

**SGC Grosseto Fano (E78).
Tratto Nodo di Arezzo (S. Zeno) - Selci Lama (E45).
Adeguamento a 4 corsie del tratto Le Ville - Selci Lama (E45).
Lotto 7.**

PROGETTO DEFINITIVO

PG 364

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

<p>IL GEOLOGO <i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i> Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>	<p>PROGETTISTI SPECIALISTICI <i>Dott. SALVATORE MARINO</i> Geologo A.P. n. 1069 <i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria) GP INGENGERIA <i>GESTIONE PROGETTI INGENGERIA srl</i> (Mandante)  (Mandante) engeko (Mandante)  <i>Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</i></p>
<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE <i>Arch. Santo Salvatore Vermiglio</i> Ordine Architetti Provincia di Reggio Calabria n. 1270</p>	<p><i>Ing. Moreno Panfili</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p>	<p>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12): <i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p>
<p>L'ARCHEOLOGO <i>Dott.ssa Maria Grazia Liseno</i> Elenco MIBACT n. 1646</p>	<p><i>Ing. Claudio Muller</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754</p>	<p></p>
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO <i>Ing. Alessandro Micheli</i></p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p>	
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO <i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>	<p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	

**Studi e Indagini
Geologia e geomeccanica
Relazione sui rilievi geologico-strutturali di dettaglio**

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
COMP.	PROGETTO	LIV.	ANNO	N.PROG.	
DP	LO702G	D2	110		
CODICE ELAB.		T00GE02GEORE02		A	-
D					
C					
B					
A	Emissione	Marzo '24	S. Marino	S. Marino	G. Guiducci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1.	<u>PREMESSA.....</u>	<u>2</u>
2.	<u>STAZIONI GEOMECCANICHE</u>	<u>2</u>
3.	<u>METODO DI CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI</u>	<u>4</u>
4.	<u>METODO DI RILIEVO ED ANALISI.....</u>	<u>4</u>
4.1.	<i>Descrizione geologica e petrografica dell'ammasso roccioso</i>	<i>5</i>
4.2.	<i>Stima dei parametri per la valutazione dell'RMR di Bieniawski.....</i>	<i>5</i>
4.2.1.	<i>Resistenza della roccia alla compressione monoassiale (R1)</i>	<i>5</i>
4.2.2.	<i>Rock quality designation index, RQD (R2)</i>	<i>6</i>
4.2.3.	<i>Spaziatura delle discontinuità (R3).....</i>	<i>8</i>
4.2.4.	<i>Condizioni delle discontinuità (R4)</i>	<i>9</i>
4.2.4.1.	<i>V1 – Persistenza del giunto.....</i>	<i>9</i>
4.2.4.2.	<i>V2 – Apertura del giunto.....</i>	<i>10</i>
4.2.4.3.	<i>V3 – Rugosità del giunto</i>	<i>10</i>
4.2.4.4.	<i>V4 – Alterazione delle pareti.....</i>	<i>11</i>
4.2.4.5.	<i>V5 – Riempimento delle discontinuità.....</i>	<i>11</i>
4.2.5.	<i>Correzione per l'orientamento delle discontinuità (R6)</i>	<i>12</i>
4.2.6.	<i>Valore di RMR (Rock Mass Rating) e parametri caratteristici dell'ammasso.....</i>	<i>13</i>
4.3.	<i>Valore dell'indice GSI (Geological Strength Index) dell'ammasso roccioso</i>	<i>14</i>
5.	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	<u>17</u>
6.	<u>APPENDICE 1: SCHEDE DELLE STAZIONI GEOMECCANICHE.....</u>	<u>18</u>

1. PREMESSA

Il presente elaborato è stato redatto nell'ambito del Progetto Definitivo denominato "SGC Grosseto Fano (E78). Tratto Nodo di Arezzo (S. Zeno) – Selci Lama (E45), Adeguamento A 4 Corsie Del Tratto Le Ville - Selci Lama (E45), Lotto 7".

In particolare, sono qui riportati i risultati del rilevamento geomeccanico-strutturale, eseguito nel luglio 2023, finalizzato alla modellazione geotecnica delle gallerie naturali "Le Ville" e "Citerna".

2. STAZIONI GEOMECCANICHE

Sono state eseguite N° 4 stazioni di rilevamento geomeccanico-geostrutturale su altrettanti affioramenti litoidi (o semi-litoidi) in prossimità degli imbocchi o delle proiezioni verticali degli assi delle gallerie in progetto.

Per ciascun affioramento sono stati valutati l'indice RMRb (Bieniawski, 1989), necessario per la classificazione degli ammassi rocciosi e l'indice GSI.

Nella tabella che segue si riassumono i risultati delle stazioni eseguite.

Stazione	Formazione	RMRb	GSI
SG01	Macigno - Membro di Molin Nuovo (MAC ₁)	61	56
SG02	Macigno - Membro di Molin Nuovo (MAC ₁)	58	53
SG03	Sintema di Citerna, Subsintema di Molin dell'Olio (CTA ₁)	54	49
SG04	Macigno - Membro di Molin Nuovo (MAC ₁)	66	61

Tabella 2.1 Sintesi delle stazioni eseguite con indicazione dei punteggi GSI e RMRb ottenuti.

L'ubicazione delle stazioni è riportata nella tabella seguente. Le schede delle stazioni sono riportate in allegato alla presente relazione (Allegato 1).

Stazione	Longitudine	Latitudine	Quota (m s.l.m.)
SG01	12.0605 E	43.4796 N	314
SG02	12.0611 E	43.4800 N	317
SG03	12.1244 E	43.5021 N	391
SG04	12.0661 E	43.4844 N	408

Tabella 2.2 Coordinate delle stazioni geomeccaniche (gradi decimali, WGS84).

Le stazioni SG01, SG02 e SG04 sono state eseguite per la caratterizzazione delle litologie scavate nella Galleria Naturale Le Ville, vale a dire le arenarie del Membro di Molin Nuovo della Formazione del Macigno (MAC₁).

La stazione SG03 è stata eseguita sulla proiezione verticale della Galleria Naturale Citerna, in corrispondenza di un affioramento semi-litoide di siltiti e sabbie parzialmente cementate, ascrivibili al Subsintema di Molin dell'Olio del Sintema di Citerna (CTA₁).

Per la descrizione delle suddette litologie si rimanda alla *Relazione geologica* (elaborato T00GE02GEORE01A).

Le immagini di seguito riportano l'ubicazione delle stazioni rispetto ai tracciati delle due gallerie.

PROGETTAZIONE ATI:

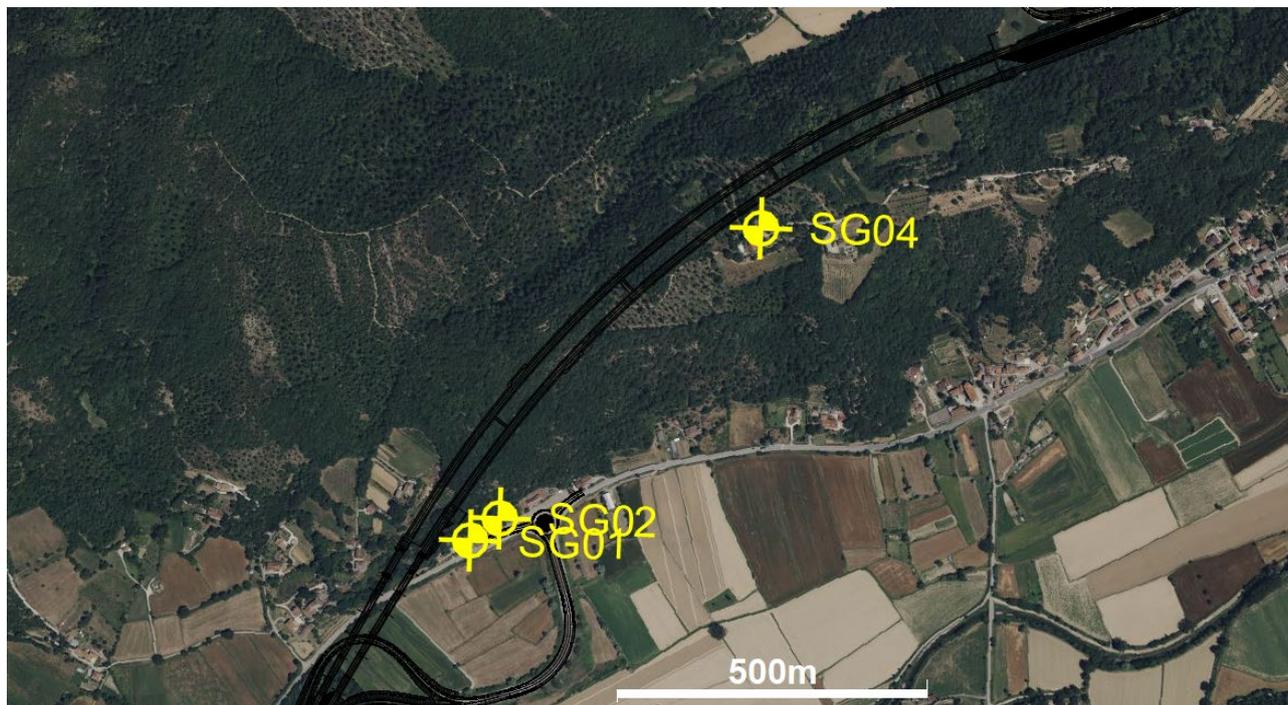


Figura 2.1 Ubicazione in pianta delle stazioni geomeccaniche lungo il tracciato della Galleria Le Ville.

