

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche
Dott. Paolo Cucino
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"

RELAZIONE

08 - GALLERIE

B - GEOTECNICA

Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO 		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	G E	G N 0 0 0 0	0 0 2	C

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	C. Amoroso	18/03/2022	M. Pietrantoni	21/03/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	25/03/2022	IL PROGETTISTA P. Cucino
B	Emissione a seguito di indicazioni Committenza	C. Amoroso	15/07/2022	M. Pietrantoni	17/07/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	20/07/2022	
C	Emissione a seguito di istruttorie e interlocuzioni	C. Amoroso	13/03/2023	M. Pietrantoni	14/03/2023	D. Buttafoco (Dolomiti)	16/03/2023	

File: IB0U1AEZZGEGN0000002C.docx

n. Elab.: X

APPALTAZIONE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 2 di 157

SOMMARIO

1. PREMESSA	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2.1 ELABORATI E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1.1 Elaborati progettuali di riferimento	5
2.1.2 Elaborati indagini (sito e laboratorio)	5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
3.1 GEOLOGIA GENERALE.....	9
3.2 DESCRIZIONE DELLE PRINCIPALI FORMAZIONI GEOLOGICHE DI INTERESSE.....	10
3.2.1 BASAMENTO METAMORFICO ERCINICO – UNITÀ DI BRESSANONE	10
3.2.2 INTRUSIONI PERMIANE	11
3.2.3 DEPOSITI SUPERFICIALI QUATERNARI.....	12
3.3 DESCRIZIONE DELLE PRINCIPALI FORMAZIONI GEOLOGICHE DI INTERESSE.....	13
3.3.1 Galleria Gardena	14
3.3.2 Gallerie di Interconnessione B.P. e B.D.....	14
3.3.3 Finestra di Funes	15
3.3.4 Finestra di Chiusa	15
4. INDAGINI ESEGUITE	17
5. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA	19
5.1 GENERALITA'	19
5.2 MATERIALI A GRANA GROSSA (SABBIE E GHIAIE PIÙ O MENO LIMOSE)	21
5.2.1 Introduzione	21
5.2.2 Stato iniziale del deposito	21
5.2.3 Angolo di resistenza al taglio.....	24
5.2.4 Caratteristiche di deformabilità	25
5.3 FORMAZIONI ROCCIOSE.....	32
5.3.1 Introduzione.....	32
5.3.1 Caratterizzazione della matrice litoide.....	34
5.3.2 Assetto geostrutturale, grado di fratturazione e di alterazione delle discontinuità.....	34
5.3.3 Metodi di classificazione degli ammassi rocciosi	35

APPALTAZIONE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 3 di 157

5.3.4	Resistenza al taglio dell'ammasso. Modello costitutivo di Hoek-Brown	38
5.3.5	Deformabilità dell'ammasso roccioso	40
5.3.6	Resistenza al taglio lungo i giunti	40
6.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA	41
6.1	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	41
6.1.1	Detrito di versante (d)	41
6.1.1	Deposito di frana inattivo (fi)	44
6.1.2	Rilevato autostradale (h)	50
6.1.3	Depositi alluvionali recenti (ar)	56
6.2	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI	65
6.2.1	Formazione delle Filladi	65
6.2.2	Formazione delle Filladi Carboniose	71
6.2.3	Lave andesitiche (α)	95
6.2.4	Porfiroidi (p)	96
6.2.5	Paragneiss di Laion (PRL)	100
6.3	DEFINIZIONE DEGLI INTERVALLI DEI PARAMETRI GEOTECNICI	105
7.	STATO TENSIONALE NEL SOTTOSUOLO	108
8.	CARATTERIZZAZIONE INTERFERENZE CON A22	110
8.1	CARATTERIZZAZIONE PILA 13 E PILA 14	110
8.1.1	Modello geologico-geotecnico progetto definitivo	110
8.1.2	Modello geologico-geotecnico progetto esecutivo	118
8.1.3	Confronto dei modelli geologico-geotecnici progetto definitivo-esecutivo pila 13 e pila 14	124
8.2	CARATTERIZZAZIONE BINARIO DISPARI – RILEVATO AUTOSTRADALE	127
8.2.1	Modello geologico-geotecnico progetto definitivo	127
8.2.2	Modello geologico-geotecnico progetto esecutivo	134
8.2.3	Confronto dei modelli geologico-geotecnici progetto definitivo-esecutivo rilevato A22	145
9.	CARATTERIZZAZIONE DELLE ZONE DI FAGLIA	146
10.	BIBLIOGRAFIA	155

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 4 di 157

1. PREMESSA

Il presente documento ha per oggetto la caratterizzazione geotecnica delle principali formazioni geologiche e geotecniche presenti lungo il tracciato ferroviario in sotterraneo della tratta Fortezza – Ponte Gardena, nell’ambito del progetto di Accesso Sud alla galleria di base del Brennero - Quadruplicamento della Verona – Fortezza, in particolare per la **Galleria Gardena**, le **Interconnessioni di Ponte Gardena** e le annesse **finestre di Funes e Chiusa**.

La caratterizzazione è stata effettuata sulla base sia dei risultati delle indagini, in sito e di laboratorio, svolte nelle precedenti fasi progettuali, sia dei dati acquisiti con le indagini, in sito e in laboratorio, sviluppate nella fase di progettazione esecutiva.

In particolare, nella prima parte della Relazione vengono esposti i criteri di caratterizzazione dei terreni e degli ammassi rocciosi e quindi vengono descritti e commentati i risultati delle indagini afferenti a diversi siti attribuendoli alle varie unità geotecniche e, sulla base di questi risultati, è stata sviluppata la caratterizzazione geotecnica.

L’impostazione dello studio geotecnico ha previsto prima la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche delle unità ritenute omogenee dal punto di vista geotecnico, partendo dalla suddivisione in formazioni dello studio geologico. Quindi, laddove necessario, si è proceduto ad una suddivisione in tratte (pseudo) omogenee per stratigrafia e parametri geotecnici.

Questi schemi sono stati ricostruiti anche sulla base del profilo geologico e delle sezioni geologiche, specificamente ricostruiti per queste opere che hanno rappresentato la base per la costruzione dei profili geotecnici. Per una piena lettura degli aspetti geotecnici si rimanda quindi anche alla relazione geologica e ai relativi elaborati grafici.

I risultati dei calcoli e delle verifiche geotecniche sono invece riportati nelle specifiche relazioni di calcolo delle singole opere.

APPALTAZIONE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 5 di 157

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- [1] Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. N.29 Del 04.2.2008, Supplemento Ordinario N.30.
- [2] Circolare 2 Febbraio 2009, N. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui Al D.M. 14 Gennaio 2008.
- [3] RFI Dtc Inc Cs Sp Ifs 001 A Del 21.12.2011 - "Specifica per la Progettazione Geotecnica delle Opere Civili Ferroviarie".
- [4] RFI Dtc Sics Sp Ifs 001 A Del 30.06.2014 - Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – Parte LI – Sezione 5 – "Opere in Terra e Scavi" – Rfi.
- [5] Uni En 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole Generali
- [6] Uni En 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle Strutture per la Resistenza Sismica – Parte 5: Fondazioni, Strutture di Contenimento ed Aspetti Geotecnici.

2.1 ELABORATI E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1.1 Elaborati progettuali di riferimento

Sono stati utilizzati come input per il presente documento i seguenti elaborati:

- [7] IBOU1BEZZRGGE0000001A – Relazione geologica;
- [8] IBOU1BEZZRGGE0000002A – Relazione idrogeologica;
- [9] IBOU1BEZZFZGE0001007A - Profilo geologico – Galleria Gardena;
- [10] IBOU1BEZZFZGE0001014A - Profilo geologico – Finestra di Funes;
- [11] IBOU1BEZZFZGE0001016A - Profilo geologico - Finestra di Chiusa;
- [12] IBOU1BEZZFZGE0001010A - Profilo geologico – Galleria di Interconnessione B.P.;
- [13] IBOU1BEZZFZGE0001012A - Profilo geologico – Galleria di Interconnessione B.D..

2.1.2 Elaborati indagini (sito e laboratorio)

Campagna indagini Progetto Definitivo

- [14] INDAGINI GEOFISICHE - PLANIMETRIA GENERALE INDAGINI ESEGUITE (2017) IBL11BD69IGGE0105;
- [15] Prove di laboratorio sondaggi Interconnessione Ponte Gardena (sondaggi EP07 - EO23 - EO24 - EO25 - EO28) IBL11BD69PRGE0105;
- [16] Prove di laboratorio sondaggi (TERRE: EO14-EO29-EO30-EO30b-EO32-EO36-EO41-EO50-EO60. ROCCE: EO3-EO7-EO13-EO14-EO19-EO30-EO36-EO41-EP2-EP3-EP6-EP8-EP9) VOLUME 1 IBL11BD69PRGE0105;
- [17] Prove di laboratorio sondaggi (TERRE: EO14-EO29-EO30-EO30b-EO32-EO36-EO41-EO50-EO60. ROCCE: EO3-EO7-EO13-EO14-EO19-EO30-EO36-EO41-EP2-EP3-EP6-EP8-EP9) VOLUME2 IBL11BD69PRGE0105;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 6 di 157

- [18] Prove di laboratorio sondaggi (EP4-EP10-EP11-EO31-EO61-EO62-EO63-EO64-EO65-EO66-EO67-C19-EP2-EP3-EP7-EP8) -VOLUME1 IBL11BD69PRGE0105;
- [19] Prove di laboratorio sondaggi (EP4-EP10-EP11-EO31-EO61-EO62-EO63-EO64-EO65-EO66-EO67-C19-EP2-EP3-EP7-EP8) -VOLUME2 IBL11BD69PRGE0105;
- [20] Sondaggi geognostici ordinari Galleria Scaleres (Sondaggi EO3-EO6-EO7-EO13-EO14-EO40-EO50) IBL11BD69SGGE0105;
- [21] Sondaggi geognostici ordinari (Sondaggi C4-C5-C6-C9-C10-C12-C23) IBL110D69SGGE0005009;
- [22] Sondaggi geognostici ordinari (Sondaggi C1-C2-C3-C7-C8-C11-C22) IBL110D69SGGE0005010;
- [23] Sondaggi geognostici ordinari (Sondaggi B2V11-B2V13-BV1-BV4p-BV5-BV6-V21-B2V13pg-B2V13ps) IBL110D69SGGE0005011;
- [24] Sondaggi geognostici ordinari (Sondaggi C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21) IBL110D69SGGE0005014;
- [25] Indagini geofisiche - PROVE CH SONDAGGI D16-D11-D2 E PROVE DH SONDAGGIO C20 IBL110D69IGGE0005023;
- [26] Indagini geofisiche - PROVE CH SONDAGGI D18-D7 E PROVE DH SONDAGGIO C19 IBL110D69IGGE0005024;
- [27] Indagini geofisiche - PLANIMETRIA GENERALE IBL110D69IGGE0005027;
- [28] Prove di laboratorio sondaggi geognostici ordinari-volume 1 IBL110D69PRGE0005002;
- [29] Prove di laboratorio sondaggi geognostici ordinari-volume 2 IBL110D69PRGE0005003;
- [30] IBL110D69SGGE0005001A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio S8);
- [31] IBL110D69SGGE0005002A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio S12);
- [32] IBL110D69SGGE0005003A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio S13);
- [33] IBL110D69SGGE0005004A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio S16);
- [34] IBL110D69SGGE0005005A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio S2);
- [35] IBL110D69SGGE0005006A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio S4);
- [36] IBL110D69SGGE0005007A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio S7);
- [37] IBL110D69SGGE0005008A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio SPG1);
- [38] IBL110D69SGGE0005009A Sondaggi geognostici ordinari (Sondaggi C4-C5-C6-C9-C10-C12-C23);
- [39] IBL110D69SGGE0005010A Sondaggi geognostici ordinari (Sondaggi C1-C2-C3-C7-C8-C11-C22);
- [40] IBL110D69SGGE0005011A Sondaggi geognostici ordinari (Sondaggi B2V11-B2V13-BV1-BV4p-BV5-BV6-V21-B2V13pg-B2V13ps);
- [41] IBL110D69SGGE0005012A Sondaggi geognostici ordinari (Sondaggio C25);
- [42] IBL110D69SGGE0005013A Sondaggi geognostici ordinari (Sondaggi CBV13-C26-C27);
- [43] IBL110D69SGGE0005014A Sondaggi geognostici ordinari (Sondaggi C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21);
- [44] IBL110D69SGGE0005015A Sondaggi geognostici ordinari (Sondaggi C28-C29-C30);

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 7 di 157

- [45]IBL11BD69SGGE0105001A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio EP7);
- [46]IBL11BD69SGGE0105002A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio EP2);
- [47]IBL11BD69SGGE0105003A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio EP3);
- [48]IBL11BD69SGGE0105004A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio EP8);
- [49]IBL11BD69SGGE0105005A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio EP9);
- [50]IBL11BD69SGGE0105006A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio EP6);
- [51]IBL11BD69SGGE0105007A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio EP10);
- [52]IBL11BD69SGGE0105008A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio EP11);
- [53]IBL11BD69SGGE0105009A Sondaggi geognostici profondi (Sondaggio EP4);
- [54]IBL11BD69SGGE0105011A Sondaggi geognostici ordinari sito e Finestra Forch (Sondaggi EO32-EO60);
- [55]IBL11BD69SGGE0105012A Sondaggi geognostici ordinari sito Forch (Sondaggi EO63-EO64-EO65-EO66-EO67);
- [56]IBL11BD69SGGE0105015A Sondaggi geognostici ordinari Galleria Scaleres (Sondaggi EO3-EO6-EO7-EO13-EO14-EO40-EO50);
- [57]IBL11BD69RHGE0105001A Relazione sulle stazioni geostrutturali (2012);
- [58]IBL11BD69RHGE0105002A Relazione sulle stazioni geomeccaniche 2014;
- [59]IBL11BD69IGGE0105017A-INDAGINI GEOFISICHE – ZONA VARNA E FORCH Planimetria Profili sismici Pes 15, Pes 15b, Pes 16, Pes 26, Pes 26b, Pes 26c, Pes 26d, Pes 26e, Pes 26f, Pes 26g; MASW/Re.Mi: Res21, Res22;
- [60]IBL11BD69IGGE0105004A INDAGINI GEOFISICHE – ZONA PONTE GARDENA Relazione generale: Profili sismici Pes 12, Pes 13, Pes 14; MASW/Re.Mi: Res9, Res9b, Res16, Res16b, Res17, Res17b, Res23;
- [61]IBL11BD69IGGE0105018A INDAGINI GEOFISICHE – ZONA VARNA E FORCH Tomografia sismica superficiale: Profili sismici Pes 15, Pes 15b, Pes 16;
- [62]IBL11BD69IGGE0105019A INDAGINI GEOFISICHE – ZONA VARNA E FORCH Tomografia sismica superficiale: Profili sismici Pes 26, P;
- [63]IBL11BD69IGGE0105020A INDAGINI GEOFISICHE – ZONA VARNA E FORCH Tomografia sismica superficiale: Profili sismici Pes 26e, Pes 26f, Pes 26g;
- [64]IBL11BD69IGGE0105021A INDAGINI GEOFISICHE – ZONA VARNA E FORCH Rilievi Magnetotellurici: Sezioni A-A', B-B', C-C';

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 8 di 157

[65]IBL11BD69IGGE0105022A "INDAGINI GEOFISICHE – ZONA VARNA E FORCH Relazione generale: Profili sismici Pes 15, Pes 15b, Pes 16, Pes 26, Pes 26b, Pes 26c, Pes 26d, Pes 26e, Pes 26f, Pes 26g; MASW/Re.Mi: Res21, Res22;

[66]IBL11BD69IGGE0105024A INDAGINI GEOFISICHE - PLANIMETRIA GENERALE INDAGINI ESEGUITE (2017);

Campagna indagini Progetto Esecutivo

[67]Elaborato relativo ai sondaggi IB0U1BEZZRHGE0000001A;

[68]Sondaggi Integrativi PE - opere parte A - IB0U1AEZZSGGE0000001A;

[69]Sondaggi Integrativi PE - opere parte B – 1/2 - IB0U1BEZZSGGE0000001A;

[70]Sondaggi Integrativi PE - opere parte B - 2/2 - IB0U1BEZZSGGE0000002A;

[71] Sismica integrativa PE - opere parte B - 1/2 - IB0U1BEZZIGGE0000001A;

[72]Sismica integrativa PE - opere parte B - 2/2 - IB0U1BEZZIGGE0000002A;

[73]Prove di laboratorio sondaggi integrativi - opere parte B - 1/2 - IB0U1BEZZPRGE0000001A;

[74]Prove di laboratorio sondaggi integrativi – opere parte B - 2/2 - IB0U1BEZZPRGE0000002A;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 9 di 157

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 GEOLOGIA GENERALE

L'area oggetto di studio si colloca nella Alpi Orientali in prossimità della linea Insubrica, un importante sistema di faglie, con orientazione E-W, che separa le Alpi Settentrionali da quelle Meridionali. In particolare, l'area del progetto si sviluppa in senso Nord-Sud, a partire da una distanza di circa 10 km a sud di tale lineamento.

Nell'area di progetto affiorano litotipi di pertinenza del basamento cristallino ercinico del Sudalpino o Alpi Meridionali, rappresentati dai termini scistoso filladici dell'Unità di Bressanone (Fillade Sudalpina) e dalle rocce magmatiche di età Permiana (post Erciniche) che lo intrudono, tra i quali i principali sono il Granito di Bressanone e la Diorite di Chiusa.

Il basamento metamorfico di basso grado del settore orientale delle Alpi Meridionali è indicato in genere nella bibliografia più datata con il termine di Fillade Sudalpina o di Fillade quarzifera di Bressanone (Fogli geologici Bressanone e Merano), mentre negli adiacenti Fogli CARG 1:50.000 Merano e Dobbiaco, per accorpate le rocce del basamento cristallino del Sudalpino viene utilizzato il termine di "Unità di Bressanone".

Predominano i tipi filladici in senso stretto, ma presso il granito di Bressanone ed in altri settori sono presenti gneiss e micascisti a granato.

I due fogli CARG Dobbiaco e Merano distinguono, all'interno delle prevalenti filladi e filladi quarzitiche, membri quarziticci o quarzítico-micacei, metavulcaniti acide ("porfiroidi" Auct.), metabasiti, cornubianiti e altre unità locali non presenti nell'area di studio.

Il plutone di Bressanone è un grande corpo lenticolare allungato in senso Est-Ovest. Il suo limite settentrionale è di natura tettonica, quello meridionale è primario, di tipo intrusivo, con vistosi effetti di metamorfismo di contatto sulle rocce scistose incassanti appartenenti all'Unità di Bressanone. In questi settori la fillade incassante mostra evidenti tracce di un metamorfismo termico ed è trasformata, con un passaggio graduale dalle zone più prossime al contatto fino alle rocce filladiche originali, in locali migmatiti, cornubianiti, cornubianiti filladiche e filladi cornubianitiche.

Le rocce del substrato sono coperte in superficie da depositi quaternari. In particolare, in tutto il settore interessato i depositi Quaternari relativi al Pleistocene medio – Olocene, coprono vaste aree con depositi alluvionali all'interno dei fondovalle delle principali aste vallive come la Valle Isarco e la Val di Funes, depositi colluviali situati alla base e lungo i versanti, depositi di frana inattiva, depositi glaciali/fluvio-glaciali e depositi lacustri riconducibili alle fasi glaciali-interglaciali susseguites a partire dal Pleistocene medio.

I depositi quaternari sono interessati dalle opere in progetto in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie di linea, delle finestre e delle interconnessioni di Ponte Gardena. Gli imbocchi delle interconnessioni e della finestra di Funes interessano essenzialmente depositi alluvionali recenti di riempimento della Valle Isarco e depositi detritici di base versante. Questi ultimi interessano anche l'imbocco della finestra di Chiusa.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 10 di 157

3.2 DESCRIZIONE DELLE PRINCIPALI FORMAZIONI GEOLOGICHE DI INTERESSE

Si riporta nel seguito una descrizione sintetica delle caratteristiche litologiche delle principali formazioni, rimandando alla Relazione Geologica per una descrizione di dettaglio.

3.2.1 BASAMENTO METAMORFICO ERCINICO – UNITÀ DI BRESSANONE

3.2.1.1. *Filladi a granato - (BSS)*

Si tratta di rocce filladiche con vene/letti di quarzo bianco trasposte lungo la scistosità. Il colore della roccia è tipicamente grigio su cui spiccano i fillosilicati tipo muscovite. La foliazione è in genere il risultato di una deformazione di età ercinica S2. Talvolta è possibile osservare la scistosità S1 relitta. L'unità è stata cartografata in destra idrografica Isarco, tra Rio Orso e l'abitato di Varna.

3.2.1.2. *Filladi ricche in quarzo - (BSSa)*

Questa litologia è costituita da alternanze di filladi ricche in quarzo, presente in vene e lacci trasposti lungo la scistosità o discordanti, bancate di quarziti filladiche più massicce e livelli più prettamente filladici. La roccia presenta un aspetto generalmente più massivo grazie alle porzioni quarziticche, che possono localmente costituire bancate di spessore decametrico.

3.2.1.3. *Porfiroidi (Auct.) - p*

All'interno delle filladi dell'unità di Bressanone sono presenti lenti e corpi di metavulcaniti e metavulcanoclastiti acide, denominate in letteratura con il termine di porfiroidi. I protoliti vulcanici sono probabilmente variabili da riolitici a rioclitici il che ne determina una certa eterogeneità. La struttura è in genere massiccia o leggermente foliata. Il corpo principale di porfiroidi interessato dal tracciato è presente in sinistra Isarco all'altezza degli imbocchi Nord della Galleria Gardena e della Finestra di Funes. Qui la roccia presenta un aspetto prevalentemente massiccio – gneissico e subordinatamente scistoso ed il colore è caratterizzato da toni grigio-verdastri con patina di alterazione rossastra

3.2.1.4. *Filladi carboniose – (BSSc)*

Si tratta di filladi quarzifere alternate a lenti più o meno potenti (anche decine di metri) contenenti grafite, quarzo, mica, ± titanite/ilmenite. L'aspetto delle intercalazioni ricche in grafite, da cui il termine carboniose, è quello di rocce molto fissili, di colore grigio scuro o nerastro, con superfici di scistosità traslucide ed untuose al tatto. Le filladi carboniose sono state cartografate nell'area in studio in sinistra idrografica Isarco e in Val di Funes.

3.2.1.5. *-formazione di Gudon - (FMG)*

I litotipi dell'Unità qui definita come formazione di Gudon sono costituiti da intercalazioni di anfiboliti e metabasalti che hanno mantenuto la loro composizione originaria. L'unità affiora unicamente nei pressi dell'abitato di Gudon, lungo il contatto tettonico alpino tra BSSa e BSSc e lungo il fondovalle dell'Isarco al di sotto dell'abitato di Gudon

3.2.1.6. *Filladi - (BSSb)*

I litotipi compresi in questa Unità sono costituiti da filladi caratterizzate da percentuali variabili di quarzo, passanti a facies a prevalenti fillosilicati con vene/letti di quarzo bianco trasposto all'interno della foliazione ed intercalate a livelli di micascisti. L'unità è stata cartografata unicamente in sinistra idrografica Isarco nei pressi dell'abitato di Albions.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 11 di 157

3.2.1.7. - Paragneiss di Laion (PRL)

Si tratta dell'unità mappata nei dintorni delle località di Laion e Ponte Gardena. È costituita da gneiss e quarziti di colore chiaro che presentano una struttura massiccia, spesso interessata da intensa fratturazione, alternati a filladi quarzifere, localmente prevalenti, di color grigio plumbeo con livelli di quarzo trasposti lungo la scistosità. Nella zona finale del tracciato nei pressi di Ponte Gardena i sondaggi hanno evidenziato una prevalenza di litotipi filladici.

3.2.2 INTRUSIONI PERMIANE

3.2.2.1. Granito di Bressanone Auct. – (γ bi),

Tale complesso è costituito da litotipi rappresentati da granito biotitico a struttura granulare; si presenta come roccia massiccia con una densità di fratturazione media che aumenta nelle vicinanze delle faglie. Si presentano tipici fenomeni di alterazione e cloritizzazioni sui piani di discontinuità.

3.2.2.2. Granodioriti di Tiles - (GDT)

Micrograniti, dioriti e granodioriti a feldspato, biotite, pirosseno e quarzo. Queste intrusioni affiorano nelle aree a ovest della località di Tiles, lungo l'omonimo rio e lungo la strada provinciale che collega Bressanone a Pinzago.

3.2.2.3. Breccie di Intrusione - (BDI)

Breccie ad elementi vulcanici con clasti a spigoli vivi e cemento principalmente siliceo (con presenza di carbonato secondario) associate all'intrusione della Granodiorite di Tiles (intercettate anche dalla perforazione del sondaggio EP11).

3.2.2.4. Dioriti quarzifere di Chiusa - (δ)

Roccia di colore grigio più o meno scuro, a grana piuttosto minuta, costituita da plagioclasio sodico-calcico associato ad anfiboli, pirosseni e miche con inclusioni di quarzo. È ben esposta in un'ampia parete subverticale esistente a sud dell'abitato di Velturmo in, alla base del versante destro della valle Isarco in prossimità dell'imbocco Sud della galleria Scaleres.

3.2.2.5. MPC (Aureola di Contatto/ Cornubianiti)

In questa unità si raggruppano i litotipi, appartenenti al basamento metamorfico ercinico incassante, che hanno subito metamorfismo di contatto per effetto dei corpi intrusivi quali il Granito di Bressanone e le Dioriti di Chiusa. L'aspetto in affioramento delle rocce dell'aureola di contatto è solitamente quello di una roccia molto tenace di colore scuro. Nelle filladi la scistosità originale tende a scomparire, così come i noduli di quarzo, in quanto lo stesso viene rimobilizzato dal metamorfismo di contatto. In sezione sottile si riconosce la presenza di biotite statica, cordierite ed andalusite. Non tutta l'aureola di contatto presenta le caratteristiche sopra descritte, in quanto si osserva un graduale passaggio, allontanandosi dal contatto con il granito, da locali migmatiti a cornubianiti massicce (nelle quali non si riconosce la struttura scistosa del protolite filladico), a cornubianiti scistose fino a filladi cornubianitiche, che segnano l'ultimo termine di passaggio alle rocce filladiche non interessate dal metamorfismo termico, che come lecito attendersi, non ha un limite netto ma sfuma gradualmente allontanandosi dal plutone.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 12 di 157

3.2.3 DEPOSITI SUPERFICIALI QUATERNARI

3.2.3.1. Depositi deltizi glaciolacustri (Dlt)

Tali depositi sono attribuibili ai delta fluviali che hanno in parte riempito la conca di Bressanone nel Pleistocene. Affiorano a nord dell'abitato di Varna, sia in destra che in sinistra idrografica Isarco. In destra Isarco, in prossimità (ad est) della zona di Hinterrigger sono rappresentati da una successione costituita verso l'alto da facies prevalentemente sabbiose con ghiaia in transizione verso il basso a limi sabbiosi laminati con ciottolotti. Il top sabbioso gradato con ciottoli è stato raggiunto anche dallo scavo della cava di prestito per inerti situata poco a Est del sondaggio C15. Si tratta di depositi deltizi (Dlt) attribuibili ad un ambiente glaciolacustre.

3.2.3.2. Depositi fluvio-glaciali, glaciali (df) e glacio-lacustri (l)

La sequenza più continua rilevata è costituita alla base da porzioni di depositi glaciali, a volte estremamente alterati, il cui spessore non supera quasi mai qualche metro; a tetto di questi si rinvengono, in discordanza, depositi fluviali che rimangono ed elaborano i sottostanti livelli glaciali, la cui potenza può raggiungere alcune decine di metri e che sono costituiti principalmente da termini a matrice sabbiosa con blocchi anche di dimensioni superiore al metro, generalmente contenenti lenti di conglomerati a spessore variabile; possono essere presenti rare intercalazioni argillose, anch'esse mutevoli dal punto di vista dello spessore e del colore. Si ritrovano sia in destra che in sinistra idrografica del fiume Isarco e affiorano indistintamente lungo i versanti sia a bassa quota che nelle porzioni più elevate altimetricamente, sino a raggiungere e superare in alcuni casi i 1300 m s.l.m..

Nel sondaggio EP10 realizzato sull'altopiano di Pinzago - Tiles, da circa 37 a circa 96 m di profondità da p.c., sono stati inoltre rinvenuti depositi ricondotti ad ambiente lacustre (l) con intercalazioni di episodi di deposizione fluviale: si tratta di sabbie fini da siltose a debolmente siltose, silt sabbiosi a struttura laminata con intercalazioni ghiaioso – sabbiose con subordinata matrice siltosa.

3.2.3.3. Depositi alluvionali antichi terrazzati di primo (at1) e secondo ordine (at2)

Si tratta di depositi cartografati in prevalenza nella porzione settentrionale dell'area di studio, in prossimità della confluenza del fiume Rienza con il fiume Isarco all'interno del bacino di Bressanone; la loro genesi è riconducibile a fenomeni fluvio-glaciali e fluviali da pleistocenici ad olocenici.

Comprendono lembi di ghiaie medio-grossolane con intercalazioni sabbiose ed affiorano in ordini di terrazzi ubicati a quota maggiore rispetto all'attuale fondovalle, con il quale non possono essere correlati. La loro distribuzione all'interno delle valli laterali minori non è omogenea, con spessori variabili in funzione delle marcate irregolarità nella superficie di contatto tra gli stessi e il sottostante substrato.

3.2.3.4. Depositi alluvionali recenti (ar) e attuali (aa)

I depositi alluvionali recenti affiorano in maniera discontinua lungo tutta la valle del fiume Isarco. Sono costituiti da sabbie medio-grossolane grigie e da ghiaie e conglomerati poligenici ad elementi di dimensioni variabili da decimetriche a, in alcuni casi, superiori al metro. Lo spessore di tali depositi è difficilmente valutabile in sito non essendo disponibili affioramenti e scarpate con adeguate esposizioni.

I depositi alluvionali attuali sono presenti lungo quasi tutto il tratto di fiume Isarco che rientra nell'area oggetto dell'indagine; le alluvioni sono costituite quasi esclusivamente da ciottoli poligenici di dimensioni

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 13 di 157

variabili ma, nella maggior parte dei casi, pluri-decimetriche sino ad arrivare a dimensioni superiori al metro. La matrice del deposito è ghiaioso-sabbiosa, localmente da scarsa ad assente.

3.2.3.5. Depositi di frana attiva (fa) e frana inattiva (fi)

Si tratta di accumuli generalmente costituiti da blocchi di basamento (soprattutto filladi) più o meno scomposti, disarticolati, ossidati con patine di colore arancione – rossastro ed a tratti con fratture riempite da matrice terrosa. Nei depositi di frana inattiva (fi) sono inclusa anche porzioni di substrato roccioso coinvolte in deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV) quali ad esempio quella di Varna. Queste porzioni di ammasso, essendo state soggette a traslazione, anche di lieve entità nelle zone periferiche delle DGPV, sono caratterizzate da una generale disarticolazione e presenza di fratture aperte.

3.2.3.6. Depositi colluviali (c)

Sono costituiti da materiale medio-fine derivante dall'alterazione del substrato e in alcuni casi soggetto a lenti movimenti per creep. Si trovano principalmente lungo le maggiori rotture di pendio tra la piana alluvionale del fiume Isarco ed i versanti che la confinano.

3.2.3.7. Detriti di versante (d)

Si tratta di depositi eterogenei ed eterometrici, a dimensioni variabili dai blocchi ai limi argillosi, derivanti da dalla degradazione e rimaneggiamento dei litotipi affioranti e accumulo gravitativo lungo i versanti, al di sotto delle principali aree di affioramento del substrato roccioso. La natura litologica del deposito riflette il substrato su cui si impostano, che nella maggior parte del territorio è costituito da rocce metamorfiche filladiche; nel settore più settentrionale tali depositi sono costituiti da elementi di granito e di altre rocce magmatiche.

3.2.3.8. Depositi di conoide di detrito (cd) e conoide alluvionale (cf)

Depositi eterogenei ed eterometrici che costituiscono accumuli dalla forma conica convessa agli sbocchi vallivi di materiali trasportati lungo rii e torrenti. Le litologie riflettono il materiale di origine del sedimento. Localmente i conoidi di detrito possono anche essere costituiti da depositi generatisi a seguito di trasporto in massa fluida lungo rii e canali adiacenti la valle Isarco (depositi da debris flow).

3.2.3.9. Depositi antropici (h)

Si tratta di depositi eterogenei ed eterometrici riconducibili ad attività antropiche (riporti, riempimenti), tra cui i principali sono costituiti dai rilevati della ferrovia storica e dell'autostrada A22. Assumono particolare importanza in alcuni settori progetto, in particolare all'altezza dell'imbocco della Finestra Funes e dell'Interconnessione di Ponte Gardena (binario dispari) dove i rilevati di una strada provinciale e dell'autostrada A22 sono interessati direttamente dallo scavo di parte delle gallerie previste.

3.3 DESCRIZIONE DELLE PRINCIPALI FORMAZIONI GEOLOGICHE DI INTERESSE

In questo paragrafo si descrivono le principali caratteristiche litologiche, stratigrafiche e strutturali delle formazioni attraversate dalla Galleria Gardena, dalle Gallerie di Interconnessione di Ponte Gardena B.P. e B.D. e dalle Finestre di Funes e Chiusa. Per un quadro esauriente e dettagliato si rimanda agli elaborati specialistici di Geologia del presente progetto.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 14 di 157

3.3.1 Galleria Gardena

Nel grafico seguente viene mostrata la distribuzione percentuale delle varie formazioni geologiche distinte con le sigle descritte in precedenza, come si ricava dal profilo geologico della Galleria Gardena

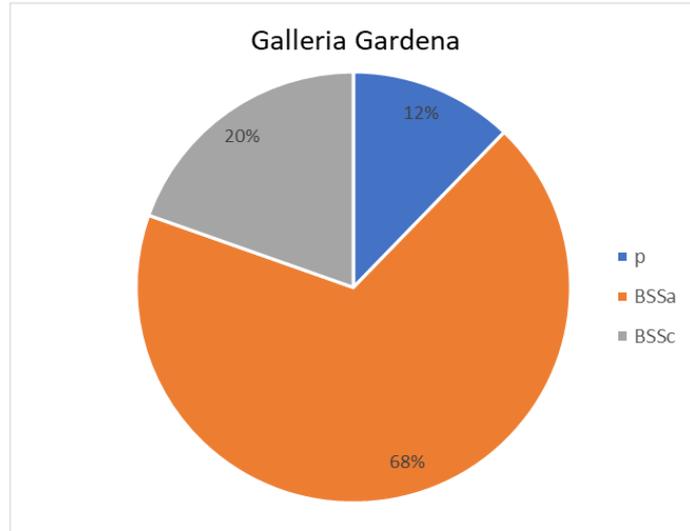


Fig. 1: Unità geotecniche – Galleria Gardena

3.3.2 Gallerie di Interconnessione B.P. e B.D.

Nel grafico seguente viene mostrata la distribuzione percentuale delle varie formazioni geologiche distinte con le sigle descritte in precedenza, come si ricava dal profilo geologico delle interconnessioni.

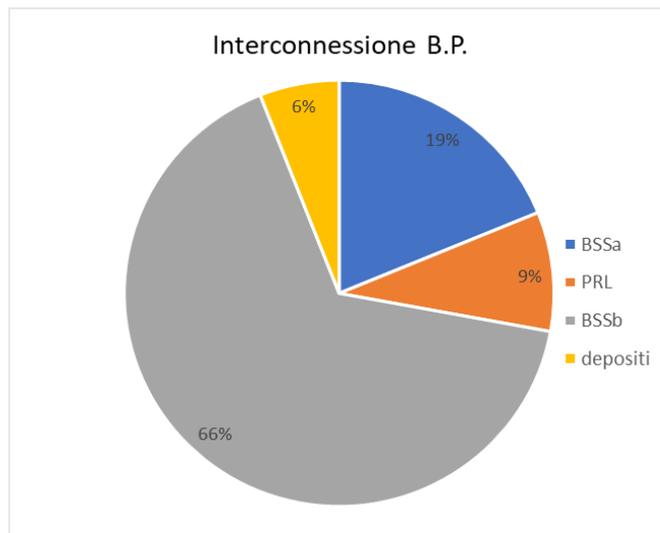


Fig. 2: Unità geotecniche – Interconnessione B.P.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 15 di 157

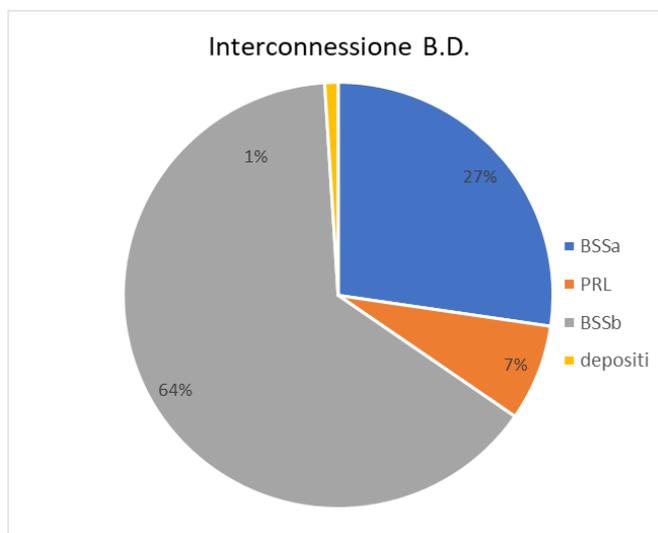


Fig. 3: Unità geotecniche – Interconnessione B.D.

3.3.3 Finestra di Funes

Nel grafico seguente viene mostrata la distribuzione percentuale delle varie formazioni geologiche distinte con le sigle descritte in precedenza, come si ricava dal profilo geologico della finestra di Funes.

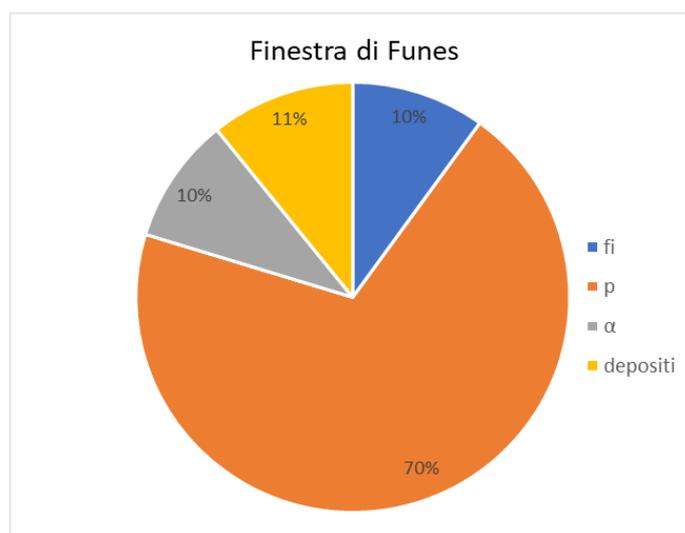


Fig. 4: Unità geotecniche – Finestra di Funes

3.3.4 Finestra di Chiusa

Nel grafico seguente viene mostrata la distribuzione percentuale delle varie formazioni geologiche distinte con le sigle descritte in precedenza, come si ricava dal profilo geologico della finestra di Chiusa.

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 16 di 157

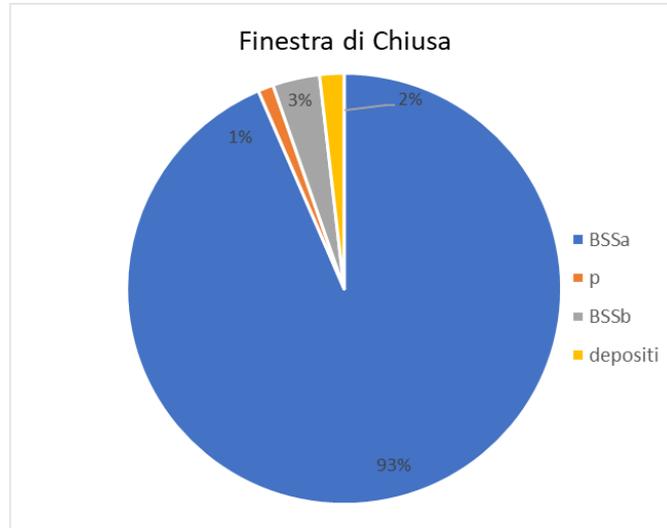


Fig. 5: Unità geotecniche – Finestra di Chiusa

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 17 di 157

4. INDAGINI ESEGUITE

Ai fini della caratterizzazione geotecnica delle formazioni interessate dalle opere considerate in questa Relazione, sono stati utilizzati i dati provenienti dalle diverse campagne di indagini geognostiche, sia pregresse (PD CdS 2013-2017), sia 2021/2022.

Di seguito si sintetizzano le prove in situ e di laboratorio eseguite per ogni campagna di indagine.

Campagna 2006, RFI

Nell'ambito della campagna di indagini geognostiche 2006 sono stati eseguiti n° 1 sondaggio profondo (spinto a profondità superiori a 150 m) e n° 3 sondaggi ordinari a carotaggio continuo (profondità minore di 150 m).

Per il sondaggio profondo sono stati eseguiti:

- prelievo di n° 8 campioni;
- n° 3 prove di permeabilità tipo Lugeon.

Per i sondaggi ordinari sono state eseguite:

- prelievo di n° 27 campioni;
- n° 26 prove S.P.T.;
- n° 10 prove di permeabilità tipo Lefranc.

Campagna 2012-2013, Italferr S.p.A.

Nell'ambito della campagna di indagini geognostiche 2012-2013 sono stati eseguiti n° 39 rilievi geostrutturali di superficie, n° 8 sondaggi profondi (spinti a profondità superiori a 150 m) e n° 35 sondaggi ordinari a carotaggio continuo (profondità minore di 150 m).

Per i sondaggi profondi sono state eseguite:

- prelievo di n° 212 campioni;
- n° 27 prove di permeabilità tipo Lugeon;
- n° 20 prove dilatometriche;
- n° 17 prove di fratturazione idraulica.

Per i sondaggi ordinari sono state eseguite:

- prelievo di n° 297 campioni;
- n° 197 prove S.P.T.;
- n° 85 prove pressiometriche;
- n° 67 prove dilatometriche;
- n° 73 prove di permeabilità tipo Lugeon;
- n° 76 prove di permeabilità tipo Lefranc.

Campagna 2017, Italferr S.p.A.

Nell'ambito della campagna di indagini geognostiche 2017 sono stati eseguiti n° 52 rilievi geostrutturali di superficie, n° 9 sondaggi profondi (ossia spinti a profondità superiori a 150 m) e n° 30 sondaggi ordinari (profondità minore di 150 m), di cui 4 perforazioni a distruzione 26 a carotaggio continuo.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 18 di 157

Per i sondaggi profondi sono state eseguite:

- prelievo di n° 90 campioni rimaneggiati;
- n° 74 prove di permeabilità tipo Lugeon;
- n° 3 prove di permeabilità tipo Lefranc;
- n° 59 prove dilatometriche;
- n° 52 prove di fratturazione idraulica.

Per i sondaggi ordinari sono state eseguite:

- prelievo di n° 176 campioni;
- n° 158 prove S.P.T.;
- n° 6 prove pressiometriche;
- n° 30 prove dilatometriche;
- n° 31 prove di permeabilità tipo Lugeon;
- n° 47 prove di permeabilità tipo Lefranc.

Campagna 2021/2022, Consorzio Dolomiti per il Progetto Esecutivo.

Nell'ambito della campagna di indagini geognostiche 2021/2022 sono stati eseguiti, con riferimento alla tratta oggetto di questa Relazione, le seguenti indagini:

- S21/1
- S21/2
- S21/5
- S21/6
- S21/6b
- S21/7
- S21/9
- S21/11
- S21/12

I risultati di tali indagini sono allegati agli elaborati specialistici e l'ubicazione dei sondaggi è rappresentata nelle carte geologiche e sui profili geotecnici di progetto ([9], [10], [11], [12] e [13]).

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 19 di 157

5. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA

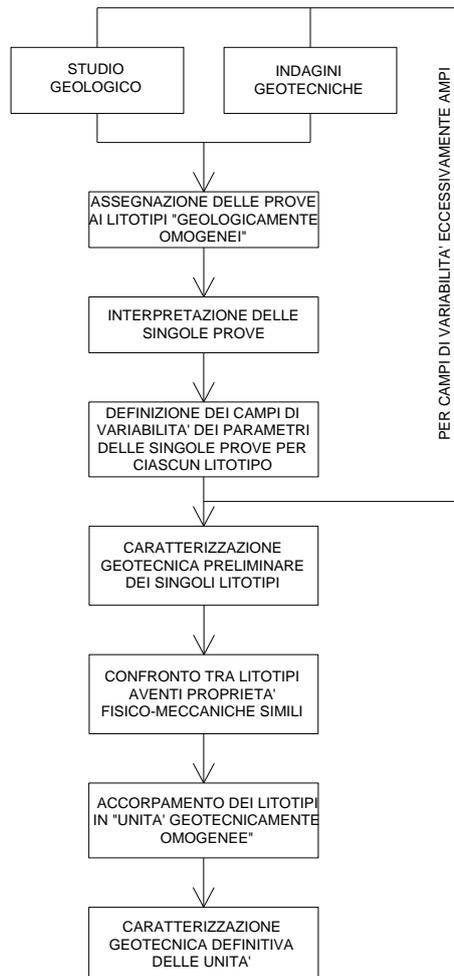
5.1 GENERALITA'

Per la definizione dei parametri geotecnici sono stati utilizzati tutti i dati acquisiti con le prove in sito (SPT, pressiometriche, dilatometriche in foro) e in laboratorio.

Per la definizione delle unità geotecniche si è seguito un approccio che, nella sostanza, segue quello formazionale di tipo geologico. Questo approccio necessita ovviamente di un controllo puntuale che permetta di evidenziare eventuali differenze e anomalie all'interno delle stesse formazioni geologiche, in modo da distinguere eventuali porzioni o corpi assimilabili dal punto di vista geologico, ma geotecnicamente differenziati. In questi casi le unità geologiche sono state suddivise in sub-unità geotecniche.

Una volta definite le unità geotecniche, i risultati delle indagini (in sito e in laboratorio) sono stati catalogati nell'ambito di queste unità e interpretati con i criteri classici della meccanica delle terre o delle rocce.

Il successivo grafico illustra in maniera schematica il percorso logico seguito nella caratterizzazione delle unità geotecnicamente omogenee.



APPALTAZIONE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 20 di 157

Con questo approccio si arriva quindi all'individuazione, per ogni unità geotecnica, di un campo di valori che sarà più o meno ampio a secondo della omogeneità dei materiali. Questo approccio consente di poter estrapolare, in mancanza di dati specifici e puntuali, i parametri geotecnici su basi formazionali, fermo restando che è necessario, per le principali opere d'arte, verificare che i dati specifici acquisiti nel sito rientrino nel suddetto campo di valori, cercando di limitare il più possibile il range di valori indicato in modo da limitare il livello di aleatorietà della caratterizzazione e quindi dei calcoli di dimensionamento.

Laddove presenti in quantità significative, i valori delle varie grandezze (misurati o ricavati da correlazioni) sono stati riportati in grafici in funzione della profondità. Per la valutazione del range di variabilità del valore di riferimento (X) si è fatto riferimento al valore medio e alla variabilità attraverso la deviazione standard ricavando un range, riportato con apposita simboleggiatura nei grafici:

$$M - dev_{st} \leq X \leq M + dev_{st}$$

con:

- M: la media dei valori ottenuti dalle diverse formulazioni utilizzate
- dev_{st} : la deviazione standard dei valori ottenuti dalle diverse formulazioni utilizzate

Nell'ambito del range di parametri viene indicato il valore caratteristico (che non necessariamente è quello medio), fermo restando che la scelta del parametro caratteristico potrebbe variare da zona a zona non solo per i risultati specifici della zona di interesse, ma anche per la specifica tipologia di opera e quindi per il tipo di interazione struttura/terreno.

Con tale impostazione, in questa relazione saranno descritti i criteri utilizzati per la caratterizzazione geotecnica, e quindi sarà esposta la caratterizzazione geotecnica delle varie unità.

I criteri con i quali vengono elaborati e interpretati i dati di indagine e gli approcci metodologici per la relativa caratterizzazione geotecnica devono essere necessariamente differenziati in funzione delle caratteristiche delle singole unità.

I terreni prevalentemente granulari, per i quali è notoriamente difficile, se non impossibile, prelevare campioni indisturbati per le prove di laboratorio, sono stati caratterizzati attraverso parametri geotecnici in condizioni drenate stimati con correlazioni empiriche a partire dai risultati di prove penetrometriche in foro (SPT). Per la stima delle caratteristiche di deformabilità si fa riferimento anche alle correlazioni con le prove geofisiche, oltre alle misure dirette tramite prove pressiometriche.

Per quanto riguarda le rocce, la caratterizzazione geotecnica (geomeccanica) verrà fatta facendo riferimento alla classificazione dell'ammasso roccioso secondo i cosiddetti indici di ammasso (GSI di Hoek), adottando uno schema concettuale di mezzo continuo (pseudo-omogeneo o stratificato) e riferendosi ai criteri di rottura proposti e aggiornati da Hoek & Brown a partire dal 1980 e di Barton per i parametri dei giunti.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 21 di 157

5.2 MATERIALI A GRANA GROSSA (SABBIE E GHIAIE PIÙ O MENO LIMOSE)

5.2.1 Introduzione

Secondo la classifica USCS si intendono a grana grossa i materiali caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori al 50%.

In conseguenza del fatto che in tali materiali risulta difficile (se non impossibile) prelevare campioni indisturbati, la caratterizzazione geotecnica è affidata principalmente all'interpretazione delle prove in sito (mediante correlazioni empiriche) e delle prove di classificazione di laboratorio effettuate su campioni rimaneggiati in accordo ai criteri descritti nei paragrafi successivi.

L'interpretazione delle prove è finalizzata a determinare principalmente i seguenti parametri:

- stato iniziale del deposito (grado di addensamento o densità relativa);
- resistenza al taglio;
- deformabilità;

Si evidenzia che le correlazioni empiriche riportate nei paragrafi seguenti sono applicabili nei casi in cui è ragionevole ritenere che le prove siano avvenute in condizioni drenate, ovvero nei seguenti casi:

- terreni sopra falda purché caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori a $\cong 50\%$.
- terreni sottofalda purché caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori a $\cong 35\div 40\%$.

5.2.2 Stato iniziale del deposito

Relativamente alla prova SPT, si riportano le correlazioni utilizzate come riferimento per l'interpretazione delle prove penetrometriche ai fini della caratterizzazione geotecnica del mezzo:

Bazaraa, 1967	$Dr^2 = N_{SPT} / [20 \cdot (3.24 + 1.024 \cdot \sigma'_{v0})]$	per $\sigma'_{v0} > 0.732$ kg/cm ²
Gibbs e Holtz, 1957	$Dr = [1.5 \cdot (N_{SPT} / F)^{0.222}] - 0.6$ $F = 0.0065 \cdot \sigma_v^2 + 1.68 \cdot \sigma_v + 14$	con σ_v in t/m ²
Meyerhof, 1957	$Dr = 21 \cdot [N_{SPT} / (\sigma'_v + 0.7)]^{1/2}$	cn σ'_v in kg/cm ²

IN SABBIA

In accordo a quanto indicato in Skempton (1986) la densità relativa Dr può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente legge:

$$Dr = \left(\frac{1}{A + B \cdot \sigma'_{v0}} \cdot N_{SPT} \right)^{0.5} \quad [1]$$

essendo:

A, B = costanti empiriche indicate in Tab. 1

σ'_{v0} = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm²)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 22 di 157

- N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione
 $(K_o)_{nc}$ = $1 - \sin \varphi'$ = coefficiente di spinta a riposo per terreni normalmente consolidati (-)
 $(K_o)_{sc}$ = $(k_o)_{nc} \cdot (GSC)^{0.5}$ = coefficiente di spinta a riposo per terreni sovra consolidati (-)
GSC = grado di sovra consolidazione (-)
 D_r = densità relativa (-)

tipo di materiale	a	b
sabbie fini normalmente consolidate	27,5	27,5
sabbie grosse normalmente consolidate	43,3	21,7
sabbie sovra consolidate	27,5 ÷ 43,3	$(21,7 \div 27,5) \cdot \frac{1 + 2 \cdot (k_o)_{sc}}{1 + 2 \cdot (k_o)_{nc}}$

Tab. 1: costanti empiriche a e b (Skempton, 1986)

In questa sede, ove non specificato, si assumeranno valori di a e b corrispondenti alle sabbie medie.

IN SABBIE E GHIAIE

Nelle sabbie e ghiaie la determinazione della densità relativa d_r risulta meno agevole che nelle sabbie per i seguenti ordini di problemi:

- per motivi esecutivi il campionatore standard a punta aperta deve essere spesso sostituito con quello a punta conica; in linea di principio non è detto che i risultati ottenibili con il campionatore standard a punta aperta in termini di numero di colpi/30 cm risultino uguali a quelli conseguiti con la punta conica e quindi possano essere interpretati direttamente con le correlazioni empiriche di letteratura sviluppate per la prova SPT con campionatore standard a punta aperta;
- a causa della presenza della ghiaia spesso vengono raggiunte condizioni di rifiuto che non necessariamente sono indice di elevati gradi di addensamento (difficoltà di penetrazione in caso di clasti lapidei di dimensioni elevate).

Per il superamento delle difficoltà in questa sede si opererà come segue:

- ove possibile, nell'ambito della stessa formazione sabbioso-ghiaiosa, verrà fatto un confronto tra i risultati delle prove SPT eseguite con il campionatore standard a punta aperta e quelle eseguite con la punta conica; in base a tale confronto si valuterà la possibilità di trasformare i risultati ottenuti con la punta conica in valori N_{SPT} equivalenti con il campionatore standard. ove tale confronto non sia possibile, i valori N_{SPT} misurati con la punta conica verranno equiparati ai valori N_{SPT} ottenibili con il campionatore standard.
- ove possibile ad ogni valore N_{SPT} verrà associato:
 - ✓ il corrispondente valore misurato di d_{50} (d_{50} = diametro delle particelle corrispondente al 50% di passante);
 - ✓ un valore di d_{50} ipotizzato sulla base di curve granulometriche disponibili a quote superiori ed inferiori a quella della profondità di prova.

In mancanza di dati granulometrici puntuali, l'interpretazione dei valori N_{SPT} , in accordo al metodo descritto al successivo punto, verrà effettuata facendo riferimento ad un valore di d_{50} medio stimato.

