



RINA
 ISO 9001 - ISO 14001
 OHSAS 18001 - SA 8000
 BEST® Certified Integrated Systems

Società per Azioni Autostrada Brescia Verona Vicenza Padova
 Via Flavio Gioia 71 37135 Verona
 tel. 0458272222 Fax 0458200051 Casella Postale 460M www.autobspd.it
 AREA COSTRUZIONI AUTOSTRADALI



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD

PROGETTO PRELIMINARE

CUP G19J1 00001 40005

COMMESSA 25 2005

COMMITTENTE



S.p.A. AUTOSTRADA BRESCIA VERONA VICENZA PADOVA
 Area Costruzioni Autostradali

CAPO COMMESSA
 PER LA PROGETTAZIONE
 Dott. Ing. Sergio Mutti

PROGETTISTA



CONSORZIO RAETIA

CAPO PROGETTO:
 Dott. Ing. Massimo Raccosta

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE TRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
 Dott. Ing. Massimo Raccosta

RESPONSABILE DEL COORDINAMENTO:
 Dott. Ing. Andrea Renso

ELABORATO

STUDI ED INDAGINI DEL TRACCIATO SCELTO
 Geotecnica e geomeccanica
 Relazione geomeccanica

Progressivo

Rev.

05 08 01 00 2 A 0

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione
00	Agosto 2011	Prima Emissione	TECHNITAL	E. Fresia	A. Renso
AO	Settembre 2011	Verifica art. 112 D. Lgs 163/06	TECHNITAL	E. Fresia	A. Renso

SCALA -

NOME FILE 2505_050801002_0101_OPP_A0.doc

CM 2505 ELAB. 05080101002

Fg. 0101 LIV. 0PP REV. A0

**AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE**

Committente:



Progettazione:

CONSORZIO RAETIA



PROGETTO PRELIMINARE

STUDI ED INDAGINI DEL TRACCIATO SCELTO

Geotecnica e geomeccanica

Relazione geomeccanica

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	OGGETTO E SCOPO	5
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
4	PROFILI GEOMECCANICI	7
5	STATO DI SFORZO IN SITO	8
6	CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI	10
6.1	Inquadramento generale	10
6.2	Dati disponibili	10
6.3	Assetto strutturale delle formazioni	12
6.4	Classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi	13
6.4.1	<i>Dolomia Principale</i>	<i>13</i>
6.4.2	<i>Formazioni sottostanti la Dolomia Principale</i>	<i>29</i>
6.5	Classificazione di progetto	47
7	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI	48
7.1	Parametri geomeccanici	48
7.2	Indici geomeccanici – Effetto della profondità	49
7.3	Caratterizzazione geomeccanica	52
8	METODO DI SCAVO	55
8.1	Gallerie di progetto	55
8.2	Scelta del metodo di scavo	57
9	ASPETTI ESECUTIVI DEL METODO DI SCAVO TRADIZIONALE	59
10	ASPETTI ESECUTIVI DELLO SCAVO MECCANIZZATO	60
10.1	Dimensionamento di massima della TBM	62
11	INFLUENZA DELLA FALDA FREATICA	65
12	SMARINO	66
13	CONCLUSIONI	67
	ALLEGATO 1 – SCHEDE DI SINTESI DELLE PROVE DI POINT-LOAD	68

Indice delle tabelle

Tabella 1 – Gallerie di progetto	3
Tabella 2 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale – Analisi e sintesi dei dati a disposizione – Caratteristiche dei giunti da stazioni geostrutturali 1995.....	16
Tabella 3 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale – Analisi e sintesi dei dati a disposizione – Caratteristiche dei giunti dai sondaggi 1995	19
Tabella 4 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale - Preparazione dei dati di ingresso al programma Dati roccia – Valori di RQD da sondaggi geognostici 1995.....	21
Tabella 5 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale - Preparazione dei dati di ingresso al programma Dati roccia – Valori di RQD da stazioni geomeccaniche 1995	22
Tabella 6 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale - Preparazione dei dati di ingresso al programma Dati roccia– Condizioni dei giunti da stazioni geostrutturali 1995	23
Tabella 7 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale - Preparazione dei dati di ingresso al programma Dati roccia – Condizioni dei giunti da sondaggi 1995.....	25
Tabella 8 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Classificazione di riferimento degli ammassi rocciosi.....	47
Tabella 9: Legenda geologica.....	49
Tabella 10: Criterio per la valutazione dei parametri σ_c ed RMR_{89} al variare della copertura	51
Tabella 11 – Parametri geomeccanici dei diversi litotipi, al crescere della profondità	52

Indice delle figure

Figura 1 – Classificazione degli ammassi rocciosi – Assetto strutturale delle formazioni - Reticolo polare di Schmidt che sintetizza le principali famiglie di giunto individuate tramite le stazioni geostrutturali	13
Figura 2 – Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale – Analisi Dati roccia – σ_c del litotipo – Inviluppo di rottura medio della roccia intatta	29

1 INTRODUZIONE

Il tracciato in esame rappresenta la prosecuzione dell'autostrada A31, che ad oggi termina in corrispondenza dell'abitato di Piovene Rocchette. Il percorso attraversa l'intera Valdastico, per poi raggiungere l'Adige presso Besenello, sottopassando l'altopiano di Folgaria.

Caratteristica peculiare delle zone oggetto di studio è la morfologia, dominata dalla presenza di ampi altopiani, posti a quote variabili fra i 1000 e i 2000 metri, e della profonda incisione della val d'Astico. Questo assetto risulta particolarmente importante per quanto riguarda la definizione delle caratteristiche e dei vincoli del tracciato, che presenta uno sviluppo preponderante in sotterraneo. In particolare, a fronte di uno sviluppo complessivo di circa 39 Km, le gallerie si estendono per circa 29 Km, rappresentando così il 75% dell'intera estensione del tracciato.

Nel presente rapporto vengono analizzate le gallerie naturali che caratterizzano il tracciato in esame. In totale le gallerie previste sono 10, di cui 2 artificiali e 8 gallerie naturali:

Tabella 1 – Gallerie di progetto

Galleria	Lunghezza media [km]
S.Agata	0.99
Velo - artificiale	0.10
Cogollo	1.38
Costa del Prà	0.79
Forte Corbin	2.17
Pedescala	1.74
S.Pietro	3.55
Molino - artificiale	0.26
Pedemonte	1.83
Valico	15.11

Il percorso oggetto di studio interessa un'area caratterizzata da una notevole omogeneità da un punto di vista geologico e geomeccanico, con coperture variabili fra pochi metri e 400-500 m in corrispondenza delle prime 7 gallerie naturali. Fa' eccezione la Galleria di Valico, in corrispondenza della quale il panorama geologico diventa ben più variegato e complesso, con coperture che raggiungono anche i 1500 metri.

Lo studio si è basato su dati bibliografici integrati dai risultati dei rilievi eseguiti in campagna e dall'interpretazione di alcune indagini geofisiche.

La relazione in oggetto è corredata dal profilo geomeccanico in asse tracciato, che riporta, oltre ad alcune informazioni geologiche di base, le caratterizzazioni geomeccaniche dei litotipi intercettati dalle gallerie in relazione alla copertura che li caratterizza.

2 OGGETTO E SCOPO

Oggetto della presente relazione sono le opere in sotterraneo che costituiscono il tracciato in esame.

Scopo è quello di caratterizzare da un punto di vista geomeccanico l'area di studio, definendo i parametri necessari alla valutazione del comportamento tenso-deformativo dei litotipi intercettati, la cui comprensione consente di individuare gli aspetti esecutivi principali delle diverse metodologie di scavo previste.

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Il progetto preliminare si basa sulle informazioni fornite dai documenti associati alle seguenti fonti:

- Progetto definitivo e SIA del vecchio tracciato A1 (1995);
- Progetto di fattibilità per la scelta del tracciato (2011);
- Bibliografia.

Si riporta di seguito per ciascuna fonte l'elenco dei documenti consultati.

PROGETTO DEFINITIVO E SIA (1995)

IV TEC. RELAZIONI TECNICHE

- Relazione opere in sotterraneo;

QPT. QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE

- Sistema geologico, scala 1:30.000;
- Tracciato A. Profilo geologico scala 1:25.000/25.000;
- Tracciato A1. Profilo geologico scala 1:25.000/25.000.

PROGETTO DI FATTIBILITA' PER LA SCELTA DEL TRACCIATO (2011)

- Relazione geomeccanica;

BIBLIOGRAFIA

- G. Herget, "Stresses in rock", Balkema, 1988
- M. Ramoni, G. Anagnostou, "Alcune considerazioni sullo scavo meccanizzato di gallerie in roccia spingente", Rivista Galleria e grandi opere sotterranee, dicembre 2009, p. 63-69
- E. Hoek, C. Carranza-Torres, B. Corkum, "Hoek-Brown criterion – 2002 edition", 2002
- G. Balmer, "A general analytical solution for Mohr's envelope" – Am. Soc. Test. Mat., 1952
- P. Marinos, E. Hoek, "Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch", IAEG, 60, p. 85-92, 2001.

4 PROFILI GEOMECCANICI

Il tracciato in esame si snoda dalla Valdastico fino al fiume Adige, con uno sviluppo planimetrico di circa 39 km, di cui il 75% in sotterraneo. Il progetto prevede infatti la realizzazione di 8 gallerie naturali e 2 artificiali, di lunghezza compresa fra qualche centinaia di metri e i 15 km della Galleria di Valico.

Tutte le gallerie sono a doppia canna affiancata, con un diametro di circa 15 metri ciascuna.

Il percorso interessa un'area caratterizzata da una notevole omogeneità da un punto di vista geologico e geomeccanico, con coperture massime di circa 400-500 m in corrispondenza delle gallerie naturali, a meno della Galleria di Valico, per la quale il panorama geologico diventa ben più variegato e complesso, con coperture che raggiungono anche i 1500 metri.

A partire dal profilo geologico è stato elaborato il profilo geomeccanico del tracciato in esame, in scala 1:5000. Si sottolinea che, trattandosi di un tracciato che prevede la realizzazione di due canne affiancate, il profilo proposto è quello in corrispondenza dell'asse del tracciato e quindi si riferisce alle due canne.

La parte superiore dell'elaborato grafico coincide con il profilo geologico, riportando le faglie, le superfici di contatto tettonico e l'andamento approssimato della superficie piezometrica, ripreso dai profili idrogeologici.

Nella parte inferiore dell'elaborato grafico vengono invece proposti gli indici geomeccanici degli ammassi rocciosi attraversati dalle gallerie valutati in relazione alle condizioni di copertura, e i conseguenti parametri di deformabilità e resistenza, valutati in relazione alla copertura, per quanto concerne le verifiche di stabilità del cavo, e all'origine dell'involuppo di rottura, per quanto concerne le verifiche del fronte di scavo.

Le faglie sono state localizzate mediante l'indicazione dell'RMR ad esse associato, ottenuto scalando di circa 10 punti l'indice RMR89 del litotipo di appartenenza, nella classe di copertura 0-50 m. La resistenza a compressione associata alle zone di faglia non è stata invece indicata sul profilo, in quanto corrispondente a quella della roccia incassante.

5 STATO DI SFORZO IN SITO

Il tracciato in esame prevede otto gallerie naturali, di cui le prime sette caratterizzate da una forte omogeneità da un punto di vista geologico e geomeccanico e per quanto riguarda le coperture, variabili fra i 5-25 m della Galleria S. Agata e i 330-350 m della Galleria Pedemonte.

L'ultima galleria, Galleria di Valico, che mette in connessione la Valdastico alla Valle dell'Adige, risulta in assoluto l'opera più rilevante e complessa sia in quanto planimetricamente più estesa – circa 15 km – sia in quanto caratterizzata da coperture che raggiungono anche i 1500 m.

In corrispondenza di un'opera di questa portata diventa quindi fondamentale definire in via preliminare una metodologia per la valutazione dello stato di sforzo agente in sito.

A tale scopo è possibile fare riferimento a quanto descritto da Herget, nel volume *Stresses in rock* (1988). L'autore, facendo riferimento ad una serie di misurazioni dello stato tensionale agente in alcune miniere canadesi, ha messo a punto una formulazione che permette di valutare lo stato di sforzo agente nella crosta terrestre al variare della profondità.

Le misurazioni realizzate hanno permesso di determinare il gradiente dello sforzo verticale con la profondità, pari a 0.026 MPa/m. Si ha dunque:

$$\sigma_v = 0.026z \quad [\text{MPa}]$$

dove z rappresenta la profondità di indagine, in metri.

Analogamente, per lo sforzo orizzontale Herget ha determinato un gradiente pari a 0.0581 MPa/m.

Dalle misure eseguite risulta quindi che $\sigma_h > \sigma_v$. In particolare, volendo valutare come varia il rapporto $k = \sigma_h / \sigma_v$ in relazione alla profondità di indagine, si può assumere che:

- $k = 1.30$ per profondità z variabili fra 0 e 500 metri;
- $k = 1.30 - 0.4 \cdot \left[\frac{z - 500}{z} \right]$ per $z > 500$ metri.

Adottando la precedente metodologia ed applicandola al tracciato in esame, prendendo in considerazione le zone a massima copertura in corrispondenza della Galleria di Valico, laddove la galleria presenta profondità che si assestano tra i 1350 e i 1400 metri, si determina un rapporto tensionale k pari a:

$$k = 1.30 - 0.4 \cdot \left[\frac{z - 500}{z} \right] = 1.30 - 0.4 \cdot \left[\frac{1400 - 500}{1400} \right] = 1.05$$

E' dunque accettabile l'ipotesi semplificativa secondo cui lo stato tensionale in sito, nelle sezioni di alta copertura, presenti una distribuzione idrostatica alla profondità delle opere. Di conseguenza, in tutte le valutazioni di seguito proposte, si farà ricorso ad un rapporto tensionale k pari all'unità.

6 CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

6.1 *Inquadramento generale*

Il tracciato in esame si colloca tra la Val d'Astico e la valle dell'Adige, a cavallo tra le Regioni Veneto e Trentino, interessando la porzione meno disturbata del Subalpino. La successione stratigrafica che caratterizza quest'area è rappresentata da formazioni rocciose di età compresa tra il Carbonifero ed il Miocene, a loro volta ricoperte da depositi quaternari continentali.

In termini generali le gallerie in progetto interessano materiali litoidi di tipo carbonatico, ascrivibili alla Formazione della Dolomia Principale, caratterizzata da una struttura massiva e da un alto grado litoide. Solo in corrispondenza della Galleria di Valico si prevede che il tracciato intercetti per un tratto considerevole la sequenza carbonatica permo-triassica, la cui presenza al di sotto della Dolomia Principale è testimoniata dai risultati delle indagini geofisiche eseguite a supporto del Progetto Preliminare.

In questo capitolo, dopo una panoramica generale relativa ai dati disponibili per caratterizzare le diverse formazioni, si procede alla classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi, facendo una distinzione netta fra la Dolomia Principale, che interessa in tutta la loro estensione le prime sette gallerie in progetto e in buona parte anche la Galleria di Valico, e le formazioni sedimentarie permo-triassiche sottostanti.

6.2 *Dati disponibili*

La classificazione degli ammassi rocciosi si basa sull'analisi di tutte le indagini ad oggi disponibili:

- stazioni geostrutturali realizzate durante le diverse fasi progettuali;
- sondaggi della campagna di indagine a supporto del progetto definitivo del 1995;
- prove di laboratorio su campioni lapidei della campagna di indagine a supporto del progetto definitivo del 1995;
- prove di point – load della campagna di indagine a supporto del presente progetto preliminare del 2011.

Le informazioni fornite dalle stazioni geostrutturali hanno permesso di fornire una prima indicazione in merito a:

- numero di famiglie di giunto;

- spaziatura media;
- apertura e tipo di riempimento;
- geometria e rugosità;
- persistenza;
- grado di alterazione.

Questi dati di superficie sono stati quindi integrati attraverso l'analisi dei sondaggi, che hanno interessato esclusivamente la formazione della Dolomia Principale fino alla profondità massima di 70 m, quindi ben inferiore rispetto alle condizioni medie di copertura delle gallerie di progetto.

In particolare i sondaggi analizzati sono S10bis, S20, S22 e S27, dei quali solamente l'ultimo si sviluppa interamente in roccia, mentre i primi tre raggiungono il substrato roccioso dopo aver attraversato importanti spessori di depositi quaternari. Questi dati hanno fornito una prima indicazione del miglioramento delle condizioni geostrutturali degli ammassi con la profondità per riduzione del grado di fratturazione e miglioramento della condizione dei giunti.

Le prove di laboratorio della campagna di indagine del progetto definitivo del 1995 su spezzoni di carota sono state utilizzate per caratterizzare la formazione della Dolomia Principale.

Le prove di point – load sono state condotte su campioni opportunamente scelti secondo le indicazioni della normativa ASTM – D 5731 - 95. Si riportano nell'Allegato 1 al presente rapporto le schede di sintesi delle suddette prove, che contengono:

- stralcio planimetrico con ubicazione dell'affioramento;
- documentazione fotografica dell'affioramento;
- tabella riassuntiva delle prove eseguite con indicazione delle dimensioni del campione, del carico massimo di rottura e del relativo valore di I_s50 ;
- documentazione fotografica di ciascun campione prima e dopo la rottura.

I campioni appartengono alla formazione della Dolomia Principale, delle vulcaniti e delle filladi del Basamento Metamorfico. Altre prove di point-load sono state eseguite su campioni appartenenti alla sequenza sedimentaria posta al di sotto della Dolomia Principale, i cui affioramenti sono stati individuati in Val di Centa. La valutazione preliminare dell'indice medio I_s50 è stata utilizzata a supporto della classificazione degli ammassi rocciosi e della successiva parametrizzazione secondo il criterio di Hoek – Brown.

I valori di resistenza a compressione uniassiale derivati da Is50 sono coerenti con quelli derivanti dalle prove con martello di Schmidt, eseguite in corrispondenza delle stazioni geostrutturali.

6.3 Assetto strutturale delle formazioni

La “*Relazione geologica e geomorfologica*” riporta i risultati dello studio in merito alla correlazione tra famiglie di giunto, rilevate dalle stazioni geostrutturali, e lineamenti morfotettonici, riportati nella cartografia geologica da foto – interpretazione.

Questa prima valutazione ha permesso di individuare 3 – 4 famiglie di giunto oltre alla stratificazione, associate ai principali sistemi dislocativi dell’area di studio. In particolare:

- lineamento della Valsugana con direzione E – W;
- sistema della faglia della Val di Centa con direzione N10°E e N25°W;
- sistema scledense con direzione N45°W;
- linea Trento – Cles con direzione N – S.

Si rimanda alla suddetta relazione per una trattazione più esaustiva dell’argomento.

La Figura 1 illustra in un diagramma di Schmidt la sintesi della distribuzione dei poli delle 3 famiglie di giunto principali, individuate tramite le stazioni geostrutturali ad oggi disponibili.