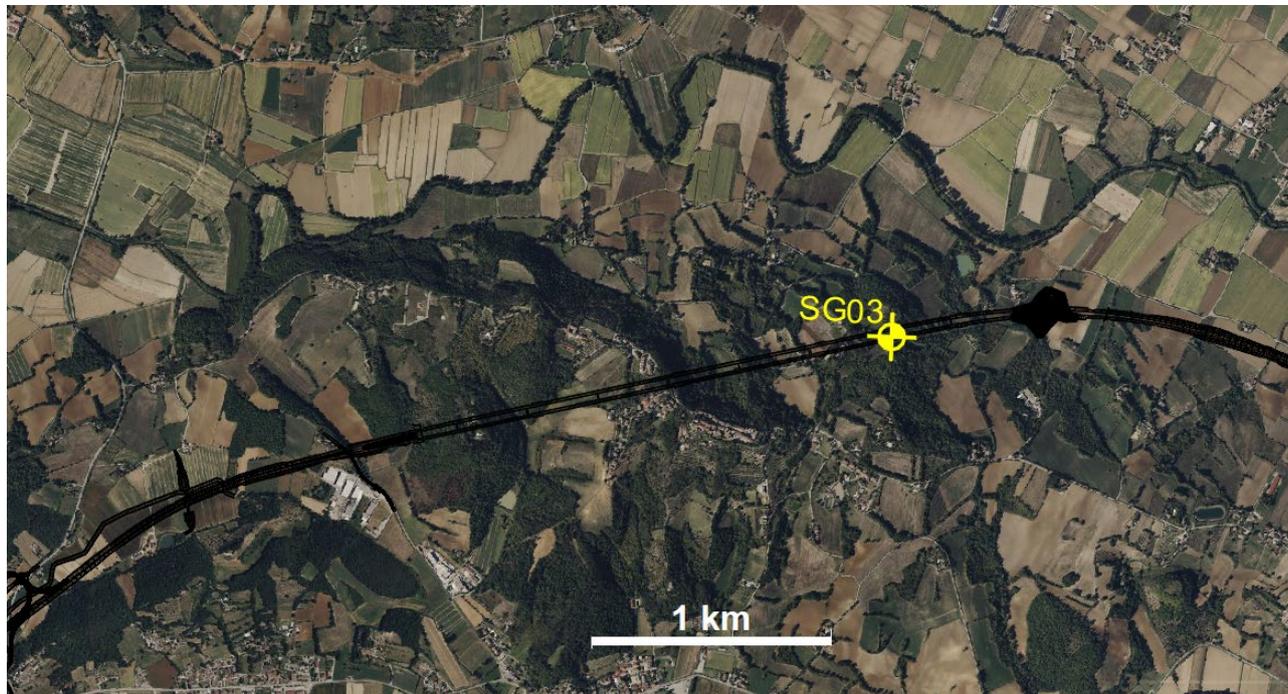


Figura 2.2 Ubicazione in pianta della stazione geomeccanica eseguita sull'asse della Galleria Citerna.

Nei paragrafi che seguono vengono descritte le metodologie di rilevamento e di elaborazione utilizzate ed i risultati delle stazioni eseguite, riportati nelle schede in appendice.

PROGETTAZIONE ATI:

3. METODO DI CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI

Per ammasso roccioso si intende una struttura costituita da blocchi di roccia separati tra loro da discontinuità, ovvero zone a minor resistenza con due dimensioni prevalenti sulla terza. Tali discontinuità possono essere riempite di materiale di diversa natura e con caratteristiche meccaniche diverse alla roccia incassante, condizionando pertanto il comportamento meccanico dell'intera struttura. La classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso si pone come obiettivo l'individuazione dei principali parametri caratteristici, al fine di fornire indicazioni qualitative dell'ammasso stesso (suddivisione in classi). Dagli indici ricavati è possibile stimare, mediante l'utilizzo di determinate relazioni, i parametri di resistenza delle rocce prevedendo il comportamento dell'ammasso roccioso su pendii o in gallerie.

Per il presente studio è stata impiegata la classificazione tecnica di Bieniawski (1989), che fornisce un valore numerico derivato dalla somma di indici parziali stimati attraverso la valutazione qualitativa o quantitativa di parametri relativi allo stato dell'ammasso roccioso.

Per caratterizzare un ammasso roccioso a comportamento rigido, dal punto di vista meccanico, è necessario eseguire una serie di operazioni che, nel loro insieme, costituiscono il rilievo geomeccanico; la classificazione dell'ammasso roccioso utilizza i seguenti parametri:

- Resistenza della roccia alla compressione monoassiale (**R1**);
- *rock quality designation index*, RQD (**R2**);
- spaziatura delle discontinuità (**R3**);
- condizioni delle discontinuità (**R4**);
- condizioni idrauliche (**R5**).

La classificazione di Bieniawski si basa sul rilievo, in campagna ed in laboratorio, dei sei parametri sopra elencati. A ciascuno di essi equivale un valore numerico; I valori più alti indicano migliori condizioni della roccia e di conseguenza una maggiore stabilità del versante analizzato.

Da questi sei parametri si ricava il Rock Mass Rating (RMR, Bieniawski) che nella pratica, viene disintnato in:

RMR di base (RMRb) = R1 + R2 + R3 + R4 + R5

e

RMR corretto (RMRc) = RMRb + R6

4. METODO DI RILIEVO ED ANALISI

Le stazioni si trovano in corrispondenza di affioramenti rocciosi, in punti considerati significativi per la modellazione geomeccanica delle opere in progetto.

Ogni stazione è stata eseguita con metodo soggettivo, che prevede l'individuazione a priori delle famiglie di discontinuità e l'esecuzione, per ogni famiglia, di un numero statisticamente significativo di misurazioni di immersione, spaziatura, rugosità delle superfici (eseguita tramite *profilografo a pettine di Barton*), apertura, riempimento, stato di alterazione, presenza di acqua e misurazione indiretta della resistenza a compressione della matrice rocciosa tramite *martello di Schmidt*.

Le giaciture delle superfici di strato (S), faglia (F) e discontinuità (J) sono state misurate tramite bussola professionale con clinometro, e sono state poi plottate su reticolo di Schimdt (proiezione equatoriale-equalarea emisfero superiore).

PROGETTAZIONE ATI:

Alla presente relazione sono allegare tutte le schede relative alle stazioni geomeccaniche eseguite. Ogni scheda riporta:

- una descrizione geologica e petrografica dell'ammasso roccioso (pag. 1);
- i parametri per il calcolo dell'RMRb, tabellati per ogni famiglia di discontinuità individuata, ed il relativo punteggio complessivo per l'ammasso, i valori finali di RMRb e dell'indice GSI con la definizione della qualità dell'ammasso roccioso (pag. 2);
- la disposizione degli elementi strutturali identificati nella fase di rilevamento svolto in campagna, tramite reticolo di Schmidt come sopra descritto, e le stime del *numero di discontinuità per metro cubo* (J_v), dei *Volumi Unitari dei Blocchi* (V_b) massimo e minimo, e del volume massimo dei blocchi rilevati nell'area (pag. 3).

Segue una descrizione del metodo di compilazione delle schede, della metodologia di analisi in sito e della stima dei parametri utili dai dati raccolti.

4.1. **Descrizione geologica e petrografica dell'ammasso roccioso**

Ogni scheda, per ogni stazione, riporta una documentazione fotografica dell'ammasso, accompagnata da una descrizione dell'orientamento e inclinazione del fronte roccioso, degli elementi strutturali (stratificazioni, faglie, aspetto geometrico delle unità di ammasso), dello stato di alterazione dell'ammasso e delle caratteristiche geologiche generiche (nome formazionale, litologia, particolari strutture sedimentarie, ecc.), ed una stima dei rapporti litologici percentuali (per gli ammassi in cui si rivengono alternanze di litologie diverse), eseguita tramite misurazione speditiva dello spessore degli strati.

4.2. **Stima dei parametri per la valutazione dell'RMR di Bieniawski**

4.2.1. **Resistenza della roccia alla compressione monoassiale (R1)**

Per la valutazione della resistenza meccanica della roccia intatta è stato utilizzato il martello di Schmitt di tipo N, sulle superfici delle diverse famiglie di discontinuità. La misura è stata ripetuta per dieci volte per ogni famiglia, mediando il valore delle cinque misure più alte. I valori ricavati sono stati corretti in funzione dell'orientazione dello strumento di misura, come mostrato nella seguente tabella:

RIMBALZO	VERSO IL BASSO		VERSO L'ALTO		ORIZZONTALE
	$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 0^\circ$
10	0	-0,8	---	---	-3,2
20	0	-0,9	-8,8	-6,9	-3,4
30	0	-0,8	-7,8	-6,2	-3,1
40	0	-0,7	-6,6	-5,3	-2,7
50	0	-0,6	-5,3	-4,3	-2,2
60	0	-0,4	-4,0	-3,3	-1,7

Tabella 4.1 Correzione rimbalzi per orientazione

In caso di più litologie presenti nello stesso affioramento, è stato attribuito un valore di rimbalzo ad ogni litologia, ed ottenuto un unico valore R per l'ammasso attraverso una media pesata sulle percentuali litologiche.

A partire dal valore di rimbalzo corretto R è stata ricavata la resistenza a compressione uniassiale (S_u), utilizzando la relazione di Irfan e Dearman (1978):

$$S_u = 0,775 R + 21,3$$

Definita la resistenza a compressione S_u , è stato ricavato il valore del primo parametro R1, utilizzando i valori riportati in tabella:

Su (MPa)	EQUAZIONE
$\leq 44,5$	$R1 = (4/44,5) S_u + 1$
$44,5 \div 93,75$	$R1 = (4/49,25) S_u + 1,368$
$93,75 \div 140$	$R1 = (3/46,25) S_u + 2,919$
$140 \div 180$	$R1 = 0,0375 S_u + 6,75$
$180 \div 240$	$R1 = 0,025 S_u + 9$
> 240	$R1 = 15$

Tabella 4.2 Correlazione tra la resistenza a compressione uniassiale ed il punteggio R1.

4.2.2. Rock quality designation index, RQD (R2)

Se si effettuano sondaggi è possibile ricavare il valore di RQD, da cui si ottiene il coefficiente R2, dalla percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm:

$$RQD = (L_c / L_t) \times 100$$

dove:

Lc = somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm

Lt = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata **Lc**

In mancanza di carote di sondaggio, l'RQD può essere ricavato dalla formula di Priest e Hudson (1981):

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

con

n: numero medio di giunti per metro, stimate sull'affioramento tramite rotella metrica

In alternativa, in assenza di misure dirette in sito del parametro **n**, l'RQD si ricava dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura, tramite la relazione di Palmstrom (1982):

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

PROGETTAZIONE ATI:

con:

$$J_v = 1/S_1 + 1/S_2 \dots + 1/S_n$$

dove J_v è il numero di fratture per metro cubo di roccia e S_1 , S_2 e S_n sono le spaziature [m] delle n famiglie di discontinuità.