Nel caso di raggiungimento delle condizioni di rifiuto, l'interpretazione geotecnica del dato sperimentale verrà effettuata facendo riferimento ad un valore N_{SPT} calcolato come segue:

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 23 di 157

$N_{SPT} = 100$ se le condizioni di rifiuto sono raggiunte nel primo o secondo tratto di 15 cm

$N_{SPT} = N_2 + \frac{50}{\alpha} \cdot 15 \leq 100$ se le condizioni di rifiuto sono raggiunte nel terzo tratto di 15 cm

Essendo (a) l'affondamento misurato (in centimetri) per un numero di colpi pari a 50.

Potranno essere scartati i valori (troppo bassi o troppo alti) che si scostano decisamente dalla linea di tendenza caratteristica.

L'interpretazione dei valori N_{SPT} verrà fatta in accordo al metodo proposto da Cubrinowski & Ishihara (1999) per materiali normalmente consolidati, caratterizzati da un coefficiente di spinta a riposo k_0 dell'ordine di $0,4 \div 0,5$, successivamente esteso da Ishihara et al. (2001) anche al caso dei terreni sovraconsolidati; tale metodo utilizza la seguente espressione:

$$D_r = \left\{ \frac{(N_{SPT})_{78\%} \cdot \left(0,23 + \frac{0,06}{D_{50}}\right)^{1,7}}{9} \cdot \left(\frac{98}{\sigma'_{vo}}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{k_{o,NC}}{k_{o,SC}}\right)^{1/2} \right\}^{1/2} \quad [2]$$

essendo:

D_r = densità relativa (-)

$(N_{SPT})_{78\%}$ = numero di colpi/30 cm associabile a un'energia trasferita alle aste pari al 78% di quella teorica (-)

d_{50} = diametro delle particelle corrispondente al 50% di passante (mm)

σ'_{vo} = pressione verticale efficace geostatica (kPa)

$k_{o,nc}$ = coefficiente di spinta a riposo di terreni normalmente consolidati (-)

$k_{o,sc}$ = coefficiente di spinta a riposo di terreni sovraconsolidati (-)

Si rileva che l'espressione sopra indicata è applicabile al caso di:

- energia trasferita alle aste pari al 78%. l'esperienza acquisita nelle indagini eseguite in Italia ha mostrato che mediamente l'energia trasferita alle aste è inferiore al 78% e pari mediamente al 60%; nell'applicazione della formula, il valore N_{SPT} misurato, assunto pari a $(N_{SPT})_{60\%}$, viene pertanto corretto in base alla seguente equazione:

$$(N_{SPT})_{78\%} = (N_{SPT})_{60\%} \cdot \frac{60}{78}$$

- resistenze ottenute con il campionatore standard nelle sabbie e con il campionatore Lpt, di diametro maggiore rispetto a quello standard, nel caso delle ghiaie.

In questa sede, in mancanza di prove con il campionatore Lpt, l'applicazione della formula in presenza di terreni sabbioso-ghiaiosi ($d_{50} \geq 1$ mm) verrà fatta senza apportare alcuna correzione ai valori N_{SPT} misurati (vedi su tale aspetto Clayton, 1995; Skempton, 1986; Tokimatsu & Yoshimi, 1983).

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 24 di 157

5.2.3 Angolo di resistenza al taglio

L'angolo di resistenza al taglio di picco φ' può essere determinato facendo riferimento al metodo proposto da Bolton (1986) in base al quale:

$$\varphi' = \varphi_{cv}' + m \cdot d_i \quad [3]$$

$$D_i = D_r \cdot [q - \ln(p_f')] - 1$$

essendo:

- φ' (°) angolo di resistenza al taglio di picco riferito a pressioni $\sigma_{ff}' = 272$ kPa
- q (-) coefficiente che dipende dalla composizione mineralogica e dalla forma delle particelle, assunto pari a 10
- p_f' (kPa) $1,4 \cdot \sigma_{ff}'$ (vedi Jamiolkowski et al. 1988)
- σ_{ff}' (kPa) tensione efficace normale alla superficie di rottura assunto pari a 272 kPa
- m costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione prevalenti a rottura (vedi Tab. 2)
- φ_{cv}' (°) angolo di resistenza al taglio a volume costante o di stato critico
- d_r (-) densità relativa

condizioni di rottura	m (-)
prova triassiale di compressione ($\sigma_2' = \sigma_3'$)	3
prova triassiale in estensione o di deformazione piana ($\sigma_2' \neq \sigma_3'$)	5
σ_2' = tensione principale efficace intermedia	
σ_3' = tensione principale efficace minore	

Tab. 2: valori della costante empirica m secondo Bolton (1986)

I valori dell'angolo di resistenza al taglio φ_{cv}' sono ricavabili da prove di laboratorio (triassiali o di taglio diretto) su provini ricostituiti a basse densità relative o, in assenza di queste ultime, ipotizzabili in base a quanto indicato nella Tab. 3 (vedi ad esempio Youd, 1972; Stroud, 1988).

	sabbie ben gradate	sabbie uniformi
sabbie a spigoli vivi	$\varphi_{cv}' = 38^\circ$	$\varphi_{cv}' = 34^\circ$
sabbie a spigoli arrotondati	$\varphi_{cv}' = 33^\circ$	$\varphi_{cv}' = 30^\circ$

Tab. 3: valori dell'angolo di resistenza al taglio φ_{cv}' per sabbie silicee secondo quanto riportato in Stroud (1988) e Youd (1972)

Nel caso delle ghiaie a spigoli arrotondati si può assumere mediamente $\varphi_{cv}' = 34^\circ \div 36^\circ$.

In accordo al metodo di Bolton (1986) si può assumere cautelativamente, in considerazione del generalmente elevato contenuto di fine (limi e argille):

- $\varphi_{cv}' = 30^\circ$ per le sabbie
- $\varphi_{cv}' = 33^\circ$ per le sabbie e ghiaie
- $m = 3$.

un altro metodo per la stima dell'angolo di attrito è quello di Schmertmann 1977:

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 25 di 157

$$\phi' = 28 + 0.14Dr \quad [4]$$

dove la densità relativa è determinata sempre tramite prove SPT.

Altre correlazioni, di tipo diretto, per la stima diretta dell'angolo di attrito sono quelle della Japan Road Association:

$$\phi' = \sqrt{15N_{SPT}} + 15 \quad [5]$$

La stessa relazione con il valore 20 invece di 15 fuori radice è proposta da Owasaki e Iwasaki.

La relazione proposta da Japanese National Railway:

$$\phi = 27 + 0.3N_{SPT} \quad [6]$$

Ulteriori correlazioni sono proposte di seguito:

API - American Petroleum Institute, 1987	$\phi'(^{\circ}) = 28.4 + 0.17Dr + 16 Dr^2$
Schmertmann, 1977	$\phi(^{\circ}) = 28 + 0.14 Dr$
	Sabbia fine uniforme
	$\phi(^{\circ}) = 31.5 + 0.115 Dr$
	Sabbia grossa uniforme - Sabbia media ben gradata
	$\phi(^{\circ}) = 34.5 + 0.1 Dr$
	Sabbia media uniforme - Sabbie fini ben gradata
	$\phi(^{\circ}) = 38 + 0.08 Dr$
	Ghiaia media e fine e sabbia e ghiaia poco limosa

5.2.4 Caratteristiche di deformabilità

MODULI ELASTICI INIZIALI

I moduli iniziali di taglio (G_0) e di Young (E_0) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa}) \quad [7]$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu') \quad (\text{kPa}) \quad [8]$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

ν' = rapporto di Poisson del terreno = $0,15 \div 0,20$

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s .

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 26 di 157

Avendo a disposizione numerose prove down-hole, la determinazione della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s è preferenzialmente ricavata direttamente da prove geofisiche e, ove necessario, indirettamente, interpretando i risultati delle prove SPT come descritto nel punto successivo.

G₀ DA PROVE SPT

La velocità delle onde di taglio da prove SPT in sabbie e ghiaie normalmente consolidate, silicee non cementate, può essere ricavata sulla base alla correlazione proposta da Ohta & Goto (1978) (vedi anche Baldi et al. 1989); in base a tale correlazione vale quanto segue:

$$V_s = C \cdot (N_{SPT})_{60\%}^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \text{ (m/s)} \quad [9]$$

essendo:

$$c = 67,3$$

z = profondità dal p.c. in metri

f_a = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedi la Tab. 4)

f_g = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedi la Tab. 5)

F_A	OLOCENE	PLEISTOCENE
	1,0	1,3

Tab. 4: relazione di Ohta e Goto, 1978 - coefficiente f_a (funzione dell'epoca geologica del deposito)

F_G	GHIAIE	SABBIE GHIAIOSE	SABBIE GROSSE	SABBIE MEDIE	SABBIE FINI
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

Tab. 5: relazione di Ohta e Goto, 1978 - coefficiente f_g (funzione della composizione granulometrica del deposito)

MODULI ELASTICI "OPERATIVI"

GENERALITÀ

Il comportamento dei terreni a grana grossa risulta non lineare; i moduli di deformazione risultano infatti funzione sia delle pressioni efficaci medie correnti sia del livello di deformazione indotto o del grado di mobilitazione della resistenza al taglio.

Atkinson & Sallfors (1991) e Mair (1993) individuano i campi tipici di deformazione indotti dalle opere di ingegneria civile.

Per descrivere tale comportamento dei terreni, nel caso di ricorso a metodi di calcolo elastico-lineari o elastico-lineari-plastici, si adottano valori "operativi" dei moduli elastici definiti a partire dai valori iniziali a piccole deformazioni (G_0 , E_0) mediante un fattore di riduzione R secondo le successive espressioni:

$$G = G_0 / R$$

$$E = E_0 / R$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 27 di 157

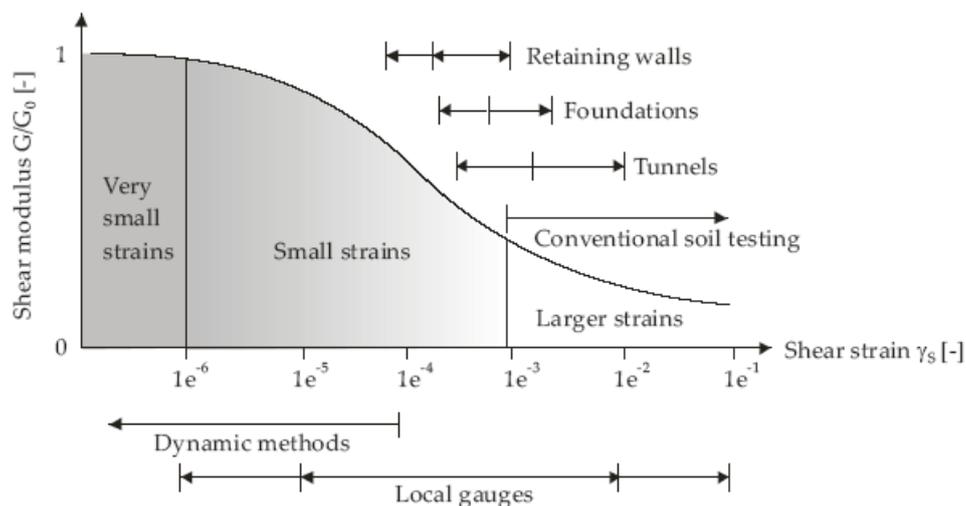


Figura 1 – Decadimento della rigidezza dei terreni: livelli di deformazione tipici indotti dalle opere geotecniche (Atkinson & Salfors, 1991; Mair, 1993)

$R = f$ (livello deformativo atteso, andamento curva decadimento rigidezza)

Poiché la rigidezza a piccole deformazioni dei terreni è alquanto sensibile alle procedure di campionamento mentre la legge di decadimento normalizzata che lega il rapporto G/G_0 al livello deformativo γ è invece meno influenzata dai disturbi legati al campionamento, la rigidezza viene solitamente valutata attraverso la seguente relazione:

$$G(\gamma) = (G_0)_{\text{sito}} \left[\frac{G(\gamma)}{G_0} \right]_{\text{lab}}$$

Nella formula precedente, $(G_0)_{\text{sito}}$ è preferibilmente determinato a partire dalla misura in sito della velocità di propagazione delle onde di taglio mentre il modulo di taglio normalizzato G/G_0 , che dipende dal livello di deformazione, deve essere necessariamente ottenuto da prove di laboratorio.

In relazione a quanto sopra la scelta dei moduli di deformazione per le analisi ingegneristiche viene a dipendere anche dal metodo di analisi adottato.

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo elastico-non lineari, i dati di ingresso per le analisi sono:

- i moduli elastici iniziali di cui al precedente paragrafo.
- curve di degrado del modulo in funzione del livello di deformazione indotto. tipiche curve di degrado del modulo di taglio G in funzione del livello di deformazione γ indotto, tratte da Lo Presti (1989), sono riportate nella Fig. 6 e nella Fig. 7. In alternativa alle curve di degrado indicate nella Fig. 6 e nella Fig. 7 possono essere adottate le seguenti espressioni (vedi ad esempio la Fig. 8 Fahey, 1992 e Fahey & Carter, 1993):

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 28 di 157

$$\frac{E'}{E_0} = \frac{1}{1 + 0.8 \cdot \left(\frac{\gamma}{\lambda_r}\right)} \quad [10]$$

$$\frac{E'}{E_0} = 1 - 0.8 \cdot \frac{\tau}{\tau_{\max}} \quad [11]$$

o meglio (vedi ad esempio Byrne et al, 1990):

$$\frac{E'}{E_0} = 1 - 0.8 \cdot \frac{\Delta\tau}{\Delta\tau_{\max}} \quad [12]$$

essendo:

γ = deformazione di taglio corrente

$$\gamma_r = \frac{\tau_{\max}}{G_0}$$

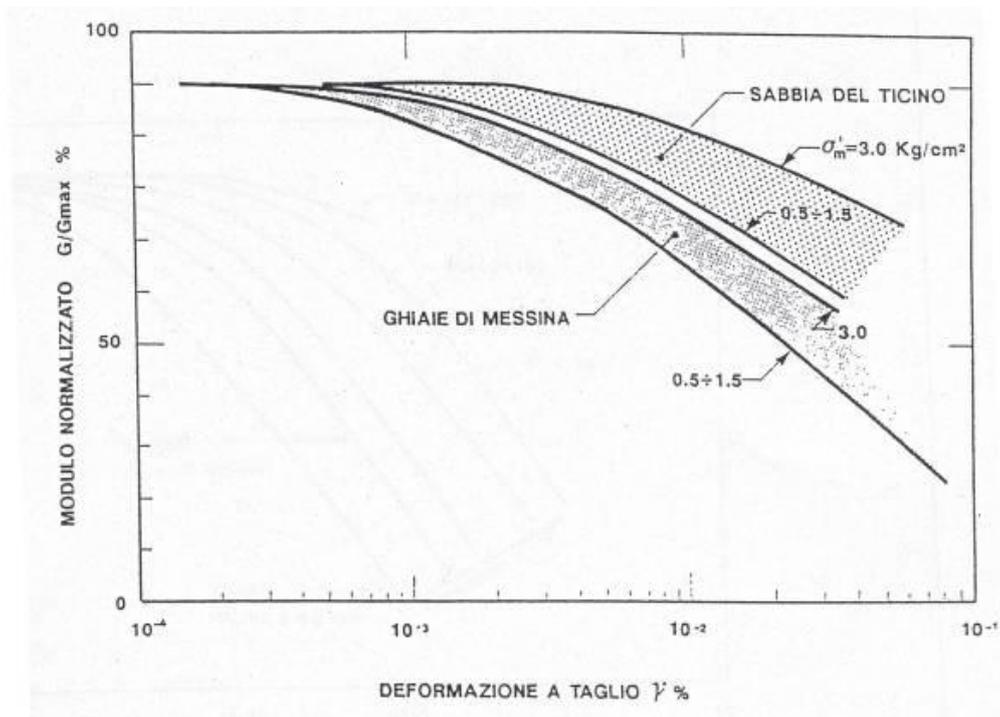
τ_{\max} = tensione di taglio limite

τ = tensione di taglio corrente

G_0 = modulo di taglio iniziale

$\Delta\tau$ = variazione della tensione di taglio (vedi la Fig. 8)

$\Delta\tau_{\max}$ = variazione massima della tensione di taglio.



APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni	Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1AEZZ	GE	GN0000002	C	29 di 157

Fig. 6: degrado del modulo G per terreni incoerenti

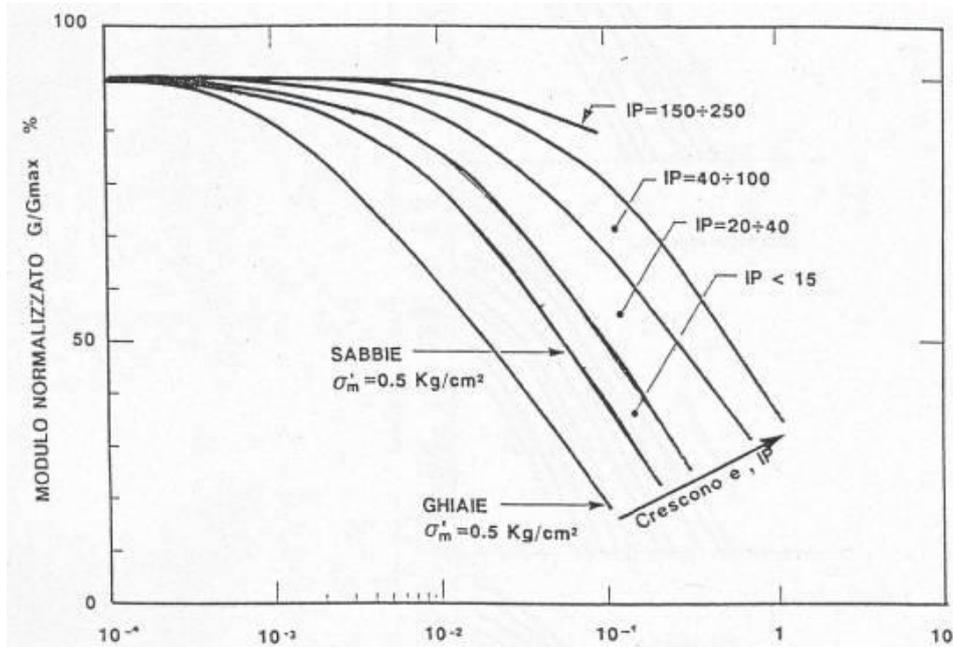


Fig. 7: degrado del modulo G per vari tipi di terreno

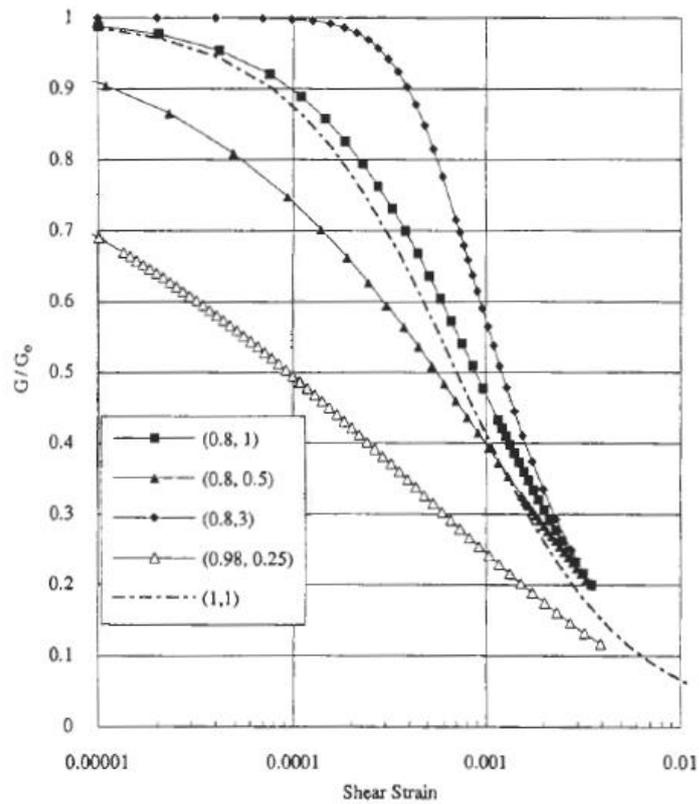


Fig. 8: degrado del modulo g (Fahey, 1992 e Fahey & Carter, 1993)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 30 di 157

Va rilevato che la procedura suddetta, associata all'utilizzo delle curve di degrado riportate nella Fig. 6 e nella Fig. 7, risulta rigorosamente applicabile in condizioni di scarico e/o di scarico e ricarica tensionale; nel caso di problemi di "primo carico", caratterizzati da incrementi di tensione rispetto alla condizione geostatica iniziale, potrebbe condurre ad una sottostima degli spostamenti.

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo elastico-lineari o elastico – lineari - plastici, per la stima dei moduli "operativi" da associare allo specifico problema al contorno verranno fatte le seguenti assunzioni "convenzionali":

- nell'analisi di fondazioni profonde e dirette i moduli di Young "operativi" E_{op} sono pari a circa $1/5 \cdot E_0$, cioè in considerazione del fatto che:
 - gli spostamenti totali e differenziali ammissibili per l'opera sono contenuti (i cedimenti ammissibili sono infatti generalmente inferiori a $0.01 \cdot b$, essendo b la dimensione minore della fondazione).
 - da ciò deriva che, in base alla normativa vigente e alla pratica corrente, tale tipo di opere è caratterizzato infatti da elevati coefficienti di sicurezza nei confronti della rottura per capacità portante;
- nel calcolo dei cedimenti dei rilevati i moduli di Young "operativi" E_{op} sono pari a circa $(1/5 \div 1/10) \cdot E_0$ o, in alternativa, pari a quelli desumibili dalle correlazioni empiriche riportate precedentemente; per tali strutture in terra possono essere infatti ammessi cedimenti totali e differenziali maggiori di quelli delle fondazioni profonde e dirette.

MODULI ELASTICI "OPERATIVI" DA PROVE SPT IN SABBIA E GHIAIA

In accordo a Jamiolkowski et al. (1988) per la stima dei moduli elastici operativi da prove SPT valgono le seguenti espressioni:

$$E'_{25} = (10,5 - 3,5 \cdot D_r) \cdot N_{SPT} / 10 \quad [13] \quad \text{MPa} \quad \text{nel caso dei terreni normalmente consolidati}$$

$$E'_{25} = (52,5 - 35 \cdot D_r) \cdot N_{SPT} / 10 \quad [14] \quad \text{MPa} \quad \text{nel caso dei terreni sovraconsolidati}$$

essendo:

E'_{25} = modulo di Young secante cui corrisponde il 25% della resistenza ultima;

D_r = densità relativa espressa come frazione dell'unità;

N_{SPT} = numero di colpi in prova SPT.

Si rileva che nel caso di materiali ghiaioso-sabbiosi e per valori di densità relativa D_r inferiori a 50% le espressioni suddette conducono ad una sottostima dei valori di E'_{25} .

Per la stima del modulo di deformazione sono disponibili numerose altre correlazioni tra le quali:

correlazioni proposte nel "Manual on estimating soil properties" (Cornell University, 1990)

$$E = 10 N_{60} \quad [15] \quad \text{valida per "clean NC sands"}$$

$$E = 15 N_{60} \quad [16] \quad \text{valida per "clean OC sands"}$$

in cui:

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 31 di 157

E = modulo di deformabilità in kg/cm^2

N_{60} = valore corretto per le procedure esecutive

correlazioni proposte da D'Appolonia et al. (1970)

$$E = 7.71 N_{SPT} + 191 \quad [17] \quad (\text{kg/cm}^2) \text{ valida per sabbia e ghiaia NC}$$

$$E = 10.63 N_{SPT} + 375 \quad [18] \quad (\text{kg/cm}^2) \text{ valida per sabbia OC}$$

in cui:

N_{SPT} = valore non corretto

correlazione proposta da Schultze & Menzenbach (1961)

$$E = 0.517 N_{SPT} + 7.46 \text{ in MPa} \quad [19]$$

correlazione proposta in Pasqualini: Standard Penetration Test (Politecnico di Torino 1983).

La seguente correlazione interpola i risultati di correlazioni tra prove SPT e prove pressiometriche eseguite da Tornaghi, Franke, Ghionna-Lancellotta-Maniscalco, Albert-Hegg-Manassero.

$$E = B\sqrt{N_{SPT}} \quad [20]$$

con $B = 7\text{MPa}$.

Il modulo elastico può essere calcolato anche secondo le seguenti formulazioni proposte da Schmertmann:

Schmertmann, 1978	$E(\text{MPa}) = 0.8 N_{SPT}$ per Sabbia fine
	$E(\text{MPa}) = 1.2 N_{SPT}$ per Sabbia media
	$E(\text{MPa}) = 2 N_{SPT}$ per Sabbia grossolana

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 32 di 157

5.3 FORMAZIONI ROCCIOSE

5.3.1 Introduzione

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

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

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

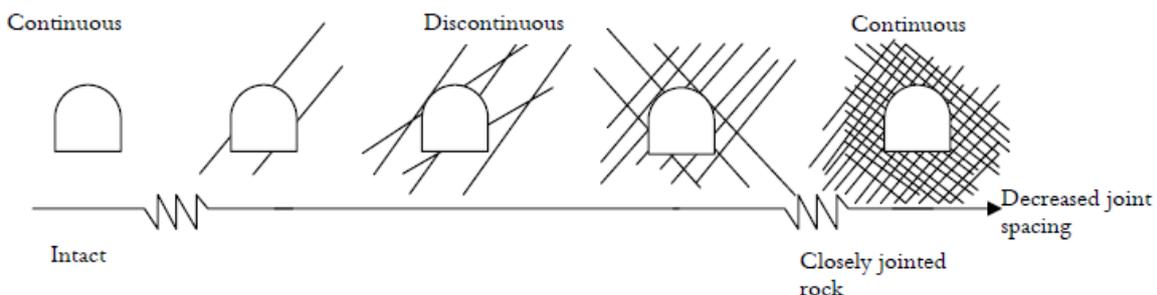


Fig. 9: concetto del volume significativo (da Catrin Edelbro)

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

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 33 di 157

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

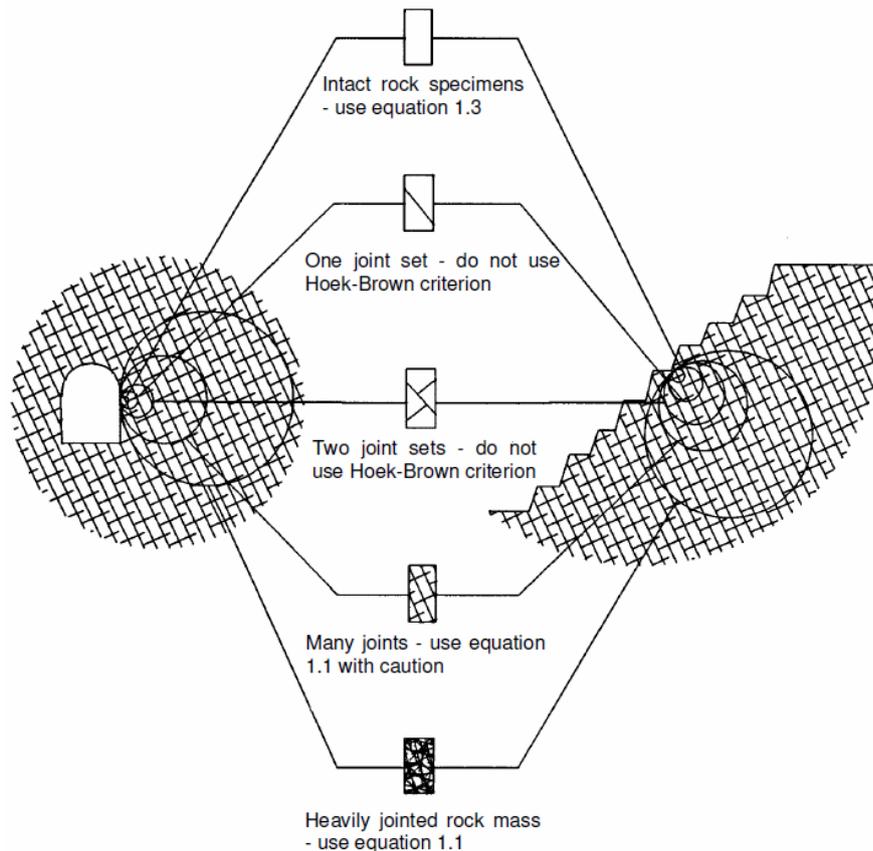


Fig. 10: applicabilità del criterio Hoek-Brown (da Hoek)

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

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

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

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

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 34 di 157

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

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

5.3.1 Caratterizzazione della matrice litoide

Per ogni Unità Geotecnica sono stati analizzati i risultati provenienti dalle prove di laboratorio (compressione monoassiale, compressione triassiale e misure di velocità ultrasonica) che hanno consentito di definire le principali caratteristiche meccaniche della matrice: la resistenza a compressione σ_{ci} e il modulo elastico E_i . Per la definizione del modulo elastico della matrice litoide ottenuto dai dati provenienti direttamente dalle prove di laboratorio, è stato considerato il valore di modulo elastico ottenuto in prossimità del 50% del carico a rottura. Inoltre è stata utilizzata la correlazione di Lembo Fazio e Ribacchi (1984) che lega il modulo elastico E_i alla velocità delle onde P (v_p) secondo quanto rappresentato nella seguente.

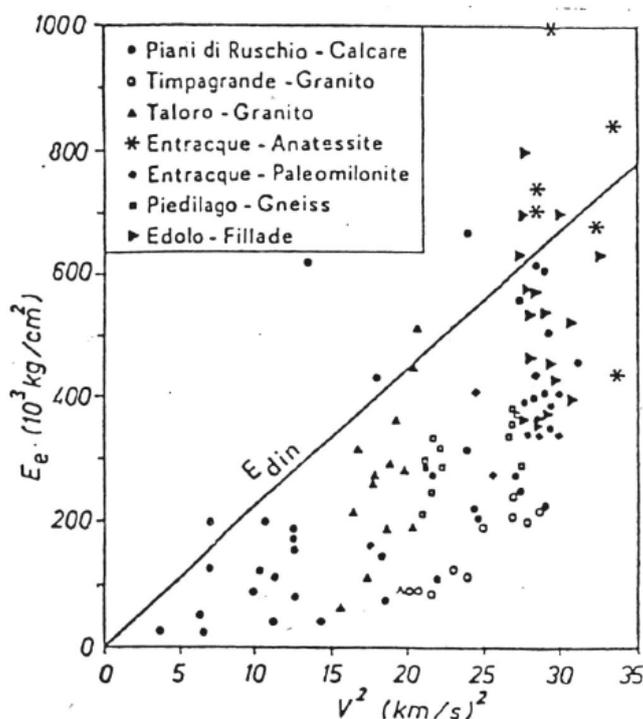


Fig. 11: Correlazione $E_i - v_p$ Lembo Fazio e Ribacchi (1984)

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

Per la definizione delle caratteristiche delle discontinuità viene seguito il criterio ISRM 1988 (Suggested Methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses) da applicare su stazioni di misure. In tali stazioni vengono analizzate le caratteristiche strutturali della roccia in corrispondenza di allineamenti (traverse); le traverse sono rappresentate da ideali linee sull'affioramento, posizionate a discrezione dal

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 35 di 157

rilevatore in modo che esse intercettino in maniera significativa le discontinuità che intersecano l'ammasso. Per le discontinuità intercettate vengono rilevati i seguenti dati:

- distanza dal punto di inizio della traversa;
- giacitura del piano di discontinuità (immersione e inclinazione);
- lunghezza visibile della frattura;
- apertura/larghezza della frattura;
- rugosità della superficie di frattura;
- tipo di riempimento (se presente).

I dati di giacitura delle discontinuità sono elaborati e rappresentati graficamente con i metodi di proiezione stereografica.

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

Per maggiori informazioni si rimanda alla relazione geologica dove si commentano i rilievi eseguiti sul campo.

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

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

5.3.3 Metodi di classificazione degli ammassi rocciosi

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

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

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

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

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 36 di 157

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

Fig. 12: schema base del metodo GSI (da Hoek)

L'apparente semplicità del metodo GSI ha portato ad un uso intensivo (e spesso non consono alle effettive intenzioni degli autori) di questo criterio. L'applicazione corretta di questo metodo presuppone la realizzazione di approfonditi studi e rilevamenti geomeccanici sul campo, con la disponibilità di affioramenti e fronti di scavo di dimensioni e qualità tali da garantire una significatività statistica dei dati di acquisizione oltre che una affidabilità degli stessi.

La "sensibilità" ed esperienza del geologo che effettua questa caratterizzazione sono stati evidenziati dallo stesso Hoek come elementi imprescindibili per l'affidabilità del metodo.

Molto spesso gli affioramenti sono limitati, di ridotte dimensioni e disturbati da fenomeni di alterazione dell'ammasso. La possibilità di caratterizzare correttamente gli ammassi esposti in superficie e di estendere questa caratterizzazione in profondità (a meno della disponibilità di specifici cunicoli esplorativi) è molto ridotta. In profondità i dati principali circa lo stato di fratturazione della roccia derivano spesso dai soli dati di carotaggio (RQD ed esame delle condizioni delle superfici di discontinuità sulle carote).

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 37 di 157

Tali circostanze hanno indotto Hoek ed altri autori a proporre un metodo "quantitativo" del GSI ("Quantification of the Geological Strength Index chart" – Hoek, Carter, Diederichs – 2013) che prevede l'utilizzo dei soli dati RQD e delle condizioni delle discontinuità (attraverso un parametro già impiegato da Bieniawski con la sigla Jcond₈₉, ad indicare "Joint Condition" secondo il sistema di Bieniawski del 1989).

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

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

La metodologia di calcolo del Jcond₈₉ è riportata nella Tabella seguente (ripresa dalla pubblicazione citata).

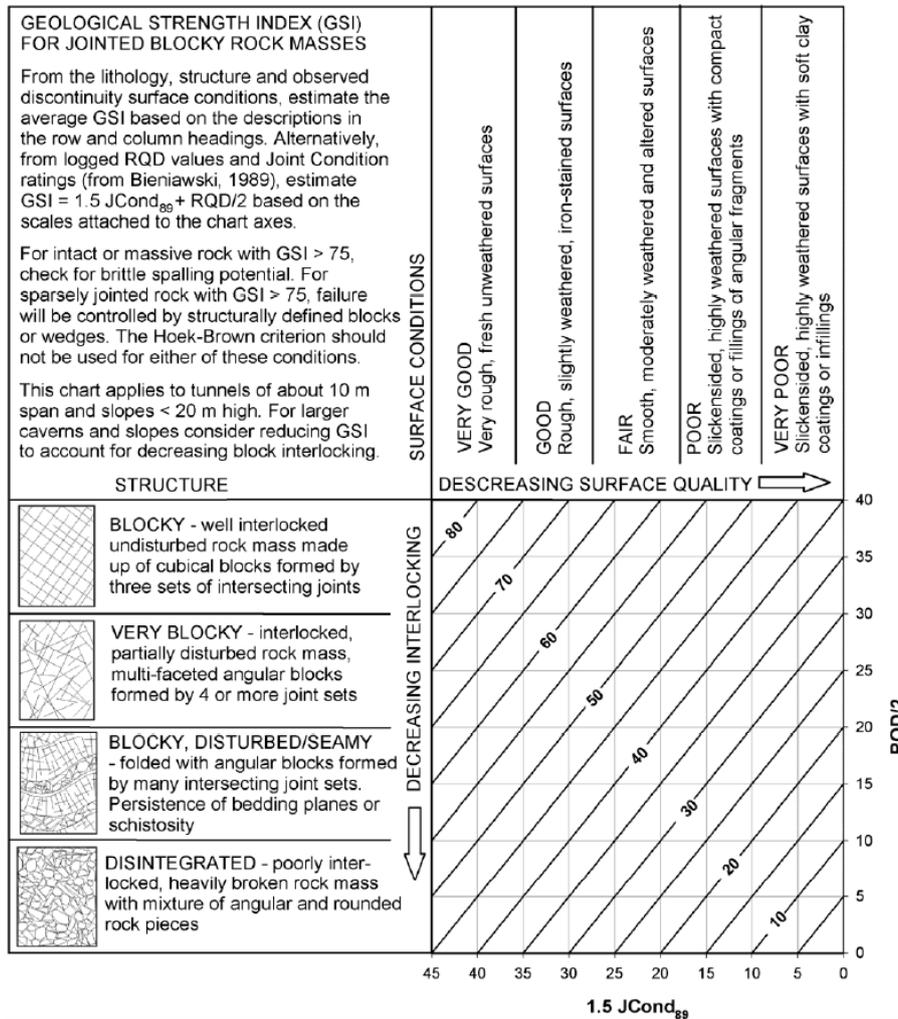


Fig. 13: metodo GSI quantitativo (da Hoek)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 38 di 157

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

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

Guidelines for classification of discontinuity conditions

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

Fig. 14: determinazione del $J_{cond_{89}}$ (da Hoek)

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

Il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso è descritto dal criterio di resistenza non lineare di Hoek e Brown (1980). questo criterio di resistenza è contraddistinto, nel piano di Mohr, da una marcata curvatura con concavità verso il basso; ciò comporta che, a modeste pressioni di confinamento, la superficie di rottura tende a seguire piani di discontinuità con giacitura prossima a quella di rottura, mentre ad elevate sollecitazioni la rottura interessa più estese porzioni di roccia integra.

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

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \left\{ m_i \sigma_c \sigma_3' + s_i \sigma_c^2 \right\}^{1/2} \quad \text{materiale roccioso}$$

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \left\{ m_a \sigma_c \sigma_3' + s_a \sigma_c^2 \right\}^{1/2} \quad \text{ammasso roccioso} \quad [21]$$

in cui σ_c è la resistenza a compressione uniaassiale del materiale roccioso e m ed s sono due parametri legati alla resistenza, rispettivamente di tipo attritivo e di tipo coesivo.

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

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

$$\sigma_{ca} = \sqrt{s_a} \sigma_c$$

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

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

Per tenere conto di effetti di disturbo dell'ammasso, Hoek ha introdotto un criterio di rottura modificato e successivamente "generalizzato" in cui nell'equazione [21] è stato introdotto un coefficiente "a" per adattare meglio la forma della curva nel piano di Mohr.

In tal modo la [21] diventa:

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 39 di 157

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \left\{ m_i \sigma_c \sigma'_3 + s_i \sigma_c^2 \right\}^a \quad \text{materiale roccioso}$$

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \left\{ m_a \sigma_c \sigma'_3 + s_a \sigma_c^2 \right\}^a \quad \text{ammasso roccioso}$$

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

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

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

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

m_i costante adimensionale dipendente dal tipo litologico.

D coefficiente che tiene conto dell'effetto di disturbo per l'abbattimento della roccia con esplosivo.

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

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

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

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

dove

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

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

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

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

dove

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

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

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 40 di 157

5.3.5 Deformabilità dell'ammasso roccioso

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

Esistono in letteratura numerosissime relazioni proposte da vari autori (a iniziare da Bieniawski, Hoek, Serafim e Pereira, Barton e altri).

Hoek and Diederichs (2005) hanno riesaminato vari metodi empirici per stimare il modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso ed hanno proposto la seguente relazione che verrà proposta in questa sede.

$$E_d (MPa) = 100000 \left(\frac{1 - D/2}{1 + e^{((75+25D-GSI)/11)}} \right) \quad [22]$$

Il modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso può essere calcolato anche in funzione del valore del modulo di deformabilità della roccia intatta E_i secondo la seguente relazione (Hoek & Diederichs 2006):

$$E_{rm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\left(\frac{60+15D-GSI}{11}\right)}} \right)$$

5.3.6 Resistenza al taglio lungo i giunti

Per i motivi prima descritti, quando le condizioni geostrutturali dell'ammasso rapportate all'interazione con l'opera in progetto (anche nel caso si scavi in roccia non sostenuti) non consentono l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per ammassi pseudo-omogenei, le verifiche vanno condotte con riferimento allo scorrimento di cunei e diedri di roccia (che si formano dalla combinazione dei giunti di discontinuità, della superficie topografica e di quella di scavo). La geometria dei blocchi instabili deriva dalle effettive condizioni geostrutturali, ricostruite con le stazioni di rilievo commentate nella relazione geologica.

Le analisi possono essere condotte con i classici sistemi all'equilibrio e/o con le analisi cinematiche su proiezioni stereografiche.

Per i criteri applicati nel caso in esame si rimanda alle relazioni di calcolo.

Nei riguardi della stima delle resistenze a scorrimento lungo le discontinuità può farsi riferimento al noto schema di Barton, tradotto in una relazione che esprime la resistenza a taglio solo in termini attritivi:

$$\tau_{lim} = \sigma \cdot \tan \varphi^* \quad [23a]$$

$$\varphi^* = \left(\varphi + JRC \cdot \log_{10} \frac{\sigma_j}{\sigma} \right) \quad [23b]$$

σ : pressione efficace normale al giunto

φ : angolo di attrito base (giunto piano, liscio)

JRC : indice di scabrezza di Barton

σ_j : resistenza a compressione della roccia adiacente il giunto

φ^* : angolo di attrito apparente in relazione con σ e l'indice di scabrezza

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 41 di 157

6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA

Nei paragrafi che seguono vengono esposti e commentati i risultati delle indagini che hanno permesso di individuare un range dei parametri che può ritenersi rappresentativo delle singole unità. In alcuni casi, soprattutto nel caso di terreni a granulometria molto variabile, questo range può risultare molto ampio. La scelta del parametro caratteristico è frutto di specifiche considerazioni anche legate alle singole scelte progettuali e quindi sarebbe concettualmente corretto che il valore del parametro caratteristico venga individuato dal progettista di ogni singola opera, anche sulla base della conoscenza e della sensibilità legata alla scelta della stessa soluzione progettuale. Tuttavia, nello specifico paragrafo che riassume i parametri delle singole unità, vengono indicati i valori ritenuti caratteristici e rappresentativi delle unità fermo restando che valori specifici, sempre rientranti nel range, potrebbero essere adottati per la progettazione delle singole opere.

6.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

6.1.1 Detrito di versante (d)

La formazione dei detriti di versante interessa la zona di imbocco della Galleria Gardena come mostrato nelle figure seguenti.

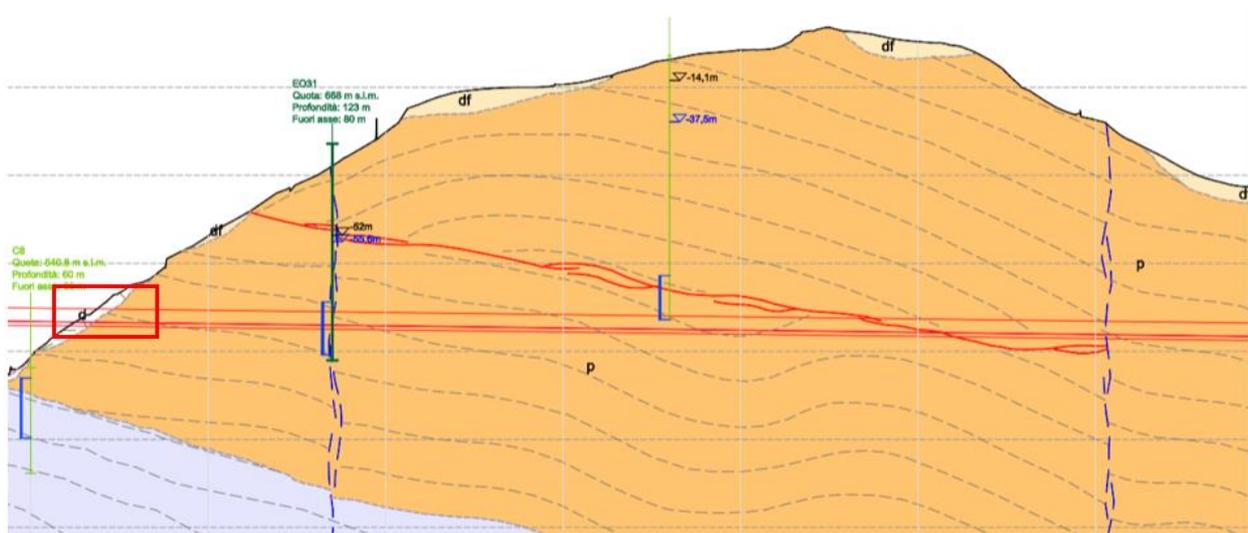


Fig. 15: Stralcio del profilo geologico della Galleria Gardena (formazione d in evidenza)

Per la caratterizzazione della formazione in esame che interessa le opere di Imbocco Nord della Galleria Gardena si è fatto riferimento al solo sondaggio C8 per il quale si hanno a disposizione due prove SPT nei primi strati detritici.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 42 di 157



Fig. 16: Plano-profilo geologico di dettaglio Imbocco Nord Galleria Gardena – sondaggio C8 in evidenza

Sulla base dei valori di N_{SPT} sono stati ricavati i valori di angolo di attrito secondo le formulazioni presenti in letteratura e riportate nel §5.2.3.

I risultati sono mostrati nella tabella seguente:

sondaggio	z (m)	$N_{SPT}(-)$	Shioi e Fukuni Road Bridge $\varphi' (^{\circ})$	Shioi e Fukuni Japanese National $\varphi' (^{\circ})$	API - American Petroleum $\varphi' (^{\circ})$	Schmertmann 1977 - sabbia media $\varphi' (^{\circ})$
C8	3	48	42	41	43	35
	6	72	48	49	43	35

Tab. 6: Angolo di attrito da elaborazione N_{SPT}

Dato il limitato numero di prove disponibili, si considera rappresentativo il seguente intervallo di valori:

$$35 \leq \varphi \leq 43$$

Per quanto riguarda la definizione del modulo elastico, si è fatto riferimento alle prove sismiche di cui si riporta la planimetria in Fig. 17, in particolare alla prova sismica di tipo MASW/Re.Mi. denominata Res10.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 43 di 157

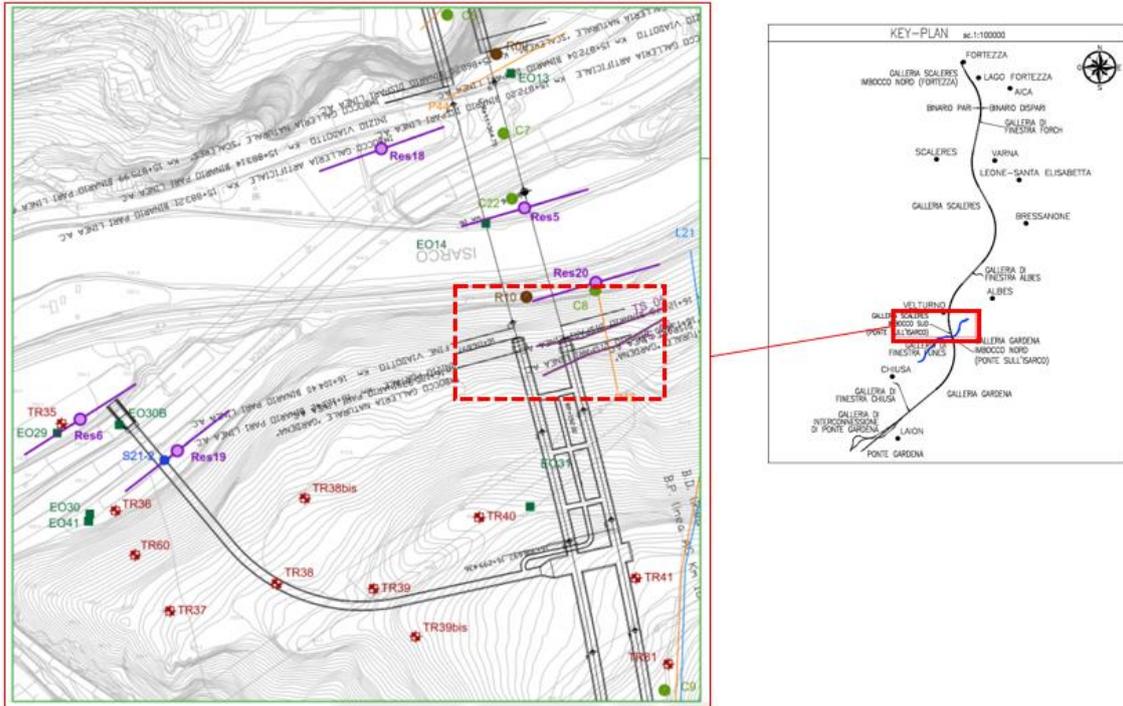


Fig. 17: Planimetria carta indagini –in evidenza zona di Imbocco Nord di Gardena interessata dalla formazione d

Dai risultati di tali prove si possono applicare le relazioni con la V_s (velocità delle onde di taglio) che partendo dalla stima di G_0 si arriva, tramite E_0 , alla valutazione del modulo operativo secondo le seguenti formulazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s .

La stima del modulo operativo viene eseguita applicando il massimo valore di degrado (pari a 10) per l'opera in esame.

Dai risultati si evince che le V_s variano da 200m/s a 300 m/s circa nei primi metri detritici da cui si ritiene rappresentativo il seguente intervallo di modulo elastico operativo:

$$40 \text{ MPa} \leq E \leq 70 \text{ MPa}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 44 di 157

6.1.1 Deposito di frana inattivo (fi)

Il deposito di frana interessa la Finestra di Funes ed è stato intercettato in fase di progetto definitivo dai sondaggi EO30 e EO41, mentre in fase di progetto esecutivo il sondaggio S21/2 ha attraversato la parte basale al piede del vecchio deposito di frana.

Un altro deposito di frana inattivo, in un diverso contesto geologico, interessa la parte finale della Galleria di Interconnessione di Ponte Gardena B.P. la formazione è intercettata dal sondaggio C23.

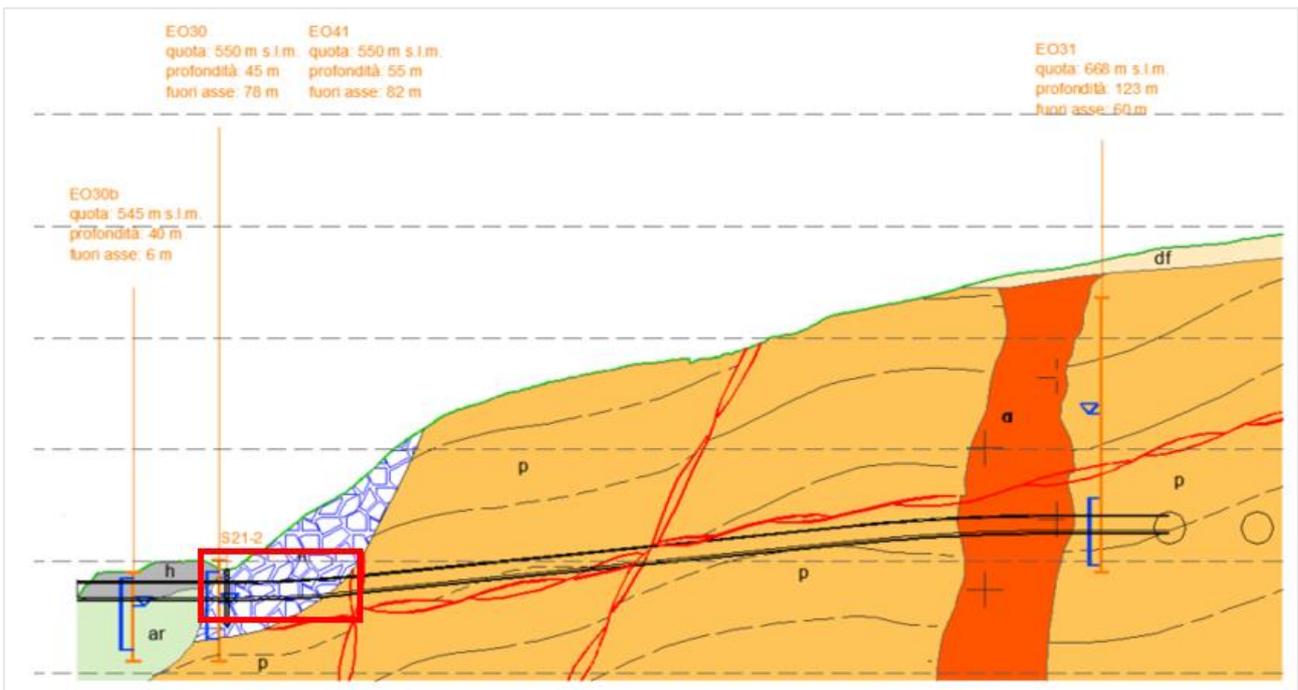


Fig. 18: Stralcio del profilo geologico della Finestra di Funes (formazione fi in evidenza)

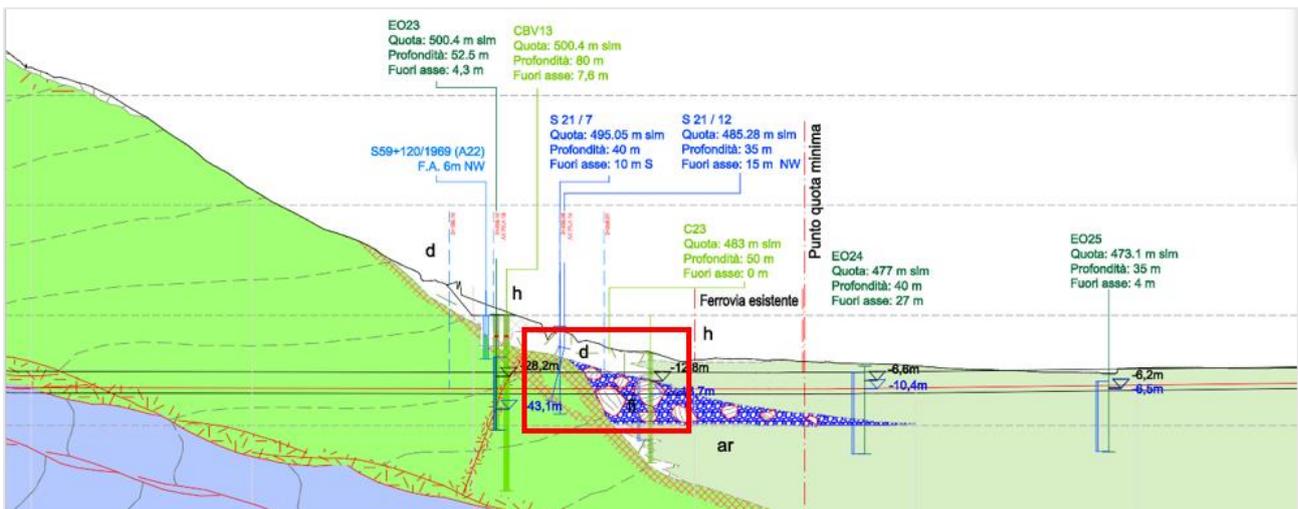


Fig. 19: Stralcio del profilo geologico dell'Interconnessione di Ponte Gardena B.P. (formazione fi in evidenza)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 45 di 157

Le prove SPT condotte nel sondaggio C23 hanno dato sistematicamente rifiuto fin dai primi metri di profondità; tali risultati sono identificativi di materiali da mediamente densi a molto densi.

