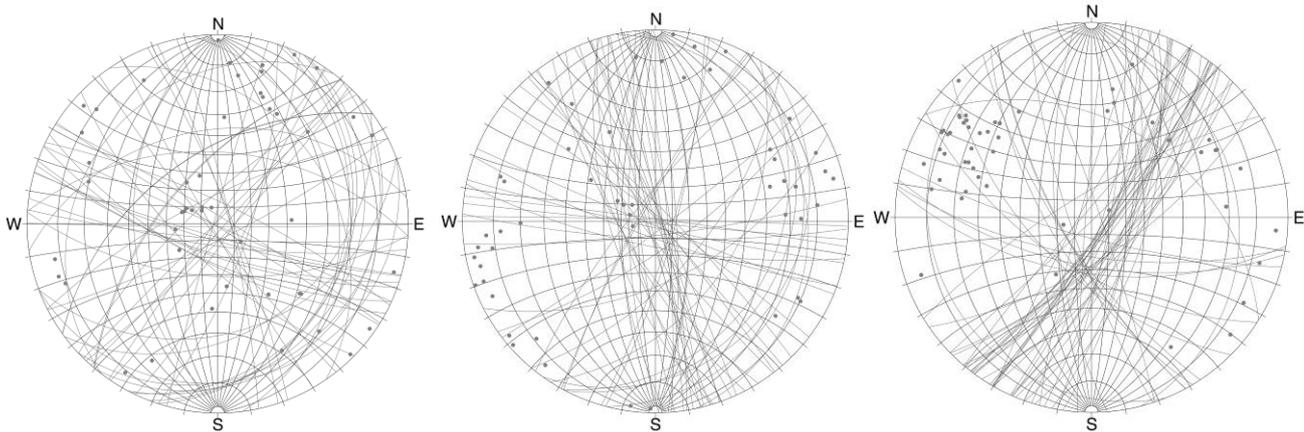


*lower reference
hemisphere*



Projection of point A

I risultati delle tre stazioni sono riportati nel seguito.



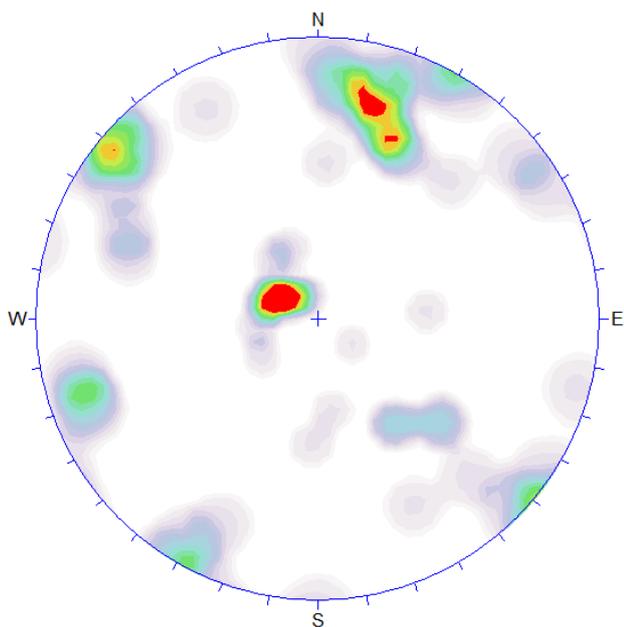
Proiezioni stereografiche delle tre stazioni realizzate alla base del fronte di cava.

Da queste proiezioni emerge quanto sopra delineato e cioè la preponderanza di sistemi di fratturazione sub-verticali e con i giunti di strato, con giacitura poco inclinata verso il piazzale di cava, evidenti in alcune stazioni.