Dal J_v è stato ricavato anche il Volume Unitario dei Blocchi (V_b), riportato nelle schede, secondo la relazione proposta da Palmstrom:

$$V_b = \beta \times J_v^{-3}$$

dove β è il *fattore di forma dei blocchi rocciosi* che si ricava dalla relazione:

$$\beta = 20 + 7 \times (3/n) \times (S_{\max}/S_{\min})$$

con

n : numero di famiglie di discontinuità;

S_{\max} : spaziatura massima riscontrata tra le famiglie di discontinuità;

S_{\min} : spaziatura minima riscontrata tra le famiglie di discontinuità.

In forma alternativa, l'RQD si può ricavare dalla formula di Priest e Hudson (1981):

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

con n numero medio di giunti per metro.

In base al valore di RQD si ha una prima stima della qualità dell'ammasso roccioso secondo la classificazione di Deere:

R.Q.D. (%)	Qualità della roccia
0 - 25	molto scadente
26 - 50	scadente
51 - 75	discreta
76 - 90	buona
91 - 100	eccellente

Tabella 4.3 *Stima qualitativa dell'ammasso roccioso da RQD.*

PROGETTAZIONE ATI:

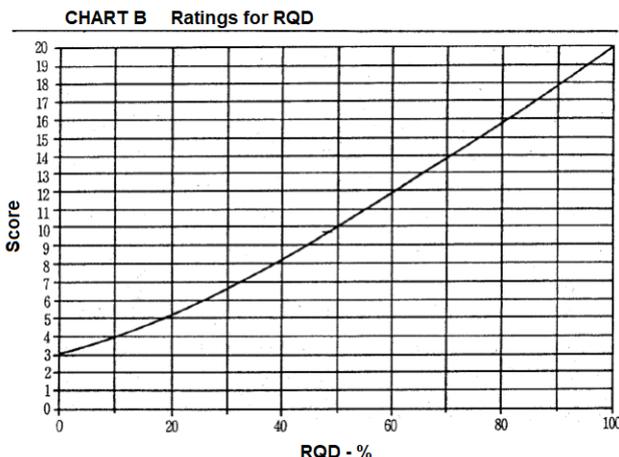


Tabella 4.4 Abaco per la valutazione del punteggio R2 da RQD.

Calcolato l'RQD con uno di questi metodi, si ricava il coefficiente R2 mediante l'abaco sopra riportato, o mediante le seguenti equazioni di Bieniawski:

VALORE DI RQD %	EQUAZIONE
$\leq 26,5$	$R2 = 3/26,6 \times RQD + 3$
$26,5 \div 39$	$R2 = 2/12,4 \times RQD + 1,71$
$39 \div 76,6$	$R2 = 7/37,6 \times RQD + 0,739$
$> 76,6$	$R2 = 5/23,4 \times RQD + 1,367$

Tabella 4.5 Equazioni per il calcolo del parametro R2 in funzione dei range di RQD.

4.2.3. Spaziatura delle discontinuità (R3)

Una volta calcolata la spaziatura delle discontinuità per l'ammasso (valutata in base alla spaziatura media di ogni famiglia di discontinuità), cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente R3, mediante l'abaco o le equazioni, come riportato di seguito:

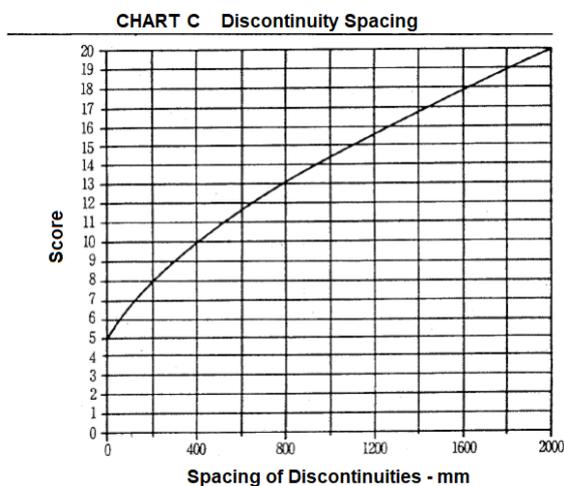


Tabella 4.6 Abaco per la valutazione di R3 da spaziatura.

PROGETTAZIONE ATI:

SPAZIATURA (m)	EQUAZIONE
$\leq 0,2$	$R3 = 15s + 5$
$0,2 \div 0,4$	$R3 = 10s + 6$
$0,4 \div 0,66$	$R3 = 7,752s + 5,9$
$0,66 \div 0,94$	$R3 = 7,067s + 7,35$
$0,94 \div 1,6$	$R3 = 6,07s + 8,288$
$1,6 \div 2,0$	$R3 = 5s + 10$
$> 2,0$	$R3 = 20$

Tabella 4.7 Equazioni per il calcolo del parametro R3 in funzione dei range di spaziatura. S: spaziatura [m].

4.2.4. Condizioni delle discontinuità (R4)

Per valutare correttamente R4 si procede sommando alcuni parametri numerici attribuibili ad alcune caratteristiche del giunto, quali la persistenza (V1), l'apertura (V2), la rugosità (V3), l'alterazione delle pareti (V4) ed il materiale di riempimento (V5):

$$R4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5$$

Ad ogni famiglia di discontinuità individuata col metodo soggettivo, si attribuisce per ognuna di queste caratteristiche un punteggio, sulla base di osservazioni e misurazioni eseguite su un numero statisticamente significativo di giunti.

Per ogni caratteristica, sulla base dei punteggi ottenuti da ogni famiglia, si ricava un punteggio complessivo per tutto l'affioramento, dando maggior peso ai parametri delle famiglie che presentano maggior criticità dal punto di vista della stabilità del versante (ad esempio quelle con minore spaziatura, maggiore apertura o persistenza, medio-alto angolo di inclinazione).

I punteggi attribuibili per ogni caratteristica sono riportati nelle tabelle nei paragrafi che seguono.

4.2.4.1. V1 – Persistenza del giunto

La persistenza è definita come il rapporto tra l'estensione reale della superficie di discontinuità e l'area complessiva sulla quale la medesima si sviluppa. Tale parametro è uno dei più importanti per le discontinuità, ma è anche uno dei più difficili da misurare, in quanto generalmente risulta difficoltosa la valutazione dell'estensione sul fronte di esposizione. Le superfici esposte sono piccole rispetto all'area o alla lunghezza della discontinuità; nel caso specifico la persistenza è stata approssimativamente quantificata osservando le lunghezze delle tracce delle discontinuità sulla superficie esposta (raccomandazioni ISRM).

PERSISTENZA (m)	V1
< 1	6
$1 \div 3$	4
$3 \div 10$	2
$10 \div 20$	1
> 20	0

Tabella 4.8 Punteggio relativo ai range di persistenza dei giunti.

4.2.4.2. V2 – Apertura del giunto

L'apertura di una discontinuità è la distanza media che separa le due pareti di roccia sana. L'apertura dei giunti di solito è di pochi *micron*, aperture maggiori sono dovute o ad alterazione vicino alla superficie o a dissoluzione da parte delle acque che hanno circolato nel giunto nei fronti di scavo. Le aperture delle discontinuità sono in genere maggiori vicino alla superficie e diventano più serrate con l'aumento della profondità; questo fatto deve essere tenuto sempre ben presente in modo da non sottostimare le qualità degli ammassi in profondità.

APERTURA (mm)	R2
COMPLETAMENTE CHIUSO	6
< 0,1	5
0,1 ÷ 1	4
1 ÷ 5	1
> 5	0

Tabella 4.9 Punteggio relativo allo stato di apertura dei giunti.

4.2.4.3. V3 – Rugosità del giunto

Le caratteristiche geometriche delle pareti dei giunti condizionano le caratteristiche di resistenza al taglio lungo le stesse. È possibile identificare nella rugosità, in relazione alla scala di osservazione, l'ondulazione dell'andamento del profilo (grande scala) e la scabrezza (piccola scala) che esprime l'irregolarità del profilo stesso rispetto alla linea media che rappresenta l'ondulazione. In particolare il valore R3 è associato al parametro JRC (*Joint Roughness Coefficient*), che viene determinato confrontando il profilo di rugosità del giunto con dei profili teorici proposti da Barton e Choubey. Per ricavare il JRC si appoggia il profilometro (pettine di Barton) su di una superficie di discontinuità esercitando una leggera pressione in maniera da prendere un'impronta del profilo, che verrà confrontato con i profili teorici (profili e procedura sono mostrati nelle figure a seguire).

RUGOSITA'	R3
MOLTO RUGOSA	6
RUGOSA	5
LEGGERMENTE RUGOSA	3
LISCIA	1
LEVIGATA	0

Tabella 4.10 Punteggio relativo alla rugosità della superficie dei giunti.

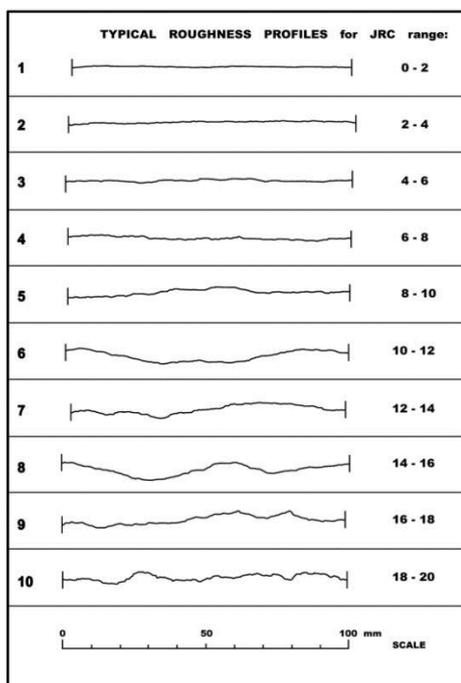


Figura 4.1 Profili di rugosità teorici secondo Barton e corrispondenti valori di JRC.



Figura 4.2 Misura con pettine di Barton.