Per la Finestra di Funes, dai risultati del sondaggio S21/2 profondo 25 m, si evince che il materiale si presenta sotto forma di detrito, alternato a blocchi di roccia, i cui valori di N_{SPT} sono riportati in Fig. 20.

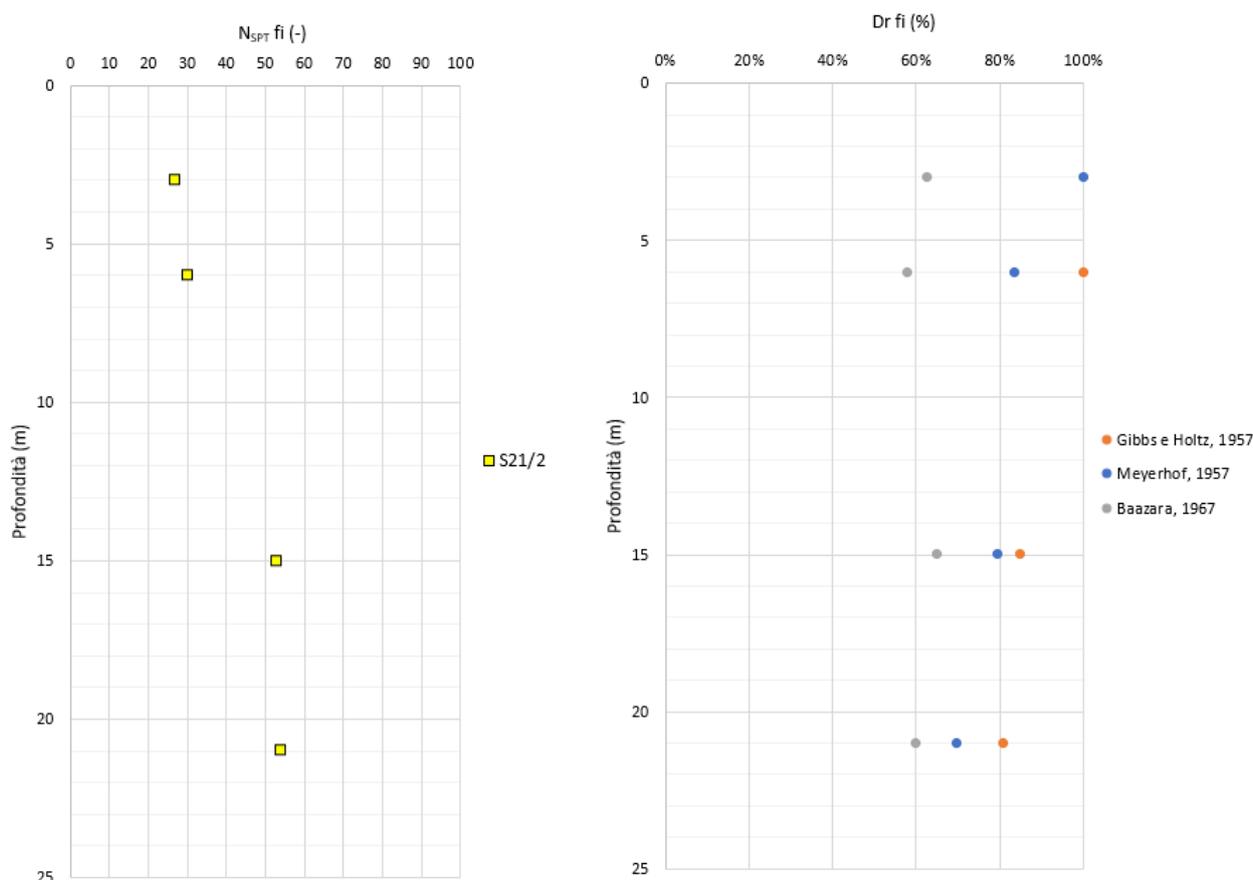


Fig. 20: f_i – Deposito di frana inattivo valori di N_{SPT} (a sinistra) e densità relativa da elaborazione N_{SPT} (a destra)

Laddove l'angolo di attrito dipende dalla densità relativa, per quest'ultima è stato utilizzato il valore medio delle diverse formulazioni usate.

Con riferimento ai valori riportati in Fig. 21, si ritiene rappresentativo per la formazione in oggetto il seguente intervallo di valori:

$$35^\circ \leq \varphi \leq 42^\circ$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 46 di 157

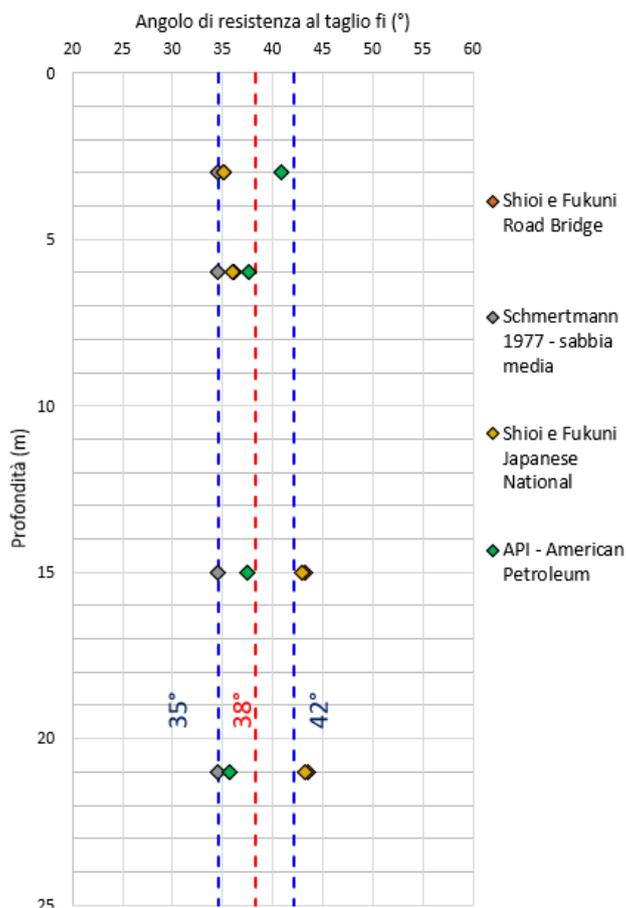


Fig. 21: f_i – Deposito di frana inattivo – angolo di attrito da elaborazione N_{SPT}

Per la valutazione del modulo elastico si è fatto riferimento sia ai valori da elaborazione prove SPT, sia dalle prove pressiometriche e Down Hole eseguite per il sondaggio S21/2.

Dalla prova Down Hole del sondaggio S21/2 si ricavano valori di V_s che variano da 210 m/s a 1100 m/s ed un modulo elastico E calcolato applicando il massimo valore di "degrado" E_0 (pari a 10), secondo le seguenti formulazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s.

APPALTAZIONE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 47 di 157

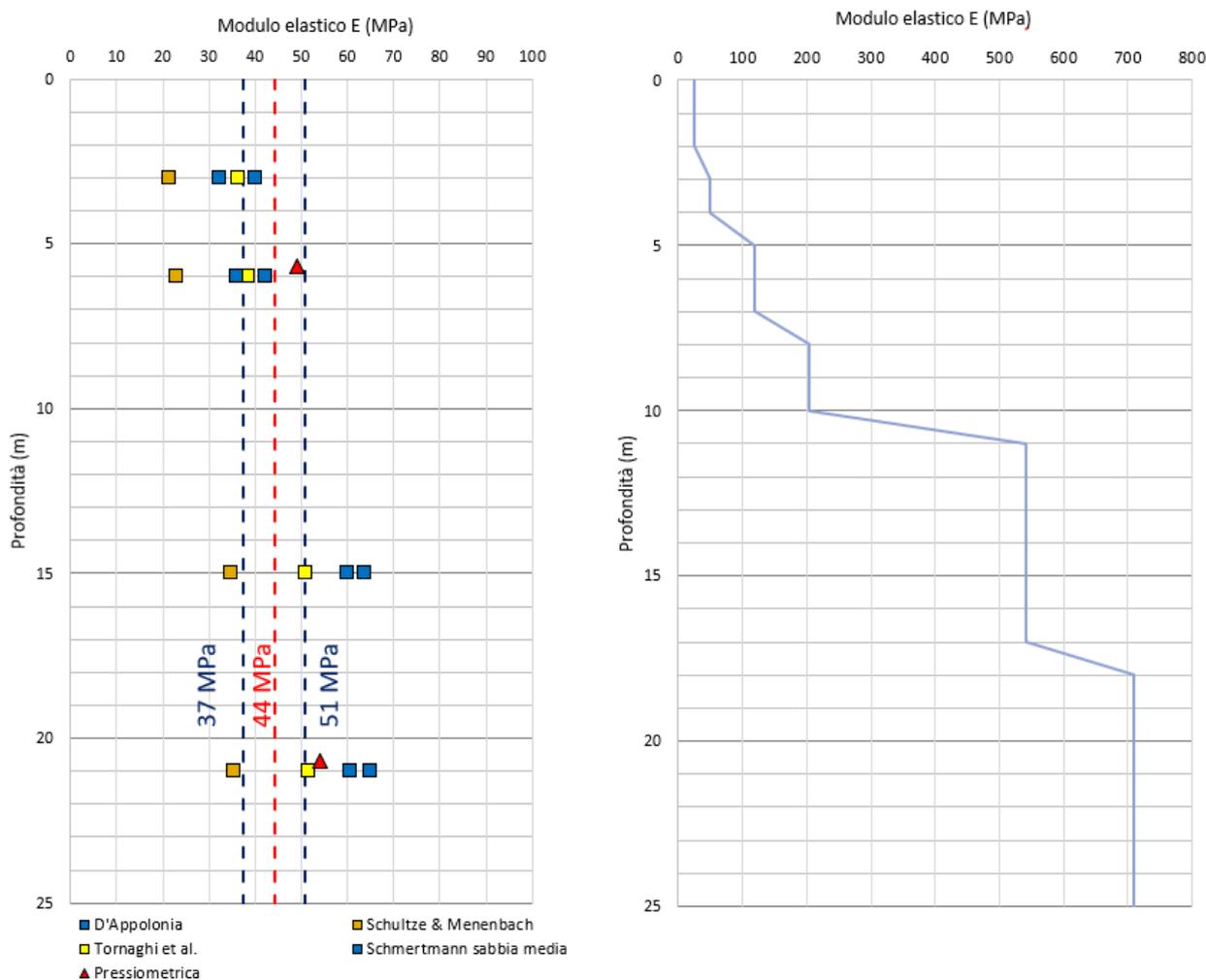


Fig. 22: – Modulo elastico da elaborazione N_{SPT} e pressiometrica (a sinistra) e prova Down Hole del sondaggio S21/2 (a destra)

Dai sondaggi eseguiti in fase di progetto definitivo, il deposito di frana inattivo risulta essere costituito dall'insieme di porzioni di litoidi e riempimenti detritico-terrosi. Anche dalla prova DH (Fig. 22) si evince un cambio di litologia alla profondità di circa 10 m caratterizzata da moduli di deformazione più alti rispetto ai primi metri.

A tal proposito, per definire le caratteristiche della zona rocciosa, si è scelto di adottare i medesimi valori della matrice litoide dei Porfiroidi e di assumere un valore di GSI tale da tenere in considerazione lo stato di fratturazione della roccia e del grado di interconnessione fra i blocchi.

I valori caratteristici sono i seguenti:

$$\sigma_{ci} = 50 \text{ MPa}$$

$$E_i = 22.5 \text{ GPa}$$

$$GSI = 10-15$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 48 di 157

Per la scelta del modulo elastico sono state considerate le prove geofisiche e l'unica prova pressiométrica del sondaggio EO41; la prova DH eseguita nel sondaggio EO41 consente di identificare il passaggio dal deposito di frana inattivo al substrato roccioso.

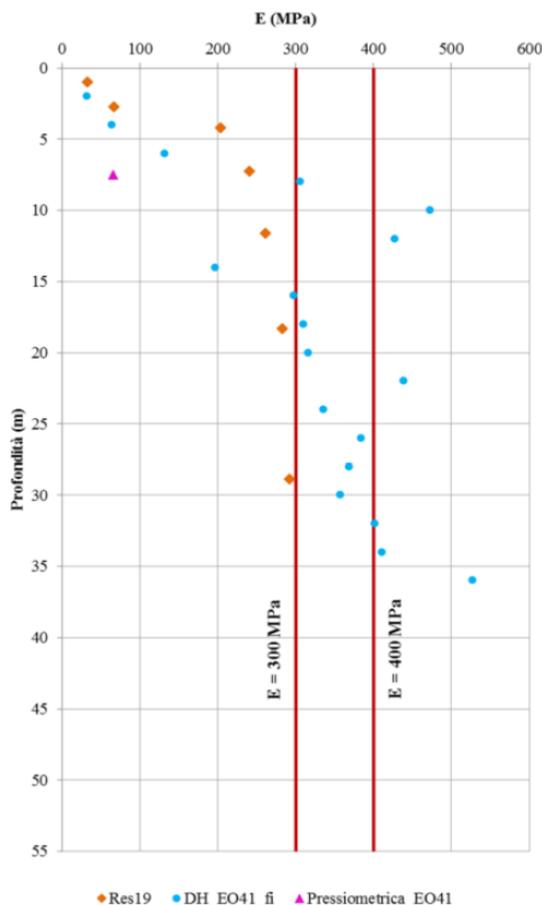


Fig. 23: fi – Modulo elastico da elaborazione geofisica e prova pressiométrica

Sulla base dei risultati esposti si definisce il seguente range per i detriti:

$$37 \text{ MPa} \leq E \leq 51 \text{ MPa}$$

Mentre per la zona interessata da rocce si ritiene rappresentativo il seguente range di parametri:

$$300 \text{ MPa} \leq E \leq 400 \text{ MPa}$$

Per la Galleria di Interconnessione di Ponte Gardena – Binario Pari si ha a disposizione il sondaggio C23 eseguito in fase di Progetto Definitivo.

Per la valutazione del modulo elastico, in mancanza di determinazioni dirette da prove di si è fatto riferimento alle prove sismiche riportate nella figura seguente:

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 49 di 157



Fig. 24: Planimetria prove geofisiche – Zona di Ponte Gardena (in evidenza la prova Res9b-Res9)

Dall’analisi dei risultati delle prove sismiche Masw/Re.Mi, le velocità V_s variano da 326 m/s a 834 m/s dalle quali si otterrebbero dei valori di E compresi tra 60 MPa per i primi tratti e superiori ai 400 MPa nei tratti più profondi, applicando il massimo valore di “degrado” E_0 (pari a 10), secondo le seguenti formulazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s.

Per tale motivo si ritiene rappresentativo il seguente intervallo di valori per la profondità di interesse della galleria:

$$150 \text{ MPa} \leq E \leq 350 \text{ MPa}$$

Il valore caratteristico del modulo è:

$$E = 250 \text{ MPa}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 50 di 157

Per la valutazione di angolo di attrito e coesione, dato che il deposito di frana è costituito da alternanze di blocchi metrici di roccia del bedrock di Paragneiss sottostante e limi argillosi, viene assegnato cautelativamente un range di GSI pari a 10-15; da tali valori, utilizzando il criterio proposto da Hoek e Brown (1988), è possibile ricavare angolo di attrito e coesione prendendo come riferimento il valore minimo di GSI pari a 10, come viene proposto dagli autori in contesti dalle caratteristiche meccaniche scadenti.

6.1.2 Rilevato autostradale (h)

Per la caratterizzazione del rilevato autostradale che interessa la Finestra di Funes, l'Interconnessione Binario Pari e Binario Dispari come mostrato nelle figure seguenti, sono stati utilizzati i sondaggi EO30b, C27, EO23.

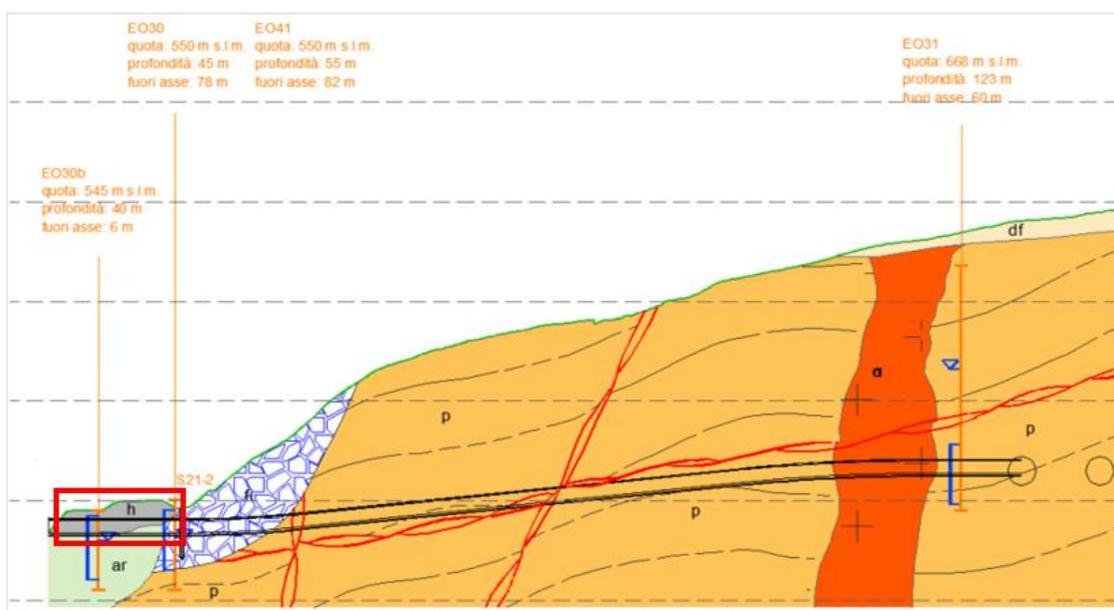


Fig. 25: Stralcio del profilo geologico della Finestra di Funes (rilevato autostradale in evidenza)

APPALTATORE: webuild  		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni		COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 51 di 157



Fig. 26: Stralcio del profilo geologico dell'Interconnessione Binario Dispari (rilevato autostradale in evidenza)

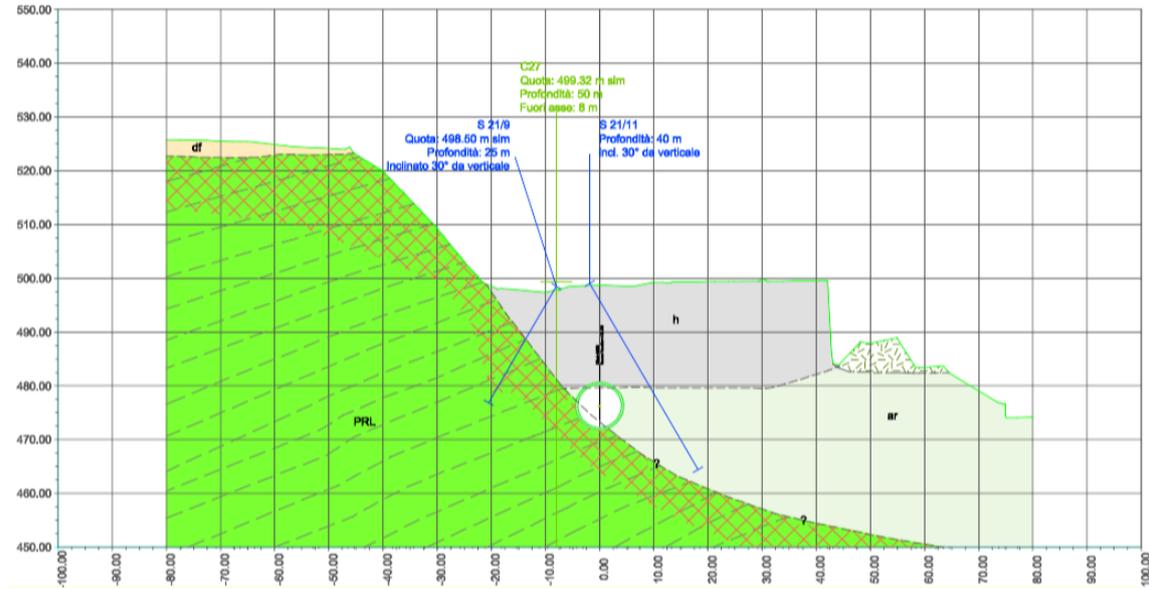


Fig. 27: Sezione trasversale dell'Interconnessione Binario Dispari

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 52 di 157



Fig. 28: Stralcio del profilo geologico dell'Interconnessione Binario Pari (rilevato autostradale in evidenza)

Per la definizione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità di questa unità geotecnica si è fatto riferimento ai risultati delle prove SPT di cui si portano i risultati nelle figure seguenti.

Laddove l'angolo di attrito dipende dalla densità relativa, per quest'ultima è stato utilizzato il valore medio delle diverse formulazioni usate.

Con riferimento ai valori riportati in Fig. 30, si ritiene rappresentativo per la formazione in oggetto il seguente intervallo di valori:

$$33^\circ \leq \varphi \leq 43^\circ$$

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	IBOU	1AEZZ	GE	GN0000002	C	53 di 157

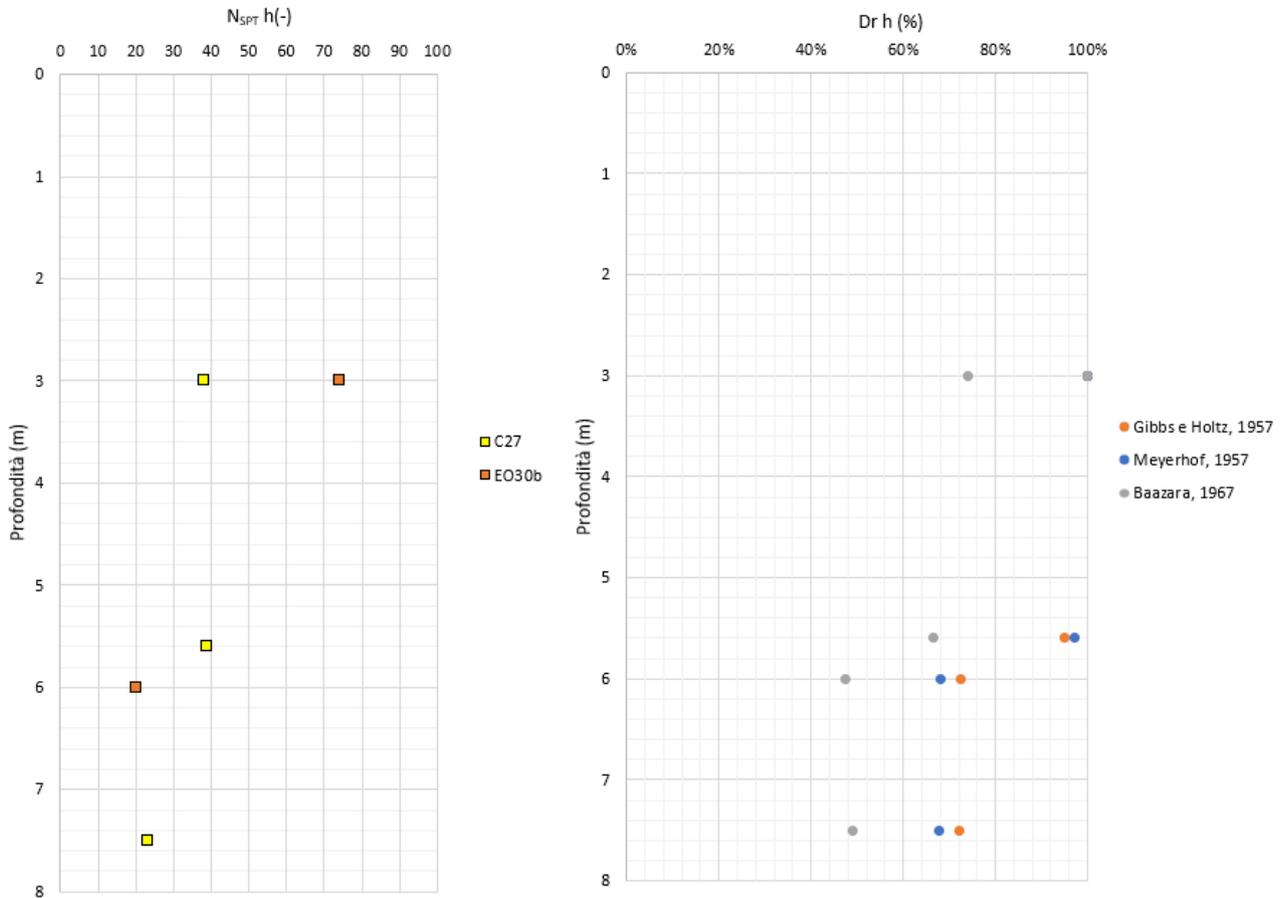


Fig. 29: h – Rilevato autostradale valori di N_{SPT} (a sinistra) e densità relativa da elaborazione N_{SPT} (a destra)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 54 di 157

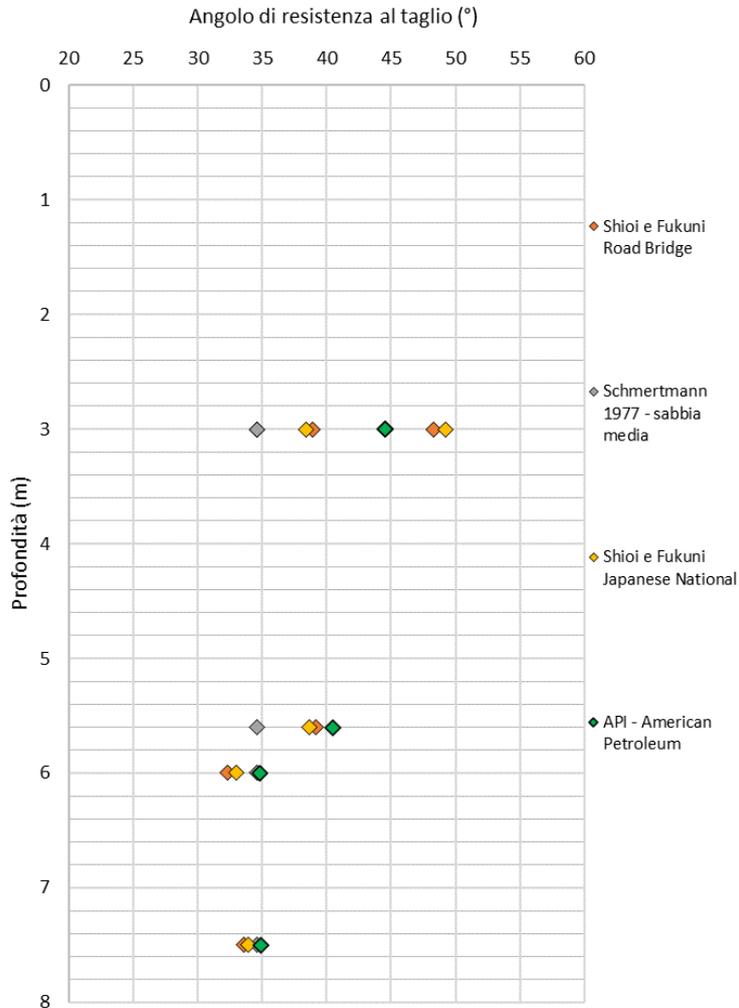


Fig. 30: h – Rilevato autostradale – angolo di attrito da elaborazione N_{SPT}

Per definire i valori del modulo elastico sono stati considerati risultati delle prove SPT (Fig. 31) e i risultati delle prove pressiometriche dei sondaggi S21/9 e S21/11 ed il range di valori è pari a:

$$35 \text{ MPa} \leq E \leq 60 \text{ MPa}$$

I parametri caratteristici sono:

$$\varphi = 35^\circ$$

$$E = 45 \text{ MPa}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 55 di 157

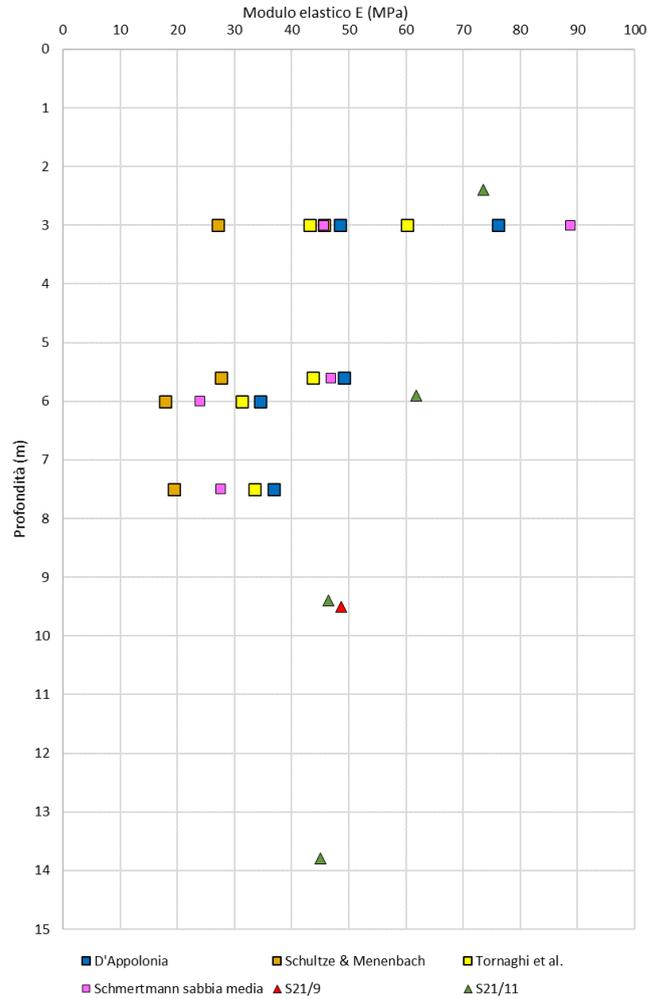


Fig. 31: h – Rilevato autostradale – modulo elastico da elaborazione N_{SPT} e prova pressiometrica

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 56 di 157

6.1.3 Depositi alluvionali recenti (ar)

I Depositi alluvionali recenti (ar) interessano la Finestra di Funes in prossimità dell'imbocco ed entrambe le Gallerie di Interconnessione di Ponte Gardena B.P. e B.D come riportato nelle seguenti figure.

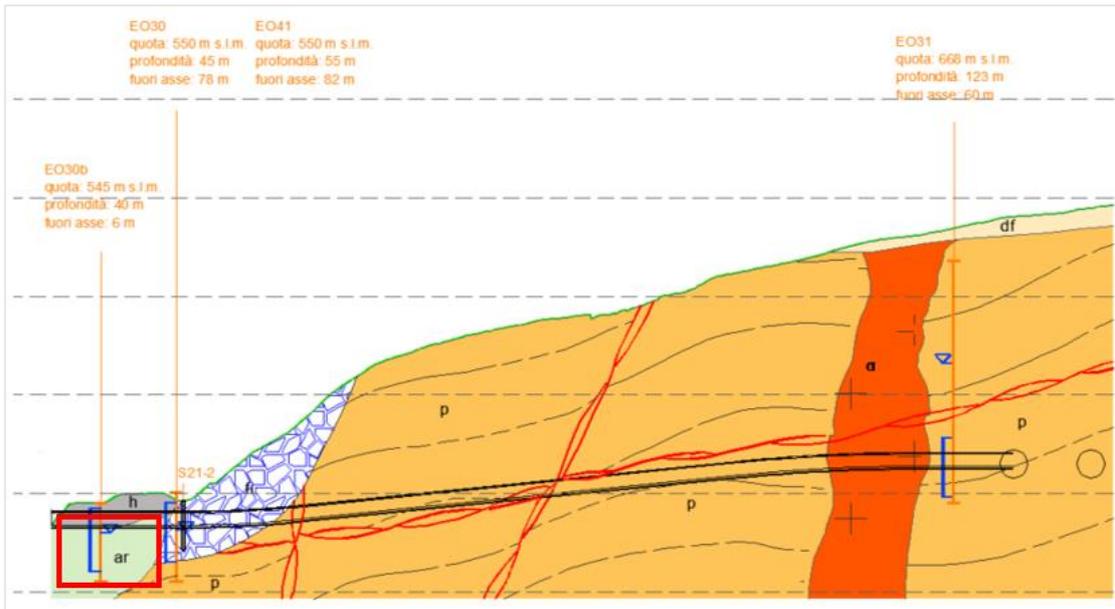


Fig. 32: Stralcio del profilo geologico della Finestra di Funes (formazione ar in evidenza)

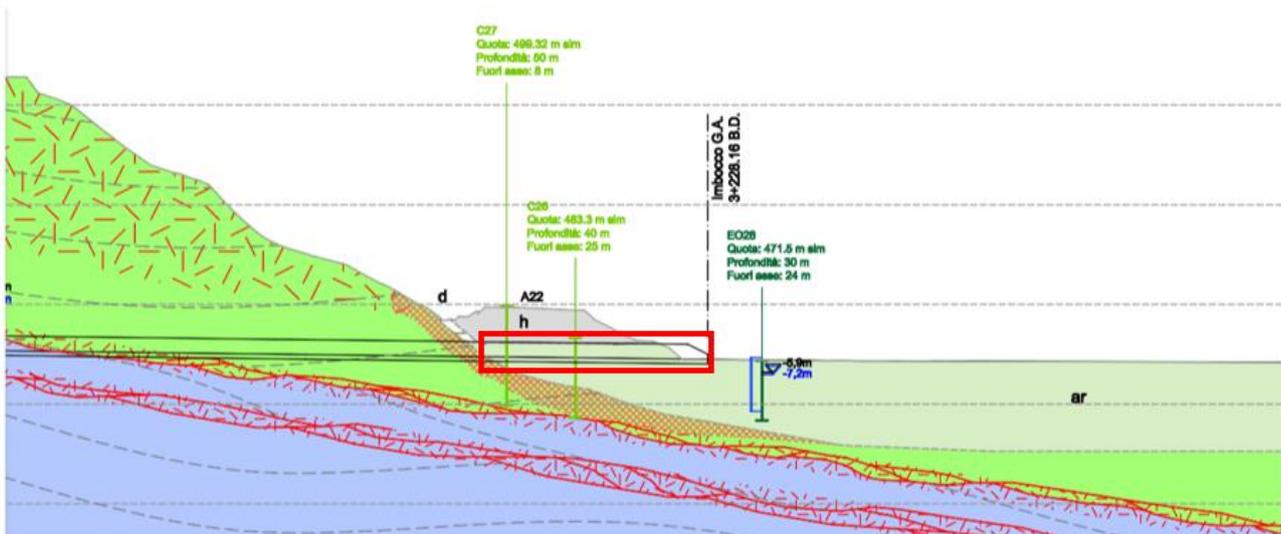


Fig. 33: Stralcio del profilo geologico dell'Interconnessione Binario Dispari (formazione ar in evidenza)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 57 di 157

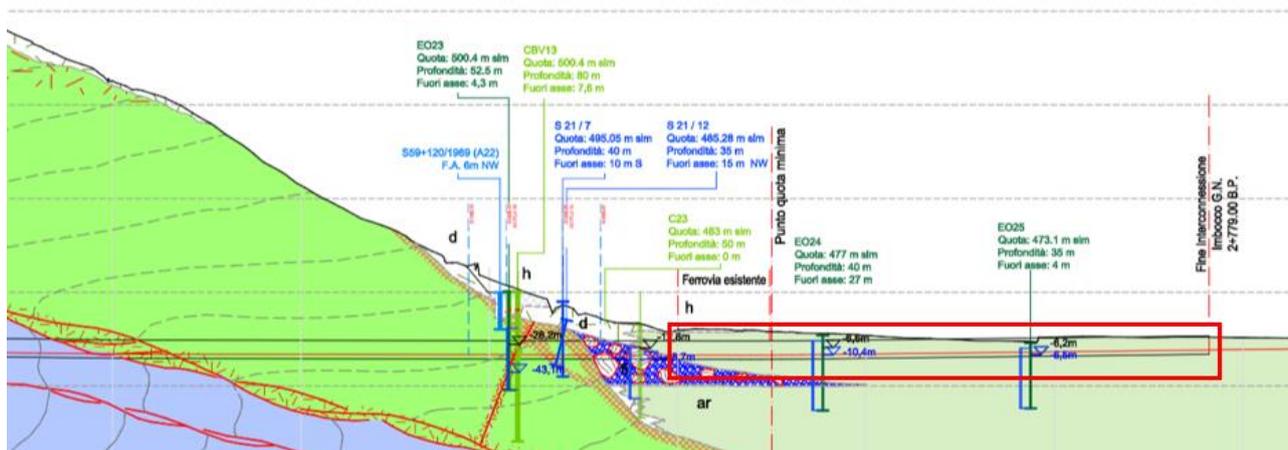


Fig. 34: Stralcio del profilo geologico dell'Interconnessione Binario Pari (formazione ar in evidenza)

Per la definizione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità di questa unità geotecnica si è fatto riferimento ai risultati delle seguenti prove in situ:

- prove penetrometriche SPT;
- prove pressiometriche;
- prove geofisiche MASW.

Sono state analizzate le prove dei sondaggi S21/11, C26, EO24, EO25, EO28, EO29, EO14, C22, C7 e EO30b.

Nella Fig. 35 si riportano i valori di N_{SPT} al variare della profondità. Dalle elaborazioni delle prove SPT, tramite le correlazioni descritte nel paragrafo precedente sono stati ricavati i valori di densità relativa, dell'angolo d'attrito e del modulo elastico.

I risultati sono riportati in grafici in funzione della profondità con indicazione del range di variabilità come prima esposto.

Laddove l'angolo di attrito dipende dalla densità relativa, per quest'ultima è stato utilizzato il valore medio delle diverse formulazioni usate.

Con riferimento ai valori riportati in Fig. 36, si ritiene rappresentativo per la formazione in oggetto il seguente intervallo di valori:

$$32^{\circ} \leq \varphi \leq 44^{\circ}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 58 di 157



Fig. 35: ar – Depositi alluvionali recenti valori di N_{SPT} (a sinistra) e densità relativa da elaborazione N_{SPT} (a destra)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 59 di 157

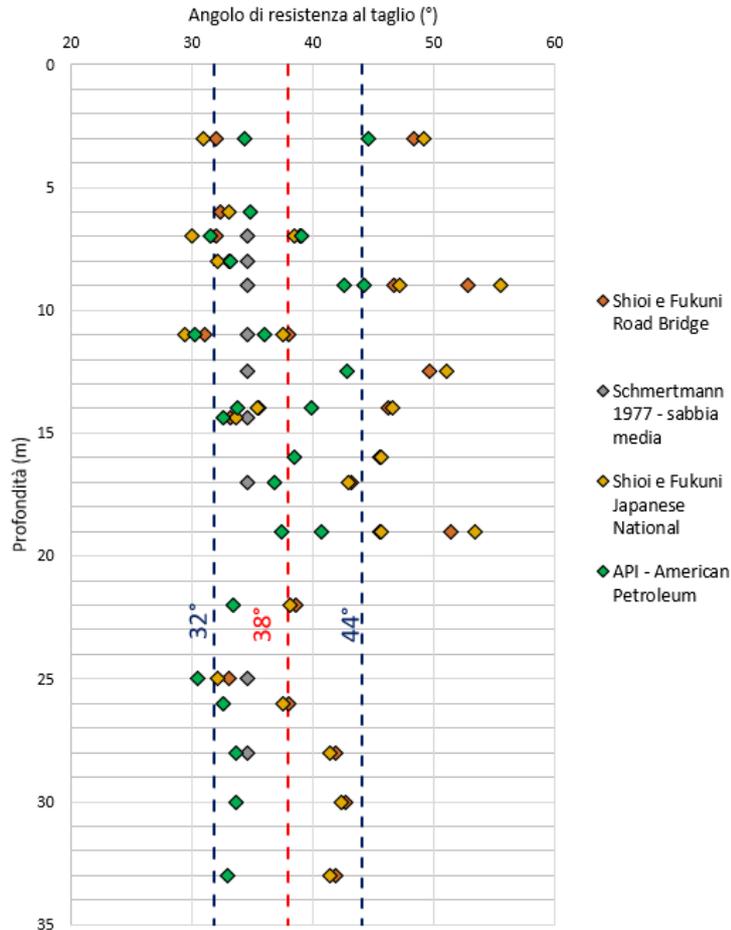


Fig. 36: a_r – Depositi alluvionali recenti – angolo di attrito da elaborazione N_{SPT}

Per definire i valori del modulo elastico sono stati considerati sia i risultati delle prove pressiometriche, sia quelli da elaborazione delle prove SPT.

Come si evince dalla Fig. 37 le prove pressiometriche forniscono valori in linea con le formulazioni da letteratura usate fino alla profondità di 35 metri circa, per cui sono state considerate per definire il range di valori del modulo, utilizzando il medesimo metodo usato per ricavare il range di valori di angolo di attrito:

$$23 \text{ MPa} \leq E \leq 73 \text{ MPa}$$

Dai 35 m in poi il range delle prove pressiometriche è molto più ampio e per tale motivo non sono stati presi in considerazione.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 60 di 157

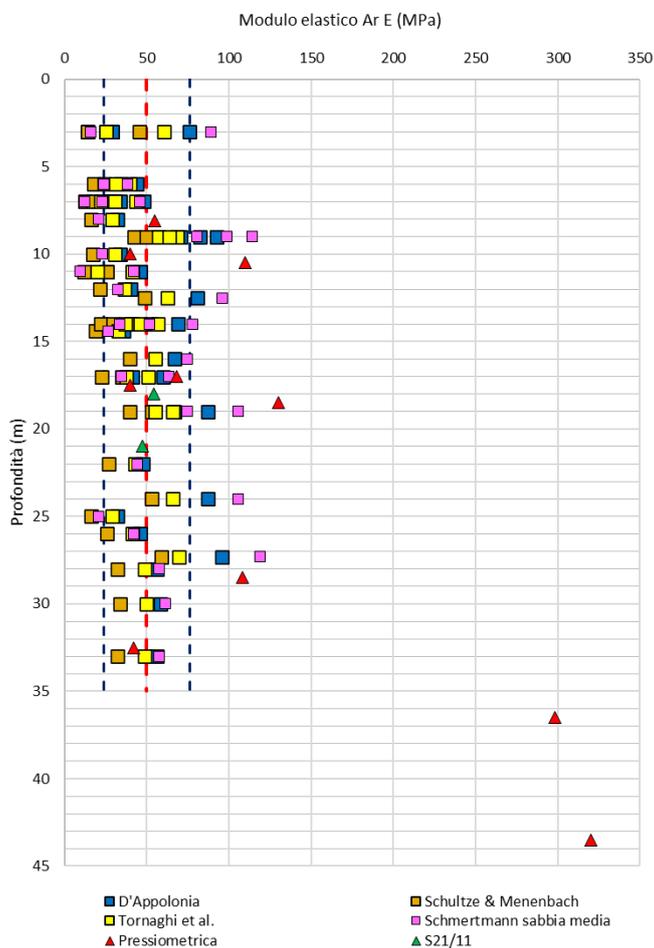


Fig. 37: ar – Depositi alluvionali recenti – modulo elastico da elaborazione N_{SPT} e prova pressiometrica

Per la Finestra di Funes, dalle prove geofisiche MASW/Re.Mi. denominate Res5, Res6, Res19, Res18, di cui si riporta la planimetria in Fig. 38, si ricavano valori di V_s che variano da 130 m/s a 1090 m/s.

Per l'Interconnessione Binario Dispari si fa riferimento alle prove geofisiche MASW/Re.Mi. denominate Res16 e Res16b lungo il profilo Pes12, la cui planimetria si riporta in Fig. 39.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 61 di 157
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni						

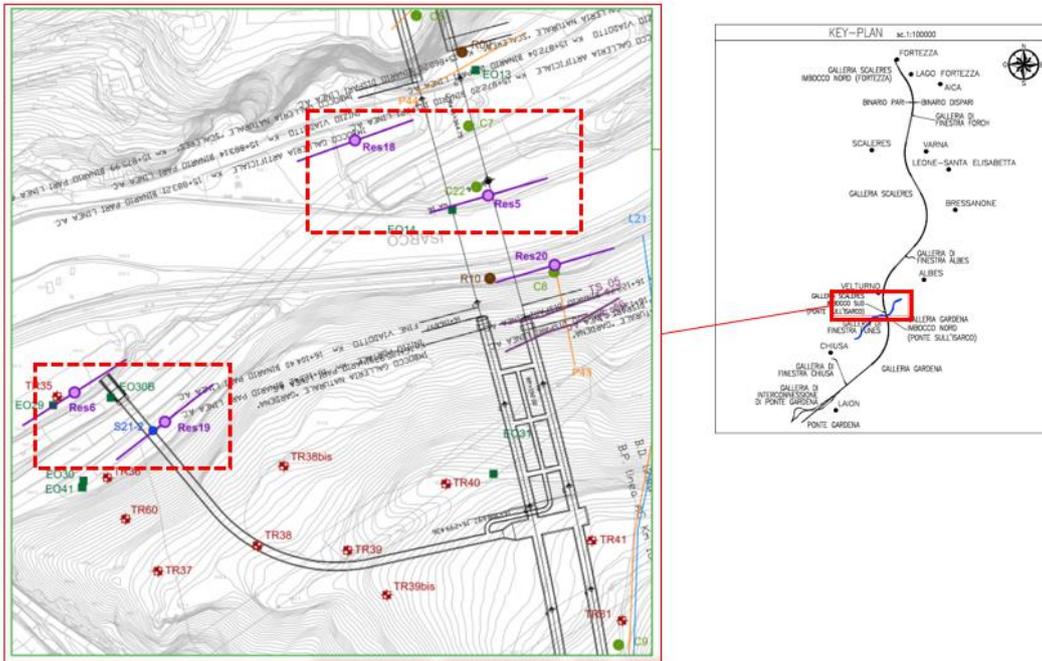


Fig. 38: Planimetria prove geofisiche – Finestra di Funes (in evidenza zona interessata dalla formazione ar)

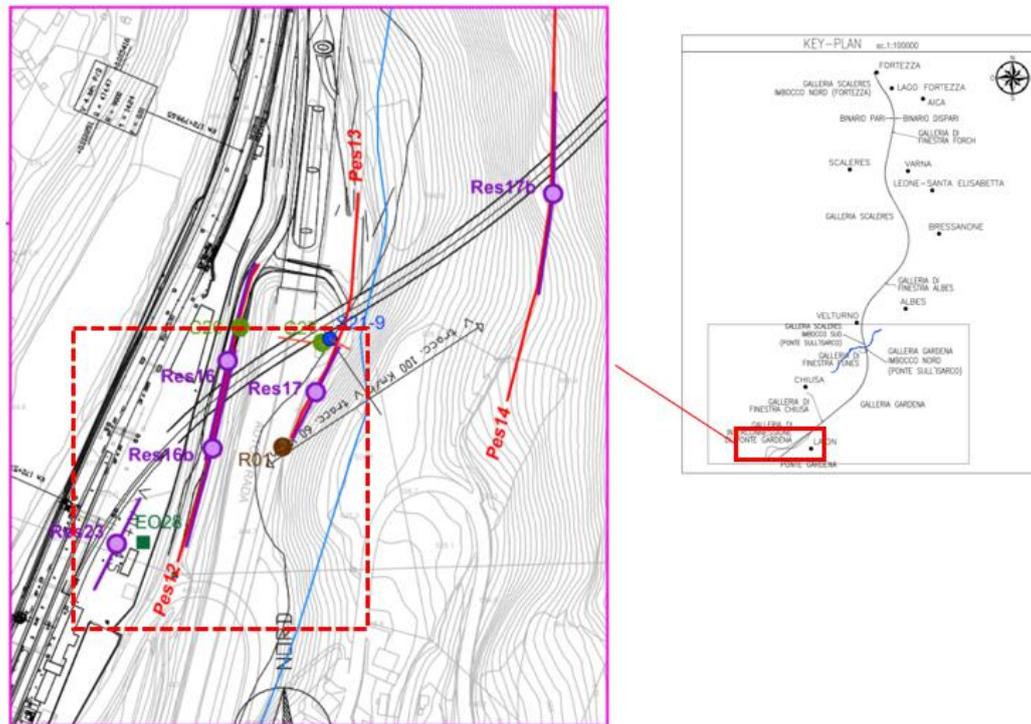


Fig. 39: Planimetria prove geofisiche – zona di Ponte Gardena (in evidenza zona interessata dalla formazione ar)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 62 di 157

Il modulo elastico E è calcolato, a partire dalla Vs, applicando il massimo valore di "degrado" E₀ (pari a 10), secondo le seguenti formulazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m³

ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s.

Dalle prove nella zona di Ponte Gardena si ricavano velocità Vs in corrispondenza dell'asse della galleria dell'ordine di 450 m/s (Fig. 40), dalle quali si ricava un modulo elastico operativo di circa 100 MPa (applicando il massimo valore di degrado pari a 10).

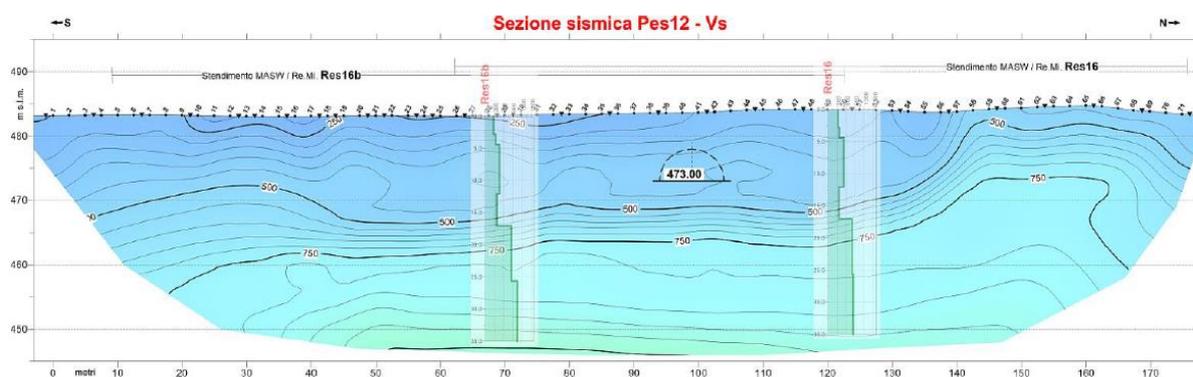


Fig. 40: Sezione sismica Pes12 - Vs

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0U</td> <td>1AEZZ</td> <td>GE</td> <td>GN0000002</td> <td>C</td> <td>63 di 157</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1AEZZ	GE	GN0000002	C	63 di 157
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IB0U	1AEZZ	GE	GN0000002	C	63 di 157								

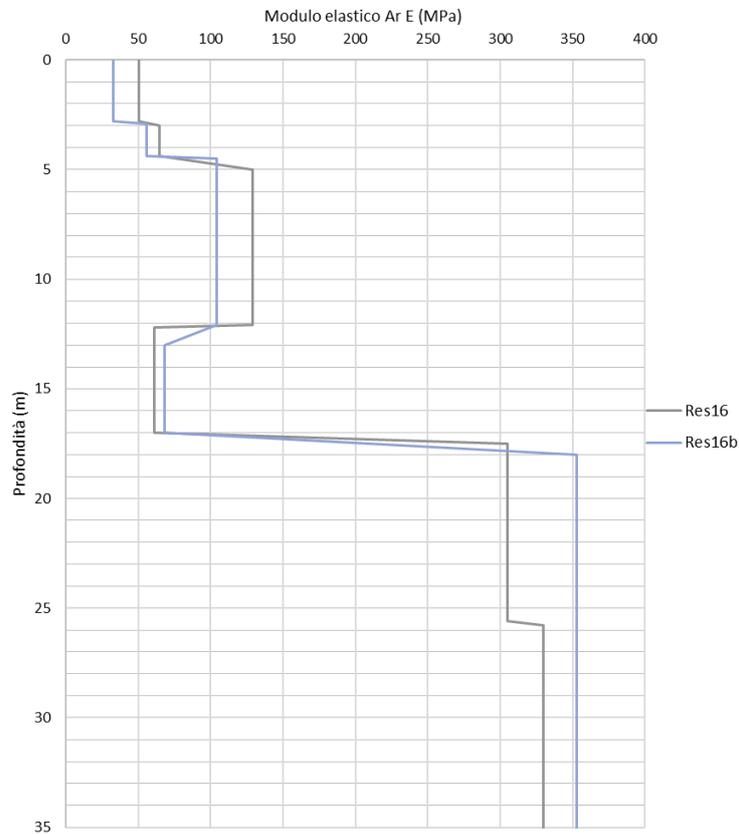


Fig. 41: Modulo elastico – elaborazione prove geofisiche MASW – zona Ponte Gardena

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 64 di 157

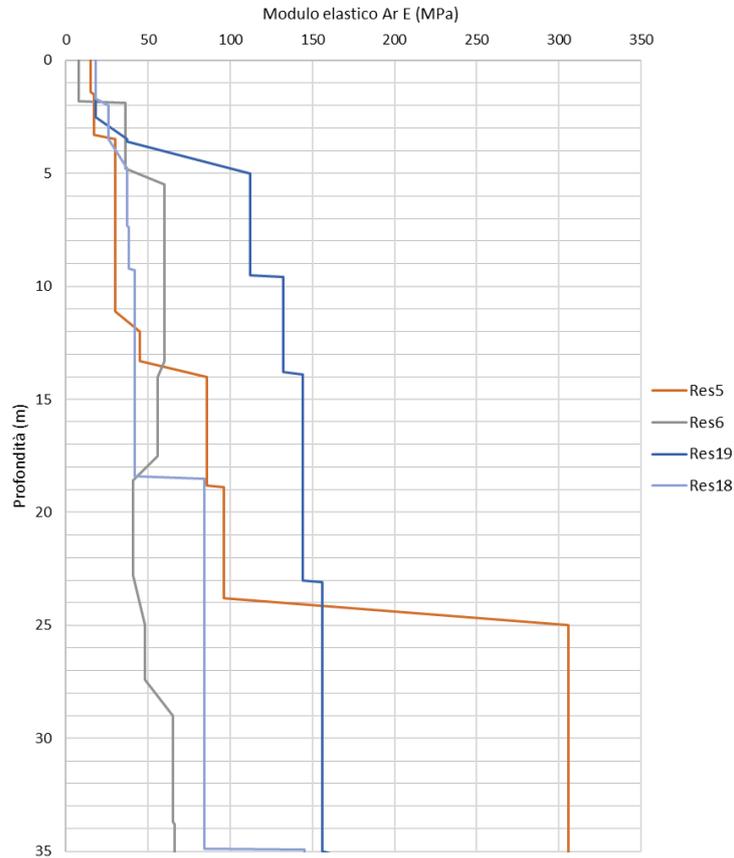


Fig. 42: Modulo elastico – elaborazione prove geofisiche MASW

Dai risultati di tali prove, riportati in Fig. 41 e Fig. 42 , si evince che il modulo varia da 30 MPa a 300 MPa.