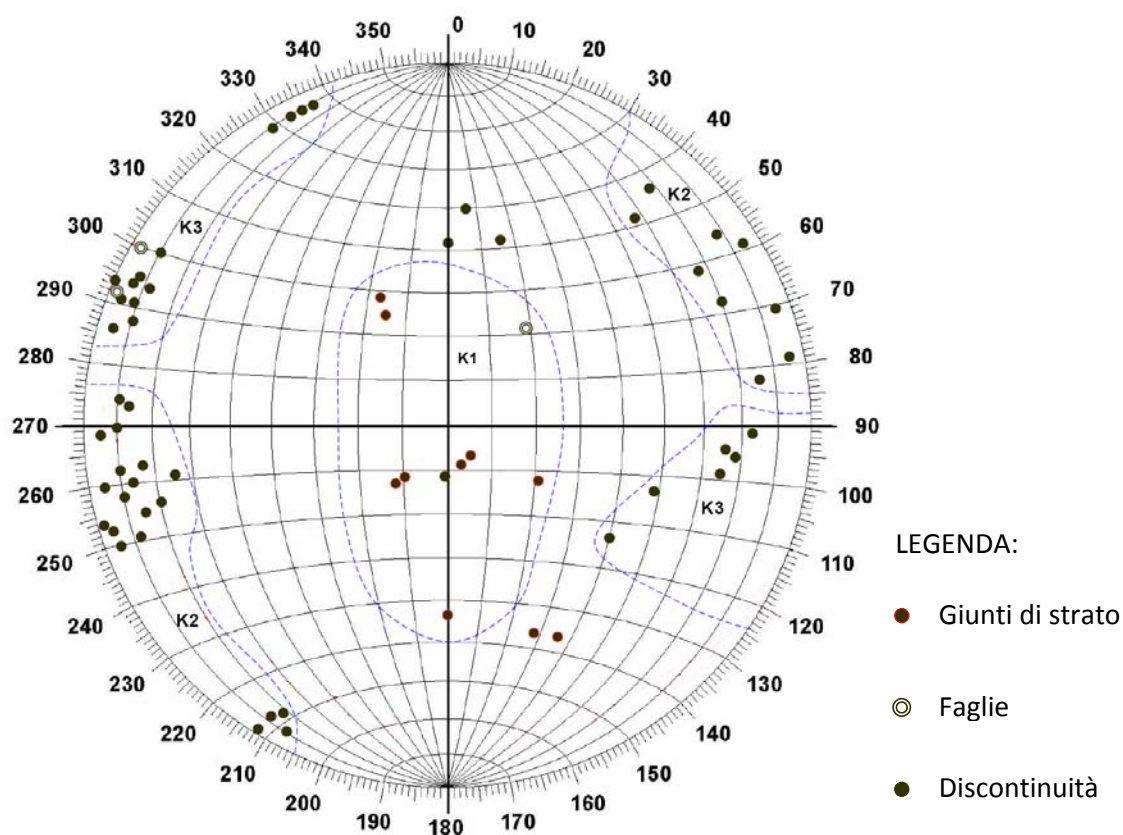


Figura 1 – Classificazione degli ammassi rocciosi – Assetto strutturale delle formazioni - Reticolo polare di Schmidt che sintetizza le principali famiglie di giunto individuate tramite le stazioni geostrutturali

Il suddetto studio evidenzia come il territorio attraversato dal tracciato di progetto sia uniforme da un punto di vista strutturale, presentando le medesime famiglie di giunto, seppur con piccole variazioni in merito alla loro giacitura.

Il “Profilo geologico” in asse tracciato riporta, per le diverse tratte, l’andamento indicativo della stratificazione dei banchi calcarei in relazione alla direzione di avanzamento della galleria, derivante dai rilievi geostrutturali disponibili.

6.4 Classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi

6.4.1 Dolomia Principale

La valutazione dell’assetto geo-strutturale della Dolomia Principale ovvero del grado di fratturazione e delle caratteristiche dei giunti, è stata realizzata sulla base di tutte le indagini a disposizione. Le indagini utilizzate sono:

- 13 stazioni geomeccaniche di superficie relative alla campagna di indagini del 1995, realizzate lungo la valle del torrente Astico;

- 4 sondaggi della campagna di indagine del 1995 che hanno raggiunto il substrato roccioso.

La scelta di fare riferimento alle stazioni geostrukturali della campagna di indagini del 1995 al numero elevato di dati disponibili sia alla qualità dell'informazione fornita.

I documenti di riferimento sono le relazioni di progetto definitivo del 1995 *“Elaborazione rilievi strutturali”* e *“Indagini geognostiche”*.

Metodo considerato

I dati forniti dalle suddette indagini sono stati analizzati utilizzando il programma *“Dati roccia”*, sviluppato dal progettista, per la classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi.

Il programma fornisce il valore dell'indice Q di Barton ed il correlato valore di GSI di Hoek tramite la correlazione:

$$GSI = 9 \ln Q' + 44$$

dove il valore di Q' è definito come

$$Q' = (RQD/J_n) \times (J_r/J_a)$$

con

RQD: recupero percentuale modificato

J_n: parametro relativo al numero di famiglie di giunto

J_r: parametro relativo alla scabrezza dei giunti

J_a: parametro relativo all'alterazione dei giunti

Il valore di RQD è definito a partire dai valori forniti dai sondaggi a disposizione come media pesata dei diversi tratti omogenei da un punto di vista del grado di fratturazione.

I valori di J_n, J_r e J_a vengono invece definiti tramite le informazioni fornite sia dai rilievi geostrukturali sia dalle schede stratigrafiche dei sondaggi.

Il valore di Q è pari a

$$Q = Q' \times (J_w/SRF)$$

con

J_w: parametro relativo alla condizione idraulica

SRF: parametro relativo alle condizioni tensionali

Q viene determinato considerando il rapporto J_w/SRF pari a 1 in modo tale da poter disporre di una classificazione degli ammassi svincolata da qualsiasi effetto al contorno connesso allo scavo della galleria. In questo modo Q = Q' e può essere correlato al GSI per la valutazione dell'involuppo di rottura dell'ammasso roccioso in funzione delle caratteristiche strutturali

intrinseche. Questi aspetti verranno invece considerati nei calcoli geotecnici e strutturali di verifica delle sezioni di scavo.

Analisi e sintesi dei dati a disposizione

Stazioni geomeccaniche

Si è proceduto a sintetizzare le informazioni raccolte in ciascuna stazione geomeccanica in merito a:

- numero e tipologia di famiglia di giunto;
- giacitura media di ciascuna famiglia;
- spaziatura media di ciascuna famiglia;
- persistenza media di ciascuna famiglia;
- geometria e scabrezza dei giunti;
- grado di alterazione;
- apertura;
- riempimento;
- presenza o meno di acqua.

Le caratteristiche medie principali della famiglia dei giunti di strato sono:

- geometria planare;
- da lisce a rugose;
- persistenza 3 – 20 m;
- alterazione da debole a moderata;
- apertura tra 1 - 10 mm;
- riempimento assente;
- assenza di acqua.

Le caratteristiche medie principali dei giunti di fratturazione sono:

- geometria planare;
- da lisce a rugose;
- persistenza 1 – 3 m;
- alterazione da debole a moderata;
- apertura tra 1 e 10 mm;
- riempimento assente;
- assenza di acqua.

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Tabella 2 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale – Analisi e sintesi dei dati a disposizione –
Caratteristiche dei giunti da stazioni geostrukturali 1995

CARATTERISTICHE GIUNTI DA STAZIONI GEOMECCANICHE - CAMPAGNA DI INDAGINE 1995										
Stazione geomeccanica	Famiglia	Giacitura (°)	Spaz. (cm)	Persist. (m)	Apertura (mm)	Geometria	Scabrezza	Alterazione	Riempimento	Acqua
1	ST	335/11	85.0	3 - 10	0.7	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
	K1	71/89	40.0	10 - 20	> 10	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
2	K1	83/79	25.0	1 - 3	0.7	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
	K2	200/83	40.0	1 - 3	0.7	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
	K3	267/73	30.0	1 - 3	0.8	PLA	liscia	deb. alterata	assente	asciutta
	K4	90/55	30.0	1 - 3	0.5	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
3	ST	189/17	200.0	10 - 20	0.8	PLA	liscia	deb. alterata	assente	asciutta
	K1	73/87	60.0	1	0.5	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
	K2	120/85	40.0	1 - 3	0.5	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
	K3	77/68	20.0	1 - 3	0.5	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
	K4	55/45	100.0	1 - 3	0.5	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
4	ST	183/21	60.0	3 - 10	0.7	PLA	liscia	mod. alterata	assente	asciutta
	K1	271/87	40.0	1 - 3	0.8	PLA	liscia	mod. alterata	assente	asciutta
5	ST	192/31	60.0	1 - 3	> 10	PLA	rugosa	mod. alterata	assente	asciutta
	K1	55/73	50.0	1 - 3	> 10	PLA	rugosa	mod. alterata	assente	asciutta
6	ST	60/10	60.0	3 - 10	0.8	PLA	liscia	deb. alterata	assente	asciutta
	K1	255/79	20.0	1 - 3	0.6	PLA	liscia	deb. alterata	assente	asciutta
	K2	336/71	60.0	1 - 3	0.7	PLA	liscia	mod. alterata	assente	asciutta
7	ST	266/4	60.0	1 - 3	> 10	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
	K1	91/90	60.0	1 - 3	10.0	PLA	liscia	deb. alterata	assente	asciutta
	K2	347/88	40.0	1 - 3	10.0	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
8	ST	08/05	100.0	3 - 10	> 10	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
	K1	258/86	60.0	1 - 3	10.0	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
	K2	271/64	100.0	1 - 3	10.0	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
	K3	180/82	100.0	1 - 3	10.0	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
9	ST	8/6	60.0	1 - 3	0.7	PLA	liscia	mod. alterata	assente	asciutta
	K1	78/89	100.0	1 - 3	0.7	PLA	liscia	mod. alterata	assente	asciutta
	K2	188/86	100.0	< 1	0.8	PLA	liscia	mod. alterata	assente	asciutta
10	ST	285/39	20.0	1 - 3	10.0	PLA	liscia	mod. alterata	assente	asciutta
	K1	83/62	100.0	1 - 3	0.7	OND	rugosa	mod. alterata	assente	asciutta
	K2	170/50	40.0	1 - 3	10.0	PLA	liscia	mod. alterata	assente	asciutta
11	ST	299/20	200.0	3 - 10	0.8	PLA	rugosa	mod. alterata	assente	asciutta
	K1	82/86	40.0	1 - 3	0.7	PLA	rugosa	mod. alterata	assente	asciutta
	K2	170/55	20.0	3 - 10	> 10	PLA	liscia	mod. alterata	assente	asciutta
	K3	110/30	20.0	1 - 3	0.7	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
12	ST	148/11	100.0	1 - 3	10.0	PLA	liscia	deb. alterata	assente	asciutta
	K1	271/84	100.0	1 - 3	> 10	PLA	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
	K2	201/82	60.0	1 - 3	10.0	SEG	rugosa	deb. alterata	assente	asciutta
13	ST	351/43	60.0	1 - 3	> 10	PLA	liscia	mod. alterata	assente	asciutta
	K1	95/85	20.0	1 - 3	0.7	PLA	liscia	mod. alterata	assente	asciutta
	K2	200/30	20.0	1 - 3	0.7	PLA	liscia	mod. alterata	assente	asciutta

I giunti di fratturazione sono quindi discontinui a causa di una persistenza < 3 m.

L'apertura di 10 mm di alcuni giunti è riconducibile all'azione erosiva degli agenti atmosferici, che hanno allargato i giunti degli affioramenti rocciosi.

Si riporta in Tabella 2 l'elenco delle caratteristiche delle famiglie di giunto, definite come media pesata dei caratteri individuati in funzione della loro frequenza.

Il numero delle famiglie di giunto varia da 3 a 4 come indicato nel capitolo 6.3.

La giacitura è espressa come direzione di immersione/inclinazione.

La geometria dei giunti è indicata con la sigla PLA se planare, OND se ondulata e SEG se segmentata/irregolare.

Sondaggi geognostici

I sondaggi di riferimento sono 4:

- S10bis: tratto in roccia da 3.3 m fino a fondo foro a 13 m di profondità;
- S20: tratto in roccia da piano campagna fino a fondo foro a 15 m di profondità;
- S22: tratto in roccia da 23.4 m fino a fondo foro a 35 m di profondità;
- S27: tratto in roccia da 4.5 m fino a fondo foro a 70.3 m di profondità.

Si è proceduto a sintetizzare le informazioni raccolte in ciascuna scheda descrittiva delle condizioni dei giunti in merito a:

- numero e tipologia di famiglia di giunto;
- giacitura media di ciascuna famiglia;
- geometria e scabrezza dei giunti;
- grado di alterazione;
- apertura;
- riempimento;
- presenza o meno di acqua.

La spaziatura e la persistenza dei giunti non sono state determinate vista l'impossibilità di definire queste due grandezze in corrispondenza di una verticale di sondaggio.

Il numero delle famiglie di giunto varia da 3 a 4, considerando anche la stratificazione fino ai 25 m di profondità per ridursi a 2 per maggiori profondità.

Si conferma quindi in questa prima fase un buon accordo tra i dati forniti dalle stazioni geostrutturali e dai sondaggi, definendo un quadro generale di territorio relativamente indisturbato tettonicamente ed omogeneo da un punto di vista della distribuzione delle famiglie di giunto.

La riduzione del numero di famiglie di giunto a profondità modeste conferma che la Dolomia Principale sia caratterizzata da una struttura massiva con elevato grado litoide.

Le caratteristiche medie principali della famiglia dei giunti di strato sono:

- geometria planare;
- da lisce a rugose;
- persistenza: non definita;
- alterazione da debole ad assente;

- apertura < 1 mm a partire dai 25 m di profondità;
- riempimento assente o calcite;
- assenza di acqua.

Le caratteristiche medie principali dei giunti di fratturazione sono:

- geometria planare;
- da lisce a rugose;
- persistenza: non definita;
- alterazione da debole a moderata;
- apertura < 1 mm a partire dai 25 m di profondità;
- riempimento assente o breccia;
- assenza di acqua.

Si riporta in Tabella 3 l'elenco delle caratteristiche delle famiglie di giunto, definite come valore medio dei caratteri individuati.

Le informazioni desunte dalle schede stratigrafiche dei sondaggi sono state organizzate con la modalità di una stazione geostrutturale di superficie.

I sondaggi S10bis, S20, S22 sono sintetizzati con una unica "stazione geostrutturale" vista l'uniformità delle condizioni dei giunti in relazione alle limitate profondità raggiunte.

Il sondaggio S27 è stato invece schematizzato tramite 14 "stazioni geostrutturali" che indicano chiaramente un miglioramento dei giunti con la profondità.

L'identificazione delle suddette "stazioni geostrutturali" avviene con il nome del sondaggio e l'intervallo di profondità di riferimento.

Non essendo possibile definire la giacitura dei giunti si riporta la loro inclinazione rispetto al piano orizzontale. Questa informazione è stata utilizzata per raggruppare i giunti in famiglie. Si nota infatti che esiste una buona corrispondenza sia in relazione al numero delle famiglie di giunto sia in relazione all'inclinazione dei giunti derivante dalle stazioni geomeccaniche di superficie e dai sondaggi.

L'inclinazione sub – orizzontale della stratificazione è stata confrontata con le giaciture dedotte dai rilievi geologici di superficie.

La geometria dei giunti è indicata con la sigla PLA se planare, OND se ondulata e SEG se segmentata/irregolare.

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Tabella 3 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale – Analisi e sintesi dei dati a disposizione –
Caratteristiche dei giunti dai sondaggi 1995

CARATTERISTICHE GIUNTI DA SONDAGGI GEOGNOSTICI - CAMPAGNA DI INDAGINE 1995										
Sondaggio prof. (m)	Famiglia	Inclinaz. p.o. (°)	Spaz. (cm)	Persist. (m)	Apertura (mm)	Geometria	JRC	Alterazione	Riempimento	Acqua
S10bis (3.3 - 13)	ST	sub-orizz.	-	-	da chiusa ad aperta	PLA	-	assente	assente	asciutta
	K1	sub-vert.	-	-	da chiusa ad aperta	SEG	-	assente	assente	asciutta
	K2	40 - 45	-	-	da chiusa ad aperta	PLA	-	assente	calcite	asciutta
S20 (0 - 15)	ST	sub-orizz.	-	-	da chiusa ad aperta	PLA	2 - 4 10 - 12	talora ossidate	assente	asciutta
	K1	sub-vert.	-	-	da chiusa ad aperta	PLA	2 - 4 12 - 14	talora ossidate	assente	asciutta
	K2	40 - 45	-	-	da chiusa ad aperta	PLA	4 - 6	talora ossidate	assente	asciutta
S22 (23.4 - 35)	ST	sub-orizz.	-	-	da chiusa ad aperta	da PLA a SEG	2 - 4 12 - 14	talora ossidate	assente	asciutta
	K1	sub-vert.	-	-	da chiusa ad aperta	PLA	2 - 4	talora ossidate	assente	asciutta
S27 (5 - 10)	ST	0 - 10	-	-	1 - 3	SEG	10 - 12	poco ossidata	calcite	asciutta
	K1	sub-vert.	-	-	1 - 2	PLA	4 - 6	molto ossidata	breccia	asciutta
	K2	0 - 30	-	-	1 - 2	da PLA a OND	4 - 8	poco ossidata	assente	asciutta
S27 (10 - 15)	ST	0	-	-	2	OND	4 - 6	assente	limo sabbioso	asciutta
	K1	sub-vert.	-	-	1	PLA	6 - 8	poco ossidata	breccia	asciutta
	K2	10 - 30	-	-	1	PLA	6 - 8	poco ossidata	breccia	asciutta
	K3	30 - 60	-	-	1	PLA	4 - 6	mediamente ossidata	assente	asciutta
S27 (15 - 21)	ST	sub-orizz.	-	-	1 - 2	PLA	-	assente	-	asciutta
	K1	20 - 50	-	-	1 - 2	PLA	4 - 8	mediamente ossidata	breccia	asciutta
	K2	30 - 70	-	-	1 - 2	OND	-	mediamente ossidata	breccia	asciutta

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

CARATTERISTICHE GIUNTI DA SONDAGGI GEOGNOSTICI - CAMPAGNA DI INDAGINE 1995										
Sondaggio prof. (m)	Famiglia	Inclinaz. p.o. (°)	Spaz. (cm)	Persist. (m)	Apertura (mm)	Geometria	JRC	Alterazione	Riempimento	Acqua
S27 (21 - 24)	ST	0	-	-	chiusa	PLA	2	assente	assente	asciutta
	K1	sub-vert.	-	-	da chiusa a deb. aperta	PLA	4 - 6	debolmente ossidata	assente	asciutta
	K2	20 - 30	-	-	da chiusa a deb. aperta	PLA	4 - 6	debolmente ossidata	assente	asciutta
S27 (24 - 30)	ST	0 - 20	-	-	0 - 1	PLA	-	debolmente ossidata	assente	asciutta
	K1	30 - 70	-	-	2	PLA	4 - 10	mediamente ossidata	breccia	asciutta
S27 (30 - 33)	ST	0 - 20	-	-	0 - 1	PLA	-	assente	assente	asciutta
	K1	70 - 90	-	-	0 - 1	PLA	-	assente	calcite	asciutta
S27 (33 - 39)	ST	0 - 20	-	-	0 - 1	PLA	-	assente	calcite	asciutta
	K1	90	-	-	0 - 1	SEG	6 - 8	assente	assente	asciutta
	K2	0 - 20	-	-	1 - 5	OND	6 - 8	assente	breccia	asciutta
S27 (39 - 45)	ST	0 - 20	-	-	0 - 1	PLA	4 - 6	debolmente ossidata	calcite	asciutta
	K1	70 - 90	-	-	0 - 1	PLA	4 - 6	mediamente ossidata	calcite	asciutta
S27 (45 - 48)	ST	0 - 20	-	-	0 - 1	PLA	2 - 6	debolmente ossidata	calcite	asciutta
	K1	50 - 70	-	-	0 - 1	PLA	-	molto ossidata	calcite	asciutta
S27 (48 - 54)	K1	60 - 70	-	-	0 - 1	PLA	4 - 6	debolmente ossidata	assente	asciutta
S27 (54 - 57)	ST	0 - 20	-	-	0 - 1	PLA	4 - 10	debolmente ossidata	assente	asciutta
	K1	50 - 80	-	-	0 - 1	PLA	4 - 8	debolmente ossidata	assente	asciutta
S27 (57 - 63)	ST	0 - 30	-	-	0 - 1	PLA	4 - 6	debolmente ossidata	assente	asciutta
	K1	40 - 70	-	-	0 - 1	PLA	4 - 6	debolmente ossidata	assente	asciutta
S27 (63 - 66)	ST	0 - 20	-	-	0 - 1	PLA	-	debolmente ossidata	calcite	asciutta
	K1	90	-	-	0 - 1	SEG	-	debolmente ossidata	assente	asciutta
S27 (66 - 70.3)	ST	0 - 20	-	-	0 - 1	PLA	4 - 6	assente	assente	asciutta
	K1	70 - 80	-	-	0 - 1	PLA	4	debolmente ossidata	assente	asciutta

Preparazione dei dati di ingresso al programma Dati roccia

Si espone di seguito il criterio di verifica e preparazione dei dati di ingresso al programma sulla base della loro provenienza.