4.2.4.4. V4 – Alterazione delle pareti

Le discontinuità costituiscono sempre una via preferenziale di circolazione delle acque e quindi spesso le pareti sono interessate da fenomeni di alterazione più accentuati che nel restante materiale roccioso; ciò influisce sulla resistenza delle asperità lungo cui le due facce della discontinuità vengono a contatto e quindi sulla resistenza al taglio della discontinuità. Con il valore R4 si tiene in considerazione questa variabile.

ALTERAZIONE	R4
NON ALTERATE	6
LEGGERMENTE ALTERATE	5
MEDIAMENTE ALTERATE	3
MOLTO ALTERATE	1
DECOMPOSTE	0

Tabella 4.11 Punteggio relativo alle condizioni di alterazione dei giunti.

4.2.4.5. V5 – Riempimento delle discontinuità

Il riempimento è il materiale che occupa l'interno delle discontinuità, tra i suoi due lembi. Il materiale di riempimento generalmente presenta un chimismo simile a quello della roccia incassante (da cui deriva per processi di alterazione) ed è pertanto evidente come la resistenza meccanica dell'ammasso dipenda in gran parte dalle caratteristiche di tale materiale. Il riempimento può anche essere legato dalla deposizione fisica o chimica delle acque circolanti. In genere presenta caratteristiche meccaniche maggiormente scadenti rispetto alla roccia intatta. Tipici materiali di riempimento sono sabbie, limi, argille, brecce, miloniti; talvolta sono presente vene di quarzo e calcite che sono "saldate" alla roccia in corrispondenza dei due lembi.

PROGETTAZIONE ATI:

RIEMPIMENTO (mm)	RIEMPIMENTO	R5
-	ASSENTE	6
< 5	COMPATTO	4
> 5	COMPATTO	2
< 5	SOFFICE	2
> 5	SOFFICE	0

Tabella 4.12 Parametro R5 in funzione della tipologia e dello spessore del riempimento dei giunti.

Questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m. Dalle tabelle fornite da Bieniawski si ottiene:

VENUTE D'ACQUA SU 10 m DI LUNGHEZZA	NESSUNA	< 10 (l/min)	10-25 (l/min)	25-125 (l/min)	> 125 (l/min)
CONDIZIONE	ASCIUTTO	UMIDO	BAGNATO	STILLICIDIO	VENUTE
R5	15	10	7	4	0

Tabella 13 Parametro R3 in funzione delle condizioni idrauliche dell'ammasso.

4.2.5. *Correzione per l'orientamento delle discontinuità (R6)*

L'RMRb derivante dalla somma dei precedenti parametri va corretto tenendo conto dell'orientamento delle discontinuità sommando un coefficiente di correzione R6, a seconda che si tratti di gallerie o fondazioni, come indicato nella tabella seguente.

APPLICAZIONE	MOLTO FAVOREVOLE	FAVOREVOLE	DISCRETA	SFAVOREVOLE	MOLTO SFAVOREVOLE
GALLERIE	0	-2	-5	-10	-12
FONDAZIONI	0	-2	-7	-15	-25

Tabella 4.14 Parametro R6 in funzione dell'orientamento relativo delle discontinuità per gallerie e fondazioni.

Per il caso di scavo in galleria si intendono come molto favorevoli o favorevoli situazioni in cui il piano delle discontinuità ha direzione perpendicolare all'asse della galleria e inclinazione nel verso di avanzamento; sono discrete o sfavorevoli situazioni in cui il piano delle discontinuità ha direzione perpendicolare all'asse della galleria e inclinazione contraria al verso di avanzamento; sono infine molto sfavorevoli situazioni in cui il piano delle discontinuità ha direzione parallela all'asse della galleria e inclinazione maggiore di 45°.

Lo schema riportato nell'immagine seguente offre una visualizzazione tridimensionale, di più immediata comprensione, delle problematiche legate alla direzione di avanzamento.

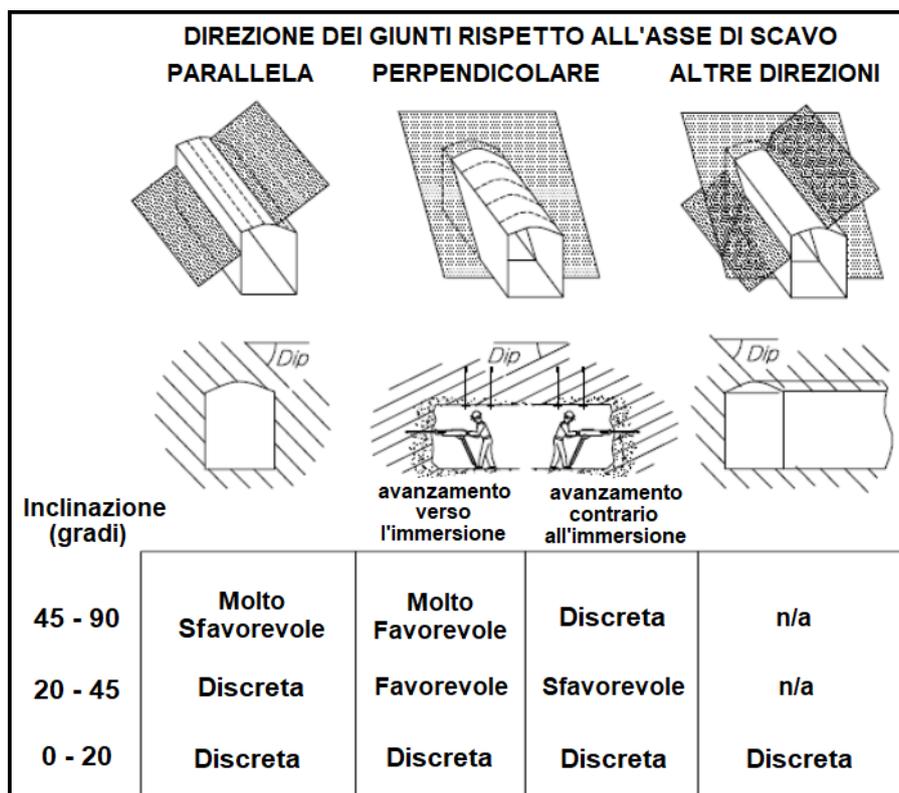


Figura 4.3 schema dei rapporti geometrici tra l'asse della galleria e l'immersione delle discontinuità.

Il valore di R6 non è riportato nella presente relazione; viene riportato il solo punteggio RMRb.

4.2.6. Valore di RMR (Rock Mass Rating) e parametri caratteristici dell'ammasso

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMRc calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia:

RMRc	81-100	61-80	41-60	21-40	<= 20
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIZIONE	MOLTO BUONO	BUONO	MEDIOCRE	SCADENTE	MOLTO SCADENTE

Tabella 4.15 Classe di Bieniawski in funzione del punteggio RMRc.

Alcuni parametri caratteristici dell'ammasso si possono derivare dal valore di RMRb, secondo le seguenti relazioni proposte da Bieniawski (1989):

- coesione di picco (kPa): $c_p = 5 \times RMRb$
- angolo di attrito di picco ($^{\circ}$): $D_p = 0,5 \times RMRb + 5$
- modulo di deformazione (GPa): $E = 2 \times RMRb - 100$ (per $RMR > 50$)

con RMR (indice RMR “anidro”) uguale alla somma dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri, assumendo quindi condizioni idrauliche asciutte ($A5 = 15$).

Per valori di RMR inferiori a 50 si utilizza la formula di Serafim e Pereira (1983):

$$E = 10(\text{RMRb} - 10/40)$$

I valori della coesione residua (kPa) e dell'angolo di attrito residuo ($^{\circ}$) si ricavano introducendo nelle formule sopra indicate un valore di RMRb modificato, secondo l'espressione proposta da Priest (1983):

$$\text{RMRb (modificato)} = \text{RMRb} - (0,2 \times \text{RMRb})$$

4.3. Valore dell'indice GSI (Geological Strength Index) dell'ammasso roccioso

Il GSI (Hoek, 1994) è un indice di qualità geomeccanica che rappresenta in forma più adeguata le caratteristiche dell'ammasso roccioso, non tenendo conto di quei parametri legati alle condizioni al contorno quali: fattori di correzione relativi all'orientamento delle discontinuità rispetto all'asse della galleria o dovuti alla presenza d'acqua (Bieniawski e Barton) o ancora fattori di riduzione legati alle specifiche condizioni di carico presenti (Barton). Può essere valutato direttamente tramite osservazioni geologiche eseguite speditivamente sul campo. Per la valutazione dell'indice si utilizza l'abaco riportato di seguito.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)
From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slacksided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slacksided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90 80				N/A	N/A
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	70 60					
 VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	50					
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	40 30					
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	20					
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A				10

Figura 4.4 Abaco per le stime dell'indice GSI da osservazioni geologiche sul campo (Marinos & Hoek, 2000).

Per formazioni rocciose complesse tipo *flysch*, formate cioè dall'alternanza di litotipi con diverse caratteristiche composizionali e diverse proprietà meccaniche, si utilizza invece l'abaco riportato nella figura seguente.

