

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD

1° LOTTO

Piovene Rocchette - Valle dell'Astico

PROGETTO DEFINITIVO

CUP	G21B1 30006 60005
WBS	B25.A31N.L1
COMMESSA	J16L1

COMMITTENTE



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

CAPO COMMESSA
PER LA PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Gabriella Costantini

PRESTATORE DI SERVIZI:
CONSORZIO RAETIA



RAPPRESENTANTE: Dott. Ing. Alberto Scotti

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE
TRA LE PROGETTAZIONI SPECIALISTICHE:
Technita S.p.A. - Dott. Ing. Andrea Renzo



PROGETTAZIONE:

ROCKSOIL S.p.A.



ELABORATO: STUDI PER LA CONOSCENZA DEL CONTESTO
GEOTECNICA E GEOMECCANICA

RELAZIONE GEOMECCANICA

Progressivo Rev.
03 08 01 002 02

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione	SCALA: --
00	MARZO 2017	PRIMA EMISSIONE	ROCKSOIL - PENNINO	AMADI	GATTI	NOME FILE: J16L1_03_08_01_002_0101_OPD_02.doc
01	MAGGIO 2017	REVISIONE	ROCKSOIL - VITIELLO	PENNINO	GATTI	CM. PROGR. FG. LIV. REV. J16L1_03_08_01_002_0101_OPD_02
02	LUGLIO 2017	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI	ROCKSOIL - VITIELLO	PENNINO	GATTI	

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO
PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Committente:



Progettazione:

CONSORZIO RAETIA



PROGETTO DEFINITIVO

STUDI PER LA CONOSCENZA DEL CONTESTO

Geologia e Geomorfologia

Relazione geomeccanica

I N D I C E

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	7
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE	10
3.1	INDAGINI PREGRESSE	10
3.1.1	<i>Indagini di progetto definitivo Piovene Rocchette – Besenello (1995)</i>	10
3.1.2	<i>Indagini tratto Piovene Rocchette – S.P.350 Schiri (2005)</i>	14
3.1.3	<i>Indagini di progetto preliminare (2011)</i>	15
3.2	INDAGINI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL 1° LOTTO (2016-2017)	17
3.2.1	<i>Acquisizione di documentazione bibliografica</i>	18
3.2.2	<i>Foto interpretazione geologica di dettaglio</i>	18
3.2.3	<i>Rilievi geologici, geomorfologici, idrogeologici e geomeccanici</i>	19
3.2.4	<i>Pozzetti esplorativi</i>	20
3.2.5	<i>Sondaggi con prove in sito e di laboratorio</i>	21
3.2.6	<i>Prove di laboratorio – Prove di fresabilità.</i>	23
3.2.7	<i>Indagini geofisiche. Sismica a rifrazione e tomografia elettrica.</i>	27
3.2.1	<i>Prove geomeccaniche di laboratorio</i>	29
3.2.2	<i>Indagini geofisiche. Magnetotellurica.</i>	31
4	DESCRIZIONE PROFILI GEOLOGICI	35
4.1	ASSETTO STRUTTURALE DELLA VALDASTICO	36
4.1.1	<i>Faglie di carattere regionale</i>	37
4.2	ASSETTO GEOLOGICO E STRUTTURALE LUNGO IL TRACCIATO	38
4.2.1	<i>Tratto da pk 4+636 a pk 11+220 (Galleria Cogollo)</i>	38
4.2.2	<i>Tratto da pk 11+220 a 11+351</i>	40
4.2.3	<i>Tratto da pk 11+351 a 13+114 (Galleria Pedescala)</i>	40
4.2.4	<i>Tratto da pk 13+114 a 13+705 circa</i>	42
4.2.5	<i>Tratto da pk 13+705 a 17+163 circa (Galleria San Pietro)</i>	42
4.2.6	<i>Fra le pk 17+172 e pk 18+000 (fine intervento)</i>	73
4.3	PRINCIPALI ELEMENTI DI NOVITA' EMERSI DALLE INDAGINI INTEGRATIVE DI PD	74
4.4	ANALISI DEI POSSIBILI CINEMATISMI	76
5	CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-GEOMECCANICA	78
5.1	MATERIALI A GRANA MEDIO-GROSSOLANA (GHIAIE E SABBIE IN MATRICE LIMOSA)	78
5.2	CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI	82
5.2.1	<i>Prova penetrometrica dinamica SPT (Standard Penetration Test)</i>	82
5.2.2	<i>Densità relativa</i>	86

5.2.3	<i>Angolo di resistenza al taglio</i>	89
5.2.4	<i>Modulo elastico</i>	93
5.3	FORMAZIONI ROCCIOSE	104
5.3.1	<i>Generalità</i>	104
5.3.2	<i>Valutazione del parametro RMR d'ammasso secondo Bieniawsky 1989</i>	105
5.3.3	<i>Criteri di rottura</i>	108
5.3.4	<i>Caratteristiche di deformabilità</i>	112
6	CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA	114
6.1	Gruppi geomeccanici	114
6.2	Caratterizzazione geomeccanica dei gruppi geomeccanici	120
6.2.1	<i>Caratteristiche della matrice</i>	120
6.2.2	<i>Calcolo del GSI (Geological Strength Index)</i>	120
6.2.3	<i>Sintesi dei parametri geomeccanici</i>	121
6.2.4	<i>Sintesi dei parametri geomeccanici degli ammassi rocciosi nel tratto da pk 15+000 a pk 16+000 circa della Galleria San Pietro</i>	126
7	CONCLUSIONI	152

1 INTRODUZIONE

La presente relazione rappresenta l'elaborato "*Relazione geomeccanica*" del progetto definitivo del 1° lotto funzionale dell'autostrada A31 Vicenza – Piovene Rocchette – Trento, come prolungamento dell'attuale tratto in esercizio da Longare (a sud di Vicenza) fino a Piovene Rocchette (a nord di Vicenza), ai sensi dell'art. 8 dell'allegato XXI del D.Lgs 163/2006 e s.m.i.

Oggetto della presente relazione è fornire un inquadramento geomeccanico degli ammassi rocciosi coinvolti nello scavo delle opere in sotterraneo e fornire gli elementi per il dimensionamento delle opere di progetto.

Il tracciato del 1° Lotto parte da Piovene Rocchette ed attraversa la Valdastico fino allo svincolo di San Pietro al confine con la provincia di Trento, per un totale di circa 18 chilometri, (cfr figura 1.1).

Procedendo da sud verso nord, nel senso delle progressive crescenti, la prima parte del tracciato, fra gli svincoli di Piovene Rocchette e Cogollo, si snoda per circa 4.500 m all'aperto in un contesto sostanzialmente sub pianeggiante. Qui le opere principali sono rappresentate dal viadotto Piovene sul torrente Astico e dalle gallerie S. Agata 1 e S. Agata 2.

Superato lo svincolo di Cogollo il tracciato autostradale si addentra in un contesto francamente montuoso (rimanendo ora in sinistra ora in destra idrografica del torrente Astico), per l'attraversamento del quale il progetto prevede la successione delle gallerie naturali Cogollo, Pedescala e S. Pietro, separate fra loro dal viadotto Assa sull'omonimo corso d'acqua, e dai viadotti Settecà e Molino sull'Astico stesso.

Il dettaglio delle opere previste nell'ambito del 1° lotto funzionale è il seguente:

Gallerie:

Opera	Carreggiata dir. Nord	Carreggiata dir. Sud
	L (m)	L (m)
Galleria art. S. Agata 1	100,00	100,00
Galleria S. Agata 2	1.325,28	1.314,62
Galleria Cogollo	6.584,50	6.591,00
Galleria Pedescala	1.763,30	1.732,80
Galleria S. Pietro (tracciato in fase di definizione)	3.365,00	3.480,00

Viadotti:

Opera	Carreggiata dir. Nord	Carreggiata dir. Sud
	L (m)	L (m)
Viadotto Piovene	285,50	285,50
Viadotto Assa	107,20	107,20
Viadotto Settecà	412,25	412,25
Viadotto Molino	500,00	500,00

La galleria S. Agata 1 è artificiale; le gallerie S. Agata 2, Pedescala e San Pietro sono naturali e realizzate con sistema di scavo in tradizionale. La più lunga, galleria Cogollo, è prevista con sistema meccanizzato (TBM).

Ubicate in prossimità del limite degli altopiani di Asiago e Tonezza le gallerie hanno coperture variabili dai 1.000 m della Cogollo ai circa 400 m della Pedescala e San Pietro. La galleria S Agata 2, ricadente nel tratto iniziale sub pianeggiante, ha copertura massima di circa 40 m.

Dalle tabelle sopra riportate si evince come, a fronte di uno sviluppo complessivo del 1° lotto di circa 18 Km, ben 13,1 Km sono in galleria, per un tratto quindi corrispondente a circa il 73% dell'intero tracciato.

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

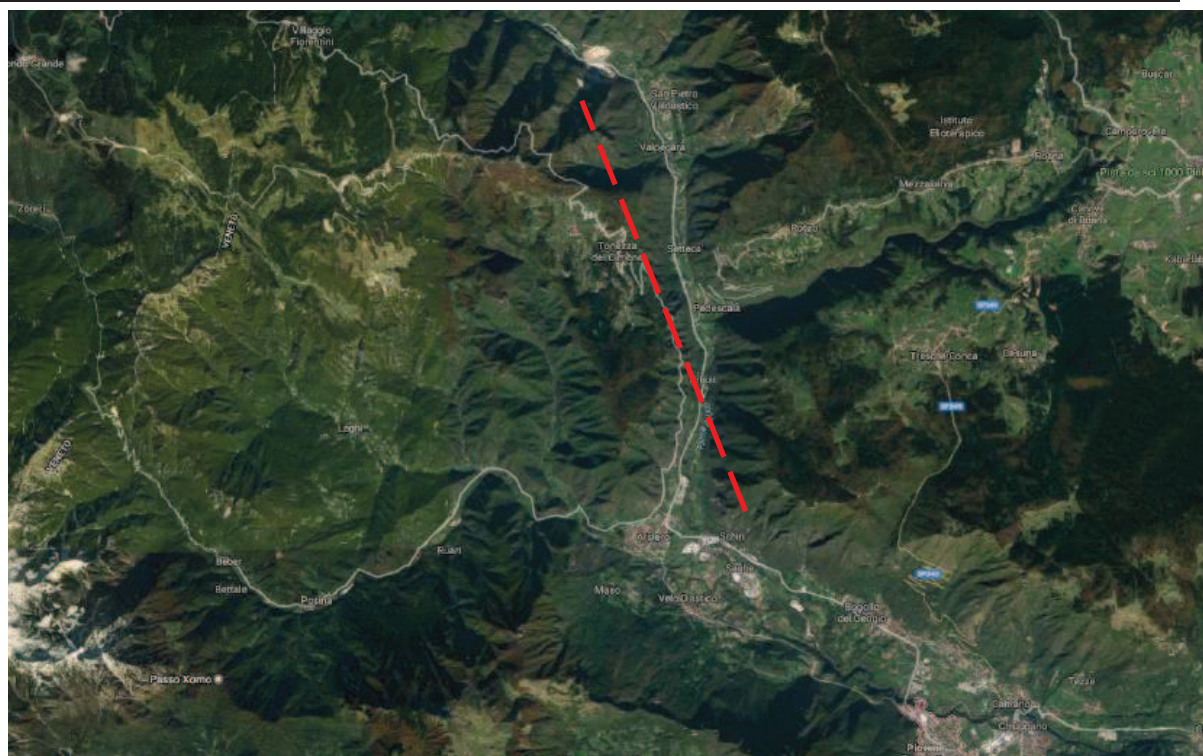


Figura 1.1 - Inquadramento geografico dell'area

Il percorso oggetto di studio interessa un'area caratterizzata da una notevole omogeneità da un punto di vista geologico, stratigrafico e geomeccanico, con coperture variabili da pochi metri fino a 400-500 m, con punte di valori massimi di circa 1000 m.

Lo studio si è basato sull'analisi dei seguenti dati:

- rilievi geologico-strutturali di campagna,
- sondaggi integrativi,
- indagini sismiche,
- prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi.

I dati ottenuti dalla caratterizzazione geologico e geomeccanica sono descritti in forma sintetica e grafica negli allegati profili geologico-geomeccanici in asse a ciascuna delle due carreggiate, nord e sud. I profili riportano, oltre ad alcune informazioni geologiche di base, le caratterizzazioni geomeccaniche dei litotipi intercettati dalle gallerie in relazione alla copertura che li caratterizza.

2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

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

- Progetto definitivo e SIA del tracciato denominato A1 (1995);
- Progetto definitivo del collegamento fra Piovene Rocchette e la SP350 in località Schiri (2005);
- Studio di fattibilità per la scelta del tracciato (2011);
- Progetto preliminare dell'A31 nord da Piovene Rocchette a Besenello, completo di SIA e valutazione dei possibili tracciati alternativi (2011). La soluzione sviluppata a livello di preliminare è denominata A4;
- Bibliografia.

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

PROGETTO DEFINITIVO E SIA (1995)

IV TEC. RELAZIONI TECNICHE

- Relazione geologica;
- Relazione opere in sotterraneo;
- Indagini geognostiche e prove di laboratorio.

QPT. QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE

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

QAM. QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

- Sistema geomorfologico scala 1:30.000.

SUOLO E SOTTOSUOLO

- Risultati indagini geognostiche;
- Ubicazione indagini geognostiche scala 1:10.000
- Relazione geologica;
- Carta geologica scala 1:10.000 tav 1-2-3;
- Profilo geologico scala 1:10.000/10.000.
- Relazione geomorfologica;
- Carta geomorfologica scala 1:10.000 tav 1-2-3;
- Profilo geologico scala 1:25.000/25.000;
- Relazione idrogeologica della galleria di valico;

- Bacini idrografici, fenomeni carsici e sorgenti controllate; scala 1:5.000;
- Profili idrologici longitudinali e trasversali;
- Relazione idrogeologica;
- Carta idrologica e idrogeologica scala 1:10.000 tav1-2.

PROGETTO DEFINITIVO PIOVENE ROCCHETTE – SP 350 IN LOCALITA' SCHIRI (2005)

STUDI ED INDAGINI

- Indagini geognostiche;
- Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica;
- Carta geologica scala 1:5.000;
- Carta idrogeologica scala 1:5.000;
- Carta geomorfologica scala 1:5.000;
- Profilo geologico scala 1:5.000/500

PROGETTO DI FATTIBILITA' PER LA SCELTA DEL TRACCIATO E PROGETTO PRELIMINARE DELLA SOLUZIONE DENOMINATA A4 (2011)

- Indagini geognostiche;
- Relazione geologica e geomorfologica;
- Relazione geotecnica;
- Relazione geomeccanica;
- Relazione sismica;
- Carta geologica e geomorfologica scala 1:10.000;
- Carta idrogeologica scala :10.000;
- Sezioni idrogeologiche;
- Profilo geologico scala 1:5.000;
- Profilo geotecnico e geomeccanico scala 1:5.000
- Corografia macrozone sismiche scala 1:20.000

BIBLIOGRAFIA

- I Fogli 21 Trento e 36 Schio della Carta geologica d'Italia, in scala 1:100.000, con relative note illustrative. Coprono interamente tutti i tracciati selezionati;
- Foglio 060 Trento e Foglio 082 Asiago della Carta geologica d'Italia, in scala 1:50.000, redatta dall'ISPRA e pubblicati nel 2010 (F 60) e nel 2007 (F082), con relative note illustrative. Coprono circa 2/3 dei tracciati selezionati;
- Carta delle risorse idriche, disponibile presso il sito del Servizio Geologico della PAT;
- Data base sorgenti, disponibile presso il sito del Servizio Geologico della PAT;
- Documentazione geologica allegata ai Piani Regolatori dei Comuni attraversati.

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nel seguito si fornisce una descrizione di tutti gli studi eseguiti, sia gli studi pregressi realizzati nel corso dell'iter progettuale, sia gli studi 2016-2017, di approfondimento per la redazione del Progetto Definitivo del 1° Lotto.

3.1 INDAGINI PREGRESSE

3.1.1 Indagini di progetto definitivo Piovene Rocchette – Besenello (1995)

La campagna di indagine è quella a supporto del progetto definitivo del vecchio tracciato A1.

La campagna è realizzata lungo la valle del torrente Astico a supporto del tracciato storico Piovene - Besenello, ex soluzione A1 nella documentazione a base di gara, e T4 nel presente progetto. Eseguita dalla ditta Vicenzetto comprende sondaggi a carotaggio continuo con prove in sito tipo SPT, Lefranc e dilatometriche, oltre a prove di laboratorio su campioni rimaneggiati ed indisturbati di terra e roccia. Ad integrazione delle indagini dirette sono disponibili rilievi geostrutturali su affioramenti rocciosi. I sondaggi sono complessivamente 24, ubicati prevalentemente lungo il fondovalle dell'Astico o in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie. Fra questi solamente 4, S10bis, S20, S22 e S27, hanno raggiunto il substrato roccioso, mentre tutti gli altri restano all'interno di coperture detritico/alluvionali. Ciascun sondaggio è corredato da una scheda di descrizione stratigrafica con il valore di RQD nei tratti lapidei, indicazione delle prove in foro eseguite e dei campioni prelevati. La profondità raggiunta varia da un minimo di 15 m fino ad un massimo di 70 m, con un valore medio compreso tra 30 – 40 m. Stante la diffusa presenza di materiali granulari sono state condotte numerose prove tipo SPT per la caratterizzazione dei depositi di copertura detritici ed alluvionali. E' stata eseguita una prova di permeabilità tipo Lefranc in corrispondenza del sondaggio EX-CPTU 2, e n° 5 prove dilatometriche in roccia dolomitica nel sondaggio S27.

Livelli limoso – argillosi attraversati dai sondaggi lungo la prima parte del tracciato, presso il casello di Piovene Rocchette, sono stati oggetto di prove con penetrometro tascabile e torvane. E' stato installato un piezometro a tubo aperto in corrispondenza del sondaggio EX-CPTU 2, successivamente monitorato per un periodo di circa un mese.

La tabella seguente riporta una sintesi dei sondaggi eseguiti con le rispettive profondità, le prove in foro condotte e la natura prevalente dei terreni attraversati.

Le prove di laboratorio sui materiali sciolti sono dominate dalle granulometrie, vista l'abbondanza delle ghiaie rispetto alle frazioni più fini sabbiose, limose ed argillose. Queste ultime, presenti per lo più nel tratto iniziale del tracciato presso il casello di Piovene Rocchette, sono state oggetto di specifiche analisi.

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

TRACCIATO 4 - CAMPAGNA GEOGNOSTICA 1995 - PROVE IN SITO											
Sondaggio	prof. (m)	piez. tubo aperto	inclin.	prova dilatom. (n°)	prova press. (n°)	Permeabilità		SPT n°	Pocket penetrom.	Torvane	Materiale
						Lugeon (n°)	Lefranc (n°)				
EX CPTU 2	40	x	-	-	-	-	1	13	-	-	ghiaia deb. sabbiosa deb. grado cementaz.
EX CPT 3	15	-	-	-	-	-	-	5	-	-	ghiaia sabbioso - limosa
EX CPT 4	35	-	-	-	-	-	-	9	-	-	ghiaia con sabbia limosa. Blocchi
S1	15	-	-	-	-	-	-	4	-	-	ghiaia con sabbia limosa. Blocchi
S2	35	-	-	-	-	-	-	8	6	-	ghiaia con sabbia limosa e limo argilloso - ghiaioso. Blocchi
S3	35	-	-	-	-	-	-	10	-	-	ghiaietto sabbioso-limoso e sabbia limosa
S4	30	-	-	-	-	-	-	8	19	19	ghiaietto con sabbia limosa e limo argilloso con livelli sabbiosi
S5	15	-	-	-	-	-	-	1	35	35	limo argilloso con lenti sabbiose
S7	35	-	-	-	-	-	-	9	16	-	ghiaia sabbioso - limosa e sabbie limose con livelli di limo argilloso
S8	40	-	-	-	-	-	-	10	14	11	ghiaietto sabbioso - limoso con livelli di sabbie limose e limi argillosi
S9	40	-	-	-	-	-	-	10	5	5	sabbie fini limose passanti a ghiaia sabbioso - limosa. Livelli di limo -argilloso.
S10	35	-	-	-	-	-	-	9	-	-	ghiaia e ghiaietto sabbiosi debolm. limosi
S10BIS	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ghiaia sabbiosa deb. limosa passante a Dolomia Principale
S14	40	-	-	-	-	-	-	11	-	-	ghiaia sabbiosa deb. limosa con trovanti
S15	30	-	-	-	-	-	-	8	-	-	ghiaia sabbioso - limosa con trovanti
S16	35	-	-	-	-	-	-	7	-	-	ghiaia sabbioso - limosa con blocchi e trovanti
S17	40	-	-	-	-	-	-	11	-	-	ghiaia sabbioso - limosa con blocchi localmente debolmente argillosa
S18BIS	35	-	-	-	-	-	-	10	-	-	ghiaia sabbiosa con blocchi e trovanti
S20	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Dolomia Principale
S21	30	-	-	-	-	-	-	8	-	-	ghiaia sabbioso - limosa con blocchi
S22	35	-	-	-	-	-	-	6	-	-	ghiaia e ghiaietto con sabbia - limosa con blocchi passante a Dolomia Principale
S23	15	-	-	-	-	-	-	4	-	-	ghiaia sabbioso - limosa con blocchi
S25	27	-	-	-	-	-	-	9	-	-	sabbia medio - grossa limosa con livelletti limosi
S27	70	-	-	5	-	-	-	-	-	-	ghiaia sabbiosa passante a Dolomia Principale

Tabella 4-1- Indagini – Autostrada Valdastico A31 - Progetto definitivo 1995

Le prove eseguite sono:

- peso di volume naturale su 10 provini;
- peso specifico assoluto su 3 provini;
- 93 analisi granulometriche per setacciatura;
- contenuto naturale d'acqua su 10 provini;
- limiti di Atterberg su 24 provini;
- 6 prove di espansione laterale libera, ELL;
- 4 prove di taglio diretto CD;
- 1 prova triassiale CIU;
- 1 prova triassiale UU;
- 2 prove edometriche;
- 8 prove con penetrometro tascabile;

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

- 2 prove con torvane.

La tabella seguente riassume la tipologia ed il numero delle prove di laboratorio realizzate in funzione dei singoli sondaggi.

TRACCIATO 4 - CAMPAGNA GEOGNOSTICA 1995 - PROVE LABORATORIO TERRA													
Sondaggio	prof. (m)	Peso di volume	Peso specifico assoluto	Granul.	Contenuto naturale d'acqua	Limiti di Atterberg	ELL	Prova di taglio diretto CD	Prova triass. CIU	Prova triass. UU	Prova edom.	Pocket penetrom eter	Torvane
EX CPTU 2	40	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EX CPT 3	15	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EX CPT 4	35	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S1	15	-	-	3	-	2	-	-	-	-	-	-	-
S2	35	-	-	5	-	8	-	-	-	-	-	-	-
S3	35	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S4	30	-	-	5	-	3	-	-	-	-	-	-	-
S5	15	4	2	1	4	4	4	-	-	1	1	4	-
S7	35	-	-	3	-	2	-	-	-	-	-	1	-
S8	40	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S9	40	4	1	7	4	3	2	2	1	-	1	3	2
S10	35	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S10BIS	13	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S14	40	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S15	30	-	-	6	-	1	-	-	-	-	-	-	-
S16	35	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S17	40	-	-	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-
S18BIS	35	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S20	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S21	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S22	35	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S23	15	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S25	27	2	-	8	2	-	-	2	-	-	-	-	-
S27	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 4-2- Indagini – Autostrada Valdastico A31 - Progetto definitivo 1995 – Prove di laboratorio su terra

Le prove di laboratorio su roccia hanno riguardato spezzoni di carota prelevati dai sondaggi che hanno raggiunto il substrato roccioso, S10bis, S20, S22, S27 e n° 4 campioni lapidei prelevati in superficie. Il litotipo indagato è sostanzialmente la Dolomia Principale, che affiora estesamente lungo tutta la valle dell’Astico, oltre ad un blocco di andesite, campione VA31, che permette di caratterizzare i filoni vulcanici che attraversano la stessa Dolomia Principale.

Le prove eseguite sono:

- descrizione macroscopica;
- 1 analisi petrografica su campione di andesite;
- 56 pesi di volume;
- 10 determinazioni del coefficiente di imbibizione;

- 24 prove sclerometriche;
- 23 prove di compressioni monoassiale con rilievo delle deformazioni;
- 14 prove triassiali;
- 19 prove di trazione indiretta tipo brasiliana;
- 30 prove di point – load;
- 9 prove di taglio su giunto;
- 35 prove di tilt test per valutazione attrito di base;
- 19 determinazioni del valore di JRC e JCS su giunto;
- 42 determinazioni delle velocità delle onde di compressione Vp e di taglio Vs con rilievo delle deformazioni.

A supporto della valutazione dell'opzione in scavo meccanizzato delle opere in sotterraneo sono state condotte anche specifiche prove per valutare durezza ed abrasività della roccia intatta, Dolomia Principale. Esse sono:

- 5 punch test;
- 5 prove di abrasività Cerchar;
- 5 Drop test per la valutazione dell'indice S20;
- 5 prove per indentamento al cone indenter N.C.B.;
- 5 prove per Sievers' test.

Le Tabelle seguenti elencano le prove di laboratorio condotte su campioni lapidei.

Per le stratigrafie dei sondaggi, risultati delle prove in sito e di laboratorio, schede dei 13 rilievi strutturali si veda la specifica documentazione allegata al progetto.

Per l'ubicazione delle indagini si rimanda alla carta geologica ed ai profili geologici.

TRACCIATO 4 - CAMPAGNA GEOGNOSTICA 1995 - PROVE LABORATORIO ROCCIA															
Sondaggio	prof. (m)	Litotipo	Descriz. Macroscopica campione	Analisi petrografica	Peso di volume	Coeff. Imbibizione	Sclerometro	Prova compr. uni. con rilievo def.	Prova compr. triassiale	Prova brasiliana	Prova point-load	Prova taglio su giunto	Tilt test (attrito di base)	Caratter. giunti JRC e JCS	Vp e Vs con rilievo def.
S10BIS	13	dolomia	-	-	13	2	4	4	3	6	1	-	7	-	12
S20	15	dolomia	x	-	9	-	4	4	4	1	3	3	11	6	5
S22	35	dolomia	x	-	4	-	-	2	1	1	2	2	8	4	3
S27	70	dolomia	x	-	14	2	7	8	-	6	9	-	6	5	8
blocco VA1	p.c.	dolomia	x	-	2	2	-	-	2	-	4	-	-	-	2
blocco VA2	p.c.	dolomia	x	-	5	2	2	2	1	2	3	-	-	-	3
blocco VA3	p.c.	dolomia	x	-	2	2	1	1	1	-	3	-	-	-	2
blocco VA31	p.c.	andesite	-	1	7	-	6	2	2	3	5	4	3	4	7

Tabella 4-3- Indagini – Autostrada Valdastico A31 - Progetto definitivo 1995 – Prove di laboratorio su roccia

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

TRACCIATO 4 - CAMPAGNA GEOGNOSTICA 1995 - PROVE LABORATORIO TBM							
Sondaggio	prof. (m)	Litotipo	Punch test	Prova abrasività Cerchar	Drop test S ₂₀	Cone indenter N.C.B.	Sievers' test
S10BIS	13	dolomia	3	1	-	-	-
S20	15	dolomia	2	2	1	-	1
S22	35	dolomia	-	1	-	-	-
S27	70	dolomia	-	-	2	-	2
blocco VA1	p.c.	dolomia	-	-	1	3	1
blocco VA2	p.c.	dolomia	-	1	1	2	1
blocco VA3	p.c.	dolomia	-	-	-	-	-
blocco VA31	p.c.	andesite	-	-	-	-	-

Tabella 3-4- Indagini – Autostrada Valdastico A31 - Progetto definitivo 1995 – Prove di laboratorio su roccia per scavo meccanizzato con TBM

3.1.2 Indagini tratto Piovene Rocchette – S.P.350 Schiri (2005)

La campagna in argomento, eseguita anche in questo caso dalla ditta Vicenzetto, è costituita da n° 4 sondaggi interamente compresi in materiali sciolti. Il tratto iniziale fra Piovene Rocchette e Velo d’Astico vede infatti il substrato roccioso ad una profondità tale da non essere intercettato con le indagini geognostiche sino ad ora condotte.

Ciascun sondaggio è corredato da una scheda di descrizione stratigrafica, indicazione delle prove in foro eseguite e dei campioni prelevati. La lunghezza delle perforazioni varia da 20 a 40 m. Sono state condotte prove SPT per la caratterizzazione dei materiali sciolti, prevalentemente granulari, attraversati. Sono state eseguite prove Lefranc all’interno dei sondaggi per la stima della permeabilità dei depositi detritico alluvionali.

Sono stati installati 2 piezometri a tubo aperto in corrispondenza dei sondaggi SD3P e SD4P.

La tabella seguente contiene una sintesi dei sondaggi eseguiti con le rispettive profondità, le prove in foro e la natura dei terreni attraversati.

COLLEGAMENTO CASELLO PIOVENE ROCCHETTE E SS350 - CAMPAGNA GEOGNOSTICA 2005 - PROVE IN SITO											
Sondaggio	prof. (m)	piez. tubo aperto	inclin.	prova dilatom. (n°)	prova press. (n°)	Permeabilità		SPT n°	Pocket penetrom eter	Tovane	Materiale
						Lugeon (n°)	Le Franc (n°)				
SD5	40	-	-	-	-	-	3	9	-	-	ghiaia sabbioso - limosa e sabbie ghiaioso-limose, presenza di ciottoli
SD4P	20	x	-	-	-	-	3	7	-	-	ghiaia con sabbia limosa, presenza di ciottoli
SD3P	20	x	-	-	-	-	3	6	-	-	ghiaia sabbioso - limosa, presenza di ciottoli
SD2P	25	-	-	-	-	-	3	7	-	-	ghiaia con sabbia deb. limosa, presenza di ciottoli

Tabella 4-5- Indagini – Collegamento casello Piovene Rocchette - SP350 - Progetto definitivo 2005 -

Le prove di laboratorio comprendono unicamente materiali sciolti e consistono in:

- 25 analisi granulometriche per setacciatura;
- 1 limite di Atterberg.

La tabella seguente dettaglia le prove di laboratorio eseguite per ciascun sondaggio.

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

COLLEGAMENTO CASELLO PIOVENE ROCCHETTE E SS350 - CAMPAGNA GEOGNOSTICA 2005 - PROVE LABORATORIO TERRA													
Sondaggio	prof. (m)	Peso di volume	Peso specifico assoluto	Granul.	Contenuto naturale d'acqua	Limiti di Atterberg	ELL	Prova di taglio diretto CD	Prova triass. CIU	Prova triass. UU	Prova edom.	Pocket penetrom eter	Torvane
SD5	40	-	-	9	-	1	-	-	-	-	-	-	-
SD4P	20	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD3P	20	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD2P	25	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 3-6- Indagini – Collegamento casello Piovene Rocchette e SP350 - Progetto definitivo 2005 - Prove di laboratorio

Per le stratigrafie dei sondaggi, risultati delle prove in sito e di laboratorio si veda la specifica documentazione allegata al presente progetto.

Per le ubicazioni si rimanda alla carta geologica ed ai profili geologici.