Il programma utilizza una codifica specifica per descrivere la condizione dei giunti, perciò si riporta di seguito la corrispondenza tra detta codifica e la terminologia utilizzata nelle schede delle stazioni geomeccaniche e dei sondaggi geognostici.

Grado di fratturazione

La Tabella 4 riporta per ciascun sondaggio le profondità raggiunte in roccia e il valore di RQD corrispondente, che risulta compreso tra 50 – 70%.

I suddetti valori sono congruenti con quelli definiti a partire dalla spaziatura delle famiglie di giunto, definita per le stazioni geomeccaniche di superficie del 1995 tramite l'equazione

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot J_v \text{ con } J_v \text{ pari al numero dei giunti per m}^3.$$

Il valore di J_v è stato assimilato al valore del numero di giunti per metro lineare

$$J_v = 1/S_1 + 1/S_2 + \dots + 1/S_i \text{ con } S_i \text{ spaziatura media della famiglia di giunto } K_i.$$

Ne deriva che il numero di giunti calcolato su metro lineare rappresenta un valore uguale o inferiore al numero di giunti per m^3 .

Tabella 4 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale - Preparazione dei dati di ingresso al programma Dati roccia – Valori di RQD da sondaggi geognostici 1995

sondaggio #	sigla	galleria #	tratto #	z1 [m]	z2 [m]	unità geom.	RQD [%]
1	S10BIS	1	1	3.00	10.00	DP	70
2	S20	1	1	0.00	15.00	DP	50
3	S22	1	1	24.00	35.00	DP	50
4	S27	1	1	4.50	70.30	DP	63

La Tabella 5 riporta per ciascuna stazione geomeccanica il valore di RQD calcolato con l'espressione suddetta, valida per $RQD > 50\%$, come confermato dai sondaggi geognostici.

I valori di RQD così calcolati sono compresi tra 70 – 100%, limite superiore congruente con quello dato dai sondaggi e pari a $RQD = 50 - 70\%$.

La classificazione geomeccanica della Dolomia Principale verrà quindi realizzata sulla base dei valori di RQD derivanti dai sondaggi.

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Tabella 5 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale - Preparazione dei dati di ingresso al programma Dati roccia – Valori di RQD da stazioni geomeccaniche 1995

GRADO DI FRATTURAZIONE DA STAZIONI GEOMECCANICHE - CAMPAGNA DI INDAGINE 1995							
Stazione geomeccanica	Famiglia	Giacitura (°)	Spaz. (cm)	Persist. (m)	1/Si	Jv	RQD (%)
1	ST	335/11	85.0	3 - 10	1.18	3.68	102.87
	K1	71/89	40.0	10 - 20	2.50		
2	K1	83/79	25.0	1 - 3	4.00	13.17	71.55
	K2	200/83	40.0	1 - 3	2.50		
	K3	267/73	30.0	1 - 3	3.33		
	K4	90/55	30.0	1 - 3	3.33		
3	ST	189/17	200.0	10 - 20	0.50	10.67	79.80
	K1	73/87	60.0	1	1.67		
	K2	120/85	40.0	1 - 3	2.50		
	K3	77/68	20.0	1 - 3	5.00		
	K4	55/45	100.0	1 - 3	1.00		
4	ST	183/21	60.0	3 - 10	1.67	4.17	101.25
	K1	271/67	40.0	1 - 3	2.50		
5	ST	192/31	60.0	1 - 3	1.67	3.67	102.90
	K1	55/73	50.0	1 - 3	2.00		
6	ST	60/10	60.0	3 - 10	1.67	8.33	87.50
	K1	255/79	20.0	1 - 3	5.00		
	K2	336/71	60.0	1 - 3	1.67		
7	ST	266/4	60.0	1 - 3	1.67	5.83	95.75
	K1	91/90	60.0	1 - 3	1.67		
	K2	347/88	40.0	1 - 3	2.50		
8	ST	08/05	100.0	3 - 10	1.00	4.67	99.60
	K1	258/86	60.0	1 - 3	1.67		
	K2	271/64	100.0	1 - 3	1.00		
	K3	180/82	100.0	1 - 3	1.00		
9	ST	8/6	60.0	1 - 3	1.67	3.67	102.90
	K1	78/89	100.0	1 - 3	1.00		
	K2	188/86	100.0	< 1	1.00		
10	ST	285/39	20.0	1 - 3	5.00	8.50	86.95
	K1	83/62	100.0	1 - 3	1.00		
	K2	170/50	40.0	1 - 3	2.50		
11	ST	299/20	200.0	3 - 10	0.50	13.00	72.10
	K1	82/86	40.0	1 - 3	2.50		
	K2	170/55	20.0	3 - 10	5.00		
	K3	110/30	20.0	1 - 3	5.00		
12	ST	148/11	100.0	1 - 3	1.00	3.67	102.90
	K1	271/64	100.0	1 - 3	1.00		
	K2	201/82	60.0	1 - 3	1.67		
13	ST	351/43	60.0	1 - 3	1.67	11.67	76.50
	K1	95/85	20.0	1 - 3	5.00		
	K2	200/30	20.0	1 - 3	5.00		

Condizione dei giunti da stazioni geostrutturali di superficie (1995)

Le informazioni contenute nella Tabella 2 sono state predisposte per essere inserite nel programma Dati roccia sulla base dei codici richiesti. Si riporta di seguito la sintesi delle correlazioni utilizzate:

- Persistenza: si sono considerati continui i giunti con persistenza > 3 m, discontinui quelli con persistenza < 3 m;
- Geometria: la dizione PLA e OND indica un giunto continuo rispettivamente a geometria planare e ondulata. Il termine DISC indica un giunto discontinuo;

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

- Scabrezza: la rugosità non è definita in modo univoco tramite un valore di JRC, perciò ai termini “*liscia*” e “*rugosa*” si sono associati rispettivamente valori di JRC pari a 4 e 10;
- Alterazione: l’alterazione viene definita nel programma con i termini TRASCURABILE, MEDIA, FORTE, perciò l’alterazione indicata come “*debole*” e “*moderata*” viene rispettivamente codificata con i termini TRASCURABILE e MEDIA;
- Apertura: i giunti sono definiti nel programma come chiusi, accostati, aperti rispettivamente per aperture < 1mm, 1 – 5 mm, > 5 mm. Ne deriva che essendo l’apertura massima individuata nelle stazioni geomeccaniche > 10 mm si assume come valore massimo quello di 10 mm.

La Tabella 6 riporta i dati di ingresso al programma sulla base delle correlazioni descritte in precedenza per ciascuna famiglia di giunto di ciascuna stazione geomeccanica.

Tabella 6 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale - Preparazione dei dati di ingresso al programma Dati roccia- Condizioni dei giunti da stazioni geostrutturali 1995

rilievo #	sigla	unità geom.	galleria #	sistema	spaziatura [m]	JRC	JCS	andamento	apertura [mm]	riempimento	alterazione
1	ST01	DP	1	S	0.85	10.00	0.00	PLA	0.7	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.40	10.00	0.00	PLA	10.0	ASSENTE	TRASCURABILE
2	ST02	DP	1	0	0.00	0.00	0.00	0	0.0	0	0
				K1	0.25	10.00	0.00	DISC	0.7	ASSENTE	TRASCURABILE
				K2	0.40	10.00	0.00	DISC	0.7	ASSENTE	TRASCURABILE
				K3	0.30	4.00	0.00	DISC	0.8	ASSENTE	TRASCURABILE
3	ST03	DP	1	S	2.00	4.00	0.00	PLA	0.8	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.60	10.00	0.00	DISC	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
				K2	0.40	10.00	0.00	DISC	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
				K3	0.20	10.00	0.00	DISC	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
				K4	1.00	10.00	0.00	DISC	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
4	ST04	DP	1	S	0.60	4.00	0.00	PLA	0.7	ASSENTE	MEDIA
				K1	0.40	4.00	0.00	DISC	0.8	ASSENTE	MEDIA
5	ST05	DP	1	S	0.60	10.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	MEDIA
				K1	0.50	10.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	MEDIA
6	ST06	DP	1	S	0.60	4.00	0.00	PLA	0.8	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.20	4.00	0.00	DISC	0.6	ASSENTE	TRASCURABILE
				K2	0.60	4.00	0.00	DISC	0.7	ASSENTE	MEDIA
7	ST07	DP	1	S	0.60	10.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.60	4.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K2	0.40	10.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	TRASCURABILE
8	ST08	DP	1	S	1.00	10.00	0.00	PLA	10.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.60	10.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K2	1.00	10.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K3	1.00	10.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	TRASCURABILE
9	ST09	DP	1	S	0.60	4.00	0.00	DISC	0.7	ASSENTE	MEDIA
				K1	1.00	4.00	0.00	DISC	0.7	ASSENTE	MEDIA
				K2	1.00	4.00	0.00	DISC	0.8	ASSENTE	MEDIA
10	ST10	DP	1	S	0.20	4.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	MEDIA
				K1	1.00	10.00	0.00	DISC	0.7	ASSENTE	MEDIA
				K2	0.40	4.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	MEDIA
11	ST11	DP	1	S	2.00	10.00	0.00	PLA	0.8	ASSENTE	MEDIA
				K1	0.40	10.00	0.00	DISC	0.7	ASSENTE	MEDIA
				K2	0.20	4.00	0.00	PLA	10.0	ASSENTE	MEDIA
				K3	0.20	10.00	0.00	DISC	0.7	ASSENTE	TRASCURABILE
12	ST12	DP	1	S	1.00	4.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	1.00	10.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K2	0.60	10.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	TRASCURABILE
13	ST13	DP	1	S	0.60	4.00	0.00	DISC	10.0	ASSENTE	MEDIA
				K1	0.20	4.00	0.00	DISC	0.7	ASSENTE	MEDIA
				K2	0.20	4.00	0.00	DISC	0.7	ASSENTE	MEDIA

Condizione dei giunti da sondaggi geognostici (1995)

Le informazioni contenute nella Tabella 5 sono state predisposte per essere inserite nel programma Dati roccia sulla base dei codici richiesti. Si riporta di seguito la sintesi delle correlazioni utilizzate:

- **Persistenza:** non essendo stato possibile definirla sulla base delle verticali dei sondaggi si è fatto riferimento alle informazioni desunte dalle stazioni geomeccaniche e dai rilievi geologici. Ne deriva che i giunti di strato sono considerati continui mentre i giunti di fratturazione discontinui;
- **Geometria:** i giunti di strato sono stati classificati come planari, PLA, mentre i giunti di fratturazione come discontinui, DISC, sulla base delle informazioni desunte dalle stazioni geomeccaniche e dai rilievi geologici;
- **Scabrezza:** le schede stratigrafiche riportano un campo di variabilità del valore di JRC, si è quindi deciso di adottare il valore medio. Laddove non è stato indicato il valore di JRC si è provveduto ad associare il valore medio più diffuso per quella famiglia di giunto;
- **Alterazione:** l'alterazione viene definita nel programma con i termini TRASCURABILE, MEDIA, FORTE. Ne deriva che i termini usati nelle schede dei sondaggi "*assente*" e "*debolmente ossidato*" sono stati fatti corrispondere alla dizione TRASCURABILE, mentre i termini "*mediamente e fortemente ossidato*" alla dizione MEDIA;
- **Apertura:** i giunti sono definiti nel programma come chiusi, accostati, aperti rispettivamente per aperture < 1mm, 1 – 5 mm, > 5 mm. Ne deriva che i termini usati nei sondaggi "*da chiusa a debolmente aperta*", "*da chiusa ad aperta*" e "*aperta*" sono stati fatti corrispondere rispettivamente ad aperture di 1 mm, 2 mm e 5 mm. Dove è indicato un intervallo di apertura si è considerato un valore medio;
- **Riempimento:** il programma utilizza per descrivere la tipologia di riempimento le seguenti dizioni CALCITE, ASSENTE, BRECCIA, MOLLE. Il termine usato nelle schede dei sondaggi "*calcite*" corrisponde a CALCITE, "*assente*" e "*rara calcite*" corrispondono ad ASSENTE, "*calcite e roccia fratturata*" corrisponde a BRECCIA, "*limo sabbioso*" a MOLLE.

La Tabella 7 riporta i dati di ingresso al programma sulla base delle correlazioni descritte in precedenza per ciascuna famiglia di giunto di ciascuna stazione geomeccanica.

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Tabella 7 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale - Preparazione dei dati di ingresso al programma Dati roccia – Condizioni dei giunti da sondaggi 1995

rilevo #	sigla	unità geom.	galleria #	sistema	spaziatura [m]	JRC	JCS	andamento	apertura [mm]	riempimento	alterazione
1	S10bis	DP	1	S	0.00	8.00	0.00	PLA	2.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.00	8.00	0.00	DISC	2.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K2	0.00	10.00	0.00	DISC	2.0	CALCITE	TRASCURABILE
2	S20	DP	1	S	0.00	8.00	0.00	PLA	2.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.00	8.00	0.00	DISC	2.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K2	0.00	5.00	0.00	DISC	2.0	ASSENTE	TRASCURABILE
3	S22	DP	1	S	0.00	8.00	0.00	PLA	2.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.00	3.00	0.00	DISC	2.0	ASSENTE	TRASCURABILE
4	S27-10	DP	1	S	0.00	11.00	0.00	PLA	2.0	CALCITE	TRASCURABILE
				K1	0.00	5.00	0.00	DISC	1.5	BRECCIA	MEDIA
				K2	0.00	6.00	0.00	DISC	1.5	ASSENTE	TRASCURABILE
5	S27-15	DP	1	S	0.00	5.00	0.00	PLA	2.0	MOLLE	TRASCURABILE
				K1	0.00	7.00	0.00	DISC	1.0	BRECCIA	TRASCURABILE
				K2	0.00	7.00	0.00	DISC	1.0	BRECCIA	TRASCURABILE
				K3	0.00	5.00	0.00	DISC	1.0	ASSENTE	MEDIA
6	S27-21	DP	1	S	0.00	8.00	0.00	PLA	1.5	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.00	6.00	0.00	DISC	1.5	BRECCIA	MEDIA
				K2	0.00	5.00	0.00	DISC	1.5	BRECCIA	MEDIA
7	S27-24	DP	1	S	0.00	2.00	0.00	PLA	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.00	5.00	0.00	DISC	1.0	ASSENTE	TRASCURABILE
				K2	0.00	5.00	0.00	DISC	1.0	ASSENTE	TRASCURABILE
8	S27-30	DP	1	S	0.00	5.00	0.00	PLA	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.00	7.00	0.00	DISC	2.0	BRECCIA	MEDIA
9	S27-33	DP	1	S	0.00	5.00	0.00	PLA	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.00	6.00	0.00	DISC	0.5	CALCITE	TRASCURABILE
10	S27-39	DP	1	S	0.00	5.00	0.00	PLA	0.5	CALCITE	TRASCURABILE
				K1	0.00	7.00	0.00	DISC	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
				K2	0.00	7.00	0.00	DISC	2.5	BRECCIA	TRASCURABILE
11	S27-45	DP	1	S	0.00	5.00	0.00	PLA	0.5	CALCITE	TRASCURABILE
				K1	0.00	5.00	0.00	DISC	0.5	ASSENTE	MEDIA
12	S27-48	DP	1	S	0.00	4.00	0.00	PLA	0.5	CALCITE	TRASCURABILE
				K1	0.00	5.00	0.00	DISC	0.5	CALCITE	MEDIA
13	S27-54	DP	1	S	0.00	5.00	0.00	PLA	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
14	S27-57	DP	1	S	0.00	7.00	0.00	PLA	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.00	6.00	0.00	DISC	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
15	S27-63	DP	1	S	0.00	5.00	0.00	PLA	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.00	5.00	0.00	DISC	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
16	S27-66	DP	1	S	0.00	5.00	0.00	PLA	0.5	CALCITE	TRASCURABILE
				K1	0.00	5.00	0.00	DISC	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
17	S27-70	DP	1	S	0.00	5.00	0.00	PLA	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE
				K1	0.00	4.00	0.00	DISC	0.5	ASSENTE	TRASCURABILE

Analisi Dati roccia – Caratteri strutturali dell'ammasso

Si è deciso di eseguire una serie di analisi al fine di valutare correttamente la variabilità della condizione dei giunti in funzione della tipologia di indagine e della relativa profondità.

Le analisi sono:

1. Condizione dei giunti da stazioni geomeccaniche (1995);
2. Condizione dei giunti da sondaggi geognostici S10bis, S20, S22, S27 (1995);
3. Condizione dei giunti da sondaggio S27 a partire dai 25 m di profondità.

Si riportano di seguito i risultati delle suddette analisi in termini di valori dei parametri J_n , J_r e J_a .

Analisi 1 – Stazioni geomeccaniche (1995)

La condizione dei giunti è stata analizzata sulla base delle sole stazioni geomeccaniche di superficie:

- $J_n = 10.3$ corrisponde ad un numero di 3 famiglie di giunto;
- $J_r = 3.9$, questo valore è influenzato dal fatto che solo i giunti di stratificazione sono continui;
- $J_a = 4.5$ corrisponde a giunti con pareti accostate con riempimento dato da materiale granulare privo di argilla.

Analisi 2 – Sondaggi geognostici (1995)

La condizione dei giunti è stata analizzata sulla base delle informazioni derivanti dalla descrizione geomeccanica dei sondaggi geognostici:

- $J_n = 6.5$ corrispondente ad un numero di 2 famiglie di giunto con ulteriori giunti sparsi;
- $J_r = 3.6$, questo valore è influenzato dal fatto che solo i giunti di stratificazione sono continui;
- $J_a = 4.1$ corrisponde a giunti con pareti accostate con riempimento rappresentato da materiale granulare privo di argilla.

La riduzione del numero di famiglie di giunto con la profondità influisce sul valore di J_r , che si riduce leggermente rispetto all'analisi 1 con la riduzione del numero di famiglie di giunto di fratturazione discontinuo rispetto ai giunti continui di strato.

L'analisi evidenzia un lieve miglioramento della condizione dei giunti con la profondità.

Analisi 3 – Sondaggio geognostico S27 a partire dai 25 m di profondità (1995)

Il sondaggio S27 raggiunge la profondità massima di indagine pari a 70 m. L'analisi della condizione dei giunti con la profondità ha messo in evidenza un netto miglioramento a partire dai 25 m di profondità. I primi 25 m di sondaggio presentano infatti una condizione dei giunti del tutto confrontabile con quella degli altri sondaggi che raggiungono all'incirca questa profondità, e delle stazioni geomeccaniche di superficie. I valori sono:

- $J_n = 4.8$ corrispondente ad un numero di 2 famiglie di giunto con qualche giunto sparso;
- $J_r = 3.3$ questo valore è influenzato dal fatto che solo i giunti di stratificazione sono continui;
- $J_a = 2.1$ corrisponde a pareti del giunto chiuse con presenza di patine di ossidazione e/o particelle sabbiose o di roccia frantumata.

L'analisi evidenzia chiaramente che il numero dei giunti si riduce a 2 con la profondità e che l'alterazione dei giunti è praticamente trascurabile per le profondità raggiunte dal sondaggio.