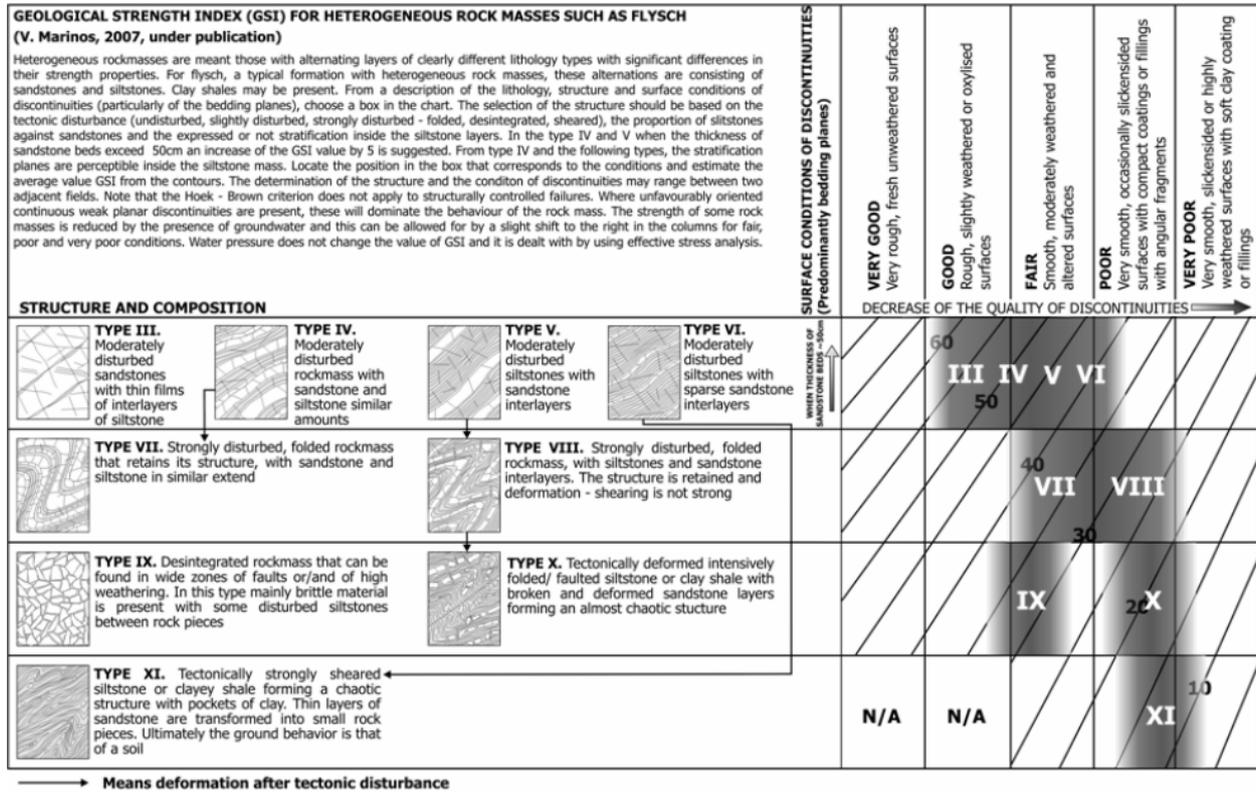


Figura 4.5 Abaco per la stima dell'indice GSI per ammassi rocciosi eterogenei (Marinos & Hoek, 2000).

per valori di RMR > 23 il valore di GSI viene ricavato dalla relazione:

$$GSI = RMR - 5$$

con RMR (indice RMR "anidro") uguale alla somma dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri, assumendo quindi condizioni idrauliche asciutte (A5 = 15).

5. BIBLIOGRAFIA

BARTON N., LIEN R. & LUNDE J. (1974) - Engineering classification of rock masses for the design of rock support. *Rock Mechanics* 6, 189-236

BIENIAWSKI Z.T. (1976) - Rock mass Classification in Rock Engineering. Proc. of the Symp. "Exploration of Rock Engineering", 1, 97-106.

BIENIAWSKI Z.T. (1989) - Engineering rock mass classifications. Wiley, New York.

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

MARINOS P., HOEK E. (2000) - GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In: Proceedings of GeoEng 2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering (Melbourne, Victoria, Australia). Lancaster, PA: Technomic Publishers, pp. 1422–1446.

MARINOS P., HOEK E. (2001) - Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. *Bull Eng Geol Env* 60:82–92.

PALMSTROM A. (1982) - The volumetric joint count - A useful and simple measure of the degree of rock mass jointing. IAEG Congress, New Delhi, 1982. pp. V.221 – V.228.

PRIEST S.D. (1985) - Hemispherical projection methods in rock mechanics. George Allen and Unwin, 124 p.

PRIEST S.D. & HUDSON J.A. (1976) - Discontinuity spacings in rocks. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstracts*, 13, 135-148.

PRIEST S.D. & HUDSON J.A. (1981) - Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech.*, 18, 183-197.

SERAFIM J.L. & PEREIRA J.P. (1983) - Considerations on the Geomechanical Classification of Bieniawski. Proceedings of International Symposium on Engineering Geology and Underground Openings, Lisbon, Portugal, 1983, 1133-1144.

6. APPENDICE 1: SCHEDE DELLE STAZIONI GEOMECCANICHE

PROGETTAZIONE ATI:

STAZIONE	SG01	SCHEDA DI RILIEVO N°	1	DATA ESECUZIONE	13/07/2023
GIACITURA FRONTE	dir.160° N, incl. 75° fronte SO	COORDINATE* (WGS 84)	Y: 43.4796 X: 12.0605	QUOTA	314 m.s.l.m.



NOTE

Per i valori di JRC e JCS sono stati utilizzati rispettivamente Pettine di Barton e Martello di Schmidt.
Vengono nella seguente scheda riportate le giaciture e le caratteristiche medie delle tre famiglie rappresentative dell'affioramento

DESCRIZIONE AFFIORAMENTO

La stazione geomeccanica SG01 è ubicata a circa 140 m in direzione SE dal portale O della Galleria Le Ville in progetto. La stazione di misura si trova nel cortile di un edificio residenziale che affaccia sulla strada SS73, su una parete verticale alta circa 6 m esposta verso SO. L'affioramento è costituito da un banco di arenaria beige medio-grossolana con piani di strato di difficile identificazione. Il banco è di aspetto massivo, si presenta moderatamente alterato, asciutto e pervaso da discontinuità persistenti con spaziatura medio-ampia.

Si riconoscono 4 famiglie di discontinuità sistematiche con inclinazione medio-alta ed una superficie di faglia immergente verso NO.

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

R1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA

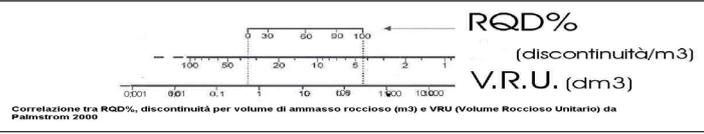
*Irfan e Dearman (1978) $S_u = 0,775 R + 21,3$ $S_u = 40.2$ MPa	VALORE DI S_u (MPa)	EQUAZIONE	Coeff.
	<= 44,5	$A1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$	
	44,5 - 93,75	$A1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$	
	93,75 - 140	$A1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,919$	
	140 - 180	$A1 = 0,0375 S_u + 6,75$	
180 - 240	$A1 = 0,0235 S_u + 9$		
> 240	$A1 = 15$		

prove sclerometriche													media corretta
FAM	orient.	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10		
1													
2													
3													
4													
roccia intatta	✓	22	22	22	22	24	24	24	26	26	26	24	

*le misure sono ordinate in ordine crescente, vengono scartate le cinque più basse

R2 - RQD

Qualità	%	s (cm)*	Coeff.	Priest & Hudson (1976)
Eccellente	90-100	60-200	18-20	
Buona	75-90	20-60	15-18	
Discreta	50-75	10-20	10-15	
Bassa	25-50	6-10	6-10	
Molto bassa	<25	<6	3-6	



R5 - CONDIZIONI IDRICHE AMMASSO

Condizioni generali	Venute d'acqua per 10 m di lunghezza (l/min)	aw/aw		Coeff.
Asciutta	nessuna	0	X	15
Umidità	<10	<0,1		10
Bagnata	10-25	0,1-0,2		7
Stitilicidio	25-125	0,2-0,5		4
Venute	>125	>0,5		0

R3 - SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'

	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Fam. 5	Coeff.
Molto larga	sopra 2 m					20
Larga	0,6 - 2 m					12-19
Moderata	20 - 60 cm	X	X	X	X	8-12
Stretta	6-20 cm					6-8
Molto stretta	< 6 cm					5

R4 - CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'

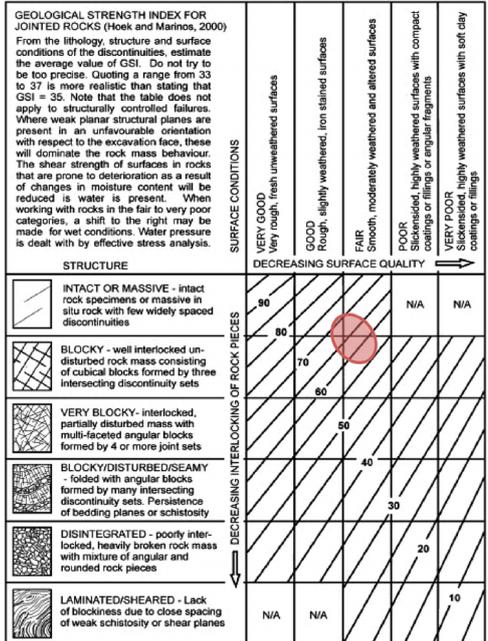
	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Fam. 5	Coeff.	
PERSISTENZA	Molto bassa	< 1 m			X	6	
	Bassa	1 - 3 m			X	4	
	Media	3 - 10 m				2	
	Alta	10 - 20 m				1	
APERTURA	Molto chiusi	> 20 m	X	X		0	
	molto chiusi	nessuna		X		6	
	chiusi	< 0,1 mm				5	
	moderat. aperti	0,1 - 1,0 mm				4	
RUGOSITA'	aperti	1 - 5 mm	X			1	
	molto aperti	> 5 mm			X	0	
	molto rugose	16-18 18-20				6	
	rugose	12-14 14-16				5	
RIEMPIMENTO	legg. rugose	8-10 10-12	X	X	X	3	
	piane	4-6 6-8				1	
	levigate	0-2 2-4				0	
	Nessuno		X	X		X	6
	Compatto < 5mm						4
ALTERAZ.	Compatto > 5mm					2	
	Sciolto < 5mm					2	
	Sciolto > 5mm			X		0	
	Non alterata						6
	Leggermente alterata	X	X	X	X		5
Moderatamente alterata						3	
Altamente alterata						1	
Suolo residuale						0	

RMR - BIENIAWSKI (1989)

PARAMETRI	COEFF.
Resistenza roccia intatta	R1 = 5
Rock Quality Designation (R.Q.D.)	R2 = 12
Spaziatura discontinuità	R3 = 10
Condizioni delle discontinuità	R4 = 19
Presenza di acqua nella roccia	R5 = 15
Compensazione orientazione	R6 = 0
RMR base	61

CLASSE DI BIENIAWSKI

I ottima	II buona	III discreta	IV scadente	V molto scad.
100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