3.1.3 Indagini di progetto preliminare (2011)

La campagna d'indagine per lo sviluppo del progetto preliminare è stata condotta lungo l'intera soluzione di tracciato denominata A4, da Piovene Rocchette a Besenello, ed incentrata sulla definizione del modello geologico della opere in sotterraneo con particolare riguardo per l'individuazione dei terreni sottostanti la Dolomia Principale, e la definizione dei contatti stratigrafici fra coperture e substrato roccioso. Buona parte delle indagini hanno interessato la galleria di valico e la galleria Pedemonte, poste oltre lo svincolo di Valle dell'Astico, oltre ad un allineamento di gallerie parietali (denominate Cogollo, Costa del Pra, Forte Corbin) che, a seguito delle osservazioni formulate sul progetto preliminare, sono state sostituite dalla nuova, più interna e lunga galleria Cogollo. Ne consegue che buona parte delle indagini della campagna 2011 rimane disassata o posizionata oltre rispetto al tracciato del 1° lotto. In dettaglio la campagna del 2011 ha previsto:

- rilievi geologici, idrogeologici e geomeccanici lungo l'intero tracciato con particolare attenzione per la galleria di valico;
- n° 19 stendimenti di sismica a rifrazione con tecnica tomografica ed acquisizione delle onde Vp e Vs. Gli stendimenti, riepilogati in tabella 7.3, sono posizionati in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie e/o nelle tratte parietali. Dalla tabella si evince come le sole traverse sismiche TR06, all'imbocco sud della galleria Pedescala, e TR07A-TR07B all'imbocco nord della galleria San Pietro, ricadano nel 1° lotto;
- n° 9 stazioni audiomagnetotelluriche ubicate lungo i tratti a maggiore copertura delle gallerie naturali, come riepilogato in

tabella 7.4, per complessivi 6.100 m di stendimento. Dalla tabella si evince che la sola stazione AMT01P ricade nel 1° lotto e più precisamente lungo la galleria San Pietro.

SEZIONE	Opera	LUNGHEZZA LINEA (m)	Ubicazione
TR01a	Galleria Cogollo	230	Su precedente tracciato
TR01b	Galleria Cogollo	190	Su precedente tracciato
TR02a	Galleria Cogollo	230	Su precedente tracciato
TR02b	Galleria Cogollo	230	Su precedente tracciato
TR03a	Galleria Costa del Prà	230	Su precedente tracciato
TR03b	Galleria Costa del Prà	230	Su precedente tracciato
TR04	Galleria Forte Corbin	230	Su precedente tracciato
TR05a	Galleria Forte Corbin	110	Su precedente tracciato
TR05b	Galleria Forte Corbin	230	Su precedente tracciato
TR06	Galleria Pedescala	230	1° lotto
TR07a	Galleria San Pietro	230	1° lotto
TR07b	Galleria San Pietro	110	1° lotto
TR08a	Galleria Pedemonte	110	Oltre svincolo Valle dell'Astico
TR08b	Galleria Pedemonte	110	Oltre svincolo Valle dell'Astico
TR08c	Galleria Pedemonte	110	Oltre svincolo Valle dell'Astico
TR09a	Galleria Pedemonte	110	Oltre svincolo Valle dell'Astico
TR09b	Galleria Pedemonte	110	Oltre svincolo Valle dell'Astico
TR10	Galleria di valico	110	Oltre svincolo Valle dell'Astico
T11	Galleria di valico	210	Oltre svincolo Valle dell'Astico
		3.350	

Tabella 3.7. Sismica a rifrazione campagna 2011

Stazione AMT	Opera	Lunghezza a profilo	Ubicazione
AMT01P	Galleria S. Pietro - Valpegara	500 m	1° lotto Galleria S Pietro
AMT02P	Galleria di valico - Sosteri	600 m	Oltre svincolo valle dell'Astico
AMT10P	Galleria di valico - Nosellari	300 m	Oltre svincolo valle dell'Astico
AMT03P	Galleria di valico - Nosellari	400 m	Oltre svincolo valle dell'Astico
AMT06P	Galleria di valico - Nosellari	100 m	Oltre svincolo valle dell'Astico
ALT07P	Galleria di valico - Costa	800 m	Oltre svincolo valle dell'Astico
AMT05P	Galleria di valico - Costa	400 m	Oltre svincolo valle dell'Astico
AMT04P	Galleria di valico- Costa	2.400 m	Oltre svincolo valle dell'Astico
AMT07P	Galleria di valico lato Besenello	600 m	Oltre svincolo valle dell'Astico

Tabella 3.8 Audiomagnetotellurica campagna anno 2011

Le traverse sismiche hanno evidenziato, sulle gallerie Cogollo, Costa del Pra e Forte Corbin, possibili contatti laterali detrito/roccia. Tale riscontro è uno degli elementi che ha consigliato, in fase di progettazione definitiva e contestualmente alle osservazioni e prescrizioni formulate sul progetto preliminare, uno spostamento dell'asse stradale verso l'interno con l'inserimento della nuova galleria Cogollo lunga oltre 6.300 m

Le indagini magnetotelluriche hanno dettagliato l'assetto geologico strutturale in corrispondenza della galleria di valico e della galleria San Pietro. In particolare hanno individuato uno spessore complessivo della Dolomia Principale nell'ordine di almeno 600 m compatibile con i riscontri bibliografici. Hanno altresì confermato le ipotesi dedotte dalle ricostruzioni geostratigrafiche ovvero l'attraversamento, nella porzione centro occidentale della galleria di valico (di cui alla soluzione di tracciato denominata A4, e comunque ricadente oltre lo svincolo di Valle dell'Astico) della successione permio – triassica. In corrispondenza della galleria San Pietro hanno individuato la possibile presenza della successione permio – triassica, o di depositi maggiormente conduttivi (vulcaniti?) e limitatamente all'area indagata, a profondità superiori rispetto all'opera.

3.2 INDAGINI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL 1° LOTTO (2016-2017)

Dall'insieme delle indagini pregresse disponibili, tenuto conto delle osservazioni mosse sul progetto preliminare in sede di approvazione, e constatata la necessaria implementazione del modello geologico di riferimento per la progettazione definitiva, la campagna geognostica è stata sviluppata con specifico riferimento alle seguenti possibili criticità:

- tratto Piovene Rocchette – Cogollo: presenza di materiali sciolti di origine fluvioglaciale, peraltro già ampiamente indagati durante le campagne precedenti, sede di una possibile falda idrica;
- tratto Cogollo – Svincolo Valle dell'Astico: presenza di una successione di gallerie naturali dove si rende necessario approfondire l'assetto stratigrafico in corrispondenza degli imbocchi (contatto detrito – substrato roccioso) individuando la posizione del letto della Dolomia Principale ed i terreni ad essa sottostanti, potenzialmente interferenti con gli scavi;
- opere in sotterraneo del tratto Cogollo – Svincolo Valle dell'Astico: approfondire la caratterizzazione geologico strutturale, geomeccanica e idrogeologica dei terreni interessati dagli scavi valutando le condizioni di potenziale rischio connesse con l'intercettazione di cavità carsiche;
- attraversamenti in viadotto dell'Astico: confermare l'inquadramento geologico stratigrafico ed idrogeologico delineato a seguito delle campagne d'indagine precedenti spingendo i carotaggi sino a profondità nell'ordine di 50 m da p.c.;

La campagna d'indagine di progetto definitivo si è articolata attraverso le seguenti fasi:

- acquisizione di documentazione bibliografica;
- foto interpretazione geologica da immagini satellitari;
- rilievi geologici, geomeccanici e idrogeologici di campagna;
- sondaggi a carotaggio continuo con prove in sito e di laboratorio, geotecnico e ambientale;

- traverse sismiche a rifrazione, tomografie elettriche e Masw;
- stendimenti magnetotellurici.

Tutte le indagini sono state seguite costantemente da tecnici esperti, appartenenti al gruppo di progettazione, in maniera tale da verificare e dettagliare il programma di campionamenti e prove, nonché apportare tutte le modifiche ritenute opportune sulla base dei riscontri via via emergenti. Di seguito sono brevemente descritte e commentate le indagini geognostiche eseguite in sede di progettazione definitiva nel periodo compreso fra dicembre 2016 e marzo 2017.

3.2.1 Acquisizione di documentazione bibliografica

Ampia documentazione bibliografica era stata già acquisita in sede di progettazione preliminare. Tale aspetto è stato comunque approfondito in questa fase con particolare riferimento agli aggiornamenti nel frattempo intervenuti sulla documentazione del PAI, sugli elaborati allegati alla strumentazione di pianificazione territoriale dei Comuni attraversati, a sopralluoghi e riunioni con la Regione Veneto in riferimento al piano cave e al data base sorgenti e cavità carsiche, di cui sono stati forniti gli “shape-file”. Sono inoltre state acquisite, presso la società Alto Vicentino Servizi (Avs) le ubicazioni delle emergenze idriche (pozzi e sorgenti) utilizzate a scopo idropotabile lungo la valle dell’Astico, con relative analisi chimiche e, ove disponibili, misure di portata.

3.2.2 Foto interpretazione geologica di dettaglio

Una foto interpretazione geologica 3D è stata condotta, mediante uso di immagini satellitari di recente acquisizione, attraverso la restituzione di un modello DEM del terreno.

L’area indagata è stata estesa ad un intorno significativo rispetto all’asse stradale con una superficie complessiva studiata di circa 100 Km².

La foto interpretazione ha riguardato i caratteri geologici, geomorfologici e strutturali quali le forme di erosione ed accumulo, l’individuazione di morfologie carsiche di superficie, l’andamento degli orli di terrazzi e cordoni morenici, perimetrazione di frane attuali o antiche, meandri abbandonati, ubicazione delle conoidi detritiche e alluvionali, individuazione delle principali lineazioni tettoniche potenzialmente interferenti con le opere in sotterraneo ecc. I risultati di questa analisi sono stati verificati/integrati nel corso dei rilievi di campagna e trasferiti nella cartografia geologica e geomorfologica redatta a supporto della progettazione.

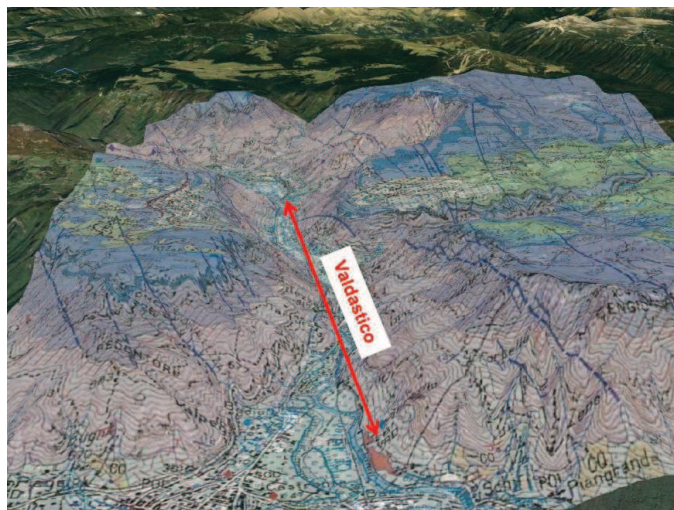


Figura 3.1 Modello 3D del terreno con sopra-riportata la carta geologica del Foglio 82 Asiago.



Figura 3.2 Un dettaglio ad elevata risoluzione della zona in cui ricade lo svincolo di Pedemonte

3.2.3 Rilievi geologici, geomorfologici, idrogeologici e geomeccanici

Nel corso della campagna di Progetto Definitivo del 2016-2017 sono stati eseguiti una serie di rilievi geologici di campagna per un approfondimento delle caratteristiche geologiche, geostrutturali ed idrogeologiche dell'area interessata dal tracciato delle opere a progetto.

Il rilevamento geologico ha consentito un maggior grado di affinamento dei contatti geologici, in particolare delle zone di fondovalle e degli imbocchi delle gallerie, tra i detriti di versante e gli ammassi rocciosi.

Nel corso della campagna di rilevamento sono stati realizzati 6 stop geotruturali di dettaglio oltre a numerosi rilievi delle giaciture della stratificazione e/o dei principali sistemi di discontinuità, che sono state utilizzate per la redazione della carta geologica e delle sezioni, con particolare riferimento ai profili longitudinali al tracciato.

Per il dettaglio e le risultanze dei 6 stop geostrutturali eseguiti si rimanda all'apposito elaborato J16L1_03_05_01_003_0101_OPD_00.

3.2.4 Pozzetti esplorativi

Le ditte Geotecnica Veneta e Georicerche hanno eseguito n° 6 pozzetti esplorativi di profondità compresa fra 1 - 3 m. da p.c. Posizionati nei tratti all'aperto hanno permesso di individuare lo spessore del terreno vegetale, prelevare campioni, verificare la tipologia dei terreni posti a modesta profondità, effettuare prove in sito volte alla verifica della capacità portante e permeabilità dei terreni. Su ogni pozzetto sono state eseguite n° 2 prove di carico con piastra su due cicli (carico – scarico – carico) alle profondità di 0,5 m e 1 m da p.c. per un totale di 12 prove, prelevati n° 10 campioni rimaneggiati ed effettuate n° 2 prove Lefranc.

Sondaggio	Esecutore	prof (m)	Lefranc (n°)	camp. rim (n°)	camp. amb. (n°)	Carico piastra (n°)	Materiale
PZ1D	Geotecnica Veneta	1		2		2	Ghiaia con sabbia limosa
PZ2D	Geotecnica Veneta	1		2		2	Ghiaia con sabbia limosa
PZ3D	Geotecnica Veneta	2		2	2	2	Ghiaia con sabbia limosa
PZ4D	Geotecnica Veneta	3		2	3	2	Ghiaia con sabbia limosa
PZ5D	Georicerche	3	1	1	3	2	Trovanti, ciottoli e ghiaia in matrice sabbiosa
PZ6D	Georicerche	3	1	1	3	2	

Tabella 3.9 Pozzetti esplorativi campagna 2016 – 2017

3.2.5 Sondaggi con prove in sito e di laboratorio

Al fine di completare la campagna geognostica nei tempi stabiliti (compresi fra dicembre 2016 e marzo 2017) i sondaggi sono stati affidati alle tre seguenti ditte:

- Geotecnica Veneta di Olmo di Martellago (Ve);
- Georicerche di Due Carrare (Pd);
- Citiemme di Torino;

Quanto sopra in modo da garantire un utilizzo simultaneo minimo di 3 sonde e massimo di 5 sonde.

Tutti i sondaggi, fatta eccezione per S11Dbis, (a distruzione di nucleo) posizionato in corrispondenza di una viabilità esistente che durante l'esecuzione dei lavori poteva essere parzializzata solo per breve tempo, sono a carotaggio continuo.

Inoltre tutti i sondaggi, fatta eccezione per S10D e S17Dbis, sono attrezzati con piezometro.

Le profondità indagate variano da un minimo di 10 m per il sondaggio S0D, relativo ad un tratto in trincea, fino ad un massimo di 160 m per il sondaggio l'S14D ubicato lungo la galleria San Pietro.

Procedendo da Piovene Rocchette verso Besenello i sondaggi sono stati realizzati: nel tratto in trincea ad inizio intervento, sul viadotto Piovene, su un cavalcavia per viabilità secondaria, lungo la Galleria S. Agata, sullo svincolo di Cogollo, in zona d'imbocco sud della Galleria Cogollo, lungo la Galleria Cogollo, in corrispondenza del Viadotto Assa e della Galleria Pedescala, sul Viadotto Settecà, lungo la galleria S. Pietro, all'imbocco nord della Galleria San Pietro, sul Viadotto Molino e svincolo di Valle dell'Astico.

Complessivamente sono stati eseguiti n° 22 sondaggi per oltre 1.020 m di perforazione che di fatto integrano e completano i sondaggi già realizzati durante le campagne del 1995 e 2005 lungo il medesimo tracciato.

Nel corso dei sondaggi sono state eseguite sistematiche prove in sito consistenti in:

- n° 136 prove SPT in materiali sciolti;
- n° 11 prove di permeabilità tipo Lefranc in materiali sciolti, e n° 13 prove tipo Lugeon in roccia;
- n° 12 prove dilatometriche in roccia;
- n° 7 prove con pocket penetrometer direttamente sulle carote in presenza di materiali fini.

Sono inoltre stati prelevati oltre 220 campioni rimaneggiati consistenti in ghiaia e sabbia nei materiali sciolti, e carote lapidee nei tratti in roccia, sottoposti a prove di laboratorio. A causa della diffusa presenza di materiali granulari è stato possibile procedere con il prelievo di pochissimi campioni indisturbati.

La tabella 3.10 riepiloga le caratteristiche dei sondaggi, le prove in sito e i campioni prelevati. Nell'ultima colonna a destra è sinteticamente riepilogata la stratigrafia dei terreni attraversati.

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

Dato che i campioni riferibili a materiali sciolti sono quasi esclusivamente granulari le prove di laboratorio eseguite riguardano prevalentemente peso di volume, contenuto d'acqua, granulometria e, ove possibile, limiti di Atterberg.

Sui campioni lapidei, riferibili alla Dolomia Principale ed alle Vulcaniti, è stato determinato il peso di volume, resistenza a compressione semplice, resistenza a compressione triassiale, resistenza a trazione. Sono inoltre state eseguite prove per valutare la fresabilità in vista della previsione di scavo meccanizzato della galleria Cogollo fra cui in particolare: Punch penetration test, prova di abrasione, analisi difrattometriche e petrografiche in sezione sottile.

CAMPAGNA GEOGNOSTICA DI PROGETTO DEFINITIVO 2016 - 2017													
Sondaggio	Esecutore	prof (m)	piez tubo aperto	camp. rim (n°)	camp. indist (n°)	camp. amb. (n°)	prova dilatom (n°)	Permeabilità		SPT (n°)	Pocket Penetrom	Torvaine	Materiale
								Lugeon	Lefranc				
S0D	Geotecnica Veneta	10	si	5		3				4			Ghiaia in matrice sabbioso limosa. Presenti blocchi
S1D	Geotecnica Veneta	50	si	15		3				12			Ghiaia in matrice limosa. Rari blocchi
S2D	Geotecnica Veneta	30	si	12		3			1	10			Ghiaia in matrice sabbioso limosa
S2D bis	Geotecnica Veneta	15	si	7		3				7			Ghiaia in matrice sabbioso limosa. Rari blocchi
S3D	Geotecnica Veneta	25	si	7		3				7			Ghiaia in matrice sabbioso limosa. Frequenti blocchi
S4D	Geotecnica Veneta	35	si	13	1	2			1	11	2	2	Ghiaia in matrice sabbioso limosa
S5D	Geotecnica Veneta	35	si	14					1	11			Ghiaie sabbioso limose con intercalazioni di limi sabbiosi
S6D	Geotecnica Veneta	35	si	13					1	11	5	5	Ghiaie sabbioso limose con intercalazioni di limi sabbiosi
S7D	Georicerche	50	si	5		3			2				Ghiaia in matrice sabbiosa. Trovanti fino a 26,5 m
S7D bis	CTM	71,4	si	5									Frammenti lapidei con sabbia limosa / Vulcaniti
S8D	CTM	77	si	15			2	4					Vulcaniti
S9D	CTM	40	si	12			2	2					Dolomia
S10D	CTM	40	no	12		3	3	2					Dolomia
S11D	CTM	45	si	15		3							Dolomia
S11Dbis	CTM	80	si	0									Dolomia
S12D	CTM	50	si	19					1	18			Ghiaie e sabbie debolmente limose
S13D	CTM	50	si	18					1	18			Ghiaie e sabbie debolmente limose
S14D	Georicerche	160	si	3		3	5	5					Dolomia molto fratturata
S15D	Georicerche	30	si	5		3			1	2			Trovanti in ghiaia sabbiosa / ciottoli con ghiaia sabbiosa
S16D	Georicerche	50	si	15					1	15			Trovanti in ghiaia sabbiosa / ciottoli con ghiaia sabbiosa
S17D	Georicerche	40	si	10					1	10			Riporto, trovanti in ghiaia, ciottoli con ghiaia sabbiosa
S17D bis	Georicerche	10	no	5									Riporto, trovanti in ghiaia, ciottoli con ghiaia sabbiosa

Tabella 3.10 Sondaggi campagna 2016-2017

Si sono altresì prelevati alcuni campioni di Dolomia in affioramento sui quali, dopo averli opportunamente ridotti ad adeguata pezzatura, sono state eseguite prove Los Angeles per valutare la possibilità di utilizzo della roccia come inerte per il confezionamento di conglomerati cementizi e bituminosi. Per gli stessi scopi si sono inoltre acquisite ulteriori prove eseguite su

Dolomia proveniente e lavorata da cava Molino (zona svincolo valle dell'Astico) e relative a: determinazione dell'indice di forma, Micro Deval, assorbimento d'acqua ed ancora Los Angeles.

Infine in corrispondenza del sondaggio S14D a fine lavori sono state eseguite: prova di verticalità in foro, rilievo televisivo, gamma ray log, rilievo della temperatura, misura della conducibilità elettrica.

La tabella seguente riporta, sinteticamente, le prove in situ eseguite, all'interno dei fori di sondaggio:

- prove di permeabilità (prove di tipo Lefranc nei depositi incoerenti, prove di tipo Lugeon in roccia)
- prove dilatometriche eseguite all'interno dei due sondaggi rappresentativi delle due litologie interessate dalle opere a progetto.

3.2.6 Prove di laboratorio – Prove di fresabilità.

Nel corso della campagna di indagini geognostiche 2016-2017, a supporto della progettazione definitiva sono state condotte le seguenti prove di fresabilità, su campioni di dolomia principale e di vulcaniti, litologie interessate dallo scavo in meccanizzato della Galleria Cogollo:

- determinazioni dell'indice Sievers' J Value (S_j), tramite Sievers Test;
- determinazione della resistenza alla frantumazione S_{20} , tramite Brittleness Test;
- determinazioni dell'indice di abrasività AVS;
- determinazioni dell'indice di abrasività Cerchar;
- analisi diffrattometriche.

La tipologia di prove di eseguite sui campioni lapidei è stata definita in aderenza ai NTNU/SINTEF test methods, specificati dal Norwegian University of Science and Technology, al fine di definire gli indici di fresabilità DRI (Drilling Rate Index) e CLI (Cutter Life Index); in aggiunta sono state eseguite prove Cerchar, internazionalmente riconosciute come metodo per stimare l'abrasività della roccia (West, 1989), tramite la determinazione dell'indice CAI (Cerchar Abrasivity Index).

A supporto dell'interpretazione delle prove meccaniche di fresabilità, sono state inoltre condotte:

- analisi in diffrazione dei raggi X da polveri.

La determinazione degli Indici di fresabilità è stata suddivisa per le due differenti litologie interessate dallo scavo meccanizzato:

- Dolomia principale
- Vulcaniti.

3.2.6.1.1 CRITERI DI DETERMINAZIONE DEGLI INDICI DI FRESABILITÀ

La fresabilità di una roccia indica la proprietà caratteristica del materiale roccia a consumare gli utensili di una macchina di scavo come una TBM. La fresabilità dipende dalla durezza della roccia, dalla composizione mineralogica e dall'orientazione delle discontinuità dell'ammasso. Comunemente la stima della fresabilità è condotta tramite la determinazione all'indice DRI (Drilling Rate Index), dell'indice CLI (Cutter Life Index) e dell'Indice CAI (Cerchar Abrasivity Index). Un secondo metodo, specifico per la stima della abrasività della roccia, è possibile tramite il parametro CAI.

Ci sono inoltre altri metodi di prova internazionalmente riconosciuti per determinare parametri geomeccanici, che influenzano la fresabilità dei materiali lapidei, quali la resistenza a compressione monoassiale (UCS) e l'indice Point Load (IS,50).

L'indice DRI (Drilling Rate Index), l'indice CLI (Cutter life Index) e l'indice CAI (Cerchar Abrasivity Index) sono misure indirette della fresabilità dell'ammasso roccioso. Esperienze condotte (Bruland 1998) mostrano che DRI, CLI e CAI forniscono una buona e riproducibile misura della fresabilità e abrasività della roccia.

Le prove eseguite sui campioni di dolomia e vulcaniti hanno fornito i seguenti risultati:

Sondaggio	Campione	Profondità	Litologia	Prove di perforabilità	DRI	AVS	CLI	Cerchar test
				SJ a 20 kg mm/10				CAI index (HRC 55) mm/10
-	-	-	-		-	-	-	
SD8	C5	34,30-35,10	Vulcanite					3.5
SD8	C6	36,20-36,50	Vulcanite					3.3
SD8	C10	46,60-46,90	Vulcanite	161.7	68	15.5	34.1	
SD8	C11	49,60-49,82	Vulcanite					3.4
SD8	C13	66,40-66,75	Vulcanite					3.8
SD9	C2	11,10-11,60	Dolomia	53.8	46	16	22.1	
SD9	C4	18,80-19,00	Dolomia					1.70
SD9	C12	39,50-40,00	Dolomia					2.60
SD10	C5	20,20-20,80	Dolomia	22.8	40	14	16.7	2.40
SD10	C7	27,00-27,85	Dolomia	36.9	38	17	18.6	2.30
SD10	C10	34,00-34,60	Dolomia	32.4	36	15.5	18.4	3.40
SD11	CR7	19,30-19,70	Dolomia	100.5	71	16.5	27.7	2.40
SD11	CR15	42,00-42,45	Dolomia	33.1	52	17.5	17.7	2.50

Risultati delle prove eseguite

I valori medi relativi alle due litologie sono riportati nel seguito:

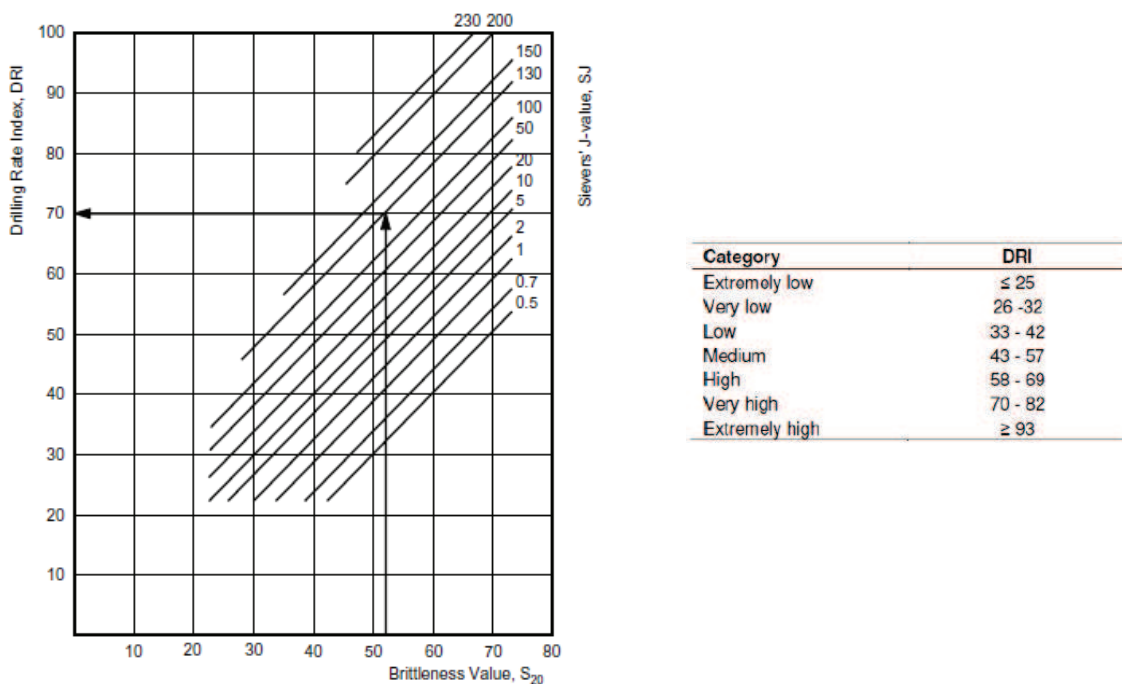
	DRI	CLI	CAI
Vulcanite	68.0	34.1	3.5
Dolomia	47.2	20.2	2.5

Valori medi

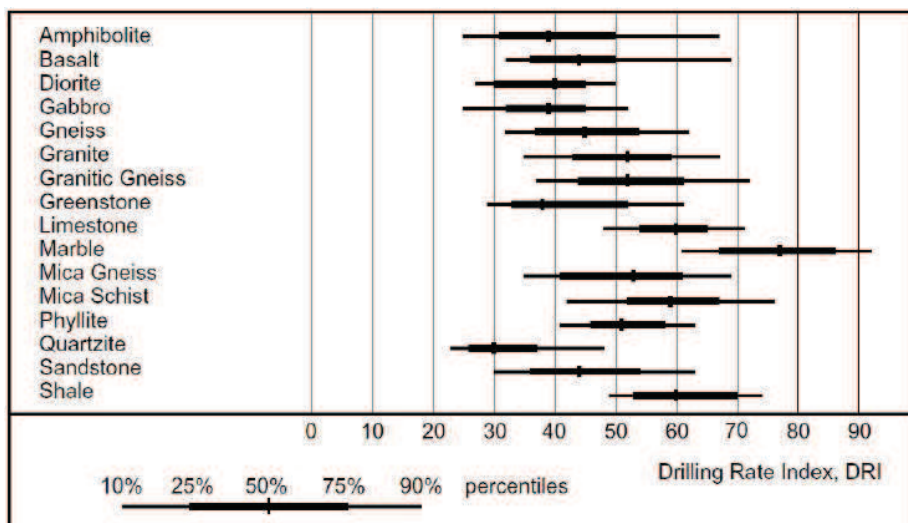
Le 2 formazioni rientrano nella categoria medio-alta per quanto riguarda l'indice DRI, quindi difficili da scavare, con valori più elevati per le rocce vulcaniti.

Il risultato è in linea con quanto risulta dall'indice CLI, che prevede un alto consumo dei cutter durante lo scavo, ed è confermato dall'indice CAI, che classifica le 2 rocce come molto abrasive.

L'indice DRI può essere descritto come il valore di resistenza alla frantumazione S_{20} corretto tramite il Sievers' J-value (S_j) per tenere in conto della durezza superficiale della roccia. La correlazione tra DRI, S_{20} e S_j è fornita dall'abaco sotto riportato, alla destra del quale sono specificate le categorie per la classificazione dell'indice DRI.



Abaco per la determinazione dell'indice DRI (a sinistra) e classificazione per categorie (a destra)

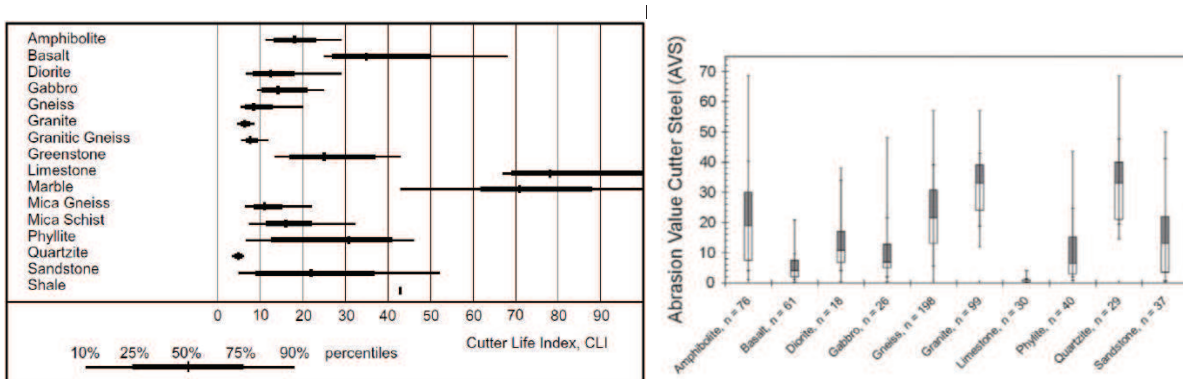


Abaco per la determinazione dell'indice DRI (a sinistra) e classificazione per categorie (a destra) – Bruland (1998)

L'indice **CLI** è stimato sulla base del valore di S_J e dell'indice AVS (Abrasion Value Steel). CLI fornisce una stima del consumo dei cutter durante l'avanzamento della TBM, espressa in ore di scavo per cutter. La correlazione tra CLI, AVS e S_J è fornita dall'equazione seguente:

$$CLI = 13.84 \cdot \left(\frac{S_J}{AVS} \right)^{0.3847}$$

La classificazione del CLI e la variabilità per differenti tipi di roccia del CLI e di AVS sono riportate nel seguito.