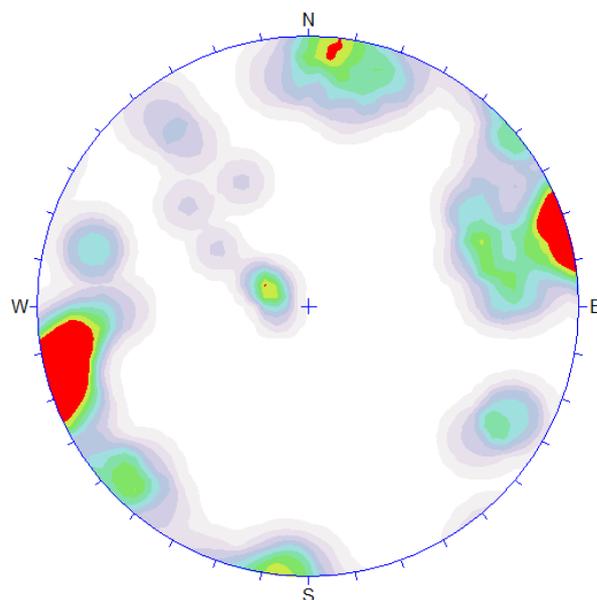
Nella rappresentazione seguente si evidenziano le isodense dei poli che mostrano le principali famiglie nelle tre stazioni di misura (a-b-c) e per il complesso delle tre misure (d).

RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN
SOTTERRANEO

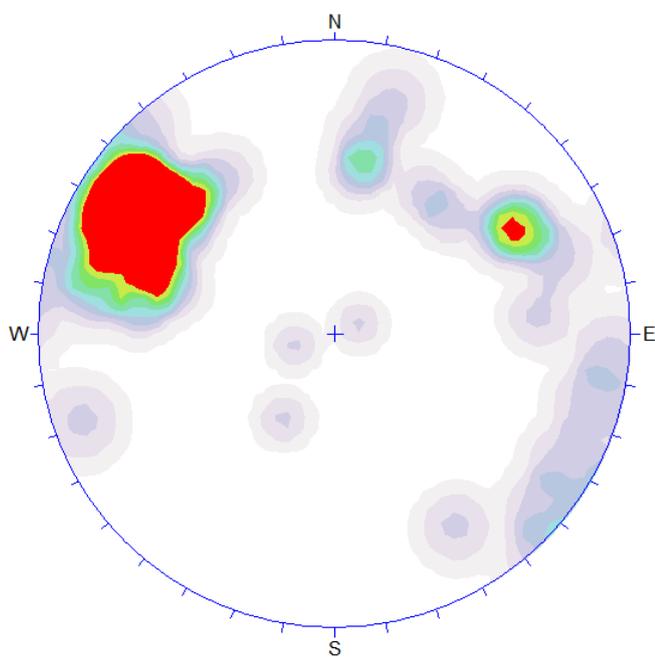
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	54 di 59



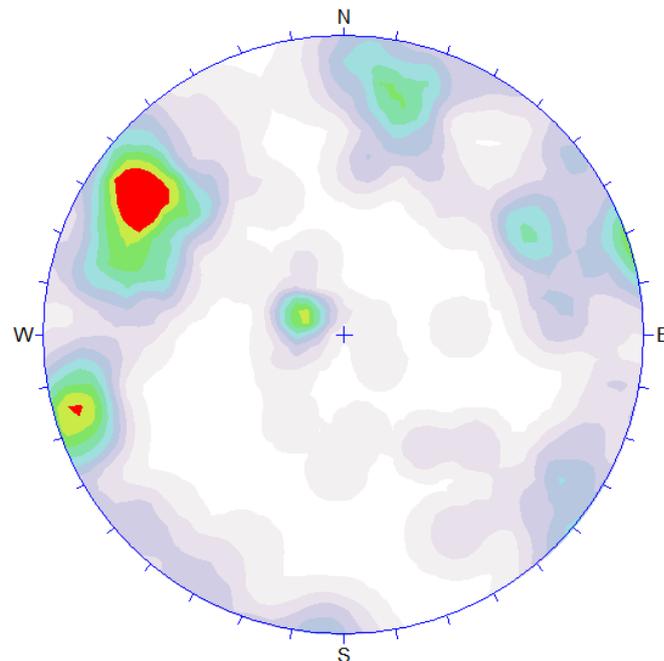
(a)



(b)



(c)