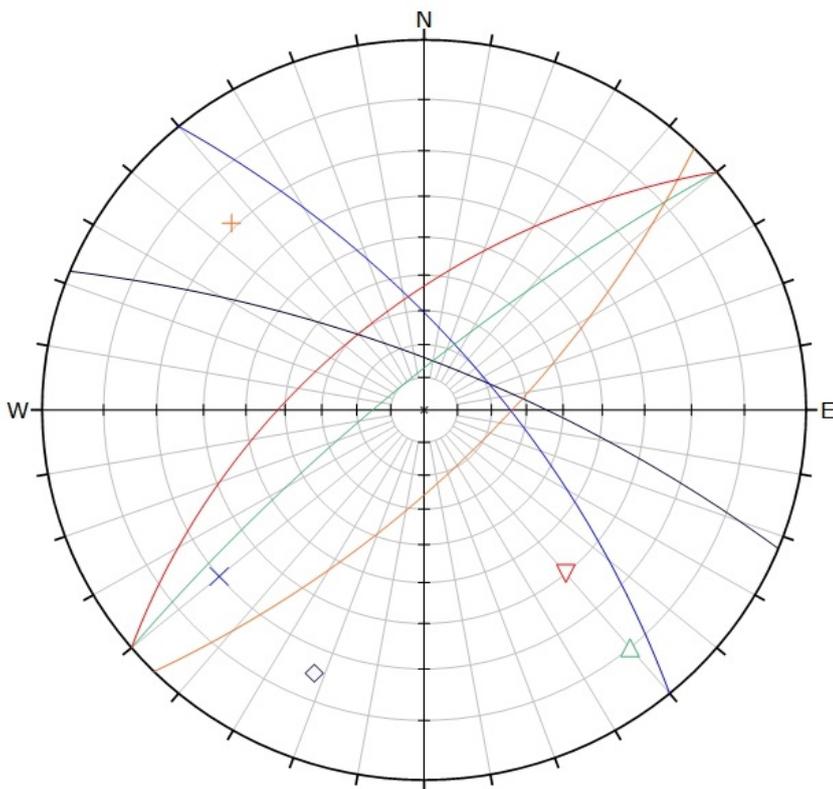


RMR base	61
GSI = RMR base (secco) - 5 =	56

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

PROIEZIONI STEREOGRAFICHE

ID / FAMIGLIA	INCLINAZIONE (°)	IMMERSIONE (°)	TIPO
1	75	22	J
2	70	50	J
3	80	320	J
4	71	135	J
5	60	320	F



Symbol	ID
◇	1
×	2
△	3
+	4
▽	5

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

INDICI VOLUMETRICI / VOLUMI

Volumetric Joint Count Jv	17	Volume blocchi affioramento Vb	0.204	> Vb > 0.002	m³
Rock Quality Designation RQD (da <i>Plamstrom, 1982</i>)	59	Volume max rilevato nell'area Vb_{max}			0,05 m³

STAZIONE	SG02	SCHEDA DI RILIEVO N°	2	DATA ESECUZIONE	13/07/2023
GIACITURA FRONTE	dir.160° N, incl. 70° fronte NE	COORDINATE* (WGS 84)	Y: 43.4800 X: 12.0611	QUOTA	317 m.s.l.m.



NOTE

Per i valori di JRC e JCS sono stati utilizzati rispettivamente Pettine di Barton e Martello di Schmidt.
 Vengono nella seguente scheda riportate le giaciture e le caratteristiche medie delle tre famiglie rappresentative dell'affioramento

DESCRIZIONE AFFIORAMENTO

La stazione geomeccanica SG02 è ubicata a circa 80 m in direzione ESE dal portale O della Galleria Le Ville in progetto. La stazione di misura si trova in una piazzola in prossimità della strada SS73, su una bassa parete verticale alta circa 2 m esposta verso NE. L'affioramento è costituito da strati e banchi (fino a 2 m di spessore, come osservato su affioramenti adiacenti) di arenaria beige medio-grossolana, separati da livelli siltitici centimetrici con stutture convolute. l'affioramento è di aspetto tabulare e si presenta asciutto e moderatamente alterato.

Oltre alla stratificazione, immergente verso O a medio angolo, si riconoscono 2 famiglie di discontinuità sistematiche subverticali e circa ortogonali.

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

R1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA

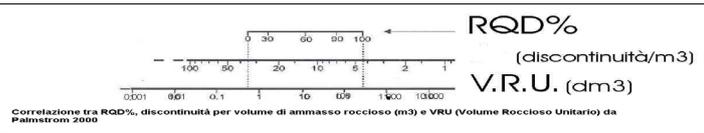
*Irfa e Dearman (1978) $S_u = 0,775 R + 21,3$ $S_u = 42.4$ MPa	VALORE DI S_u (MPa)	EQUAZIONE	5
	<= 44,5	$A1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$	
	44,5 - 93,75	$A1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$	
	93,75 - 140	$A1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,919$	
	140 - 180	$A1 = 0,0375 S_u + 6,75$	
180 - 240	$A1 = 0,025 S_u + 9$		
> 240	$A1 = 15$		

prove sclerometriche												
FAM	orient.	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	media corretta
1												
2												
3												
4												
roccia intatta	✓	22	22	24	24	26	28	28	28	28	28	27

*le misure sono ordinate in ordine crescente, vengono scartate le cinque più basse

R2 - RQD

Qualità	%	s (cm)*	X	Coeff.	18	* Priest & Hudson (1976)
Eccellente	90-100	60-200	X	18-20		
Buona	75-90	20-60		15-18		
Discreta	50-75	10-20		10-15		
Bassa	25-50	6-10		6-10		
Molto bassa	<25	<6		3-6		



R3 - SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'

	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Fam. 5	Coeff.	12
Molto larga	sopra 2 m					20	
Larga	0,6 - 2 m	X				12-19	
Moderata	20 - 60 cm		X	X		8-12	
Stretta	6-20 cm					6-8	
Molto stretta	< 6 cm					5	

R4 - CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'

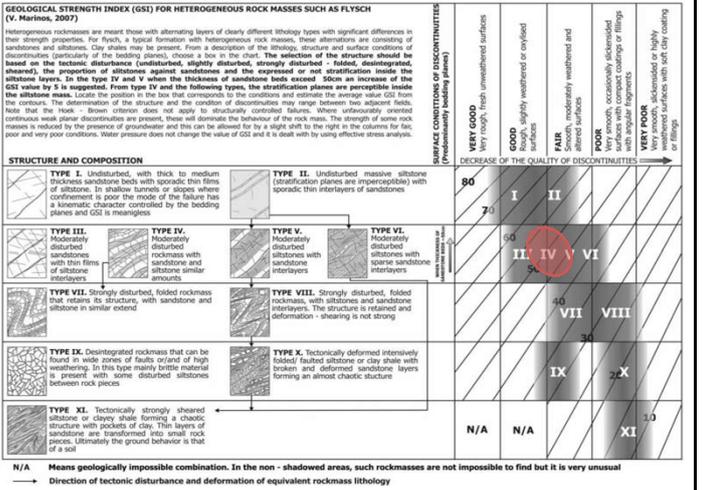
	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Fam. 5	Coeff.	2
PERSISTENZA	Molto bassa	< 1 m				6	
	Bassa	1 - 3 m		X		4	
	Media	3 - 10 m		X		2	
	Alta	10 - 20 m				1	
	Molto alta	> 20 m	X			0	
APERTURA	molto chiusi	nessuna				6	
	chiusi	< 0,1 mm				5	
	moderat. aperti	0,1 - 1,0 mm				4	
	aperti	1 - 5 mm				1	
	molto aperti	> 5 mm	X	X	X	0	
RUGOSITA'	molto rugose	16-18 18-20				6	
	rugose	12-14 14-16				5	
	legg. rugose	8-10 10-12	X	X	X	3	
	piane	4-6 6-8				1	
	levigate	0-2 2-4				0	
RIEMPIMENTO	Nessuno					6	
	Compatto < 5mm					4	
	Compatto > 5mm					2	
	Sciolto < 5mm					2	
	Sciolto > 5mm	X	X	X		0	
ALTERAZ.	Non alterata					6	
	Leggermente alterata					5	
	Moderatamente alterata	X	X	X		3	
	Altamente alterata					1	
	Suolo residuale					0	

R5 - CONDIZIONI IDRICHE AMMASSO

Condizioni generali	Venute d'acqua per 10 m di lunghezza (l/min)	ow/oh	Coeff.	15	
Asciutta	nessuna	0	X		15
Umida	<10	<0,1			10
Bagnata	10-25	0,1-0,2			7
Stitidicio	25-125	0,2-0,5			4
Venute	>125	>0,5			0

RMR - BIENIAWSKI (1989)

PARAMETRI	COEFF.
Resistenza roccia intatta	R1 5
Rock Quality Designation (R.Q.D.)	R2 18
Spaziatura discontinuità	R3 12
Condizioni delle discontinuità	R4 8
Presenza di acqua nella roccia	R5 15
Compensazione orientazione	R6 0
RMR base	
CLASSE DI BIENIAWSKI	
I ottima	100-81
II buona	80-61
III discreta	60-41
IV scadente	40-21
V molto scad.	< 20