Classificazione del DRI e range di variazione tipici del CLI e di AVS in funzione della litologia del campione

CATEGORY	CLI
EXTREMELY LOW	< 5
VERY LOW	5.0 ÷ 5.9
LOW	6.0 ÷ 7.9
MEDIUM	8.0 ÷ 14.9
HIGH	15.0 ÷ 34.0
VERY HIGH	35.0 ÷ 74.0
EXTREMELY HIGH	≥ 75

Classificazione per categorie dell'indice CLI

L'indice **CAI** si ottiene dalla prova Cerchar, che permette di valutare l'abrasività della rocce misurando l'usura della punta di un cono in acciaio fatta sfregare contro la superficie di un provino appositamente formato. Il valore dell'indice CAI è calcolato tramite la media dell'usura espressa in mm su 5 diverse determinazioni condotte sullo stesso provino. Cautelativamente l'usura di ogni determinazione è maggiorata di 0.48 mm per tenere conto che la superficie dei provino possa essere inadatta rispetto agli standard definiti per la prova (Plinninger, 2003). Nella tabella seguente è indicata la classificazione di abrasività in funzione del valore dell'indice CAI (Cerchar, 1986)

CATEGORY	CAI
NOT VERY ABRASIVE	0.3 ÷ 0.5
SLIGHTLY ABRASIVE	0.5 ÷ 1.0
MIDLY ABRASIVE	1.0 ÷ 2.0
VERY ABRASIVE	2.0 ÷ 4.0
EXTREMELY ABRASIVE	4.0 ÷ 6.0

Classificazione per categorie dell'indice CAI

Alcune campioni di dolomia e di vulcaniti sono stati analizzati mediante diffrazione RX. Le analisi diffrattometriche eseguite hanno fornito i seguenti risultati.

DOLOMIA

- un totale di n. 9 campioni analizzato ha evidenziato la presenza delle fasi mineralogiche, dolomite, calcite ed ankerite.

VULCANITI

- i n. 2 campioni analizzati hanno evidenziato la presenza delle fasi mineralogiche, quarzo, K-feldspato, plagioclasio, fasi argillose.

3.2.7 Indagini geofisiche. Sismica a rifrazione e tomografia elettrica.

Stante la scarsa accessibilità delle aree in asse al tracciato una valida integrazione all'analisi conoscitiva è stata ottenuta attraverso indagini sismiche a rifrazione con tecnica tomografica in onde P ed S poste prevalentemente in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie e più limitatamente (a causa delle elevate coperture) delle gallerie naturali (traversa sismica TSD10 lungo la galleria S. Pietro eseguita a riflessione).

Una taratura delle indagini geofisiche è stata ottenuta attraverso i sondaggi a carotaggio continuo ubicati, ove possibile, nelle vicinanze degli stendimenti.

Sempre con riferimento alla reciproca taratura dell'indagine geofisica agli imbocchi delle gallerie, ed in sostanziale sovrapposizione con gli stendimenti sismici, sono stati eseguiti stendimenti di tomografia elettrica.

Come riepilogato in tabella 4.11 e 4.12 sono state eseguite n° 13 traverse sismiche a rifrazione e n° 1 a riflessione per complessivi 2.696 m di stendimento, e n° 7 tomografie elettriche per complessivi 1040 m di stendimento.

Stendimenti sismici ed elettrici, laddove entrambi presenti, sono stati eseguiti lungo il medesimo allineamento e stendimento.

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

ID SEZIONE	SISMICA A RIFRAZIONE	SISMICA A RIFLESSIONE	TOMOGRAFIA ELETTRICA
TSD1	X		X
TSD2	X		
TSD2bis	X		
TSD3	X		X
TSD4	X		X
TSD4bis	X		
TSD5	X		X
TSD6	X		
TSD7	X		X
TSD8	X		X
TSD9	X		
TSD10	X	X	
TSD11	X		X

Tabella 3.11 Sismica e geoelettrica campagna 2016-2017

ID SEZIONE	PUNTI DI RICEZIONE	INTERDISTANZA (m)	LUNGHEZZA (m)
TSD1	41	3	120
TSD3	41	3	120
TSD4	41	3	120
TSD5	41	3	120
TSD7	41	3	120
TSD8	41	4	160
TSD11	81	3.5	280

ID SEZIONE	PUNTI DI RICEZIONE	INTERDISTANZA (m)	LUNGHEZZA (m)
TSD1	24	5	115
TSD2	24	5	115
TSD2bis	72	6	426
TSD3	24	5	115
TSD4	24	5	115
TSD4bis	24	5	115
TSD5	24	5	115
TSD6	24	5	115
TSD7	24	5	115
TSD8	24	5	115
TSD9	24	5	115
TSD10	60	5	885
TSD11	48	5	235
TOTALE			2.696

Tabella 3.12. Geometria degli stendimenti elettrici (sopra) e sismici (sotto) anno 2016 - 2017

Per la determinazione della categoria di suolo di fondazione sono state eseguite, in corrispondenza delle opere principali, n° 9 indagini sismiche tipo Masw con determinazione della Vs30, velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m, come riepilogato in tabella 3.13.

Numero indagine	Vs30-01	Vs30-02	Vs30-03	Vs30-04	Vs30-05
Ubicazione	Viadotto Piovene	Viadotto Piovene	Sottopasso SS350	pk 2.200	Svincolo Cogollo
Numero indagine	Vs30-06	Vs30-07	Vs30-08	Vs30-09	
Ubicazione	Viadotto Settecà	Viadotto Settecà	Viadotto Molino	Viadotto Molino	

Tabella 3.13 MASW campagna anno 2016 – 2017

Le risultanze delle indagini sismiche hanno consentito la ricostruzione dell'andamento del contatto detriti/roccia nelle zone di imbocco delle gallerie e la definizione dei moduli elastici dei materiali. Al riguardo si vedano i profili geologici, geomeccanici e le monografie degli imbocchi delle gallerie.

3.2.1 Prove geomeccaniche di laboratorio

Di seguito si riporta una sintesi di tutte le prove di laboratorio eseguite sui campioni di dolomia e di vulcaniti

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

Sondaggio	Campione	Profondità	Descrizione	peso di volume naturale	peso di volume secco	contenuto d'acqua	Compressione monoassiale			Compressione biassiale					Trazione indiretta (Prasiliana)
							Valore rottura	Modulo di Young tangente	Coefficiente di Poisson	Carico deviatorico di rottura	Carico assiale a rottura	Pressione di confinamento	Modulo di Young	Coefficiente di Poisson	
n°		m		γ_a	γ_s	w	σ_c	E	ν	$\sigma_1 - \sigma_2$	σ_1	σ_2	E_t	ν	σ_t
				kN/m ³	kN/m ³	%	MPa	MPa		MPa	MPa	MPa	MPa		MPa
SD9	C1	10,40-10,80	Dolomia	27,09	27,04	0,19				85,91	90,91	5,0	58513	0,30	6,67
SD9	C1	10,40-10,80	Dolomia							123,85	133,85	10,0	41057	0,12	
SD9	C1	10,40-10,80	Dolomia							237,76	252,76	15,0	47500	0,15	
SD9	C2	11,10-11,60	Dolomia												
SD9	C3	17,55-17,80	Dolomia	27,02	27,01	0,04	52,35	63987	0,25						
SD9	C4	18,80-19,00	Dolomia												6,57
SD9	C5	23,00-23,30	Calcere marnoso	26,47	26,46	0,03	49,85	37548	0,25						9,38
SD9	C6	28,00-28,40	Calcere marnoso												
SD9	C7	30,50-31,00	Dolomia	27,10	27,08	0,07	68,06	50251	0,10						4,70
SD9	C8	32,50-32,80	Dolomia												
SD9	C9	34,30-34,85	Dolomia	26,65	26,61	0,14				96,01	106,01	10,0	36900	0,19	
SD9	C9	34,30-34,85	Dolomia							137,78	152,78	15,0	58382	0,19	
SD9	C9	34,30-34,85	Dolomia							227,14	247,14	20,0	69091	0,19	
SD9	C10	35,75-36,20	Dolomia												
SD9	C11	37,00-37,35	Dolomia												
SD9	C12	39,50-40,00	Dolomia	27,28	27,23	0,18				122,64	137,64	15,0	41831	0,20	4,99
SD9	C12	39,50-40,00	Dolomia							186,51	206,51	20,0	51045	0,14	
SD9	C12	39,50-40,00	Dolomia							157,76	182,76	25,0	25840	0,17	
SD10	C1	5,00-5,40	Dolomia	27,20	27,19	0,03	113,97	52265	0,10						7,09
SD10	C2	10,20-10,65	Dolomia												
SD10	C3	12,25-12,65	Dolomia												
SD10	C4	17,00-17,40	Dolomia												
SD10	C5	20,20-20,80	Dolomia	26,64	26,63	0,06	96,19	58532	0,15						
SD10	C6	22,55-23,00	Dolomia	26,41	26,36	0,20				183,12	188,12	5,0	52182	0,26	
SD10	C6	22,55-23,00	Dolomia							183,99	193,99	10,0	54234	0,21	
SD10	C6	22,55-23,00	Dolomia							206,83	221,83	15,0	114589	0,25	
SD10	C7	27,00-27,85	Dolomia												
SD10	C8	31,35-31,70	Dolomia												2,68
SD10	C9	33,15-33,55	Dolomia	27,42	27,40	0,06	85,45	58185	0,22						12,14
SD10	C10	34,00-34,60	Dolomia												
SD10	C11	38,00-38,50	Dolomia	27,31	27,30	0,05				202,35	212,35	10,0	74495	n.d.	
SD10	C11	38,00-38,50	Dolomia							384,43	399,43	15,0	81303	0,24	
SD10	C11	38,00-38,50	Dolomia							200,40	220,40	20,0	60082	0,42	
SD10	C12	38,70-39,00	Dolomia	27,00	29,98	0,10				172,51	187,51	15,0	85634	0,40	
SD10	C12	38,70-39,00	Dolomia							244,49	264,49	20,0	75556	0,38	
SD10	C12	38,70-39,00	Dolomia							236,21	261,21	25,0	86455	0,26	
SD11	CR1	5,00-5,35	Dolomia	27,25	27,24	0,01	92,57	33673	0,20						
SD11	CR2	8,65-8,90	Dolomia												
SD11	CR3	9,30-9,55	Dolomia	26,93	26,92	0,02	66,62	53299	n.d.						
SD11	CR4	12,65-12,90	Dolomia	27,16	27,14	0,08				242,36	252,36	10,0	68667	0,43	
SD11	CR5	16,00-16,50	Dolomia	26,13	26,11	0,06	36,54	12616	0,26						
SD11	CR6	17,00-17,50	Dolomia	27,06	27,04	0,06				104,48	114,48	10,0	32447	0,30	16,39
SD11	CR6	17,00-17,50	Dolomia							199,25	214,25	15,0	44461	0,33	
SD11	CR6	17,00-17,50	Dolomia							187,31	207,31	20,0	38959	0,33	
SD11	CR7	19,30-19,70	Dolomia	27,00	26,99	0,02	82,45	48112	0,41						6,50
SD11	CR8	22,00-22,80	Dolomia	26,50	26,48	0,07	64,35	31539	0,11	42,78	47,78	5,0	12653	0,12	7,85
SD11	CR8	22,00-22,80	Dolomia							175,51	185,51	10,0	42493	0,24	
SD11	CR8	22,00-22,80	Dolomia							151,11	166,11	15,0	40460	0,28	
SD11	CR9	25,15-25,55	Dolomia												
SD11	CR10	27,50-27,90	Dolomia	26,95	26,94	0,04				136,05	146,05	10,0	66888	0,43	
SD11	CR10	27,50-27,90	Dolomia							166,89	181,89	15,0	78068	0,34	
SD11	CR10	27,50-27,90	Dolomia							226,04	246,04	20,0	67401	0,36	
SD11	CR11	31,00-31,35	Dolomia	26,61	26,60	0,05	19,53								
SD11	CR12	32,20-32,60	Dolomia	25,88	25,86	0,07	18,27								
SD11	CR13	36,15-36,35	Dolomia	26,65	26,63	0,09									6,34
SD11	CR14	39,00-39,40	Dolomia	26,82	26,81	0,04				172,57	192,57	20,0	67500	n.d.	
SD11	CR15	42,00-42,45	Dolomia	27,29	27,28	0,06				248,98	263,98	15,0	61875	0,35	14,67
SD11	CR15	42,00-42,45	Dolomia							229,20	254,20	25,0	48038	0,34	
			valore medio	26,87	26,97	0,07	65,09	45455,18	0,21	182,97	197,81	14,84	57567,71	0,27	8,15
			dev.standard	0,39	0,74	0,05	29,32	15125,65	0,10	63,75	66,53	5,70	20774,38	0,09	4,00

Sintesi prove laboratorio - DOLOMIA

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

Sondaggio	Campione	Profondità	Descrizione				Compressione mono ax			Compressione triassiale					Trazione indiretta (brasiliana)
				peso di volume naturale	peso di volume secco	contenuto d'acqua	Valore rottura	Modulo di Young tangente	Coefficiente di Poisson	Carico deviatorico di rottura	Carico assiale a rottura	Pressione di confinamento	Modulo di Young	Coefficiente di Poisson	
n°		m		γ_n	γ_d	%	σ_c	E	ν	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_1	σ_3	E_1	ν	σ_1
				kN/m ³	kN/m ³		MPa	MPa		MPa	MPa	MPa	MPa		MPa
SD8	C1	17,00-17,80	Vulcanite	24,89	24,88	0,07				104,79	109,79	5,0	31720	0,34	
SD8	C1	17,00-17,80	Vulcanite							94,81	104,81	10,0	30612	0,23	
SD8	C2	19,20-19,60	Vulcanite												
SD8	C3	23,00-23,85	Vulcanite												
SD8	C4	29,50-29,85	Vulcanite												6,15
SD8	C5	34,30-35,10	Vulcanite	25,18	25,15	0,11				158,86	171,86	13,0	30250	0,15	
SD8	C6	36,20-36,50	Vulcanite	24,63	24,59	0,14				46,94	51,94	5,0	17688	0,34	7,96
SD8	C6	36,20-36,50	Vulcanite							107,19	117,19	10,0	48604	0,14	
SD8	C7	39,00-39,60	Vulcanite	25,39	25,37	0,05	28,80	20000	0,20						
SD8	C8	40,25-40,50	Vulcanite												
SD8	C9	44,10-44,40	Vulcanite												
SD8	C10	46,60-46,90	Vulcanite												
SD8	C11	49,60-49,82	Vulcanite												11,67
SD8	C12	64,65-65,00	Vulcanite	25,32	25,29	0,10				117,86	133,86	16,0	40650	0,24	
SD8	C13	66,40-66,75	Vulcanite	25,21	25,17	0,19				111,47	121,47	10,0	50592	0,15	13,72
SD8	C13	66,40-66,75	Vulcanite							100,37	113,37	13,0	40492	0,20	
SD8	C13	66,40-66,75	Vulcanite							178,26	191,26	16,0	34459	0,25	
SD8	C14	69,15-69,55	Vulcanite	25,14	25,13	0,04	72,96	34396	0,21						
SD8	C15	72,45-72,90	Vulcanite	25,44	25,40	0,13				182,59	195,59	13,0	47190	0,15	
SD8	C15	72,45-72,90	Vulcanite							86,23	102,23	16,0	42281	n.d.	
SD8	C15	72,45-72,90	Vulcanite							242,27	260,27	18,0	35981	0,23	
SD8	C16	73,00-73,35	Vulcanite	24,99	24,98	0,05	75,30	55657	0,16						
SD8	C17	76,35-76,80	Vulcanite												
			valore medio	25,13	25,11	0,10	59,02	36684,33	0,19	127,64	139,47	12,08	37543,25	0,22	9,88
			dev. standard	0,26	0,26	0,05	26,20	17938,30	0,03	53,12	55,71	4,23	9379,82	0,07	3,44

Sintesi prove laboratorio - VULCANITI

3.2.2 Indagini geofisiche. Magnetotellurica.

Per indagare i tratti in galleria caratterizzati, come già anticipato, da condizioni di elevata copertura (fino a 1.000 m) e scarsa accessibilità si è fatto ricorso ad indagini geofisiche con metodo magnetotellurico, una tecnologia leggera, speditiva e quindi adeguata all'utilizzo in condizioni di alta quota ed in situazioni orografiche ed ambientali oggettivamente difficili.

Le indagini magnetotelluriche, già sperimentate con buon successo in sede di progettazione preliminare, hanno avuto lo scopo di verificare ed integrare l'inquadramento geologico stratigrafico e strutturale delle principali opere in sotterraneo dedotto dai rilievi, dalle indagini puntuali (sondaggi) e dalle prospezioni sismiche ed elettriche condotte in zona d'imbocco. Sono perciò disposte ad integrazione degli indagini disponibili e particolarmente concentrate nelle aree ove sussistono i maggiori dubbi interpretativi, e dove in particolare le condizioni della rete viaria e/o orografiche sono tali da rendere complesso l'impiego di altri metodi d'indagine. I pregi del metodo magnetotellurico brevemente sono:

- tempi ridotti di acquisizione dei dati, grazie alla compattezza della strumentazione che non necessita di estesi stendimenti di cavi e di geofoni, garantendo rapidità di realizzazione a fronte di un difficile contesto morfologico;
- non necessita di esplosivo o altra energizzazione esterna, in quanto registra i campi elettro – magnetici naturali terrestri;
- capacità di indagare profondità fino a 2 Km con un buon dettaglio dei contatti stratigrafici e dei principali motivi strutturali;
- la sequenza stratigrafica dominante, costituita da rocce resistenti che poggiano su rocce conduttive, è particolarmente favorevole alla applicazione di questo metodo.

Il parametro ottenuto dall’elaborazione ed interpretazione dei dati è la conducibilità elettrica dei terreni, che in sede di restituzione è stata calata in un possibile modello elettro stratigrafico interpretativo.

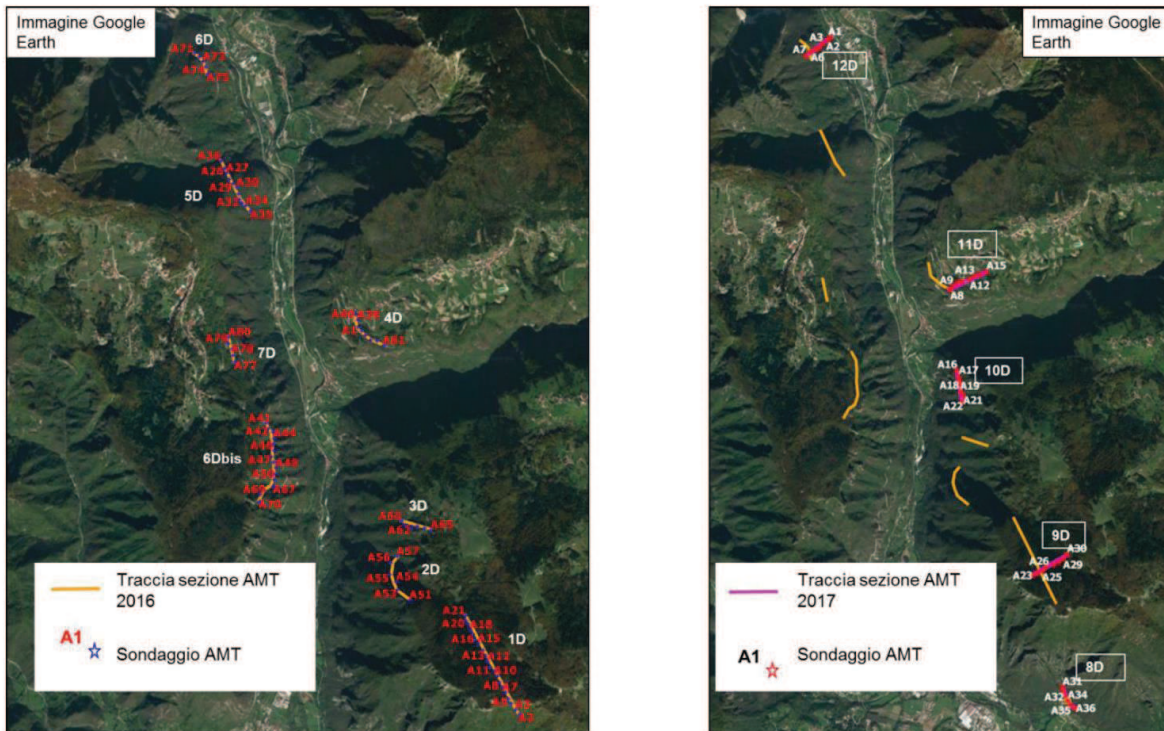
In una prima fase sono stati eseguiti n° 8 stendimenti magnetotellurici di lunghezza variabile fra 400 m e 1.500 m (numerati da AMT1D ad AMT7D) di cui AMT6bD ed AMT7D posti in corrispondenza di una possibile variante di tracciato analizzata a seguito delle prescrizioni VIA, per complessivi 5.600 m. In corso d’opera a seguito della restituzione delle stesse magnetotelluriche, dei rilievi di campagna e delle prime risultanze dei sondaggi, è stata prevista un’integrazione mediante le linee AMT8D-AMT12D, in buona parte disposte ortogonalmente alle precedenti, al tracciato ed ai principali allineamenti tettonici individuati.

Come riepilogato in tabella 3.14 sono state complessivamente eseguite n° 13 stese magnetotelluriche per complessivi 8.250 m circa di sviluppo.

Numero indagine	AMT1D	AMT2D	AMT3D	AMT4D	AMT5D	AMT6D	AMT6b
Progressiva (m)	7.700	9.100	9.750	12.200	14.600	16.300	-
Ubicazione	GN Cogollo	GN Cogollo	GN Cogollo	GN Pedescala	GN S Pietro	GN S Pietro	Opzione B
Litotipo	Calcarei, dolomia e vulcaniti	Calcarei, dolomia e vulcaniti	Calcarei, dolomia e vulcaniti	Calcarei e Dolomia	Calcarei e Dolomia	Dolomia	Dolomia
Lunghezza stesa (m)	1500,00	375,00	450,00	600,00	825,00	375,00	1125,00
Numero indagine	AMT7D	AMT8D	AMT9D	AMT10D	AMT11D	AMT12D	
Progressiva (m)	-	5.300	7.450	10.650	12.000	16.450	
Ubicazione	Opzione B	GN Cogollo	GN Cogollo	GN Cogollo	GN Pedescala	GN S Pietro	
Litotipo	Dolomia	Depositi di copertura, dolomia e vulcaniti	Calcarei, Dolomia e vulcaniti	Calcarei, Dolomia e vulcaniti	Dolomia e vulcaniti	Dolomia	
Lunghezza stesa (m)	400,00	400,00	600,00	400,00	600,00	600,00	

Tabella 3.14 Stendimenti magnetotellurici campagna anno 2016-2017

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



Planimetria stendimenti magnetotellurici campagna anno 2016-2017

Sulla galleria Cogollo gli stendimenti sono posizionati lungo il versante occidentale dell'Altopiano di Asiago, in particolare nella zona del Monte Cengio (tratta a maggiore copertura, oltre 1.000 m) e sul ripido versante sinistro dell'Astico fra Schiri e Pedescala. Alcuni sondaggi geognostici ubicati in zona d'imbocco, ed altri disassati rispetto al tracciato, hanno permesso di meglio comprendere l'assetto strutturale dell'ammasso tarando gli stendimenti audio – magnetotellurici e riscontrando non solo la Dolomia Principale, diffusamente affiorante, ma anche le sottostanti vulcaniti di colata. L'andamento di tale contatto si rende evidente per il contrasto di conduttività/resistività tra le due formazioni: le vulcaniti sono più conduttive delle dolomie soprastanti. Sono state inoltre individuate anche zone a maggiore resistività attribuibili a zone di faglia o comunque zone caratterizzate da una intensa tettonizzazione.

Sulla galleria Pedescala è stata indagata la parte centrale a maggiore copertura dell'opera; in zona più prossima all'imbocco sud sono stati eseguiti i sondaggi S10Dbis ed S11D, quest'ultimo da 80 m, che contribuiscono alla taratura dei risultati.

Sulla galleria San Pietro sono state indagate ampie parti della galleria, che si sviluppa in destra Astico su di un versante già indagato con lo stendimento magnetotellurico AMT01P di preliminare. In ciascuna sezione vengono sottolineati i principali contatti tettonici/litologici e le discontinuità strutturali messe in evidenza da differenti resistività.

In linea generale le sezioni mostrano 4 unità elettrostrigrafiche distinte:

- un'unità resistiva superficiale (colori dal giallo al rosso), con spessori variabili fino a 100-200 m che verosimilmente rappresenta le unità dei calcaree giurassiche. In taluni casi è stato possibile differenziare le unità giurassiche presenti.
- un livello a resistività medio-elevate (colori dal verde-giallo all'azzurro), questo livello è spesso assente e discontinuo. Non è stato ritrovato in tutte le sezioni. Probabilmente indica il passaggio dalle unità superiori quelle inferiori (generalmente meno permeabili).
- un'unità ad elevata resistività (colori dall'arancio al viola), gli spessori di questa unità sono generalmente i maggiori della sezione e spesso raggiunge la quota del fondo valle. La correlazione più plausibile per questo elettrostrato è la Dolomia Principale (DPR). Questa unità appare interessata da numerose discontinuità verticali o subverticali, peraltro in parte già segnalate nel foglio geologico CARG.
- un'unità di fondo con bassi valori di resistività (colori dal verde al blu). Lo spessore di questa unità risulta molto variabile e generalmente piuttosto elevato. Non è stato possibile distinguere all'interno di questa unità le vulcaniti e dalle unità marnoso calcaree del Trias.

Situazioni locali hanno modificato la risposta elettromagnetica delle unità precedentemente distinte. Dalla comparazione dei risultati con la disposizione geometrica delle differenti unità, rilevata sul foglio geologico, emerge una buona congruenza. Sono emerse importanti discontinuità verticali/subverticali che sembrano interessate l'intera stratigrafia.

Le giaciture delle unità riconosciute appaiono coerenti con quelle riportate sulla cartografia, a riconferma dell'attendibilità dei dati misurati. I settori dove sono state cartografate discontinuità tettoniche importanti, mostrano spesso valori di resistività più bassi dovuti all'elevato grado di fratturazione della roccia che le rende settori preferenziali di circolazione dell'acqua.

Si rimanda alla lettura della specifica relazione interpretativa per i dettagli delle risultanze delle indagini.

4 DESCRIZIONE PROFILI GEOLOGICI

Come estesamente descritto nella “Relazione geologico-geomorfologica”, la successione stratigrafica affiorante nell’area interessata dalle opere a progetto è rappresentata da formazioni rocciose di età compresa tra il Triassico medio ed il Cretaceo inferiore, ovvero fra le vulcaniti ladiniche poste al letto della Dolomia Principale lungo la valle dell’Astico e la Maiolica sugli altopiani di Asiago e Tonezza, con coperture quaternarie continentali riconducibili essenzialmente a depositi glaciali, fluviali, fluvio glaciali e di versante.

In sintesi, la sequenza litologico-stratigrafica che interessa il tracciato autostradale è così rappresentata, dalla formazione più antica alla più recente:

- Vulcaniti indifferenziate, riolitico-dacitiche, affioranti nella Valdastico in lembi isolati; la loro genesi è collegata a colate sottomarine, sono fortemente fratturate e/o alterate e localmente possono presentare fenomeni di argillificazione. La loro età è ascrivibile all’acme vulcanico del Ladinico superiore.
- Dolomia principale che affiora estesamente nella Valdastico ed interessa il 90% del tracciato autostradale. E’ costituita da dolomie chiare, da grigio a biancastre, ben stratificate, lo spessore varia da 500 a 600 metri circa. L’età è ascrivibile al Carnico superiore nella parte basale della sequenza ed al Retico nella parte superiore.
- Gruppo dei Calcari grigi, costituito da sequenze di calcari micritici. Gli strati hanno colore prevalentemente grigio, grigio-bruno o nocciola, talora bianco avorio o più raramente su toni rosati. La successione è ben stratificata. L’età del gruppo dei calcari grigi è da attribuire al Lias medio ed inferiore. Lo spessore complessivo della formazione nell’area dell’altopiano di Folgaria e della Vigolana meridionale è stimato attorno ai 330 metri circa. Questa litologia non interseca mai il tracciato autostradale perché si sviluppa nella porzione superiore dei versanti che delimitano gli altopiani strutturali dell’area di studio.

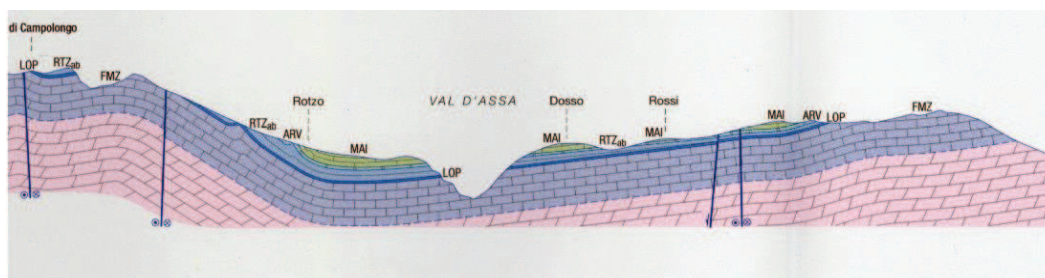


Figura 4.0 – Sezione geologica dell’altopiano della Valdastico e sequenza litologica caratteristica (tratto da “Carta Geologica d’Italia 1:50000, Regione Veneto, foglio 082 Asiago); la sezione si trova all’incirca parallela al tracciato di progetto nella parte che si estende dalla galleria Cogollo fino all’imbocco nord della galleria Pedescala, in sinistra idrografica del T.Valdastico.

4.1 ASSETTO STRUTTURALE DELLA VALDASTICO

L'area di studio rappresenta la porzione meno deformata del Sudalpino, risultando priva di significative strutture compressive. In particolare è evidente la separazione del settore posto a nord della linea della Valsugana, caratterizzato dalla diffusa presenza di vulcaniti, da quello posto a sud, dove prevalgono litologie calcaree e sono sostanzialmente assenti le vulcaniti.

L'assetto strutturale è strettamente legato alle fasi di rifting che hanno portato alla formazione della catena alpina e suddivisibili nelle 3 fasi:

- fase eoalpina (Cretaceo): avvicinamento della placca europea e del promontorio africano detto Adria. La crosta oceanica europea va in subduzione rispetto a quella africana;
- fase mesoalpina (Eocene – Oligocene): scomparsa dell'oceano ligure – piemontese e collisione delle due placche con conseguente ispessimento crostale. Si sviluppa una struttura a doppia vergenza: le Alpi vere e proprie con vergenza europea e le Alpi meridionali o Sudalpino con vergenza verso sud;
- fase neoalpina (Miocene – Attuale): sviluppo della catena alpina nord e sud vergente.