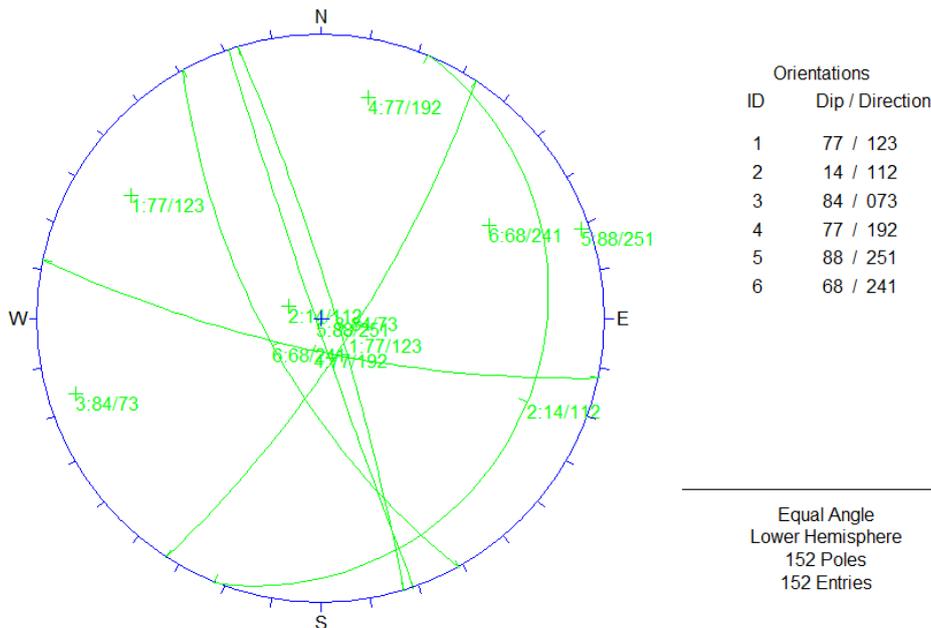


(d)

Isodense dei poli

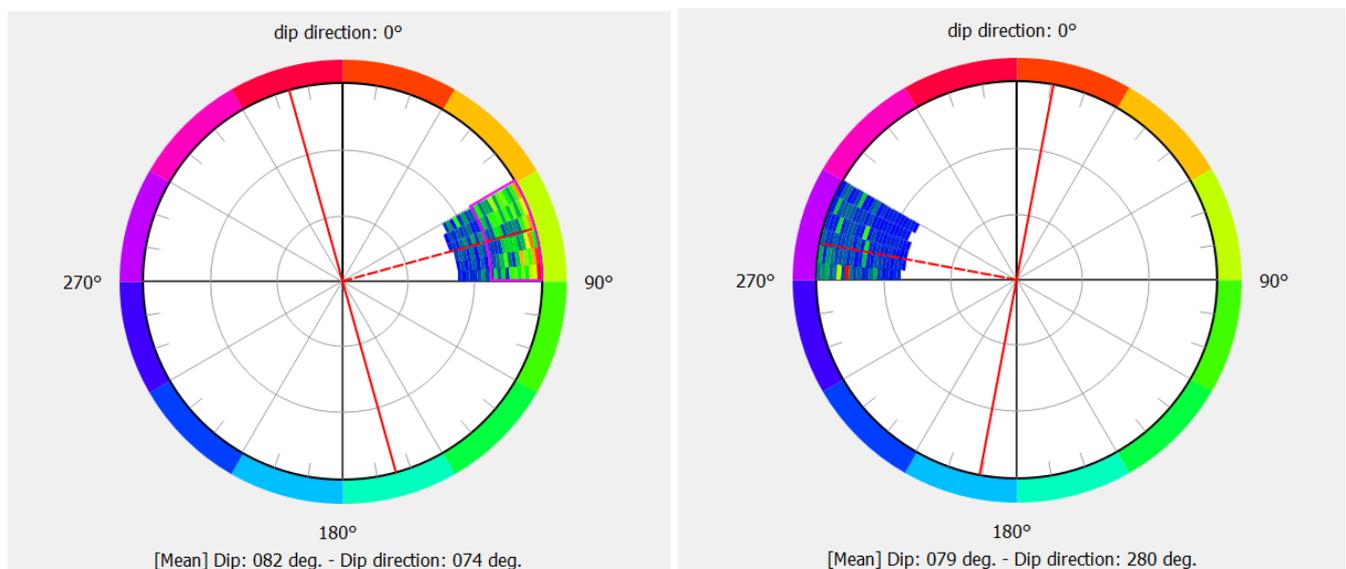
	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>55 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	55 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	55 di 59								

Nella proiezione successiva sono tracciati i piani corrispondenti alle principali famiglie emerse dalla precedente analisi.