Sulla base dei sondaggi e delle prove geofisiche si ritiene rappresentativo il seguente intervallo di valori per la quota di interesse dello scavo:

$$60 \text{ MPa} \leq E \leq 100 \text{ MPa}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 65 di 157

6.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

La Galleria Gardena attraversa le formazioni filladiche, BSS, BSSb, BSSa, BSSc e porfiroidi p appartenenti al Basamento Metamorfico Ercinico e le Intrusioni Permiane (α).

Le Gallerie di Interconnessione di Ponte Gardena B.P. e B.D. si sviluppano quasi interamente nelle formazioni filladiche BSS e BSSa, terminando poi nella zona di imbocco nei Pragneiss di Laion.

La Finestra di Funes intercetta la formazione dei porfiroidi alla pk 0+120 circa dopo aver attraversato il deposito di frana inattivo e termina intercettando le Intrusioni Permiane.

Mentre la Finestra di Chiusa si sviluppa quasi completamente nella formazione BSSb/BSSa, a meno del tratto di imbocco nei detriti di versante.

Per queste Unità Geotecniche sono stati analizzati e interpretati tutti i dati provenienti dalle indagini in sito e in laboratorio, permettendo la caratterizzazione della matrice litoide e l'individuazione di range di variabilità dell'indice GSI in funzione della profondità e dello stato di fratturazione nella tratta di interesse.

6.2.1 Formazione delle Filladi

Per la caratterizzazione delle formazioni filladiche appartenenti al Basamento Metamorfico Ercinico sono state esaminate tutte le prove di laboratorio eseguite in corrispondenza delle seguenti unità:

- Filladi ricche in quarzo – BSSa;
- Filladi a granato – BSS;
- Filladi – BSSb;

Sebbene la presente Relazione riguardi la Galleria Gardena, la Finestra di Funes, la Finestra di Chiusa e le Gallerie di Interconnessione di Ponte Gardena, la formazione delle Filladi di Bressanone è presente anche nella Galleria Scaleres con caratteristiche geologico-tecniche del tutto analoghe. Appare lecito quindi, per la caratterizzazione a livello formazionale, considerare anche i risultati dei sondaggi eseguiti nella zona di Scaleres.

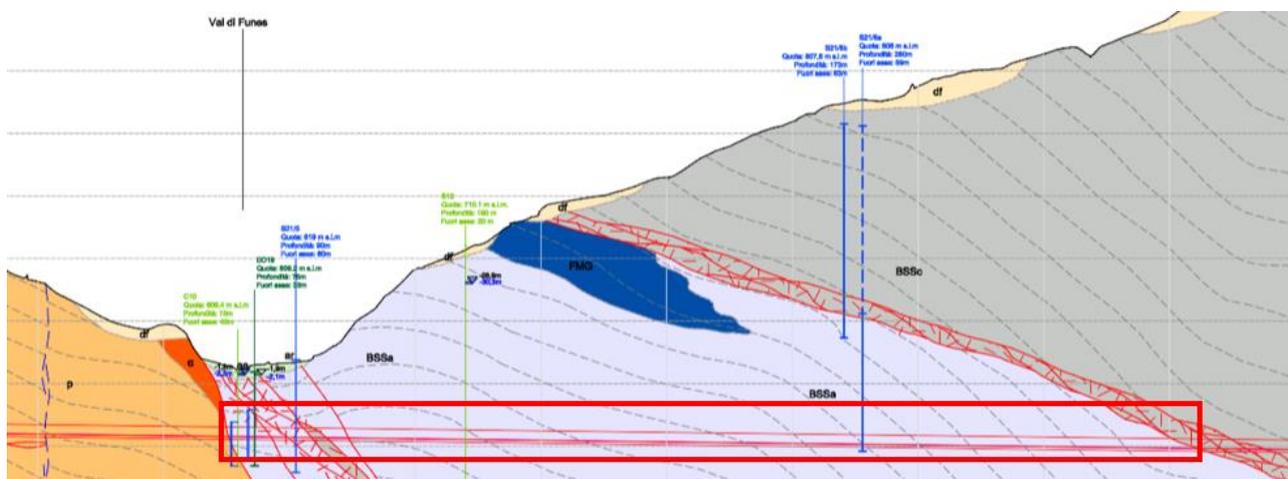


Fig. 43: Stralcio del profilo geologico della Galleria Gardena (formazione BSSa in evidenza)

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni	Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 66 di 157

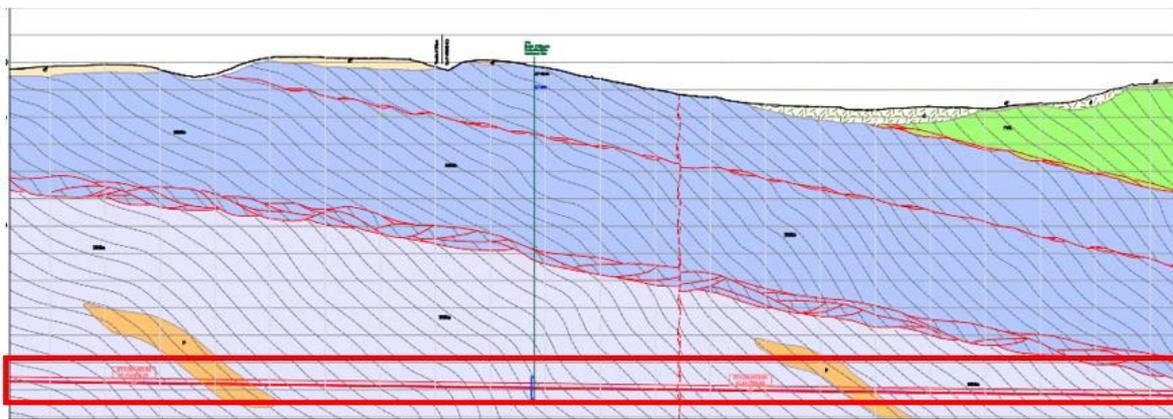
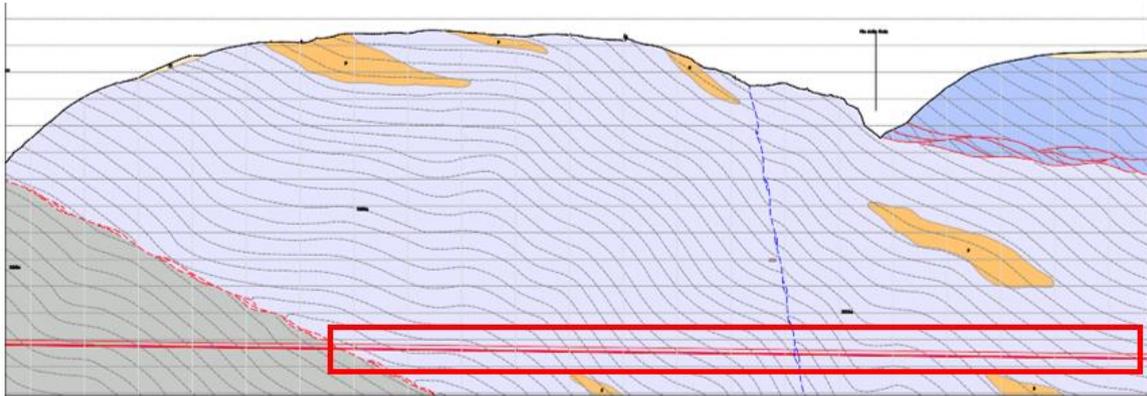


Fig. 44: Stralcio del profilo geologico della Galleria Gardena (formazione BSSa/BSSb in evidenza)

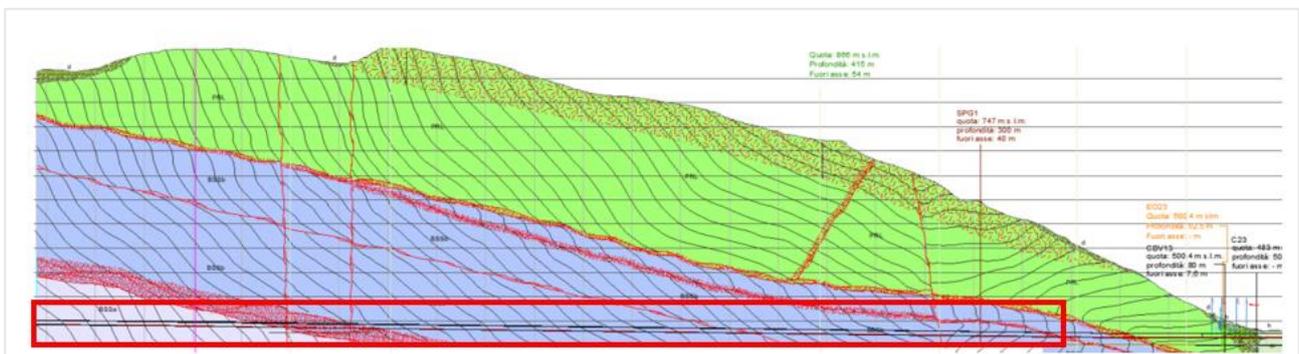


Fig. 45: Stralcio del profilo geologico della Galleria di Interconnessione di Ponte Gardena (formazione BSSa/BSSb in evidenza)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 67 di 157

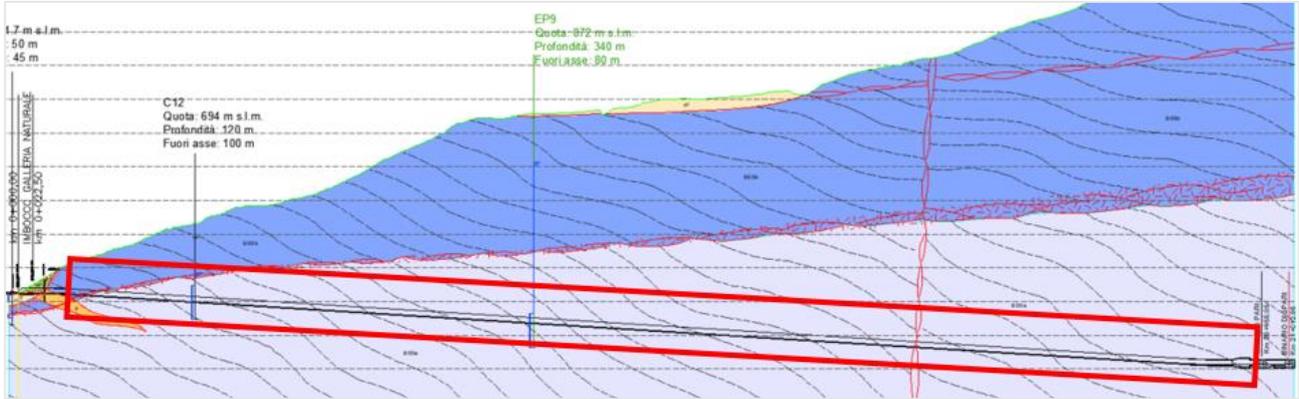


Fig. 46: Stralcio del profilo geologico della Finestra di Chiusa (formazione BSSa/BSSb in evidenza)

Caratterizzazione matrice litoide

Per la caratterizzazione della matrice litoide si è fatto riferimento alle prove di laboratorio dei sondaggi che intercettano tale formazione.

Dato che non sono emerse significative differenze dal punto di vista geotecnico, si è scelto di raggruppare le formazioni BSSa, BSSb e BSS in un'unica formazione denominata BSS*.

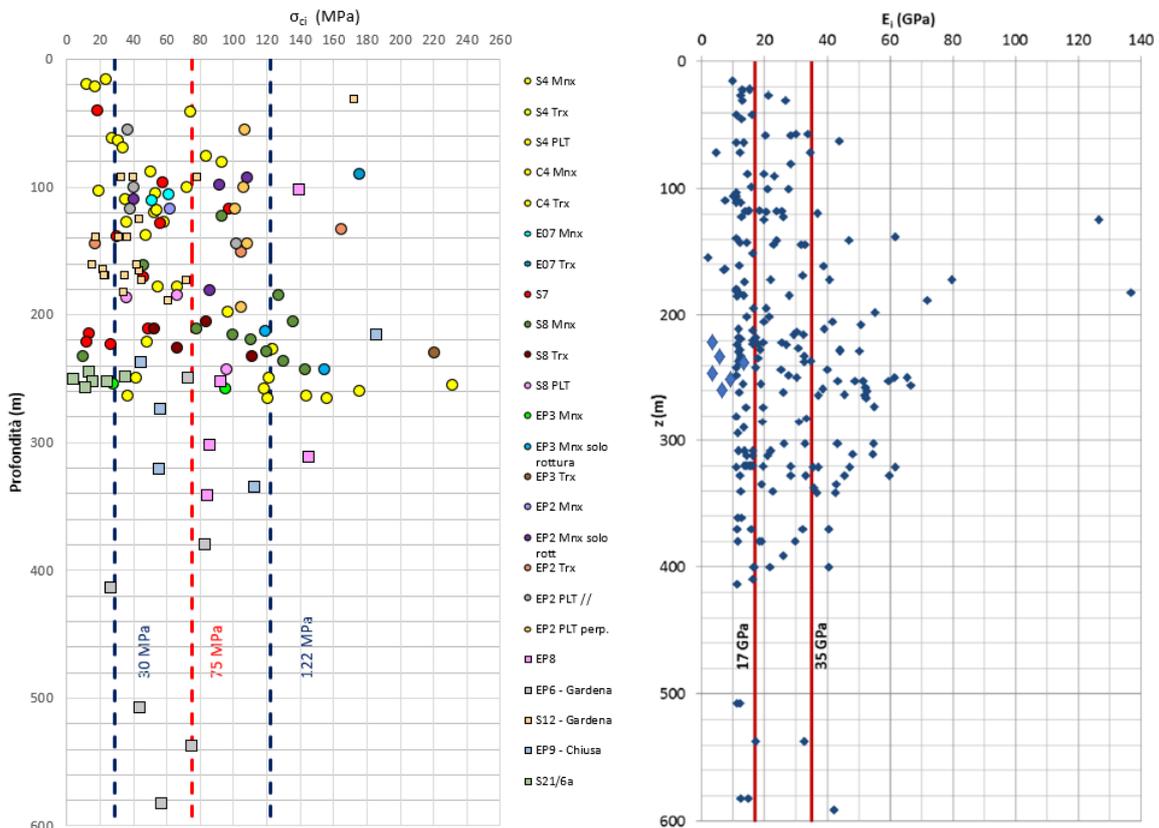


Fig. 47: BSS – resistenza a compressione della matrice litoide (a sinistra) e modulo elastico (a destra)

Il range di variabilità dei parametri geotecnici per l'unità **BSS*** (BSSa, BSS, BSSb) è di seguito riportato:

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 68 di 157

$$30 \text{ MPa} \leq \sigma_{ci} \leq 122 \text{ MPa}$$

$$17 \text{ GPa} \leq E_i \leq 35 \text{ GPa}$$

Dai grafici si nota una forte dispersione dei valori di resistenza a compressione anche per il diverso metodo con il quale sono stati determinati i valori (prova di resistenza monoassiale, triassiale e PLT).

Per tale motivo, nella scelta del valore rappresentativo della resistenza a compressione si è preferito adottare un valore inferiore a quello medio e prossimo al valore intermedio tra quello medio e la deviazione standard inferiore.

Al fine di tenere conto della maggior percentuale di quarzo presente nelle filladi BSSa e in funzione dei range di variabilità sopra riportati, sono stati definiti i seguenti valori caratteristici della matrice litoide da utilizzare nelle analisi:

BSSa	σ_{ci}	55 MPa
	E_i	27 GPa
BSS/BSSb	σ_{ci}	40 MPa
	E_i	22 GPa

Caratterizzazione l'ammasso roccioso

Per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso si è fatto riferimento ai sondaggi relativi alle filladi BSS*, applicando lo stesso metodo prima spiegato.

In assenza di informazioni sufficienti si è considerato un punteggio medio (es. per la persistenza è stato assegnato a tutte le carote un punteggio pari a 3).

Nei grafici seguenti vengono riportati i valori così ricavati del GSI per tratti di un metro in funzione della profondità. Vengono inoltre riportate le linee di tendenza, con valori medi e relative deviazioni calcolate ogni 50 m di profondità.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 69 di 157

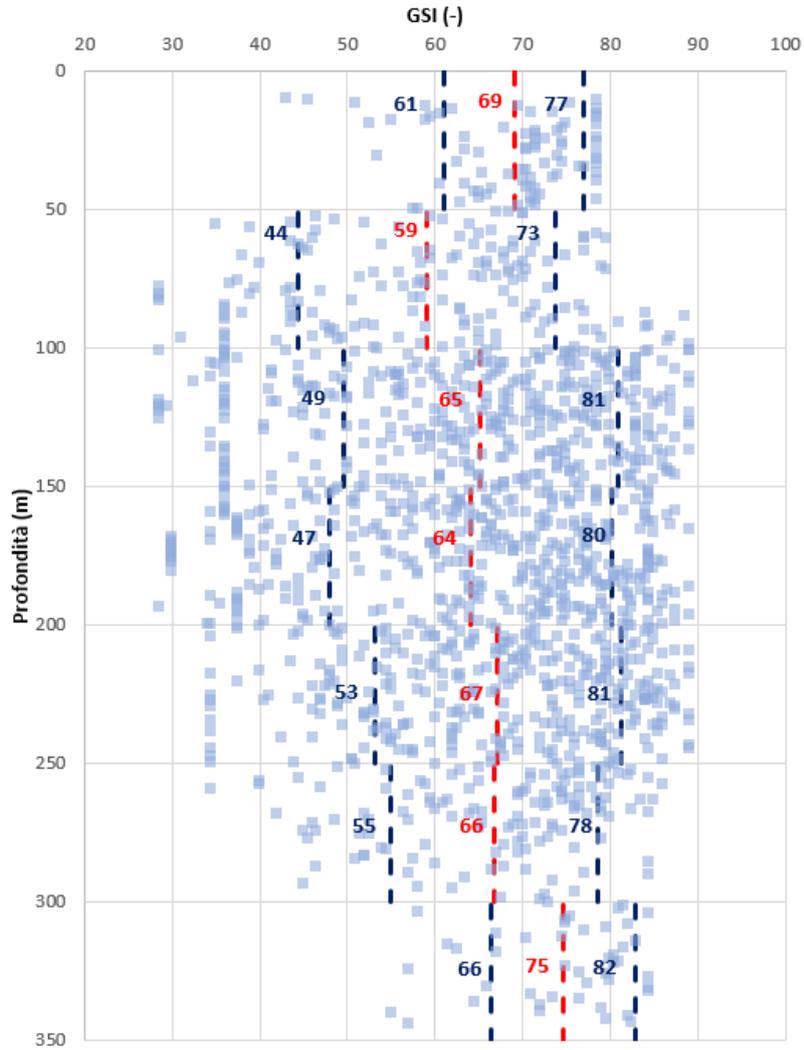


Fig. 48: BSS – Valori di GSI per ogni m di carota per la formazione BSS*

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 70 di 157

Dai dati così elaborati si possono quindi ricavare i seguenti dati rappresentativi dell'ammasso:

- (0-50m) GSI \approx 61÷77
- (50-100m) GSI \approx 44÷73
- (100-150m) GSI \approx 49÷81
- (150-200m) GSI \approx 47÷80
- (200-250m) GSI \approx 53÷81
- (250-300m) GSI \approx 55÷78
- (>300m) GSI \approx 66÷82

I valori di GSI calcolati in questa sede forniscono dei margini di miglioramento rispetto a quanto definito in fase di PD. Tuttavia, sebbene i range identificati permettano un miglioramento anche dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso, si è scelto di confermare i valori indicati in fase di progetto definitivo che sono di seguito riassunti nella tabella.

BSS*	
Classi di copertura (m)	GSI (-)
100-150	40-50
150-300	45-55
300-450	55-60
450-600	60-70
>600	60-70

Tab. 7: Intervalli di GSI – formazione BSS*

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 71 di 157

6.2.2 Formazione delle Filladi Carboniose

Per la caratterizzazione delle filladi carboniose sono state esaminate tutte le prove in foro e di laboratorio eseguite nei due sondaggi che hanno interessato l'unità BSSc della Galleria Gardena, in particolare il sondaggio S13 eseguito in fase di Progetto Definitivo e il sondaggio S21/6b eseguito in fase di Progetto Esecutivo.

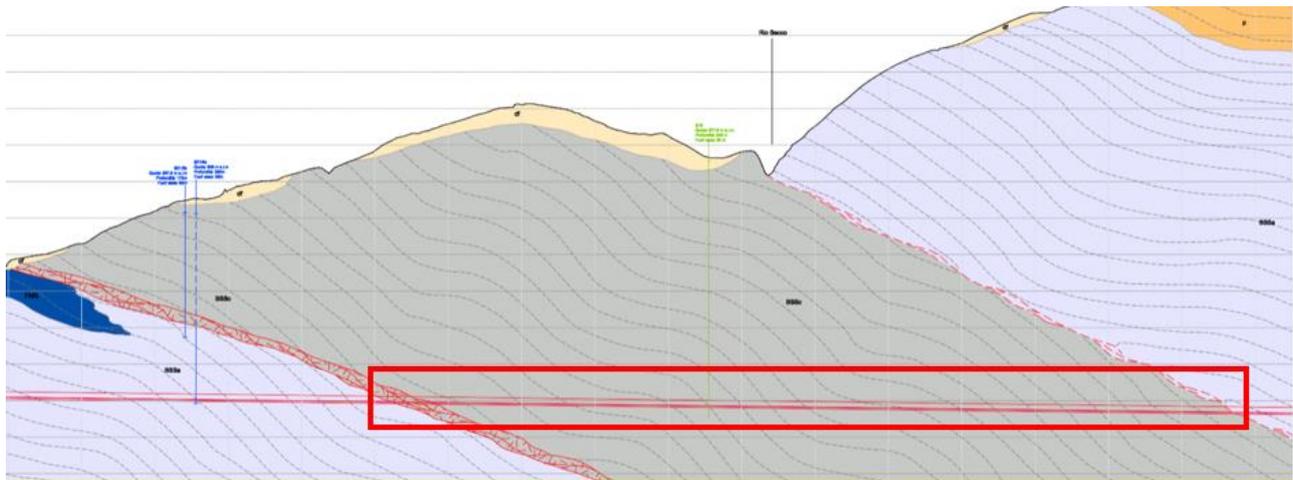


Fig. 49: Stralcio del profilo geologico della Galleria Gardena (formazione BSSc in evidenza)

Una prima considerazione di tipo litologica che si evince da entrambi i sondaggi è la presenza di alternanze di filladi tipicamente carboniose (più o meno strutturate e disturbate anche per motivi tettonici) e di filladi ad elevata componente quarzifica (del tutto analoghe alle filladi dell'unità BSS*). La successione non è quindi formata solo ed esclusivamente da filladi carboniose e questo aspetto può spiegare alcune variabilità dei principali parametri che saranno commentati nel seguito.

Per definire il valore della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta σ_{ci} si hanno a disposizione i risultati di prove di laboratorio, essenzialmente sul sondaggio S13. Tra queste prove si è scelto di non considerare il valore $\sigma_{ci} = 139.3$ MPa ricavato dalla prova triassiale del sondaggio S13, poiché è un valore molto elevato rispetto alla popolazione di dati disponibili. Per cui il range di variabilità dei parametri geotecnici scelti per l'unità BSSc è di seguito riportato:

$$13 \text{ MPa} \leq \sigma_{ci} \leq 34 \text{ MPa}$$

$$19 \text{ GPa} \leq E_i \leq 42 \text{ GPa}$$

In considerazione del numero di prove a disposizione, per la caratterizzazione della matrice litoide delle Filladi carboniose, sono stati assunti i seguenti valori:

$$\sigma_{ci} = 25 \text{ MPa}$$

$$E_i = 19 \text{ GPa}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 72 di 157

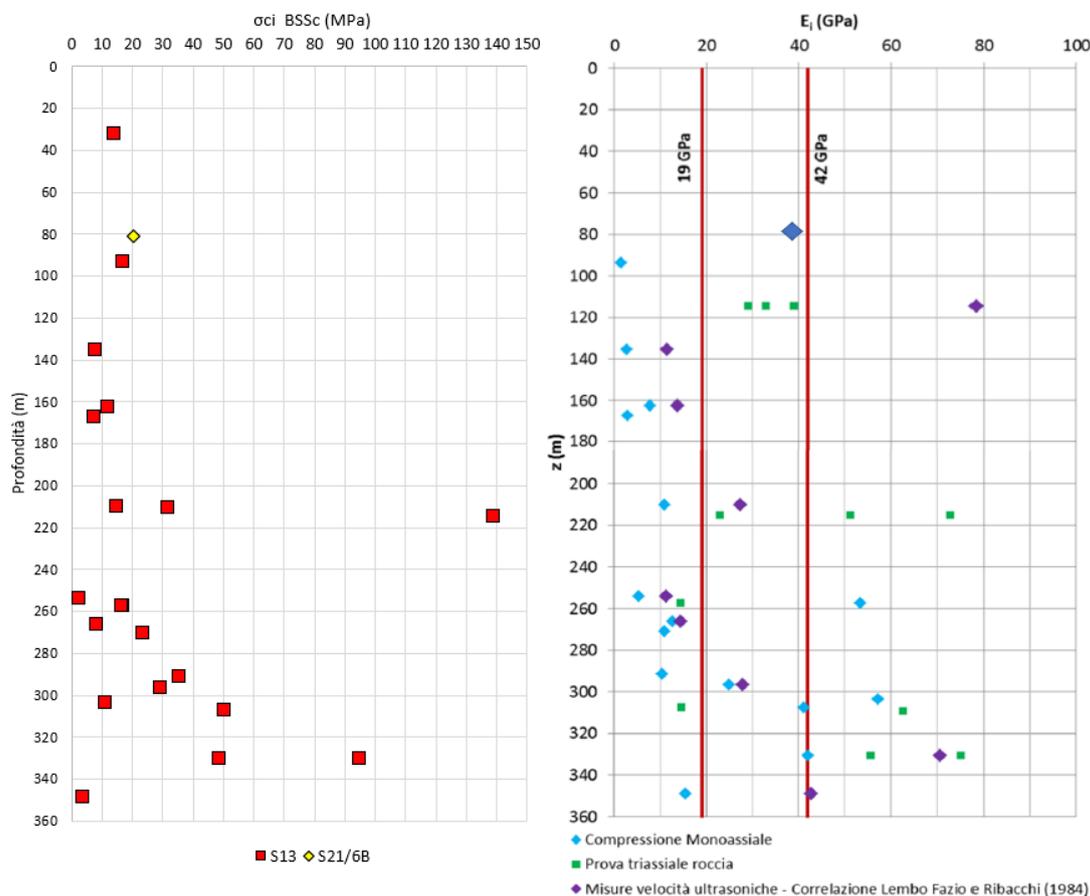


Fig. 50: BSSc – resistenza a compressione della matrice litoide (a sinistra) e modulo elastico (a destra)

Caratterizzazione dell'ammasso roccioso

In fase di Progetto Definitivo era stato assunto uno schema di GSI crescente con la profondità, con gli intervalli riassunti nella tabella seguente.

BSSc	
Classi di copertura (m)	GSI (-)
150-300	40-50
300-450	45-50
450-600	50-60

Tab. 8: Intervalli di GSI assunti nel PD – formazione BSSc

Come per le altre unità, anche per le BSSc si è proceduto ad una valutazione del GSI con metodo alternativo basandosi sui valori di RQD e delle caratteristiche dei giunti. Si è fatto riferimento ai sondaggi S13 e S21/6b applicando il metodo del GSI quantitativo già illustrato in precedenza.

Le informazioni sulle caratteristiche dei giunti sono state ricavate dai rilievi geomeccanici mentre per la persistenza (non rilevabile dal sondaggio) è stato assegnato a tutte le carote un punteggio pari a 3.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 73 di 157

Dalla rielaborazione del GSI a partire dai dati di RQD non si evince una relazione univoca con la profondità e si possono apprezzare alcuni tratti ad elevata profondità con valori relativamente bassi di RQD e GSI, paragonabili a quelli riscontrato a profondità inferiori.

Per entrambi i sondaggi i valori di RQD misurati ogni metro risultano molto dispersi e nel grafico che segue sono presentati, oltre ai valori di GSI puntuali (ogni metro), anche i valori medi di GSI calcolati ogni 50 m con le relative deviazioni.

Fino alla profondità di 120 m circa i valori di GSI variano da 30 a 60, con una generale tendenza alla diminuzione fino alla profondità di 160 m circa per poi riaumentare nel tratto successivo. Dalla profondità di 220 m circa fino a 360 m i valori di GSI medi scendono gradualmente da 40 a 30.

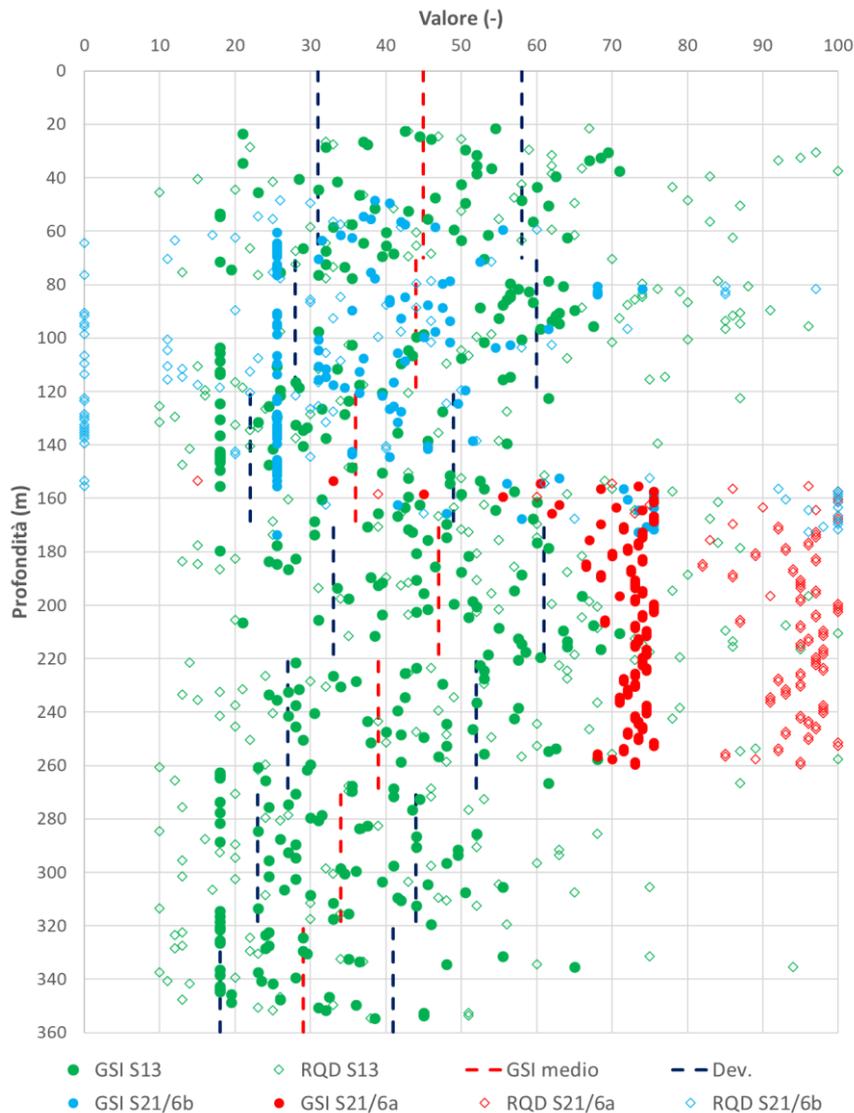


Fig. 51: BSSc – valori di RQD e GSI dai sondaggi S13, S21/6a e S21/6b

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 74 di 157

Quello che si può notare da questo grafico sono valori di GSI molto elevati nelle filladi quarzifere del sondaggio S21/6a, anche molto superiori a quelli delle filladi quarzifere di altre zone, e valori bassi nelle filladi carboniose del sondaggio S21/6b. Trattandosi di un intervallo di profondità inferiore a 150 m i valori bassi potrebbero ancora essere valori compatibili con la tabella precedente ricavata dal PD. Potrebbero però trattarsi di valori affetti dalla fascia tettonizzata individuata nel profilo geologico.

Nel sondaggio S21/6b (che gli scriventi hanno avuto modo di visionare a differenza del S13 di cui si dispone solo di documentazione fotografica peraltro non di qualità) le filladi mostrano una estrema suddivisione in lamine e le carote appena estratte dal sondaggio, apparentemente integre, si sfaldano lungo superfici preesistenti (spesso a giacitura regolare e concorde con quella della tettonica regionale, ma anche con segni di forti distorsioni plastiche) alla sola debole pressione delle dite. Anche per questi motivi il prelievo di campioni da destinare alle prove di laboratorio è risultato molto difficoltoso.

A dimostrazione della "complessità" strutturale di questi materiali che ha reso difficile se non impossibile il prelievo di campioni "sani", si riportano alcune foto dei campioni selezionati per le prove; alcuni di questi in sede di preparazione di laboratorio si sono "sfaldati" e quindi non sono stati utilizzati.



Esempi di "struttura" delle filladi carboniose

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 75 di 157

6.2.2.1. Valutazione del comportamento deformativo

In questo paragrafo sono riportati i risultati delle prove dilatometriche eseguite con percorso di creep nel sondaggio S13 (progetto definitivo) e nel sondaggio S21/6b per le filladi carboniose e, per confronto, nei sondaggi S12 e S21/6a per le filladi quarzose BSS* (Fig. 52).

Le prove di creep analizzate consistono nel mantenere la pressione costante nel tempo e misurare le deformazioni diametrali ad intervalli prefissati.

- Sondaggi Progetto Esecutivo
- Sondaggi Progetto Definitivo

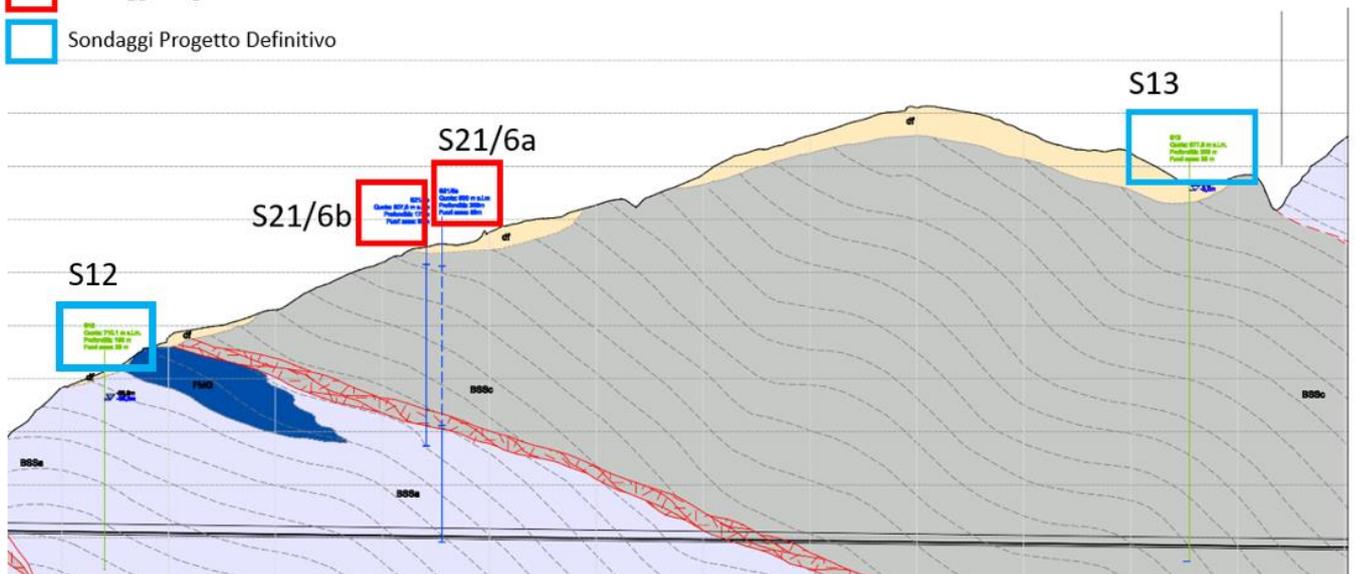


Fig. 52: Stralcio del profilo geologico della Galleria Gardena – sondaggi eseguiti nelle BSSc in evidenza

Per una valutazione del comportamento degli ammassi sottoposti alle prove di creep, sono state calcolate le seguenti grandezze:

$$\Delta\varepsilon(\%) = \frac{u_{t1} - u_{t0}}{u_{t0}} \cdot 100$$

Dove u_{t0} è la variazione diametrica avvenuta nel terzo ciclo di carico (al termine dell'applicazione del carico) e u_{t1} è la variazione diametrica alla fine del ciclo di creep (vedi figura seguente).

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 76 di 157

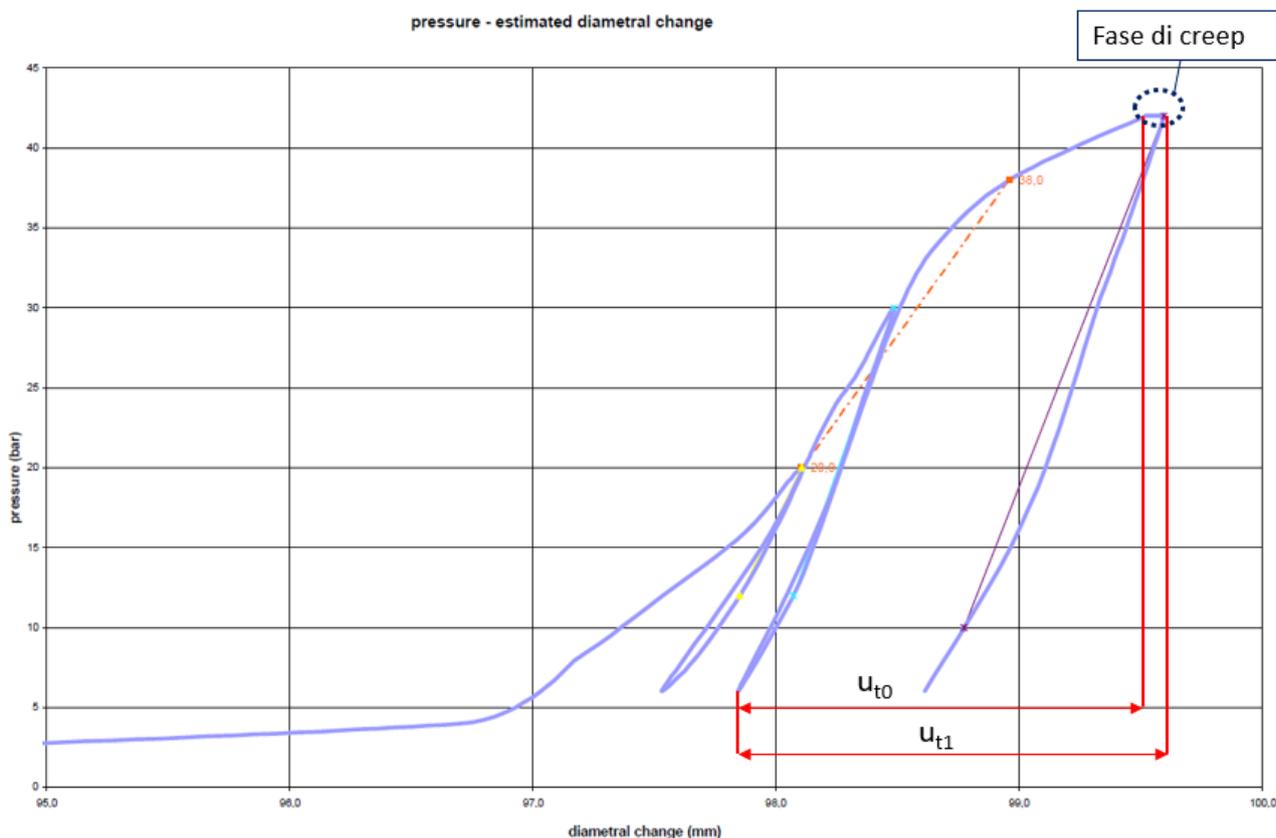


Fig. 53: Esempio di prova dilatometrica – indicazione delle variazioni diametrali considerate

Si specifica che la durata della prova di creep è variabile dai 3 minuti delle prove del PD ai 15 minuti delle prove del PE.

Si calcola inoltre la “velocità” di deformazione (nel periodo in cui il carico è stato mantenuto costante) con la seguente formulazione:

$$V(mm/s) = \frac{u_{t1} - u_{t0}}{t_1 - t_0} = \frac{\Delta u}{\Delta t}$$

Nella tabella viene indicato anche se la prova ha raggiunto una sostanziale stabilizzazione del decorso della deformazione alla fine del periodo di prova.

Il sondaggio S13 ha fornito i risultati esposti nella tabella seguente:

z (m)	P _{max} (bar)	u _{t0} (mm)	u _{t1} (mm)	E _{el} (MPa)	Δε (%)	Tempo prova (s)	Velocità di deformazione (mm/min)	Stabilizzazione deformazione
250	80.4	0.044	0.046	17630	4.55	210	9.5x10 ⁻⁶	si
240	73.3	0.060	0.062	11437	3.33	210		si

Tab. 9: Risultati prova di creep – sondaggio S13

Il sondaggio S21/6b ha fornito i risultati esposti nella tabella seguente:

APPALTAZIONE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 77 di 157

z (m)	P _{max} (bar)	u _{t0} (mm)	u _{t1} (mm)	E _{el} (MPa)	Δε (%)	Tempo prova (s)	Velocità di deformazione (mm/min)	Stabilizzazione deformazione
129.5	42	1.67	1.75	541	4.79	900	8.9x10 ⁻⁵	no
132.5		0.58	0.67	2186	15.50	900		no
135.5		0.51	0.54	1765	5.88	900	3.3x10 ⁻⁵	si
147.5		0.317	0.344	2841	8.51	900	5.6x10 ⁻⁵	no
151.5	38	1.10	1.21	404	10.00	900	1.2x10 ⁻⁴	no
156.5	42	0.60	0.65	1959	8.30	900	4.4x10 ⁻⁵	si

Tab. 10: Risultati prova di creep – sondaggio S21/6b

Allo scopo di confrontare il comportamento delle Filladi BSSc con le Filladi BSSa sono state analizzate anche le prove del sondaggio S21/6a e del sondaggio S12 (eseguito in fase di Progetto Definitivo).

Per quanto riguarda il sondaggio S21/6a i risultati sono riportati nella tabella seguente:

z (m)	P _{max} (bar)	u _{t0} (mm)	u _{t1} (mm)	E _{el} (MPa)	Δε (%)	Tempo prova (s)	Velocità di deformazione (mm/min)	Stabilizzazione deformazione
239.5	42	0.41	0.45	12929	9.76	300	1.3x10 ⁻⁴	no
249.5	42	0.39	0.41	18341	5.13	300	6.7x10 ⁻⁵	no
258.5	42	0.48	0.51	9767	6.25	300	1.0x10 ⁻⁴	si

Tab. 11: Risultati prova di creep – sondaggio S21/6a

Per quanto riguarda il sondaggio S12 i risultati sono riportati nella tabella seguente:

z (m)	P _{max} (bar)	u _{t0} (mm)	u _{t1} (mm)	E _{el} (MPa)	Δε (%)	Tempo prova (s)	Velocità di deformazione (mm/min)	Stabilizzazione deformazione
176	70.2	0.231	0.239	4127	3.46	232	3.4x10 ⁻⁵	Si
150	68.3	0.181	0.188	5171	3.87	232	3.0x10 ⁻⁵	Si
120	54.3	0.096	0.099	7148	3.13	232	1.3x10 ⁻⁵	Si

Tab. 12: Risultati prova di creep – sondaggio S12

Una prima considerazione riguarda i valori del modulo di elasticità calcolati, per tutte le prove, sul ramo discendente del terzo ciclo di scarico.

I valori risultano alquanto variabili nell'ambito di verticali diverse e della stessa verticale.

Nel sondaggio di PD S13 le sole due prove dilatometriche nelle filladi carboniose a profondità di 240 e 250 m indicano valori di E molto elevati (11 e 17 GPa circa) comparabili se non più elevati di quelli misurati per le filladi quarzose BSSa (10, 13 e 18 GPa nel S21/6A; 4, 5 e 7 GPa nel S12).

Valori molto più bassi si misurano nelle filladi carboniose del sondaggio S21/6b con valori di E compresi tra 1.9 e 2.8 GPa in 4 prove su 6, e con due valori molto bassi (E = 0.4 e 0.5 GPa) in tratti di filladi carboniose molto tettonizzate e suddivise, anche con caratteristiche "argillitiche".

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 78 di 157

La differenza dei valori del modulo riscontrata nel sondaggio S21/6b può essere attribuita alla diversa profondità di prova e/o alle diverse caratteristiche geomeccaniche delle filladi carboniose in questo settore, come si evince dalle caratteristiche litologiche e dalla maggiore suddivisione segnalata anche dai valori di RQD nel sondaggio S21/6b.

I valori più bassi di 1 GPa possono ritenersi rappresentativi di fasce di taglio molto accentuate che nel profilo geologico sono state associate alla faglia n. 5 che mette a contatto le filladi BSSa con le filladi carboniose BSSc.

Tale faglia che è stata attraversata con il sondaggio S21/6b alla profondità di circa 150 m dovrebbe essere attraversata dalla galleria a profondità di oltre 250 m.

Non si è a disposizione di dati oggettivi per valutare le caratteristiche di questa faglia e anche delle filladi carboniose attraversate dal sondaggio S21/6b a profondità maggiori di 150 m.

Nei grafici che seguono sono riportati i valori delle variazioni percentuali della deformazione diametrale nel ciclo di creep rispetto alla deformazione istantanea in funzione della profondità e della pressione di prova.

Quello che sembrerebbe ricavarsi da questi grafici è che mentre per le filladi quarzose (S12 e S21/6a) non sono evidenti particolari relazioni con profondità e pressione, per le filladi carboniose (S21/6b e S13) si nota un aumento della percentuale della deformazione di creep con la profondità.

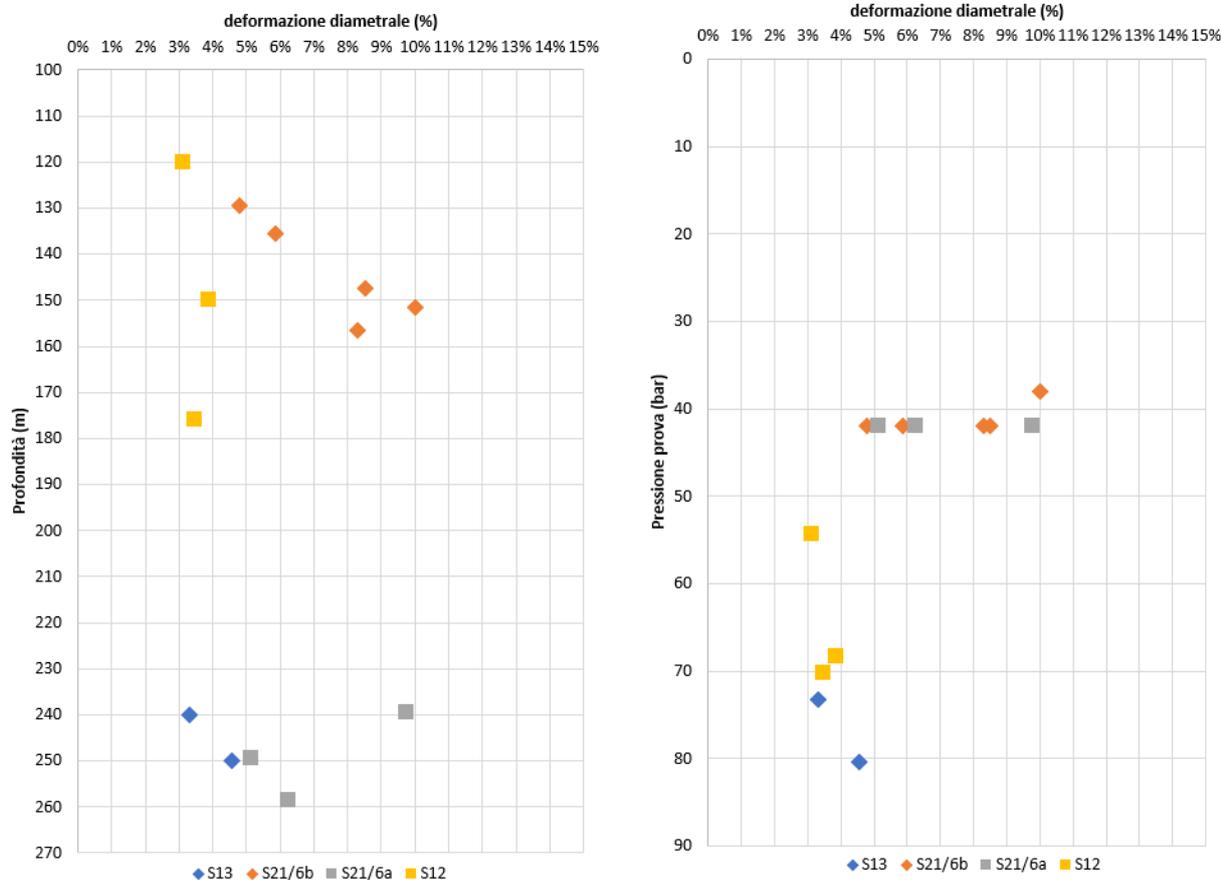


Fig. 54: Rapporto deformazione creep/istantanea in funzione della profondità (a sinistra) e della pressione di prova (a destra)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 79 di 157

Per quanto riguarda il comportamento deformativo nel tempo, nel grafico di Fig. 55 sono riportati i risultati di tutte le prove di creep eseguite sia in fase di Progetto Definitivo, sia in Progetto Esecutivo, per entrambe le formazioni BSSa e BSSc; il confronto è basato sugli incrementi di deformazione registrati durante l'esecuzione delle prove.

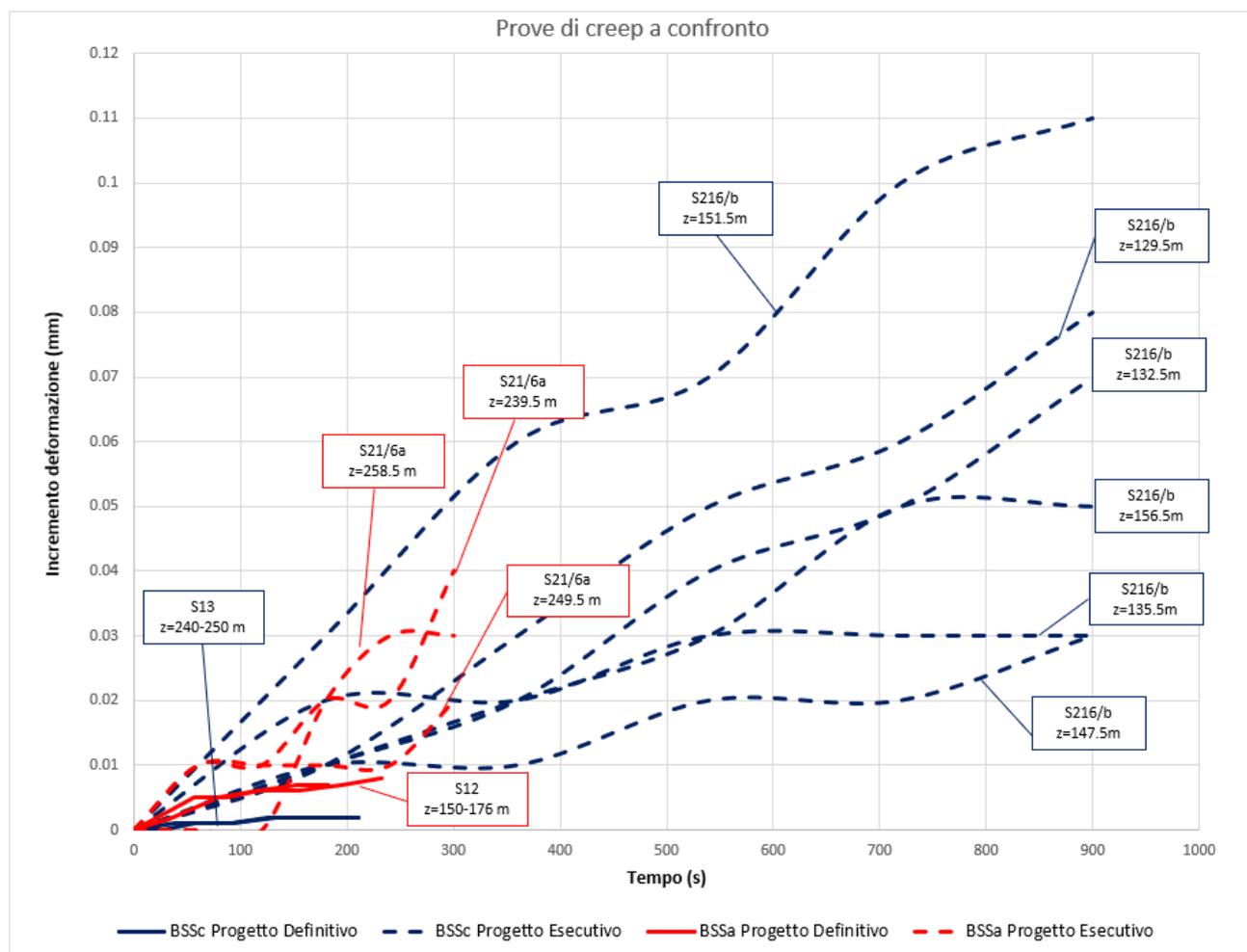


Fig. 55: Risultati prove di creep in sito a confronto

Sebbene i tempi di esecuzione delle prove siano diversi, da tale grafico è possibile notare sia l'andamento nel tempo delle deformazioni e dunque ricavarne la velocità in mm/min, sia l'eventuale stabilizzazione delle deformazioni nell'intervallo di tempo a carico costante.

Come si evince dal grafico, i risultati delle BSSc del sondaggio S13 di Progetto Definitivo indicano una stabilizzazione del livello deformativo solo dopo 3 minuti circa, al contrario della maggior parte delle prove eseguite nelle filladi carboniose del sondaggio S21/6b; queste ultime prove indicano una deformazione radiale crescente nel tempo a carico costante senza individuare un inizio di decremento (ad eccezione delle

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 80 di 157

prove alla profondità di 135.5 e 156.5 m che indicano invece il termine delle deformazioni alla fine della prova di creep).