I due domini sono separati dalla Linea Insubrica o Lineamento Periadriatico, che si sviluppa dal Piemonte fino alla Slovenia. Le principali deformazioni hanno termine nel Pliocene.

La val d'Astico è caratterizzata dalla presenza di ampi piegamenti che presentano una direzione all'incirca E-W, concorde al lineamento della Valsugana. In particolare si ricorda:

- l'anticlinale del M.Lisser che termina ad oriente in Valsugana;
- la sinclinale di Gallio, susseguente a sud alla sovrastante anticlinale, lunga oltre 30 Km.

Questi ampi piegamenti sono spezzettati da faglie trasversali sub verticali, a carattere prevalentemente trascorrente. Il fascio di faglie con direzione compresa tra N10°E e N25°W rappresenta la riattivazione, durante il Neogene, delle strutture tettoniche distensive mesozoico – paleogeniche, come faglie di svincolo. Appartengono a questo sistema di faglie:

- faglia della val di Centa;
- faglia di Posina;
- faglia del passo della Vela;
- faglia Masetti – Tonezza del Cimone.

L'intero sistema di pieghe e faglie è dislocato da un fascio di faglie verticali trascorrenti sinistre, con direzione N45°W, di cui la più importante è la faglia Schio – Vicenza. Questo fascio di faglie rappresenta una svincolo cinematico tra il settore a SW dei monti Lessini poco deformato e quello a NE bassanese a strutturazione più complessa.

A nord di Arsiero sono stati individuati alcuni elementi strutturali con direzione circa N – S, caratterizzati da scarpate rocciose a forte risalto morfologico. Strutture con risalto analogo sono individuabili a sud – est di Settecà e presso Lastebasse – Busatti.

Ne deriva che sono presenti principalmente 4 famiglie di lineamento con andamento:

- E – W di tipo valsuganese trasversale alla val d’Astico;
- N10°E e N25°W faglia val di Centa;
- N45°W di tipo scledense;
- N – S probabilmente riconducibile alla linea Trento – Cles.

La cartografia geologica allegata a questo progetto riporta i lineamenti morfo – strutturali, che sono stati individuati tramite foto – interpretazione. Le direzioni di questi lineamenti rispecchiano in linea di massima le quattro direzioni suddette.

4.1.1 Faglie di carattere regionale

Sulla base delle informazioni bibliografiche, di quelle raccolte durante i rilievi di superficie nonché delle risultanze della fotointerpretazione, delle indagini geofisiche, (sismiche e magnetotelluriche) e geognostiche (sondaggi), si segnala la presenza nell’area di interesse, di alcune faglie di importanza regionale attraversate dal tracciato, indicate come “*faglie principali*” nella carta geologica e nei profili geologici-geomeccanici di progetto e distinte da altre faglie di minore persistenza, classificate come “*faglie secondarie*”, comunque presenti e evidenziate negli elaborati progettuali.

In particolare si segnala l’intercettazione di “*faglie principali*” nelle seguenti tratte:

- pk 8+500 ÷ 8+700 circa e pk 11+100 ÷ 11+200 circa della Galleria Cogollo
- pk 11+700 circa della Galleria Pedescala
- tratto da 12+000 a pk 12+700 circa della Galleria Pedescala.

Come indicato nei profili geomeccanici di progetto, la presenza di un sistema di faglie con direzione sub-parallela al tracciato (faglie trascorrenti orientate circa NO-SE e sub-parallele alla linea Schio – Vicenza – appartenenti al sistema scledense), potrebbe far sì che il maggior grado di fratturazione/alterazione degli ammassi, generalmente correlato alla vicinanza con le zone di faglia, possa interessare il tracciato delle opere in sotterraneo anche per tratti superiori rispetto alle progressive sopra indicate.

Intorno alla pk 15+000 del tracciato (attualmente in fase di definizione) della Galleria S.Pietro è prevista inoltre l’intercettazione della faglia regionale della “Valpegara”, con direzione perpendicolare al tracciato (E – W di tipo valsuganese).

4.2 ASSETTO GEOLOGICO E STRUTTURALE LUNGO IL TRACCIATO

Di seguito si riportano i principali aspetti di carattere geologico e strutturale previsti lungo il tracciato delle opere in sotterraneo (le progressive sono riferite alla carreggiata Nord).

4.2.1 Tratto da pk 4+636 a pk 11+220 (Galleria Cogollo)

Dalla pk 4+636 alla pk 11+220 è prevista la **Galleria Cogollo**:

- (tratto da pk 4+636 a pk 4+867 ca. in galleria Artificiale)
- (tratto da pk 4+867 a pk 11+199 circa, in galleria Naturale)
- (tratto da pk 11+199 a pk 11+220 in galleria Artificiale).

La realizzazione della Galleria Naturale Cogollo è prevista mediante sistema di scavo in meccanizzato (TBM).

Le coperture sono comprese tra un minimo di 4÷5m circa nelle zone di imbocco, ad un massimo di 1000m nel tratto centrale.

Come evidenziato nella cartografia geologica e nei profili, il tratto della Galleria Cogollo da imbocco Sud è ubicato all'interno di rilevanti spessori di coltri detritiche, (Alluvioni/Detriti di versante), in considerazione dei quali si sono previste opere di imbocco caratterizzate da pali di grande diametro.

Anche il primo tratto di galleria naturale, fino a pk 5+600 circa, è previsto all'interno di coltri detritiche/alluvionali, in corrispondenza delle quali alcuni piezometri, segnalano la presenza di livelli di falda superiori rispetto alla quota calotta della galleria.

Sulla base delle indicazioni desumibili dalle indagini geognostiche indirette condotte nell'area, (tomografia sismica), vi è la probabilità che l'intercettazione del substrato roccioso in galleria possa avvenire prima della pk 5+600 sopra indicata, ma già alla pk 5+250 circa.

Oltre la pk 5+600 circa lo scavo è intestato all'interno del substrato roccioso, inizialmente caratterizzato, (in base alle indicazioni emerse dai sondaggi), dalla Formazione delle Vulcaniti) e successivamente dalla Dolomia Principale. La zona di contatto tra Vulcaniti e Dolomia Principale, prevista nel profilo geologico intorno alla pk 7+750 circa, è stata ipotizzata tenendo conto delle giaciture degli strati rilevate nell'area, delle risultanze dei sondaggi che hanno intercettato le Vulcaniti, (S7bis e S8) nonché degli spessori medi indicati in letteratura per la Dolomia Principale. Si segnala tuttavia che, sulla base dei dati disponibili, non è possibile escludere che tale contatto

possa essere ubicato a quote leggermente più alte o, verosimilmente, più basse rispetto a quanto indicato. In questo caso, tenendo conto della giacitura poco inclinata del contatto stesso, la progressiva di intercettazione in galleria del contatto Dolomia/Vulcaniti potrebbe subire variazioni anche notevoli.

La Dolomia Principale è caratterizzata da una permeabilità maggiore rispetto a quella delle sottostanti Vulcaniti (quest'ultime potrebbero costituire un "acquiclude"). Nella zona di contatto tra Dolomia e Vulcaniti sono previste venute d'acqua concentrata in galleria.

Come indicato nei profili geologici e geomeccanici, nel corso dello scavo della Galleria Cogollo è prevista l'intercettazione di faglie o zone di fratturazione, all'incirca alle pk (5+900, 7+200, 7+500, 7+750, 8+500-8+600, 9+100, 9+600, 10+200, 10+400, 11+180).

Per tali zone di faglia/fratturazione sono state analizzate le condizioni di rischio, sia dal punto di vista geomeccanico, sia dal punto di vista idrogeologico, classificate tenendo conto della rilevanza della faglia intercettata ("principale" o "secondaria").

Si segnalano in particolare, tra quelle sopra citate, le faglie a pk 8+500÷8+600 e 11+180 circa, classificate come faglie principali.

Dal punto di vista geomeccanico per le zone di faglia si prevede una fascia di alterazione e/o elevato grado di fratturazione dell'ammasso roccioso nell'introno della faglia di circa 20 m, definito come "damage zone". Come indicato nella carta geologica e nei profili geomeccanici di progetto, la presenza di un sistema di faglie con direzione sub-parallela al tracciato della Galleria Cogollo (faglie trascorrenti orientate circa NO-SE), potrebbe far sì che il maggior grado di fratturazione/alterazione degli ammassi, generalmente correlato alla vicinanza con le zone di faglia, possa interessare il tracciato delle opere in sotterraneo anche per tratti superiori rispetto alle progressive sopra indicate.

Un ulteriore fattore di rischio da tenere in considerazione per la Galleria Cogollo è legato alle condizioni di copertura, come di seguito descritto:

- Un lungo tratto iniziale, compreso tra l'imbocco lato Sud, (pk 4+867) e la pk 5+250 è interessato, oltre che dalla presenza di materiale detritico, da coperture ridotte, comprese tra 5m e 50m, con la presenza di edifici in superficie.
- Fino alla pk 5+500 circa le coperture salgono gradualmente rimanendo comunque inferiori a 100m, per poi salire rapidamente quando la galleria si intesta all'interno dell'ammasso roccioso.

- Nel tratto interno, compreso tra le pk 6+400 e pk 8+700 circa, caratterizzato per contro da coperture medio-elevate, comprese tra 600m e 1000m è segnalato un rischio legato a possibili fenomeni di “spalling”.

In considerazione della presenza di una zona di faglia nel tratto prossimo all’imbocco Nord della Galleria Cogollo e di una lieve copertura detritica si è prevista, per tale zona di imbocco, una paratia berlinese.

Per questo settore la ricostruzione del modello geologico è stata eseguita sulla base dei rilievi in sito e delle indagini. Le informazioni ottenute sono congruenti tra loro ed hanno consentito una ricostruzione del sottosuolo sufficientemente accurata. Le locali incertezze sui contatti tra le vulcaniti ed il detrito di versante non influenza le modalità di scavo previste per la tratta in esame (meccanizzato) ed in particolare non influenza le caratteristiche della TBM prescelta.

Anche le incertezze sulla circolazione idrica in sottterraneo non influenzano le fasi di scavo, in quanto nella zona di imbocco il livello di falda rimane al di sotto del piano stradale.

Infine i possibili effetti indotti dallo scavo saranno tenuti sotto controllo mediante la fase di monitoraggio ed i documenti di progetto saranno integrati con una analisi del bacino di subsidenza e la valutazione del pericolo di danno agli edifici all’interno della fascia di possibile “risentimento” delle operazioni di scavo per effetto del “volume perso”.

4.2.2 Tratto da pk 11+220 a 11+351

Il tracciato esce brevemente all’aperto con il viadotto Assa, interposto fra le gallerie Cogollo e Pedescala. In quest’ambito ed in asse autostrada il substrato risulta generalmente non affiorante (mentre è visibile a quote superiori), ricoperto da coltri detritiche più diffuse ed estese in destra piuttosto che sinistra idrografica, che traggono origine dalle parti rocciose circostanti.

Per il viadotto la soluzione scelta per le fondazioni va a ricercare l’appoggio diretto nel substrato roccioso, posto a modesta profondità, mediante plinto su terreno consolidato con micropali per le spalle, ed un pozzo scavati con l’ausilio di coronelle perimetrali in micropali per la pila intermedia.

4.2.3 Tratto da pk 11+351 a 13+114 (Galleria Pedescala)

Dalla pk 11+351 alla pk 13+114 circa è prevista la Galleria Pedescala.

- *(tratto da pk 11+351 a pk 11+376 ca. in galleria Artificiale)*
- *(tratto da pk 11+376 a pk 13+098 circa, in galleria Naturale)*
- *(tratto da pk 13+098 a pk 13+114 in galleria Artificiale).*

La realizzazione della Galleria Naturale Pedescala è prevista mediante sistema di scavo in tradizionale.

Le coperture per la Galleria Pedescala sono comprese tra un minimo di 4÷5m circa nelle zone di imbocco, fino ad un massimo di 370m nel tratto centrale.

In corrispondenza della zona di imbocco Sud della Galleria Pedescala i rilievi in sito, i sondaggi e le indagini sismiche hanno individuato la presenza di una coltre detritica che, secondo le ricostruzioni eseguite, andrebbe ad interessare anche i primi tratti in galleria naturale.

Per far fronte a tale criticità il progetto prevede, a protezione delle attività di imbocco, una paratia tipo berlinese in micropali e per i primi tratti in galleria naturale l'adozione di sezioni tipo C e B2V, caratterizzate da interventi di preconsolidamento al fronte ed al contorno.

La restante parte della Galleria Pedescala è prevista all'interno della Dolomia Principale, compreso l'imbocco lato Nord, per il quale è previsto un imbocco ad attacco diretto e l'attacco mediante una sezione tipo B0V.

Una importante criticità della Galleria Pedescala, sia dal punto di vista geomeccanico sia idrogeologico, è ascrivibile alla presenza di un sistema di faglie "principali" sub parallele alla galleria, (faglie trascorrenti orientate circa NO-SE), che interseca la stessa per lunghe porzioni del tratto centrale, come indicato nei profili geomeccanici (tratte in canna Nord comprese tra le pk 11+900 e pk 12+150 e tra le pk 12+300 e pk 12+700 circa).

Come indicato nella carta geologica e nei profili geomeccanici di progetto, la presenza di un sistema di faglie con direzione sub-parallela al tracciato della Galleria Cogollo (faglie trascorrenti orientate circa NO-SE appartenenti al sistema scledense), potrebbe far sì che il maggior grado di fratturazione/alterazione degli ammassi, generalmente correlato alla vicinanza con le zone di faglia, possa interessare il tracciato delle opere in sotterraneo anche per tratti superiori rispetto alle progressive sopra indicate.

All'intorno della pk 12+250 in superficie è presente una importante grotta ("Buso delle Banchette"). Pur non avendo nessuna certezza del suo rinvenimento a quota galleria, è stato comunque previsto nel profilo geomeccanico di riferimento, uno scenario di rischio elevato nella tratta sottesa.

Le faglie, classificate come "secondarie", intersecano il tracciato intorno alle pk 11+700 e pk 12+850 circa.

Un ulteriore aspetto emerso dall'analisi dei fattori di rischio è correlabile al sottoattraversamento della strada S.P. del Piovan in condizioni di ridotta copertura (20-25m circa) in prossimità della zona di imbocco Sud, ove sono presenti coltri detritiche che interessano la sagoma di scavo.

4.2.4 Tratto da pk 13+114 a 13+705 circa

Tra le pk 13+114 e pk 13+705 circa, fra le gallerie Pedescala e S Pietro, viene scavalcato per la seconda volta il torrente Astico. L'attraversamento, risolto con il viadotto Settecà, interessa depositi alluvionali indagati con sondaggi eseguiti in diverse fasi che non riscontrano il substrato roccioso sino alle massime profondità indagate (50 m). In questo caso la presenza di falda a modesta profondità (< 4 m da p.c.) di condizioni di elevata permeabilità ($k = 10^{-3}$ m/s) e di pozzi utilizzati a scopo idropotabile posti a monte e valle dell'attraversamento, impone condizioni di vulnerabilità idrogeologica (per maggiori dettagli si rimanda alla relazione idrogeologica) che hanno condizionato la scelta della soluzione in fondazione. Nel caso in argomento sono state previste fondazioni su micropali.

4.2.5 Tratto da pk 13+705 a 17+163 circa (Galleria San Pietro)

Da pk 13+705 a pk 17+170 circa è prevista la Galleria San Pietro (pk riferite alla canna Nord).

- *(tratto da pk 13+705 a pk 13+725 ca. in galleria Artificiale)*
- *(tratto da pk 13+725 a pk 17+100 circa, in galleria Naturale)*
- *(tratto da pk 17+100 a pk 17+170 in galleria Artificiale).*

La realizzazione della Galleria Naturale S. Pietro è prevista mediante sistema di scavo in tradizionale.

Le coperture per la Galleria S. Pietro sono comprese tra un minimo di 4÷5m circa nelle zone di imbocco, ad un massimo di 350m nel tratto centrale.

Rispetto al Progetto Preliminare, il tracciato della galleria è stato variato nel settore centrale: a partire dalla PK 14+400 il tracciato è stato spostato verso valle di circa 140 metri.

Il tracciato è stato ridefinito per un'ottimizzazione plano-altimetrica finalizzata alla prosecuzione del 2° lotto funzionale della tratta autostradale verso Trento.

In corrispondenza della zona di imbocco Sud della Galleria S. Pietro i rilievi in sito, i sondaggi e le indagini sismiche hanno individuato la presenza di rilevanti spessori di coltre detritica che, in base

alle ricostruzioni geologico-stratigrafiche eseguite, interessano anche una prima tratta iniziale della galleria naturale fino alla PK 13+500 circa, per poi intestarsi all'interno del substrato roccioso, ascrivibile alla Formazione della Dolomia Principale fino alla PK 15+000 circa.

In corrispondenza della PK 15+000 è prevista l'intercettazione della faglia "principale" della "Valpegara", con direzione perpendicolare al tracciato (E – W di tipo Val Suganese).

Altre faglie, di importanza minore, sono previste intorno alle PK 14+500, 15+200, 16+200, 16+500 circa, sempre con direzione perpendicolare al tracciato.

Per la tratta da pk 15+000 a pk 16+000 circa, come indicato nei profili geomeccanici, si segnala la prevalente presenza di un ammasso da molto fratturato a cataclasato, individuato dalle indagini sismiche (TSD10bis e ter) e dal sondaggio S14D. Considerato il particolare contesto evidenziato dalle indagini sopra citate, si ritiene opportuno descrivere di seguito le risultanze delle indagini stesse e le modalità con cui esse sono state interpretate al fine di pervenire alla ricostruzione dei profili geologici e geomeccanici di Progetto.

Caratterizzazione geologica della tratta compresa tra le pk 15+000 e le pk 16+000 ca. della Galleria San Pietro

Sondaggio S14D.

All'incirca in corrispondenza della PK 15+000, è stato eseguito il sondaggio S14D di lunghezza pari a 160m allo scopo di raggiungere e superare la quota galleria. Il sondaggio è stato realizzato all'interno del setto tra le due canne, in prossimità della faglia della Valpegara e di una diffusa presenza, evidenziata dal rilievo di superficie, di depositi di detrito di versante (cfr. figura 4.1).

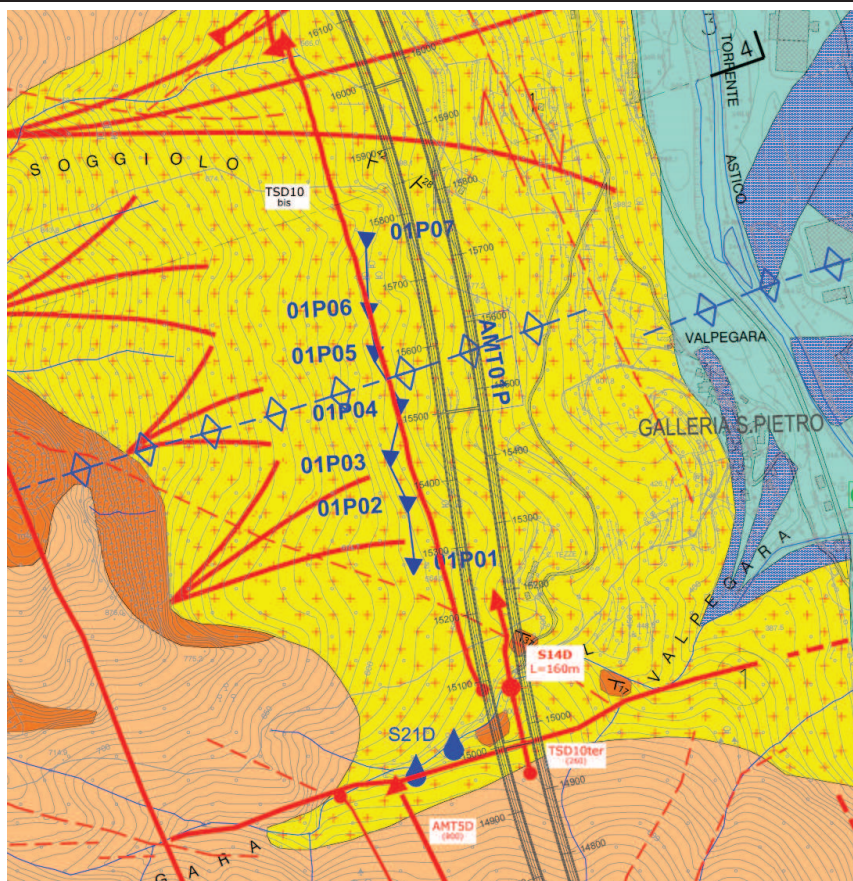


Figura 4.1 Ubicazione Sondaggio S14D e indagini sismiche integrative TSD10bis e TSD10ter

Il sondaggio, eseguito a carotaggio continuo, ha evidenziato nel complesso un ammasso roccioso a litologia dolomitica prevalente, ma intensamente disgregato; in particolare il sondaggio mostra caratteristiche peggiori nella parte più superficiale e caratteristiche migliori a profondità elevata, in corrispondenza del cavo della galleria.

Dall'analisi della documentazione disponibile (stratigrafia in figura 4.2 e foto cassette in figura 4.3) si ricavano le seguenti informazioni:

Descrizione da stratigrafia disponibile:

- da 0,0 a 2,30m: Ghiaia e ciottoli calcarei spigolosi in matrice sabbiosa, frammisti a terreno vegetale
- da 2,30m a 70,5m: Rocca calcarea poco cementata e disgregata in ghiaia e sabbia. (Cataclasite?)
- da 70.5 m a 160m: Rocca calcarea (Dolomia) micro-fratturata molto fragile durante le operazioni di estrusione. Aumento graduale del grado di compattezza a partire da 130 m da p.c.

Dalle informazioni riportate nella colonna stratigrafica si evince che il foro del sondaggio è stato rivestito fino a 30m. Mentre dai 30m ai 160m non è risultato necessario adottare il rivestimento del foro.

Dalle informazioni comunicateci dall'Impresa esecutrice del sondaggio, a causa delle condizioni di fratturazione dell'ammasso, nel tratto più superficiale del sondaggio non è risultato possibile utilizzare il carotiere doppio nel corso delle operazioni di carotaggio. Il sondaggio è stato pertanto realizzato con l'utilizzo del carotiere semplice fino a 70.5m dal piano campagna e, con il carotiere doppio da 70.5m a 160m dal piano campagna.

Dall'analisi delle carote estratte, (vedi documentazione fotografica in figura 9.3) si osserva che:

- Il materiale risulta completamente disgregato in tutto il tratto esattamente coincidente con l'utilizzo del carotiere semplice, da 0 a 70.5m, (a testimoniare il fatto che l'utilizzo del carotiere semplice nei primi 70.5m ha arrecato un importante disturbo alle operazioni di carotaggio e verosimilmente ha contribuito a incrementare le condizioni di disgregazione dell'ammasso, comunque in parte già presenti). Si distingue inoltre un primo tratto, da 0 a 25m circa, in cui le carote presentano un colore giallo brunastro, ad indicare evidenze di alterazione, ed un aspetto meno litoide del materiale carotato, rispetto a quanto riscontrabile nel tratto da 25m a 70m circa. In tutti i 70m i clasti si presentano con spigoli vivi, non arrotondati.
- Da 70.5m a 150m circa si rileva un progressivo miglioramento con la profondità, registrando comunque un grado di fratturazione molto elevato dell'ammasso roccioso, che si presenta a litologia dolomitica, con giunti a superficie scabra, poco o moderatamente alterati.
- Da 150 a 160m circa, si osserva un miglioramento delle condizioni di fratturazione e di alterazione dell'ammasso roccioso, confermando sempre la presenza della litologia dolomitica.

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



Committente: Consorzio Raetia	Sondaggio: S14D
Riferimento: A31 Valdastico Nord - Progetto definitivo	Data: 14/02-29/03/2017
Coordinate: 1682595.37 m E; 5082932.60 N	Quota: 497.03 mslm
Perforazione: A carotaggio continuo - Sig. G. Veronese	



Installato piezometro a tubo aperto diam. 2" alla profondità di 160.00 m da p.c.
 Alla posa del piezometro rilevata presenza di acqua a circa 71.00 metri da p.c.
 In perforazione rilevata presenza di acqua a circa 6.0 metri da p.c.
 Tra 130.00-160.00 eseguite n. 4 prove lugeon e 5 prove dilatometriche
 A fine sondaggio rilevata la verticalità del foro, eseguita videoispezione e log termico.

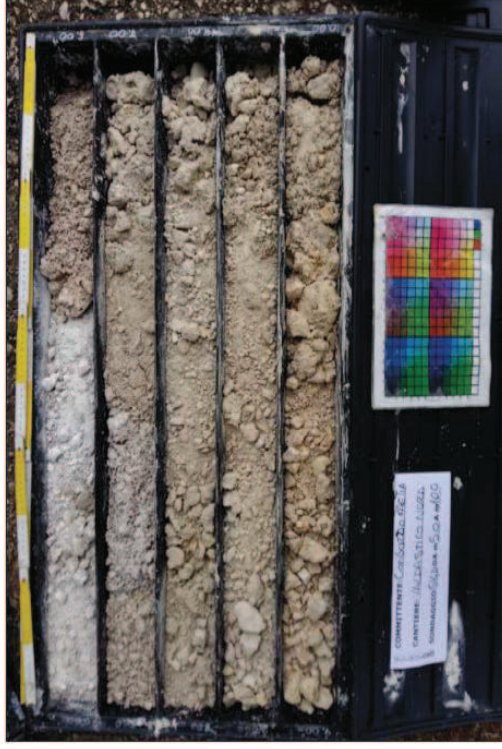
MR 7.5-03B

Figura 4.2

Pagina 1	Fotografie - Pagina 1/8	Committente: Consorzio Raetia	Sondaggio: S14D
		Riferimento: A31 Valdastico Nord - Progetto definitivo	Data: 14/02-29/03/2017



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00



Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00

Committente: Consorzio Raetia

Riferimento: A31 Valdastico Nord - Progetto definitivo

Sondaggio: S14D

Data: 14/02-29/03/2017



Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00



Cassetta n° 6 - profondità da m 25,00 a m 30,00



Cassetta n° 7 - profondità da m 30,00 a m 35,00



Cassetta n° 8 - profondità da m 35,00 a m 40,00

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



Cassetta n° 9 - profondità da m 40,00 a m 45,00



Cassetta n° 10 - profondità da m 45,00 a m 50,00



Cassetta n° 11 - profondità da m 50,00 a m 55,00



Cassetta n° 12 - profondità da m 55,00 a m 60,00

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

Pagina 4	Fotografie - Pagina 4/8	Committente: Consorzio Raetia	Sondaggio: S14D
		Riferimento: A31 Valdastico Nord - Progetto definitivo	Data: 14/02-29/03/2017



Cassetta n° 13 - profondità da m 60,00 a m 65,00



Cassetta n° 14 - profondità da m 65,00 a m 70,00



Cassetta n° 15 - profondità da m 70,00 a m 75,00



Cassetta n° 16 - profondità da m 75,00 a m 80,00

Pagina 5	Fotografie - Pagina 5/8	Committente: Consorzio Raetia	Sondaggio: S14D
		Riferimento: A31 Valdastico Nord - Progetto definitivo	Data: 14/02-29/03/2017



Cassetta n° 17 - profondità da m 80,00 a m 85,00



Cassetta n° 18 - profondità da m 85,00 a m 90,00



Cassetta n° 19 - profondità da m 90,00 a m 95,00



Cassetta n° 20 - profondità da m 95,00 a m 100,00

Pagina 6	Fotografie - Pagina 6/8	Committente: Consorzio Raetia	Sondaggio: S14D
		Riferimento: A31 Valdastico Nord - Progetto definitivo	Data: 14/02-29/03/2017



Cassetta n° 21 - profondità da m 100,00 a m 105,00



Cassetta n° 22 - profondità da m 105,00 a m 110,00



Cassetta n° 23 - profondità da m 110,00 a m 115,00



Cassetta n° 24 - profondità da m 115,00 a m 120,00

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

Pagina 7	Fotografie - Pagina 7/8	Committente: Consorzio Raetia	Sondaggio: S14D
		Riferimento: A31 Valdastico Nord - Progetto definitivo	Data: 14/02-29/03/2017



Cassetta n° 25 - profondità da m 120,00 a m 125,00



Cassetta n° 26 - profondità da m 125,00 a m 130,00



Cassetta n° 27 - profondità da m 130,00 a m 135,00



Cassetta n° 28 - profondità da m 135,00 a m 140,00

Pagina 8	Fotografie - Pagina 8/8	Committente: Consorzio Raetia	Sondaggio: S14D
		Riferimento: A31 Valdastico Nord - Progetto definitivo	Data: 14/02-29/03/2017



Figura 4.3 foto carote estratte dal sondaggio

Indagini sismiche TSD10bis e TSD10tris.

Le risultanze del sondaggio hanno evidenziato, durante la fase di progettazione, la necessità di un approfondimento di indagine di tutto il settore compreso tra la posizione del sondaggio S14D e la zona immediatamente a nord dello stesso per circa 1 Km (tra le PK 15+000 e 16+000 circa – vedi figura 4.1).