Una famiglia è rappresentata dai giunti di strato, che sono sub – orizzontali con geometria continua e planare, l'altra è costituita da una famiglia di giunti di fratturazione con inclinazione medio – alta e geometria discontinua.

La presenza di queste due famiglie con le suddette caratteristiche concorre a definire un valore di $J_r = 3.3$.

Il miglioramento della condizione dei giunti si fa più marcato a partire dai 40 – 50 m di profondità alla quale si può considerare una condizione di ammasso roccioso indisturbato a causa della riduzione del detensionamento dovuto alla morfologia con la profondità.

Definiti il numero delle famiglie di giunto e le caratteristiche dei giunti è possibile definire il valore di Q' e quindi di GSI, conoscendo il valore di RQD.

L'analisi del grado di fratturazione sulla base di tutti i sondaggi realizzati porta a definire un valore medio di $RQD = 60\%$.

Se si considera il valore di fratturazione nel sondaggio S27 a partire dai 25 m di profondità si ottiene $RQD = 65\%$ perciò si è ritenuto di considerare al momento solo il valore di $RQD = 60\%$.

Sulla base delle tre analisi eseguite è possibile definire i seguenti valori di Q' e di GSI:

- Analisi 1: $Q' = 5.07$ e $GSI = 58.6$;
- Analisi 2: $Q' = 8.1$ e $GSI = 63$;
- Analisi 3: $Q' = 19.5$ e $GSI = 70.7$.

L'analisi evidenzia come l'azione del detensionamento topografico e dell'erosione degli agenti atmosferici concorra a ridurre di circa 10 punti il valore di GSI rispetto alla profondità massima raggiunta dai sondaggi di 70 m.

Si stima perciò da quanto suddetto che si abbia un reale miglioramento delle caratteristiche strutturali degli ammassi rocciosi a partire dai 50 m di profondità.

Analisi Dati roccia – Resistenza a compressione monoassiale

La determinazione della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta σ_c per la Dolomia Principale è stata realizzata sulla base dei dati forniti dalle prove di laboratorio della campagna di indagine del 1995, in particolare si sono utilizzate:

- 23 prove di compressione monoassiale con misura delle deformazioni;
- 14 prove triassiali;
- 19 prove di trazione indiretta tipo brasiliana;
- 30 prove di point – load.

Questi dati sono stati inseriti all'interno del programma Dati roccia che ha permesso di apprezzare il campo di variabilità dei valori andando così a definire un valore medio di riferimento. E' risultato che i campi di variabilità dei parametri misurati sono pari a:

- $\sigma_c = 80 \pm 33$ MPa da prove di compressione monoassiale;
- $\sigma_c = 63 \pm 33$ MPa da prove di point – load;
- $\sigma_t = 6 \pm 2.5$ MPa da prove di trazione;
- $m_i = 18$ da prove triassiali.

Si è deciso pertanto di scegliere il valore medio di $\sigma_c = 80$ MPa, fornito dalle prove di compressione realizzate con rilievo delle deformazioni, e di $m_i = 18$.

Il campo di variabilità del valore di σ_c trova un buon riscontro con quello fornito dalle prove con martello di Schmidt in affioramento che è pari a 70 – 116 MPa.

Questa coppia di valori permette di definire un inviluppo medio di rottura che sembra interpolare correttamente i dati sperimentali, considerando il loro campo di variabilità, si veda figura seguente.

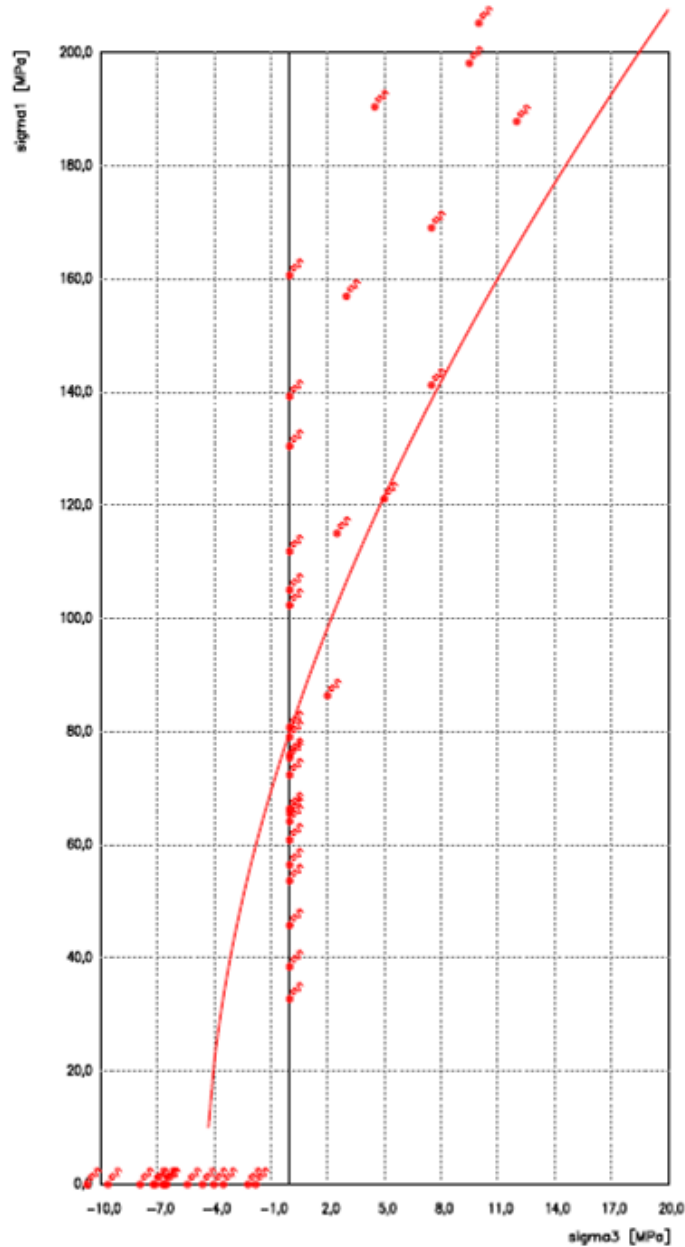


Figura 2 – Classificazione degli ammassi rocciosi – Dolomia Principale – Analisi Dati roccia – σ_c del litotipo – Involuppo di rottura medio della roccia intatta

6.4.2 Formazioni sottostanti la Dolomia Principale

Le uniche informazioni disponibili in merito all'assetto strutturale delle formazioni della sequenza permio – triassica presente al di sotto della Dolomia Principale derivano da una serie di stazioni geostrukturali che sono state realizzate in corrispondenza del loro affioramento in val di Centa a qualche chilometro di distanza dall'asse del tracciato nell'ambito del Progetto Preliminare 2011.

In questa occasione sono inoltre stati prelevati alcuni campioni lapidei sui quali si sono eseguite prove di point – load.

E' stato possibile così ottenere una prima stima del valore di resistenza a compressione monoassiale dei litotipi.

Le formazioni oggetto delle prove di point-load sono:

- Filladi del Basamento Metamorfico;
- Vulcaniti indifferenziate;
- Arenarie della val Gardena;
- Bellerophon;
- Werfen
- Calcari scuri di Margon;
- Marne della val di Centa;
- Dolomia del Sindech.

I litotipi investigati rappresentano di fatto la variabilità litologica dell'intera sequenza stratigrafica sottostante la Dolomia Principale trattandosi di filladi, arenarie, siltiti, calcari, calcari marnosi, calcareniti, marne, dolomie e dolomie afanitiche terrigene.

Le formazioni della suddetta sequenza permio – triassica per le quali non si dispone di prove di point – load sono state caratterizzate considerando i risultati di questa indagine.

Metodo considerato

Le formazioni appartenenti alla sequenza permio-triassica possono essere raggruppate in due macro-gruppi:

- Formazioni flyschoidi;
- Formazioni dolomitiche.

Le prime sono state classificate sulla base della metodologia fornita da E.Hoek, P.Marinis, 2001 – *Estimating the geotechnical properties of eterogeneous rock masses such as flysch*, le seconde sulla base della procedura classica di valutazione dell'indice GSI.

Le formazioni flyschoidi abbondano nella sequenza e vengono attraversate dalla galleria per un lungo tratto, perciò è di fondamentale importanza ai fini progettuali fornire una adeguata caratterizzazione delle stesse.

La loro peculiarità è la presenza di litotipi con grado litoide estremamente basso, che in funzione della loro percentuale relativa condizionano il futuro comportamento deformativo del cavo.

Le stazioni geostrutturali hanno quindi fornito chiare indicazioni in merito alla tipologia dei materiali presenti ed alla loro frequenza, mentre le prove di point – load hanno evidenziato l'entità del diverso grado litoide.

In sintesi la maggior parte delle formazioni può essere ricondotta alla seguente tipologia di flysch:

- Tipo B: arenarie e/o calcari con sottile interstrato di siltiti e/o marne – marne calcaree;
- Tipo C: arenarie e/o calcari in simile quantità alle siltiti e/o marne – marne calcaree;
- Tipo D: siltiti e/o marne con livelli di arenarie e/o calcari;
- Tipo E: peliti e/o marne argillose con livelli di arenarie e/o calcari.

I valori di σ_c e di m_i da assegnare all'ammasso roccioso, caratterizzato da una elevata variabilità litologica, sono stati definiti come medie pesate dei valori dei singoli litotipi in funzione ovvero della tipologia di flysch:

- Tipo B: si utilizzano i valori delle arenarie/calcari;
- Tipo C: i valori delle arenarie/calcari sono ridotti del 20% mentre quelli dei litotipi più deboli non vengono ridotti;
- Tipo D ed E: i valori delle arenarie/calcari sono ridotti del 40% mentre quelli dei litotipi più deboli non vengono ridotti.

Si è deciso che per flysch con caratteristiche intermedie tra il tipo C e il tipo D si riducono i valori delle arenarie/calcari del 30%, per flysch con caratteristiche intermedie tra il tipo B e C si riducono i valori delle arenarie/calcari del 20%.

Analisi e sintesi dei dati a disposizione

Si rimanda alla “*Relazione geologica e geomorfologica*” per una accurata descrizione dell'assetto lito – stratigrafico delle formazioni geologiche di interesse per il tracciato delle opere in sotterraneo. Di seguito si presenta in modo schematico la caratterizzazione delle stesse riportando i parametri dell'indice RMR89 e il processo seguito per la stima del GSI.

I suddetti indici sono stati valutati separatamente, in particolare il valore di RMR89 deve essere inteso come il valore medio esplicativo dei caratteri strutturali medi dell'ammasso roccioso, perciò verrà utilizzato come valore di riferimento per la successiva parametrizzazione, impiegata poi nelle verifiche geotecniche e strutturali.


Ciascun parametro che compone l'indice RMR89 è indicato con la classe di riferimento che gli compete secondo quanto indicato dal metodo, mentre il relativo punteggio è stato assegnato in funzione del valore medio della suddetta classe.

Si fornisce invece per l'indice GSI il campo di variabilità.

La condizione idraulica è considerata asciutta dal momento che si stanno stimando le caratteristiche intrinseche degli ammassi.

Si riporta il campo di variabilità dei valori di resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta derivati dalle prove con martello di Schmidt delle stazioni geostrutturali e da quelle di point – load sui campioni prelevati dagli affioramenti, considerando i valori più rappresentativi.

Basamento metamorfico

<i>Litotipo</i>		filladi variamente quarzose	
<i>Assetto stratigrafico</i>		scistosità da mm a cm con tendenza alla fissilità	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	20 – 35 Mpa	
	<i>Point - load</i>	20 – 50 Mpa	


RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
		25 - 50	25-50	0.06 – 0.2	Lisci e continui	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	3	5	8	10	15	

GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Ammasso non flyschoide	Piani di scistosità a grande persistenza	Lisce con moderata alterazione	30 - 40

Si è deciso di adottare i seguenti valori medi:

- $\sigma_c = 30$ MPa
- $m_i = 10$

Vulcaniti indifferenziate

<i>Litotipo</i>		andesiti	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Struttura massiva	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	80 - 100 Mpa	

RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
		50 - 100	25-50	0.2 – 0.6	Apertura < 1 mm/lieve rugosità	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	7	8	10	15	15	


GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Ammasso non flyschoide	Molto fratturata	Giunti rugosi leggermente alterati	50 - 60

Il valore di resistenza a compressione della roccia intatta è stata stimata a partire dalle prove di laboratorio realizzate nella campagna di indagini del 1995, dal momento che i campioni raccolti in superficie per le prove di point – load allegate al presente rapporto sono affetti da un grado di alterazione piuttosto elevato. I valori correlati di resistenza della roccia intatta sono infatti pari a 10 – 70 MPa.

Si è deciso di adottare i seguenti valori medi:

- $\sigma_c = 80$ MPa
- $m_i = 20$

Dolomia del Serla inferiore

<i>Litotipo</i>		dolomicriti	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Stratificazione dm con frequente intercalazione pelitica mm	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	-	

RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
		50 - 100	25-50	0.2 – 0.6	Apertura 1-5 mm con riempimento	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	6	8	10	9	15	

GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Ammasso non flyschoide	fratturata	Superfici con riempimento compatto	40 - 50

Non si dispone di prove dirette per questo litotipo, che è quindi stato caratterizzato sulla base dei risultati delle prove di point – load condotte sulla Dolomia del Sindech.

Si è deciso di adottare i seguenti valori medi:

- $\sigma_c = 60$ MPa
- $m_i = 16$

Dolomia della Valsugana

<i>Litotipo</i>		dolomicriti	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Stratificazione cm e dm con rare intercalazioni pelitiche	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	-	

RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
		50 - 100	50-75	0.06 – 0.2 0.2 – 0.6	Apertura < 1 mm con raro riempimento	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	6	10	8	12	15	


GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Ammasso non flyschoide	Molto fratturata	Giunti rugosi leggermente alterati	50 - 60

Non si dispone di prove dirette su questo litotipo, che è stato quindi caratterizzato sulla base dei risultati delle prove di point – load condotte sulla Dolomia del Sindech.

Si è deciso di adottare i seguenti valori medi:

- $\sigma_c = 60$ MPa
- $m_i = 16$

Dolomia del Sindech

<i>Litotipo</i>		Dolomia cristallina	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Stratificazione da dm a massiccia	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	50 - 100 Mpa	

RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
		50 - 100	50-75	0.2 – 0.6	Apertura < 1 mm/ superfici scabre	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	6	10	10	15	15	


GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Ammasso non flyschoide	Molto fratturata	Giunti rugosi leggermente alterati	

Si dispone di prove di point – load su campioni rocciosi prelevati da affioramento.

Si è deciso di adottare i seguenti valori medi:

- $\sigma_c = 60$ MPa
- $m_i = 16$

Arenarie val Gardena

<i>Litotipo</i>		Arenarie, siltiti	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Stratificazione cm con intercalazione pelitica cm	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	20 -35 Mpa	

RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
		25 - 50	25-50	0.06 – 0.2	Riempimento < 5mm	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	3	5	7	10	15	


GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Flysch tipo B	Molto fratturata	Giunti rugosi leggermente alterati	

Si dispone di prove di point – load su campioni rocciosi prelevati da affioramento.

Il flysch di tipo B prevede di utilizzare i valori non ridotti dell'arenaria:

- $\sigma_c = 25$ MPa
- $m_i = 18$

Bellerophon

<i>Litotipo</i>		Calcari, dolomie, marne	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Stratificazione cm e dm con frequenti intercalazioni marnose cm e dm	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	25 -50 Mpa	

RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
		25 - 50	25-50	0.06 – 0.2	Riempimento > 5mm	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	3	5	7	5	15	


GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Flysch tipo C/D	70% Dolomie/calcarei 30% marne	Lisci/leggera alterazione	

<i>Materiale</i>	<i>Valori di partenza</i>		<i>Valori da considerare</i>	
	σ_c (MPa)	m_i	σ_c (MPa)	m_i
Dolomia/calcarei	35	15	25	11
marne	10	10	10	10

Si dispone di prove di point – load su campioni rocciosi prelevati da affioramento. I valori della dolomia/calcare sono stati penalizzati del 30%. Considerando la media pesata dei suddetti valori in funzione della frequenza delle due tipologie di materiale si ottiene per l'ammasso roccioso:

- $\sigma_c = 20$ MPa
- $m_i = 11$

Werfen

<i>Litotipo</i>		Calcari, dolomie, marne	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Stratificazione dm con frequenti intercalazioni marnose cm e dm	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	25 -50 Mpa	

RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
		25 - 50	25-50	0.2 – 0.6	Riempimento < 5mm	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	4	8	10	8	15	


GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Flysch tipo B/C	80% Dolomie/calcarei 20% marne	Leggera rugosità/leggera alterazione	

<i>Materiale</i>	<i>Valori di partenza</i>		<i>Valori da considerare</i>	
	σ_c (MPa)	m_i	σ_c (MPa)	m_i
Dolomia/calcarei	40	15	32	12
marne	10	10	10	10

Si dispone di prove di point – load su campioni rocciosi prelevati da affioramento. I valori della dolomia/calcare sono stati penalizzati del 20%. Considerando la media pesata dei suddetti valori in funzione della frequenza delle due tipologie di materiale si ottiene per l'ammasso roccioso:

- $\sigma_c = 30$ MPa
- $m_i = 12$

Formazione a Gracilis

<i>Litotipo</i>		Dolomie micritiche	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Stratificazione cm e dm con intercalazioni marnose dm	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	-	

RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
		25 - 50	25-50	0.06 – 0.2	Riempimento > 5mm	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	4	8	8	5	15	


GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Flysch tipo B/C	80% Dolomie 20% marne	Leggera rugosità/leggera alterazione	

Materiale	Valori di partenza		Valori da considerare	
	σ_c (MPa)	m_i	σ_c (MPa)	m_i
Dolomia/calcarei	60	16	48	13
marne	10	10	10	10

Non si dispone di prove dirette su questo litotipo, che è stato caratterizzato sulla base dei risultati delle prove di point – load condotte sulla Dolomia del Sindech.. I valori della dolomia/calcare sono stati penalizzati del 20%. Considerando la media pesata dei suddetti valori in funzione della frequenza delle due tipologie di materiale si ottiene per l'ammasso roccioso:

- $\sigma_c = 40$ MPa
- $m_i = 12$

Conglomerato di Voltago

<i>Litotipo</i>		Conglomerati, arenarie, siltiti ed argilliti	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Stratificazione cm e dm con intercalazioni di siltiti ed argilliti dm	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	-	

RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
		5 - 25	25 - 50	0.06 – 0.2	Riempimento > 5mm	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	2	5	8	5	15	


GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Flysch tipo C	70% Dolomie 30% marne	lisce/leggera alterazione	

Materiale	Valori di partenza		Valori da considerare	
	σ_c (MPa)	m_i	σ_c (MPa)	m_i
Arenarie/Conglomerati	35	18	28	14,4
marne	10	10	10	10

Non si dispone di prove dirette su questo litotipo, che è stato caratterizzato sulla base dei risultati delle prove di point – load condotte sulle Arenarie della val Gardena. I valori delle arenarie/conglomerati sono stati penalizzati del 20%. Considerando la media pesata dei suddetti valori in funzione della frequenza delle due tipologie di materiale si ottiene per l'ammasso roccioso:

- $\sigma_c = 20$ MPa
- $m_i = 14$

Calcari scuri di Margon

<i>Litotipo</i>		Calcari, calcari siltosi, marne	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Stratificazione cm con intercalazioni di siltiti ed argilliti cm	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	30 - 70	

RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
				25 - 50	<25	<0.06	
	<i>Punteggio</i>	3	3	5	5	15	


GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Flysch tipo C/D	80% Calcari 20% marne	lisce/leggera alterazione	

<i>Materiale</i>	<i>Valori di partenza</i>		<i>Valori da considerare</i>	
	σ_c (MPa)	m_i	σ_c (MPa)	m_i
calcare	60	15	42	10
marne	10	10	10	10