Tale andamento si ripete anche per le BSSa del sondaggio S21/6a le quali, a eccezione della prova alla profondità di 258.5m, indicano una permanenza del decorso delle deformazioni alla fine del periodo di creep (in questo caso di 5 minuti). Nelle analoghe rocce BSSa del sondaggio S12 del PD la deformazione radiale si ferma alla fine del periodo di prova a carico costante.

Per la valutazione del comportamento "time-dependent" sono stati analizzati anche i risultati delle prove di creep eseguite in laboratorio, riportati in Fig. 59. Le prove fanno riferimento ai campioni del sondaggio S21/6b, di cui si riportano le foto nelle figure da Fig. 56 a Fig. 58.

La prova di creep viene eseguita in cella triassiale confinando il campione di terreno/roccia con una pressione isotropa che viene mantenuta costante durante tutta l'esecuzione della prova fino a rottura del provino. Durante la prova si misurano le deformazioni assiali; nelle prove analizzate in questa sede, la pressione di confinamento varia da 1 MPa a 3 MPa.

Nel grafico di Fig. 59 sono riportati in ascissa il tempo di prova in minuti e in ordinata la deformazione assiale registrata: dalle curve si evince che complessivamente intorno ai 400-600 minuti la deformazione assiale si stabilizza per tutti i campioni, indipendentemente dal livello di confinamento della prova e l'incremento di deformazione che si registra dal tratto elastico in poi è dell'ordine di 0.02%

Pur non potendo estrapolare linearmente il comportamento dei materiali a livelli di confinamento maggiore, sembrerebbe che il decorso delle deformazioni nel tempo sia poco influenzato dal livello di confinamento.



Fig. 56: Provini C2 prove di creep



Fig. 57: Provini C7 prove di creep

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 81 di 157

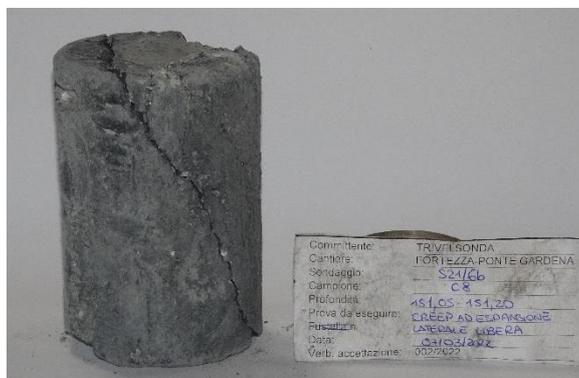


Fig. 58: Provino C8 prove di creep

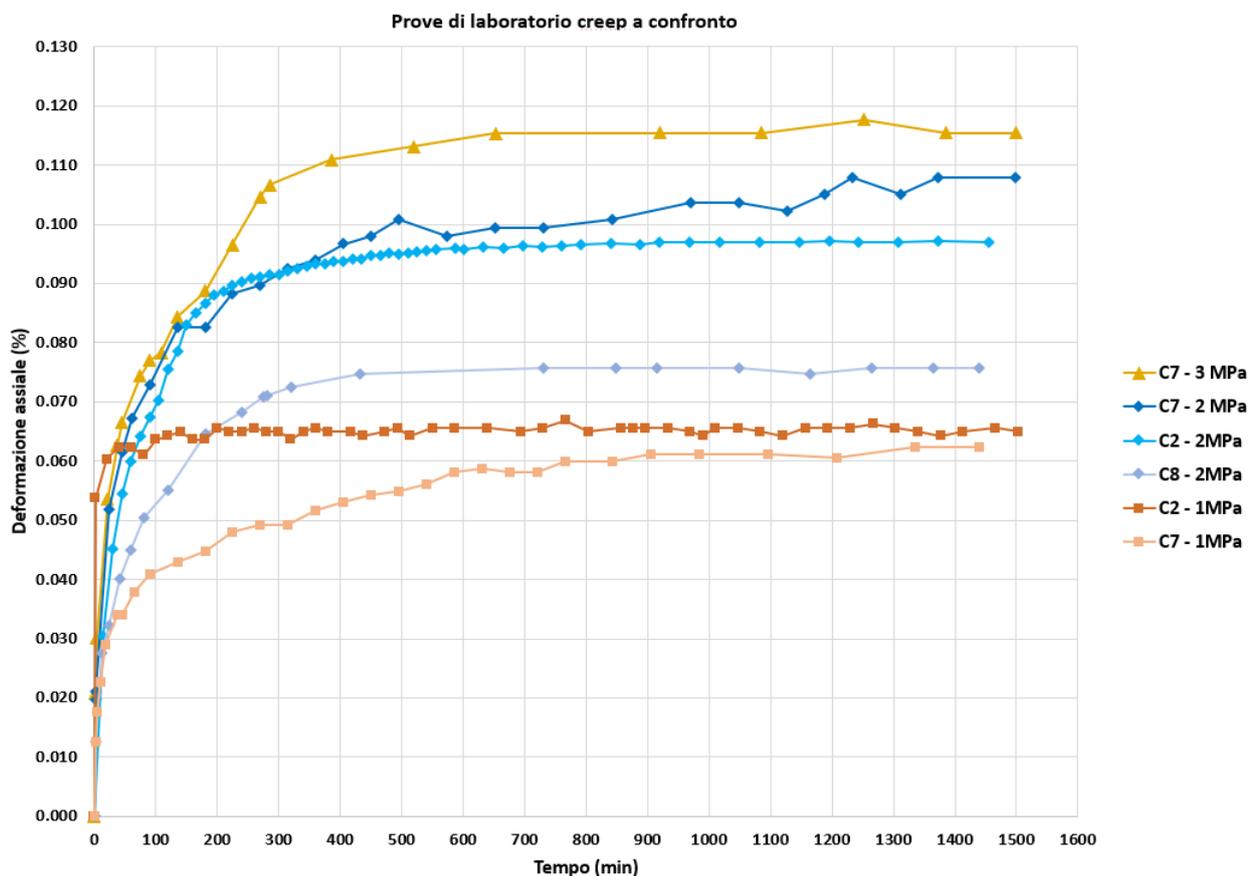


Fig. 59: Risultati prove di creep in laboratorio a confronto

Le prove dilatometriche eseguite in sito a carico costante sono rappresentative dell'intero ammasso, a differenza delle prove di laboratorio che sono rappresentative della roccia intatta.

Le prove in sito durano circa 15 minuti e pertanto un confronto con il comportamento di un campione può essere fatto solamente con analogo periodo di tempo. Come mostra la figura seguente, restringendo il range

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 82 di 157

di durata della prova in laboratorio a 50 minuti si evince che, così come accade in sito, le deformazioni registrate sui provini non sono ancora stabilizzate.

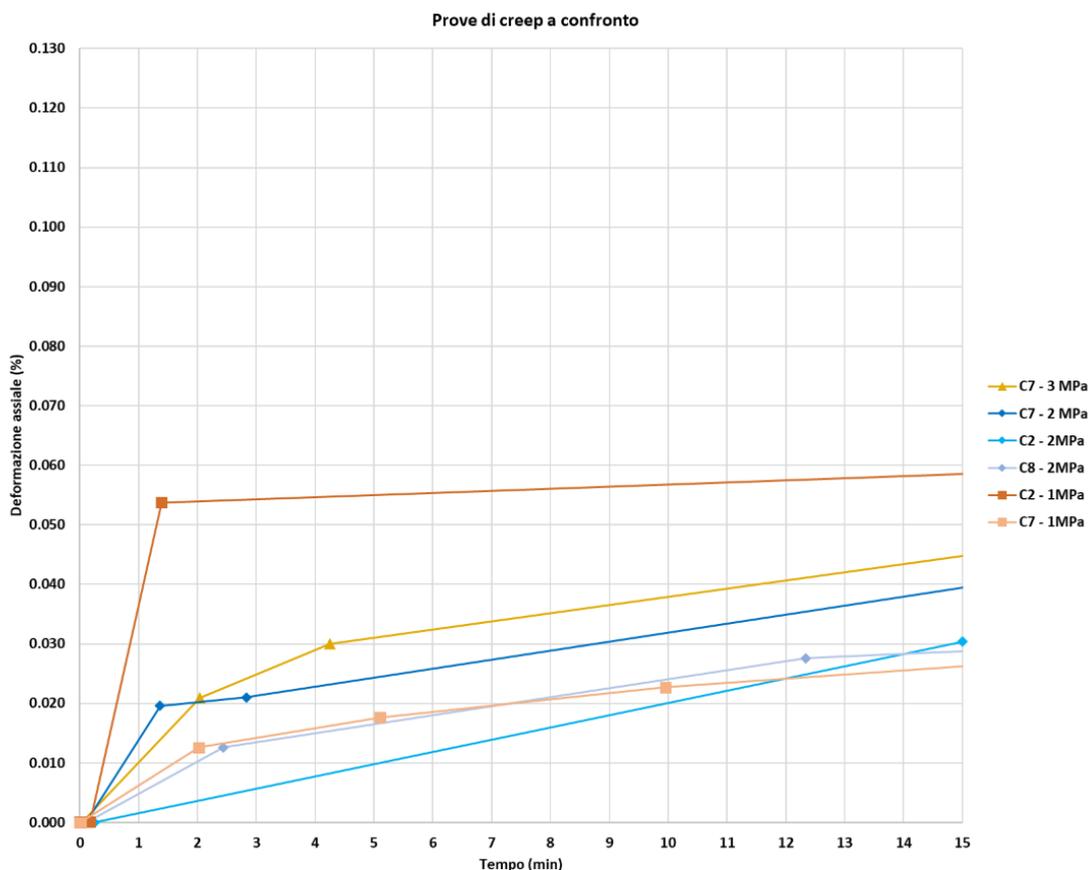


Fig. 60: Risultati prove di creep in laboratorio a confronto – 15 min

Dalla ricerca di dati di letteratura non si è riusciti a trovare esperienze su materiali analoghi a quelli del caso in esame. Il lavoro di letteratura [127] presenta dati sperimentali relativi a materiali che presentano un comportamento di tipo spingente, ma più spostato verso le formazioni argillitiche che a quelle filladiche sia pur molto strutturate solo a tratti argillificate come quelle in esame. In questo lavoro le deformazioni registrate su provini in prove di laboratorio analoghe a quelle svolte in questa sede (TRX con creep) sono comprese tra lo 0.1% e 1.0%.

Dai risultati delle prove del sondaggio S21/6b invece, la deformazione massima registrata è di circa 0.11%-0.12%, quindi simile al valore minimo del range presentato nel lavoro di letteratura.

Non è possibile quindi fare un confronto coerente con le litologie, ma in linea di massima si può affermare che le filladi carboniose sottoposte a prova (in confronto a quanto presente in letteratura) non evidenziano un comportamento classificabile, senza ombra di dubbio, come fortemente dipendente dal tempo.

Dall'insieme di questi dati si è ritenuto di procedere con l'analisi del rischio di squeezing attraverso i metodi classici di letteratura, peraltro, in parte già utilizzati in sede di PD.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 83 di 157

6.2.2.2. Valutazione del rischio squeezing

Il fenomeno di "squeezing", sinonimo di grande convergenza, avviene quando una particolare combinazione di sollecitazioni e di caratteristiche del materiale provoca condizioni di spinta elevata in alcune zone attorno al cavo raggiungendo la soglia di creep dell'ammasso roccioso.

Sia l'entità, sia la velocità con cui queste deformazioni si manifestano, sono funzione delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso, dello stato tensionale, delle caratteristiche strutturali (scistosità, piani di stratificazione) e delle condizioni idrauliche.

I metodi utilizzati per la valutazione del rischio squeezing sono brevemente descritti nel seguito.

- [Singh et al. \(1992\)](#)

Nel modello di Singh et al. il fenomeno di squeezing viene valutato in funzione dell'indice Q e della copertura H, come mostrato nella figura seguente.

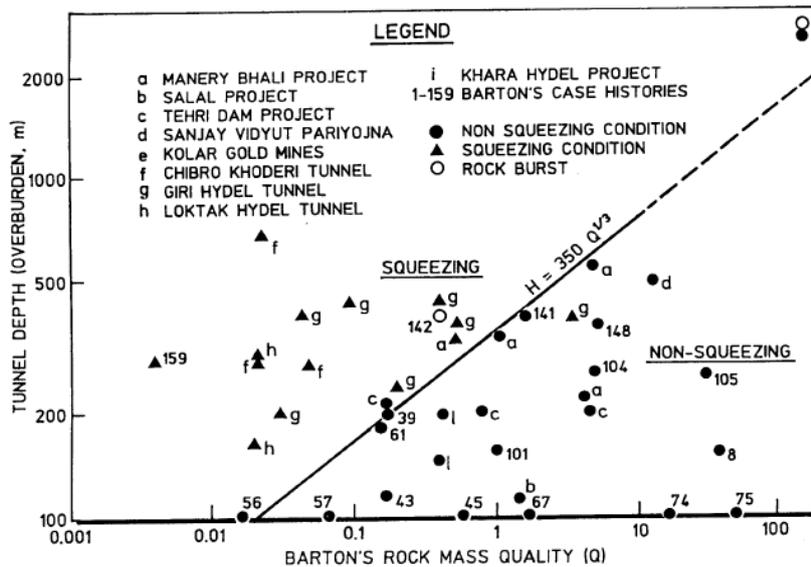


Fig. 61: Valutazione del fenomeno di squeezing Singh et al. (1992)

Le condizioni di squeezing si verificano quando:

$$H \gg 350 \cdot Q^{1/3} \quad (m)$$

Dove Q è la qualità dell'ammasso secondo Barton valutata a partire dai valori di GSI.

- [Goel et al. \(1995\)](#)

Nel modello di Goel et al. il fenomeno di squeezing viene valutato in funzione dell'indice Q, della copertura H e del diametro di scavo B secondo la seguente formulazione:

$$H = (275 \cdot N^{0.33}) \cdot B^{-1} \quad (m)$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 84 di 157

dove

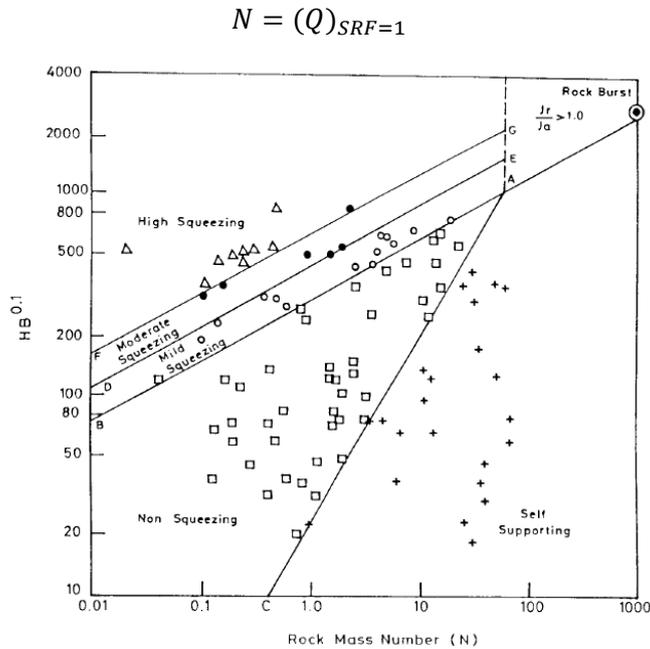


Fig. 62: Valutazione del fenomeno di squeezing Goel et al. (1995)

Le condizioni di squeezing si verificano quando:

$$H \gg (275 \cdot N^{0.33}) \cdot B^{-1} \quad (m)$$

- Barla (1995)

Nel modello di Barla il fenomeno di squeezing viene valutato in funzione della resistenza a compressione monoassiale della roccia, del peso di volume e della copertura H.

Tabella 6-1 Valutazione del fenomeno di squeezing Barla (1995)

Degree of squeezing	$q_{cmass}/(\gamma H)$
No squeezing	>1.0
Mild squeezing	0.4-1.0
Moderate squeezing	0.2-0.4
High squeezing	<0.2

- Hoek e Marinos (2000)

Tale modello si basa sulla relazione tra il rapporto σ_{cm}/p_0 e la deformazione del cavo ϵ_t :

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 85 di 157

$$\varepsilon_t (\%) = 0,15 \left(1 - \frac{p_i}{p_0}\right) \cdot \frac{\sigma_{cm}}{p_0} - \left(\frac{3 \cdot \frac{p_i}{p_0} + 1}{3,8 \cdot \frac{p_i}{p_0} + 0,54}\right)$$

dove

σ_{cm} = resistenza a compressione uniaassiale dell'ammasso roccioso

p_0 = tensione litostatica

p_i = pressione esercitata da un eventuale supporto interno

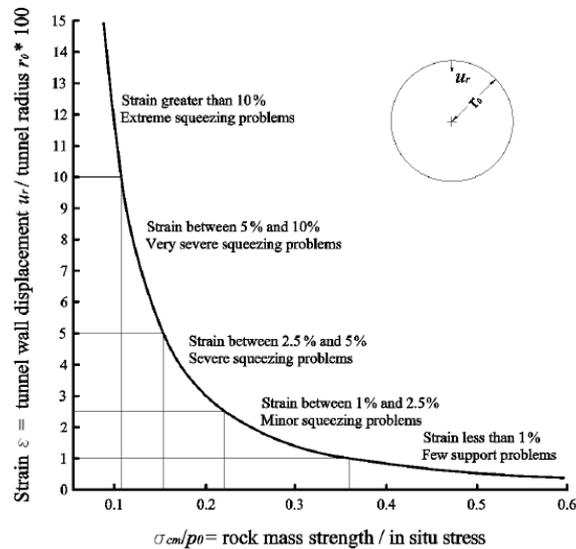


Fig. 63: Valutazione del fenomeno di squeezing Hoek (2000)

La resistenza a compressione dell'ammasso roccioso è definita in funzione del GSI e dei parametri della roccia intatta:

$$\sigma_{cm} = (0,0034m_i^{0,8})\sigma_{ci}\{1,029 + 0,025e^{(-0,1m_i)}\}^{GSI}$$

In funzione della deformazione, il livello di rischio squeezing può essere classificato come segue:

Livello di squeezing	ε_t (%)
Few support problem	<1
Minor squeezing	1-2.5
Severe squeezing	2.5-5
Very severe squeezing	5 -10
Extreme squeezing	>10

Tab. 13: Livello di squeezing Hoek&Marinos (2000)

Tutte le analisi sono state condotte per diverse coperture e per diversi valori di GSI e dei parametri di resistenza rappresentativi delle diverse condizioni geotecniche.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 86 di 157

Sono riportati di seguito i risultati ottenuti dai diversi metodi di valutazione sopra esposti.

I valori di Q sono stati calcolati a partire dai valori di GSI con la seguente formulazione:

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

- Singh et al. (1992)

Copertura (m)	Q (-)	GSI (-)	σ_m (MPa)	Singh (1992)
150	0.641	40	2.044	302
160	0.641	40	2.044	302
170	0.641	40	2.044	302
180	0.641	40	2.044	302
190	0.641	40	2.044	302
200	0.641	40	2.044	302
210	0.641	40	2.044	302
220	0.641	40	2.044	302
230	0.641	40	2.044	302
240	0.641	40	2.044	302
250	0.641	40	2.044	302
260	0.641	40	2.044	302
270	0.641	40	2.044	302
280	0.641	40	2.044	302
290	0.641	40	2.044	302
300	0.641	40	2.044	302
310	1.118	45	2.504	363
320	1.118	45	2.504	363
330	1.118	45	2.504	363
340	1.118	45	2.504	363
350	1.118	45	2.504	363

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 87 di 157

360	1.118	45	2.504	363
370	1.118	45	2.504	363
380	1.118	45	2.504	363
390	1.118	45	2.504	363
400	1.118	45	2.504	363
410	1.118	45	2.504	363
420	1.118	45	2.504	363
430	1.118	45	2.504	363
440	1.118	45	2.504	363
450	1.948	50	3.067	436
460	1.948	50	3.067	436
470	1.948	50	3.067	436
480	1.948	50	3.067	436
490	1.948	50	3.067	436
500	1.948	50	3.067	436
510	1.948	50	3.067	436
520	1.948	50	3.067	436
530	1.948	50	3.067	436
540	1.948	50	3.067	436
550	1.948	50	3.067	436
560	1.948	50	3.067	436
570	1.948	50	3.067	436
580	1.948	50	3.067	436

Tab. 14: Risultati analisi rischio squeezing – Singh et al. (1992)

Dai risultati ottenuti applicando il metodo di valutazione proposto da Singh risulterebbe un rischio di squeezing per coperture a partire da 450 m.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 88 di 157

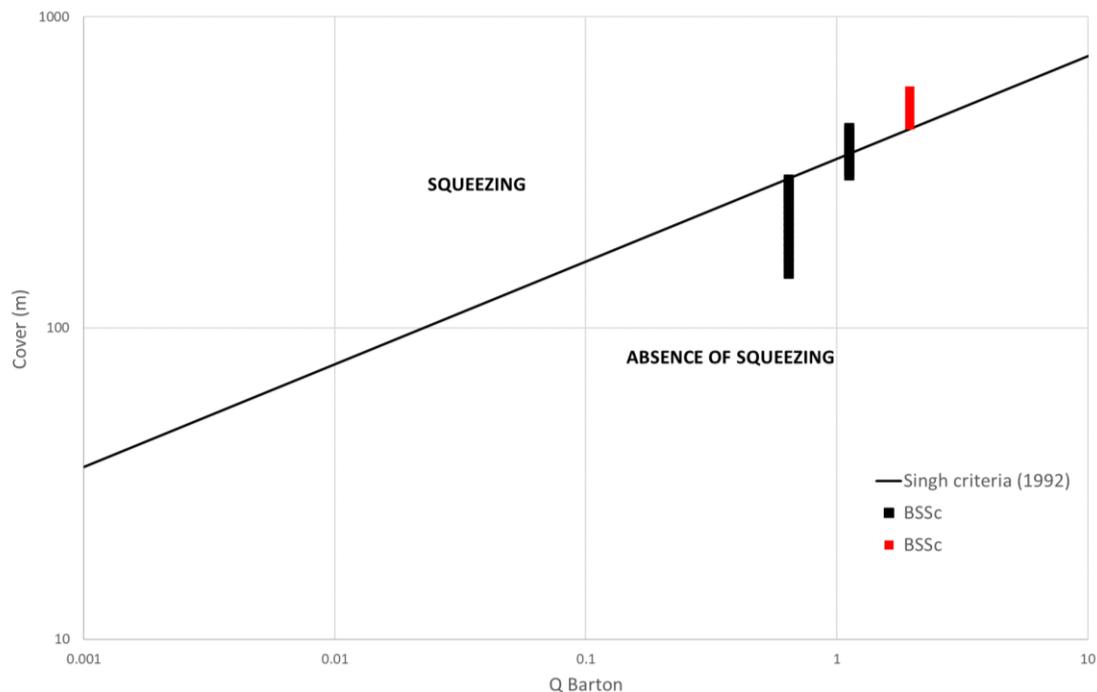


Fig. 64: Risultati analisi rischio squeezing – Singh et al. (1992)

- Goel et al. (1995)

Copertura (m)	GSI (-)	Q (-)	Goel (1995)
150	40	0.64	188.46
160	40	0.64	201.02
170	40	0.64	213.59
180	40	0.64	226.15
190	40	0.64	238.71
200	40	0.64	251.28
210	40	0.64	263.84
220	40	0.64	276.40
230	40	0.64	288.97
240	40	0.64	301.53
250	40	0.64	314.10

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	IBOU	1AEZZ	GE	GN0000002	C	89 di 157

260	40	0.64	326.66
270	40	0.64	339.22
280	40	0.64	351.79
290	40	0.64	364.35
300	40	0.64	376.92
310	45	1.12	389.48
320	45	1.12	402.04
330	45	1.12	414.61
340	45	1.12	427.17
350	45	1.12	439.73
360	45	1.12	452.30
370	45	1.12	464.86
380	45	1.12	477.43
390	45	1.12	489.99
400	45	1.12	502.55
410	45	1.12	515.12
420	45	1.12	527.68
430	45	1.12	540.25
440	45	1.12	552.81
450	50	1.95	565.37
460	50	1.95	577.94
470	50	1.95	590.50
480	50	1.95	603.06
490	50	1.95	615.63
500	50	1.95	628.19
510	50	1.95	640.76
520	50	1.95	653.32
530	50	1.95	665.88
540	50	1.95	678.45

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 90 di 157

550	50	1.95	691.01
560	50	1.95	703.58
570	50	1.95	716.14
580	50	1.95	728.70

Tab. 15: Risultati analisi rischio squeezing – Goel (1995)

Dai risultati ottenuti applicando il metodo di valutazione proposto da Goel risulterebbe un rischio di squeezing elevato per coperture a partire da 450 m.

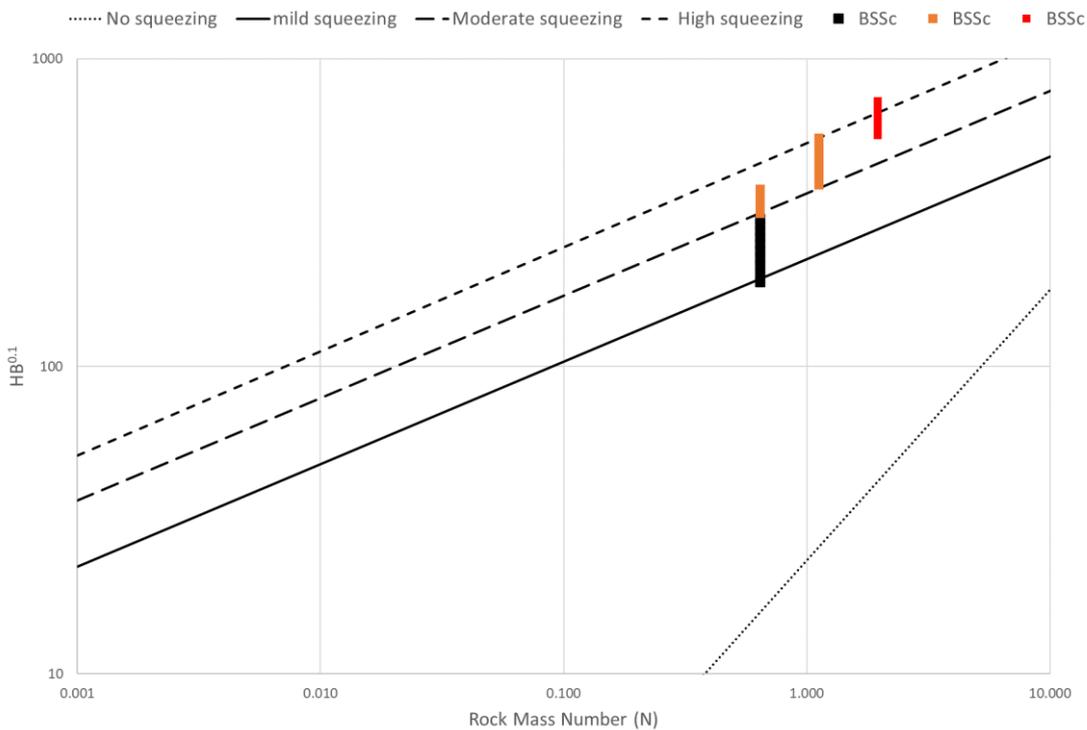


Fig. 65: Risultati analisi rischio squeezing – Goel (1995)

- Barla (1995)

Copertura (m)	Y (kN/m ³)	σ _m (MPa)	Barla (1995)
150	27	2.044	0.505
160	27	2.044	0.473
170	27	2.044	0.445
180	27	2.044	0.421
190	27	2.044	0.398

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	IBOU	1AEZZ	GE	GN0000002	C	91 di 157

200	27	2.044	0.379
210	27	2.044	0.360
220	27	2.044	0.344
230	27	2.044	0.329
240	27	2.044	0.315
250	27	2.044	0.303
260	27	2.044	0.291
270	27	2.044	0.280
280	27	2.044	0.270
290	27	2.044	0.261
300	27	2.044	0.252
310	27	2.504	0.299
320	27	2.504	0.290
330	27	2.504	0.281
340	27	2.504	0.273
350	27	2.504	0.265
360	27	2.504	0.258
370	27	2.504	0.251
380	27	2.504	0.244
390	27	2.504	0.238
400	27	2.504	0.232
410	27	2.504	0.226
420	27	2.504	0.221
430	27	2.504	0.216
440	27	2.504	0.211
450	27	3.067	0.252
460	27	3.067	0.247
470	27	3.067	0.242
480	27	3.067	0.237

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 92 di 157

490	27	3.067	0.232
500	27	3.067	0.227
510	27	3.067	0.223
520	27	3.067	0.218
530	27	3.067	0.214
540	27	3.067	0.210
550	27	3.067	0.207
560	27	3.067	0.203
570	27	3.067	0.199
580	27	3.067	0.196

Tab. 16: Risultati analisi rischio squeezing – Barla (1995)

Dai risultati ottenuti applicando il metodo di valutazione proposto da Barla risulterebbe un rischio di squeezing elevato per coperture a partire da 550 m.

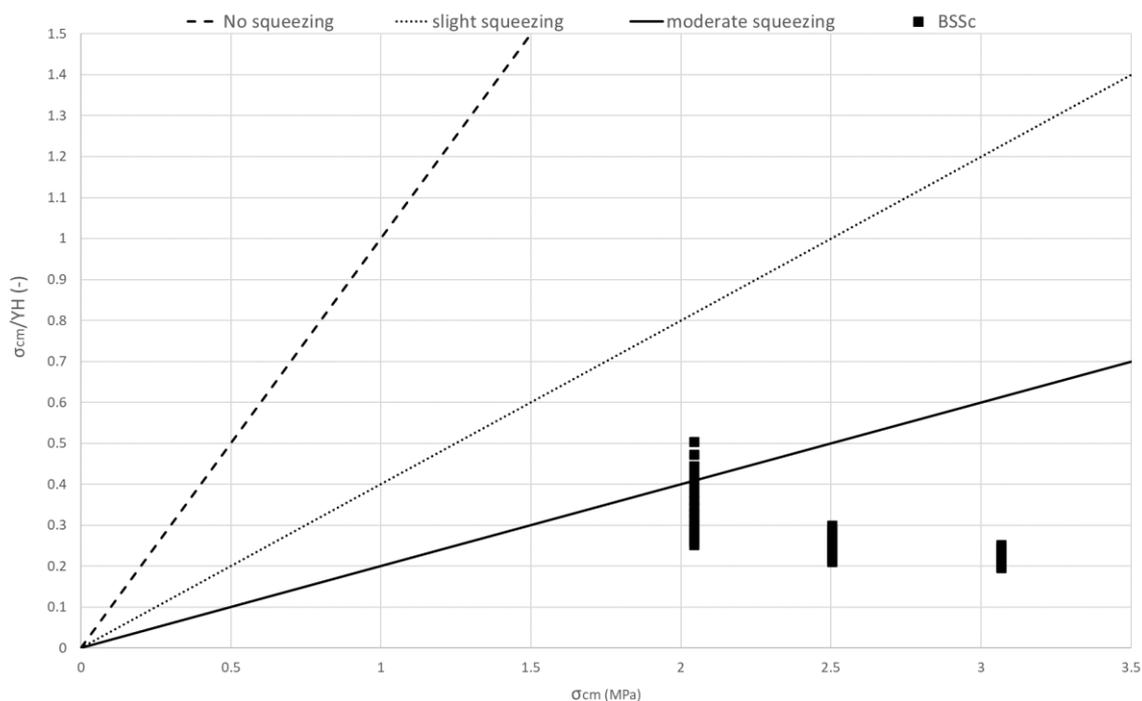


Fig. 66: Risultati analisi rischio squeezing – Barla (1995)

APPALTAZIONE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 93 di 157

- Hoek & Marinos (2000)

Copertura (m)	γ (kN/m ³)	GSI (-)	σ_{cm} (MPa)	σ_{cm}/p_0	ϵ_t (%)
150	27	40	2.044	0.51	0.52
160	27	40	2.044	0.48	0.59
170	27	40	2.044	0.45	0.66
180	26	40	2.044	0.43	0.71
190	27	40	2.044	0.40	0.81
200	27	40	2.044	0.38	0.89
210	26	40	2.044	0.37	0.95
220	26	40	2.044	0.35	1.04
230	27	40	2.044	0.33	1.15
240	27	40	2.044	0.32	1.23
250	26	40	2.044	0.31	1.31
260	27	40	2.044	0.29	1.47
270	26	40	2.044	0.29	1.50
280	27	40	2.044	0.27	1.65
290	27	40	2.044	0.26	1.77
300	27	40	2.044	0.25	1.88
310	27	45	2.504	0.30	1.38
320	27	45	2.504	0.29	1.46
330	27	45	2.504	0.28	1.54
340	27	45	2.504	0.28	1.63
350	27	45	2.504	0.27	1.72
360	27	45	2.504	0.26	1.81
370	27	45	2.504	0.25	1.91
380	27	45	2.504	0.25	2.00
390	27	45	2.504	0.24	2.10
400	27	45	2.504	0.23	2.20
410	27	45	2.504	0.23	2.31
420	27	45	2.504	0.22	2.41
430	27	45	2.504	0.22	2.52
440	27	45	2.504	0.21	2.63
450	27	50	3.067	0.25	1.88
460	27	50	3.067	0.25	1.96
470	27	50	3.067	0.24	2.04
480	27	50	3.067	0.24	2.12
490	27	50	3.067	0.23	2.20
500	27	50	3.067	0.23	2.29

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 94 di 157

510	27	50	3.067	0.22	2.37
520	27	50	3.067	0.22	2.46
530	27	50	3.067	0.22	2.55
540	27	50	3.067	0.21	2.64
550	27	50	3.067	0.21	2.73
560	27	50	3.067	0.20	2.82
570	27	50	3.067	0.20	2.92
580	27	50	3.067	0.20	3.01

Tab. 17: Risultati analisi rischio squeezing – Hoek&Marinos (2000)

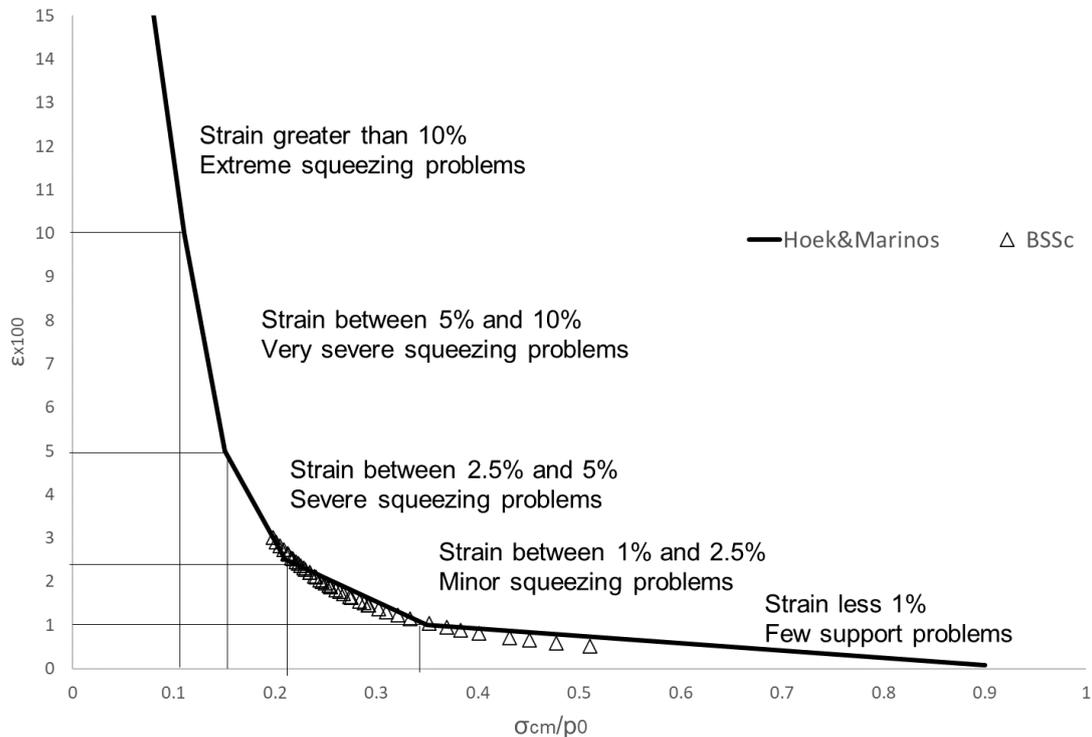


Fig. 67: Risultati analisi rischio squeezing – Hoek&Marinos (2000)

Le analisi eseguite col metodo di Hoek&Marinos evidenziano che esiste un potenziale di squeezing nelle tratte in sotterraneo che attraversano zone con coperture superiori ai 350 m dove si possono sviluppare deformazioni comprese tra 1% e 2% (minor squeezing problems); per le massime coperture del tracciato (580 m) le deformazioni del cavo sono intorno al 3% (severe squeezing problems).

In generale, tutte le analisi condotte attraverso diversi metodi di valutazione di rischio squeezing indicano che esiste un potenziale di squeezing per coperture superiori ai 450-500 m.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 95 di 157

6.2.3 Lave andesitiche (α)

Le lave andesitiche sono intercettate dal sondaggio EO31 e dal rilievo geostrutturale 1152 della Galleria Gardena.

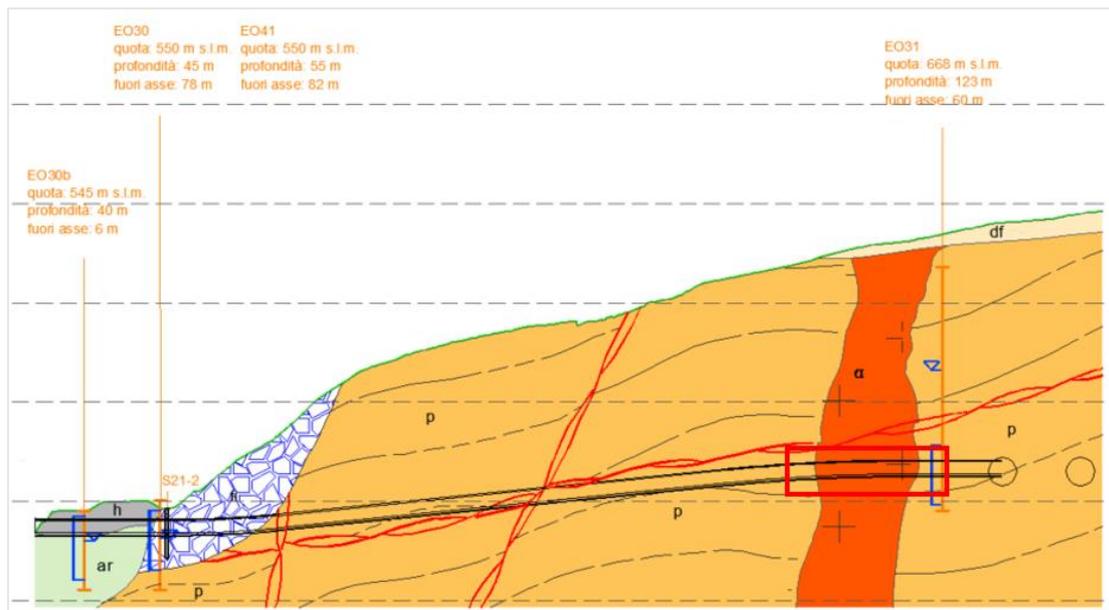


Fig. 68: Stralcio del profilo geologico della Finestra di Funes (formazione α in evidenza)

Caratterizzazione matrice litoide

In assenza di prove di laboratorio, per la definizione della resistenza a compressione della roccia intatta, si è fatto riferimento a valori di letteratura definendo il seguente intervallo di valori:

$$100 \text{ MPa} \leq \sigma_{ci} \leq 150 \text{ MPa}$$

Per il modulo di Young della roccia intatta si è considerato il Modulus Ratio MR che lega il valore di E_i con la resistenza a compressione σ_{ci}

$$E_i = \text{MR} \cdot \sigma_{ci}$$

Da letteratura tecnico-scientifica il valore di MR per le formazioni andesitiche è pari a 400 ± 100 , per cui, assumendo il valore minimo di resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta $\sigma_{ci} = 100 \text{ MPa}$, si ottiene il seguente range di variabilità del modulo:

$$30 \text{ GPa} \leq E_i \leq 50 \text{ GPa}$$

I valori caratteristici sono:

$$\sigma_{ci} = 100 \text{ MPa}$$

$$E_i = 30 \text{ GPa}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 96 di 157

Caratterizzazione ammasso roccioso

I valori di GSI per la formazione in esame sono riportati nella tabella seguente.

α	
Classi di copertura (m)	GSI (-)
30-50	50-55
50-100	50-55
450-600	60-70

Tab. 18: Intervalli di GSI – formazione α

6.2.4 Porfiroidi (p)

La formazione dei porfiroidi interessa la Galleria Gardena e la Finestra di Funes; tale formazione è stata intercettata dal sondaggio C9 e dai sondaggi EO30 ed EO41.



Fig. 69: Stralcio del profilo geologico della Galleria Gardena (formazione p in evidenza)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 97 di 157

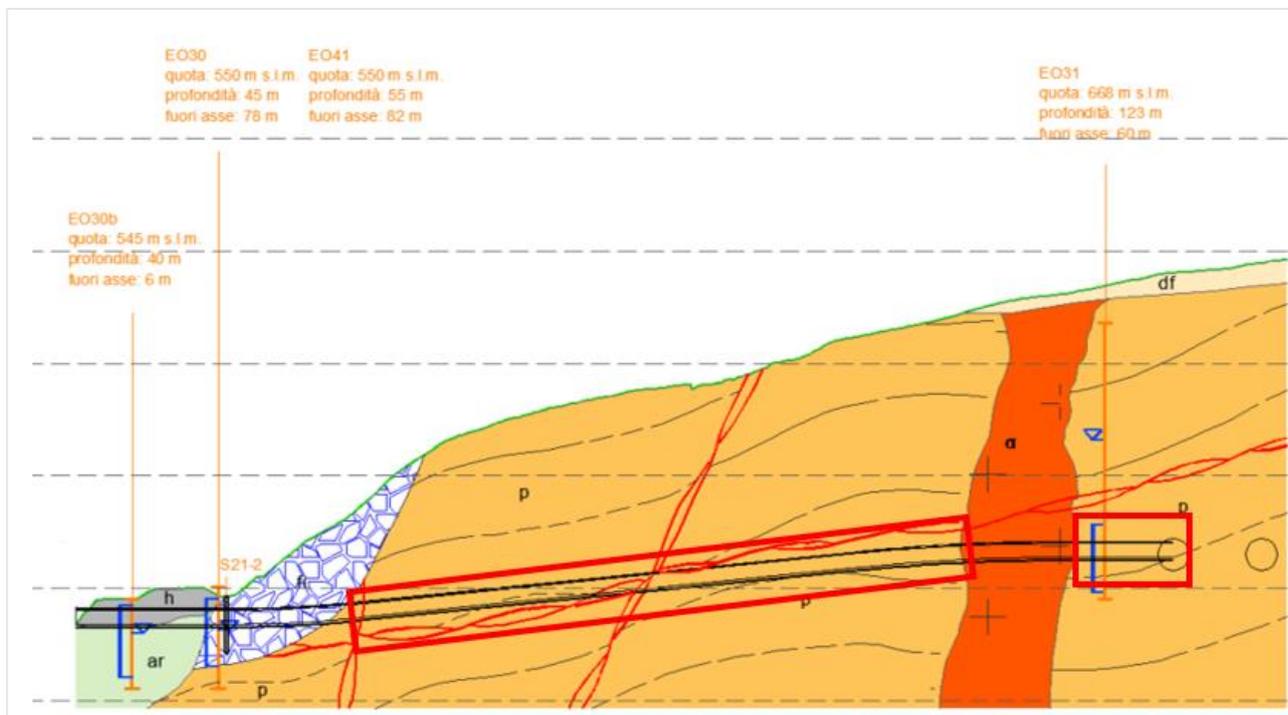


Fig. 70: Stralcio del profilo geologico della Finestra di Funes (formazione p in evidenza)

Caratterizzazione matrice litoide

Dai risultati delle prove di laboratorio si osservano valori di resistenza alla compressione monoassiale della roccia intatta σ_{ci} compresi tra 6 MPa e 181 MPa. Data la dispersione dei risultati, per la definizione dell'intervallo rappresentativo sono stati esclusi i valori minimi e massimo, per cui si definisce rappresentativo il seguente intervallo:

$$26 \text{ MPa} \leq \sigma_{ci} \leq 71 \text{ MPa}$$

Per il modulo di Young della roccia intatta E_i i valori sono compresi tra 8 GPa e 103 GPa, per cui si ritiene rappresentativo il seguente intervallo:

$$12 \text{ GPa} \leq E_i \leq 33 \text{ GPa}$$

I valori caratteristici sono:

$$\sigma_{ci} = 50 \text{ MPa}$$

$$E_i = 22.5 \text{ GPa}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 98 di 157

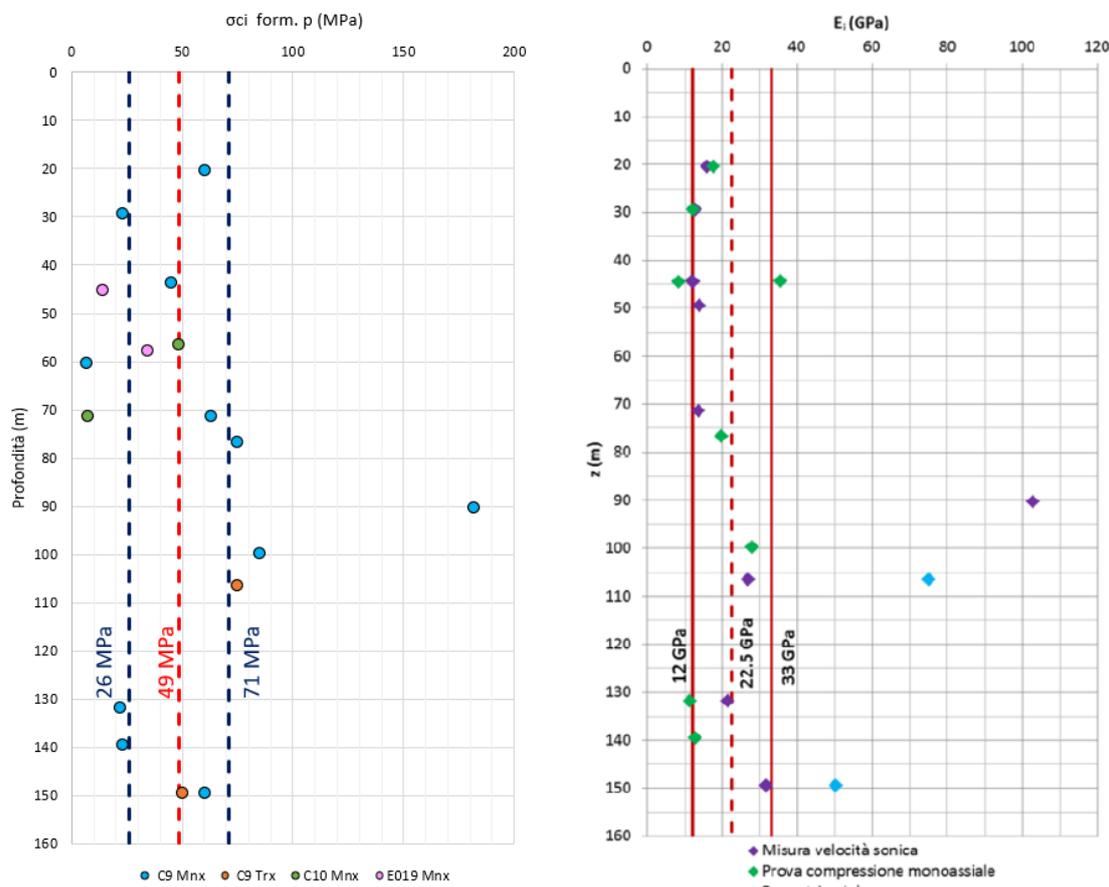


Fig. 71: p – resistenza a compressione della matrice litoide (a sinistra) e modulo elastico (a destra)

Caratterizzazione ammasso roccioso

In questa sede si è proceduto ad un riesame critico dei dati disponibili cercando di definire in maniera, per quanto possibile obiettiva, il valore di GSI con il metodo quantitativo descritto in precedenza, considerando che gli ammassi di diretto interesse per gli obiettivi progettuali sono quelli nel sottosuolo al di sotto delle coperture e a intervalli di profondità notevoli.

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

Per l'adozione dei singoli parametri del Jcond si è fatto riferimento alla Tabella presentata nel paragrafo 5.3.3 di Bieniawski assegnando, per ogni metro di carota estratta, un punteggio che tiene conto delle condizioni del materiale coerentemente con la descrizione dello stesso fornita dagli operatori.

In assenza di informazioni sufficienti si è considerato un punteggio medio (es. per la persistenza e per il riempimento è stato assegnato a tutte le carote un punteggio pari a 3).

Nei grafici seguenti vengono riportati i valori così ricavati del GSI partendo dai valori di RQD per tratti di un metro in funzione della profondità.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 99 di 157

Per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso si è fatto riferimento ai sondaggi EO31 e C9.

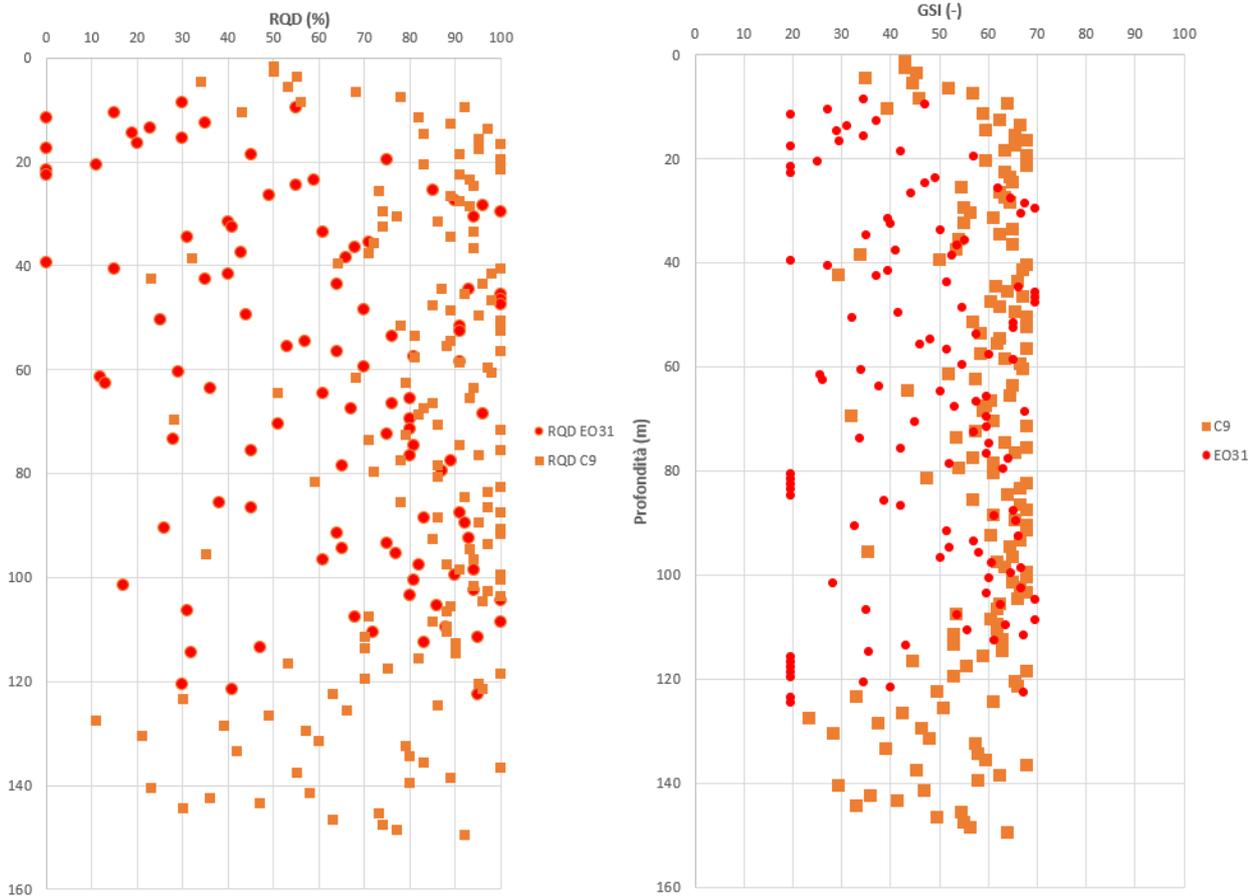


Fig. 72: p – Valori di RQD e GSI per ogni m di carota

Dal riesame delle carote dei sondaggi si evince un range di GSI che varia tra 20 e 70; considerando il poco numero di sondaggi a disposizione, si ritiene idonea la scelta cautelativa eseguita in fase di progetto definitivo, considerando quindi l'intervallo riportato nella tabella seguente.

<i>p</i>	
Classi di copertura (m)	GSI (-)
<30	30-40
30-50	40-45
50-100	45-50
100-150	45-50
>150	50-60

Tab. 19: Intervalli di GSI – formazione *p*

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni	Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1AEZZ	GE	GN0000002	C	100 di 157

6.2.5 Paragneiss di Laion (PRL)

La formazione dei Paragneiss di Laion appartenenti al Basamento Metamorfico Ercinico interessano le Gallerie di Interconnessione di Ponte Gardena Binario Pari e Binario Dispari.

Per la caratterizzazione di questa formazione si è fatto riferimento ai sondaggi SPG1, CBV13, C25, C27 e EP7.