Dalla analisi della tomografia della sismica a rifrazione, in base all'analisi delle Velocità di propagazione delle onde sismiche V_p , si evince una sostanziale suddivisione in 4 sismostrati (cfr figura 4.4):

- Materiale superficiale, caratterizzato da una $V_p < 1200$ m/s
- Materiale variamente addensato ($1200 < V_p < 3000$ m/s)
- Materiale a vario stato di fratturazione ($3000 < V_p < 4000$ m/s)
- Substrato lapideo ($V_p > 4000$ m/s)

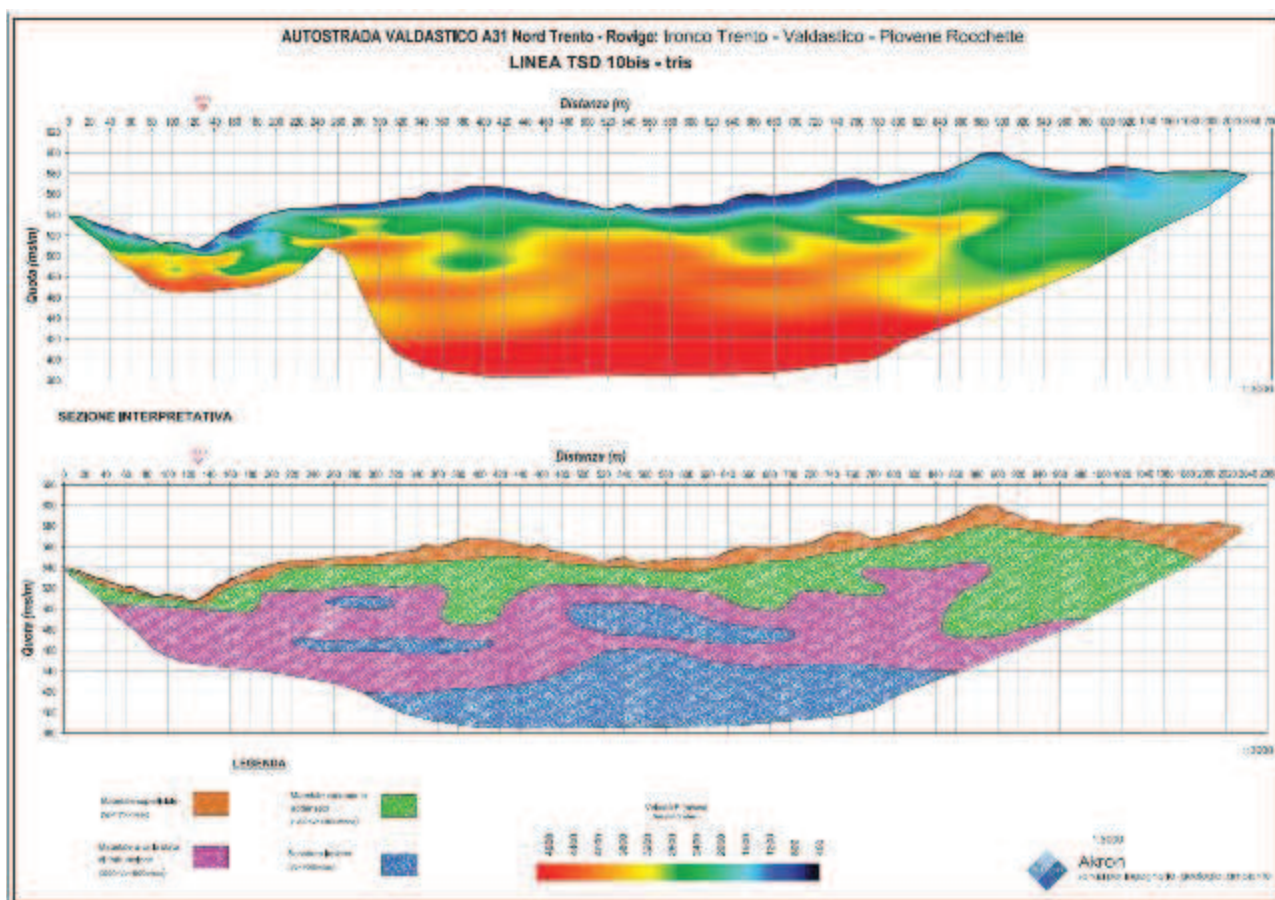
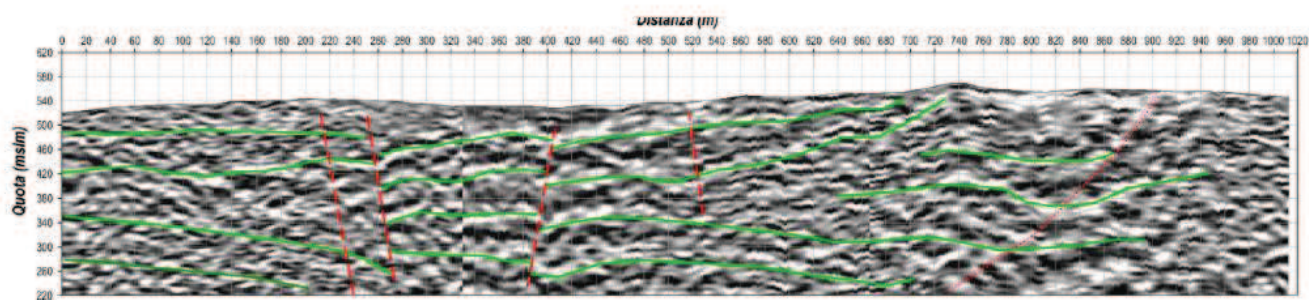
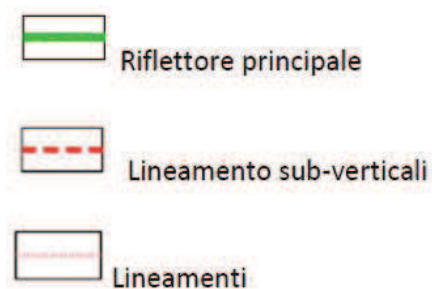


Figura 4.4.1 TSD10bis e TSD10ter

Inoltre, dall'analisi della sismica a riflessione è risultato possibile individuare la presenza di probabili lineamenti tettonici, come indicato in figura 4.4.2.



Linea TSD10bis – sezione interpretativa

Figura 4.4.2 risultanze sismica a riflessione

Interpretazione dei dati disponibili

In sintesi, dalla descrizione del sondaggio S14D sopra illustrata si evince che le operazioni di carotaggio hanno intensamente disturbato le condizioni di ammasso in situ:

- nei tratti più superficiali infatti, fino a 70,5m l'utilizzo del carotiere semplice ha molto probabilmente contribuito ad incrementare il disturbo, comunque in parte già presente, delle condizioni di ammasso, come confermato dalla foto di figura 4.5.a, che evidenzia il cambiamento delle condizioni del materiale recuperato prima e dopo la profondità di 70.5m coincidente con la sostituzione del tipo di carotiere, da semplice a doppio.



Figura 4.5.a

Inoltre, sulla base dei sopralluoghi eseguiti in corso di esecuzione del sondaggio stesso, nei tratti più profondi, a quota galleria, si osservava la carota estratta integra all'interno del carotiere doppio, che, a causa della intensa micro-fratturazione, si disgregava una volta estratta (si veda a titolo di esempio la documentazione fotografica riportata in Figure 4.5.b e 4.5.c registrata nel corso delle manovre di estrazione carote nel tratto compreso tra 130 e 150m ca di profondità).



Figura 4.5.b Ammasso roccioso micro-fratturato ma recuperato integro all'interno del carotiere



Figura 4.5.c Ammasso roccioso micro-fratturato ma recuperato integro all'interno del carotiere

Premesso quanto sopra, l'analisi congiunta dei dati del sondaggio S14D e della tomografia sismica a rifrazione TSD10bis e TSD10ter, delle informazioni desumibili dal rilievo geologico di superficie (illustrato nella carta geologica), ha consentito di individuare e distinguere sostanzialmente le tre tipologie di ammasso di seguito descritte, ciascuna delle quali ritenuta sostanzialmente omogenea per caratteristiche litologiche e geomeccaniche:

1. **Ammasso detritico**: caratterizzato da evidenze di alterazione di colore bruno-marrone, ciottoli eterometrici e ghiaia a spigoli vivi, in matrice limoso sabbiosa. Tale tipologia di ammasso, illustrata nelle foto di figura 4.6 (carote estratte dal sondaggio S14D), risulterebbe correlabile con il materiale che, nelle indagini sismiche, è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde $V_p < 3000$ m/s; (colori azzurro e verde nella tomografia). Nella tomografia sismica lo spessore stimato per tale tipologia di ammasso, nella zona del sondaggio S14D è pari a circa 20-25m, corrispondente al tratto ove si riscontrano materiali disgregati con maggiori evidenze di alterazione nelle carote (figura 4.6) e ove l'indagine sismica TSD10ter evidenzia valori di $V_p \leq 3000 \div 3200$ m/s circa (fig. 4.7)

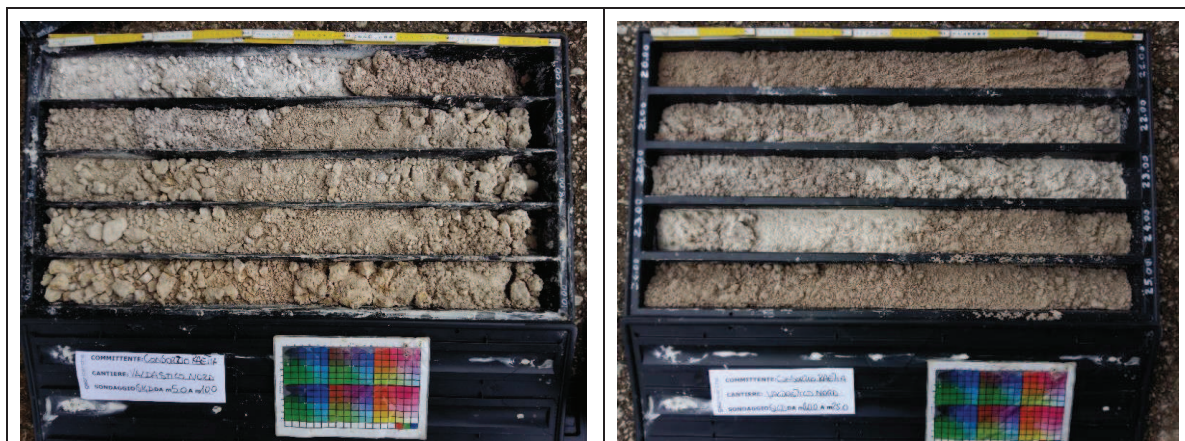


Figura 4.6 Foto rappresentative dell'ammasso detritico o materiale cataclasato

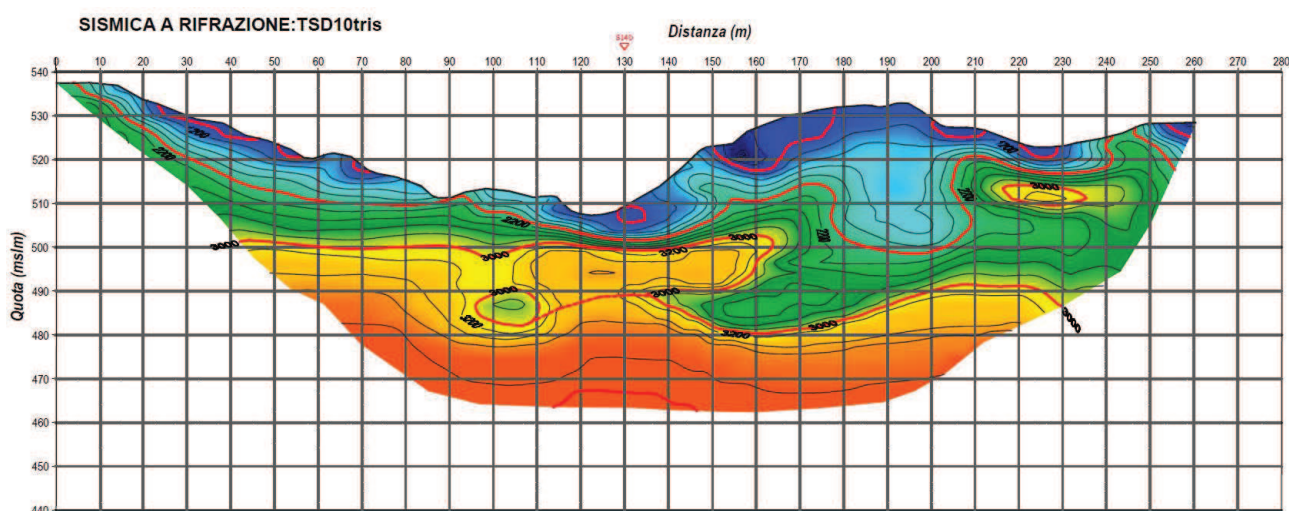


Figura 4.7 Tomografia sismica TSD10ter eseguita a cavallo del sondaggio S14D

Come si evince dalla tomografia della indagine sismica TSD10bis (vedi successiva figura 4.10) si osserva un significativo incremento di spessore per tale tipologia di ammasso, in corrispondenza della pk 15+850 circa ove le V_p con valori <3000 m/s arrivano ad interessare la quota galleria. Le caratteristiche scadenti dell'ammasso in tale tratto potrebbero essere attribuibili ad un approfondimento della coltre detritica o alla presenza di ammasso cataclasato, correlato al lineamento tettonico individuato dalle risultanze della sismica a riflessione (cfr. figura 4.4.2 e profili geologici di cui un estratto in fig. 4.15).

2. **Ammasso con grado di fratturazione molto elevato, a tratti cataclasato:** rientrano in tale categoria i materiali che, in base al sondaggio S14D, sono risultati con grado di fratturazione molto elevato, con RQD nelle cassette sostanzialmente nullo (si deve tener conto però del disturbo indotto dal carotiere per cui verosimilmente, per l'ammasso roccioso in posto, è lecito attendersi caratteristiche di RQD migliori); tale

tipologia di ammasso, illustrata nelle foto di figura 4.8 e figura 4.9 risulta correlabile con il materiale che, nelle indagini sismiche, è caratterizzato da valori di propagazione delle onde sismiche con velocità $3000 \text{ m/s} < V_p < 4000 \text{ m/s}$ (colore giallo - arancio nella tomografia).



Figura 4.8 Cassette estratte nel tratto di profondità comprese tra 116 e 120m



Figura 4.9 Cassette estratte nel tratto di profondità comprese tra 135 e 140m

Come si evince dalla tomografia sismica lo spessore stimato per tale tipologia di ammasso è variabile lungo la stesa sismica. In particolare si osserva una riduzione di spessore con

risalita del substrato lapideo meno fratturato ($V_p > 4000$ m/s – vedi tipologia di ammasso descritta al successivo punto 3), nel tratto centrale ed invece una lieve tendenza a progressivo incremento di spessore, con contestuale abbassamento della quota di passaggio con il substrato lapideo meno fratturato procedendo verso Sud, verso la faglia della Valpegara. Proseguendo, la lieve tendenza sopra descritta, anche nel tratto verso il sondaggio S14D (ove non sono più disponibili, almeno in profondità, le informazioni desumibili dalla TSD10bis), la quota del contatto con il substrato lapideo meno fratturato si correla con la profondità di 150m circa, individuata dal sondaggio S14D per tale zona di passaggio (vedi figura 4.10 e 4.11).

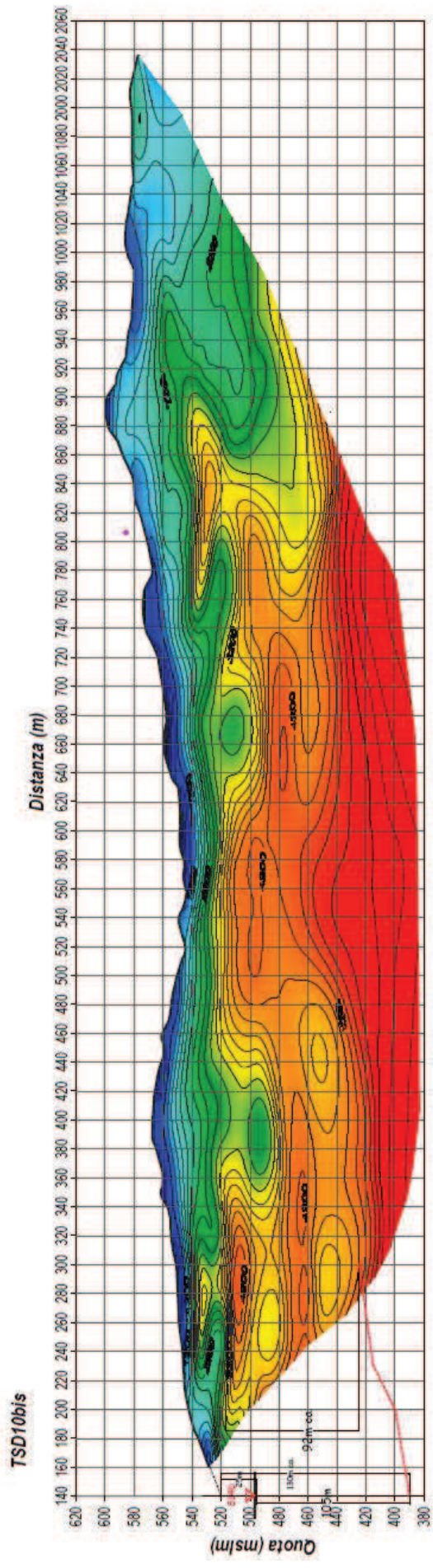


Figura 4.10

3. **Substrato lapideo con grado di fratturazione da medio a medio-elevato:** rientrano in tale categoria i materiali che, in base al sondaggio S14D, sono risultati (tenendo in conto il disturbo indotto dal carotiere) meno tettonizzati, con grado di fratturazione da medio a medio-elevato. Tale tipologia di ammasso, illustrata nelle foto di figg. 4.11 e 4.12, risulta correlabile con il materiale che, nelle indagini sismiche, è caratterizzato da valori di propagazione delle onde sismiche con Velocità $V_p > 4000$ m/s (colore rosso nella tomografia).



Figura 4.11 Cassette estratte nel tratto di profondità comprese tra 150 e 155m



Figura 4.12 Cassette estratte nel tratto di profondità comprese tra 155 e 160m

In particolare, il sondaggio S14D avrebbe interessato il materiale ascrivibile al sismostrato con $V_p > 4000$), solo nella parte alta dello stesso, dalla profondità di 150m fino alla profondità di 160m di fine sondaggio. Dall’analisi della tomografia sismica è probabile che le condizioni geomeccaniche dell’ammasso roccioso migliorino ulteriormente con la profondità, come evidenziato da un progressivo incremento dei valori di V_p nella TSD10bis (vedi figura 4.10).

Le indagini sismiche sono state eseguite in asse al vecchio tracciato (cfr stralcio planimetrico in fig. 4.1); la definizione del nuovo tracciato è avvenuta mentre le indagini erano già in corso. Per tale motivo, per una corretta interpretazione dei dati, al fine di correlare gli spessori dei vari sismostrati individuati dalle indagini sismiche con gli spessori dei materiali da attendersi in asse al nuovo tracciato delle gallerie, è risultato necessario traslare le informazioni desunte dalla indagine sismica sovrapponendole al profilo topografico del nuovo tracciato (vedi confronto tra profilo

topografico in asse all'indagine sismica e profilo topografico in asse al nuovo tracciato, in figura 4.13).

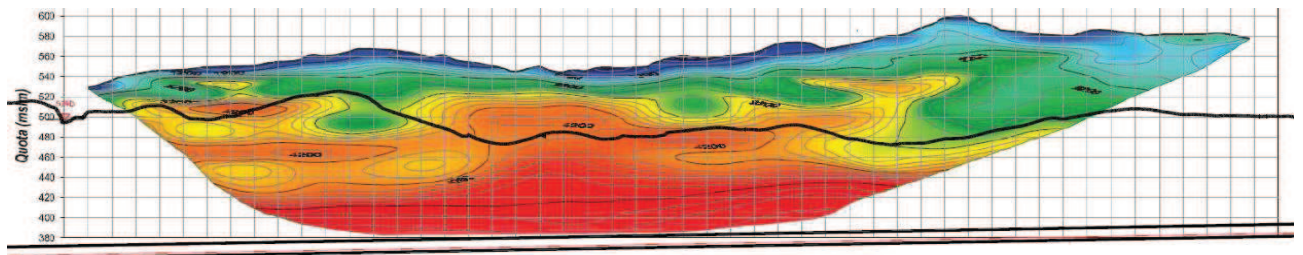


Figura 4.13 - TSD10bis in quota assoluta con tracciato aggiornato e relativo piano campagna
Sovrapponendo l'indagine sismica al nuovo tracciato e tenendo presente la suddivisione nelle tre tipologie di ammasso sopra descritte, si è pervenuti alla stesura dei profili geologici, illustrati negli specifici elaborati grafici; per comodità di lettura si riportano di seguito le figure scaturite dalla traslazione dell'indagine sul nuovo tracciato, canna nord e sud (fig. 4.14); per la visione di dettaglio dei profili geologici si rimanda comunque agli specifici elaborati di progetto, di cui si riporta uno stralcio in figura 4.15.

Nella Relazione geomeccanica verranno individuati i parametri geomeccanici rappresentativi delle tipologie di ammasso presenti a quota galleria.

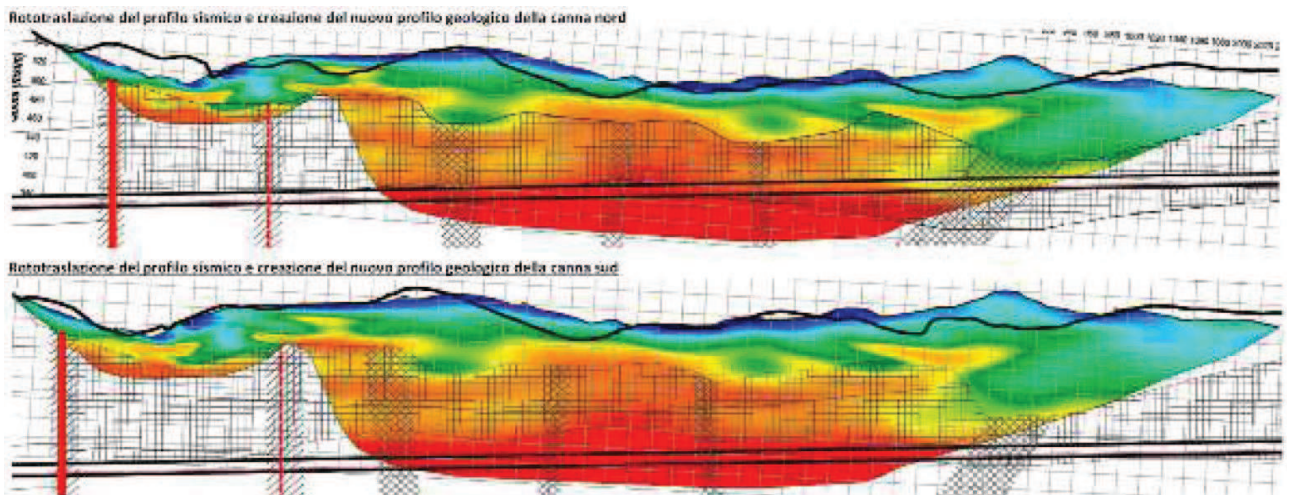


Figura 4.14 Rototraslazione del profilo sismico e creazione del nuovo profilo geologico della canna nord e sud

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

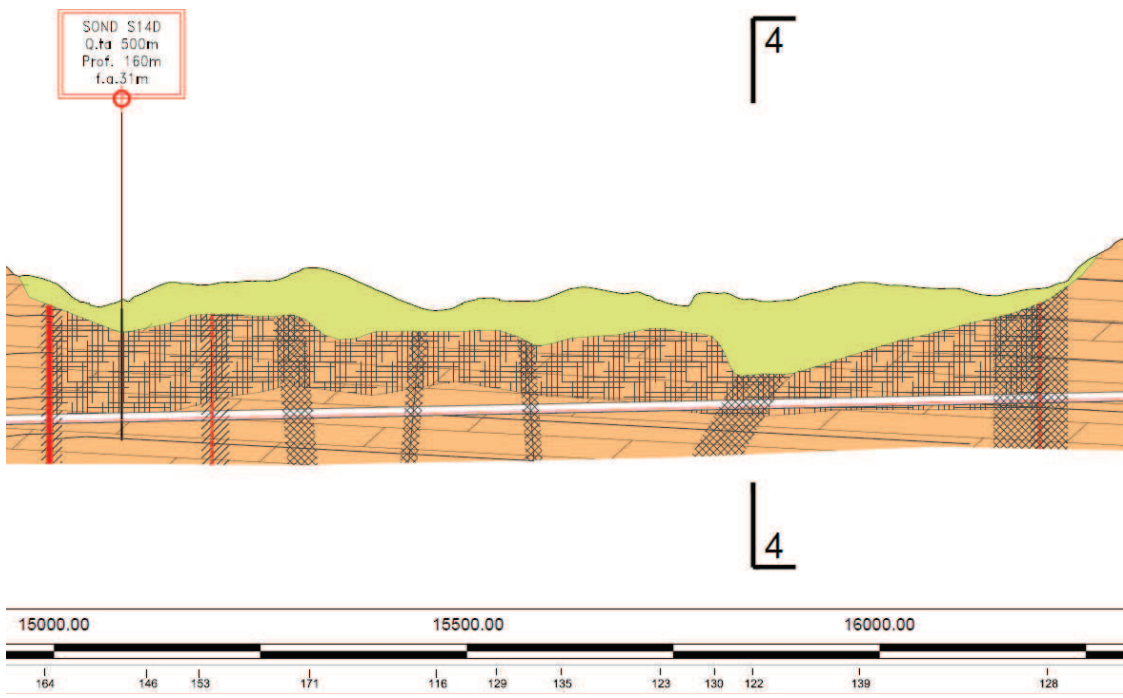
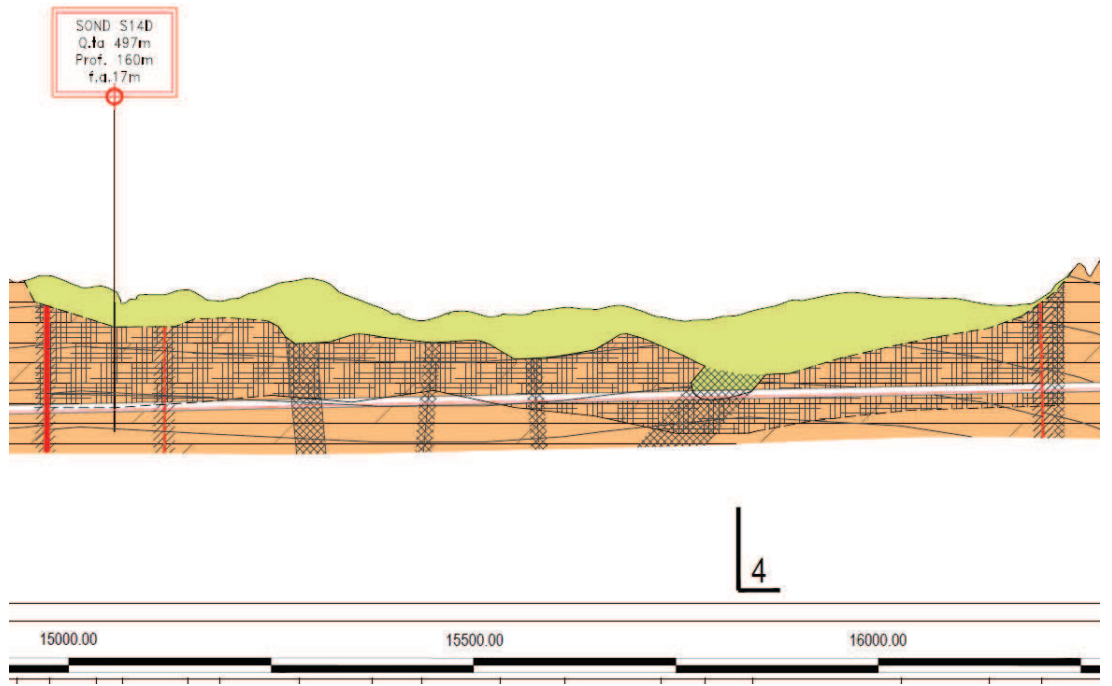


Figura 4.15 Stralcio dei profili geologici di progetto della canna nord (sopra) e sud (sotto)

Un’ulteriore elemento di criticità si rileva in corrispondenza della zona di Imbocco Nord della Galleria in argomento. Infatti dalla pk 16+750 circa fino all’imbocco Nord (compreso il tratto in galleria Artificiale), l’opera interferisce con gli imponenti accumuli detritici della frana della Marogna, le cui caratteristiche generali sono state ampiamente descritte nella relazione geologica e geomorfologica di progetto (elaborato J16L1_03_06_01_001_0101_OPD_02).

La ricostruzione della zona di contatto tra substrato roccioso e accumulo detritico ascrivibile alla paleofrana della Marogna, è avvenuta nel modo di seguito descritto.

Ricostruzione della zona di contatto tra substrato roccioso e accumulo detritico ascrivibile alla paleofrana della Marogna

Tale ricostruzione è avvenuta mediante analisi delle indagini sismiche eseguite nell’area, del sondaggio S15D e dei dati desumibili dal rilievo geologico-geomorfologico di superficie. In particolare, come si deduce dallo stralcio planimetrico della carta geologica (figura 4.16), le indagini di riferimento sono:

- la indagine sismica TSD11*, eseguita nella fase di progettazione definitiva
- le indagini sismiche TR07a e TR07b relative al progetto preliminare del 2001.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

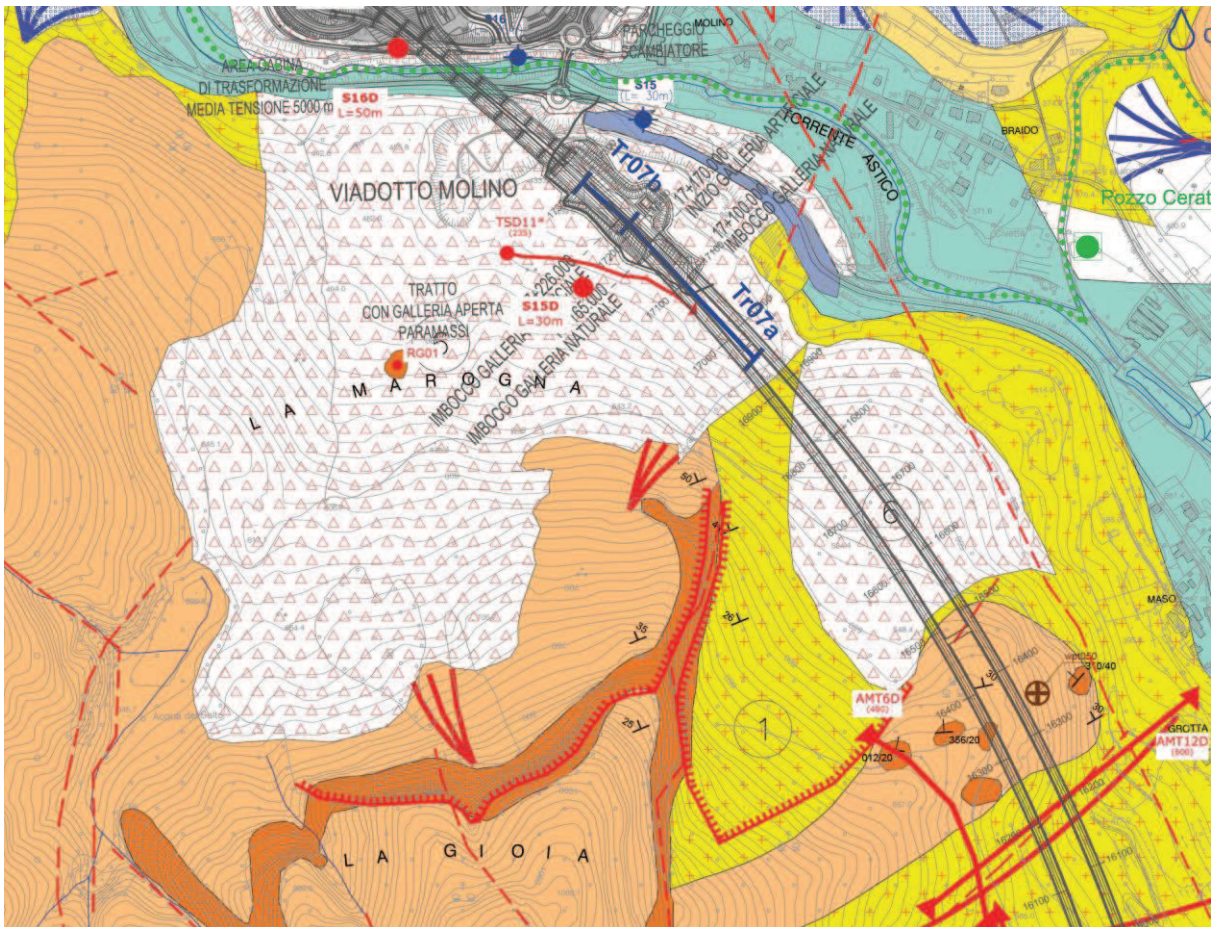


Figura 4.16

Analogamente alle assunzioni, (confermate dai sondaggi utilizzati per la calibratura delle indagini sismiche), già adottate in altri tratti limitrofi della galleria San Pietro stessa e anche per le gallerie Cogollo e Pedescala, si è considerato come ascrivibile al detrito il sismostrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde sismiche $V_p < 3000$ m/s; il sondaggio S15D, che ha attraversato materiale detritico per tutta la sua lunghezza di 30m, conferma le assunzioni di cui sopra.

Valori di $V_p > 4000$ sono stati attribuiti al substrato roccioso da poco a mediamente fratturato, mentre i tratti con V_p comprese tra 3000 e 4000 m/s sono attribuiti al substrato roccioso fratturato (zona di transizione).