Si dispone di prove di point – load su campioni rocciosi prelevati da affioramento. I valori dei calcari sono stati penalizzati del 20%. Considerando la media pesata dei suddetti valori in funzione della frequenza delle due tipologie di materiale si ottiene per l'ammasso roccioso:

- $\sigma_c = 35$ MPa
- $m_i = 10$

Marne della val di Centa

<i>Litotipo</i>		Calcareniti, marne, peliti	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Stratificazione cm con intercalazioni di marne e peliti dm	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	20 - 70	

RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
		5 - 25	<25	<0.06	Riempimento >5mm	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	2	3	5	5	15	


GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Flysch tipo D/E	80% marne calcaree/calcareniti 20% marne deb. calcaree	Molto lisce/leggera alterazione	

Materiale	Valori di partenza		Valori da considerare	
	σ_c (MPa)	m_i	σ_c (MPa)	m_i
marne calcaree/calcareniti	50	15	30	9
marne deb. calcaree	30	12	30	12

Si dispone di prove di point – load su campioni rocciosi prelevati da affioramento. I valori delle marne calcaree sono stati penalizzati del 40%. Considerando la media pesata dei suddetti valori in funzione della frequenza delle due tipologie di materiale si ottiene per l'ammasso roccioso:

- $\sigma_c = 30$ MPa
- $m_i = 10$

Calcari della val di Gola

<i>Litotipo</i>		calcari, calcareniti, marne	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Stratificazione cm e dm con intercalazioni cm di marne	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	-	

RMR89	<i>Parametri</i>	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	<i>Valore</i>
		25 - 50	25-50	0.06-0.2	Riempimento > 5mm	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	4	5	6	5	15	

GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Flysch tipo B/C	80% calcareniti 20% marne	lisce/leggera alterazione	

<i>Materiale</i>	<i>Valori di partenza</i>		<i>Valori da considerare</i>	
	σ_c (MPa)	m_i	σ_c (MPa)	m_i
calcareniti	50	15	40	12
marne	10	10	10	10

Non si dispone di prove dirette su questo litotipo, che è stato caratterizzato sulla base dei risultati delle prove di point – load condotte sulle Marne della val di Centa e sui Calcari scuri di Margon. I valori delle calcareniti sono stati penalizzati del 20%. Considerando la media pesata dei suddetti valori in funzione della frequenza delle due tipologie di materiale si ottiene per l'ammasso roccioso:

- $\sigma_c = 35$ MPa
- $m_i = 12$

Gruppo di Raibl

<i>Litotipo</i>		Dolomie e marne	
<i>Assetto stratigrafico</i>		Stratificazione cm e dm con intercalazioni dm di marne	
<i>Resistenza roccia correlata</i>	<i>Martello Schmidt</i>	-	
	<i>Point - load</i>	-	

RMR89	Parametri	<i>Resistenza roccia intatta (MPa)</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>Spaziatura giunti (m)</i>	<i>Condizione giunti</i>	<i>Condizione idraulica</i>	Valore
		50 - 100	25-50	0.06-0.2	Riempimento > 5mm	asciutta	
	<i>Punteggio</i>	5	7	8	5	15	

GSI	<i>Tipologia ammasso</i>	<i>Struttura</i>	<i>Condizione delle discontinuità</i>	<i>Valore</i>
	Flysch tipo B/C	70% dolomie 30% marne	lisce/leggera alterazione	35 - 45

Materiale	Valori di partenza		Valori da considerare	
	σ_c (MPa)	m_i	σ_c (MPa)	m_i
dolomie	60	16	48	13
marne	10	10	10	10

Non si dispone di prove dirette su questo litotipo, che è stato caratterizzato sulla base dei risultati delle prove di point – load condotte sulle Marne della val di Centa e sulla Dolomia del Sindech. I valori delle calcareniti sono stati penalizzati del 20%. Considerando la media pesata dei suddetti valori in funzione della frequenza delle due tipologie di materiale si ottiene per l'ammasso roccioso:

- $\sigma_c = 35$ MPa
- $m_i = 12$

6.5 Classificazione di progetto

La Tabella 8 riporta per ciascun ammasso roccioso la relativa parametrizzazione media in termini di RMR89 e dei parametri σ_c e m_i della roccia intatta.

Questi valori devono essere intesi come valori medi di riferimento per la determinazione del relativo involuppo di rottura dell'ammasso roccioso secondo la teoria di Hoek – Brown, da utilizzare per i calcoli geotecnici e per le verifiche strutturali delle sezioni di scavo.

Tabella 8 - Classificazione degli ammassi rocciosi – Classificazione di riferimento degli ammassi rocciosi

Formazione	RMR89	σ_c (MPa)	m_i
Basamento metamorfico	41	30	10
Vulcaniti indifferenziate	60	80	20
Dolomia Serla inf.	48	60	16
Dolomia Valsugana	52	60	16
Dolomia Sindech	56	60	16
Dolomia Principale	59	80	18
Arenarie val Gardena	40	25	18
Bellerophon	35	20	11
Werfen	45	30	12
Gracilis	40	40	12
Conglomerato di Voltago	35	20	14
Calcari scuri di Margon	30	35	10
Marne val di Centa	30	30	10
Calcari val di Gola	35	35	12
Raibl	40	35	12

7 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

7.1 Parametri geomeccanici

Il tracciato in esame, come precedentemente detto, attraversa nella sua porzione iniziale, ovvero fino alla progressiva km 23+200 circa, litotipi di origine sedimentaria ascrivibili alla famiglia della Dolomia Principale.

A partire da questa sezione ha inizio la Galleria di Valico, la quale interessa nuovamente la Dolomia Principale in corrispondenza del tratto iniziale e finale, mentre nella sua porzione centrale, a massima copertura, intercetta la sequenza sedimentaria permo-triassica sottostante la Dolomia, caratterizzata da elevata variabilità stratigrafica e da un grado litoide medio-basso.


















Nella seguente Tabella 9 si propone la legenda geologica riportata sui profili geologici, allegati al progetto.

La caratterizzazione geomeccanica dei litotipi interessati dalle gallerie naturali si basa su rilievi di superficie, integrati con informazioni bibliografiche e localmente su prove Point-Load e sondaggi. Per ciascun litotipo nel capitolo precedente sono stati definiti:

- RMR_{89} , Rock Mass Rating, indice di qualità dell'ammasso roccioso;
- σ_c , resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;
- m_i , costante empirica nel criterio di rottura di Hoek-Brown relativa alla roccia intatta.

L'impiego di questi indici all'interno di un criterio di rottura consente di valutare, in relazione alle diverse condizioni tensionali, la resistenza che caratterizza l'ammasso roccioso. Analogamente, la deformabilità della roccia viene valutata associando ai parametri propri della roccia intatta il grado di fratturazione del litotipo in esame.

Tabella 9: Legenda geologica

LEGENDA	
GEOLOGIA	
<p> 1 DETRITO DI VERSANTE Ghiaie eterometriche, localmente con massi e piccoli blocchi, angolose, formate prevalentemente da litotipi calcareo-dolomitici</p> <p> 3 ALLUVIONI ATTUALI E RECENTI Ghiaie e ciottoli con scarsi livelli o lenti sabbiose.</p> <p> 5 DEPOSITI GLACIALI Ghiaie eterometriche fino a massi di 1 mc circa, immerse in abbondante matrice limoso-sabbioso-argillosa.</p>	<p> 2 DETRITO DI CONOIDE ALLUVIONALE E DA DEBRIS-FLOW</p> <p> 4 DEPOSITI FLUVIOGLACIALI ED ALLUVIONALI TERRAZZATI Ghiaie sabbiose e sabbie anche con piccoli massi, generalmente stratificate, localmente cementate.</p> <p> 6 PALEOFRANE Blocchi eterometrici dolomitici, talora con massi di varie decine di mc.</p>
SUBSTRATO ROCCIOSO PRE-QUATERNARIO	
<p> 7 FORMAZIONI ERUTTIVE TERZIARIE Basalti sotto forma di camini vulcanici e di filoni, generalmente a giacitura discordante (Paleocene sup. – Miocene inf.)</p> <p> 9 BIANCONE Calcarei, calcari marnosi, grigi o biancastri, ben stratificati, con selce in lenti o noduli. (Cenomaniano–Titaniano p.p.)</p> <p> 11 GRUPPO DI S. VIGILIO Calcarei compatti e calcareniti oolitiche di tonalità variabili fra il bianco e il giallastro. (Bajociano–Aleniano)</p> <p> 13 DOLOMIA PRINCIPALE Dolomie e calcari dolomitici nocciola, grigi o rosati, talora saccaroidi, generalmente ben stratificati, ma localmente massivi. Al tetto facies dolomitizzate e ricristallizzate. (Retico–Carnico superiore)</p>	<p> 8 SCAGLIA ROSSA Calcarei e calcari marnosi fittamente stratificati, rosati e rossastri, talora con noduli e lenti di selce (Maastrichtiano–Turoniano)</p> <p> 10 ROSSO AMMONITICO Calcarei nodulari rosati o rossastri, localmente siltosi, con lenti o noduli di selce. (Cenomaniano p.p.–Bajociano)</p> <p> 12 CALCARI GRIGI Calcarei micritici grigi e nocciola stratificati con intercalazioni argillose e marnose nella parte superiore. Al letto calcari dolomitizzati e ricristallizzati. (Lias medio e inferiore)</p> <p> 14 GRUPPO DI RAIBL Peliti e argilliti, rossastre associate a calcari dolomitici ben stratificati (Val d'Astico); dolomie e calcari dolomitici ben stratificati con screziature rossastre e grigie, associati a peliti, localmente con livelli di breccie dolomitiche basali (Val di Centa); conglomerato a ciottoli carbonatici completamente dolomitizzato (localmente nella Vigolana p.p.) (Carnico)</p>
<p> 15 DOLOMIA VALSUGANA Dolomie e dolomie siltose con intercalazioni pelitiche. Stratificazione decimetrica. (Pelsonico–Illirico)</p> <p> 17 FORMAZIONE A GRACILIS-DOLOMIA DEL SERLA INFERIORE Dolomie micritiche con intercalazioni pelitiche. Presenze di sentiti e dolomie siltose. (Pelsonico–Anisico inf.)</p> <p> 19 FORMAZIONE BELLEROPHON Dolomie e calcari dolomitici e seltosi grigi, nocciola in strati decimetrici con intercalazioni pelitiche. (Permiano sup.)</p> <p> 21 BASAMENTO METAMORFICO Filladi e filladi quarzose con scistosità millimetrica con tendenza alla fissilità. Presenza sporadica di micascisti (Carbonifero)</p>	<p> 16 CONGLOMERATO DI VOLTAGO Intercalazione di arenarie e peliti a stratificazione decimetrica (Pelsonico–Anisico inf.)</p> <p> 18 FORMAZIONE DI WERFEN Alternanze ben stratificate di calcari oolitici, peliti, arenarie e dolomie laminate rossastre. Livelli di gessi nella parte alta della sequenza (Scitico)</p> <p> 20 ARENARIE DI VAL GARDENA Intercalazioni di arenarie quarzose rossastre e di siltiti e peliti in strati centimetrici (Permiano medio – Permiano sup.)</p>

7.2 Indici geomeccanici – Effetto della profondità

Il tracciato in esame presenta coperture variabili da pochi metri fino a 1500 m. Ne consegue che la caratterizzazione degli ammassi intercettati non può basarsi per tutte le condizioni di copertura sugli stessi parametri d'ingresso, che fanno prevalentemente riferimento alle condizioni superficiali, o a coperture fino a qualche decina di metri.

E' stato dunque necessario definire un opportuno criterio per l'estrapolazione in profondità dei parametri caratteristici di ciascun litotipo.

Si considera che i valori noti, poiché derivanti quasi esclusivamente da rilievi di campagna e indicazioni bibliografiche, si riferiscano all'intervallo di profondità 0-50 m.

Il criterio impiegato si basa sulla definizione di tre diverse classi di copertura, che presuppongono un progressivo miglioramento delle condizioni dell'ammasso roccioso ed un minor grado di fratturazione all'aumentare della profondità:

- classe 0-50 m, per la quale si adottano i parametri così come definiti nel precedente capitolo 6;
- classe 50-500 m;
- classe di copertura > 500m.

Per le ultime due classi elencate si adottano valori di RMR_{89} e σ_c opportunamente corretti, per tener conto del miglioramento della qualità rocciosa con la profondità. Il parametro m_i di Hoek-Brown non risente invece dell'incremento di profondità, in quanto il suo valore può essere considerato indipendente dalla copertura.

Per quanto riguarda la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, è plausibile supporre che, all'aumentare della copertura, la roccia sia più sana, avendo subito un minor detensionamento, e presenti quindi un valore di σ_c più elevato. Per le due classi di copertura 50-500 e > 500 m si adottano valori maggiorati rispettivamente del 10 e 20%.

Discorso analogo può essere fatto per quanto riguarda il Rock Mass Rating. Tale indice, variabile nell'intervallo 0-100, è stabilito in relazione ad alcuni aspetti fondamentali dell'ammasso roccioso, di seguito elencati, a ciascuno dei quali viene assegnato un coefficiente numerico in relazione a classi di variabilità del parametro stesso:

- σ_c , resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, la cui variabilità in funzione della copertura è stata precedentemente descritta. Tali variazioni non risultano comunque significative nell'ambito della valutazione dell'indice RMR_{89} ;
- RQD , Rock Quality Designation, il cui valore presumibilmente tenderà ad aumentare con la copertura in relazione ad una minore diffusione di fratture secondarie;
- Spaziatura delle discontinuità, la cui variabilità con la copertura è analoga a quanto detto per RQD ;
- Condizioni delle discontinuità;
- Idrogeologia.

Nel caso dell'indice RMR_{89} le correzioni consisteranno dunque nel sommare al valore originario della classe 0-50 m un numero di punti corrispondente ad un complessivo miglioramento delle condizioni della massa rocciosa.

In definitiva, per le tre diverse classi di copertura si sono adottati i seguenti criteri per l'estrapolazione in profondità dei parametri geomeccanici, vedi Tabella 10. Il valore di parametri σ'_c e RMR' è stato precedentemente esplicitato in Tabella 8.

Tabella 10: Criterio per la valutazione dei parametri σ_c ed RMR_{89} al variare della copertura			
PARAMETRO	CLASSI DI PROFONDITA'		
	0-50 m	50-500 m	500-1500 m
σ_c	σ'_c	$1.1\sigma'_c$	$1.2\sigma'_c$
RMR_{89}	RMR'	$RMR' + 8$	$RMR' + 15$

Per quanto riguarda le zone di faglia, si è adottato un criterio di base unico. L'indice RMR_{89} minimo della roccia più scadente che forma il contatto tettonico viene scalato di 10 punti, determinando così il valore di RMR_{89} associato alla zona di faglia, mentre si mantengono le caratteristiche di resistenza σ_c ed m_i della roccia di cui si è considerato l' RMR_{89} .

In funzione delle tre classi di copertura precedentemente definite, si elencano nella seguente Tabella 11 i parametri RMR_{89} , σ_c ed m_i impiegati per la caratterizzazione geomeccanica dei litotipi nelle diverse condizioni di copertura.

Tabella 11 – Parametri geomeccanici dei diversi litotipi, al crescere della profondità

FORMAZIONE GEOLOGICA	PROFONDITA' 5-50 m			PROFONDITA' 50-500 m			PROFONDITA' 500-1500 m		
	m_i	σ_c	RMR	m_i	σ_c	RMR	m_i	σ_c	RMR
Dolomia principale	18	80	59	18	90	67	18	100	74
Dolomia della Valsugana	16	60	52	16	65	60	16	72	67
Dolomia del Serla inferiore	16	60	48	16	65	56	16	72	63
Formazione a Gracilis	12	40	40	12	45	48	12	50	55
Formazione di Werfen	12	30	45	12	33	53	12	36	60
Gruppo di Raibl	12	35	40	12	40	48	12	45	55
Conglomerato di Voltago	14	20	35	14	22	43	14	25	50
Formazione a Bellerophon	11	20	35	11	22	43	11	25	50
Arenarie di Val Gardena	18	25	40	18	28	48	18	30	55
Basamento metamorfico	10	30	41	10	33	49	10	36	56
Vulcaniti indifferenziate	10	30	60	10	33	68	10	36	75
Dolomia del Sindech	16	60	56	16	66	64	16	72	71
Calcari scuri di Margon	10	35	30	10	40	38	10	45	45
Marne della Val di Centa	10	30	30	10	33	38	10	36	45
Calcari della Val di Gola	12	35	35	12	40	43	12	45	50

7.3 Caratterizzazione geomeccanica

La caratterizzazione geomeccanica dei litotipi attraversati dalle gallerie è stata realizzata mediante l'inviluppo di rottura per gli ammassi rocciosi di Hoek-Brown, considerando il valore di GSI corrispondente all' RMR_{89} di riferimento, il valore di resistenza a compressione uniassiale σ_c ed il parametro m_i della roccia intatta.

L'inviluppo di rottura è espresso dalla seguente equazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m \sigma_c \sigma_3 + s \sigma_c^2)^a$$

Dove:

σ_c = resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta (MPa);

- m = parametro sperimentale che definisce l'incremento di resistenza della roccia all'aumentare della tensione di confinamento. Si indica con m_i nel caso in cui il criterio di rottura faccia riferimento alla roccia intatta, con m se questo si riferisce all'ammasso roccioso. In questo secondo caso il coefficiente può assumere valori di picco m_p e residui m_r ;
- s = parametro sperimentale che definisce la posizione dell'involuppo di Hoek - Brown. Il suo valore è unitario nel caso in cui il criterio faccia riferimento alla roccia intatta. Se il criterio si riferisce all'ammasso roccioso, s assume valori di picco s_p e residui s_r ;
- a = esponente dell'involuppo di rottura, pari a 0.5 per la roccia intatta.

Il passaggio dai parametri di Hoek-Brown per la roccia intatta a quelli relativi all'ammasso roccioso viene realizzato mediante le seguenti formulazioni:

$$m_p = m_i \cdot \exp((GSI-100)/(28-14D))$$

$$m_r = 0.7m_p$$

$$s_p = \exp((GSI-100)/(9-3D))$$

$$s_r = 0.04s_p$$

$$a = 0.5 + 1/6 \cdot (\exp(-GSI/15) - \exp(-20/3))$$

in cui:

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

D = parametro di danneggiamento dell'ammasso roccioso, considerato in questo caso pari a 0.1 per lo scavo tradizionale e nullo per quello meccanizzato.

Anche il modulo elastico dell'ammasso roccioso è stato valutato a partire dall'indice GSI , adottando le seguenti formulazioni empiriche:

$$E = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{(GSI-10)/40} \text{ [GPa]} \quad \text{nel caso in cui la resistenza } \sigma_c < 100 \text{ MPa}$$

$$E = \left(1 - \frac{D}{2}\right) 10^{(GSI-10)/40} \text{ [GPa]} \quad \text{nel caso in cui la resistenza } \sigma_c > 100 \text{ MPa}$$

Una volta valutati i parametri di Hoek-Brown per l'ammasso roccioso per la classe di copertura adeguata alla condizione in esame, si procede alla linearizzazione dell'involuppo curvilineo. La procedura viene realizzata sulla base delle equazioni proposte da Balmer in "A general analytical solution for Mohr's envelope" - Am.Soc.Test.Mat. (1952).

In questo modo i litotipi vengono caratterizzati anche secondo l'involuppo di resistenza di Mohr-Coulomb, definendo i parametri di resistenza di picco e residui in due particolari condizioni tensionali:

- $0 - 0.2 \gamma h$, condizione all'origine - analisi di stabilità del fronte di scavo;
- $0.5 \gamma h - \gamma h$, condizione alla copertura - analisi di stabilità del cavo.