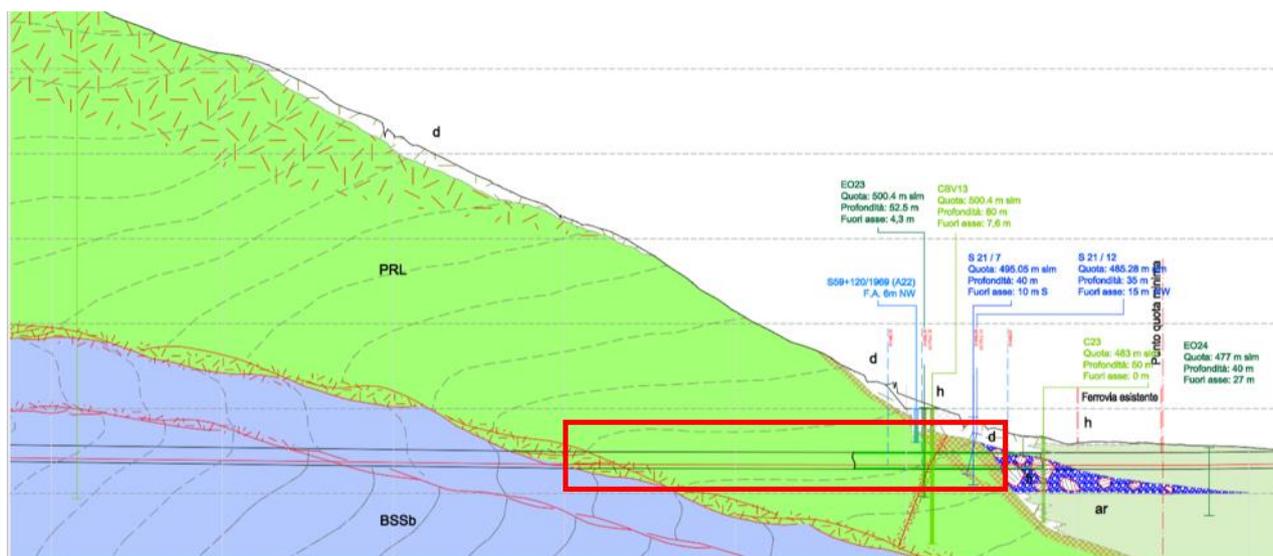


Fig. 73: Stralcio del profilo geologico dell'Interconnessione di Ponte Gardena B.P. (formazione PRL in evidenza)



Fig. 74: Stralcio del profilo geologico dell'Interconnessione di Ponte Gardena B.D. (formazione PRL in evidenza)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 101 di 157

Caratterizzazione matrice litoide

Dai risultati delle prove di laboratorio di compressione monoassiale e triassiale si evince che la resistenza a compressione della roccia intatta σ_{ci} è compresa tra 10 MPa e 105 MPa; data la variabilità dei valori si ritiene rappresentativo il seguente intervallo:

$$23 \text{ MPa} \leq \sigma_{ci} \leq 65 \text{ MPa}$$

Per il modulo elastico E_i si è fatto riferimento alle prove di laboratorio per cui si ritiene rappresentativo il seguente intervallo di valori:

$$18 \text{ GPa} \leq E_i \leq 29 \text{ GPa}$$

I valori caratteristici sono:

$$\sigma_{ci} = 40 \text{ MPa}$$

$$E_i = 22 \text{ GPa}$$

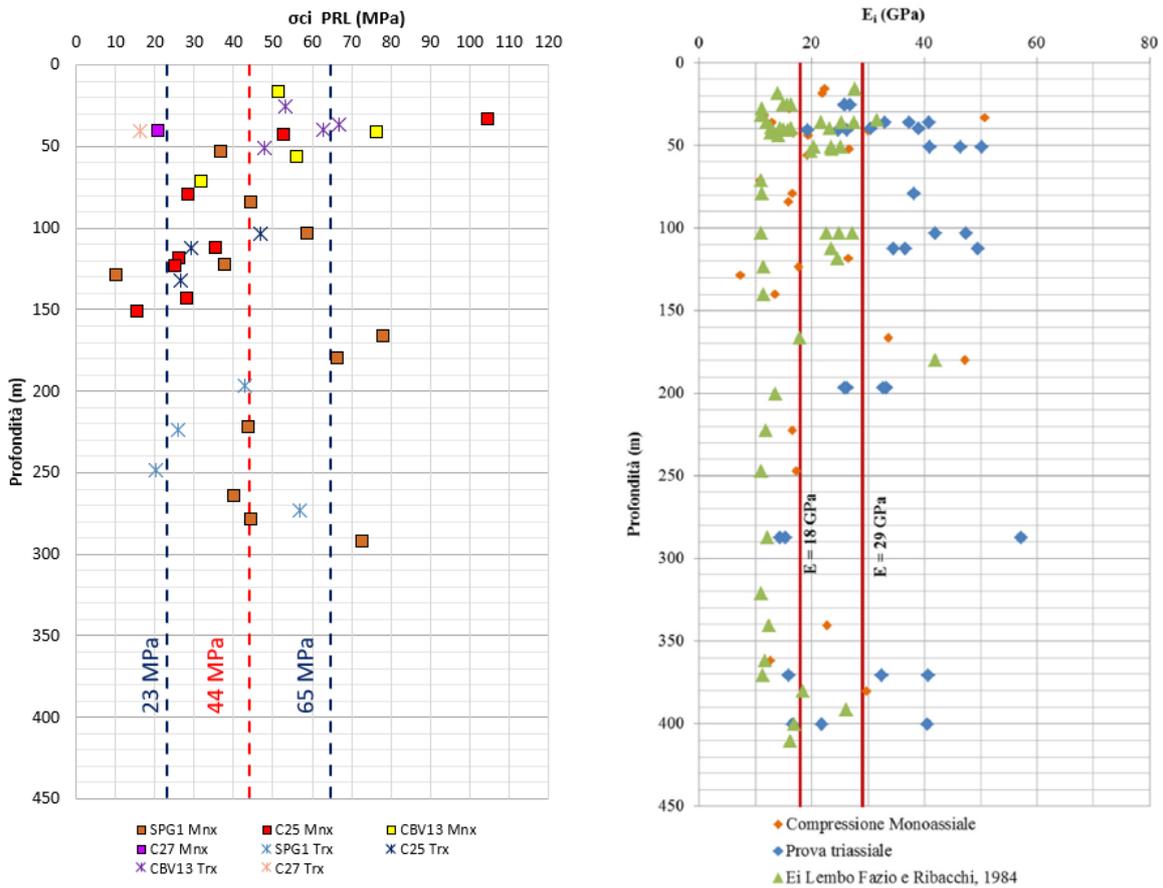


Fig. 75: PRL – resistenza a compressione della matrice litoide (a sinistra) e modulo elastico (a destra)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IB0U	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 102 di 157

Caratterizzazione dell'ammasso roccioso

In questa sede si è proceduto ad un riesame critico dei dati disponibili cercando di definire in maniera, per quanto possibile obiettiva, il valore di GSI con il metodo quantitativo descritto in precedenza, considerando che gli ammassi di diretto interesse per gli obiettivi progettuali sono quelli nel sottosuolo al di sotto delle coperture e a intervalli di profondità notevoli.

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

Per l'adozione dei singoli parametri del Jcond si è fatto riferimento alla Tabella presentata nel paragrafo 5.3.3 di Bieniawski assegnando, per ogni metro di carota estratta, un punteggio che tiene conto delle condizioni del materiale coerentemente con la descrizione dello stesso fornita dagli operatori.

In assenza di informazioni sufficienti si è considerato un punteggio medio (es. per la persistenza e per il riempimento è stato assegnato a tutte le carote un punteggio pari a 3).

Nei grafici seguenti vengono riportati i valori così ricavati del GSI, a partire dai valori di RQD, per tratti di un metro in funzione della profondità.

Per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso si è fatto riferimento ai sondaggi SPG1, EP7 e C25.

Dal riesame delle carote dei sondaggi si evince un range di GSI che varia tra 20 e 70 (Fig. 76); considerando il poco numero di sondaggi a disposizione, si ritiene idonea la scelta cautelativa eseguita in fase di progetto definitivo, considerando quindi l'intervallo riportato nella tabella seguente.

PRL	
Classi di copertura (m)	GSI (-)
<30	30-40
30-50	
50-100	

Tab. 20: Intervalli di GSI – formazione PRL

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 103 di 157

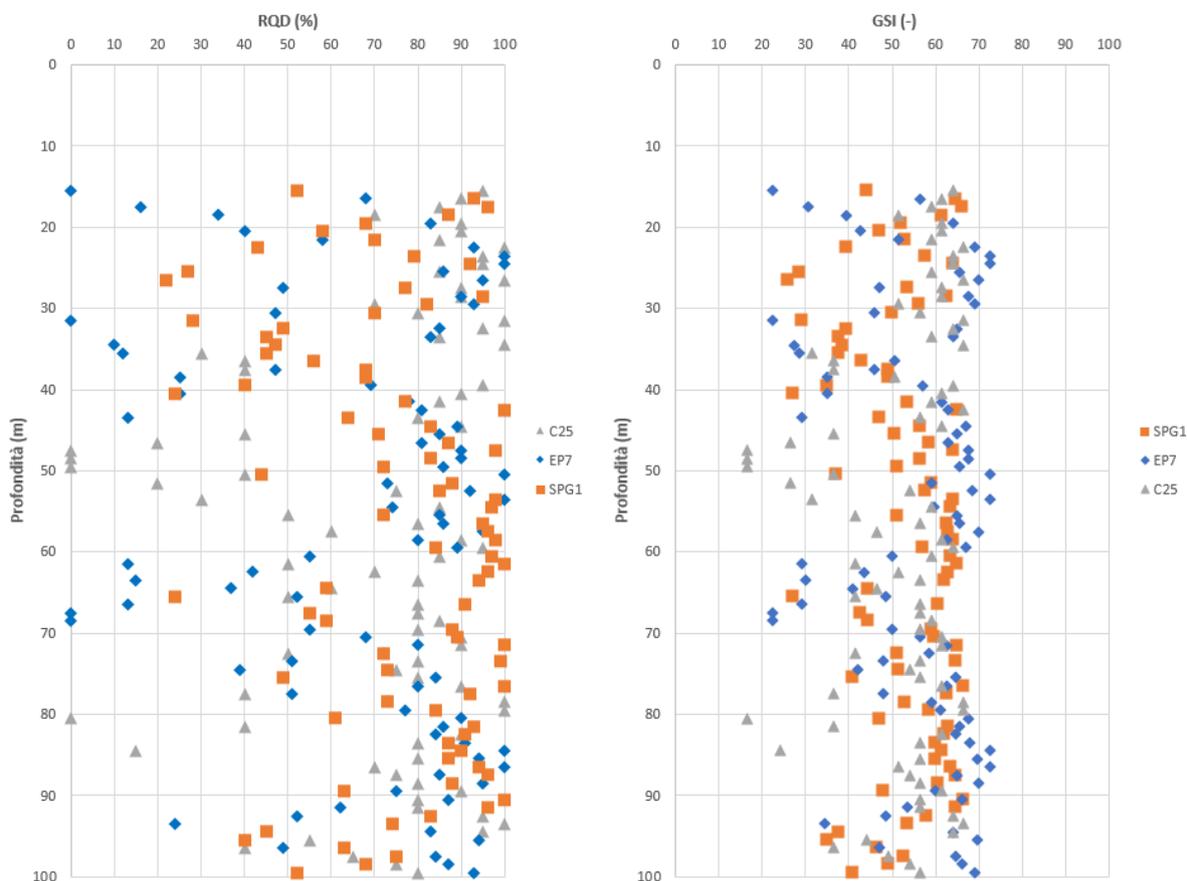


Fig. 76: PRL – Valori di RQD e GSI per ogni m di carota per la formazione PRL

Per la zona di roccia detensionata intercettata dai sondaggi eseguiti in fase di progetto esecutivo S21/7, S21/9 S21/12 si ritiene opportuno attribuire un range di GSI inferiore, pari a 20-30.

Con il GSI pari a 20, per le coperture di interesse, si ottengono i seguenti parametri (Fig. 77):

$$E = 1000 \text{ MPa}$$

$$c = 95 \text{ kPa}$$

$$\varphi = 45^\circ$$

Le prove dilatometriche eseguite nel sondaggio S21/7 e S21/9 forniscono valori di modulo dell'ordine di 700-1500 MPa, confermando dunque i valori caratteristici scelti per la zona detensionata.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 104 di 157

Hoek-Brown Classification

sigci 40 MPa

GSI 20

mi 7

D 0

Ei 22000 MPa

MR

Hoek-Brown Criterion

mb 0.402

s 0.0001

a 0.544

Failure Envelope Range

Application: Tunnels

sig3max 0.2794 MPa

Unit Weight 0.027 MN/m3

Tunnel Depth 20 m

Mohr-Coulomb Fit

c 0.095 MPa

phi 44.79 deg

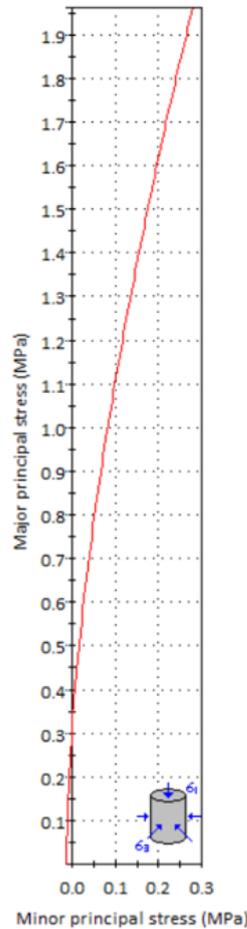
Rock Mass Parameters

sigt -0.014 MPa

sigc 0.318 MPa

sigcm 2.680 MPa

Erm 1004.77 MPa



Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial comp. strength (sigci) = 40 MPa
 GSI = 20 mi = 7 Disturbance factor (D) = 0
 intact modulus (Ei) = 22000 MPa

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.402 s = 0.0001 a = 0.544

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.095 MPa friction angle = 44.79 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.014 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.318 MPa
 global strength = 2.680 MPa
 deformation modulus = 1004.77 MPa

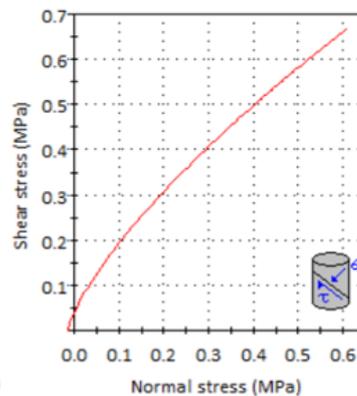


Fig. 77: PRL – linearizzazione Hoek & Brown con RocLab (zona alterata)

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 105 di 157

6.3 DEFINIZIONE DEGLI INTERVALLI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

In questo paragrafo si riportano in sintesi gli intervalli dei parametri geotecnici delle formazioni attraversate dalla Galleria Scaleres, dalla Finestra di Forch e Finestra di Albes sulla base dei sondaggi analizzati nei capitoli precedenti.

Unità	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)	E (MPa)	k (m/s)
ar	20	0	32-44	60-90	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
Df	20	0	34-45	50-100	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
h	20	0	33-43	35-60	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
d	19	0	35-43	40-70	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
fi Interconn.	24	53-70	39-43	150-350	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵

Tab. 21: Depositi – Riepilogo dei parametri geotecnici

Unità	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	E _i (GPa)	k (m/s)
α	26	100-150	30-50	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁶
p	27	40-60	12-33	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁶
fi (Funes)	24	40-60	12-33	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
PRL	27	40-70	17-35	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁶
BSS*	27	27-121	17-35	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁶
BSSc	27	13-34	19-42	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁶

Tab. 22: Matrice litoide formazioni rocciose – Riepilogo parametri geotecnici

Nell'intervallo di valori dei parametri geotecnici sopra definiti sono stati individuati i parametri caratteristici delle diverse formazioni:

Unità	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)	E (MPa)
ar	20	0	40	70
Df	20	0	40	70
h	20	0	37	35
d	20	0	37	50

Tab. 23: Depositi – Parametri caratteristici

Unità	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	E _i (GPa)	mi (-)
α	26	100	30	25
p	27	50	22.5	7
PRL	27	40	22	7
BSSb	27	40	22	7

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 106 di 157

BSSa	27	55	27	7
BSSc	27	25	19	7

Tab. 24: Formazioni rocciose – Parametri caratteristici

Di seguito si riportano per ogni Galleria i valori di angolo di attrito, coesione e modulo dell'ammasso roccioso ottenuti mediante la linearizzazione del criterio di Hoek&Brown.

Formazione	copertura (m)	GSI (-)	c' (kPa)	φ' (°)	E (GPa)
<i>p</i>	<30	30-40	195-293	48-51	1.8-3.6
	30-50	40-45	407-483	45-47	3.6-5
	50-100	45-50			
	100-150	45-50	680-787	41-42	5-6.9
	>150	50-55	821-961	42-43	6.9-9.2
<i>BSSa</i>	30-50	35-40	404-471	43-44	3.1-4.3
	50-100	20-35*	293-461	35-41	1.2-3
	100-150	40-45	612-703	41-42	4.3-6
	150-300	45-55	973-1260	37-40	6-11
	>300	60-70	2078-2769	36-38	14-19.8
<i>BSSc</i>	300-450	45-55	923-1114	27-30	4.2-7.8
	450-600	50-60	1155-1396	27-30	5.8-9.9

*faglia Val di Funes

Tab. 25: Formazioni rocciose – Galleria Gardena

Formazione	copertura (m)	GSI (-)	c' (kPa)	φ' (°)	E (GPa)
<i>p</i>	50-100	35-50	358-669	43-46	2.6-6.9
	>100	45-55	616-585	42-45	5-9.2
<i>α</i>	>100	50-60	1075-1442	60-62	9.2-15.6

Tab. 26: Formazioni rocciose – Finestra di Funes

Formazione	copertura (m)	GSI (-)	c' (kPa)	φ' (°)	E (GPa)
<i>BSSb</i>	30-50	30-40	200-282	44-48	1.8-3.5
<i>BSSa</i>	50-100	35-45	438-593	42-45	
	100-150	40-50	623-830	40-43	4.3-8.3
	150-300	45-55	1024-1316	36-39	

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 107 di 157

	300-450	50-60	1367-1757	35-38	8.3-14
	>450	60-70	2057-2747	36-38	14-19.8

Tab. 27: Formazioni rocciose – Finestra di Chiusa

Formazione	copertura (m)	GSI (-)	c' (kPa)	φ' (°)	E (GPa)
BSSa	450-600	60-70	200-282	44-48	1.8-3.5
BSSb	150-300	40-50	789-980	33-36	3.5-6.8
	300-450	50-55	1168-1302	33-35	6.8-9
	450-600	50-60	1431-1762	30-33	6.8-11.4
PRL	50-100	30-40	378-487	36-39	1.8-3.5

Tab. 28: Formazioni rocciose – Gallerie di Interconnessione di Ponte Gardena B.P. e B.D.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 108 di 157

7. STATO TENSIONALE NEL SOTTOSUOLO

La valutazione dello stato tensionale in sito è stata eseguita analizzando i risultati delle prove di fratturazione idraulica eseguite all'interno dei fori di sondaggio realizzati nelle campagne di indagine del 2008 e del 2013.

I sondaggi analizzati nella presente relazione sono di seguito elencati:

- S12 (da 143.2m a 163.2m – n°3 prove HF) Gardena;
- S13 (da 242.5m a 255.5m – n° 3 prove HF) Gardena;
- EP6 (da 295m a 576m – n° 8 prove HF) Gardena;
- EP9 (188m a 335m – n°7 prove HF) Finestra di Chiusa;
- EP7 (189m a 257m – n°5 prove HF) Interconnessioni;
- SPG1 (275m – n°1 prove HF) Interconnessioni.

Dalle prove di fratturazione idraulica è possibile ricavare il valore del coefficiente di spinta a riposo k_0 e dunque calcolare il carico orizzontale σ_h .

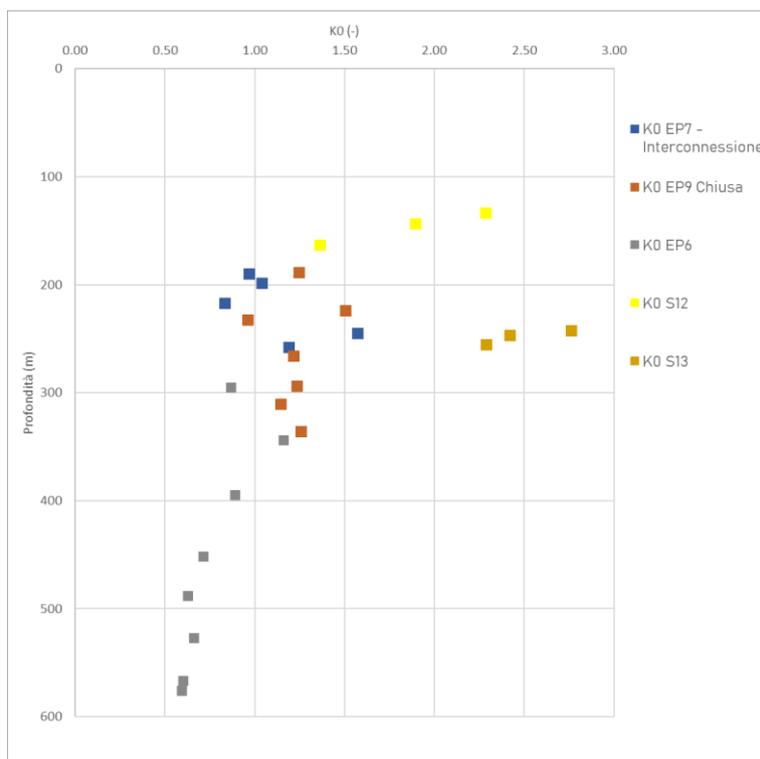


Fig. 78: Valori di k_0

Le prove eseguite per la Galleria Gardena mostrano che il coefficiente k_0 assume valori generalmente compresi tra 0.6 e 1.5; ad eccezione delle prove eseguite nei sondaggi S12 e S13, nella zona delle Filladi BSSa e le Filladi Carboniose BSSc, che mostrano valori più elevati, mediamente compresi tra 1.5 e 2.5.

Per quanto riguarda le Gallerie di Interconnessione di Ponte Gardena, il coefficiente k_0 assume valori tra 0.7 e 1.5, mentre il sondaggio SPG1 non riportato nel grafico, indica valori compresi tra 0.2 e 1.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 109 di 157

Anche se i valori sono molto dispersi si nota una tendenza alla diminuzione dei valori con la profondità, in accordo con quanto riportato da vari Autori (Fig. 78) [75].

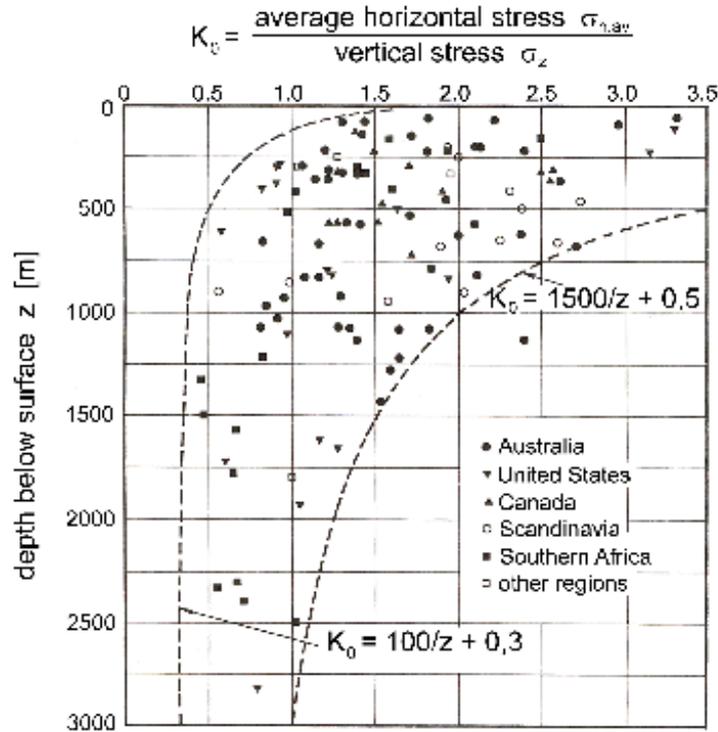


Fig. 79: Variazione di k_0 con la profondità – Hoek

Sulla base di questi risultati sono stati assunti i seguenti valori:

Galleria	k_0 (-)	Formazione
Gardena	0.9	ammassi rocciosi
Interconnessioni di Ponte Gardena	0.8-0.9	ammasso roccioso
	1-senφ	depositi

Tab. 29: Valori di k_0 utilizzati per la progettazione

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 110 di 157

8. CARATTERIZZAZIONE INTERFERENZE CON A22

In questo capitolo è presentato lo studio relativo alla caratterizzazione delle zone che interessano le interferenze con l'Autostrada del Brennero A22.

8.1 CARATTERIZZAZIONE PILA 13 E PILA 14

Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione geotecnica del tratto che interessa pila 13 e pila 14 del viadotto Belprato, confrontando i modelli geologico-geotecnico di PD e di PE.

8.1.1 Modello geologico-geotecnico progetto definitivo

Il tratto in esame si sviluppa sulla sinistra dell'Isarco, in uscita dal versante montuoso costituito dalla formazione del Paragneiss di Laion coperta da una coltre detritica.

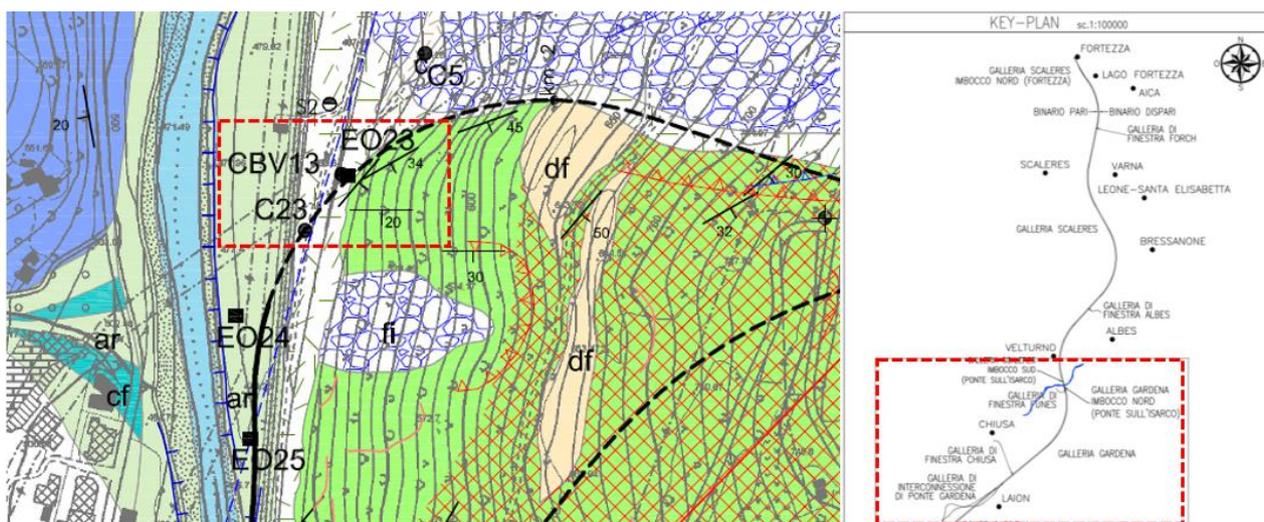


Fig. 80: Stralcio della carta geologica di PD – zona interessata dalla Pila 13-Pila 14 in evidenza

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 111 di 157

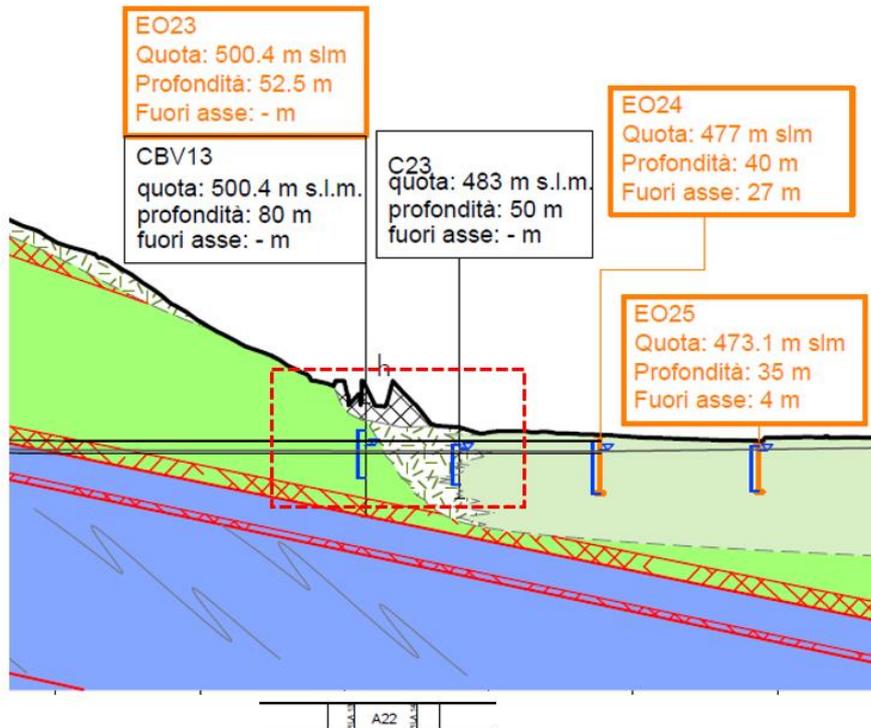


Fig. 81: Stralcio del profilo geologico di PD – zona interessata dalla Pila 13-Pila 14 in evidenza

In Fig. 82 sono riportate le sezioni trasversali della pila 13 e della pila 14 definite in fase di progetto definitivo: come si può vedere, la stratigrafia è interessata dai depositi di versante e dal paragneiss di Laion. L'area interessata dallo scavo per il sottoattraversamento della pila 13 si sviluppa in roccia mentre quella della pila 14 si sviluppa interamente nei depositi di versante.

Trattandosi di due sezioni poste a circa 35 m di distanza l'una dall'altra è ovvio che il passaggio da un modello geologico all'altro avviene gradualmente. La forte differenza tra i due modelli implica una forte tridimensionalità del problema.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 112 di 157

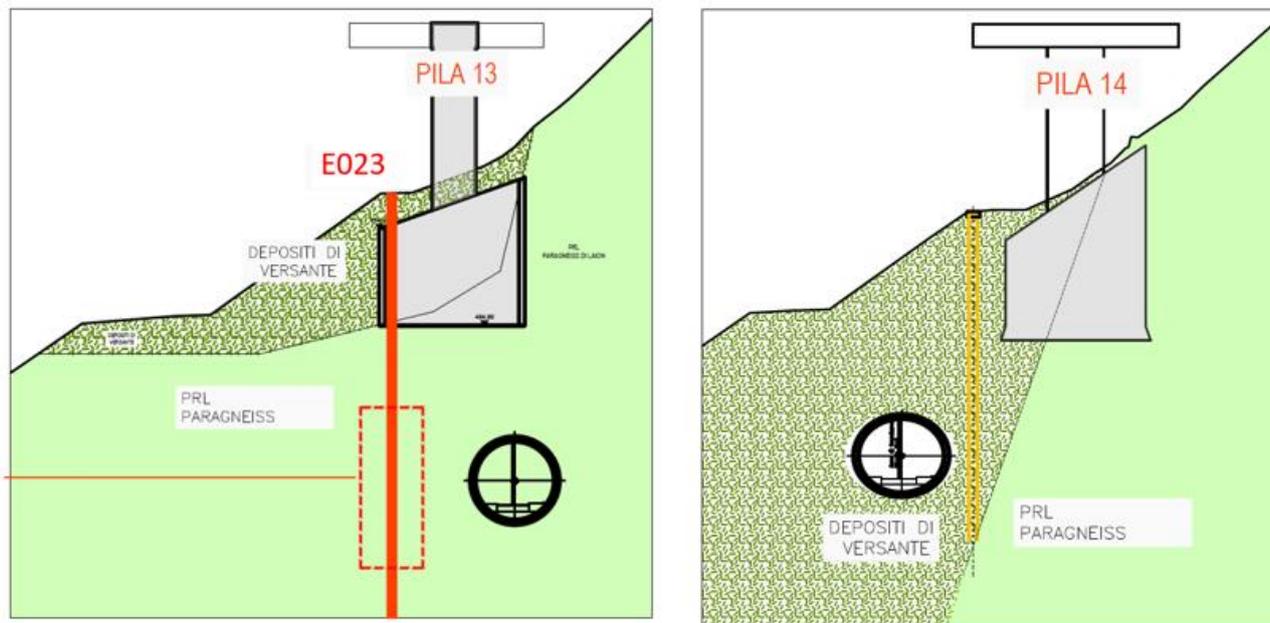


Fig. 82: Sezioni trasversali interferenze Pila 13 e Pila 14 – Progetto Definitivo

Anche se non espressamente indicato, il fatto che la fondazione delle due pile si trovi subito al di sotto del contatto con il detrito (corrispondente ad una antica superficie di erosione che è quindi rimasta esposta per un periodo più o meno lungo nel passato geologico) porta a ritenere che l'ammasso in questo ambito fosse alterato/fratturato per fenomeni di degradazione meteorica e detensionamento.

Per la pila 14 il modello prevede un appoggio differenziato del pozzo di fondazione, per una buona parte in roccia, ma per un settore sul detrito.

In fase di progetto definitivo i due sondaggi a disposizione per la pila 13 erano EO23 e CBV13. Del sondaggio EO23 che attraversa la pila si riportano alcune foto delle cassette nelle immagini seguenti, nelle quali si può vedere che l'ammasso si presenta in alcuni punti molto fratturato. A tale proposito si riportano in Fig. 88 i valori di RQD con la profondità di entrambi i sondaggi a disposizione. Per entrambi i sondaggi si hanno a disposizione i risultati di prove dilatometriche.

Il sondaggio EO23 ha attraversato il calcestruzzo del pozzo al di sotto del quale è stato carotato un materiale definito come ghiaia nella stratigrafia (vedi foto seguente della cassetta 10-15m); è verosimile che si tratti di materiale molto disturbato dalla perforazione del sondaggio, anche se la sezione della pila 14 sarebbe congruente con la descrizione stratigrafica del sondaggio.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 113 di 157



Fig. 83: Carote sondaggio EO23 – da 10 m a 20 m



Fig. 84: Carote sondaggio EO23 – da 20 m a 35 m



Fig. 85: Carote sondaggio EO23 – da 35 m a 50 m

PROVA	DATA	PROF. PROVA(m)	Modulo di deformazione (MPa)	Modulo elastico (MPa)	RQD (%)
E023D1	15/03/2017	45,0	2182	4036	30-35
E023D2	15/03/2017	38,0	2610	5222	50-55
E023D3	15/03/2017	32,0	3526	5504	30-25
E023D4	15/03/2017	27,0	2540	3419	15-20
E023D5	15/03/2017	23,0	2311	2915	60-65
E023D6	15/03/2017	18,0	4736	6501	75-80

Tabella 8-1: PRL– risultati prove dilatometriche sondaggio EO23 (IBL11BD69SGGE0105013A)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 114 di 157

Nel sondaggio EO23 (v. Tabella 8-1), le prove dilatometriche indicano un range di modulo elastico che varia da 2915 MPa a 6501 MPa. Come si evince dalla tabella sopra riportata, anche nei tratti in cui l'ammasso si presenta fratturato (RQD pari a 15%-20%), i valori di modulo elastico ottenuti dalle prove dilatometriche sono superiori ai 2 GPa.

I risultati del modulo elastico forniti dal sondaggio CBV13 sono compresi tra 1 GPa e 6.5 GPa, in linea con quanto riscontrato per i risultati del sondaggio EO23. I valori più bassi del range identificato si riscontrano intorno ai 30 m, dove effettivamente la roccia si presenta maggiormente fratturata come si evince dalle foto delle cassette riportate di seguito.



Fig. 86: Carote sondaggio CBV13 – da 20 m a 30 m



Fig. 87: Carote sondaggio CBV13 – da 30 m a 40 m

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 115 di 157

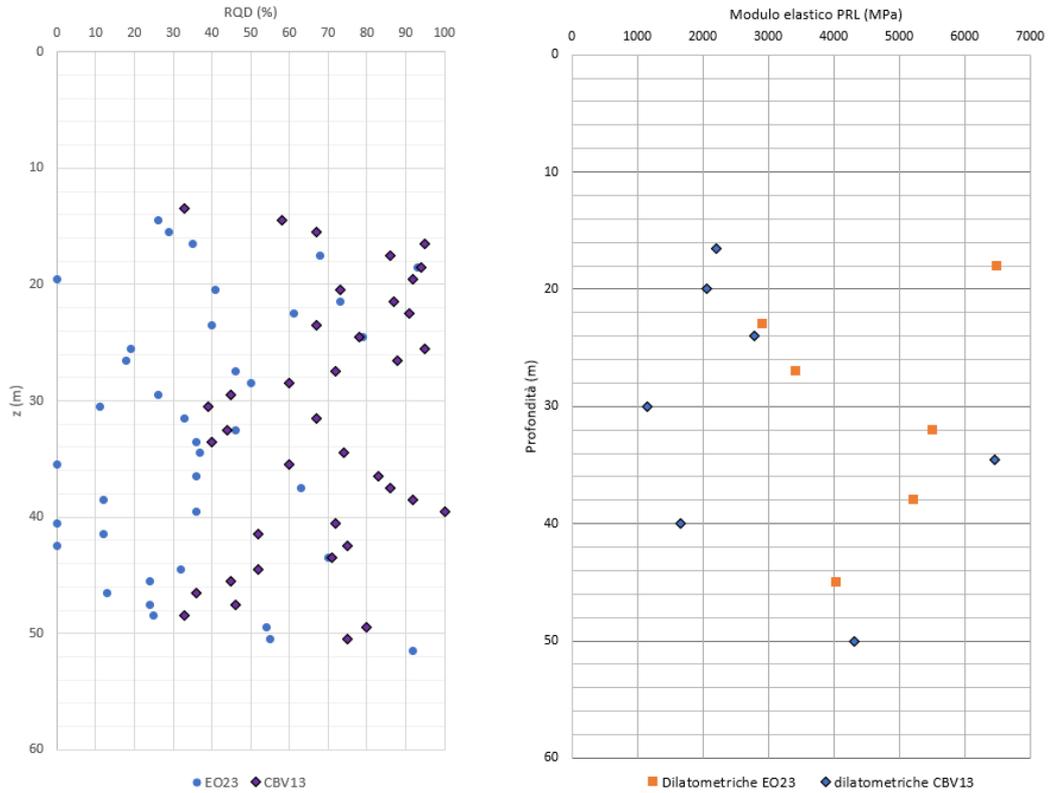


Fig. 88: PRL – Valori di RQD (a sinistra) e modulo Elastico da prove dilatometriche (a destra)

Per la valutazione del modulo elastico mediante relazione con GSI, in fase di progetto definitivo, è stato considerato un GSI pari a 30 (vedasi figura seguente).

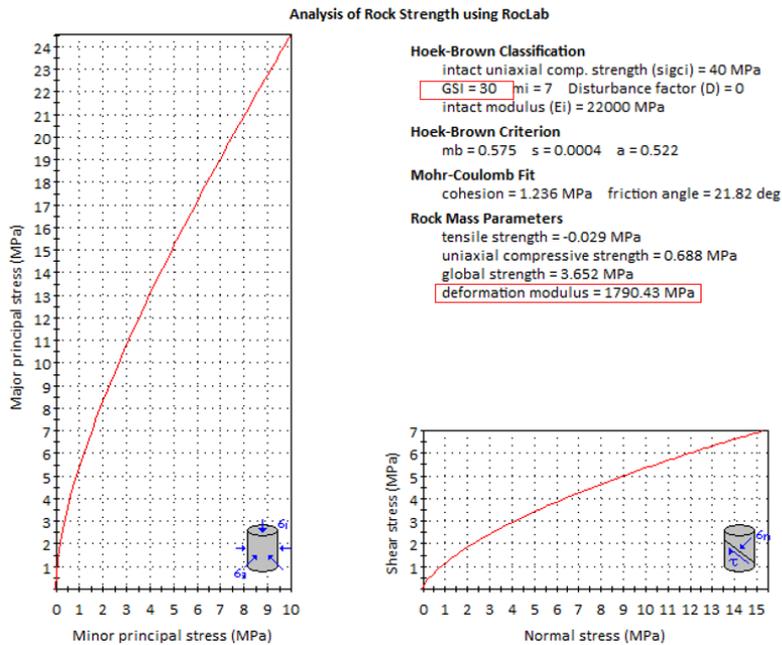


Fig. 89: PRL – Parametri da Linearizzazione Hoek&Brown

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 116 di 157

Per la stima delle caratteristiche di resistenza del detrito di versante è stato usato il criterio proposto da Hoek&Brown attribuendo un valore di GSI pari a 10 a tale unità geotecnica. Tale valore viene definito come il minimo attribuibile dagli abachi di letteratura proposti dagli autori in contesti dalle caratteristiche scadenti, in considerazione della natura della stessa.

Si deve quindi desumere che i progettisti, per ovvie difficoltà di caratterizzazione di una materiale fortemente eterogeneo e a pezzatura molto grossolana, abbiamo assimilato il comportamento di questo detrito a quello di un ammasso roccioso completamente fratturato.

Per l'area della pila 14 il sondaggio utilizzato è il C23, come viene riportato nella relazione di calcolo di progetto definitivo, dal quale si evince che nei primi 13m circa la stratigrafia è interessata principalmente da ghiaia eterometrica mentre dai 13 m in poi da roccia debolmente alterata.

Le prove dilatometriche eseguite per il sondaggio C23 indicano un range di modulo elastico compreso tra 905 MPa (relativo allo strato di detrito) e 2766 MPa.

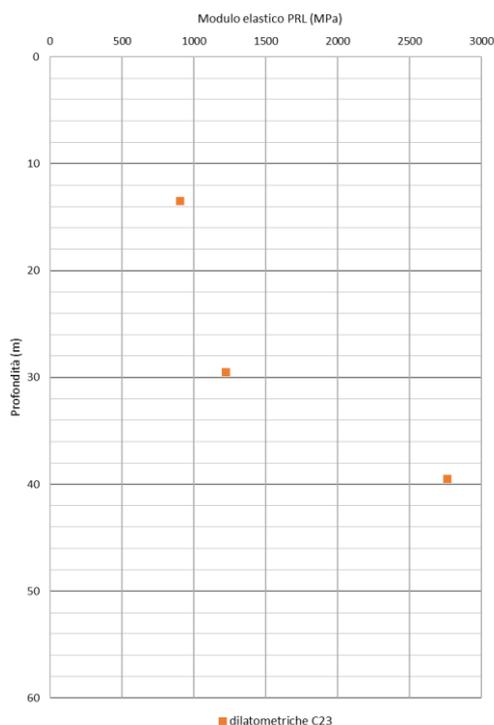


Fig. 90: Modulo Elastico da prove dilatometriche sondaggio C23

Si riportano di seguito alcune foto delle carote del sondaggio C23.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 117 di 157

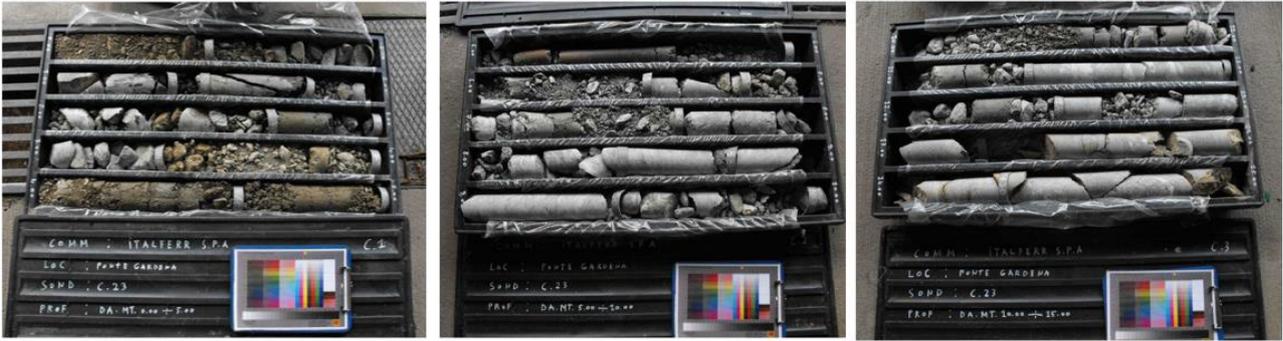


Fig. 91: Carote sondaggio C23 – da 0 m a 15 m



Fig. 92: Carote sondaggio C23 – da 15 m a 30 m

Nella tabella seguente si riportano i valori caratteristici utilizzati per il calcolo di entrambe le pile 13-14.

Formazione	PARAMETRI CARATTERISTICI			
	γ (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)	E (MPa)
Detrito di versante	24	39	53	250
Paragneiss di Laion	27	43	173	1790

Tabella 8-2: Pila 13 -14– parametri caratteristici Progetto Definitivo

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 118 di 157

8.1.2 Modello geologico-geotecnico progetto esecutivo

In fase di progetto esecutivo è stata eseguita una campagna indagini integrativa con due sondaggi S21/7 (attrezzato per prova Down Hole) in adiacenza alla pila 14 e S21/12 eseguito dalla strada sottostante inclinato verso il versante per indagare in maniera completa il sottosuolo della pila 14.

Per entrambi i sondaggi sono state eseguite prove in foro dilatometriche al fine di valutare il modulo elastico del terreno/ammasso.

Si riporta di seguito la carta geologica di progetto esecutivo con l'ubicazione dei sondaggi.

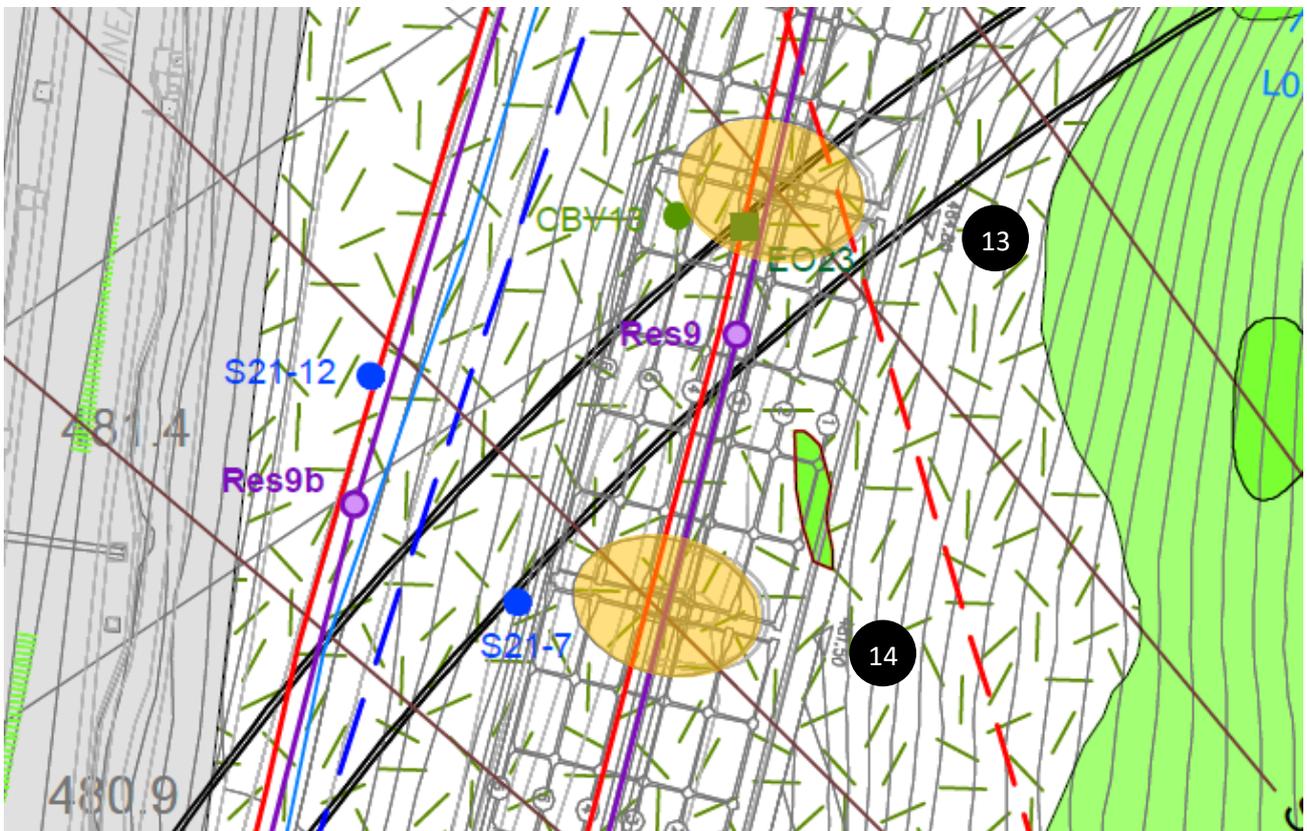


Fig. 93: Stralcio della carta geologica di PE – zona interessata dalla Pila 13-Pila 14 in evidenza

Nella figura seguente sono riportate le sezioni trasversali della pila 13 e pila 14 ricostruite nel progetto esecutivo. Per quanto riguarda la pila 13 il modello di PE prevede l'attraversamento della roccia PRL per la quale è stata individuata una fascia alterata e fratturata immediatamente sotto il detrito che però non interessa direttamente l'area di scavo.

La sezione geologica della pila 14 mostra invece una sostanziale differenza rispetto al PD a causa del diverso andamento della copertura detritica. Secondo questa sezione lo scavo della galleria attraversa anche in questo settore la roccia PRL con una estensione della fascia alterata/fratturata più ampia rispetto a quanto ricostruito per la vicina zona della pila 13.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 119 di 157

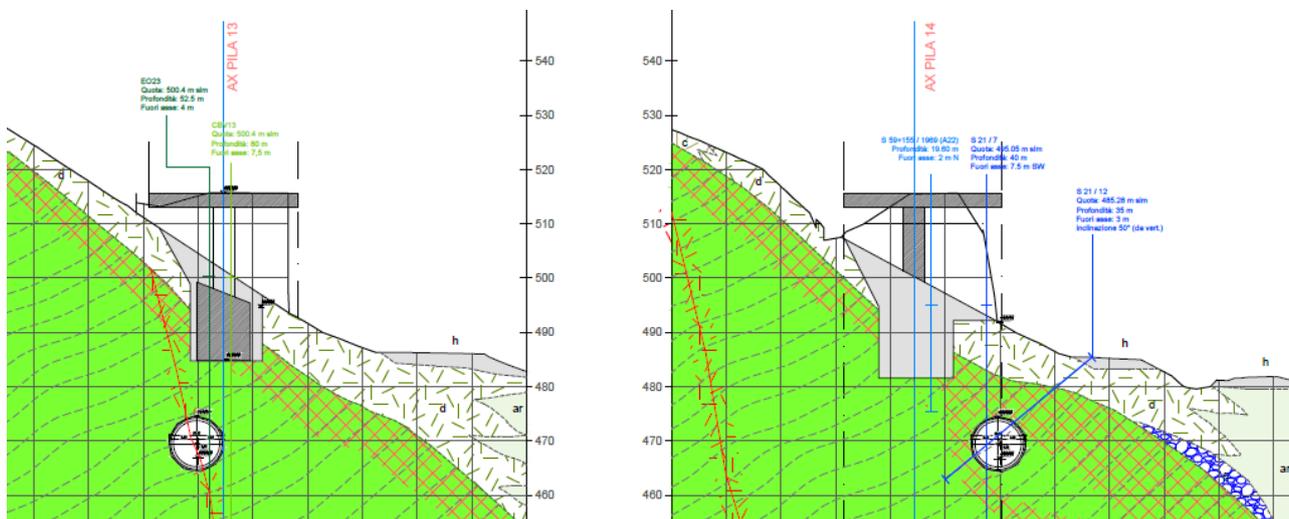


Fig. 94: Sezioni trasversali interferenze Pila 13 e Pila 14 – Progetto Esecutivo

Considerata la forte tridimensionalità del problema si è provveduto alla costruzione di un modello geologico 3D tramite il software Leapfrog®.

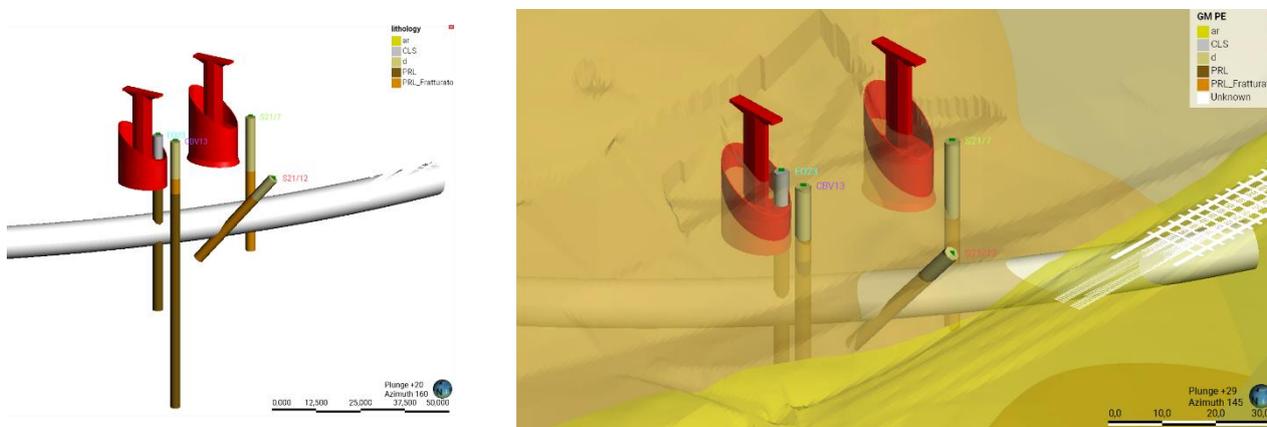


Fig. 95: Anteprima del modello geologico 3D realizzato mediante il software Leapfrog

Questo modello geologico ha permesso di implementare un modello di calcolo 3D (Plaxis) che consente di avere un quadro delle condizioni di sottosuolo ben più avanzato e affidabile del modello 2D.

La presenza di contatti litologici complessi e di una topografia irregolare aumenta il valore aggiunto di un modello 3D.

Dalle foto del sondaggio S21/7 la roccia si presenta alterata e fratturata dai 20 m registrando valori di RQD minori del 10% (Fig. 99) mentre nel sondaggio S21/12 la roccia si presenta meno fratturata con valori di RQD sempre maggiori del 20% salvo in alcuni punti.

Di seguito si riportano alcune foto delle cassette dei due sondaggi.

Lo stato di fratturazione dell'ammasso non è sostanzialmente diverso da quello riscontrato con i sondaggi del PD.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 120 di 157



Fig. 96: Carote sondaggio S21/7 – da 15 m a 30 m



Fig. 97: Carote sondaggio S21/7 – da 30 m a 40 m



Fig. 98: Carote sondaggio S21/12 – da 15 m a 35 m

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 121 di 157

Si riportano di seguito i risultati ottenuti dalla prova Down Hole eseguita nel sondaggio S21/7 e dalle prove dilatometriche eseguite nei sondaggi S21/7 e S21/12. Da tali risultati si evince che per le prove dilatometriche il range di valori di modulo elastico è variabilissimo, tra 783 MPa e 6722 MPa.

Il modulo elastico da prove sismiche viene calcolato a partire dalle Vs (m/s) secondo le seguenti formulazioni, applicando poi un fattore di degrado pari a 10:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

- γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m³
- ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20
- Vs = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s.