Sovrapponendo le indagini sismiche TR07a e b (che sono state eseguite in asse galleria, nel setto compreso tra canna nord e canna sud), alle gallerie, come illustrato in figura 4.17 e 4.18, è stato possibile ricostruire l'andamento del contatto detrito/roccia nella zona direttamente interessata dalle indagini. A favore di sicurezza in tale ricostruzione si è

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

adottata, come linea di separazione tra detrito e substrato roccioso, il sismostrato caratterizzato da $V_p = 3200$ m/s, anziché 3000 m/s come di consueto.

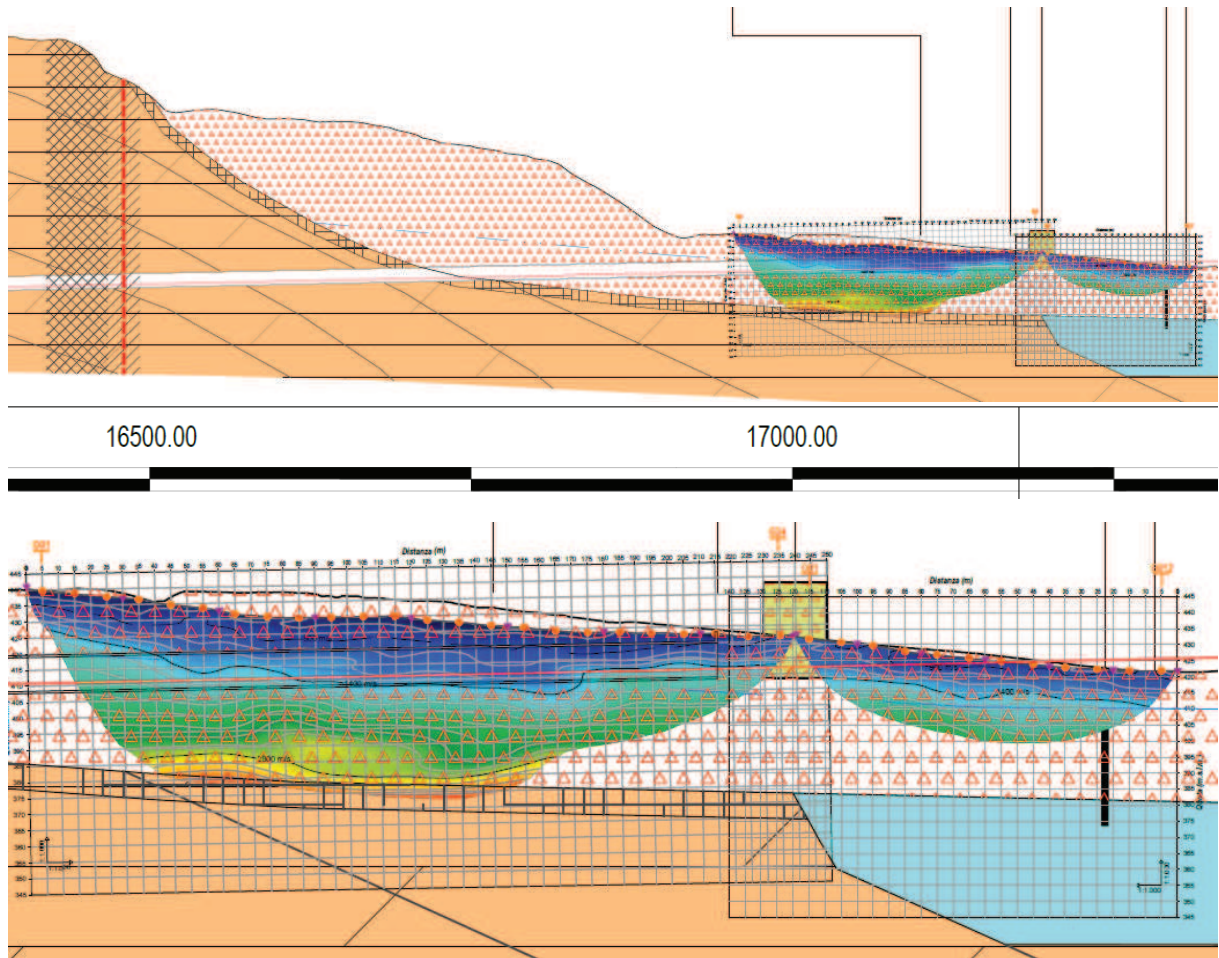


Figura 4.17a (Ricostruzione del contatto detrito roccia in canna Nord) – da sismiche TR07a e TR07b

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

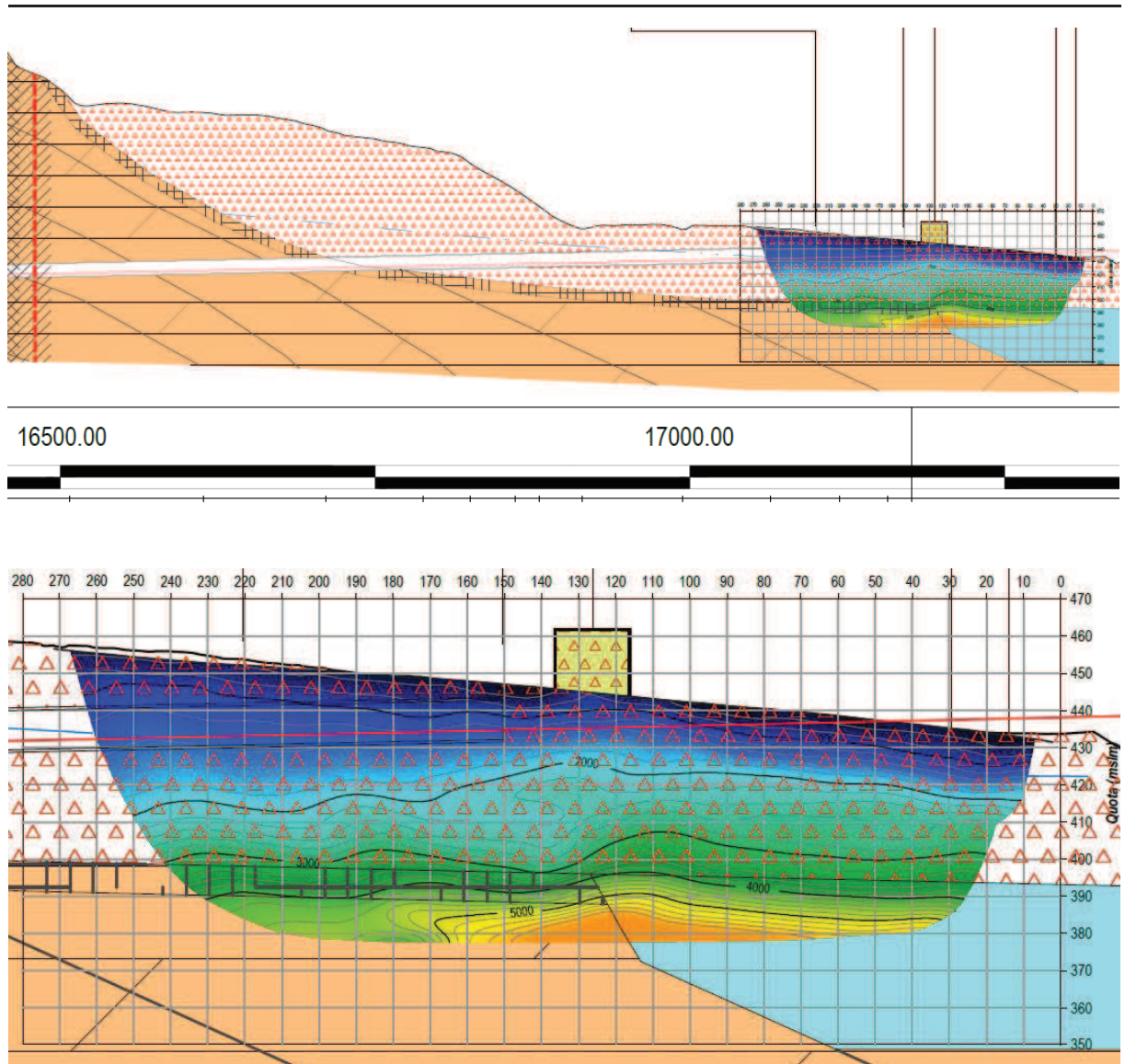


Figura 4.17b (Ricostruzione del contatto detrito roccia in canna Nord) – da sismica TSD11*

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

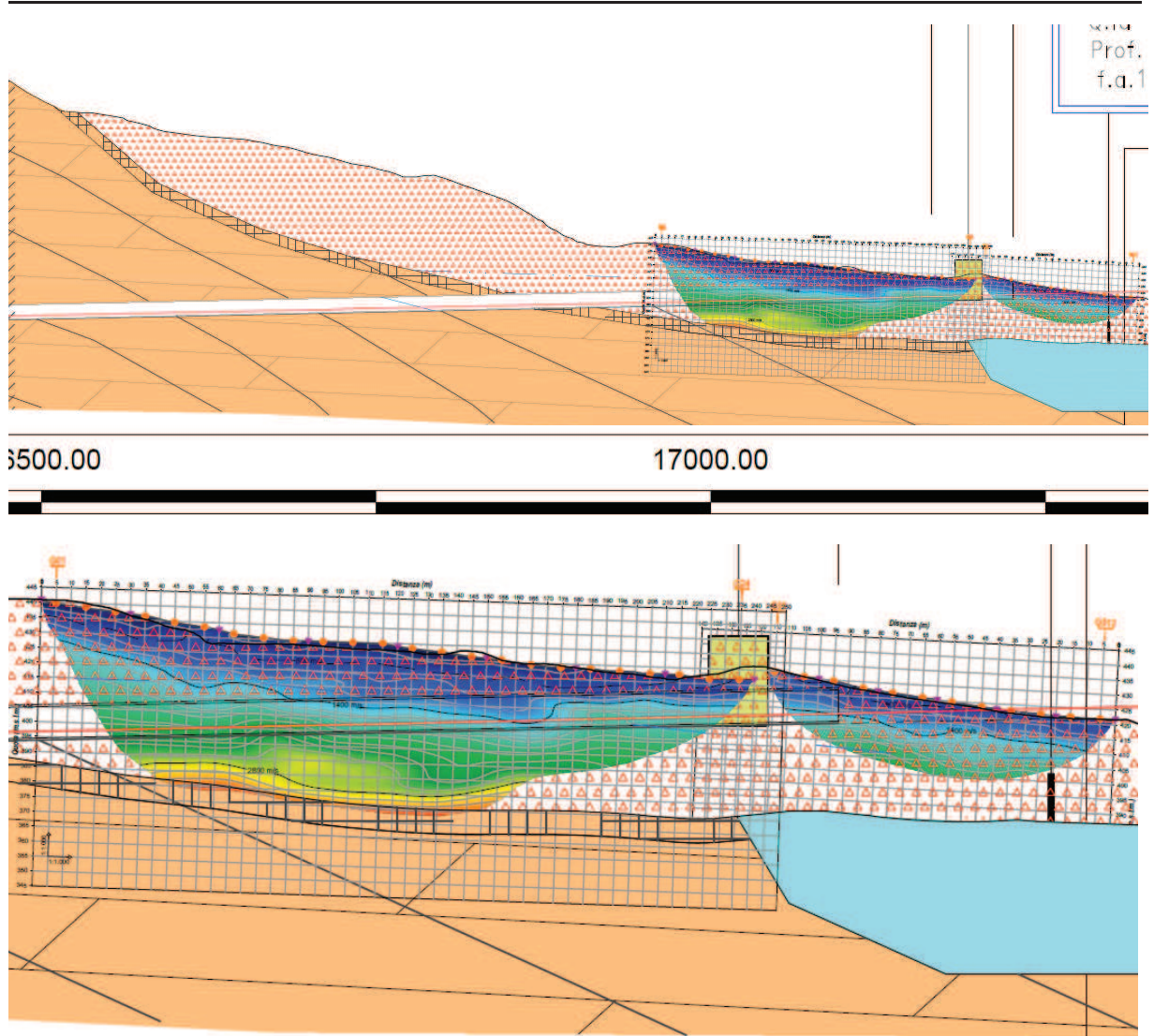


Figura 4.18a (Ricostruzione del contatto detrito roccia in canna Sud) – da sismiche TR07a e TR07b

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

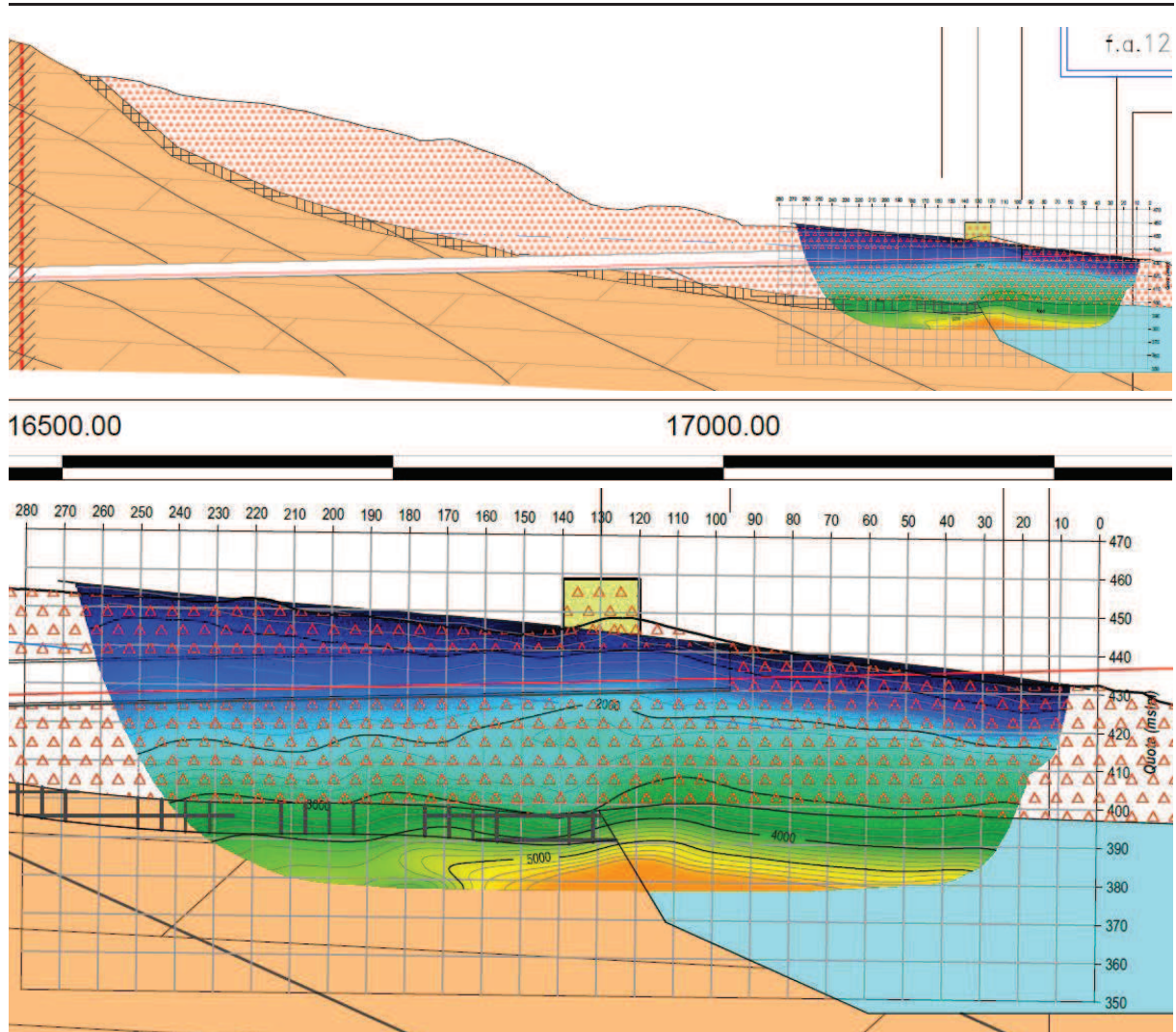


Figura 4.18b (Ricostruzione del contatto detrito roccia in canna Sud) – da sismica TSD11*

Per proseguire la ricostruzione della zona di contatto detrito roccia nel tratto a monte, non direttamente interessato dalle indagini, si è proceduto nel modo di seguito descritto:

- La pendenza della linea di contatto detrito/roccia individuata dalle indagini sismiche è stata proseguita, mantenendo sostanzialmente la stessa inclinazione, fino ad intercettare la zona prossima alla galleria
- Una volta individuata, secondo l’approccio cautelativo sopra descritto, l’intersezione della linea di contatto detrito roccia con la zona prossima alla galleria è stato ricostruito, verso monte, l’andamento del contatto detrito roccia seguendo, (con maggiore approssimazione possibile) la linea di pendenza degli strati, fino al punto in cui in superficie affiora il substrato roccioso.

L’indagine sismica TSD11*, oltre a confermare le risultanze della TR07a e b, ha permesso di attribuire uno spessore pari a 10m circa alla zona di transizione, caratterizzata da velocità di propagazione delle onde sismiche $3000 \text{ m/s} < V_p < 4000 \text{ m/s}$. questi valori potrebbero essere rappresentativi della fascia in prossimità del contatto tra detrito e roccia per un possibile detensionamento del substrato roccioso indotto dal fenomeno della paleofrana, (cfr figura 4.17b e 4.18b). Quindi si conferma la presenza del substrato roccioso (da poco a mediamente fratturato), caratterizzato da $V_p > 4000 \text{ m/s}$.

4.2.6 Fra le pk 17+172 e pk 18+000 (fine intervento)

In uscita dalla galleria S Pietro è cartografata la paleofrana della Marogna il cui accumulo, come risulta dai rilievi di campagna, dalla esposizione di numerosi fronti di cava e dalle risultanze dei sondaggi, ha sovraescavato i depositi alluvionali e risalito il versante opposto andando ad interessare tutte le aree di competenza non solo dell’imbocco ma anche del viadotto Molino e dello svincolo di Valle dell’Astico. Sull’accumulo della frana della Marogna sono attive due cave; cava Marogna in destra idrografica, cava Molino in sinistra. La prima è attiva, la seconda in buona parte esaurita e ripristinata, con fronti aperti solo a tergo dell’abitato di Casotto.

Le indagini eseguite e la documentazione messa a disposizione dalla società che gestisce le cave dimostrano che in corrispondenza della Cava Molino, entro cui si sviluppa buona parte dello svincolo (posto in viadotto e rilevato) sono presenti circa 4 m di riporto (impiegato per la rinaturalizzazione dell’area) rappresentato da materiale proveniente dalla lavorazione di cava e prevalentemente granulare, con uno strato superficiale di estensione e spessore non omogenea argilloso e/o ricco di sostanza organica. Si è quindi previsto in quest’ambito uno scotico e bonifica spinto sino alla profondità di 1 m da p.c., suggerendo inoltre la realizzazione dei rilevati con un certo anticipo rispetto al completamento dei lavori in modo da assicurare il costipamento del riporto.

La presenza di massi ciclopici di Dolomia messi in evidenza nel corso dei sondaggi e visibili negli ampi fronti di cava, unitamente alle condizioni di elevata vulnerabilità idrogeologica comuni al viadotto Settecà (falda a modesta profondità, elevata permeabilità e presenza di

pozzi usati a scopo idropotabile) hanno consigliato per il viadotto Molino l’adozione di fondazioni su micropali metallici.

L’imbocco della galleria S Pietro, stante la presenza di materiali sciolti contenenti blocchi ciclopici, viene risolta con una paratia di micropali tirantata su più livelli.

Gli studi e le indagini svolte in ambito geologico, geotecnico ed idrogeologico hanno consentito di meglio approfondire le criticità presenti lungo il tracciato delle opere e di suddividerlo in zone a comportamento omogeneo.



Figura 4.3 – Frana della Marogna

4.3 *PRINCIPALI ELEMENTI DI NOVITA’ EMERSI DALLE INDAGINI INTEGRATIVE DI PD*

Le nuove indagini di PD, rispetto alle indagini di PP e dello Studio di Fattibilità hanno consentito un affinamento della ricostruzione stratigrafica generale con particolare riferimento alla zona prossima al tracciato e a quota cavo.

Di seguito si riportano le principali “nuove” evidenze litologico-stratigrafiche:

- Il sondaggio S7D ha evidenziato per tutta la sua lunghezza (40 m dal piano campagna) la presenza di detrito di versante di natura dolomitica in matrice ghiaioso-sabbiosa. Rispetto agli elaborati geologici di PP lo spessore di detrito di versante intercetta interamente il cavo della galleria, nella zona di imbocco sud della galleria Cogollo.
- Il sondaggio S7Dbis ha rilevato la presenza di vulcaniti a contatto con il detrito di versante; il passaggio dal detrito di versante alle vulcaniti è segnalato da uno spessore di circa 3 metri probabilmente ascrivibile alle vulcaniti intensamente alterate, o argillificate, processo segnalato nelle “Note illustrative” al foglio Asiago, CARG.
- Le evidenze litologiche sopra descritte risulterebbero confermate anche dalle indagini di tomografia sismica e dalle indagini magnetotelluriche eseguite nel tratto in esame. La tomografia sismica TS02Bis, evidenzerebbe in particolare una probabile risalita del substrato roccioso, a partire dalla pk 5+250 circa.

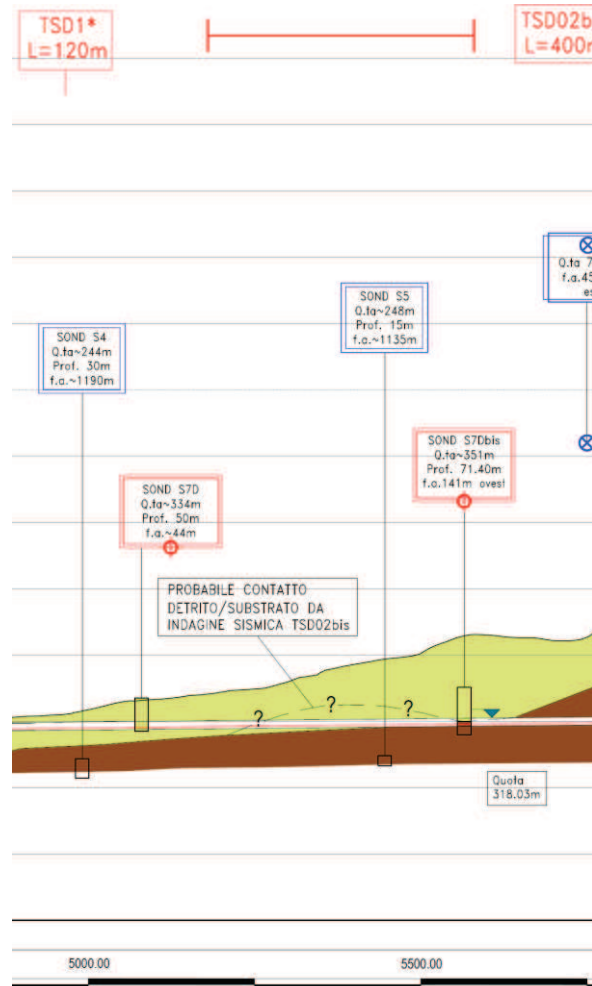


Figura 4.4 - Estratto dal Profilo longitudinale in asse al tracciato, in corrispondenza della zona Galleria Cogollo da Sud, tratto da pk 5+000 a pk 5+700 circa

- Il sondaggio S14D realizzato all’incirca in corrispondenza della PK 15+000 (cfr. figura 4.2), di lunghezza pari a 160m, ha attraversato una importante fascia di dolomia, da cataclasata ad intensamente fratturata/tettonizzata, con caratteristiche geomeccaniche da scadenti a pessime. Le evidenze del sondaggio hanno suggerimento un approfondimento di indagine di tutto il settore mediante stendimenti geofisici di sismica a rifrazione ed a riflessione. La sismica ha confermato la presenza di un settore, di circa 1500 m (da PK 15 a PK 16.5 circa) caratterizzato da un ammasso roccioso altamente fratturato e/o tettonizzato con spessori di detrito (o ammasso cataclasato) decisamente importanti, evidenziando la necessità di un approfondimento di indagine di tutto il settore compreso tra la posizione del sondaggio S14D e la zona immediatamente a nord dello stesso per circa un Km (tra le PK 15+000 e 16+000 circa) (cfr. figura 4.5).

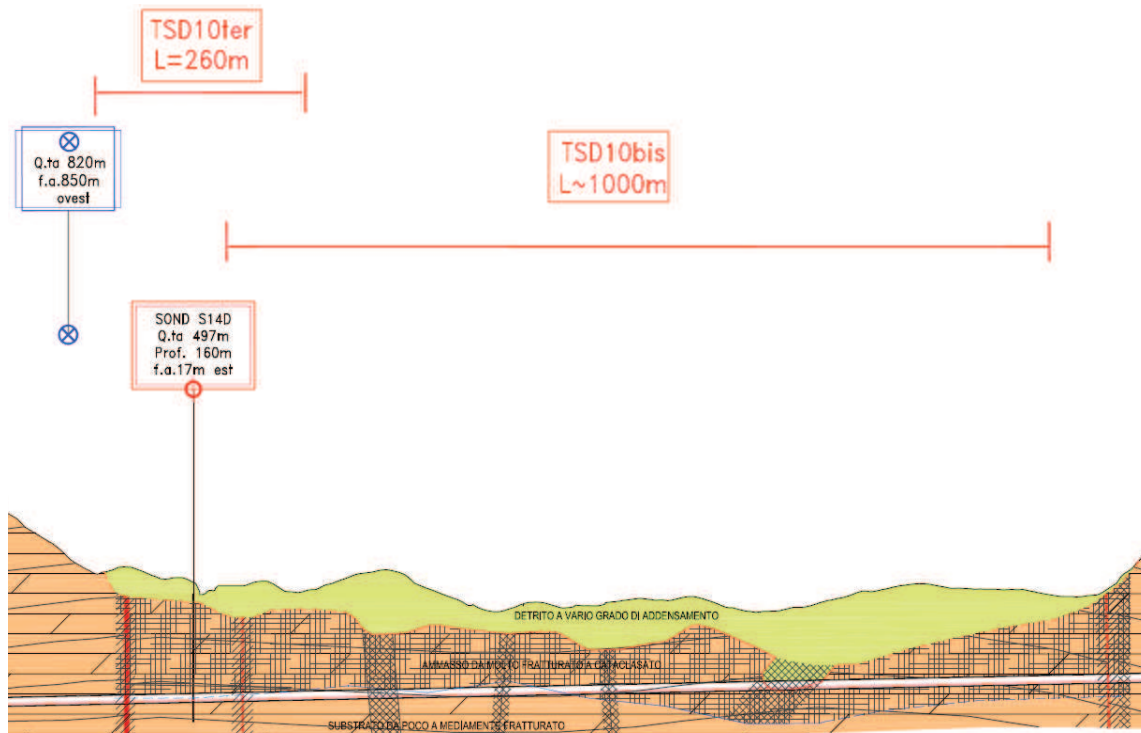


Figura 4.5 - Estratto dal Profilo longitudinale in asse al tracciato, in corrispondenza della Galleria San Pietro Careggiata nord, tratto da PK 15+000 a PK 16+250 circa

4.4 ANALISI DEI POSSIBILI CINEMATISMI

Le possibili cinematiche di collasso sono state analizzate e verificate sia in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie sia in corrispondenza delle tratte in sotterraneo.

1. Il progetto di ogni singolo imbocco rappresenta l’analisi di tutti i cinematismi possibili del versante interessato dall’opera a progetto. In corrispondenza di ogni singolo

imbocco non sono stati osservati fenomeni di caduta massi; per le analisi e le verifiche d dettaglio si rimanda agli elaborati progettuali di ogni singolo imbocco.

2. Le cinematiche di collasso che possono manifestarsi in corrispondenza del fronte e/o del contorno del cavo, sono state analizzate e descritte nelle relazioni tecniche di calcolo delle singole gallerie al paragrafo “Analisi dei tetraedri instabili”. Si ricorda inoltre che per la galleria Cogollo tali analisi non sono state eseguite in quanto la tipologia di scavo prevista è quella in meccanizzato.

5 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-GEOMECCANICA

I criteri di interpretazione delle indagini geotecniche, descritti nei successivi paragrafi, tengono conto del fatto che lungo il tracciato in esame sono stati rinvenuti fondamentalmente rocce sedimentarie (dolomia principale e calcari grigi) da mediamente ad intensamente fratturate, localmente, in corrispondenza della zona di imbocco sud della galleria Cogollo sono state osservate rocce vulcaniche (andesiti) da mediamente a molto fratturate. Alla base dei versanti è stato osservato uno spessore di coltre detritica costituita da elementi lapidei prevalentemente dolomitici in una matrice sabbioso-ghiaiosa.

La caratterizzazione geotecnica / geomeccanica ha tenuto dell'analisi delle seguenti indagini:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- prove di permeabilità Lefranc e Lugeon in foro;
- prove dilatometriche in foro con dilatometro da roccia;
- prove di laboratorio su provini di roccia prelevati nei fori di sondaggio;
- stendimenti di sismica a rifrazione;
- rilievi geostrutturali su alcuni affioramenti rocciosi rappresentativi.

A livello generale, dal punto di vista dei criteri di caratterizzazione geotecnica e geomeccanica si distinguono tre tipologie di materiale:

- materiali a grana medio-fine (elementi lapidei in matrice sabbioso-ghiaiosa);
- rocce sedimentarie (dolomia principale)
- rocce vulcaniche (andesiti).

L'individuazione del tipo di materiale, e quindi la scelta del metodo di interpretazione, è fatta principalmente sulla base:

- della descrizione stratigrafica e geomeccanica dei sondaggi;
- delle prove di laboratorio sui campioni di terreno e sulle carote di roccia.

5.1 MATERIALI A GRANA MEDIO-GROSSOLANA (GHIAIE E SABBIE IN MATRICE LIMOSA)

I materiali a grana presenti nella tratta relativa alle opere in sotterraneo sono rappresentati da coltri detritiche di versante costituite da trovati e ciottoli a spigoli vivi, di natura dolomitica in matrice sabbiosa.