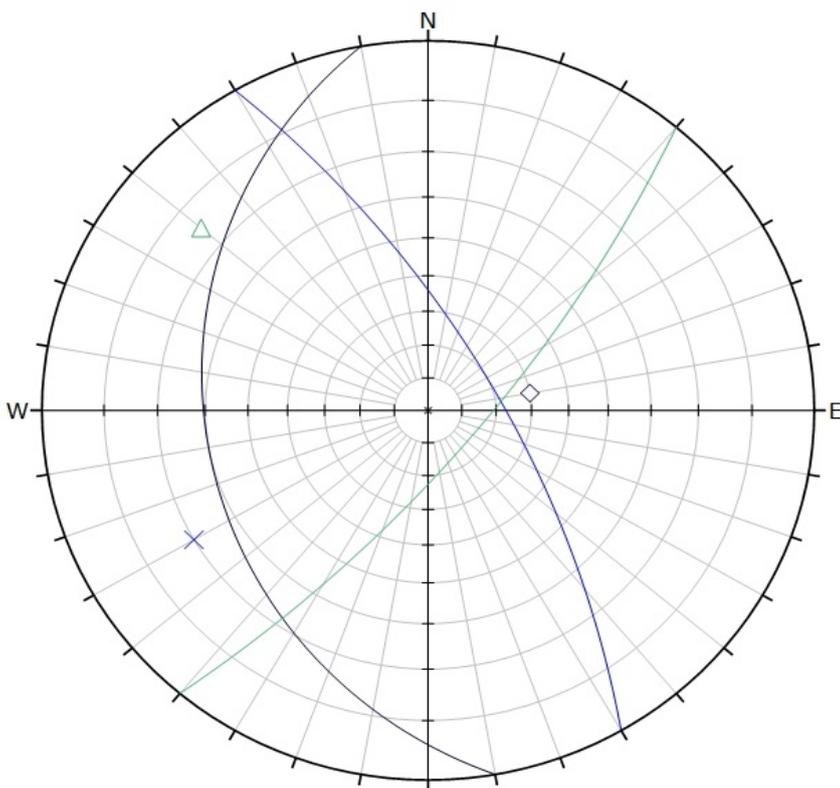


RMR base	58
GSI = RMR base (secco) - 5 =	53

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

PROIEZIONI STEREOGRAFICHE

ID / FAMIGLIA	INCLINAZIONE (°)	IMMERSIONE (°)	TIPO
1	30	260	S
2	70	60	J
3	75	130	J



Symbol	ID
◇	1
×	2
△	3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	3 (3 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

INDICI VOLUMETRICI / VOLUMI

Volumetric Joint Count Jv	7	Volume blocchi affioramento Vb	0.527	> Vb >	0.042	m ³
Rock Quality Designation RQD (da <i>Plamstrom, 1982</i>)	92	Volume max rilevato nell'area Vb_{max}				0,05 m ³

STAZIONE	SG03	SCHEDA DI RILIEVO N°	3	DATA ESECUZIONE	14/07/2023
GIACITURA FRONTE	dir.135° N, incl. 80° fronte SO	COORDINATE* (WGS 84)	Y: 43.5021 X: 12.1244	QUOTA	391 m.s.l.m.



NOTE

Per i valori di JRC e JCS sono stati utilizzati rispettivamente Pettine di Barton e Martello di Schmidt.
 Vengono nella seguente scheda riportate le giaciture e le caratteristiche medie delle tre famiglie rappresentative dell'affioramento

DESCRIZIONE AFFIORAMENTO

La stazione geomeccanica SG03 è ubicata sulla proiezione verticale dell'asse della galleria naturale Citerna in progetto, a circa 590 m a O dell'imbocco est. La stazione di misura si trova su una scarpata metrica adiacente ad una strada bianca posta su un terrazzo morfologico. L'affioramento è costituito da un banco di di arenaria medio-fine beige scarsamente cementata su cui poggia un banco di siltite grigio chiaro omogenea, tenera e fratturata; tra i due banchi sono presenti lenti di arenaria grossolana marrone chiaro scarsamente cemenata. L'affioramento si presenta asciutto e moderatamente alterato. Oltre alla stratificazione con giacitura N 240°/29° (immersione/inclinazione), si riconoscono due famiglie di discontinuità sistematiche, tra loro ortogonali, subverticali e immergenti rispettivamente verso NO e NE; entrambe le famiglie di giunti presentano spaziatore da centimetriche a decimetriche.

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

R1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA

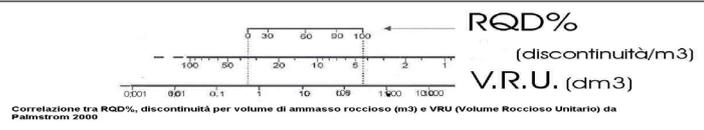
*Irfan e Dearman (1978) $S_u = 0,775 R + 21,3$ $S_u = 30.5$ MPa	VALORE DI S_u (MPa)	EQUAZIONE	4
	$\leq 44,5$	$A1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$	
	$44,5 < S_u \leq 93,75$	$A1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$	
	$93,75 < S_u \leq 140$	$A1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,919$	
	$140 < S_u \leq 180$	$A1 = 0,0375 S_u + 6,75$	
	$180 < S_u \leq 240$	$A1 = 0,025 S_u + 9$	
	> 240	$A1 = 15$	

prove sclerometriche												
FAM	orient.	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	media corretta
1												
2												
3												
4												
roccia intatta	→	8	8	8	10	10	10	14	16	18	18	12

*le misure sono ordinate in ordine crescente, vengono scartate le cinque più basse

R2 - RQD

Qualità	%	s (cm)*	Coeff.	8	* Priest & Hudson (1976)
Eccellente	90-100	60-200	18-20		
Buona	75-90	20-60	15-18		
Discreta	50-75	10-20	10-15		
Bassa	25-50	6-10	6-10		
Molto bassa	<25	<6	3-6		



Correlazione tra RQD%, discontinuità per volume di ammasso roccioso (m3) e VRU (Volume Roccoso Unitario) da Palmstrom 2000

R3 - SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'

	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Fam. 5	Coeff.	8
Molto larga	sopra 2 m					20	
Larga	0.6 - 2 m					12-19	
Moderata	20 - 60 cm	X	X			8-12	
Stretta	6-20 cm			X		6-8	
Molto stretta	< 6 cm					5	

R4 - CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'

	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Fam. 5	Coeff.	3
PERSISTENZA	Molto bassa	< 1 m		X		6	
	Bassa	1 - 3 m				4	
	Media	3 - 10 m	X		X	2	
	Alta	10 - 20 m				1	
APERTURA	Molto chiusa	> 20 m				0	
	molto chiusi	nessuna	X			6	
	chiusi	< 0.1 mm				5	
	moderat. aperti	0.1 - 1.0 mm		X		4	
RUGOSITA'	aperti	1 - 5 mm				1	
	molto aperti	> 5 mm			X	0	
	molto rugose	16-18 18-20				6	
	rugose	12-14 14-16		X		5	
RIEMPIMENTO	legg. rugose	8-10 10-12	X		X	3	
	piane	4-6 6-8				1	
	levigate	0.2-2.4				0	
	Nessuno		X	X	X	6	
ALTERAZ.	Compatto < 5mm					4	
	Compatto > 5mm					2	
	Sciolto < 5mm					2	
	Sciolto > 5mm					0	
ALTERAZ.	Non alterata					6	
	Leggermente alterata					5	
	Moderatamente alterata	X	X	X		3	
	Altamente alterata					1	
	Suolo residuale					0	

R5 - CONDIZIONI IDRICHE AMMASSO

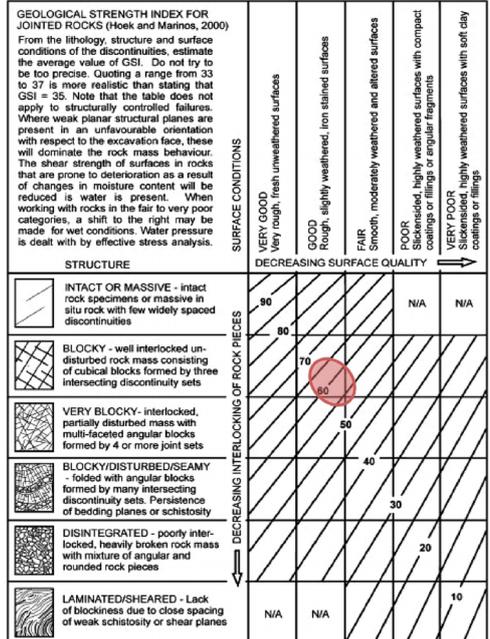
Condizioni generali	Venute d'acqua per 10 m di lunghezza (l/min)	ow/gh	Coeff.
Asciutta	nessuna	0	X 15
Umida	<10	<0.1	10
Bagnata	10-25	0.1-0.2	7
Stitilicidia	25-125	0.2-0.5	4
Venute	>125	>0.5	0

RMR - BIENIAWSKI (1989)

PARAMETRI	COEFF.
Resistenza roccia intatta	R1 4
Rock Quality Designation (R.Q.D.)	R2 8
Spaziatura discontinuità	R3 8
Condizioni delle discontinuità	R4 19
Presenza di acqua nella roccia	R5 15
Compensazione orientazione	R6 0
RMR base	54

CLASSE DI BIENIAWSKI

I ottima	II buona	III discreta	IV scadente	V molto scad.
100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

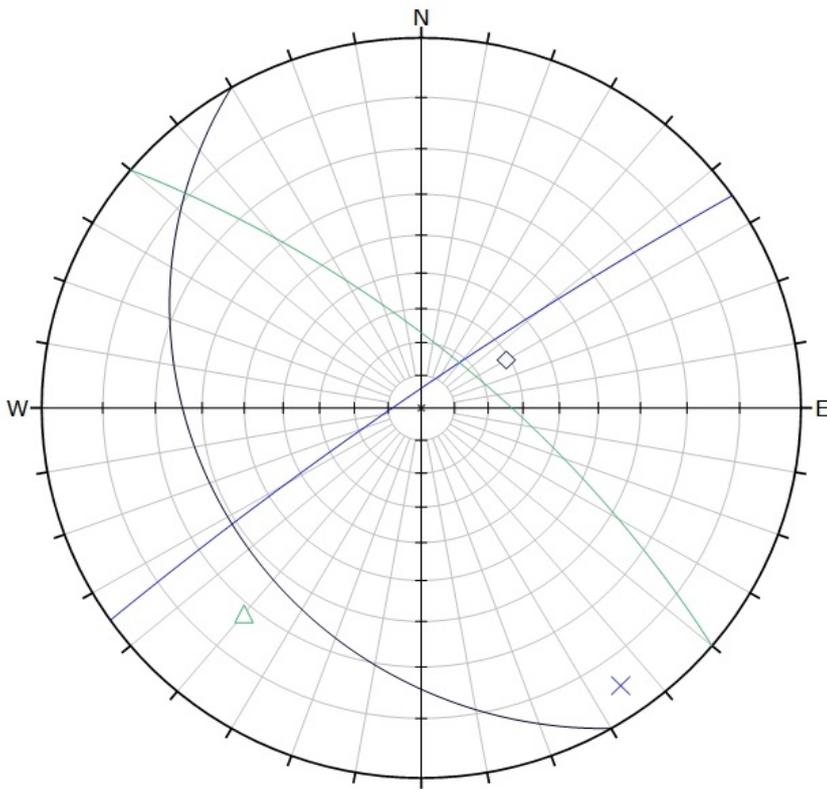


RMR base	54
GSI = RMR base (secco) - 5 =	49

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

PROIEZIONI STEREOGRAFICHE

ID / FAMIGLIA	INCLINAZIONE (°)	IMMERSIONE (°)	TIPO
1	29	240	S
2	85	325	J
3	72	40	J



Symbol	ID
◇	1
×	2
△	3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	3 (3 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

INDICI VOLUMETRICI / VOLUMI

Volumetric Joint Count J_v	24	Volume blocchi affioramento V_b	0.090 > V _b > 0.001 m ³
Rock Quality Designation RQD (da Plamstrom, 1982)	36	Volume max rilevato nell'area V_{bmax}	0,10 m ³

STAZIONE	SG04	SCHEDA DI RILIEVO N°	4	DATA ESECUZIONE	15/07/2023
GIACITURA FRONTE	dir.135° N, incl. 80° fronte SO	COORDINATE* (WGS 84)	Y: 43.4844 X: 12.0661	QUOTA	408 m.s.l.m.