Dalla prova sismica del **sondaggio S21/7** si ricavano valori di modulo elastico altrettanto variabili; un primo tratto fino a 17m è relativo alla copertura detritica mentre a profondità maggiori le Vs (e quindi il modulo) aumentano bruscamente. Si evidenzia un tratto tra 18 e 30 m con valori del modulo >5 GPa (solo in un brevissimo tratto i valori calano bruscamente). Si deve notare che a questo tratto, con valori di Vs e modulo molto elevati, corrispondono valori di RQD molto bassi. Al di sotto dei 30 m dove il valore di RQD aumenta si nota stranamente una diminuzione delle Vs. Ad eccezione di un sottile strato con valori molto bassi, il modulo a profondità >30m è dell'ordine di 1 GPa.

Nei grafici che seguono sono riportati i valori di RQD e i valori di GSI ricavabili con il metodo quantitativo di Koek (che lega il valore di GSI ai valori di RQD e Jcond).

Il valore di GSI non scende mai sotto 20 nei tratti più fratturati con un valore massimo di 60-70.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 122 di 157

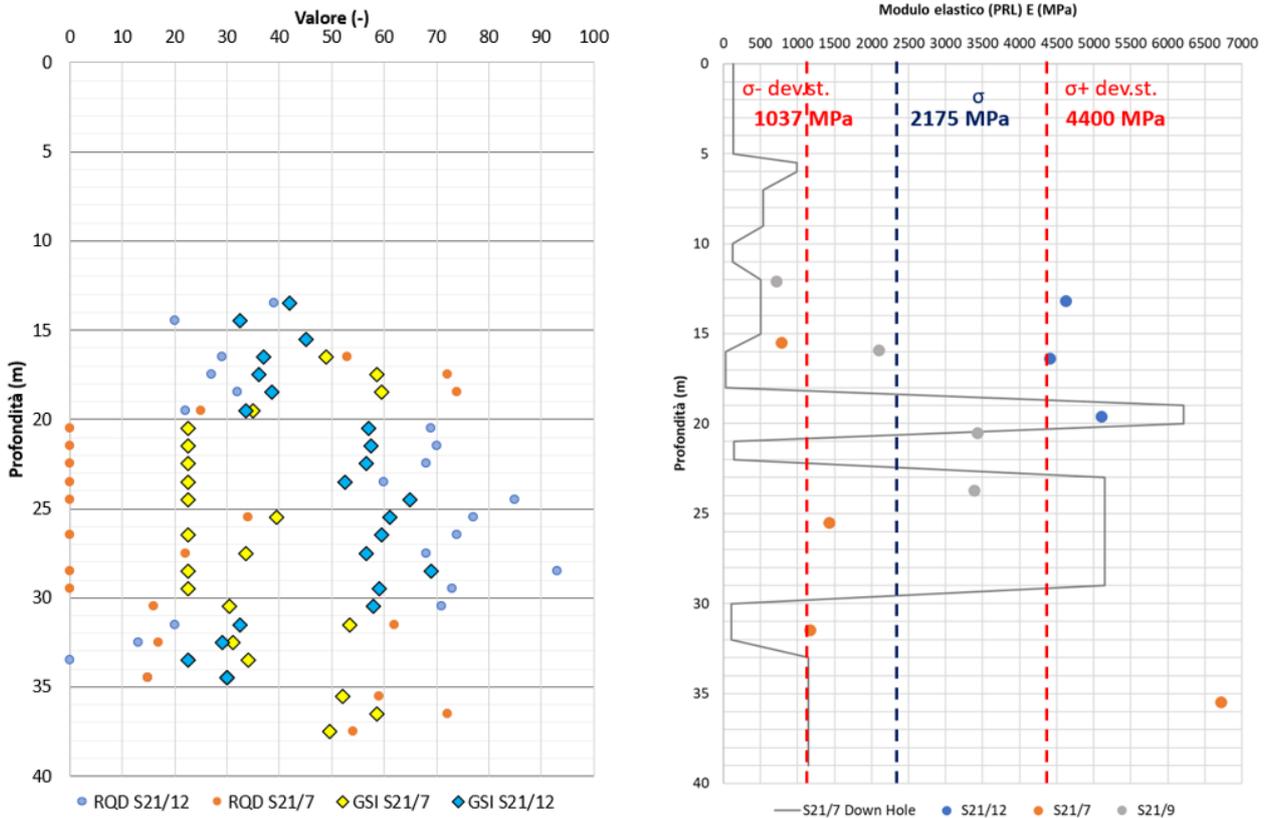


Fig. 99: PRL – Valori di RQD e GSI (a sinistra) e modulo Elastico da prove dilatometriche e Down Hole (a destra)

Nella tabella seguente sono riportati i valori di modulo elastico dell’ammasso che si ottengono mediante la formulazione di Hoek e Diederichs funzione del modulo elastico della roccia intatta, del GSI e del fattore di disturbo (nel caso in esame è stato considerato $D=0$).

$$E_{rm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right)$$

Ciò che si evince dai risultati, riportati graficamente nella Fig. 100, è che considerando il range di GSI ottenuto dai sondaggi pari a 20-60, il modulo elastico dell’ammasso varia tra 1004 MPa e 11440 MPa. Tali risultati confermano che pur considerando il valore più basso di GSI del range sopra identificato, il modulo corrispondente ad esso è di 1 GPa, coerente con il valore minimo del range di modulo identificato dalle prove in sito.

E_i (MPa)	m_i (-)	σ_{ci} (MPa)	GSI (-)	E (MPa)
22000	7	40	20	1004
			30	1790
			40	3512
			50	6758

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 123 di 157

			60	11440
			70	16122

Tabella 8-3: Valori di modulo dell'ammasso ricavati tramite linearizzazione di Hoek&Brown

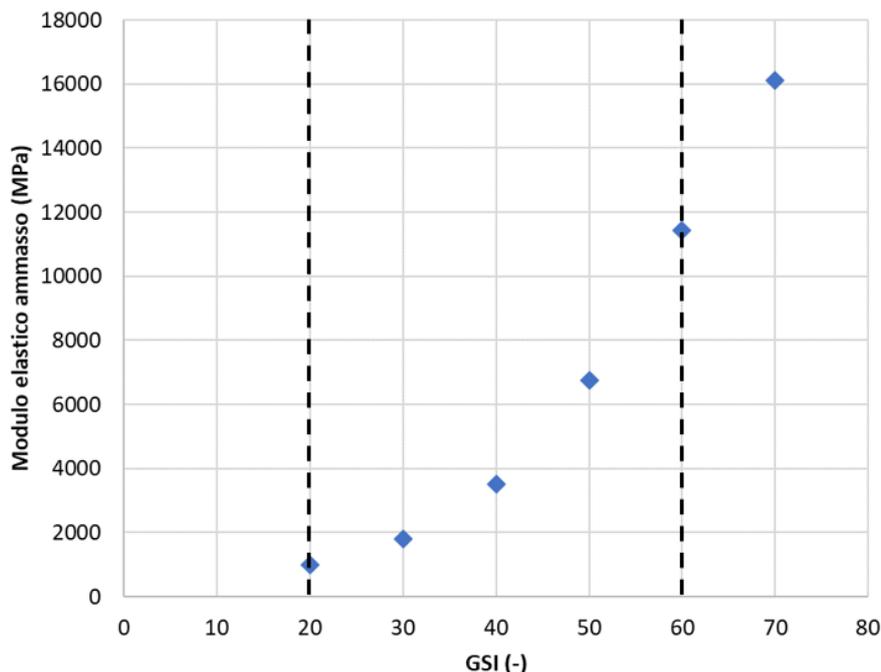


Fig. 100: Modulo Elastico in funzione del valore di GSI

I valori ricavati dalla down-hole risulterebbero quindi anomali perché poco congruenti con lo stato di fratturazione rilevato dal sondaggio.

Per la fascia più fratturata, considerando un valore di GSI pari a 20, si ottiene un modulo di deformazione di 1 GPa, che è pari al valore minimo ricavato dalle prove dilatometriche. Nonostante le prove in sito fornissero valori ben più alti, si è scelto in maniera cautelativa di utilizzare il valore minimo del range (in cui non si è tenuto conto del valore 6722MPa) per tenere in conto della variabilità dei risultati ottenuti da tali prove (Fig. 99).

La linearizzazione con criterio Hoek&Brown è riportata nella figura seguente.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 124 di 157

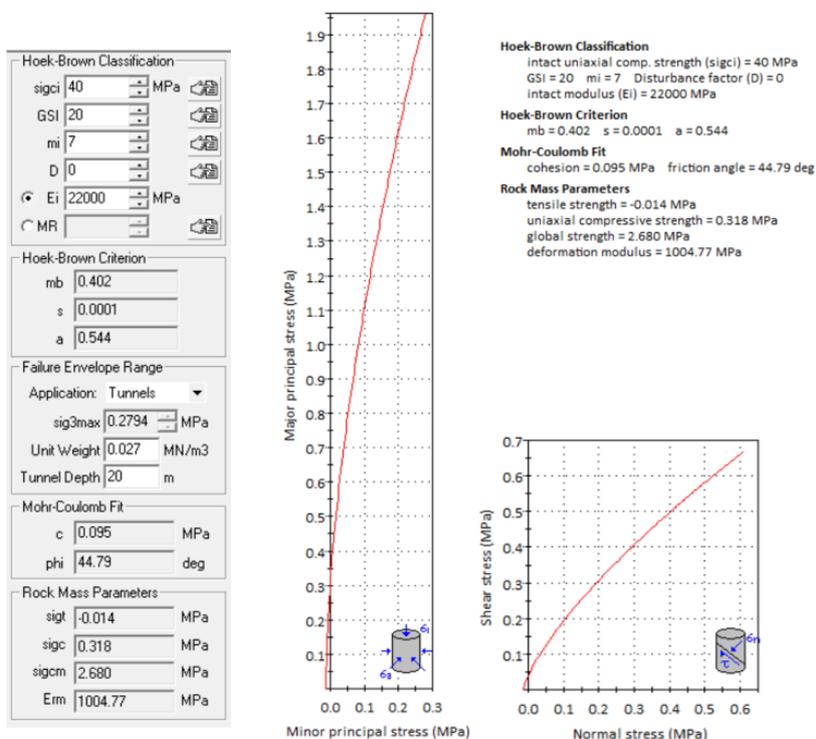


Fig. 101:PRL – linearizzazione Hoek & Brown con RocLab (zona fratturata)

8.1.3 Confronto dei modelli geologico-geotecnici progetto definitivo-esecutivo pila 13 e pila 14

Dal confronto tra i modelli geologici-geotecnici tra progetto definitivo ed esecutivo per l'interferenza con la Pila 13 non sono emerse differenze significative. Anche se lo stato di fratturazione della roccia risulta variabile, tale variabilità è da considerare insita per un ammasso roccioso "corticale" e parietale. L'assunzione di valori di GSI cautelativi adottata nel PD è stata confermata anche nel PE.

I parametri adottati per l'ammasso roccioso sono infatti uguali nel PD e nel PE.

Per la definizione dei valori caratteristici da utilizzare per il calcolo della Pila 13, nonostante in fase di progetto definitivo i valori di modulo elastico ottenuti dalle prove dilatometriche dei due sondaggi a disposizione EO23 e CBV13 fornissero valori compresi tra 1 GPa e 6.5 GPa, si è scelto di mantenere la scelta cautelativa di associare un valore di GSI pari a 30 e di calcolare il modulo mediante linearizzazione di Hoek&Brown, sebbene questo risulti comunque più prossimo al limite inferiore del range fornito dalle prove in sito.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 125 di 157

PROGETTO DEFINITIVO					PROGETTO ESECUTIVO				
EQ. Costitutiva	PARAMETRI UTILIZZATI				EQ. Costitutiva	PARAMETRI UTILIZZATI			
	Y (kN/m ³)	φ(°)	c (kPa)	E (MPa)		Y (kN/m ³)	φ(°)	c (kPa)	E (MPa)
Mohr Coulomb	27	43	173	1790	Mohr Coulomb	27	43	173	1790

Tabella 8-4: Pila 13 – parametri caratteristici a confronto

Dal confronto tra il modello geologico-geotecnico di progetto definitivo ed esecutivo la differenza più significativa è invece il contatto tra detrito e roccia che interessa la pila 14.

Tale contatto è stato ricostruito da due sondaggi e quindi è da ritenere affidabile.

Nel modello di progetto definitivo la galleria attraversava i detriti di versante, mentre in fase di progetto esecutivo, grazie alla campagna di indagini integrative, il modello ricostruito prevede l'attraversamento della roccia PRL.

Peraltro, in fase di progetto definitivo i detriti di versante erano stati caratterizzati come una roccia fratturata attribuendo un GSI pari a 10.

Nel PE il detrito di versante è invece stato caratterizzato con parametri tipici da detrito.

Nella tabella seguente si riporta un confronto tra i parametri usati in progetto definitivo e in progetto esecutivo. Sebbene il detrito di versante non interessi direttamente la sezione di scavo della galleria è stato riportato il confronto anche per questo terreno. Si specifica che mentre in PD la caratterizzazione del detrito di versante è stata eseguita trattando la formazione come una roccia, in questa sede la caratterizzazione è stata eseguita considerando il detrito come materiale granulare.

PROGETTO DEFINITIVO					PROGETTO ESECUTIVO				
EQ. Costitutiva	PARAMETRI UTILIZZATI				EQ. Costitutiva	PARAMETRI UTILIZZATI			
<i>Detrito di versante</i>	Y (kN/m ³)	φ(°)	c (kPa)	E (MPa)	<i>Detrito di versante</i>	Y (kN/m ³)	φ(°)	c (kPa)	E (MPa)
Mohr Coulomb	24	39	53	250	Mohr Coulomb	20	37	0 (*)	50

(*) Nei modelli di calcolo è stata assunta una coesione minima per garantire la convergenza dei calcoli; tale valore di coesione non ha alcuna influenza nei calcoli

Tabella 8-5: Pila 14 – Detrito di versante parametri caratteristici a confronto

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 126 di 157

Di seguito sono riportati in tabella parametri di input utilizzati per la sezione di calcolo della pila 14 in PD e in PE, sottolineando il fatto che la sezione di scavo in PE si sviluppa in roccia a differenza di quanto identificato in PD. Nel PD era stato considerato un solo tipo di ammasso, poco fratturato, mentre nel PE si fa riferimento ad uno strato più superficiale fratturato. I parametri geotecnici dell'ammasso roccioso adottati nel PE sono quindi da considerare più cautelativi di quelli del PD. La modifica sostanziale deriva quindi dal modello geologico.

PROGETTO DEFINITIVO					PROGETTO ESECUTIVO				
Formazione/ EQ. Costitutiva	PARAMETRI UTILIZZATI				Formazione/ EQ. Costitutiva	PARAMETRI UTILIZZATI			
	Y (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)	E (MPa)		Y (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)	E (MPa)
					PRL det. / Mohr Coulomb	27	44.8	95	1000
PRL / Mohr Coulomb	27	46	173	1790	PRL / Mohr Coulomb	27	46	173	1790

Tabella 8-6: Pila 14 – Confronto parametri caratteristici Paragneiss di Laion

Da quanto sopra riportato, quindi, si evince un miglioramento delle condizioni geologiche e geotecniche dei terreni di fondazioni di fondazione delle pile 13 e 14.

Per questa ragione, gli interventi proposti a salvaguardia del Viadotto terranno in conto delle nuove condizioni geologiche-geotecniche di partenza.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 127 di 157

8.2 CARATTERIZZAZIONE BINARIO DISPARI – RILEVATO AUTOSTRADALE

8.2.1 Modello geologico-geotecnico progetto definitivo

Il binario dispari delle interconnessioni esce in superficie nella zona di Ponte Gardena dopo aver attraversato con un tracciato semi-parietale il versante roccioso costituito dalla formazione del Paragneiss di Laion. Il versante è coperto da una coltre detritica che si interdigita con le alluvioni di fondovalle. Nel tratto di uscita la galleria sottopassa con scarsa copertura il rilevato della spalla del viadotto Belprato della A22.

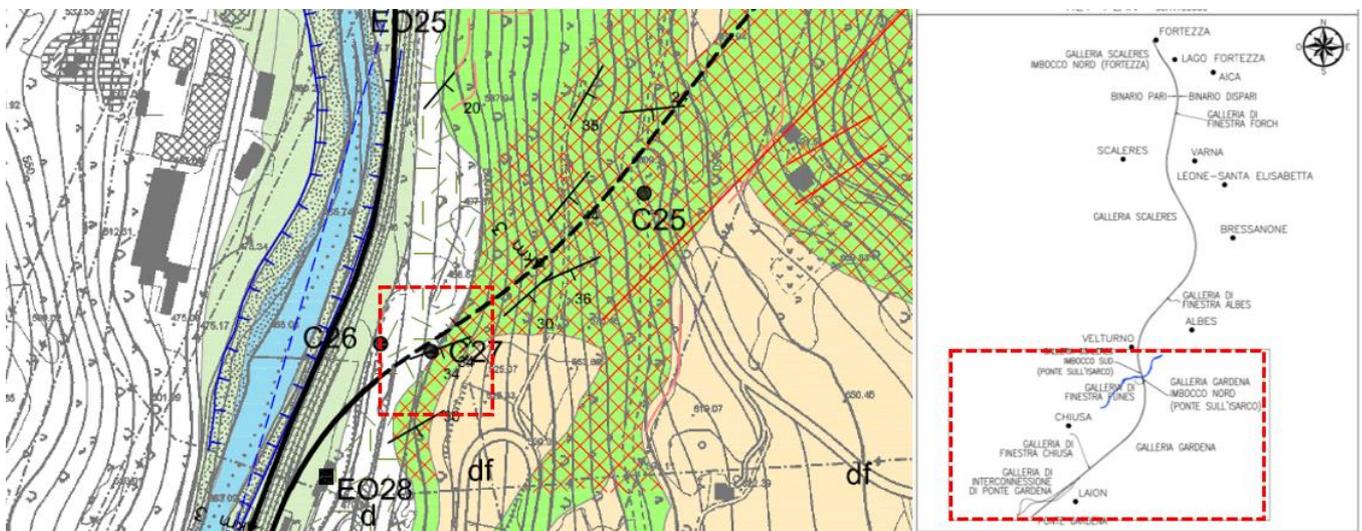


Figura 8-1: Stralcio della carta geologica di PD – zona interessata dalla A22 in evidenza

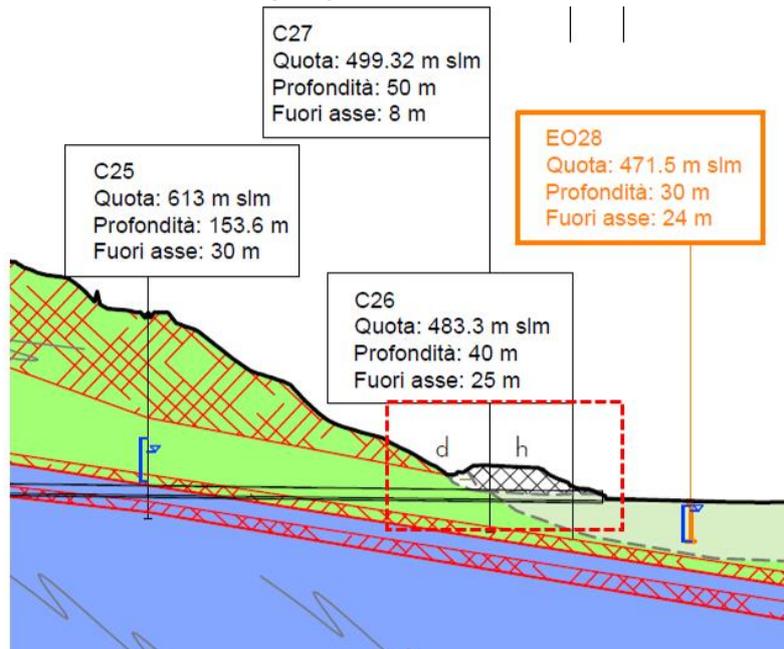


Figura 8-2: Stralcio del profilo geologico di PD – zona interessata dalla A22 in evidenza

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 128 di 157

In Figura 8-3 è riportata la sezione trasversale (modello di calcolo) del sottoattraversamento della A22 definita in fase di progetto definitivo: come si può vedere, la stratigrafia è interessata dal rilevato autostradale (A), dai depositi alluvionali (B) e dal Paragneiss di Laion PRL (C).

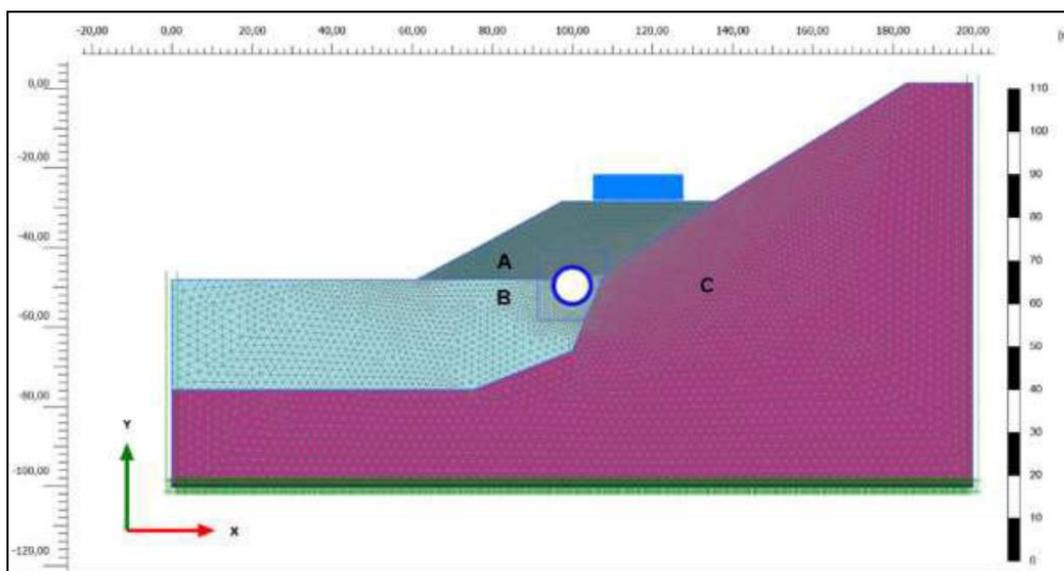


Figura 44 – Dominio di calcolo discretizzato con indicazione della sigla riferita allo strato del modello geotecnico

Figura 8-3: Sezione trasversale rilevato autostradale – Progetto Definitivo

In fase di progetto definitivo sono stati analizzati tutti i sondaggi a disposizione per la caratterizzazione del rilevato autostradale e dei depositi alluvionali, anche se non strettamente ubicati in prossimità dell'opera di interesse.

Per la trattazione completa degli aspetti teorici relativi a criteri di caratterizzazione si rimanda alla Relazione Geotecnica generale.

- Rilevato autostradale (h)

Nella figura seguente sono riportati i valori di N_{SPT} al variare della profondità; dalle elaborazioni delle prove SPT, tramite correlazioni empiriche, sono stati ricavati i valori di densità relativa, angolo di attrito e modulo elastico.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 129 di 157

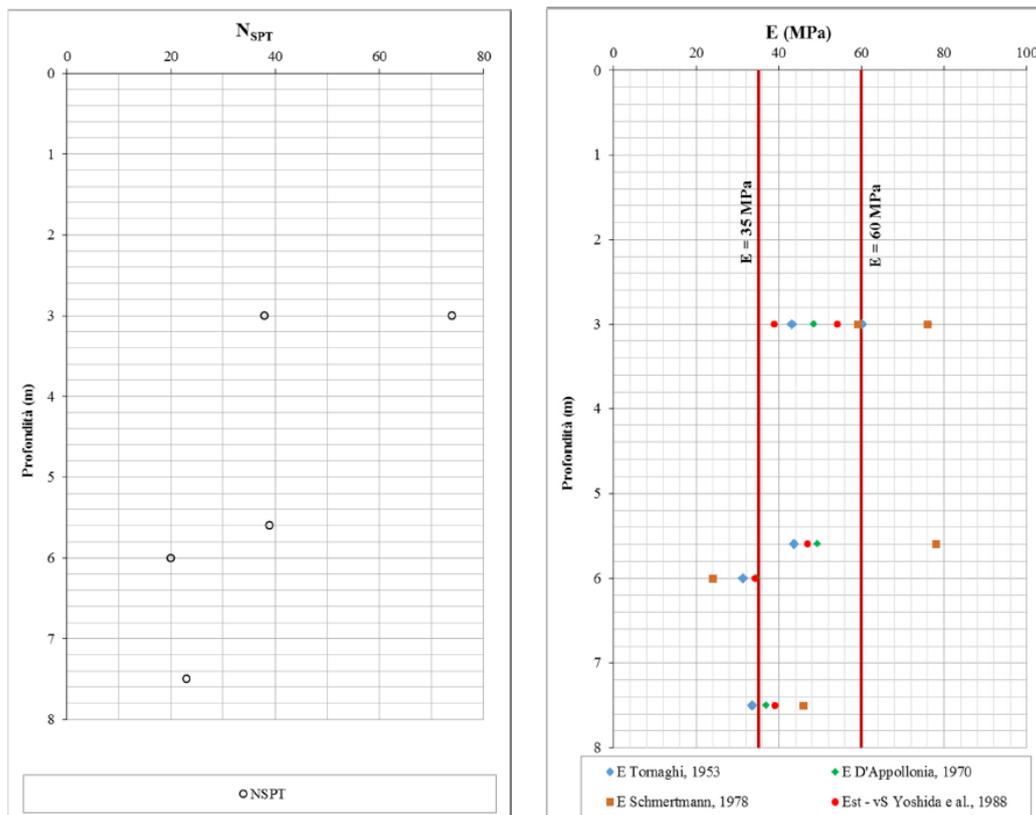


Figura 8-4: h – rilevato autostradale – valori di N_{SPT} e moduli di deformabilità ricavati da correlazioni

I valori di N_{SPT} e i relativi parametri ricavati sono compresi in un range molto ampio; va peraltro notata la scarsità dei dati.

Per l'angolo di attrito nel Progetto Definitivo è stato considerato rappresentativo il seguente intervallo di valori:

$$35^\circ \leq \varphi \leq 45^\circ$$

Per il modulo elastico è stato scelto il seguente range:

$$35 \text{ MPa} \leq E \leq 60 \text{ MPa}$$

I parametri caratteristici adottati nel PE per il rilevato sono:

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi = 35^\circ$$

$$E = 35 \text{ MPa}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 130 di 157

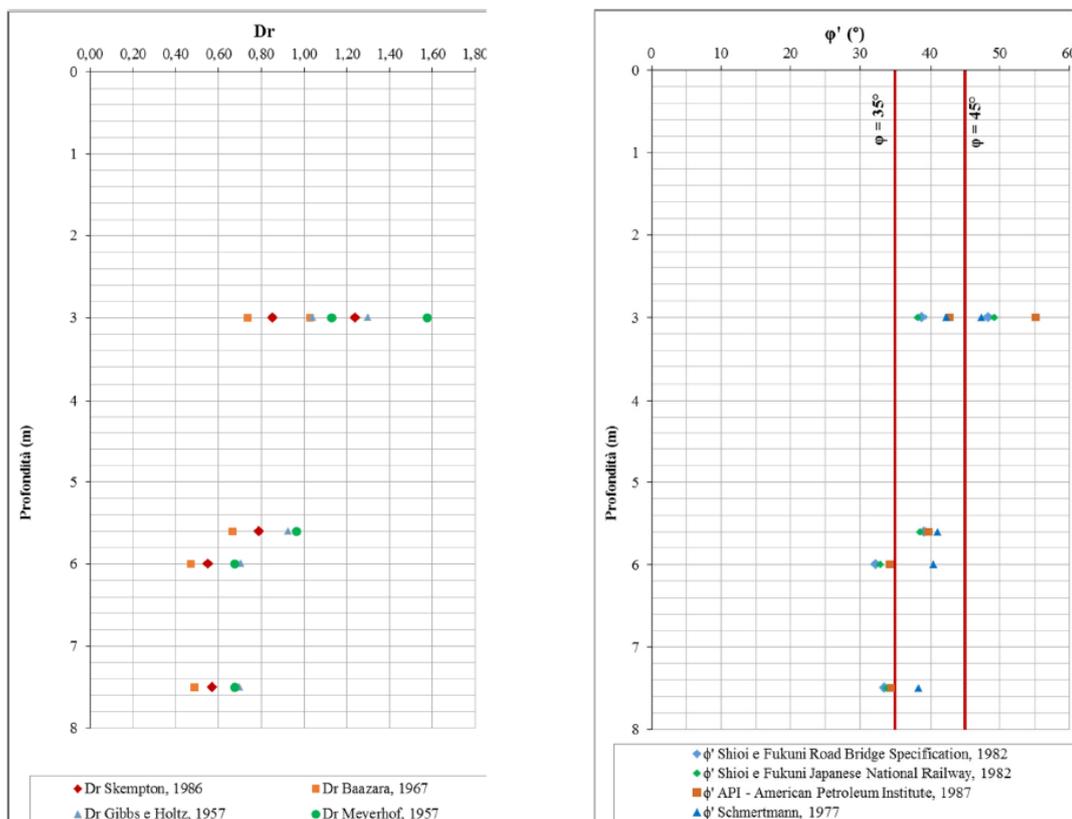


Figura 8-5: h – rilevato autostradale – densità relativa (a sinistra) e angolo di attrito (a destra) da elaborazione N_{SPT}

- Depositi alluvionali recenti (ar)

Per questi terreni la stima dei parametri si basa, oltre che sulle prove SPT, anche sulle prove pressiometriche. Nella figura seguente sono riportati i valori di N_{SPT} al variare della profondità. Dalle elaborazioni delle prove SPT, tramite correlazioni empiriche, sono stati ricavati i valori di densità relativa, angolo di attrito e modulo elastico.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 131 di 157

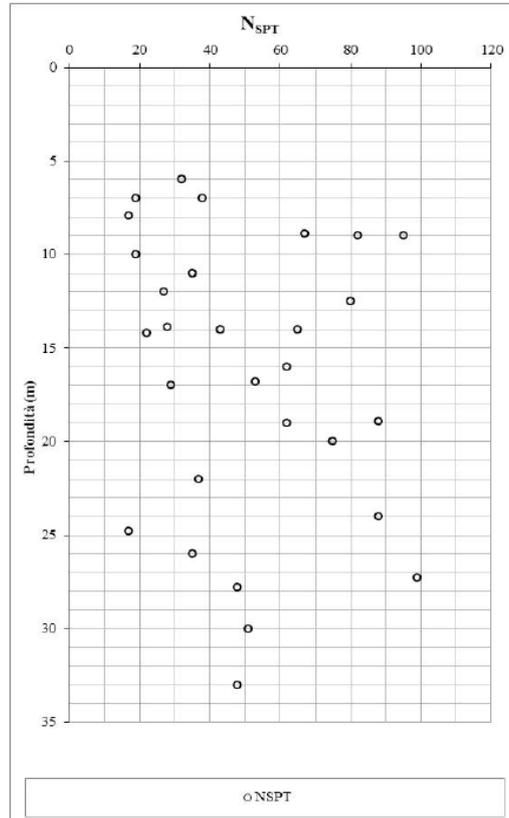


Figura 8-6: ar – depositi alluvionali recenti - N_{SPT}

Per l'angolo di attrito è stato considerato rappresentativo il seguente intervallo di valori:

$$35^\circ \leq \varphi \leq 45^\circ$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 132 di 157

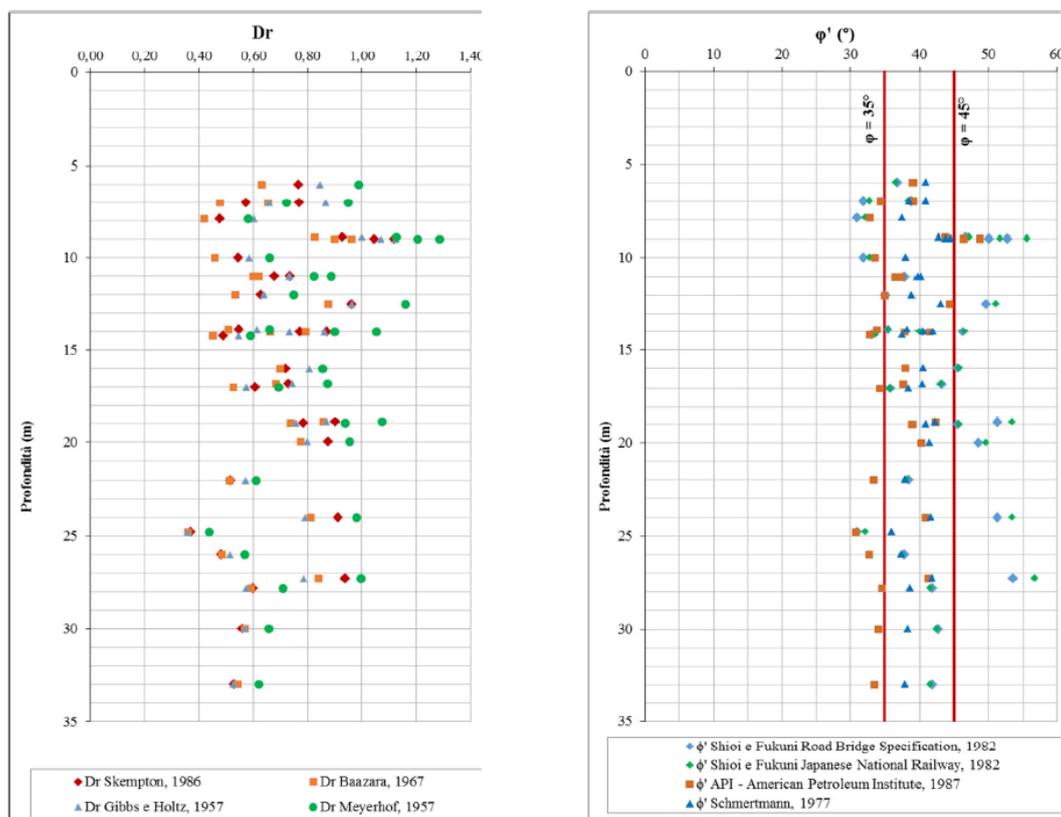


Figura 8-7: ar – depositi alluvionali recenti – densità relativa (a sinistra) e angolo di attrito (a destra) da elaborazione N_{SPT}

Per il modulo elastico derivante da elaborazione di prove SPT è stato scelto il seguente range:

$$35 \text{ MPa} \leq E_{SPT} \leq 80 \text{ MPa}$$

Le prove pressiometriche forniscono valori superiori alla media dei valori ricavati da correlazioni, con valori spesso superiore al limite massimo del range. Alcuni valori risultano superiori a 100 MPa nei primi 35 m di profondità, mentre a profondità maggiori di 35 m i valori sono molto superiori (intorno a 300 MPa)

In progetto definitivo è stato scelto il seguente range:

$$60 \text{ MPa} \leq E_{pressiometrica} \leq 90 \text{ MPa}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 133 di 157

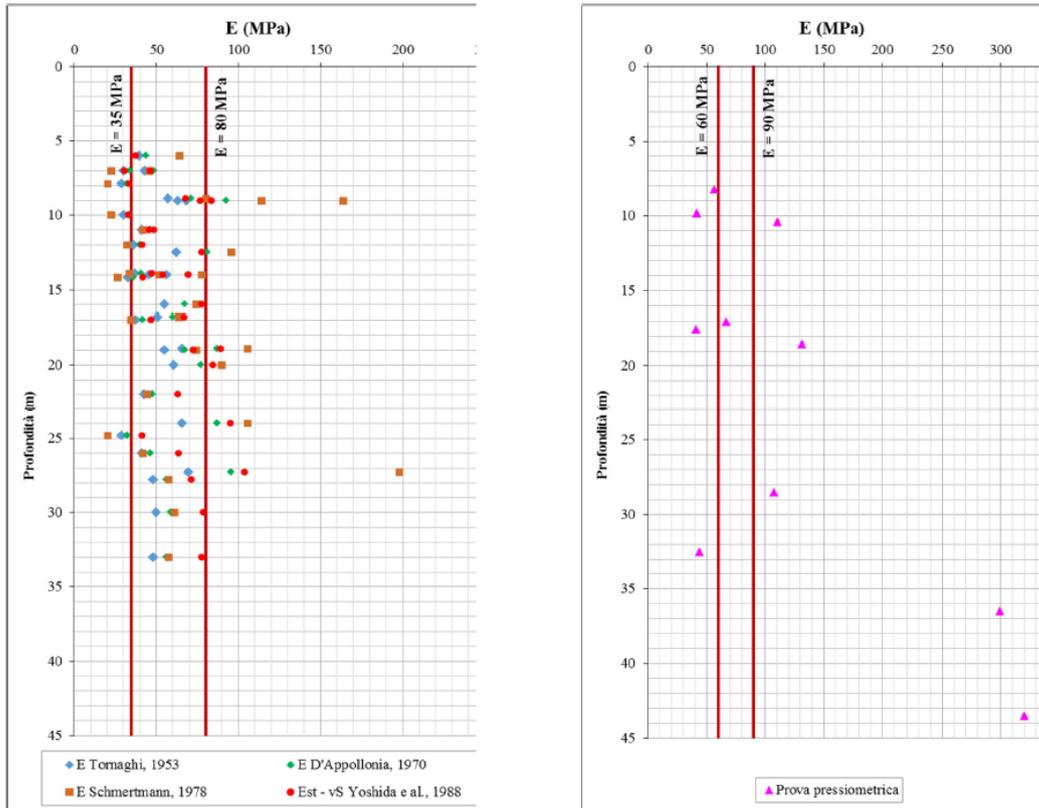


Figura 8-8: ar – depositi alluvionali recenti – modulo elastico da elaborazione N_{SPT} (a sinistra) e modulo elastico da prove pressiometriche (a destra)

Data la variabilità dei risultati ottenuti dalle prove pressiometriche, in fase di progetto definitivo sono stati esclusi dal range i valori di $E=300$ MPa e $E=320$ MPa, poiché discordanti con il resto dei dati disponibili.

Per la definizione del modulo sono state considerate anche le prove geofisiche, i cui risultati sono riportati nelle figure seguenti:

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 134 di 157

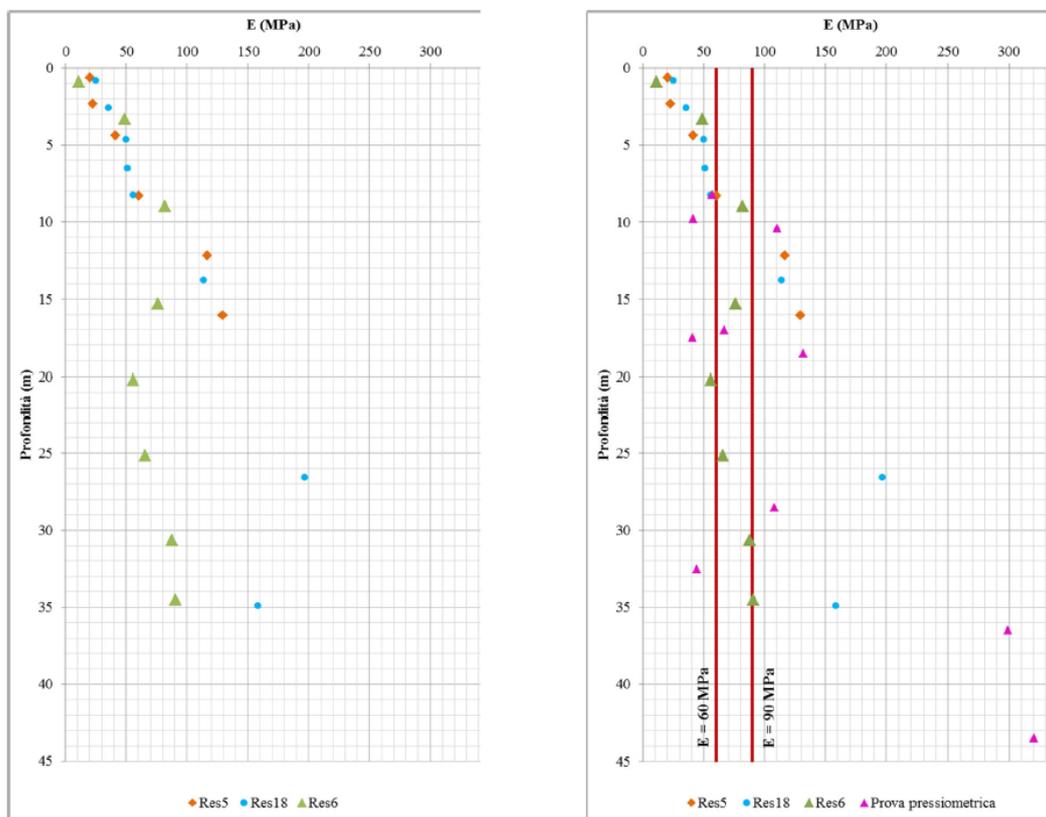


Figura 8-9: ar – depositi alluvionali recenti – modulo elastico da elaborazione geofisica (a sinistra) e modulo elastico da prove pressiometriche e geofisiche (a destra)

Inserendo nello stesso grafico i risultati delle prove geofisiche e delle prove pressiometriche, in progetto definitivo è stato identificato il medesimo range di variabilità:

$$60 \text{ MPa} \leq E \leq 90 \text{ MPa}$$

In ogni caso dall'insieme delle prove pressiometriche e geofisiche si evince una tendenza all'aumento dei moduli di deformabilità con la profondità.

Nella relazione geotecnica delle interconnessioni del PD IBL1 1B D 07 RB GN 0700 001 C sono stati adottati i seguenti valori caratteristici

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi = 37^\circ$$

$$E = 70 \text{ MPa}$$

8.2.2 Modello geologico-geotecnico progetto esecutivo

Per il progetto esecutivo sono stati eseguiti due sondaggi per ricostruire con maggiore dettaglio il modello geologico-geotecnico sotto il rilevato.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 135 di 157

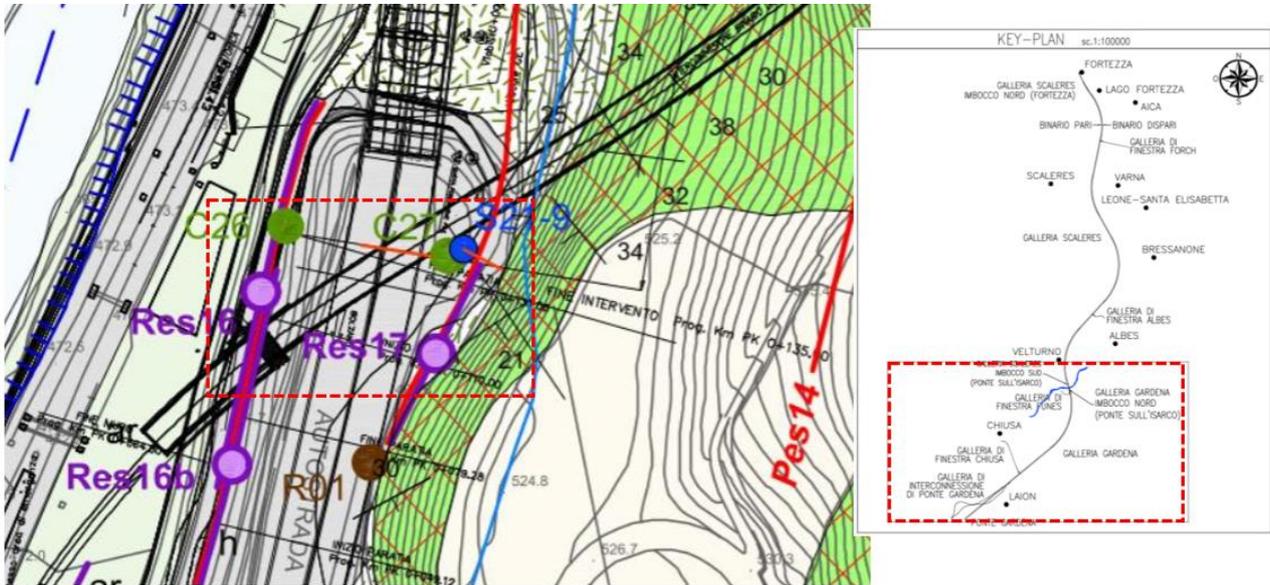


Figura 8-10: Stralcio della carta geologica di PE – zona interessata dal rilevato A22 in evidenza

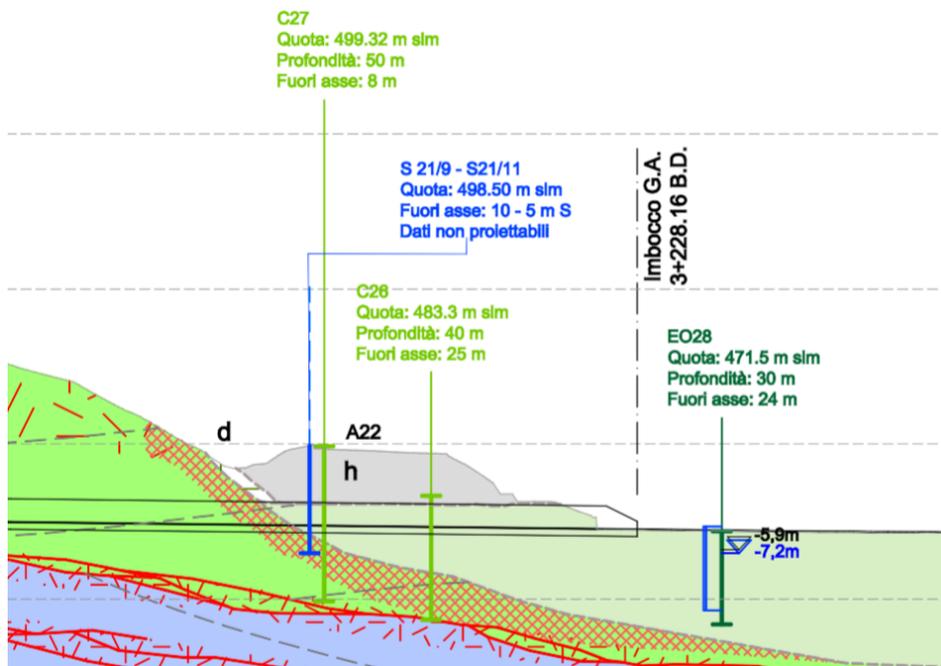


Figura 8-11: Stralcio del profilo geologico di PE – zona interessata dalla A22 in evidenza

A seguito della campagna di indagine integrativa, è stata ricostruita una sezione geologica trasversale riportata nella figura seguente.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 136 di 157

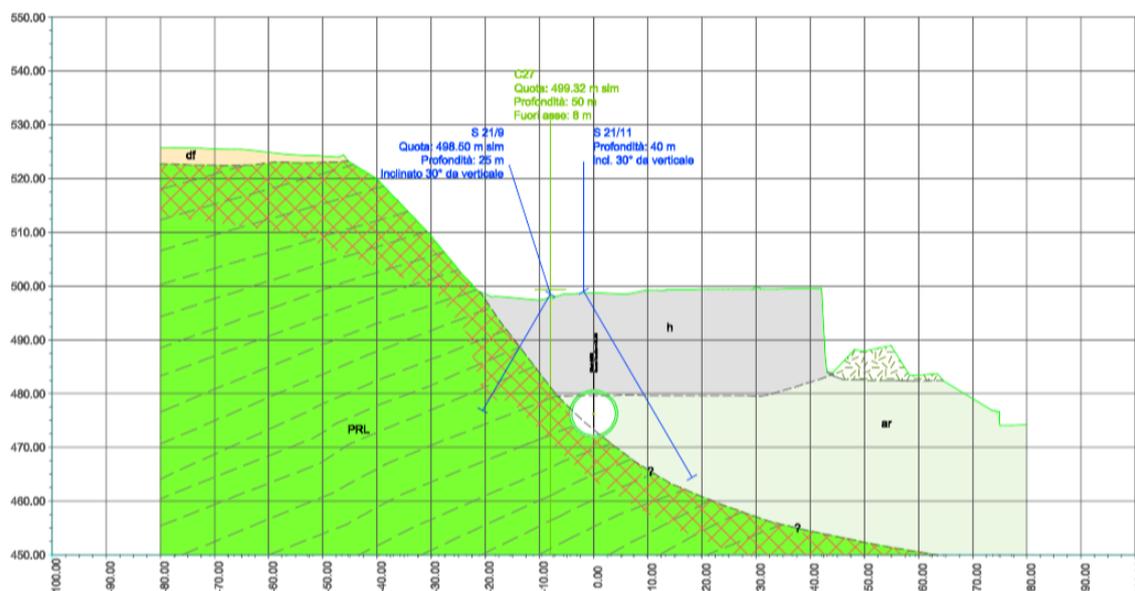


Figura 8-12: Sezione trasversale interferenza A22 – Progetto Esecutivo

Il modello geologico di progetto esecutivo è sostanzialmente uguale al progetto definitivo, a meno di una fascia di roccia detensionata PRL adiacente alla sezione di scavo.

Il passaggio tra rilevato e depositi alluvionali è ben identificato nel sondaggio S21/11, dove si riconosce con certezza uno strato più alterato con segni di pedogenizzazione che indica l'originario piano di campagna sul quale è stato impostato il rilevato. Il materiale del rilevato è chiaramente distinguibile da quello del sottostante deposito alluvionale.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 137 di 157



Figura 8-13: Cassetta 5 del sondaggio S21/11

Anche in questo caso si evidenzia una forte tridimensionalità del problema che ha suggerito di ricostruire un modello geologico 3D tramite Leapfrog che è stato poi direttamente importato nel modello di calcolo Plaxis 3D.

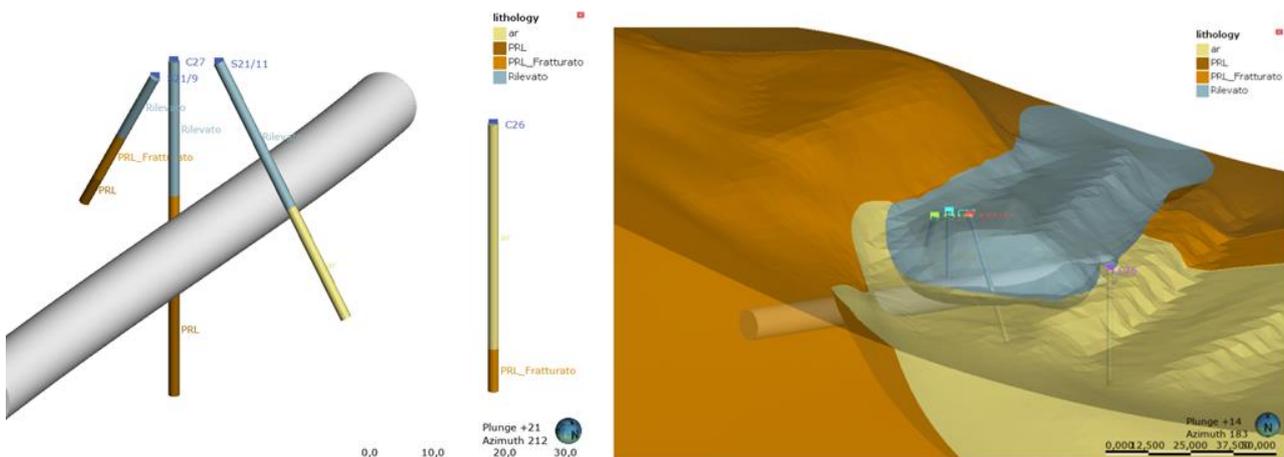


Figura 8-14: Anteprima modello 3D eseguito mediante il software Leapfrog

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 138 di 157

Come in progetto definitivo, per la valutazione delle caratteristiche geotecniche sia del rilevato autostradale, sia dei depositi alluvionali recenti, sono state considerate tutte le prove in sito e in laboratorio disponibili per la zona di interesse.

Di seguito si riporta la caratterizzazione.

- Rilevato autostradale (h)

Non sono state eseguite prove SPT aggiuntive avendo effettuato due sondaggi inclinati. Rimangono validi gli stessi dati di PD.

Per definire i valori del modulo elastico sono stati considerati oltre ai risultati delle prove SPT anche i risultati delle prove pressiometriche dei sondaggi integrativi S21/9 e S21/11. I valori del modulo da prove pressiometriche ricadono nel range 45-75 MPa.

Nella scelta del modulo si è preferito considerare come più affidabili i valori delle prove pressiometriche ed è stato scelto come caratteristico il valore più basso tra quelli misurati.

Il valore di 45 MPa è congruente con i valori che si ritengono accettabili per rilevati autostradali.

Assimilando il rilevato autostradale ad un ferroviario si potrebbe inoltre aumentare il valore dell'angolo di attrito fino a 38°, ma è stato preferito un approccio più cautelativo mantenendo lo stesso valore del PD.

I parametri caratteristici adottati nel PE per il rilevato sono quindi:

$$\varphi = 35^\circ$$

$$E = 45 \text{ MPa}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 139 di 157

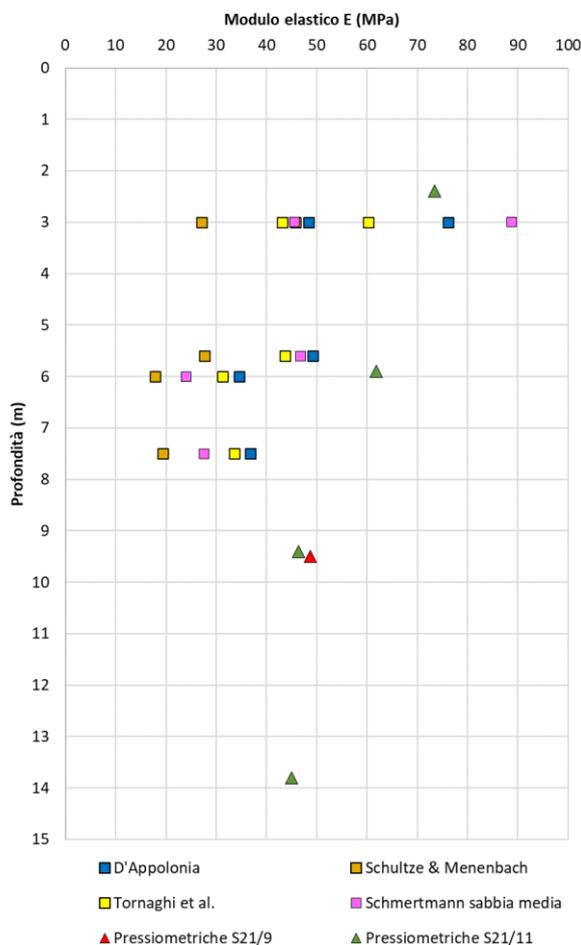


Figura 8-15: h – Rilevato autostradale – modulo elastico da elaborazione N_{SPT} e prova pressiometrica

- Depositi alluvionali recenti (ar)

Anche in questo caso i dati di base per le prove SPT sono uguali a quelle del PD, quindi, a parte una diversa trattazione statistica che porta ad un diverso range di valori, il valore caratteristico è stata confermato come quello del PD.