Le coltri detritiche si accumulano per detritismo ai piedi dei versanti dolomitici ed in particolare, per la tratta relativa alle opere in sotterraneo, sono state riscontrate in corrispondenza delle zone di imbocco:

- Imbocco sud Galleria Cogollo, i nuovi sondaggi eseguiti, S7D ed S7Dbis, hanno rilevato spessori di coltri detritiche superiori a 40m,

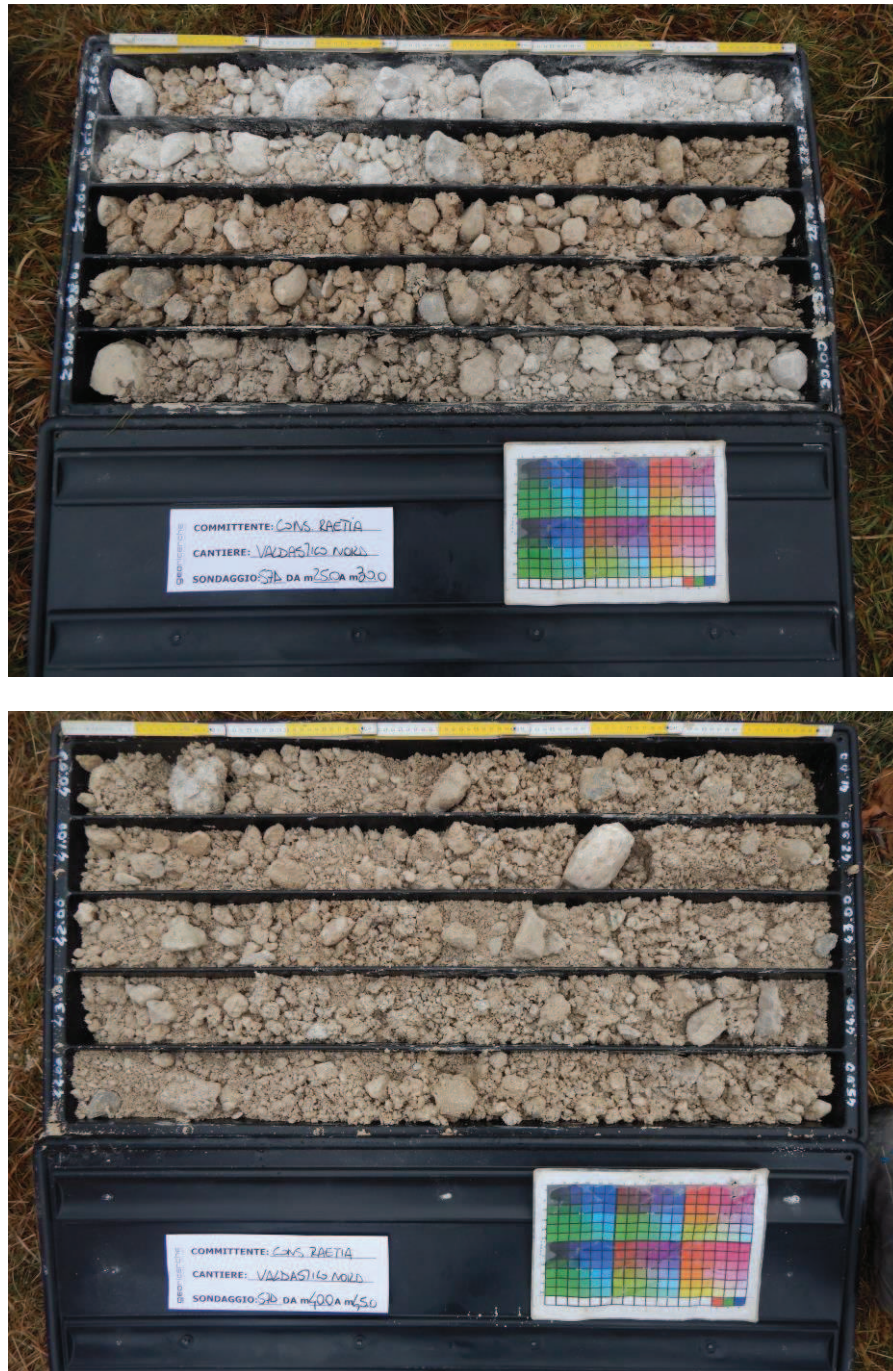


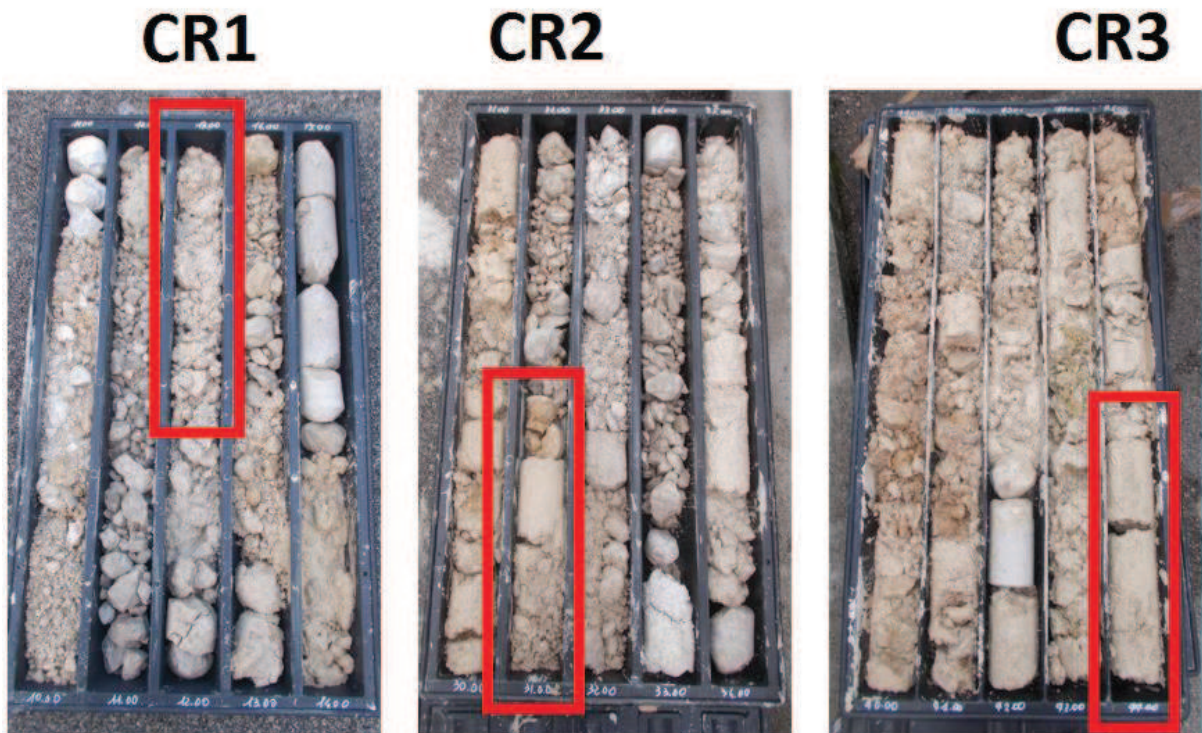
Figura 5.1 - Sondaggio S7D – imbocco sud galleria Cogollo

Dal sondaggio S7Dbis sono stati estratti 5 campioni a diverse profondità: i 3 più superficiali si riferiscono allo strato detritico, il quarto ad un sottile strato di passaggio limo sabbioso ed il quinto alla formazione della vulcanite. I due sondaggi sondaggi più superficiali restituiscono un peso di volume naturale compreso tra i 22 e i 23kN/m³, mentre il terzo mostra un valore intorno ai 21kN/m³, essendo prossimo alla zona alterata in corrispondenza del passaggio alla vulcanite.

Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione USCS	Contenuto d'acqua W	Peso di volume naturale γ_n	Peso Specifico G_s	Limiti di Atterberg			Composizione granulometrica			
							LL	LP	IP	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
n°	n°	m		%	kN/m ³	Mg/m ³	%	%	%	%	%	%	%
S7Dbis	CR1	12.50-13.00	GM	7.64	22.93	2.69	11.0	N.P.	N.P.	48.72	33.17	11.93	6.18
S7Dbis	CR2	31.00-31.50	GM-GC	7.57	22.29	2.77	17.1	12.60	4.5	39.54	35.48	16.72	8.27
S7Dbis	CR3	44.00-44.50	GC	9.89	20.96	2.72	22.0	13.0	9.0	41.73	21.43	19.41	17.43
S7Dbis	CR4	50.00-50.50	ML-CL	12.62	19.94	2.65	22.4	15.9	6.6	3.54	27.09	30.55	38.81
S7Dbis	CR5	56.30-57.00	ML-CL	14.21	19.13	2.58	37.3	24.6	12.7	5.53	31.83	30.00	32.64

Prove di laboratorio

Dall’analisi granulometrica risulta che il detrito di versante è costituito principalmente da ghiaia (40-50% del totale) con una buona percentuale di matrice sabbiosa.



La caratterizzazione geotecnica è stata definita mediante l’analisi delle prove in situ (SPT e prove di permeabilità Lefranc) e dall’esame delle prove di laboratorio eseguite (granulometrie e peso di volume).

Di seguito si riporta la tabella di sintesi delle prove di permeabilità eseguite nei fori di sondaggio, per la sintesi delle prove di laboratorio sui terreni a grana fine si veda quanto descritto nella Relazione geotecnica (documento J16L1-030801001-0101-OPD-00 e per le prove SPT si veda quanto elaborato e descritto nel successivo paragrafo 5.2.1.

Lefranc			
Sondaggio	Prof. Prova (m)	K (m/sec)	Litologia di prova
S2D	13,5-14,0	5,92*10 ⁻⁶	ghiaia grossolana, sub-arrotondata
S4D	13,0-13,5	1,74*10 ⁻⁶	ghiaia grossa e media
S5D	22,0-22,5	2,27*10 ⁻⁶	sabbia media limosa
S6D	17,0-17,5	1,64*10 ⁻⁸	ghiaia fine e media
S7D	32,5-33,2	4,783*10 ⁻⁶	ciottoli e ghiaia
	44,5-45,2	4,741*10 ⁻⁶	ciottoli e ghiaia
S12D	4,5-6,0	1,79*10 ⁻⁴	ghiaia eterometrica
S13D	4,5-6,0	1,83*10 ⁻⁴	ghiaia eterometrica
S15D	4,5-5,0	3,847*10 ⁻⁴	trovanti e ciottoli
S16D	5,0-5,7	1,225*10 ⁻⁴	trovanti e ciottoli
S17D	4,5-5,0	2,448*10 ⁻⁴	trovanti e ciottoli
PZD5	0,0-1,0	7,214*10 ⁻⁵	trovanti e ciottoli, paleofrana
PZD6	0,0-1,0	1,446*10 ⁻⁴	trovanti e ciottoli, paleofrana

Prove di permeabilità di tipo Lefranc

Nel seguito si analizzano i risultati delle prove in sito per i detriti di versante e per la paleofrana all’imbocco di San Pietro Nord, che vengono caratterizzati dagli stessi parametri.

In tabella è riportata la caratterizzazione risultante delle prove in laboratorio ed in sito, meglio descritte nel seguito, in accordo con quanto mostrato nei profili geotecnico-geomeccanici relativamente ai depositi detritici granulari presenti in prossimità delle zone di imbocco delle gallerie.

	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	E (GPa)
<i>g. Cogollo Sud</i>	20-23	0-50	35-37	0.1-1.0
<i>g. Cogollo Nord</i>	22	0	35	0.1
<i>g. Pedescala Sud</i>	22	0	35	0.1
<i>g. S. Pietro Sud</i>	22-23	0	35-37	0.1-0.2
<i>g. S. Pietro Nord</i>	22-23	0-30	35-37	0.1-0.45

5.2 CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI

La caratterizzazione dei terreni presenti lungo i tracciati è stata ottenuta mediante l'analisi delle informazioni deducibili da:

- raccolta e analisi delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti nelle campagne di indagini geognostiche svolte;
- interpretazione ed analisi delle prove in sito e di laboratorio eseguite su campioni di terreno, indisturbato e non, prelevati nei sondaggi a carotaggio continuo;
- confronto dei risultati ottenuti dalla caratterizzazioni di materiali simili in contesti analoghi in aree diverse.

I dati disponibili sono stati suddivisi in funzione dell'unità litostratigrafiche di appartenenza; di seguito si riportano, dopo una sintetica descrizione delle prove e delle modalità interpretative, i grafici dei risultati in funzione della profondità.

5.2.1 Prova penetrometrica dinamica SPT (Standard Penetration Test)

Sono state eseguite numerose prove penetrometriche dinamiche del tipo SPT.

Come noto, l'interpretazione delle prove penetrometriche richiede la normalizzazione dei valori misurati (N_{SPT}) in base a:

- rendimento del dispositivo di battitura
- pressione litostatica verticale efficace (σ'_{vo} [Kg/cm²])

E' stato assunto un rendimento tipico del ER = 60 %, che normalizzato al valore del 60 % fornisce:

$$N_{SPT(60)} = N_{SPT} * (ER/60) = 1.00 N_{SPT}$$

La correzione relativa allo sforzo verticale efficace alla profondità di prova è stata eseguita in base alle seguenti relazioni:

$$N'_{SPT(60)} = C_N * N_{SPT(60)}$$

dove:

$$C_N = 1 / \sigma'_{vo}{}^n \quad (n = 0.5 \text{ Liao \& Whitman, 1985}).$$

Per il trattamento sistematico dei dati è stato implementato un foglio di calcolo, che partendo da una serie di dati di input (valore misurato N_{SPT} , profondità della prova, quota della falda, peso di volume del terreno, percentuale di rendimento della macchina), permette di ottenere i valori normalizzati $N_{SPT(60)}$ e $N'_{SPT(60)}$.

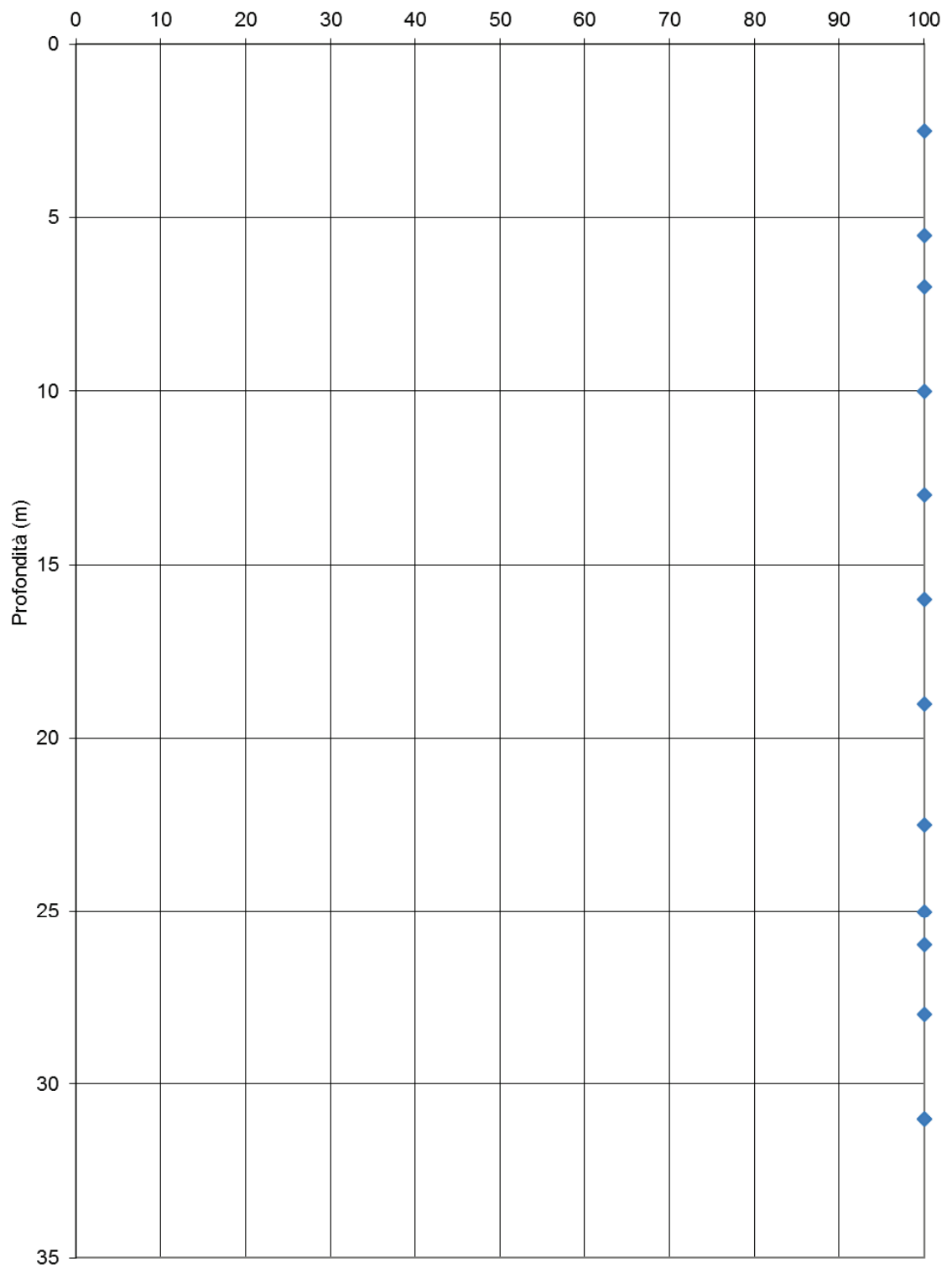
Sullo stesso foglio di calcolo i valori normalizzati vengono riportati in un unico diagramma. Questo permette di individuare in una visione di insieme un eventuale trend tipico della resistenza alla penetrazione del terreno, o al contrario significative variazioni della stessa lungo il tracciato.

Successivamente i valori vengono utilizzati per ricavare, tramite le numerose correlazioni empiriche proposte in letteratura e scelte in base alla tipologia di terreno a cui sono riferite, i valori di densità relativa, angolo di attrito e modulo elastico. La maggior parte delle correlazioni passa attraverso la determinazione della densità relativa del materiale per giungere ai parametri geotecnici, mentre altre vi giungono direttamente tramite il valore di SPT.

Si riporta di seguito il grafico della distribuzione verticale dei valori di $N'_{SPT(60)}$ in funzione della profondità.

Quasi la totalità delle prove è andata a rifiuto.

N'SPT - Detrito di versante



5.2.2 Densità relativa

Essendo in presenza di terreni sabbiosi e ghiaiosi, si ritiene opportuno utilizzare i valori ottenuti con la correlazione di Bazaraa (1967) per il calcolo della *densità relativa* (Dr).

La formula per calcolare la densità relativa varia in funzione della tensione verticale efficace (σ'_v):

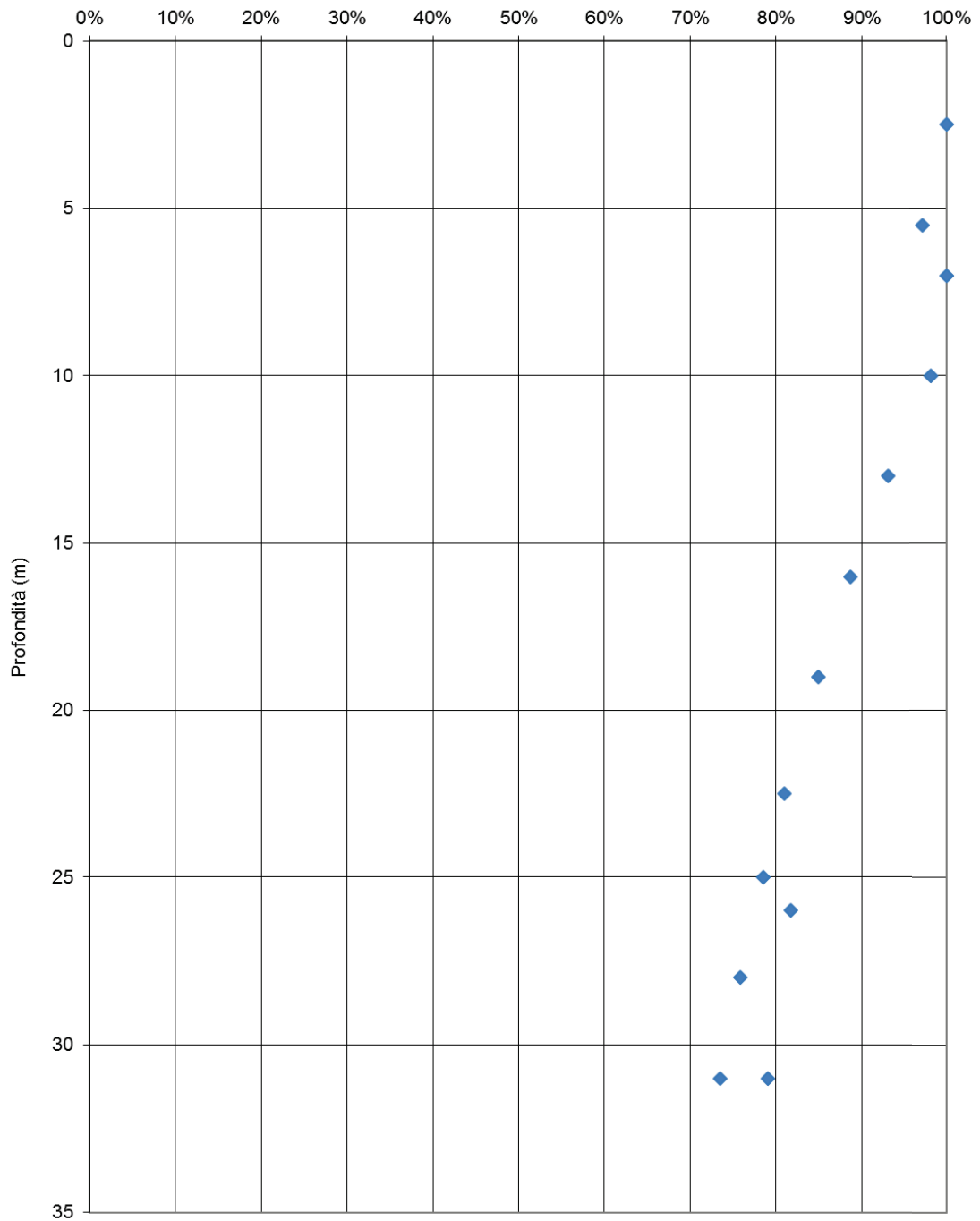
$$\text{per } \sigma'_v \leq 0.732 \text{ Kg/cm}^2 \quad Dr = \sqrt{\frac{N_{spt}}{20 \cdot (1 + 4.1 \cdot \sigma'_v)}}$$

$$\text{per } \sigma'_v > 0.732 \text{ Kg/cm}^2 \quad Dr = \sqrt{\frac{N_{spt}}{20 \cdot (3.24 + 1.024 \cdot \sigma'_v)}}$$

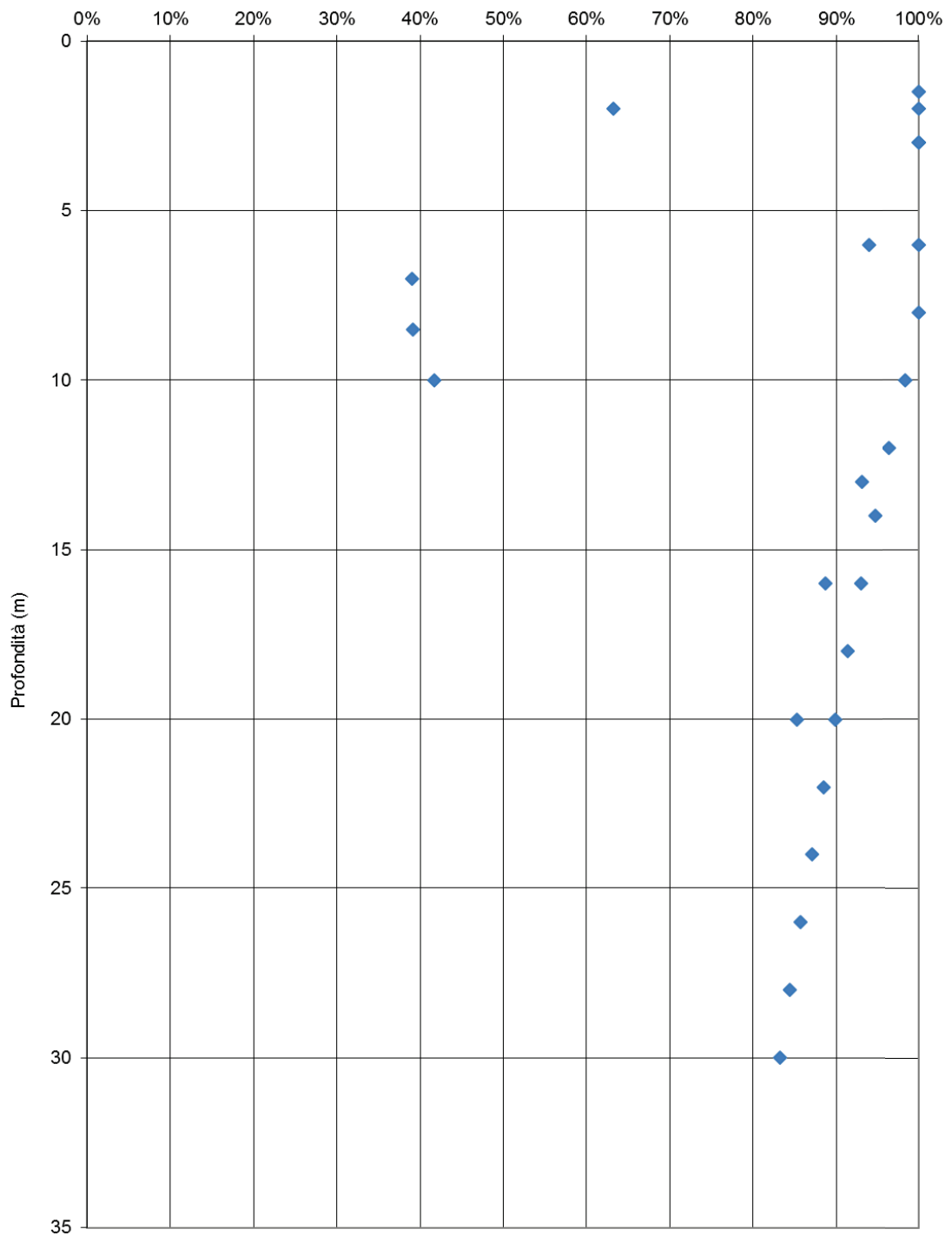
Nelle seguenti grafici sono riportati i valori ottenuti in funzione della profondità per ciascuna unità litostratigrafica.

La densità relativa risulta decrescente con la profondità poiché nella formulazione al numeratore N_{spt} è quasi sempre pari a 100, mentre al denominatore lo sforzo verticale efficace cresce, andando quindi a ridurre la Dr .

Dr (%) - Bazaraa (1967)
Detrito di versante



Dr (%) - Bazaraa (1967)
Paleofrana



5.2.3 Angolo di resistenza al taglio

Vi sono due tipologie di correlazioni, quelle dirette, ovvero che pongono in correlazione diretta il numero N_{spt} misurato con l’angolo d’attrito interno (ϕ), e quelle indirette, ovvero il valore dall’angolo d’attrito interno viene ricavato dalla densità relativa a sua volta ricavata come visto dal numero N_{spt} . Tra le due tipologie è da preferirsi la prima poiché si riduce l’approssimazione dovuta al doppio passaggio delle correlazioni indirette.

Tra le correlazioni note in letteratura, sono state prese in considerazione quella di Schmertmann (indiretta) e quelle di Peck Hanson & Thornburn e Shioi & Fukuni – Japanese National Railway (dirette).

Schmertmann (1978)

Propone la correlazione riportata nella figura seguente tra D_R e ϕ in funzione delle caratteristiche granulometriche del terreno, particolarmente indicata per le sabbie e le ghiaie.

In forma analitica secondo le seguenti equazioni:

$$1 - \Phi = 28 + 0,14 D_r$$

$$2 - \Phi = 31,5 + 0,10 D_r$$

$$3 - \Phi = 34,5 + 0,10 D_r$$

$$4 - \Phi = 38 + 0,08 D_r$$

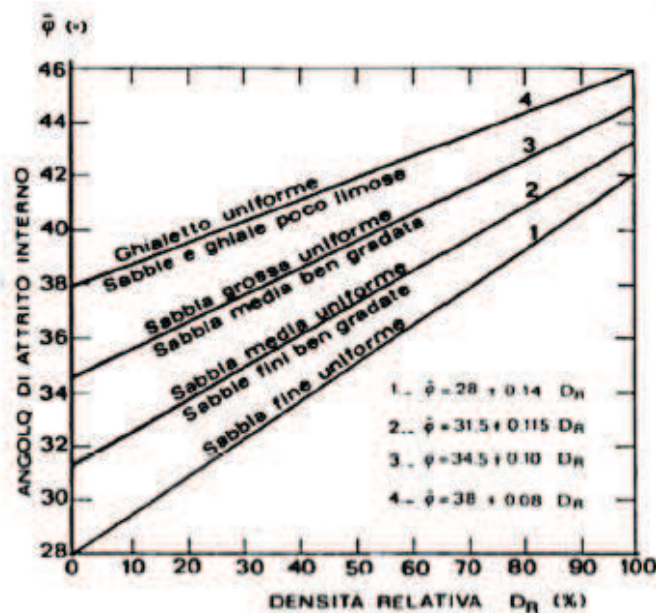


Figura 5.1.1 Correlazione tra D_R e ϕ in funzione della granulometria (SCHMERTMANN, 1978)

In questo caso è stata utilizzata la densità relativa ottenuta con il metodo di Bazaraa.

Peck Hanson & Thornburn (1974)

Questa correlazione è molto utilizzata nei paesi anglosassoni, è valida per tutti i tipi di terreno; il valore dell’angolo di attrito interno viene calcolato direttamente dal valore di N_{spt} secondo la seguente formula:

$$\Phi (^{\circ}) = 27,2 + 0,28N_{spt}$$

Shioi & Fukuni (1982) – Japanese National Railway

Questo metodo è valido per sabbie medie – grosse e sabbie ghiaiose, possibilmente per profondità superiori a 8 – 10 m sopra falda e 15 m sotto falda.

L’angolo d’attrito interno viene calcolato direttamente dal numero di colpi N_{spt} con la seguente formula:

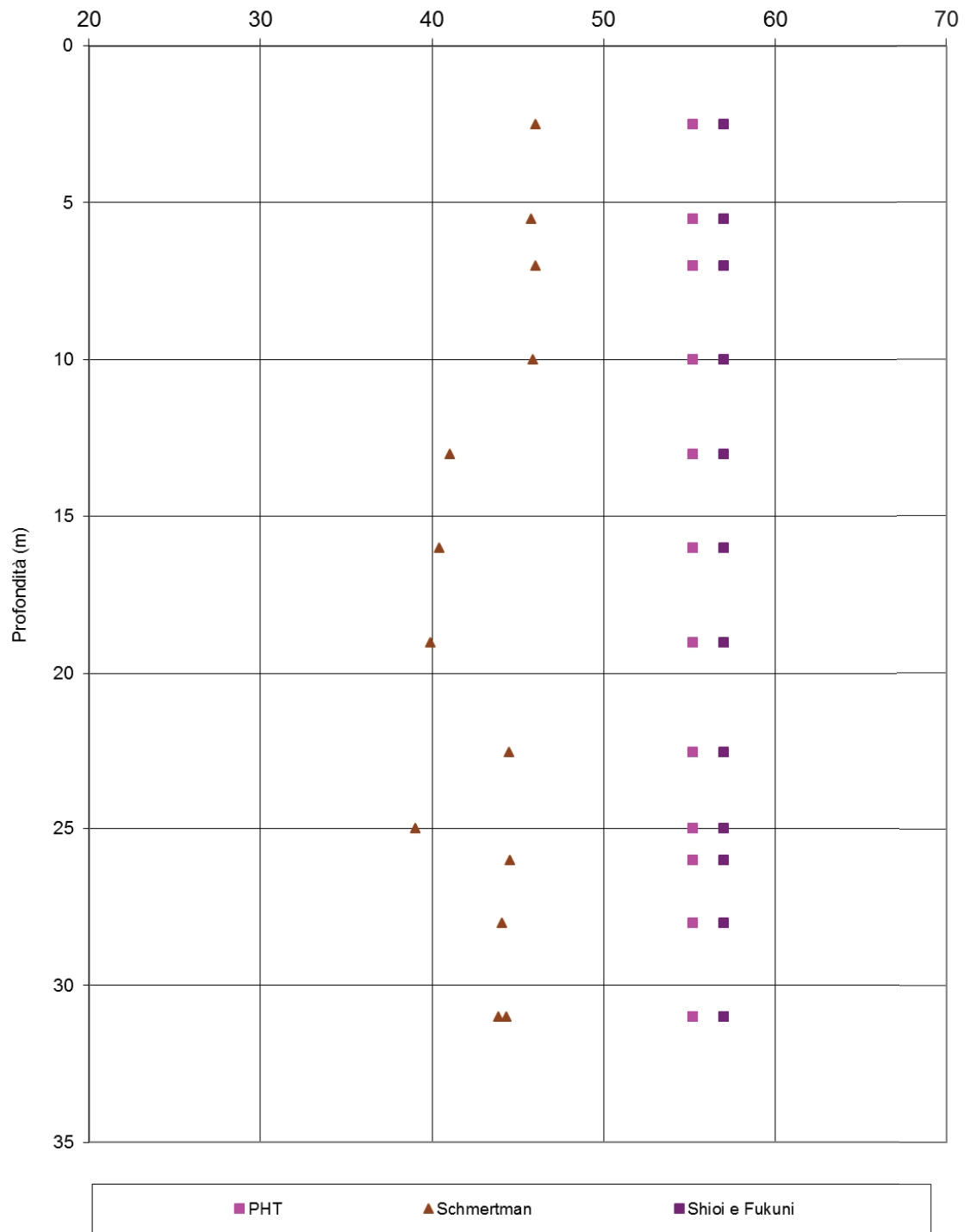
$$\Phi = 0.3N_{spt} + 27$$

Nelle figure seguenti si riportano i valori dell’angolo d’attrito per ciascuna unità litostratigrafica, calcolati con le relazioni sopra esposte, diagrammati in funzione della profondità.