Nelle precedenti espressioni γ è il peso di volume dell'ammasso roccioso mentre h rappresenta la copertura.

8 METODO DI SCAVO

8.1 Gallerie di progetto

Il tracciato in esame presenta una lunghezza complessiva di circa 39 km, di cui una porzione considerevole – circa il 75% – si pone in galleria. In totale le gallerie previste sono 10, di cui 8 naturali:

Galleria	Lunghezza media [km]
S.Agata	0.99
Cogollo	1.38
Costa del Prà	0.79
Forte Corbin	2.17
Pedescala	1.74
S.Pietro	3.55
Pedemonte	1.83
Valico	15.11

Tutte le gallerie sono a doppia canna affiancata, con un diametro di circa 15 metri ciascuna, ed un interasse, da centro a centro, di circa 30 metri.

Il tracciato si snoda tra la Valdastico e gli altopiani trentini di Lavarone e Folgaria, per raggiungere poi il fiume Adige in corrispondenza dell'abitato di Besenello.

Il percorso interessa un'area caratterizzata da una notevole omogeneità da un punto di vista geologico e geomeccanico, con coperture massime di circa 400-500 m in corrispondenza delle gallerie naturali, a meno della Galleria di Valico, per la quale il panorama geologico diventa ben più variegato e complesso, con coperture che raggiungono anche i 1500 metri.

Nel seguito si riporta una breve descrizione di ciascuna galleria in progetto, focalizzando l'attenzione sulle sole gallerie naturali.

Galleria S. Agata

La galleria presenta una lunghezza complessiva di 990 m per la Canna Nord, di 970 m per la Sud, comprensiva anche dei tratti in artificiale agli imbocchi. L'opera interessa in tutta la sua estensione materiali sciolti di origine glaciale e fluvioglaciale, e si pone in corrispondenza dell'abitato di Cogollo del Cengio, in prossimità del fiume Astico. Le coperture variano tra qualche metro e circa 25 metri. La falda freatica è presente in questi materiali, pur presentando un livello piezometrico prossimo a quello della calotta della galleria.

Galleria Cogollo

La galleria, posizionata in prossimità dell'abitato di Arsiero, presenta una lunghezza di 1560 m in Canna Nord, 1205 m in Canna Sud, con coperture variabili fra 5 e 120 metri. La galleria interessa in larga parte materiali lapidei, ascrivibili alla Formazione della Dolomia Principale, mentre in corrispondenza degli imbocchi, in particolare da lato Nord, intercetta accumuli di detrito di versante costituiti da sabbie e ghiaie con blocchi, con coperture che possono anche raggiungere i 45-50 metri di materiale sciolto. La falda interessa l'ammasso roccioso, con coperture d'acqua di circa 20-30 m rispetto a quota galleria.

Galleria Costa del Prà

La galleria si estende per circa 855 m in Canna Nord, 717 m in Canna Sud, con coperture comprese fra 5 e 50 m. La galleria interessa per circa metà tracciato la Dolomia Principale, mentre nella metà lato Nord si pone interamente entro materiali detritici di versante.

La falda si pone in prossimità della calotta della galleria.

Galleria Forte Corbin

La galleria interessa in tutta la sua estensione la Formazione della Dolomia Principale, con coperture variabili fra 5 e 200 metri. L'imbocco Sud presenta un tratto di circa 70 metri in detrito di versante. La lunghezza complessiva dell'opera, considerando anche le tratte in artificiale, è pari a 2158 m in Canna Nord, 2120 m in Canna Sud. La falda presenta un dislivello di circa 20-30 m rispetto alla quota della calotta.

Galleria Pedescala

La galleria, posizionata in corrispondenza dell'abitato di Pedescala, presenta una lunghezza complessiva di 1716 m in Canna Nord, 1735 m in Canna Sud. Il percorso interessa interamente la Formazione calcarea della Dolomia Principale, con coperture variabili fra 10 e 350 m. Il livello della falda si pone circa 20 m al di sopra della quota galleria. In corrispondenza dell'imbocco Sud la galleria intercetta per un tratto di circa 40-50 m un accumulo detritico di versante, caratterizzato da ghiaie e sabbie, con blocchi.

Galleria S.Pietro

La galleria si colloca in corrispondenza della sponda idrografica opposta a quella del borgo di S. Pietro Valdastico. La lunghezza complessiva è di 3355 m in carreggiata Nord e di 3586 m in carreggiata Sud. Il litotipo interessato dal tracciato è interamente rappresentato dalla Formazione della Dolomia Principale, con coperture variabili fra 5 e 330 m. Il livello di falda presenta una quota di circa 30-40 m al di sopra della calotta della galleria.

Galleria Pedemonte

La galleria si colloca all'altezza dell'abitato di Pedemonte, e presenta una lunghezza, comprensiva anche dei tratti artificiali agli imbocchi, di 1850 m in Canna Nord, 1815 m in

Canna Sud. La Formazione interessata è quella della Dolomia Principale, con coperture che raggiungono anche i 350 metri. In corrispondenza dell'imbocco Sud il percorso attraversa per circa 50-70 m un accumulo detritico di conoide, con coperture di qualche decina di metri. La falda presenta un'altezza di circa 50 m al di sopra della calotta della galleria.

Galleria di Valico

La Galleria di Valico è di gran lunga l'opera in sotterraneo più estesa e complessa dell'intero tracciato. Il percorso presenta un'estensione planimetrica di circa 15.145 m in Canna Nord, di 15.070 m in Canna Sud, sottopassando interamente l'altopiano di Folgaria per giungere alla valle dell'Adige in corrispondenza dell'abitato di Besenello. Le coperture variano fra pochi metri fino a 1450-1500 m in corrispondenza della porzione centrale. Trattandosi di una galleria ad alte coperture, il tracciato interessa sia la Formazione della Dolomia Principale, sia le formazioni permo-triassiche al di sotto di questa.

La falda presenta una posizione ben più elevata della galleria, con un carico idrostatico che raggiunge anche i 1100 m rispetto alla calotta della galleria.

8.2 Scelta del metodo di scavo

La definizione della metodologia di scavo per la realizzazione di una galleria deve essere realizzata sulla base di considerazioni di tipo geomeccanico e geologico, cui si accompagnano, a volte in modo preponderante, considerazioni di tipo economico, tecnico e organizzativo. In particolare, uno degli aspetti fondamentali e preliminari per la scelta della metodologia di avanzamento è rappresentato dalla lunghezza della galleria. Nel caso di scavo meccanizzato, infatti, l'impiego di macchinari di scavo complessi e ad alto costo, che richiedono tempi di assemblaggio/disassemblaggio elevati, rende il fattore lunghezza di scavo preponderante nella scelta metodologica. Ne consegue che solo per gallerie di una certa lunghezza potranno essere ammortizzati i tempi e i costi di realizzazione.

Nel caso in esame le opere in sotterraneo previste nel tracciato possono essere suddivise in due macrogruppi in funzione dell'estensione planimetrica delle opere stesse. Il primo, comprendente tutte le gallerie ad eccezione della Galleria di Valico, prevede scavi di lunghezza inferiore ai 4 km, mentre il secondo comprende la sola Galleria di Valico, di lunghezza pari a circa 15 km.

Diventa quindi evidente che, in ragione delle ridotte lunghezze di scavo delle gallerie del primo macrogruppo, in questo caso la scelta di una metodologia di scavo tradizionale sia piuttosto scontata.

Nel caso della Galleria di Valico, invece, l'alternativa tra scavo tradizionale e meccanizzato ha ragione di esistere, proprio in virtù di una notevole lunghezza dell'opera in progetto. In questo caso, la scelta dovrà quindi basarsi su considerazioni più prettamente tecniche.

La Galleria di Valico intercetta la Formazione della Dolomia Principale per buona parte del suo sviluppo, con coperture che si aggirano sui 300-700 m, mentre nella sua porzione centrale, caratterizzata da coperture che raggiungono anche i 1500 m, la galleria attraversa le formazioni permo-triassiche sottostanti alla Dolomia.

Nel complesso si ritiene che, nonostante eventuali difficoltà legate alle notevoli coperture che caratterizzano l'opera in progetto, e l'adozione di un diametro di scavo superiore a qualunque macchina TBM mai realizzata, l'alternativa dello scavo meccanizzato sia da preferirsi. Questa scelta, infatti, da un lato permetterebbe di ridurre i tempi realizzativi ed aumentare la sicurezza per le maestranze, dall'altro renderebbe lo scavo di questa galleria un'importante opportunità di studio ed innovazione tecnologica.

9 ASPETTI ESECUTIVI DEL METODO DI SCAVO TRADIZIONALE

Il metodo di scavo tradizionale verrà adottato in corrispondenza di tutte le gallerie naturali, eccetto la Galleria di Valico. Lo scavo verrà dunque realizzato interamente entro la Formazione della Dolomia Principale, generalmente massiva, caratterizzata da un alto grado litoide e da una stratificazione sub-orizzontale.

In roccia lo scavo verrà realizzato generalmente per mezzo di martellone, e, laddove la qualità della massa rocciosa lo permetta, mediante l'impiego di esplosivi. In questo caso si consiglia l'utilizzo di microcariche esplosive con microritardi, al fine di ridurre il disturbo arrecato alla massa rocciosa dalle volate.

Le sezioni di avanzamento a base di progetto prevedono l'impiego di bulloni radiali ad aderenza continua, centine e spritz beton nelle zone in cui la Dolomia presenta una struttura massiva, per passare a sezioni con ombrelli di infilaggi ed eventuale sostegno del fronte con chiodatura in vetroresina in corrispondenza delle zone in cui la roccia risulta più alterata, fratturata, e nelle zone di faglia.

Nei tratti in materiali sciolti in corrispondenza degli imbocchi di alcune gallerie l'avanzamento verrà realizzato con martellone, mentre il sostegno del fronte e del cavo è garantito dalla realizzazione di colonne in jet grouting suborizzontali.

10 ASPETTI ESECUTIVI DELLO SCAVO MECCANIZZATO

Lo scavo meccanizzato è previsto, per il tracciato in esame, in corrispondenza della Galleria di Valico. Tale opera presenta uno sviluppo di circa 15 km, mettendo in comunicazione l'alta Valdastico alla Valle dell'Adige, sottopassando l'altopiano di Folgaria con coperture che raggiungono anche i 1500 m.

Il progetto prevede la realizzazione di una galleria composta da 2 canne affiancate, distanziate da asse ad asse di circa 30 m, ciascuna delle quali presenta un diametro nominale di 15 m.

Dal punto di vista geomeccanico, la galleria interessa due macroformazioni:

- Formazione della Dolomia Principale, generalmente massiva, con alto grado litoide e buona qualità geomeccanica. Il comportamento tenso-deformativo, anche a coperture medio-elevate, risulta spiccatamente elastico con ridotta plasticizzazione;
- Sequenza permo-triassica sottostante alla Dolomia, costituita da un'alternanza di arenarie, calcareniti e dolomie fittamente stratificate. Tali formazioni vengono intercettate dalla Galleria proprio in corrispondenza delle massime coperture, e presentano un comportamento a prevalente componente plastica, con convergenze che raggiungono i 20 cm in corrispondenza dei termini più scadenti.

Le faglie si dispongono in modo omogeneo lungo il tracciato, e presentano livelli d'acqua anche piuttosto elevati rispetto alla calotta della galleria. Secondo il modello idrogeologico proposto nella Relazione Idrogeologica, queste possono rappresentare gli elementi di connessione fra l'acquifero e la galleria, e agire come superfici di drenaggio dell'ammasso roccioso.

Il panorama idrogeologico e geomeccanico descritto è dunque piuttosto variegato in quanto se da un lato, in corrispondenza dei tratti in Dolomia, le convergenze attese non superano il centimetro, dall'altro lo scavo meccanizzato dovrà far fronte, nella zona centrale della galleria, allo scavo in materiali di scadente qualità geomeccanica, caratterizzati da valori di resistenza a compressione σ_c piuttosto ridotti. Ne consegue un'estesa plasticizzazione al contorno del cavo, con conseguenti convergenze di ordine decimetrico in corrispondenza dello scudo.

D'altro canto, nei tratti in roccia competente, la macchina dovrà far fronte a fenomeni di detensionamento, spalling, che si verificano per rottura istantanea della massa rocciosa a comportamento fragile.

In conclusione, le problematiche a cui è necessario far fronte lungo la Galleria di Valico sono:

- per le rocce competenti, fenomeni di spalling al contorno di scavo, dovuti ad un comportamento prevalentemente fragile della massa rocciosa;
- per le zone ad alta copertura, nei materiali ascrivibili alla sequenza permo-triassica, la problematica principale è legata alla bassa qualità della massa rocciosa, a cui si associano convergenze piuttosto elevate, ed alla possibilità che l'intercettazione delle faglie comporti problemi di stabilità;
- per le zone di faglia con elevato carico idraulico vi è la possibilità che, a causa di un locale aumento della permeabilità dell'ammasso roccioso, queste possano convogliare in galleria ingenti quantità d'acqua.

Si ritiene comunque che, a meno di opportuni interventi in fase realizzativa atti a limitare/risolvere le problematiche appena esposte, lo scavo meccanizzato possa risultare adeguato alla realizzazione in progetto.

La Galleria di Valico verrà realizzata mediante una macchina di scavo TBM, preferibilmente monoscudata, in grado di rivestire il cavo di pari passo con l'avanzamento. Il rivestimento definitivo sarà costituito da un anello di conci, chiusi dal concio di chiave, messo in opera all'interno dello scudo.

Viste le problematiche di cui sopra, la macchina dovrà essere opportunamente progettata di modo da consentire:

- l'esecuzione di sondaggi in avanzamento, atti all'individuazione preventiva delle zone di faglia, della presenza di acqua al loro interno, ed eventualmente delle tratte di ammasso roccioso di scadente qualità geomeccanica;
- un adeguato sovrascavo al contorno, che consenta una maggiore manovrabilità della macchina di scavo, e riduca la possibilità di un blocco dello scudo dovuto ad un'eccessiva pressione del terreno al contorno (comportamento squeezing);
- l'esecuzione di iniezioni al contorno di scavo, atte all'impermeabilizzazione delle faglie più critiche da un punto di vista idrogeologico, ed al consolidamento delle zone scadenti.
- La gestione di eventuali distacchi in parete con scudi idonei a contenere il fenomeno, così che non gravi in modo eccessivo sulla posa dei conci.

Ulteriori misure operative per quanto riguarda lo scavo in condizioni di roccia a comportamento spingente sono rappresentate da un'attenta gestione delle operazioni di scavo ed avanzamento. Una volta individuata una zona critica dunque è consigliabile eseguire in anticipo le operazioni di manutenzione al fine di ridurre al minimo il rischio di

guasti meccanici. Analogamente, all'interno delle zone critiche, è necessario un attento coordinamento dei fermi macchina, che possono rappresentare le fasi più pericolose dal punto di vista dei fenomeni di squeezing al contorno di scavo.

L'intasamento a tergo dei conci verrà realizzato alternativamente con pea-gravel, nelle zone di massima copertura, laddove un mancato drenaggio, e conseguente mancato abbattimento delle pressioni idrauliche, potrebbe comportare carichi eccessivi sui rivestimenti, e con malta cementizia nelle tratte in cui la galleria viene impermeabilizzata per ridurre le interazioni con il sistema delle sorgenti.

10.1 Dimensionamento di massima della TBM

Nel presente paragrafo si riporta un approccio di calcolo che permette di valutare in modo indicativo la spinta complessiva che la macchina deve essere in grado di applicare sui martinetti per realizzare l'avanzamento. Tale spinta è definita come somma di alcuni termini resistenti:

$$T = \sum w = w_{\text{attrito}} + w_{\text{cutter}} + w_*$$

In cui:

w_{attrito} = forza dovuta all'attrito laterale al contorno dello scudo

w_{cutter} = spinta da applicare alla testa di scavo per permettere l'avanzamento dei cutter

w_* = forza d'attrito presente al fondo dello scudo, in corrispondenza delle spazzole di tenuta, sommata alla forza di pretaglio al contorno della testa fresante

Di seguito si valutano, nel caso in esame, i termini precedentemente definiti:

1) $w_{\text{attrito}} = \mu [2\pi RL\sigma_m + F_w]$

Si pone: μ = coefficiente di attrito = 0.35

R = raggio scudo = 7.5 m

L = lunghezza scudo = 12 m

σ_m = tensione agente al contorno cavo

F_w = peso della macchina e del back-up

Si suppone che la macchina di scavo, comprensiva del back-up abbia un peso F_w di 30000 kN.

Per quanto riguarda la valutazione di σ_m , in prima approssimazione si considera il peso della fascia plastica agente allo scudo, determinato mediante semplici analisi con il metodo delle linee caratteristiche:

	R_{pl} [m]	σ_m [kPa]
Dolomia Principale	9	38
Formaz. a Gracilis	13.8	158
Arenarie di Val Gardena	17	238
Conglomerato di Voltago	16	213
Dolomia della Valsugana	9	38

E' quindi possibile valutare il termine $w_{attrito}$ per i diversi litotipi intercettati dalla Galleria di Valico:

$$\begin{aligned}
 w_{attrito} &= 0.35[2\pi \cdot 7.5 \cdot 12 \cdot \sigma_m + 30000] = 18021 \text{ kN} && \text{Dolomia Principale} \\
 &= 41771 \text{ kN} && \text{Formaz. a Gracilis} \\
 &= 57605 \text{ kN} && \text{Arenarie di Val Gardena} \\
 &= 52657 \text{ kN} && \text{Formaz. di Werfen} \\
 &= 18021 \text{ kN} && \text{Dolomia della Valsugana}
 \end{aligned}$$

$$2) \quad w_{cutter} = N_{cutter} \cdot P_{cutter}$$

N_{cutter} = n° cutters sulla testa di scavo, ipotizzato pari a 100

P_{cutter} = forza applicata a ciascun cutter, posta pari a 250 kN/cutter

$$w_{cutter} = 100 \cdot 250 = 25.000 \text{ kN}$$

$$3) \quad w_* = 2\pi R (P_{grount} + P_{pretaglio})$$

Ponendo $P_{grount} + P_{pretaglio} = 10 \text{ kN} / m$ si ottiene:

$$w_* = 2\pi R (P_{grount} + P_{pretaglio}) = 2\pi \cdot 7 \cdot 5 \cdot 10 = 470 \text{ kN}$$

In conclusione, la spinta totale che la macchina deve essere in grado di applicare è pari a:

$T = \sum w = 18021 + 25000 + 470 \cong 43500 \text{ kN}$	Dolomia Principale
$= 41771 + 25000 + 470 \cong 67250 \text{ kN}$	Formaz. a Gracilis
$= 57605 + 25000 + 470 \cong 83080 \text{ kN}$	Arenarie di V. Gardena
$= 52657 + 25000 + 470 \cong 78130 \text{ kN}$	Formaz. di Werfen
$= 18021 + 25000 + 470 \cong 43500 \text{ kN}$	Dolomia della Valsugana

Considerando un fattore di sicurezza pari a 1.5 per tener conto della natura spingente di alcuni materiali intercettati dalla galleria in condizioni di alta copertura e per valutare una forza di spinta adeguata anche a vincere gli attriti statici connessi ad un eventuale fermo-macchina, si può quindi concludere che la massima forza di spinta che la macchina di scavo deve essere in grado di esercitare al fronte è pari a 130.000 kN.

11 INFLUENZA DELLA FALDA FREATICA

Come descritto approfonditamente nella relazione idrogeologica, nell'area di progetto è possibile individuare due macrounità carbonatiche sovrapposte, di cui quella superiore è definita come macrounità di accumulo, mentre quella inferiore rappresenta la base del modello idrogeologico. Le due unità nel loro insieme costituiscono l'acquifero, in quanto la porzione sommitale immagazzina l'acqua meteorica, mentre quella inferiore, in funzione di una permeabilità più ridotta, rappresenta l'acquitarzo del sistema.