Con riferimento all'angolo di attrito riportato in Figura 8-17, si ritiene rappresentativo il seguente intervallo di valori:

$$32^\circ \leq \varphi \leq 44^\circ$$

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	IBOU	1AEZZ	GE	GN0000002	C	140 di 157

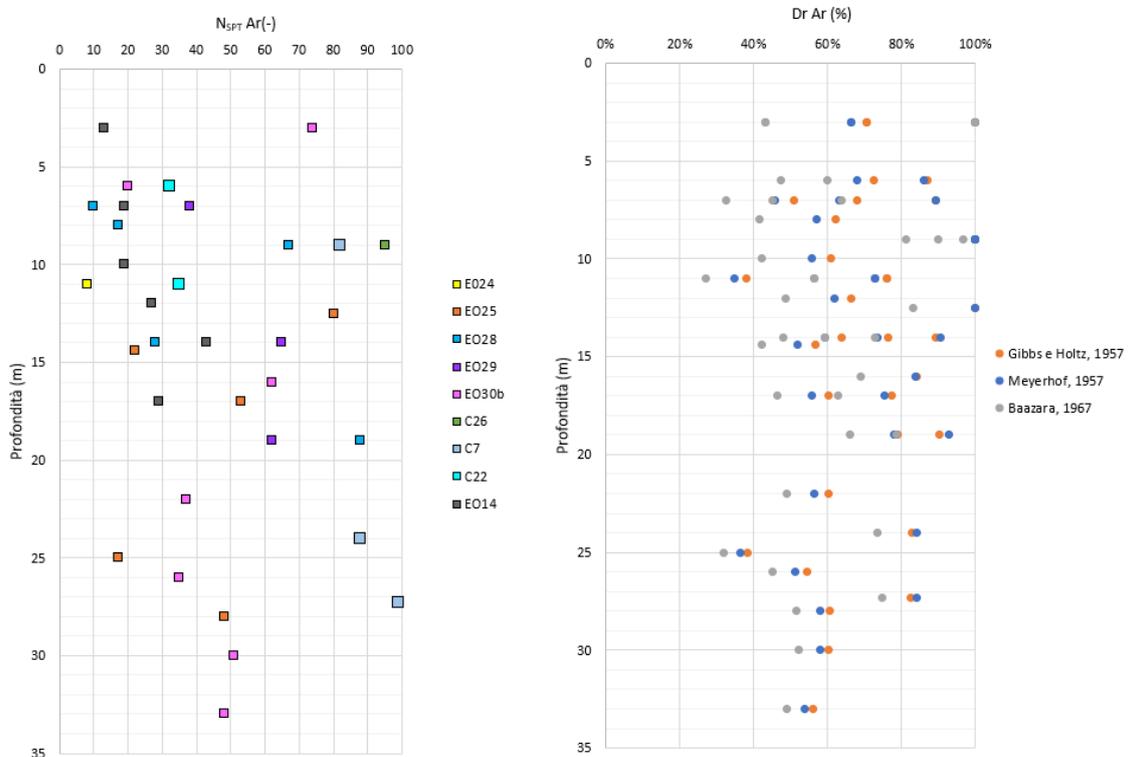


Figura 8-16: ar – Depositi alluvionali recenti valori di N_{SPT} (a sinistra) e densità relativa da elaborazione N_{SPT} (a destra)

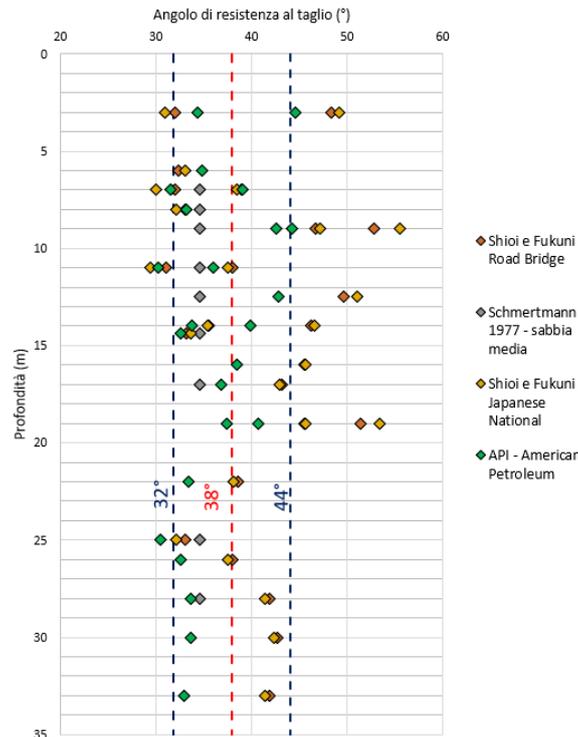


Figura 8-17: ar – Depositi alluvionali recenti – angolo di attrito da elaborazione N_{SPT}

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 141 di 157

Per definire i valori del modulo elastico sono stati considerati sia i risultati delle prove pressiometriche, sia quelli da elaborazione delle prove SPT.

Anche in questo caso sono state considerate più affidabili le risultanze delle prove pressiometriche rispetto a quelle SPT. Le prove pressiometriche possono dare indicazioni di maggiore affidabilità anche se si tratta di prove che interessano comunque porzioni di terreno che possono risultare più o meno disturbate. Le prove pressiometriche vengono eseguite da "tasche" di prova di diametro 50 mm eseguite all'interno del foro di sondaggio. Soprattutto se in presenza di ghiaie e clasti la creazione della tasca di prova può creare disturbi e sgrottamenti tali da rendere a volte impossibile la prova. Questo è quello che effettivamente si è verificato nel sondaggio S21/9 dove erano previste 8 prove nei depositi alluvionali e per i problemi descritti è stato possibile realizzare due sole prove. L'inclinazione del foro ha peggiorato le condizioni operative in quanto il foro doveva essere immediatamente rivestito per garantire la stabilità.

Le prove integrative hanno quindi fornito due soli valori aggiuntivi rispetto a quelle già disponibili nel PD e peraltro verosimilmente su tratti di foro disturbati.

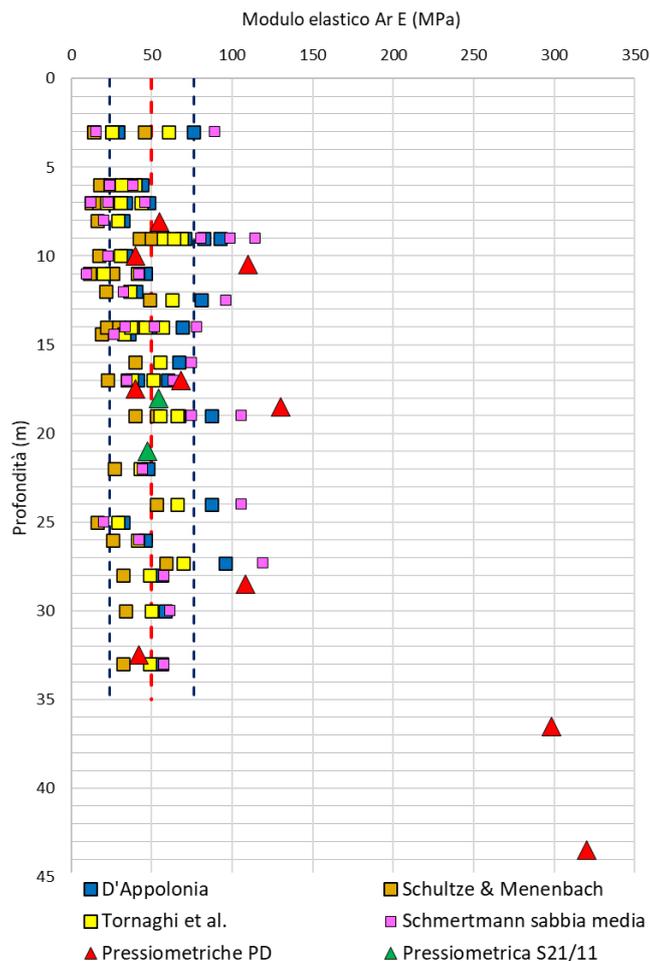


Figura 8-18: ar – Depositi alluvionali recenti – modulo elastico da elaborazione N_{SPT} e prove pressiometriche

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 142 di 157

Dall'insieme di queste considerazioni è da ritenere che le tecniche più affidabili per la stima delle caratteristiche di deformabilità in questi terreni siano le prove geofisiche (sismiche in particolare). Si tratta di prove che interessano terreni effettivamente indisturbati; pur trattandosi di indagini "indirette" la correlazione che lega le velocità delle onde di taglio al modulo di taglio è fondata su valide basi teoriche.

Per l'interferenza dell'Interconnessione Binario Dispari con la spalla del viadotto risultano particolarmente pertinenti le prove geofisiche MASW/Re.Mi. denominate Res16 e Res16b lungo il profilo Pes12, la cui planimetria si riporta nella figura seguente. La res 17 è molto accostata al versante.

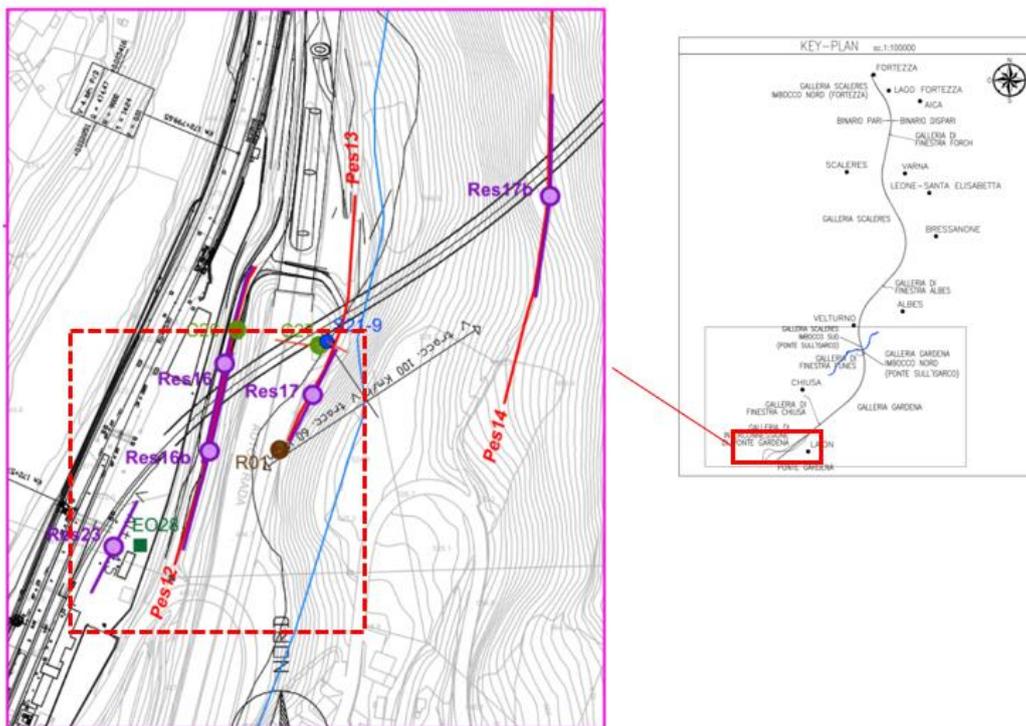


Figura 8-19: Planimetria prove geofisiche – zona di Ponte Gardena (in evidenza zona interessata dalla formazione ar)

Il modulo elastico E è calcolato, a partire dalla V_s secondo le seguenti formulazioni, applicando al modulo a piccole deformazioni E_0 il massimo valore di "degrado" (pari a 10):

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s .

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 143 di 157

Dalle prove nella zona di Ponte Gardena si ricavano velocità Vs in corrispondenza dell'asse della galleria dell'ordine di 450 m/s (Figura 8-20), dalle quali si ricava un modulo elastico operativo di circa 100 MPa (applicando il massimo valore di degrado pari a 10).

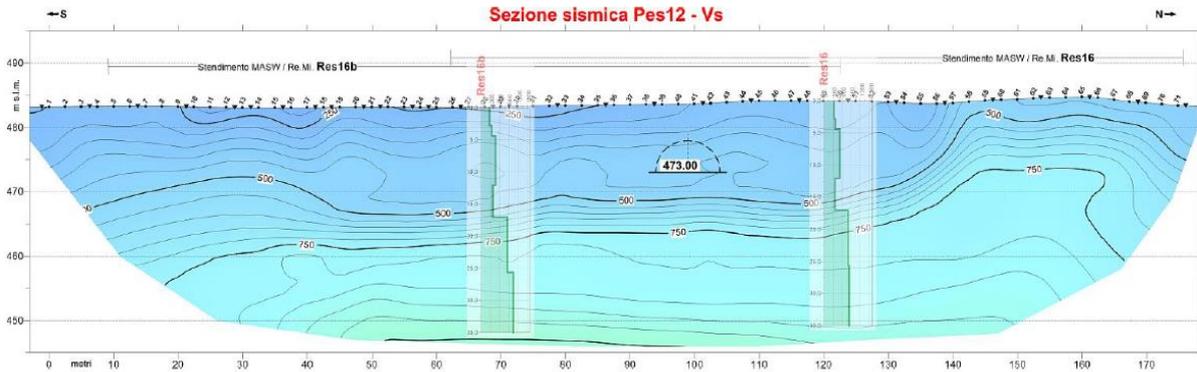


Figura 8-20: Sezione sismica Pes12 – Vs

Res16			Res16b		
Prof. (m dal p.c.)	Spessore strato (m)	Vs (m/s)	Prof. (m dal p.c.)	Spessore strato (m)	Vs (m/s)
0.0			0.0		
2.8	2.8	321	2.8	2.8	261
4.4	1.6	363	4.4	1.6	339
12.1	7.7	513	12.1	7.7	461
17.0	4.9	353	17.0	4.9	371
25.6	8.6	789	25.6	8.6	850
37.4	11.7	821	37.4	11.7	1053
70.3	33.0	858	54.2	16.8	1166
89.6	19.2	1018	90.1	35.9	1195
115.8	26.2	971	156.7	66.6	1021
153.1	37.4	1050	200.0	43.3	1263
200.0	46.9	1253			

Figura 8-21: Res16 e Res16b – valori di Vs

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 144 di 157

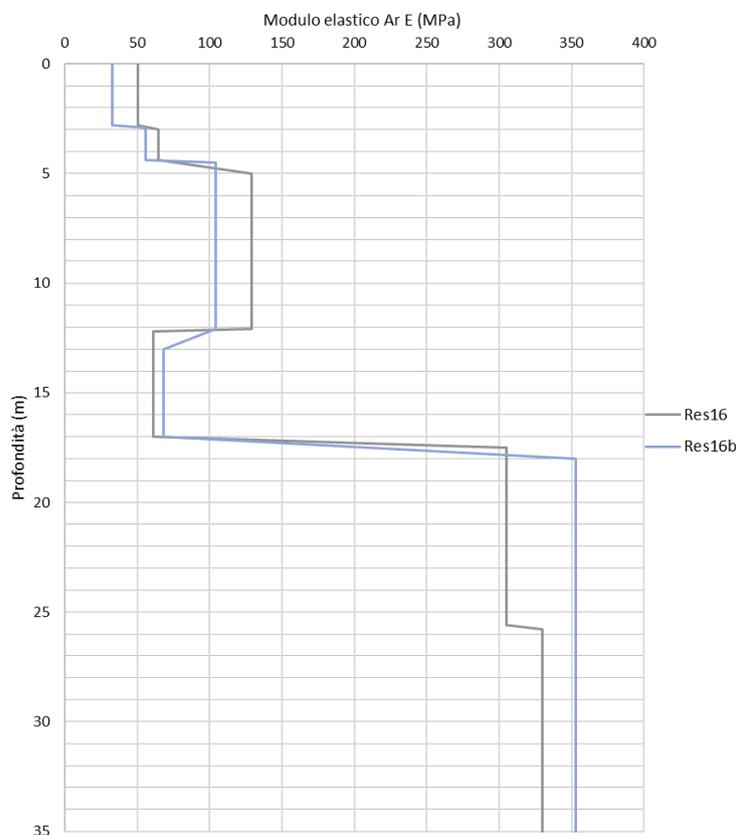


Figura 8-22: Modulo elastico – elaborazione prove geofisiche MASW

Dai risultati di tali prove si evince che il modulo varia da 30 MPa a 300 MPa con un lieve aumento con la profondità fino a 17m e poi con un brusco salto dei valori.

È possibile però che il forte aumento delle Vs sia legato alla presenza del substrato roccioso molto alterato anche se il sondaggio C26, eseguito nella stessa posizione della prospezione, indica la roccia a 35 m di profondità.

Sulla base dei sondaggi e delle prove geofisiche si ritiene quindi rappresentativo il seguente intervallo di valori per la quota di interesse dello scavo:

$$60 \text{ MPa} \leq E \leq 100 \text{ MPa}$$

L'aumento dei valori con la profondità giustifica l'adozione di un modello costitutivo "hardening soil".

Il valore caratteristico di 60 MPa è quindi da ritenersi quello "di partenza" del modello "hardening soil".

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 145 di 157

8.2.3 Confronto dei modelli geologico-geotecnici progetto definitivo-esecutivo rilevato A22

PROGETTO DEFINITIVO					PROGETTO ESECUTIVO				
Formazione/ EQ. Costitutiva	PARAMETRI UTILIZZATI				Formazione/ EQ. Costitutiva	PARAMETRI UTILIZZATI			
	γ (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)	E (MPa)		γ (kN/m ³)	φ (°)	c (kPa)	E (MPa)
Rilevato/ Mohr Coulomb	20	35	0	35	Rilevato/ Mohr Coulomb	20	35	0	45
Depositi/ Mohr Coulomb	20	37	0	70	Depositi/ Hardening soil	20	37	0	60
PRL/ Mohr Coulomb	27	46	173	1790	PRL detensionata/ Mohr Coulomb	27	44.8	95	1000

Tabella 8-7: A22 – parametri caratteristici a confronto

Da questo confronto si evince che l'unico parametro modificato è il modulo del rilevato, sulla base però di elementi e interpretazioni cautelative.

Per i depositi alluvionali il cambio riguarda il modello costitutivo in quanto i valori dei parametri sono congruenti tra loro in termini di parametri caratteristici e di range di variabilità.

Per questa ragione, gli interventi proposti a salvaguardia del Viadotto terranno in conto delle nuove condizioni geologiche-geotecniche di partenza.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1AEZZ</td> <td>GE</td> <td>GN0000002</td> <td>C</td> <td>146 di 157</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1AEZZ	GE	GN0000002	C	146 di 157
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1AEZZ	GE	GN0000002	C	146 di 157								

9. CARATTERIZZAZIONE DELLE ZONE DI FAGLIA

In questo capitolo è presentato lo studio relativo alla caratterizzazione delle zone di faglia presenti nella Galleria Gardena e nelle Interconnessioni di Ponte Gardena.

I parametri per la Galleria Gardena sono riassunti nella tabella seguente.

APPALTATORE:  		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO				
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1AEZZ	GE	GN0000002	C 147 di 157

N.	PK rif.	Litotipo	Evidenza geomorfologica	Affioramenti della zona di faglia in superficie	Intersezione della zona di faglia nei sondaggi	Affidabilità dell'esistenza della faglia	Affidabilità ricostruzione geometrica	GSI (-)
1	16+110	Porfiroidi (p)	SI - Fotolineamento	Evidenze da PD: stop 1131-1132: evidenziate scarpate di faglia in roccia, no misure di giacitura Evidenze da PE: nessuna	EO31: evidenze di faglie metriche alle profondità di 20-30-40 - 50 m circa, 111 e da 115 a 120 m	Foto interpretata	media	20
2	16+440	Porfiroidi (p)	NO	Evidenze da PD: nessuna Evidenze da PE: nessuna	EO31: evidenze di faglie metriche alle profondità di 40 - 50 m circa; C9 zona di faglia di alcuni metri di spessore a circa 130 m di profondità - Faglia interpolata tra questi due sondaggi	certa	bassa	20
3	16+550	Porfiroidi (p)	SI-Fotolineamento	Evidenze da PD: stop 1118-1119 - rilevata zona di faglia subverticale con Direzione N330, spessore 30-40 cm - damage zone 1 m. Evidenze da PE: stop 126: misurato piani di faglia con giacitura 320/86 e 280/61	NO	Foto interpretata	media	20
4	16+750	Fillade qz.(BSSa) / Fillade carb. (BSSc)	SI - Incisione Val di Funes	Faglia della Val di Funes - Evidenze da PD: Stop 829-834-1170 Evidenze da PE: stop 122-125-126: rilevati numerosi piani di taglio di spessore dm-m con giacitura coerente con la faglia di Funes ma anche molti piani trasversali, che separano litoni di roccia +/- fratturata, Rilevato piano di faglia anche nell'affioramento appena a monte dell'ubicazione del sondaggio integrativo S21/5	C10: presenza di zone di faglia di spessore metrico nei primi 20 m circa e verso il fondo foro - EO19: zona di faglia/cataclaste di spessore metrico intervallate da settori di roccia fratturata nei primi 30 m circa sotto la copertura superficiale - S21/5: zona di faglia/cataclaste tra 40 e 55 m circa con litone di filladi carboniose; altre zone cataclastiche plurim m a 63 m, 67-68 m 71 m, 81 m e 85 m	certa	buona	20-35
5	17+475	Fillade qz. (BSSa) / Fillade carb. (BSSc)	SI, vallecola a Sud del rilievo di Gudon al contatto tra FMG e BSSc	Evidenze da PD: nessuna Evidenze da PE: nessuna	Sondaggi S216/a e S21/6b - tra 135-140 (b) e 152-155 (a) individuata importante struttura di faglia che separa filladi carboniose a tetto da filladi molto ricche in quarzo. Spessori di circa 15 m di gouge e breccia a matrice argillosa. Giacitura ipotizzata 230/20	certa	Media/bassa	20
6	18+610	Fillade carb. (BSSc) / Fillade qz. (BSSa)	SI - Incisione Rio Secco	Evidenze da PD: dati stop 1090 - faglia nel rio ad alto angolo 220/80 (non coerente con proiezione su profilo) Evidenze da PE: Verificato contatto nel rio (stop 306 e seguenti), no evidenze certe di faglia al contatto, presenti però piani di taglio trasversali allo stesso.		incerta	bassa	35
7	19+460	Fillade qz.(BSSa)	SI - Fotolineamento su incisione rettilinea trasversale a max pendenza versante	Evidenze da PD: nessuna Evidenze da PE: nessuna	NO	Foto interpretata	media	40
8	21+275	Fillade qz. (BSSa)	SI - Fotolineamento N-S molto lungo - allineamento incisione trasversale a max pendenza versante (a N) e scarpata (a S)	Evidenze da PD: dati stop da 600 a 605: in quest'ultimo affiora piano di faglia ad alto angolo Evidenze da PE: nessuna	NO	incerta	media	40

Tab. 30: Parametri geotecnici zone di faglia- Galleria Gardena

La valutazione dell'indice di GSI, definita in fase di Progetto Definitivo sulla base del valore di RMR, in alcune zone risulta eccessivamente cautelativa. A tal proposito, in questa sede, la valutazione del GSI per le zone di faglia è stata eseguita applicando un metodo "quantitativo" che prevede l'utilizzo dei soli dati di RQD derivanti dai carotaggi e dalle condizioni delle discontinuità definite dal valore di JCond₈₉ ("Joint Condition", secondo il sistema di Bieniawski del 1989).

Il sistema proposto è rappresentato dalla formula:

$$GSI = 1.5 \cdot JCond_{89} + \frac{RQD}{2}$$

Per la valutazione del valore di JCond₈₉ sono stati assegnati dei punteggi relativi alle condizioni delle discontinuità sulla base delle descrizioni presenti nelle schede di rilievo geomeccanico.

La tabella di riferimento, ripresa dalla pubblicazione citata, è presentata di seguito:

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 148 di 157

Table 1: Definition of JCond₉₉, after Bieniawski (1989) [5].

Condition of discontinuities	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous
Rating	30	25	20	10	0
Guidelines for classification of discontinuity conditions					
Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 to 3 m	3 to 10 m	10 to 20 m	More than 20 m
Rating	6	4	2	1	0
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	More than 5 mm
Rating	6	5	4	1	0
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided
Rating	6	5	3	1	0
Infilling (gouge)	None	Hard infilling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft infilling < 5 mm	Soft infilling > 5 mm
Rating	6	4	2	2	0
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderate weathering	Highly weathered	Decomposed
Rating	6	5	3	1	0

Si precisa che nel caso in cui il sondaggio intercetta direttamente la zona di danneggiamento, come accade per le faglie riportate di seguito, alla voce relativa alla persistenza delle discontinuità è stato assegnato cautelativamente un punteggio pari a zero ed alla voce relativa al riempimento, anche se indicato “assente” sulle schede, è stato assegnato un punteggio pari a 3 (valore medio).

n° faglia da profilo	Sondaggio
4	C10, EO19, S21/5
5	S21/6a, S21/6b

Tab. 31: Faglie intercettate dai sondaggi profondi

I sondaggi riportati nella tabella precedente intercettano direttamente la zona danneggiata della Val di Funes e la fascia danneggiata di contatto tra le BSSa e BSSc.

Inoltre, sebbene i valori di RQD siano stati forniti per ogni metro di avanzamento del sondaggio, si è scelto di rappresentare i valori medi per tratti lunghi 10m per tener conto della variabilità dei parametri alla scala della galleria.

Nei grafici che seguono sono mostrati i valori di GSI e RQD, in termini di valori medi ogni 10 m (linea rossa) e relative deviazioni (linee blu tratteggiate) relativi alla faglia n°4 nella zona della Val di Funes.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 149 di 157

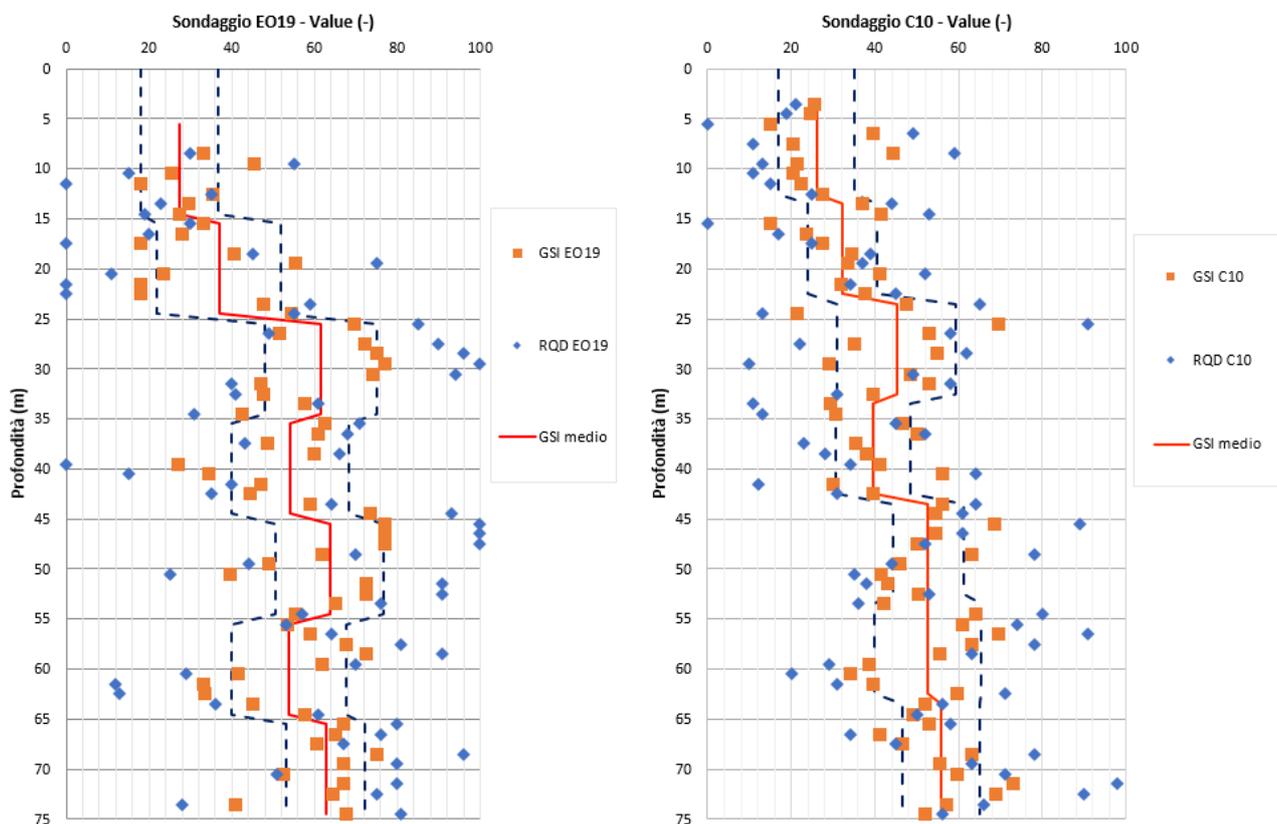


Fig. 102: Andamento dei valori di RQD e GSI con la profondità – Val di Funes

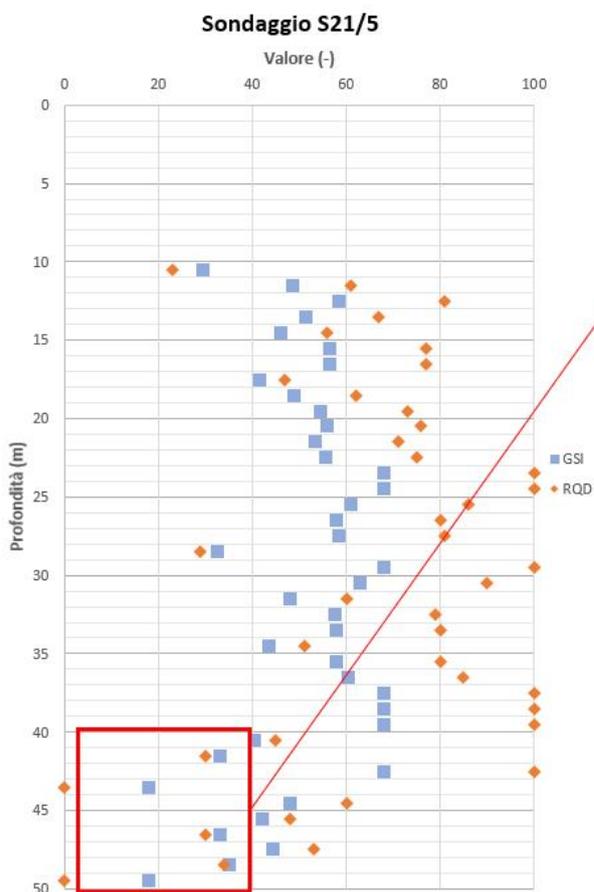
Dall'analisi dei sondaggi si evince che nei tratti attraversati dalla faglia i valori di GSI sono comunque più alti di quelli identificati in sede di progetto definitivo (GSI=10). A tal proposito si ritiene opportuno in questa sede assegnare alla zona fratturata della Val di Funes valori di GSI pari a 25-30, che rappresentano comunque i limiti inferiori dei range identificati e riportati in Fig. 102.

Dalle prove dilatometriche eseguite per il sondaggio S21/5 in fase di progetto esecutivo si ricavano valori di modulo dell'ammasso circa pari a 1400 MPa per la zona fratturata, in linea con il range riportato nel profilo geotecnico per la faglia 4 ([9]).

In Fig. 103 è riportato il grafico con i valori di RQD e GSI per ogni metro di profondità ottenuti dal sondaggio S21/5: dalle carote è possibile identificare la zona di danneggiamento intorno ai 40-50m di profondità e come riportato sulle stratigrafie, in tali zone l'ammasso si presenta molto fratturato e tettonizzato.

Nonostante ciò, i valori di GSI variano da 20 a 40, per tale motivo si ritiene opportuno attribuire alla zona di danneggiamento un range di valori pari a 20-35.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 150 di 157



Roccia fratturata e tettonizzata di colore grigio con noduli di quarzo e vene ripiegate di dimensioni centimetriche con evidente dislocazione/deformazione; da 41,50 a 41,80 m e da 42,80 a 43,0 m materiale fine di colore nerastro.

Roccia molto fratturata, tettonizzata e alterata di colore grigio scuro-nerastro con vene e noduli di quarzo di dimensioni da millimetriche a decimetriche, in alcuni punti ripiegate e con evidente di dislocazione/deformazione; presenza discontinuità (superfici di scistosità; inclinazione tra 0° e 30°), fratture da lisce a leggermente rugose suborizzontali e con patine di alterazione pulverulente di colore grigio-verdastro, saponose al tatto (Fillade carbonifera).

Fig. 103: Andamento dei valori di RQD e GSI con la profondità e cassette del sondaggio S21/5

Per quanto riguarda la faglia n°5 questa viene intercettata dai sondaggi eseguiti in fase di Progetto Esecutivo S21/6a e S21/6b; in assenza delle schede geomeccaniche non è stato possibile rivalutare il valore di GSI partendo dai valori di RQD come esposto precedentemente, per tale motivo sono rimasti invariati i parametri definiti in Progetto Definitivo.

Nel grafico seguente sono riportati i valori di RQD per ogni metro in funzione della profondità di indagine: dai risultati e dalle descrizioni delle carote emerge che la zona fratturata viene intercettata ad una profondità di circa 140 m con valori di RQD inferiori al 50% indicando dunque un materiale scarso. Nelle descrizioni stratigrafiche la roccia viene descritta come molto fratturata e alterata.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 151 di 157

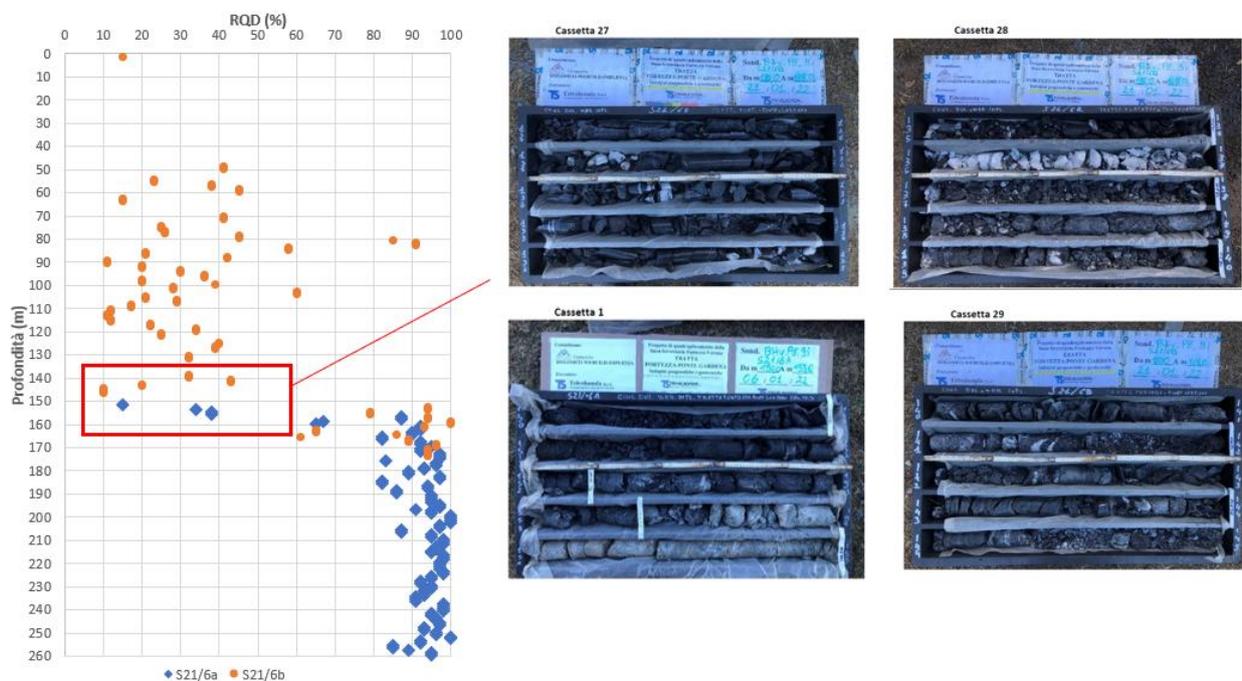


Fig. 104: Andamento dei valori di RQD con la profondità e cassette dei sondaggi S21/6a e S21/6b

Per quanto riguarda le Gallerie di Interconnessione di Ponte Gardena, la cui tabella con le zone di faglia è riportata di seguito, per il riesame delle caratteristiche della faglia 9-10 si è fatto riferimento all'unico sondaggio disponibile EP6 della Galleria Gardena la intercetta, mentre per le faglie 13-14 si è fatto riferimento ai sondaggi EP7 e SPG1.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 152 di 157

n° faglia da profilo geotecnico	copertura (m)	Terreno attraversato	Affidabilità dell'esistenza della faglia	Intersezione della zona di faglia nei sondaggi	Affioramenti della zona di faglia in superficie da Progetto Definitivo	Affioramenti della zona di faglia in superficie da Progetto Esecutivo	GSI
							(-)
9-10	450-600	BSSa/BSSb	certa	EP6	Stop 1089: indicata genericamente Faglia lungo il rio, ma dalle foto non sembra essere di notevole spessore	Stop n 190. Tracce di deformazione subparallela alla scistosità ma più inclinata rispetto a struttura principale - giacitura 166/19. Nell'alveo del Rio della Gola non affiora la roccia quindi non si può escludere la presenza di una struttura deformativa.	25
11	300-450	BSSb	certa		-	-	25
12	300-450	BSSb	incerta	-	-	-	25
13	150-300	BSSb	certa	EP7; SPG1	-	-	15
14	100-150	BSSb/PRL	certa		-	-	10

Tab. 32: Parametri geotecnici zone di faglia- Gallerie di Interconnessione di Ponte Gardena

Tale zona di danneggiamento indica il sovrascorrimento che impila a basso angolo le filladi (BSSb) sulle filladi ricche in quarzo (BBSa), all'interno delle quali la galleria di interconnessione permane fino a raccordarsi con la galleria di linea.

In Fig. 105 è riportato il grafico con i valori di RQD e GSI e dalle carote del sondaggio si evince che alla profondità di circa 290 m viene intercettato un tratto di ammasso fortemente tettonizzato.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 153 di 157

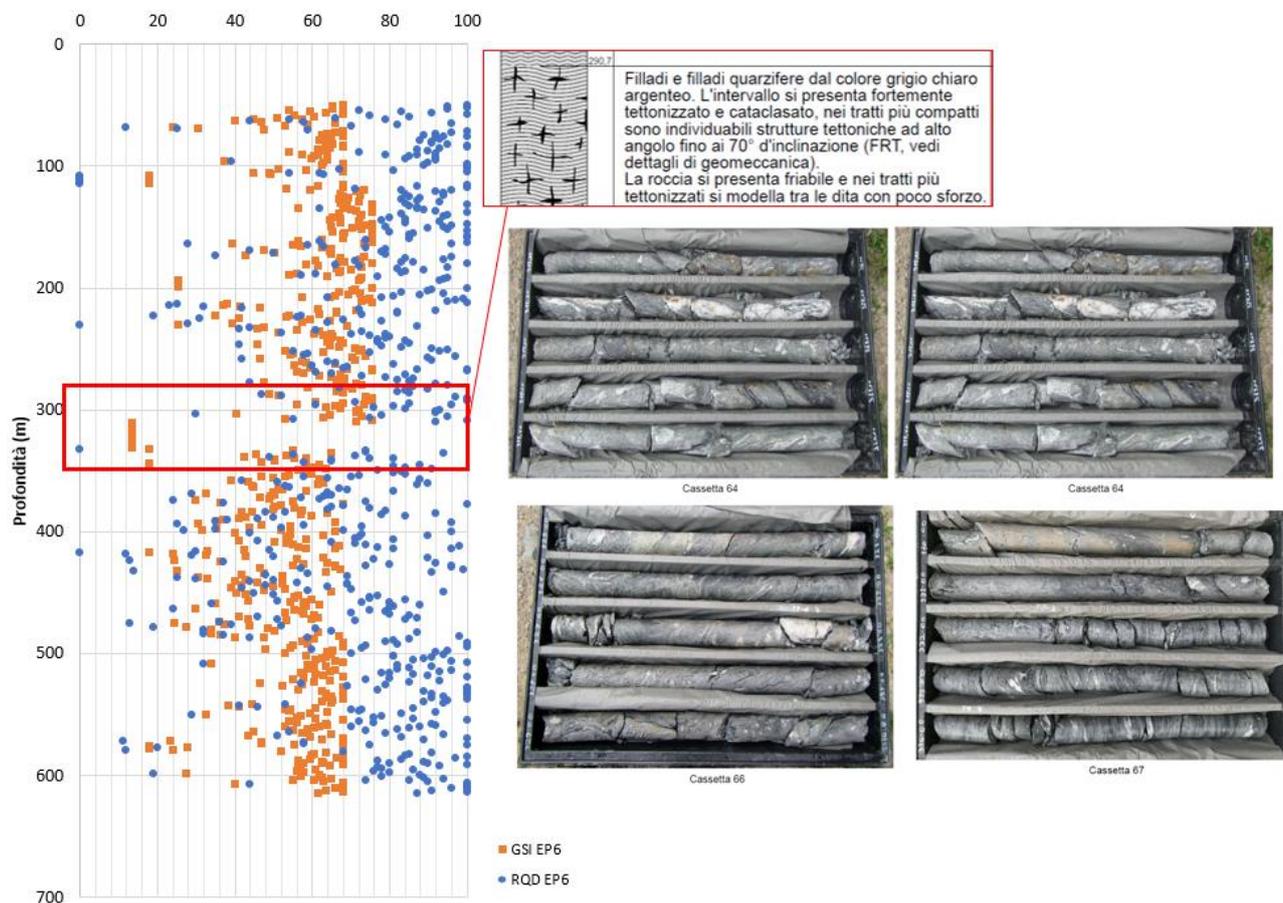


Fig. 105: Andamento dei valori di RQD e GSI con la profondità e cassette del sondaggio EP6

Sebbene nella zona tettonizzata i valori di GSI con il metodo J_{con89} variano fino a 45, si ritiene corretta la scelta cautelativa di assegnare per tale faglia un valore di GSI pari a 25.

Nei grafici che seguono sono mostrati i valori di GSI e RQD relativi alle faglie 13 e 14 intercettate dai sondaggi EP7 e SPG1. Come si evince dal grafico, tra 215 e 260 m circa di profondità del sondaggio EP7, sono presenti vari settori molto fratturati (Fig. 106).

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 154 di 157

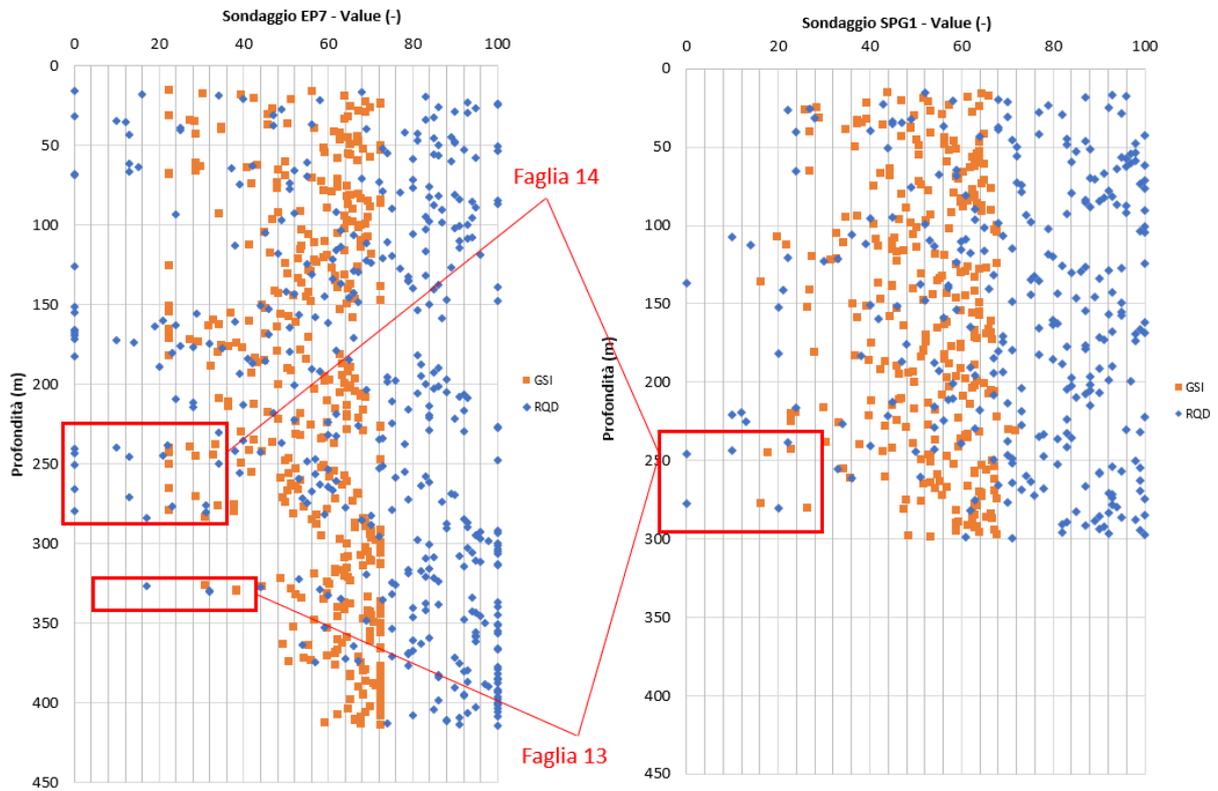


Fig. 106: Andamento dei valori di RQD e GSI con la profondità sondaggi EP7 e SPG1

Sebbene nella zona tettonizzata i valori di GSI con il metodo J_{con89} risultano essere superiori a 20, si ritiene corretta la scelta cautelativa di assegnare per tale faglia un valore di GSI pari a 10-15.

APPALDATTORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 155 di 157

10. BIBLIOGRAFIA

- [75]Brown E.T., Hoek B. (1978). Trends in relationships between measured In-Situ stresses and depth – Technical Note;
- [76]Hoek E., Brown E.T. (1997), "Practical estimates of rock mass strength", Intl. J. Rock Mech. & Geomechanics Abstracts, 1165-1186;
- [77]Hoek E., Carranza-Torres C., Cortum B. (2002), "Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition";
- [78]Hoek E., Diederichs M. S. (2006), "Empirical Estimation of rock mass Modulus", Intl. J. Rock Mech. & Mining Sciences 43 (2006), 203-215;
- [79]Baldi G., Jamiolkowski M., Lo Presti D.C.F., Manfredini G., Rix G.J. (1989) "Italian experiences in assessing shear wave velocity from CPT and SPT" Earthquake Geotechnical Engineering, Proc. of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th Int. Conf. on S.M.F.E., Rio de Janeiro, Brasil, pp. 157-168.
- [80]Balmer G. (1952) "A general analytical solution for Mohr's envelope" ASTM, 52.
- [81]Berardi R. (1999) "Non linear elastic approaches in foundation design" Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Torino, Balkema.
- [82]Berardi R. , Bellingeri P. (1998). "Deformabilità degli ammassi rocciosi da approcci empirici: influenza della qualità del materiale roccioso e dello stato di sforzo in sito" Rivista Italiana di Geotecnica, Vol. 32 (1), Patron Ed., 39-62.
- [83]Bieniawski Z.T. (1978) "Determining rock mass deformability – Experience from case histories!" Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 15:237-248.
- [84]Bieniawski Z.T. (1989) "Engineering Rock Mass Classifications" New York, John Wiley & Sons. [83]. Bolton (1986) "The strength and dilatancy of sands" Geotechnique 36 , n° 1.
- [85]Brown E.T., Hoek E. (1988) "Discussion on paper n° 20431 by R. Ucae entitled "Determination of shear failure envelope in rock masses" Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 114, n° 3.
- [86]Burland, J.B. (1990). On the compressibility and shear strength of natural clays. Géotechnique 40, n° 3, 329- 378.
- [87]Byrne P.M., Salgado F.M., Howie J.A. (1990) "Relationship between the unload shear modulus from pressuremeter tests and the maximum shear modulus for sand" Proc. III International Symposium on pressuremeter (ISP3), Oxford, Thomas Telford, London.
- [88] Chandler R.J., de Freitas M.H., Marinos P. (2004) "Geotechnical characterisation of soils and rocks: a geological perspective" Advances in Geotechnical Engineering, The Skempton Conference, 2004, Thomas Telford, London.
- [89]Clayton C.R.I. (1995) "The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use" CIRIA Report n° 143, 1995.
- [89]. Cubrinowski M., Ishihara K. (1999) "Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils" Soils and Foundations, vol. 39, n° 5, pp. 61-71.
- [90]Durgunoglu H.T., Mitchell J.K. (1975) "Static penetration resistance of soils, I -Analyses, II - Evaluation of the theory and interpretation for practice" aSCE Specialty Conference on in Situ Measurements of Soil Properties, Raleigh NC, V.I..

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 156 di 157

- [91] Elson W.K. (1984) "Design of laterally-loaded piles" CIRIA Report 103.
- [92] Fahey M. (1992) "Shear modulus of cohesionless soil: variation with stress and strain level" Canadian Geotechnical Journal, n°30.
- [93] Fahey M., Carter J.P. (1993) "A finite element study of the pressuremeter test in sand using a nonlinear elastic plastic model" Canadian Geotechnical Journal, n°29.
- [94] Fourmaintraux D. (1976) "Characterization of rocks: laboratory tests". Chapter 4 in "Mècanique des roches appliquée aux ouvrages du génie civil" by M. Panet et al. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- [95] Goodman R.E. (1989) "Introduction to rock mechanics". Second edition, John Wiley & Sons.
- [96] Hoek E., Brown E.T. (1980) "Underground excavations in rock" London, Institution of Mining and Metallurgy.
- [97] Hoek E. (1983) "Strength of jointed rock masses" Géotechnique, 33, n° 3.
- [98] Hoek E., Brown E.T. (1988) "The Hoek-Brown failure criterion – A 1988 update" Proc. of 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada.
- [99] Hoek E. (1990) "Estimating Mohr-Coulomb friction and cohesion values from the Hoek-Brown failure criterion" Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 27.
- [100] Hoek E., Wood D., Shah S. (1992) "A modified Hoek-Brown failure criterions for jointed rock masses" Proc. Int. ISRM Symposium on Rock Characterisation, EUROCK'92, Chester, United Kingdom.
- [101] Hoek E., Kaiser P.K., Bawden W.F. (1997) "Support of underground excavations in hard rock" Rotterdam, A.A. Balkema.
- [102] Hoek E., Marinos P., Benissi M. (1998) "Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses" The Case of Athens Schist Formation, Bull. Engg, Geol, Env. 57(2), 151-160.
- [103] Hoek E., Carranza-Torres C.T., Corkum B. (2002) "Hoek-Brown failure criterion- 2002 edition" Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting in Toronto, July.
- [104] Ishihara K., Tsukamoto Y., Shimizu Y. (2001) "Estimate of relative density from in-situ penetration tests" Proceedings In-situ 2001, Bali.
- [105] Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.
- [106] Ladd C.C., Foot R. (1974) "A new design procedure for stability of soft clays" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol.100, n° 7.
- [107] Ladd C.C., Foot R., Ishihara K., Schlosser F., Poulos H.G. (1977) "Stress deformation and strength characteristics" S.O.A. Report, Proc. IX Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Tokyo, Vol. 2.
- [108] Londe P. (1988) "Discussion on paper n° 20431 by R. Ucae entitled "Determination of shear failure envelope in rock masses" Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 114, n° 3.
- [109] Lo Presti D.C.F. (1989) "Proprietà dinamiche dei terreni" Atti delle Conferenze di Geotecnica di Torino, 14th Ciclo, Comportamento dei terreni e delle fondazioni in campo dinamico.

APPALTAZIONE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
Galleria Gardena e Interconnessioni Relazione geotecnica Galleria Gardena e Interconnessioni	COMMESSA IBOU	LOTTO 1AEZZ	CODIFICA GE	DOCUMENTO GN0000002	REV. C	FOGLIO. 157 di 157

- [110] Marchetti S. (1985) "On the field determination of ko in sand" Discussion Session 2A, 11th ICSMFE, S. Francisco.
- [111] Marinos P., Hoek E. (2000) "GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation" GEO-ENG.
- [112] Matlock, H., Reese, L.C. (1960). "Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles". Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, V.86, No.SM5, pp.63-91.
- [113] Morgenstern N.R. (1990) "Instability mechanisms in stiff soils and weak rocks" Proc. X Southeast Asian Geotechnical Conference, Taipei, vol.2, pag.27.
- [114] Ohta Y., Goto N. (1978) "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes" Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.6.
- [115] Reese L.C., Cox W.R., Koop F.D. (1974) "Analysis of laterally loaded piles in sand" Proc. VI Offshore Technology Conference, OTC 2080, Houston, Texas.
- [116] Rocchi G.F. (2003) "Correlazione empirica tra coefficiente di permeabilità, indice dei vuoti e caratteristiche di plasticità in argille e limi" Documento interno Studio Geotecnico Italiano.
- [117] Serafim J.L., Pereira J.P. (1983) "Considerations of the geomechanic classification of Bieniawski" Proc. Int. Symp. On Engg, Geol. And Underground Constr. (L.N.E.C., Lisbon, Portugal), Vol.1, Section 2, pp.33-42.
- [118] Simpson B., Calabresi G., Sommer H., Wallays M. (1979) "Design parameters for stiff clays" General Report, Proc. 7th ECSMFE, Brighton.
- [119] Sjöberg J. (1997) "Estimating rock mass strength using the Hoek-Brown failure criterion and rock mass classification – A review and application to the Aznalcollar Open Pit" Internal Report, Division of Rock Mechanics, Lulea University of Technology.
- [120] Skempton A.W. (1986) "Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation" Geotechnique 36, n° 3.
- [121] Somerville S.H. (1986) "Control of groundwater for temporary works" CIRIA Report 113.
- [122] Stroud M.A. (1974) "The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks" Proceedings ESOPTI.
- [123] Stroud M.A. (1988) "The Standard Penetration Test – Its application and interpretation" Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.
- [124] Tokimatsu K., Yoshimi Y. (1983) "Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content" Soils and Foundations 23, n° 4.
- [125] Vucetic M., Dobry R. (1991) "Effect of soil plasticity on cyclic response" Journal of Geotechnical Engineering, vol. 117, n° 1, pp. 89-107.
- [126] Youd T.D. (1972) "Factors controlling maximum and minimum density of sands" Proceedings of Symposium on Eval. Dens., ASTM STP 523.
- [127] Ramos Marquez I. (2018) "Sperimentazione in laboratorio e simulazione numerica del comportamento rigonfiante attorno ad una galleria" – Tesi di laurea Magistrale – Politecnico di Torino