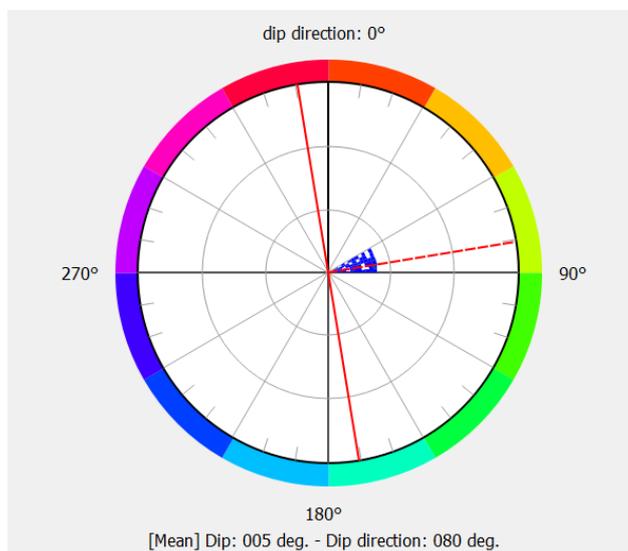
Famiglie principali

Queste analisi sono abbastanza congruenti con quanto emerso dall'analisi statistica effettuata con elaborazione numerica delle "facce" di giunti ricavata da drone, che ha evidenziato sostanzialmente due famiglie di giunti sub-verticali e la famiglia della stratificazione.



Famiglie sub-verticali individuate dal drone

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>56 di 59</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	56 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	56 di 59								



Giunti di strato individuati dal drone

La prima famiglia (82/74) ricavata da drone è praticamente coincidente con la famiglia n. 3 (84/73) del rilievo strutturale, mentre la seconda famiglia del drone (79/280) si discosta di almeno 30° di direzione rispetto alla famiglia n. 5 (88/251) del rilievo strutturale. La seconda famiglia emersa dal drone compare comunque nell'analisi strutturale anche se con una frequenza inferiore alle altre.

Nella tabella seguente si riassumono le caratteristiche delle principali famiglie di discontinuità ricavate dall'insieme dei rilievi geostrutturali, di tipo tradizionale (con bussola) e con drone.

Principali caratteristiche dei giunti di discontinuità rilevati

Inclinazione (dip)	Immersione (dip direction)	Spaziatura (m)	Persistenza (m)	Note
77	123	(0.2) 0.5÷2	3÷10	Parte bassa del fronte
82-84	73-74	(0.2) 0.5÷2	3÷>10m	Su tutto il fronte con poche differenze
77	192	(0.2) 0.5÷2	3÷10	Parte bassa del fronte
68-88	241-251	0.5÷3	3÷10	Parte bassa del fronte con variabilità
79	280	1÷3	5÷>10	Parte alta del fronte
5-14	80-112	0.2÷2	>10	Giunti di strato, differenze tra parte bassa e alta

NOTE: tra parentesi alcuni valori limite raggiunti localmente

L'analisi dei dati acquisiti con il rilievo geomeccanico porta ad assumere un range di GSI= 30÷40.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>57 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	57 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	57 di 59								