NOTE

Per i valori di JRC e JCS sono stati utilizzati rispettivamente Pettine di Barton e Martello di Schmidt.
 Vengono nella seguente scheda riportate le giaciture e le caratteristiche medie delle tre famiglie rappresentative dell'affioramento

DESCRIZIONE AFFIORAMENTO

La stazione geomeccanica SG04 è ubicata a circa 70 m a sud dell'asse della galleria naturale in progetto Le Ville, a circa a 460 m in direzione OSO dall'imbocco Est. La stazione di misura si trova nel cortile di un edificio residenziale, lungo una scarpata artificiale alta 2 m, orientata NO-SE ed esposta a SO. L'affioramento è costituito da banchi di arenaria a grana media, beige, con abbondante mica, di aspetto massivo e in strati spessi da 20 cm a 1m; l'affioramento si presenta asciutto e moderatamente alterato. Oltre alla stratificazione con giacitura N 205°/10° (immersione/inclinazione), si riconoscono 3 famiglie di discontinuità sistematiche subverticali, 2 delle quali subparallele orientate circa NNO-SSE ed una terza circa ortogonale ad esse.

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

R1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA

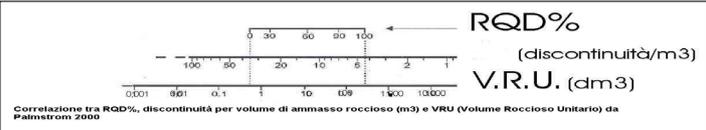
*Irfan e Dearman (1978) $S_u = 0,775 R + 21,3$ $S_u = 41.2$ MPa	VALORE DI S_u (MPa)	EQUAZIONE	Coeff.
	$\leq 44,5$	$A1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$	
	$44,5 < S_u \leq 93,75$	$A1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$	
	$93,75 < S_u \leq 140$	$A1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,919$	
	$140 < S_u \leq 180$	$A1 = 0,0375 S_u + 6,75$	
	$180 < S_u \leq 240$	$A1 = 0,025 S_u + 9$	
	> 240	$A1 = 15$	

prove sclerometriche												
FAM	orient.	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	media corretta
1												
2												
3												
4												
roccia intatta	→	22	24	24	24	26	26	28	28	30	32	26

*le misure sono ordinate in ordine crescente, vengono scartate le cinque più basse

R2 - RQD

Qualità	%	s (cm)*	Coeff.	Priest & Hudson (1976)
Eccellente	90-100	60-200	18-20	
Buona	75-90	20-60	15-18	
Discreta	50-75	10-20	10-15	
Bassa	25-50	6-10	6-10	
Molto bassa	<25	<6	3-6	



Correlazione tra RQD%, discontinuità per volume di ammasso roccioso (m³) e VRU (Volume Roccoso Unitario) da Palmstrom 2000

R5 - CONDIZIONI IDRICHE AMMASSO

Condizioni generali	Venute d'acqua per 10 m di lunghezza (l/min)	ow/gh	Coeff.
Asciutta	nessuna	0	15
Umida	<10	<0,1	10
Bagnata	10-25	0,1-0,2	7
Stitilicidia	25-125	0,2-0,5	4
Venute	>125	>0,5	0

R3 - SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'

	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Fam. 5	Coeff.
Molto larga	sopra 2 m					20
Larga	0,6 - 2 m			X		12-19
Moderata	20 - 60 cm	X	X	X		8-12
Stretta	6-20 cm					6-8
Molto stretta	< 6 cm					5

R4 - CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'

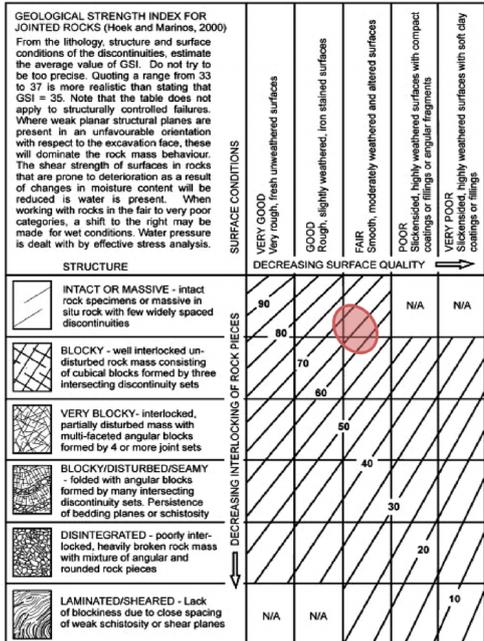
	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Fam. 5	Coeff.
PERSISTENZA	Molto bassa	< 1 m				6
	Bassa	1 - 3 m		X	X	4
	Media	3 - 10 m			X	2
	Alta	10 - 20 m				1
	Molto alta	> 20 m	X			0
APERTURA	molto chiusi	nessuna	X		X	6
	chiusi	< 0,1 mm				5
	moderat. aperti	0,1 - 1,0 mm				4
	aperti	1 - 5 mm				1
RUGOSITA'	molto rugose	16-18 18-20				6
	rugose	12-14 14-16				5
	legg. rugose	8-10 10-12		X	X	3
	piane	4-6 6-8	X		X	1
	levigate	0-2 2-4				0
RIEMPIMENTO	Nessuno		X	X	X	6
	Compatto < 5mm				X	4
	Compatto > 5mm					2
	Sciolto < 5mm					2
	Sciolto > 5mm					0
ALTERAZ.	Non alterata					6
	Leggermente alterata	X	X	X	X	5
	Moderatamente alterata					3
	Altamente alterata					1
	Suolo residuale					0

RMR - BIENIAWSKI (1989)

PARAMETRI	COEFF.
Resistenza roccia intatta	R1 = 5
Rock Quality Designation (R.Q.D.)	R2 = 16
Spaziatura discontinuità	R3 = 12
Condizioni delle discontinuità	R4 = 18
Presenza di acqua nella roccia	R5 = 15
Compensazione orientazione	R6 = 0
RMR base	66

CLASSE DI BIENIAWSKI

I ottima	II buona	III discreta	IV scadente	V molto scad.
100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

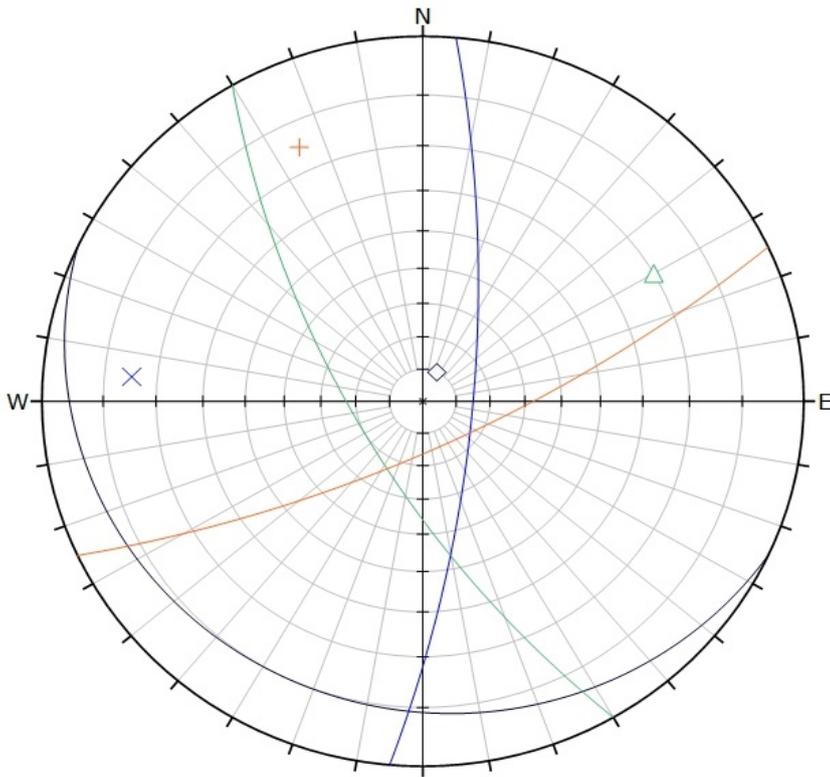


RMR base	66
GSI = RMR base (secco) - 5 =	61

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

PROIEZIONI STEREOGRAFICHE

ID / FAMIGLIA	INCLINAZIONE (°)	IMMERSIONE (°)	TIPO
1	10	205	S
2	75	95	J
3	70	240	J
4	75	155	J



Symbol	ID
◇	1
×	2
△	3
+	4

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	4 (4 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

INDICI VOLUMETRICI / VOLUMI

Volumetric Joint Count Jv	10	Volume blocchi affioramento Vb	0.211 > Vb > 0.014 m ³
Rock Quality Designation RQD (da Plamstrom, 1982)	82	Volume max rilevato nell'area Vb_{max}	0,05 m ³