L'assetto idrogeologico della zona è dominato dal reticolo fessurativo in quanto la matrice rocciosa presenta una permeabilità ben più ridotta. Macrofratture e faglie rappresentano dunque le vie preferenziali per la raccolta e dissipazione dell'acqua.

In relazione alle opere in sotterraneo, vi è la possibilità che queste possano venire interessate dalle acque raccolte dalle macrodiscontinuità tettoniche e convogliate in profondità verso il drenaggio offerto dalle gallerie in esecuzione.

La galleria avanza nell'ammasso roccioso e di conseguenza lo drena in corrispondenza del fronte e del cavo non rivestito. La successiva posa in opera del rivestimento definitivo ristabilisce in parte la superficie piezometrica, in quanto essendo questo caratterizzato da una permeabilità minore, riduce le portate emunte.

Alla luce di queste considerazioni, per evitare la possibile interferenza sarà necessario impermeabilizzare queste discontinuità dal fronte di avanzamento in modo preventivo. In questo modo, distribuiti gli interventi lungo i tracciati in relazione ai vincoli idrogeologici esistenti, sarà possibile controllare completamente gli effetti delle gallerie a breve e lungo termine sull'assetto idrogeologico del territorio attraversato.

Da un punto di vista strutturale è poi necessario considerare i carichi idraulici agenti sul rivestimento a lungo termine, ovvero quando, una volta rivestita la galleria, la piezometrica tornerà al livello originario. Tali sollecitazioni possono risultare anche molto elevate, pertanto si dovrà agire in modo da drenare i rivestimenti quanto necessario a mantenere le pressioni dell'acqua nei limiti di sicurezza per la stabilità della struttura.

12 SMARINO

Previsione del materiale di smarino

Il materiale scavato nel corso dell'avanzamento presenterà una pezzatura ed una qualità differente in relazione alla metodologia di scavo.

Nelle gallerie che verranno realizzate con metodo tradizionale, è prevista l'estrazione di materiale di qualità buona, la cui pezzatura è riferibile alle proprietà geomeccaniche della formazione oggetto di scavo: in generale gli ammassi rocciosi di tipo dolomitico tenderanno a produrre uno smarino con pezzatura più elevata, con scarso contenuto di fini; viceversa, materiali più scadenti quali quelli ascrivibili alla sequenza permo-triassica, produrranno un materiale di granulometria più ridotta, con elevata presenza di polveri e frammenti di piccole dimensioni.

La qualità dello smarino da un punto di vista ambientale dipende invece dalla sezione tipo adottata: in corrispondenza di ammassi rocciosi stabili si adotteranno generalmente sezioni di tipo Ab, AC e B0, con conseguente produzione di materiali di scavo privi di impurità. Al contrario, in ammassi rocciosi caratterizzati da scarsa o nulla autoportanza, l'avanzamento necessiterà di sezioni di scavo di tipo B0V, B2V, C1 o C2, che prevedono preconsolidamenti al contorno e al fronte. In questa eventualità lo smarino presenterà una certa percentuale di frammenti di vetroresina e/o materiale cementato.

Scavo meccanizzato

Nel caso di scavo meccanizzato, il materiale di smarino si presenta privo di inquinanti, salvo la presenza di malta cementizia eventualmente iniettata per migliorare le condizioni di stabilità in corrispondenza dei tratti in faglia ad alta copertura, ed eventualmente laddove il tracciato intercetta i materiali più scadenti della sequenza permo-triassica.

La pezzatura del materiale, vista la particolare modalità con cui i diversi cutters presenti sulla testa di scavo, collaborando fra loro, generano le scaglie di roccia, varia in funzione della resistenza a trazione che caratterizza il materiale scavato.

In generale, è presumibile pensare di ottenere un materiale di proprietà accettabili, costituito da ghiaia con sabbia e frazione fine.

Riutilizzo dei materiali

I materiali di smarino potranno trovare impiego in applicazioni diverse in relazione alla granulometria, qualità degli inerti e presenza di sostanze inquinanti. I materiali di scavo, nella frazione di qualità medio-alta, potranno essere riutilizzati per la realizzazione di rilevati e riempimenti, calcestruzzi, sottofondi stradali.

13 CONCLUSIONI

Nella presente relazione si è analizzato il tracciato T4, quale prosecuzione dell'autostrada A31 da Piovene-Rocchette fino a Besenello, in val d'Adige.

Il tracciato prevede la realizzazione di otto gallerie naturali, di cui le prime sette interessano totalmente la Dolomia Principale, l'ultima, la Galleria di Valico, intercetta invece, oltre che la formazione della Dolomia, litotipi di qualità geomeccanica più scadente, ascrivibili alla sequenza sedimentaria permo-triassica sottostante.

La metodologia di scavo prevista per le sette gallerie in Dolomia, vista la ridotta lunghezza che le caratterizza, è quella tradizionale: lo scavo verrà dunque realizzato con martellone e, limitatamente alle tratte di roccia più competente, con micro-cariche esplosive.

La Galleria di Valico verrà invece realizzata con metodo meccanizzato, adottando una TBM monoscudata in grado di gestire operazioni complementari alla perforazione. In corrispondenza dei materiali permo-triassici a comportamento spingente e delle faglie più critiche dal punto di vista idrogeologico e/o geomeccanico, infatti, potrà essere necessario realizzare iniezioni di consolidamento, atte a garantire la stabilità nelle tratte più scadenti, e di impermeabilizzazione, allo scopo di ridurre gli apporti idrici in galleria in fase di avanzamento.

Le convergenze al contorno di scavo, connesse ad un comportamento spingente degli ammassi rocciosi più scadenti, potranno essere gestite con un modesto sovrascavo.

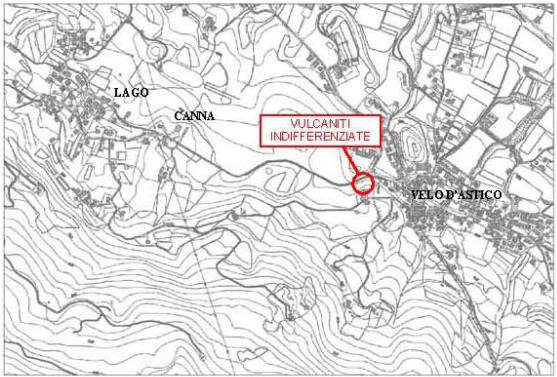

In corrispondenza degli ammassi rocciosi competenti si potranno infine verificare fenomeni di detensionamento, spalling, al contorno di scavo.

ALLEGATO 1 – SCHEDE DI SINTESI DELLE PROVE DI POINT-LOAD

Elenco delle formazioni oggetto delle prove di point-load:

Vulcaniti indifferenziate (Andesiti)	pag. 69
Basamento Metamorfico (Filladi)	pag. 73
Dolomia del Sindech	pag. 76
Arenarie di Val Gardena	pag. 80
Dolomia Principale	pag. 85
Calcari scuri di Margon	pag. 89
Marne della Val di Centa	pag. 93
Bellerophon	pag. 99
Werfen	pag. 104

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Data: 07/07/11	Provenienza: Velo d'Astico	Litotipo: VULCANITI INDIFFERENZiate (ANDESITI)									
 											
Campione n°	Tipo	Alterazione	W (mm)	D (mm)	Rottura	P (N)	De² (mm²)	Is (MPa)	De (mm)	F	Is50 (MPa)
1	I	III	82.5	52	regolare	3030	5464.97	0.55	73.93	1.19	0.66
2	I	III	77.5	65	regolare	6590	6417.20	1.03	80.11	1.24	1.27
3	I	IV	53	37	regolare	1380	2498.09	0.55	49.98	1.00	0.55
4	I	IV	55.5	57	regolare	1610	4029.94	0.40	63.48	1.11	0.44
5	I	II	64	45	regolare	7910	3668.79	2.16	60.57	1.09	2.35
6	I	III	93.5	44	regolare	6090	5240.76	1.16	72.39	1.18	1.37
7	I	II	53.5	40	regolare	6770	2726.11	2.48	52.21	1.02	2.53
8	I	II	61	37	regolare	8400	2875.16	2.92	53.62	1.03	3.01
Is50 medio											1.413
Note:											
L'ammasso roccioso risulta essere parzialmente alterato per esposizione agli agenti atmosferici. Il colore è rossastro. La roccia non è anisotropa.											
LEGENDA											
Tipo:						Alterazione:					
D = diametrale						I = fresco					
A = assiale						II = colore alterato					
B = blocco						III = indebolito					
I = irregolare						IV = rotto con mani					
Per rocce anisotrope:						V = suddiviso in acqua					
⊥ = perpendicolare						VI = no struttura roccia					
= parallela						Il grado IV indica una resistenza a compressione monoassiale <12.5MPa					

Vulcaniti indifferenziate (Andesiti)



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 1 - Vulcaniti indifferenziate (Andesiti) – Campione n. 1



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 2 - Vulcaniti indifferenziate (Andesiti) – Campione n. 2



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 3 - Vulcaniti indifferenziate (Andesiti) – Campione n. 3



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 4 - Vulcaniti indifferenziate (Andesiti) – Campione n. 4



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 5 - Vulcaniti indifferenziate (Andesiti) – Campione n. 5



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 6 - Vulcaniti indifferenziate (Andesiti) – Campione n. 6



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 7 - Vulcaniti indifferenziate (Andesiti) – Campione n. 7




Prima della rottura

manca
Dopo la rottura

Foto 8 - Vulcaniti indifferenziate (Andesiti) – Campione n. 8

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Data: 07/07/11	Provenienza: Centa San Nicolò (vicinanze)	Litotipo: BASAMENTO METAMORFICO (FILLADI)									
											
Campione n°	Tipo	Alterazione	W (mm)	D (mm)	Rottura	P (N)	De² (mm²)	Is (MPa)	De (mm)	F	Is50 (MPa)
1	I (L)	II	60	46	regolare	3950	3515.924	1.123	59.30	1.08	1.21
2	I (L)	III	52.5	32	regolare	140	2140.127	0.065	46.26	0.97	0.06
3	I (L)	II	80.5	35	regolare	2850	3589.172	0.794	59.91	1.08	0.86
4	I (L)	II	77.5	46	regolare	8200	4541.401	1.806	67.39	1.14	2.07
5	I (L)	II	68.5	40	regolare	3580	3490.446	1.026	59.08	1.08	1.11
6	I (L)	II	52.5	38	regolare	5160	2541.401	2.030	50.41	1.00	2.04
Is50 medio											1.304
Note:											
La roccia è fortemente anisotropa per scistosità millimetrica.											
Nel campione n.1 si nota la presenza di abbondante quarzo.											
Nel campione n. 2 sono presenti abbondanti miche.											
LEGENDA											
Tipo:						Alterazione:					
D = diametrale						I = fresco					
A = assiale						II = colore alterato					
B = blocco						III = indebolito					
I = irregolare						IV = rotto con mani					
Per rocce anisotrope:						V = suddiviso in acqua					
⊥ = perpendicolare						VI = no struttura roccia					
= parallela						Il grado IV indica una resistenza a compressione monoassiale <12.5MPa					

Basamento Metamorfoico (Filladi)



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 9 - Basamento metamorfico (Fillade) – Campione n. 1



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 10 - Basamento metamorfico (Fillade) – Campione n. 2



Prima della rottura

manca
Dopo la rottura

Foto 11 - Basamento metamorfico (Fillade) – Campione n. 3

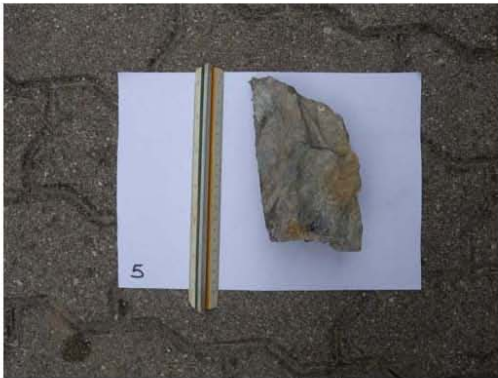


Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 12 - Basamento metamorfico (Fillade) – Campione n. 4



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 13 - Basamento metamorfico (Fillade) – Campione n. 5



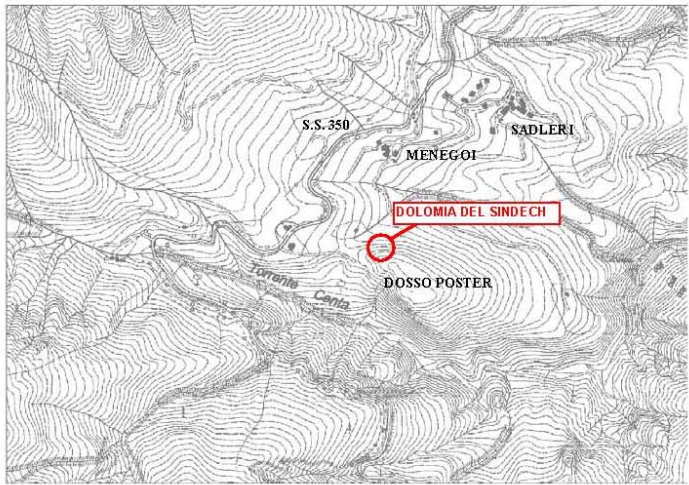

Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 14 - Basamento metamorfico (Fillade) – Campione n. 6

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Data: 07/07/11	Provenienza: Dosso Poster, Centa (vicinanze)	Litotipo: DOLOMA DEL SINDECH									
											
Campione n°	Tipo	Alterazione	W (mm)	D (mm)	Rottura	P (N)	De ² (mm ²)	Is (MPa)	De (mm)	F	Is50 (MPa)
1	I	I	67.5	60	regolare	11900	5159.24	2.31	71.83	1.18	2.71
2	I	I	59	42	regolare	3580	3156.69	1.13	56.18	1.05	1.20
3	I	I	67.5	36	regolare	6120	3095.54	1.98	55.64	1.05	2.07
4	I	I	62.5	48	regolare	7890	3821.66	2.06	61.82	1.10	2.27
5	I	I	58	32	regolare	2140	2364.33	0.91	48.62	0.99	0.89
6	I	I	58.5	32	regolare	5930	2384.71	2.49	48.83	0.99	2.46
7	I	I	57.5	30	regolare	4670	2197.45	2.13	46.88	0.97	2.06
8	I	I	61.5	36	regolare	12100	2820.38	4.29	53.11	1.03	4.41
9	I	I	72.5	35	regolare	7680	3232.48	2.38	56.85	1.06	2.52
10	I	I	41.5	35	regolare	6830	1850.32	3.69	43.02	0.93	3.45
Is50 medio											2.350
Note:											
La roccia non è anisotropa ed è una dolomia cristallina biancastra.											
Campioni n.5 e n.9: dolomia afanítica grigiastra											
LEGENDA											
Tipo:						Alterazione:					
D = diametrale						I = fresco					
A = assiale						II = colore alterato					
B = blocco						III = indebolito					
I = irregolare						IV = rotto con mani					
Per rocce anisotrope:						V = suddiviso in acqua					
⊥ = perpendicolare						VI = no struttura roccia					
= parallela						Il grado IV indica una resistenza a compressione monoassiale <12.5MPa					

Dolomia del Sindech



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 15 - Dolomia del Sindech – Campione n. 1



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 16 - Dolomia del Sindech – Campione n. 2



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 17 - Dolomia del Sindech – Campione n. 3



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 18 - Dolomia del Sindech – Campione n. 4



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 19 - Dolomia del Sindech – Campione n. 5



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 20 - Dolomia del Sindech – Campione n. 6



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 21 - Dolomia del Sindech – Campione n. 7



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 22 - Dolomia del Sindech – Campione n. 8



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 23 - Dolomia del Sindech – Campione n. 9



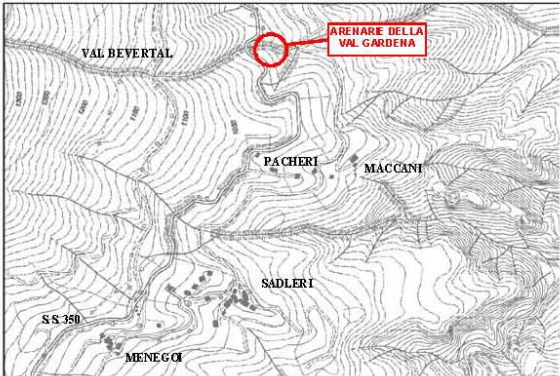

Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 24 - Dolomia del Sindech – Campione n. 10

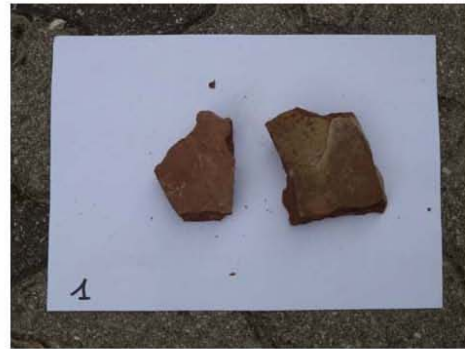
AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Data: 07/07/11		Provenienza: Val Bevertal					Litotipo: ARENARIE DI VAL GARDENA					
												
Campione n°	Tipo	Alterazione	W (mm)	D (mm)	Rottura	P (N)	De ² (mm ²)	Is (MPa)	De (mm)	F	Is50 (MPa)	
Arenarie fini rosse poco compatte												
1	I (II)	II	67.5	25	regolare	3270	2149.68	1.52	46.36	0.97	1.47	
2	I (II)	II	73	34	regolare	3790	3161.78	1.20	56.23	1.05	1.26	
3	I (II)	II	68.5	32	regolare	2230	2792.36	0.80	52.84	1.03	0.82	
4	I (II)	II	120	54	regolare	4120	8254.78	0.50	90.86	1.31	0.65	
5	I (II)	II	82.5	46	regolare	4170	4834.39	0.86	69.53	1.16	1.00	
Is50 medio											1.097	
Arenaria a matrice carbonatica con lapilli diffusi												
1a	I	I	69.5	50	*	3000	4426.75	0.68	66.53	1.14	0.77	
2a	I	I	57.5	50	regolare	5300	3662.42	1.45	60.52	1.09	1.58	
3a	I	I	75	50	regolare	5010	4777.07	1.05	69.12	1.16	1.21	
4a	I	I	85	36	regolare	6020	3898.09	1.54	62.43	1.11	1.71	
5a	I	I	69	46	regolare	3820	4043.31	0.94	63.59	1.11	1.05	
6a	I	I	67.5	52	*	8260	4471.34	1.85	66.87	1.14	2.11	
Is50 medio											1.387	
Note:												
* rottura lungo frattura preesistente												
Il colore rossastro delle arenarie fini è dovuto all'ambiente deposizionale. Le arenarie fini sono anisotrope per fitta laminazione.												
LEGENDA												
Tipo:						Alterazione:						
D = diametrale						I = fresco						
A = assiale						II = colore alterato						
B = blocco						III = indebolito						
I = irregolare						IV = rotto con mani						
Per rocce anisotrope:						V = suddiviso in acqua						
⊥ = perpendicolare						VI = no struttura roccia						
II = parallela						Il grado IV indica una resistenza a compressione monoassiale <12.5MPa						

Arenarie di Val Gardena



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 25 - Arenaria della Val Gardena – Campione n. 1



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 26 - Arenaria della Val Gardena – Campione n. 2

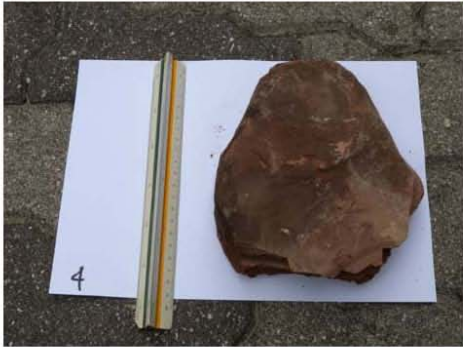


Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 27 - Arenaria della Val Gardena – Campione n. 3