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Barton N. Lien R. and Lunde J. (1974) "Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support". Rock Mechanics, 6, 4 183-236
- [2] Barton, N. (1976). "The shear strength of rock and rock joints". Int. J. Rock Mech. Min. Sci.& Geomech. Abstr. 13, 1-24.
- [3] Barton, N.R. and Bandis, S.C. (1990) "Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice". In Rock Joints, Proc. Int. Symp. On Rock Joints, Loeen, Norway (Eds. N Barton and O. Staphansson), 603-610. Rotterdam, Balkema
- [4] 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.
- [5] Bieniawski Z. T. (1989). "Engineering rock mass classifications". John Wiley and Sons, New York
- [6] Deere D.U. (1968). Chapter 1: "Geological considerations". In Rock Mechanics in Engineering Practice (eds. Stagg K.G. and Zienkiewicz, O.C.), 1-20. London: John Wiley and Sons.
- [7] Deere, D.U. (1989). "Rock quality designation (RQD) after 20 years". U.S. Army Corps Engrs Contract Report GL-89-1. Vicksburg, MS: Waterways Experimental Station.
- [8] Deere, D.U. and Deere, D.W. (1988). "The rock quality designation (RQD) index in practice". In Rock classification systems for engineering purposes, (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am. Soc. Test.Mat.
- [9] Deere, D.U., Hendron, A.J., Patton, F.D. and Cording, E.J. (1967). "Design of surface and near surface construction in rock". In Failure and breakage of rock, proc. 8th U.S. symp. rock mech., (ed. C. Fairhurst), 237-302. New York: Soc. Min. Engrs, Am.Inst. Min. Metall. Petrolm Engrs.
- [10] 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.
- [11] Marinos, P. e Hoek, E. (2001) "Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch" Bull. Enggg. Geol. Env. 60, 85-92.
- [12] Hoek E. & Brown E.T. (1980) "Underground Excavations in Rock", The Institution of Mining and Metallurgy, Londra.
- [13] Hoek E. e Brown E.T. (1980) "Empirical strength criteria for rock masses", J. Geotech. Eng. Div., ASCE, 106, no. GT9, 1013-1035.
- [14] Hoek, E. (1983) "Strength of jointed rock masses" 23rd Rankine Lecture, Géotechnique, 33(3): 187-223.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>58 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	58 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	58 di 59								

- [15] 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.
- [16] Hoek, E. (1994) "Strength of rock and rock masses" ISRM News Journal, 2(2), 4-16
- [17] Hoek, E., Kaiser P.K., Bawden W.F. (1995) "Support of underground excavations in hard rock" p. 215. Rotterdam, Balkema..
- [18] Hoek & Brown (1997) "Practical Estimates of Rock Mass" Int. J. Rock Mech. Vol. 34(8) – pp. 1165-1186
- [19] 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.
- [20] Hoek, E and Diederichs, M. (2006). "Empirical estimates of rock mass modulus". Int. J Rock Mech. Min. Sci., 43, 203–215
- [21] Houslyby A.C. (1976) "Routine interpretation of the Lugeon water-test" Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology.1976; 9: 303-313
- [22] ISRM (1978) – "Suggested methods for the quantitative description of rock masses and discontinuities". Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 15, 319-368
- [23] ISRM (1979) – "Suggested methods for determining in situ deformability of rock" Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech. Abstr., 16, 195-214
- [24] ISRM (1979) – "Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials". Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech. Abstr., 16, 135-140
- [25] ISRM (1981) – "Suggested methods for determining shear strength". In Rock Characterization, Testing and Monitoring (Edited by E. T. Brown), 129-140, Pergamon Press, Oxford
- [26] ISRM (1981) "Basic geotechnical description of rock masses" Int. J Rock Mech. Min. Sci., 18, 85-110
- [27] ISRM (1985) "Point Load Test – Suggested Method for Determining Point Load Strength" Int. J Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstract, 22, 51-60
- [28] Lombardi G., Deere D. (1993) "Grouting design and control using the GIN principle" Int. Water Power & Dam Construction, giugno 1993
- [29] Lombardi G. (1999) "Iniezioni di masse rocciose con miscele cementizie. Il concetto GIN" Rivista Italiana di Geotecnica, Anno XXXIII, n.2 aprile-giugno, pp.40-52
- [30] Ribachi R., Lembo-Fazio A., (1980), "Caratteristiche meccaniche degli ammassi rocciosi". XIV Conv. Naz. Geotecnica, Vol. 3.pp. 19-39.
- [31] 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

   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
RELAZIONE GEOMECCANICA. OPERE IN SOTTERRANEO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RB</td> <td>GE0005 002</td> <td>A</td> <td>59 di 59</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	59 di 59
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RB	GE0005 002	A	59 di 59								

[32] Serrano A., Olalla C (1994) "Ultimate bearing capacity of rock masses" Int. J Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstract, 31, 93-106

[33] Serrano A., Olalla C (1996) "Allowable bearing capacity of rock foundations using a non linear failure criterium" Int. J Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstract, 33, 327-245

[34] Serrano A., Olalla C, Gonzales J. (2000): "Ultimate bearing capacity of rock masses based on the modified Hoek-Brown criterion". Int. Journ. of Rock Mech. And Mining Sci., 37 pp. 1013-1018