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 28 - Arenaria della Val Gardena – Campione n. 4



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 29 - Arenaria della Val Gardena – Campione n. 5



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 30 - Arenaria della Val Gardena – Campione n. 1a



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 31 - Arenaria della Val Gardena – Campione n. 2a

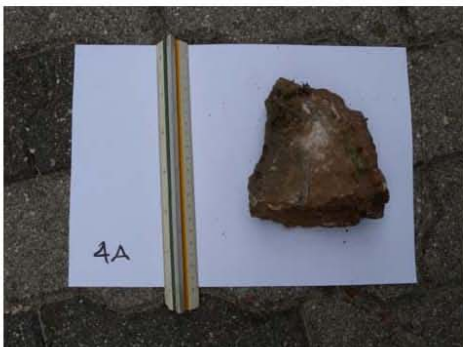


Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 32 - Arenaria della Val Gardena – Campione n. 3a



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 33 - Arenaria della Val Gardena – Campione n. 4a



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 34 - Arenaria della Val Gardena – Campione n. 5a



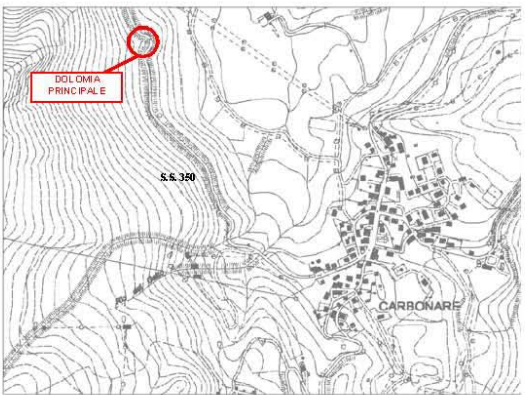

Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 35 - Arenaria della Val Gardena – Campione n. 6a

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Data: 07/07/11	Provenienza: S.S. 350	Litotipo: DOLOMIA PRINCIPALE									
 											
Campione n°	Tipo	Alterazione	W (mm)	D (mm)	Rottura	P (N)	De² (mm²)	Is (MPa)	De (mm)	F	Is50 (MPa)
1	I	I	55	57	*	1090	3993.63	0.27	63.20	1.11	0.30
2	I	I	62	38		3900	3001.27	1.30	54.78	1.04	1.35
3	I	I	58	55		4180	4063.69	1.03	63.75	1.12	1.15
4	I	I	90	60		8310	6878.98	1.21	82.94	1.26	1.52
5	I	I	75	50		3380	4777.07	0.71	69.12	1.16	0.82
6	I	I	78	45		7550	4471.34	1.69	66.87	1.14	1.92
7	I	I	72.5	32		5940	2955.41	2.01	54.36	1.04	2.09
8	I	I	85	42		2810	4547.77	0.62	67.44	1.14	0.71
9	I	I	97.5	60		9260	7452.23	1.24	86.33	1.28	1.59
Is50 medio											1.375
Note:											
* rottura lungo frattura preesistente (trattasi di una zona di intensa fratturazione)											
La roccia non è anisotropa.											
LEGENDA											
Tipo:						Alterazione:					
D = diametrale						I = fresco					
A = assiale						II = colore alterato					
B = blocco						III = indebolito					
I = irregolare						IV = rotto con mani					
Per rocce anisotrope:						V = suddiviso in acqua					
⊥ = perpendicolare						VI = no struttura roccia					
II = parallela						Il grado IV indica una resistenza a compressione monoassiale <12.5MPa					

Dolomia Principale



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 36 - Dolomia principale – Campione n. 1



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 37 - Dolomia principale – Campione n. 2



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 38 - Dolomia principale – Campione n. 3



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 39 - Dolomia principale – Campione n. 4



Prima della rottura

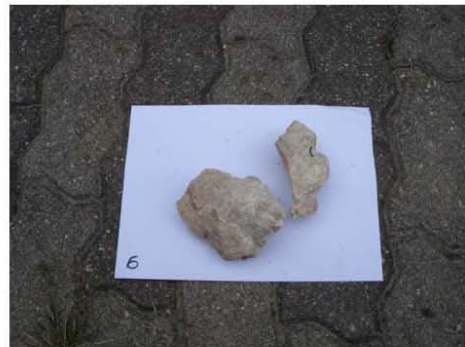


Dopo la rottura

Foto 40 - Dolomia principale – Campione n. 5

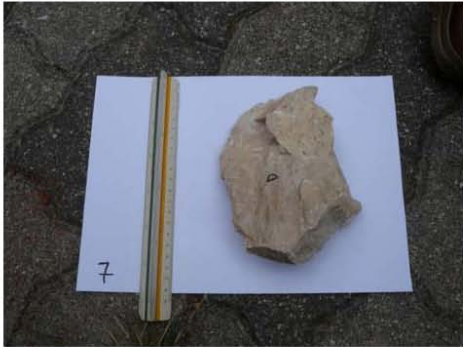


Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 41 - Dolomia principale – Campione n. 6



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 42 - Dolomia principale – Campione n. 7

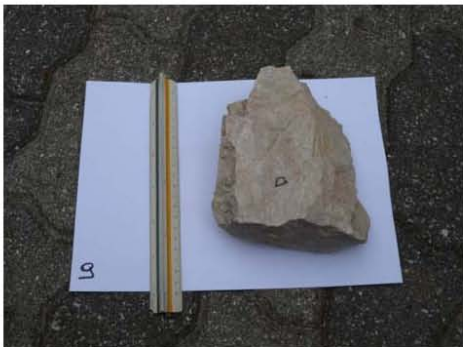


Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 43 - Dolomia principale – Campione n. 8



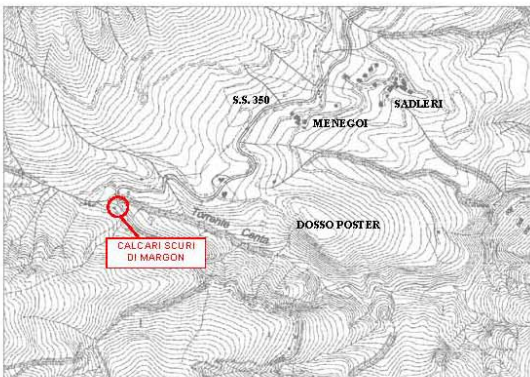

Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 44 - Dolomia principale – Campione n. 9

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Data: 07/07/11	Provenienza: Torrente Centa - S.S. 350	Litotipo: CALCARI SCURI DI MARGON									
											
		N.B: Presenza di acqua									
Campione n°	Tipo	Alterazione	W (mm)	D (mm)	Rottura	P (N)	De ² (mm ²)	Is (MPa)	De (mm)	F	Is50 (MPa)
1	I	I	60	35	regolare	5480	2675.16	2.05	51.72	1.02	2.08
2	I	I	75	32	regolare	8380	3057.32	2.74	55.29	1.05	2.87
3	I	I	80	30	regolare	9790	3057.32	3.20	55.29	1.05	3.35
4	I	I	67.5	37	regolare	7110	3181.53	2.23	56.41	1.06	2.36
5	I	I	75	37	regolare	10200	3535.03	2.89	59.46	1.08	3.12
6	I	I	70	34	*	8190	3031.85	2.70	55.06	1.04	2.82
7	I	I	70	30	regolare	3650	2675.16	1.36	51.72	1.02	1.39
8	I	I	57.5	54	regolare	7440	3955.41	1.88	62.89	1.11	2.09
Is50 medio											2.440
Note:											
* rottura lungo frattura preesistente. Nel campione n. 6 si nota la presenza di calcite di precipitazione. La roccia non è anisotropa ed è costituita da calcari micritici.											
LEGENDA											
Tipo:						Alterazione:					
D = diametrale A = assiale B = blocco I = irregolare Per rocce anisotrope: ⊥ = perpendicolare = parallela						I = fresco II = colore alterato III = indebolito IV = rotto con mani V = suddiviso in acqua VI = no struttura roccia Il grado IV indica una resistenza a compressione monoassiale <12.5MPa					

Calcari scuri di Margon



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 45 - Calcari scuri di Margon- Campione n. 1



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 46 - Calcari scuri di Margon- Campione n. 2



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 47 - Calcari scuri di Margon- Campione n. 3



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 48 - Calcari scuri di Margon- Campione n. 4



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 49 - Calcari scuri di Margon- Campione n. 5



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 50 - Calcari scuri di Margon- Campione n. 6



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 51 - Calcari scuri di Margon- Campione n. 7



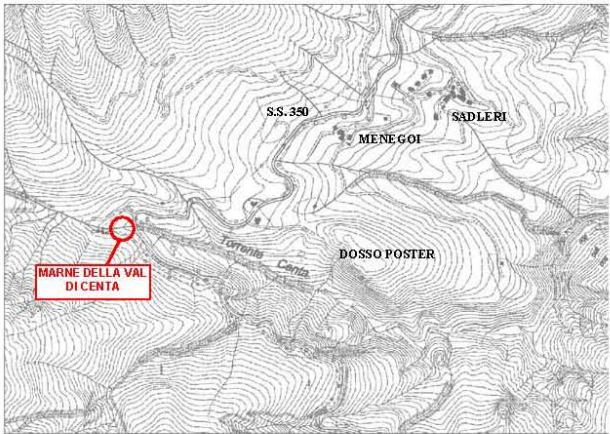

Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 52 - Calcari scuri di Margon- Campione n. 8

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Data: 07/07/11	Provenienza: Torrente Centa - S.S. 350	Litotipo: MARNE DELLA VAL DI CENTA									
											
N.B: Presenza di acqua											
Campione n°	Tipo	Alterazione	W (mm)	D (mm)	Rottura	P (N)	De ² (mm ²)	Is (MPa)	De (mm)	F	Is50 (MPa)
1	I(⊥)	I	65	44	regolare	3610	3643.31	0.99	60.36	1.09	1.08
2	I(⊥)	I	73	33	regolare	3760	3068.79	1.23	55.40	1.05	1.28
3	I(⊥)	I	58.5	46	regolare	2970	3428.03	0.87	58.55	1.07	0.93
4	I(⊥)	I	65.5	30	regolare	3800	2503.18	1.52	50.03	1.00	1.52
5	I	I	58.5	35	*	2380	2608.28	0.91	51.07	1.01	0.92
6	I	I	57.5	30	regolare	4240	2197.45	1.93	46.88	0.97	1.87
7	I	I	58	35	regolare	14220	2585.99	5.50	50.85	1.01	5.54
8	I(⊥)	I	72.5	30	regolare	2230	2770.70	0.80	52.64	1.02	0.82
9	I(⊥)	I	67.5	30	regolare	3270	2579.62	1.27	50.79	1.01	1.28
10	I(⊥)	I	67.5	30	regolare	1730	2579.62	0.67	50.79	1.01	0.68
11	I	I	57.5	45	regolare	10580	3296.18	3.21	57.41	1.06	3.42
12	I	I	60	42	regolare	9930	3210.19	3.09	56.66	1.06	3.27
13	I	I	70	45	regolare	14350	4012.74	3.58	63.35	1.11	3.98
14	I	I	47.5	50	regolare	7190	3025.48	2.38	55.00	1.04	2.48
Is50 medio											1.805
Note:											
* rottura lungo frattura preesistente											
Campioni 1,2,3,4,9,10: marne calcaree. Campioni 5,6,7: calcari marnosi. Campione 8: marna. Campione 11: calcare. Campione 12: arenaria in matrice carbonatica. Campioni 13, 14: dolareniti. Le marne sono anisotrope per laminazione e fissilità.											
LEGENDA											
Tipo:						Alterazione:					
D = diametrale						I = fresco					
A = assiale						II = colore alterato					
B = blocco						III = indebolito					
I = irregolare						IV = rotto con mani					
Per rocce anisotrope:						V = suddiviso in acqua					
⊥ = perpendicolare						VI = no struttura roccia					
II = parallela						Il grado IV indica una resistenza a compressione monoassiale <12.5MPa					

Marne della Val di Centa



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 53 - Marne della Val di Centa – Campione n. 1



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 54 - Marne della Val di Centa – Campione n. 2



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 55 - Marne della Val di Centa – Campione n. 3



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 56 - Marne della Val di Centa – Campione n. 4



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 57 - Marne della Val di Centa – Campione n. 5



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 58 - Marne della Val di Centa – Campione n. 6



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 59 - Marne della Val di Centa – Campione n. 7



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 60 - Marne della Val di Centa – Campione n. 8



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 61 - Marne della Val di Centa – Campione n. 9



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 62 - Marne della Val di Centa – Campione n. 10



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 63 - Marne della Val di Centa – Campione n. 11



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 64 - Marne della Val di Centa – Campione n. 12



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 65 - Marne della Val di Centa – Campione n. 13



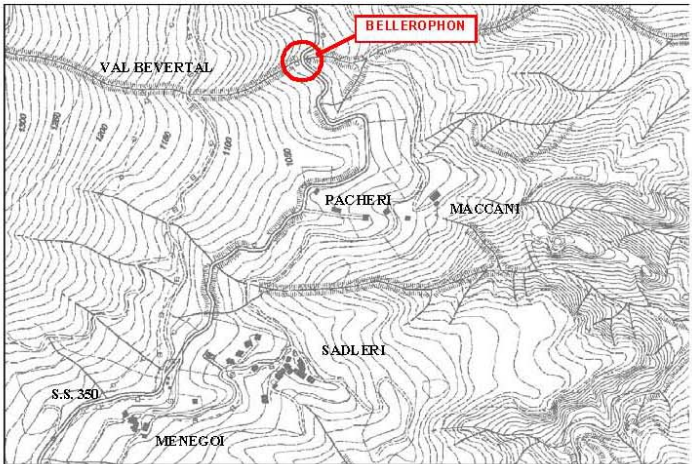

Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 66 - Marne della Val di Centa – Campione n. 14

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Data: 07/07/11		Provenienza: Val Bevertal					Litotipo: BELLEROPHON					
												
Campione n°	Tipo	Alterazione	W (mm)	D (mm)	Rottura	P (N)	De ² (mm ²)	Is (MPa)	De (mm)	F	Is50 (MPa)	
1	I	I	72.5	56	*	5330	5171.97	1.03	71.92	1.18	1.21	
2	I	I	70	55	regolare	6880	4904.46	1.40	70.03	1.16	1.63	
3	I	I	55	42	regolare	4660	2942.68	1.58	54.25	1.04	1.64	
4	I	I	50	50	regolare	5700	3184.71	1.79	56.43	1.06	1.89	
5	I	I	65	55	regolare	5310	4554.14	1.17	67.48	1.14	1.33	
6	I	I	70	36	regolare	2080	3210.19	0.65	56.66	1.06	0.69	
7	I(L)	I	95	55	regolare	2080	6656.05	0.31	81.58	1.25	0.39	
8	I	I	77.5	40	regolare	3270	3949.04	0.83	62.84	1.11	0.92	
9	I	I	66	54	regolare	15640	4540.13	3.44	67.38	1.14	3.94	
10	I	I	77.5	60	regolare	10710	5923.57	1.81	76.96	1.21	2.20	
11	I	I	55.5	38	regolare	7880	2686.62	2.93	51.83	1.02	2.98	
Is50 medio											1.547	
Note:												
* rottura lungo frattura preesistente												
Campioni n. 1,2,3,4,9,10,11: dolomia afanitica. Campione n. 5: arenaria con matrice carbonatica. Campione n. 6: calcare dolomitizzato. Campione n. 7: calcarenite. Campione n. 8: doloarenite. La calcarenite è anisotropa per laminazione.												
LEGENDA												
Tipo:						Alterazione:						
D = diametrale						I = fresco						
A = assiale						II = colore alterato						
B = blocco						III = indebolito						
I = irregolare						IV = rotto con mani						
Per rocce anisotrope:						V = suddiviso in acqua						
⊥ = perpendicolare						VI = no struttura roccia						
= parallela						Il grado IV indica una resistenza a compressione monoassiale < 12.5 MPa						

Bellerophon



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 67 - Bellerophon - Campione n. 1



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 68 - Bellerophon - Campione n. 2



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 69 - Bellerophon - Campione n. 3



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 70 - Bellerophon - Campione n. 4



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 71 - Bellerophon - Campione n. 5



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 72 - Bellerophon - Campione n. 6



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 73 - Bellerophon - Campione n. 7



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 74 - Bellerophon - Campione n. 8



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 75 - Bellerophon - Campione n. 9



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 76 - Bellerophon - Campione n. 10



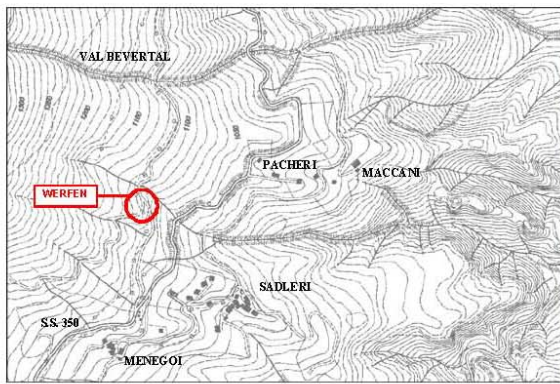

Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 77 - Bellerophon - Campione n. 11

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO
TRONCO TRENTO - VALDASTICO - PIOVENE ROCCHETTE

Data: 07/07/11	Provenienza: Val Bevertal	Litotipo: WERFEN									
 											
Campione n°	Tipo	Alterazione	W (mm)	D (mm)	Rottura	P (N)	De² (mm²)	Is (MPa)	De (mm)	F	Is50 (MPa)
1	I	I	75	44	regolare	9210	4203.82	2.19	64.84	1.12	2.46
2	I	I	82.5	38	regolare	3890	3993.63	0.97	63.20	1.11	1.08
3	I	I	63.5	40	regolare	2620	3235.67	0.81	56.88	1.06	0.86
4	I	I	82.5	65	*	3190	6831.21	0.47	82.65	1.25	0.59
5	I	I	77.5	50	*	3220	4936.31	0.65	70.26	1.17	0.76
6	I	I	85	38	regolare	8580	4114.65	2.09	64.15	1.12	2.33
7	I	I	62.5	47	regolare	7550	3742.04	2.02	61.17	1.09	2.21
Is50 medio											1.449
Note:											
* rottura lungo frattura preesistente											
Campioni n. 1,2,5: dolomia afanitica. Campioni n. 3,4: calcare nodulare. Campioni n. 6,7: calcare dolomitizzato.											
La roccia non è anisotropa.											
LEGENDA											
Tipo:						Alterazione:					
D = diametricale						I = fresco					
A = assiale						II = colore alterato					
B = blocco						III = indebolito					
I = irregolare						IV = rotto con mani					
Per rocce anisotrope:						V = suddiviso in acqua					
⊥ = perpendicolare						VI = no struttura roccia					
II = parallela						Il grado IV indica una resistenza a compressione monoassiale <12.5MPa					

Werfen



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 78 - Werfen - Campione n. 1



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 79 - Werfen - Campione n. 2



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 80 - Werfen - Campione n. 3



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 81 - Werfen - Campione n. 4

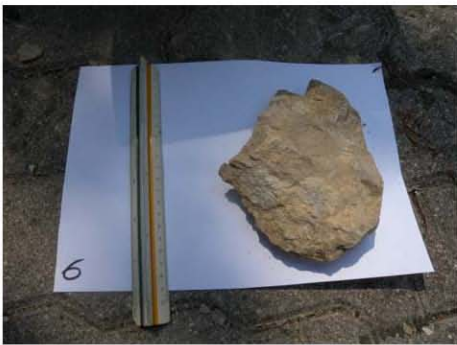


Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 82 - Werfen - Campione n. 5



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 83 - Werfen - Campione n. 6



Prima della rottura



Dopo la rottura

Foto 84 - Werfen - Campione n. 7