Tutte le formulazioni dipendono da N_{spt} , che è risultato per la maggior parte delle volte pari a 100. Per i calcoli si assume Φ pari a 35° per i primi 10m e pari a 37° per profondità maggiori.

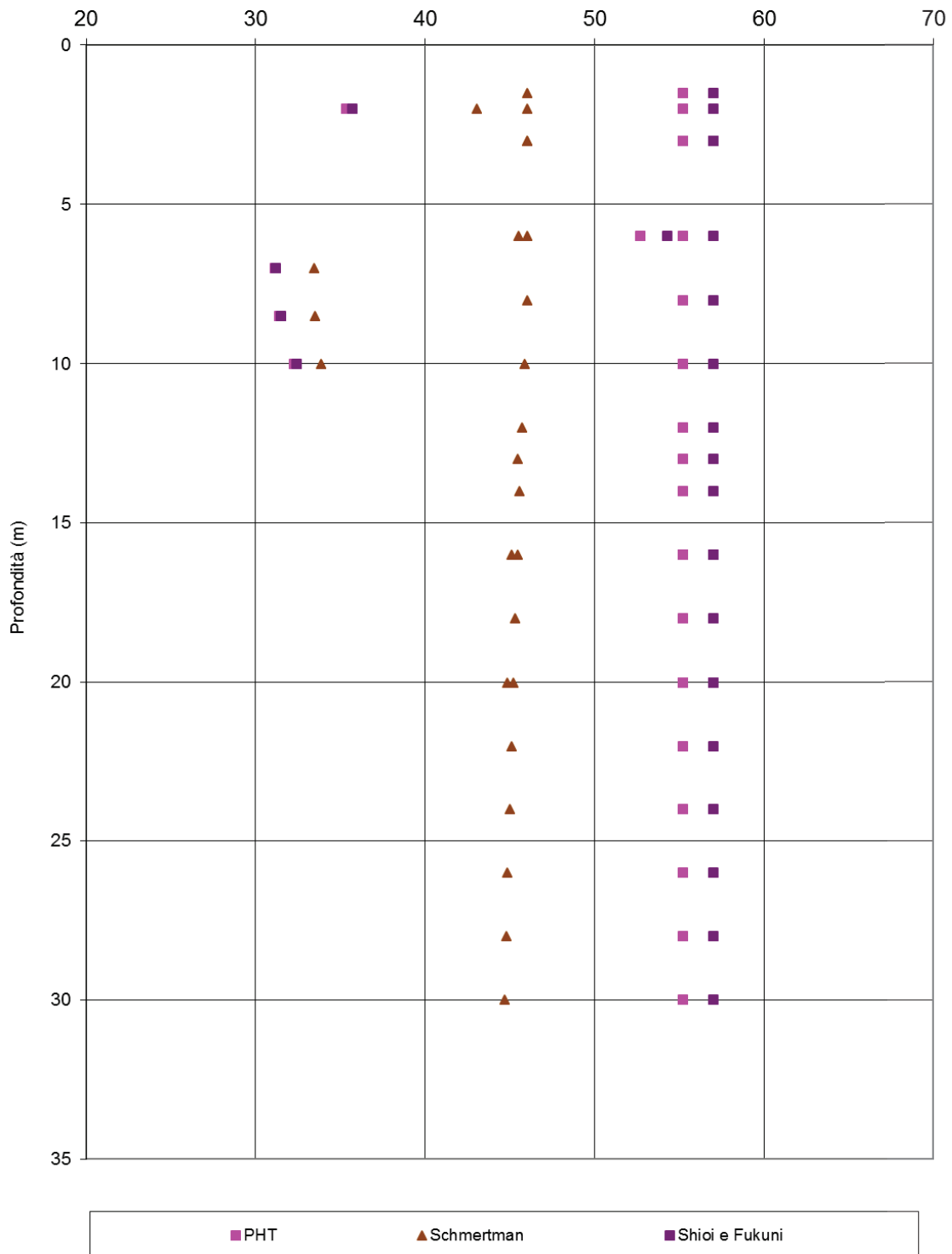
AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Φ' (°) - Detrito di versante



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Φ' (°) - Paleofrana



5.2.4 Modulo elastico

Anche per il modulo elastico esistono in letteratura numerose correlazioni empiriche in funzione della granulometria o del grado di addensamento. Tra tutte quelle note in letteratura sono state utilizzate quelle di D’Appolonia et al. (1970), Jamiolkowski et al. (1988), Straud (1988) e Berardi Lancellotta (1991).

Sono stati inoltre determinati i moduli anche dalle prove sismiche.

D’Appolonia et al. (1970)

Questa correlazione è valida per le sabbie con ghiaia e per le sabbie sovraconsolidate. La correlazione calcola il modulo elastico senza considerare l’influenza della pressione efficace, portando così ad una diminuzione del valore di E con la profondità. Le formule utilizzate sono le seguenti:

$$\text{Per sabbia e ghiaia NC} \quad E \text{ (MPa)} = 0,756 \cdot N'spt(60) + 18,75$$

$$\text{Per sabbia SC} \quad E \text{ (MPa)} = 1,043 \cdot N'spt(60) + 36,79$$

Jamiolkowski et al. (1988)

Questa correlazione calcola il modulo elastico corrispondente a tensioni dell’ordine del 25% di quelle a rottura, in funzione della densità relativa Dr e di Nspt

$$\text{Per terreni NC} \quad E \text{ (MPa)} = (10,5 - 3,5 \cdot Dr) \cdot Nspt$$

$$\text{Per terreni SC} \quad E \text{ (MPa)} = (52,5 - 35 \cdot Dr) \cdot Nspt$$

Straud (1988)

Questa correlazione è utilizzata per le sabbie, ghiaie e le argille. Il modulo elastico è calcolato in funzione del valore di Nspt con la seguente formula:

$$E \text{ (MPa)} = (0,136 \cdot Nspt - 0,00107 \cdot Nspt^2 + 1,503) \cdot Nspt$$

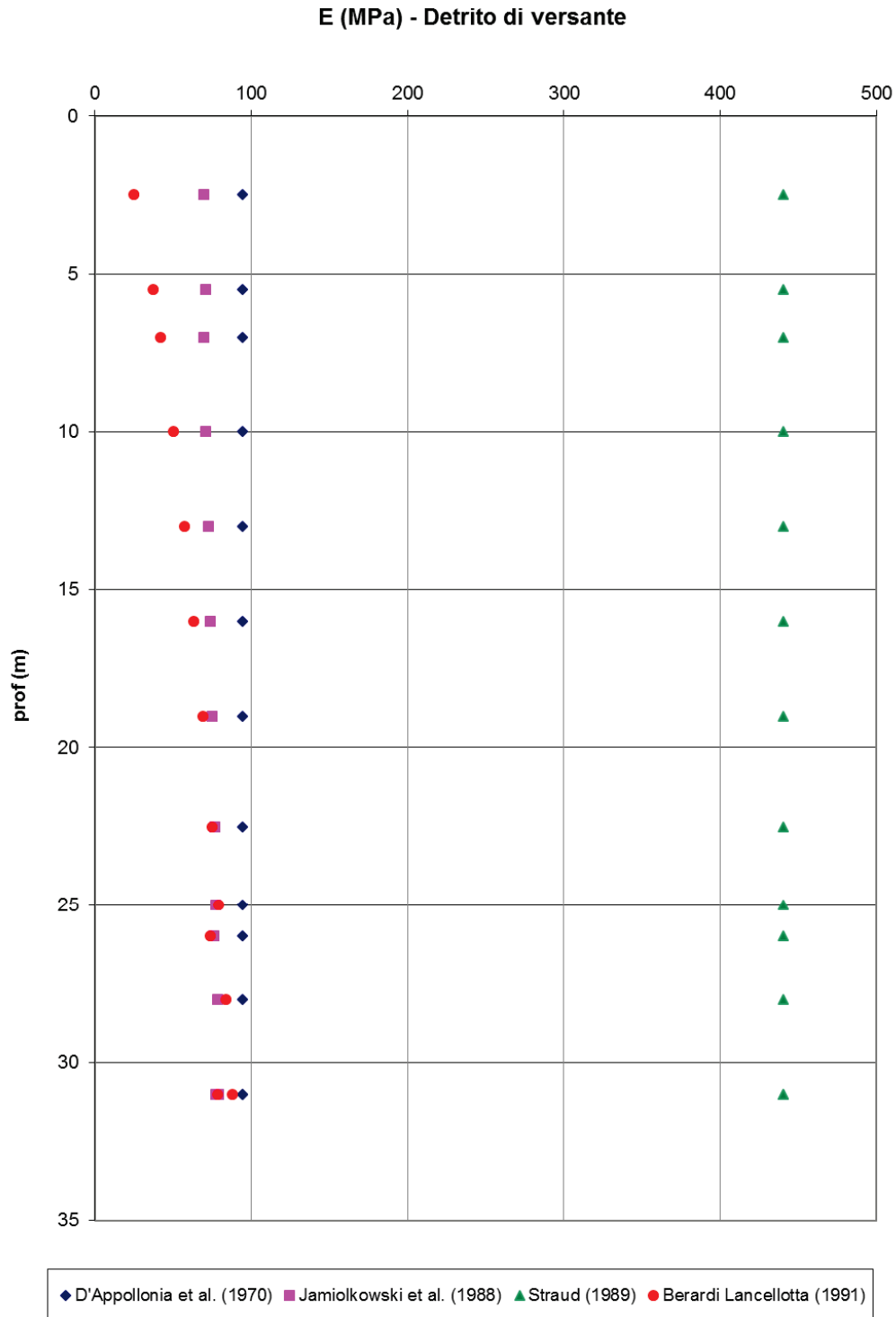
Berardi e Lancellotta (1991)

Questa correlazione calcola il modulo elastico a piccole deformazioni E_0 in funzione della densità relativa Dr e della tensione efficace verticale, secondo la seguente formula:

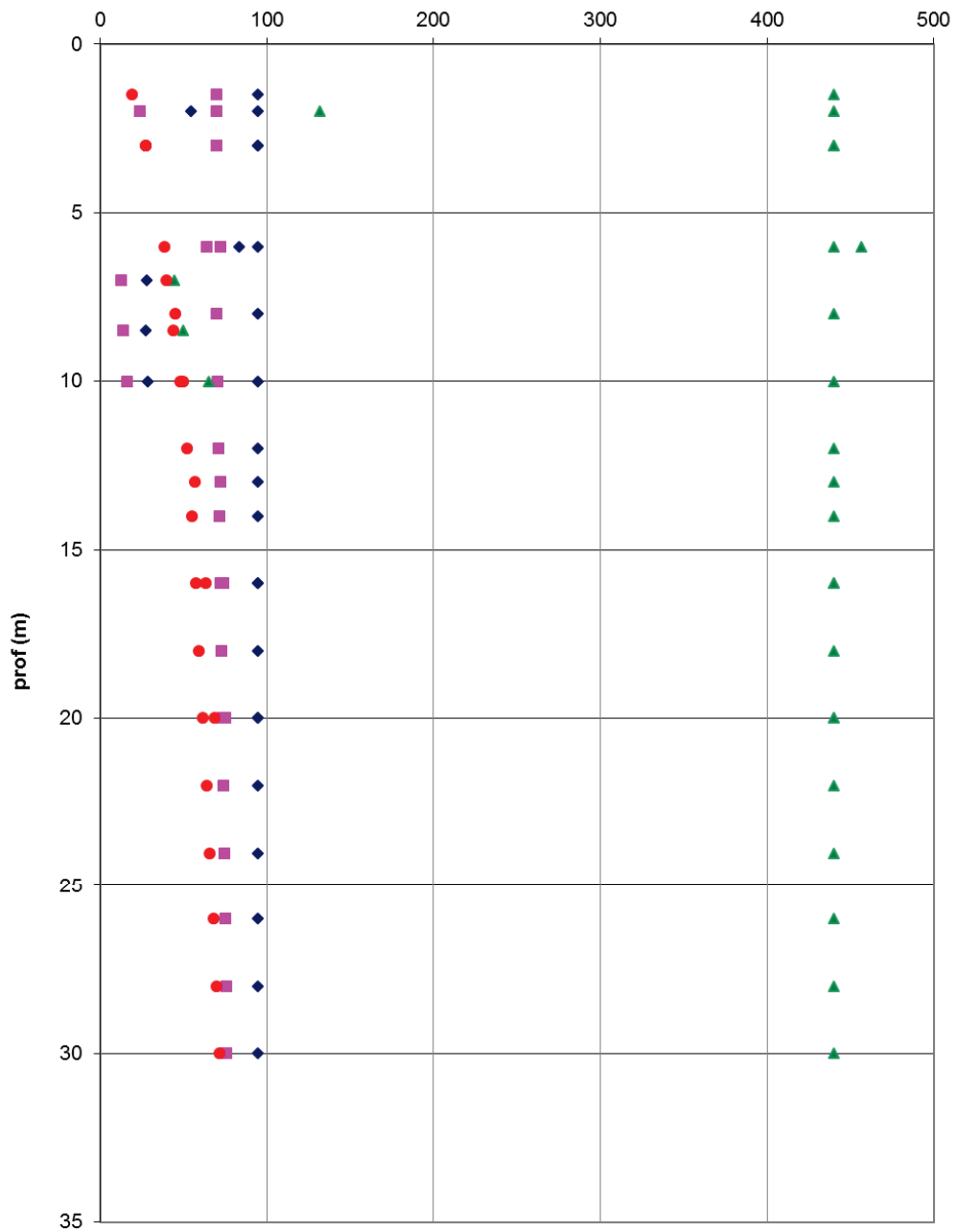
$$E_0 = (100 + 9 \cdot Dr) \cdot 0,1 \sqrt{\sigma'_{vo}} \quad \text{con } E_0 = \text{modulo elastico a piccole deformazioni (MPa)}$$

Si assume come modulo di Young “operativo” E un valore pari ad 1/3 di quello iniziale.

Nelle figure seguenti vengono riportati i valori di modulo elastico per ciascuna unità litostratigrafiche ottenuti con le correlazioni sopra esposte, diagrammati in funzione della profondità.



E (MPa) - Paleofrana



◆ D'Appollonia et al. (1970) ■ Jamiolkowski et al. (1988) ▲ Straud (1989) ● Berardi Lancellotta (1991)

Modulo elastico da prove sismiche

Con riferimento ai risultati delle prove sismiche condotte in corrispondenza degli imbocchi, dai valori di v_p registrati per la formazione detritica è possibile stimare il valore del modulo elastico di partenza E_0 , attraverso le seguenti correlazioni:

$$v_s = v_p / \sqrt{\frac{1-\nu}{0.5-\nu}} \quad G_0 = \frac{\gamma}{9.81} \cdot v_s^2 \quad E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1+\nu)$$

Come risulta dalle figure seguenti, si ottengono moduli elastici E_0 rapidamente crescenti con la profondità. Valori di v_p inferiori ai 1000m/s si registrano nei primi 5m di profondità e si superano i 2000m/s generalmente nei primi 20-30m, all’aumentare del grado di addensamento del materiale grossolano.

Dai valori di G_0 e E_0 (legati linearmente) si ricava il modulo operativo E , di norma assunto pari a 1/5 o 1/10 di quello iniziale. Per le opere analizzate, si prende E pari ad 1/10 di E_0 , considerando deformazioni a taglio pari a 0.1%.

Vp [m/s]	Vs [m/s]	γ [kN/m ³]	G ₀ [MPa]	ν	E ₀ [MPa]	E [MPa]
500	267	23	167	0.3	435	44
1000	535	23	670	0.3	1742	174
1500	802	23	1507	0.3	3919	392
2000	1069	23	2679	0.3	6967	697

Tabella 15 – Stima del modulo elastico E dalle v_p

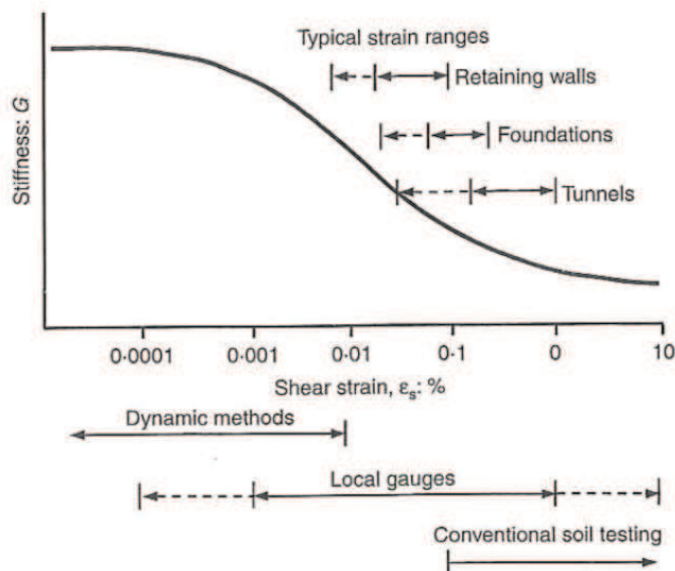


Figura 2 - Range tipici delle deformazioni a taglio per differenti tipi di strutture e range di applicazione di differenti tecniche di indagine

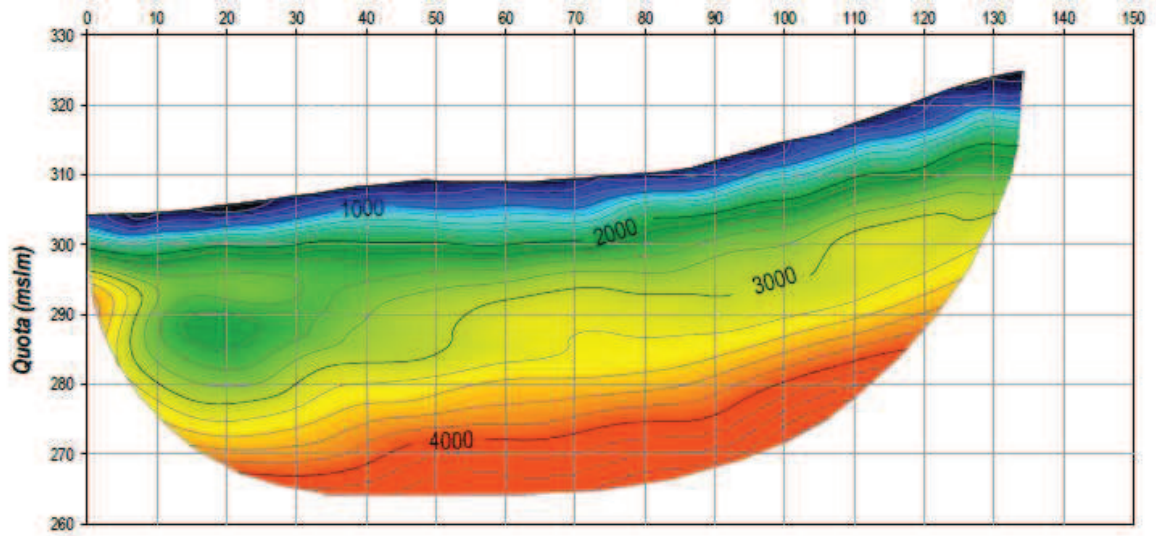


Figura 3 - Sismica a rifrazione – Linea TSD1 – Imbocco Cogollo Sud

Tomografia sismica a rifrazione

Velocità P (m/sec)
Sezioni di rilievo

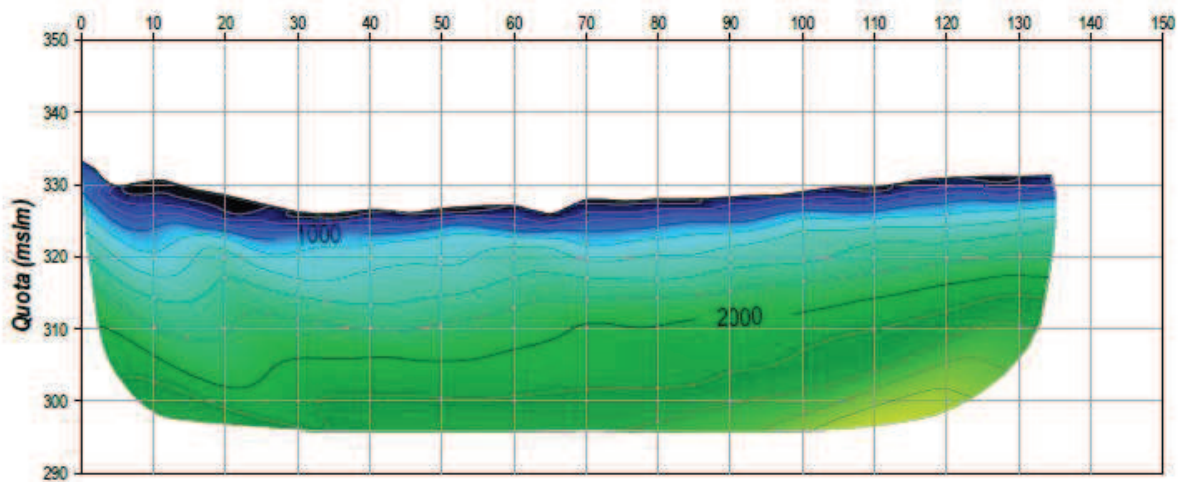


Figura 4 - Sismica a rifrazione – Linea TSD2 – Imbocco Cogollo Sud

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

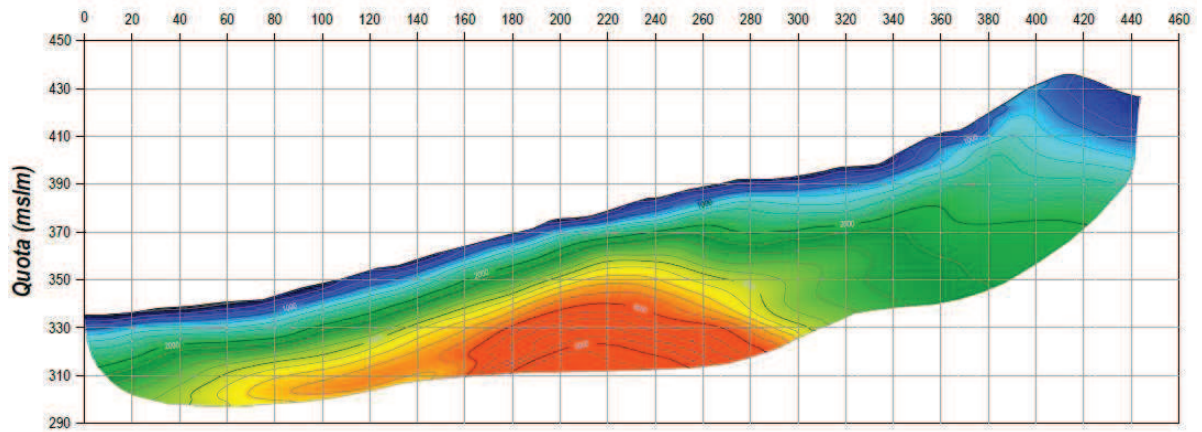


Figura 5 - Sismica a rifrazione – Linea TSD2bis – Imbocco Cogollo Sud

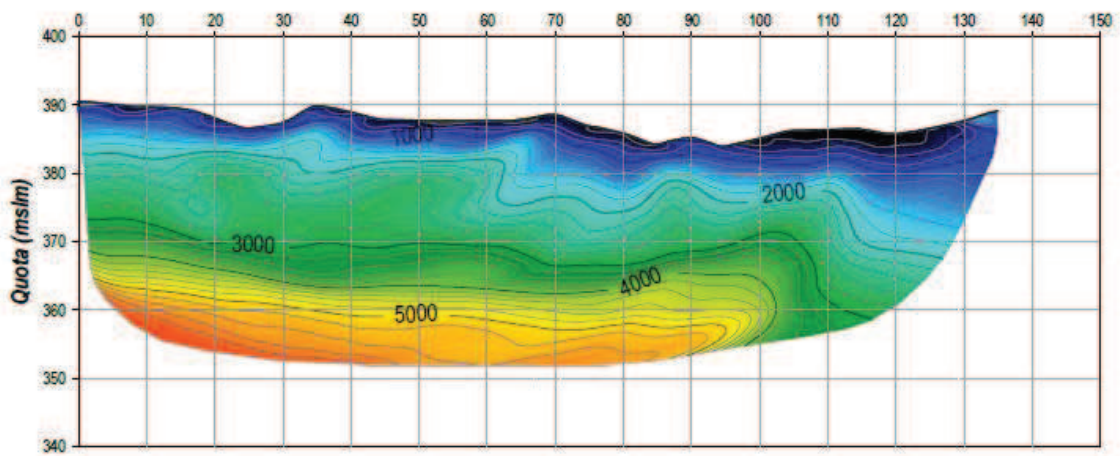


Figura 6 - Sismica a rifrazione – Linea TSD3 – Imbocco Cogollo Nord

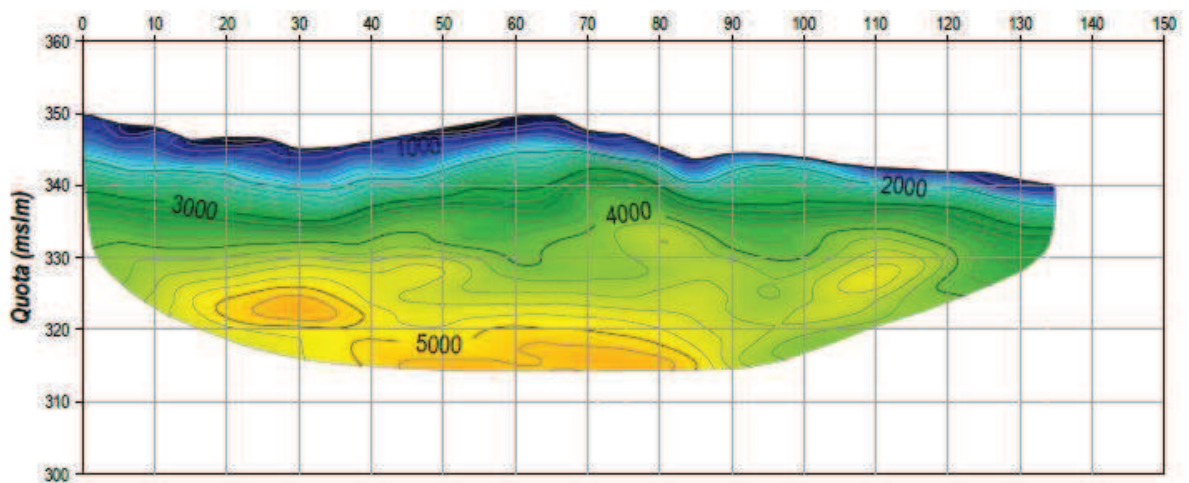


Figura 7 - Sismica a rifrazione – Linea TSD4 – Imbocco Cogollo Nord

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

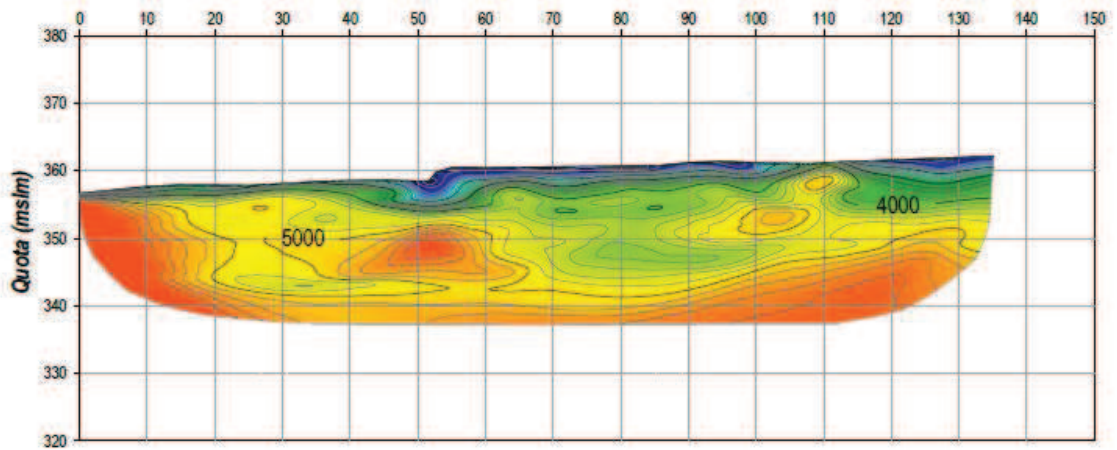


Figura 8 - Sismica a rifrazione – Linea TSD4bis – Imbocco Pedescala Sud

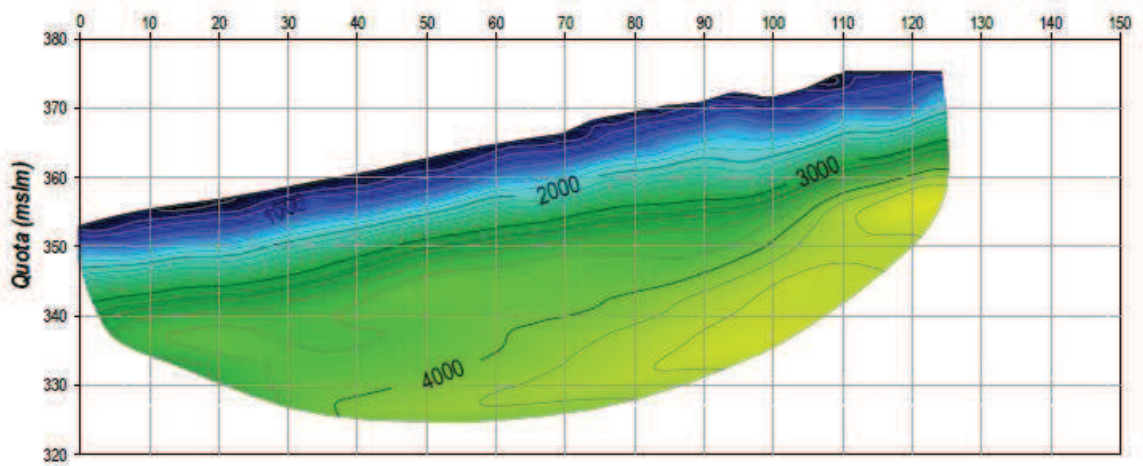


Figura 9 - Sismica a rifrazione – Linea TSD5 – Imbocco Pedescala Sud

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

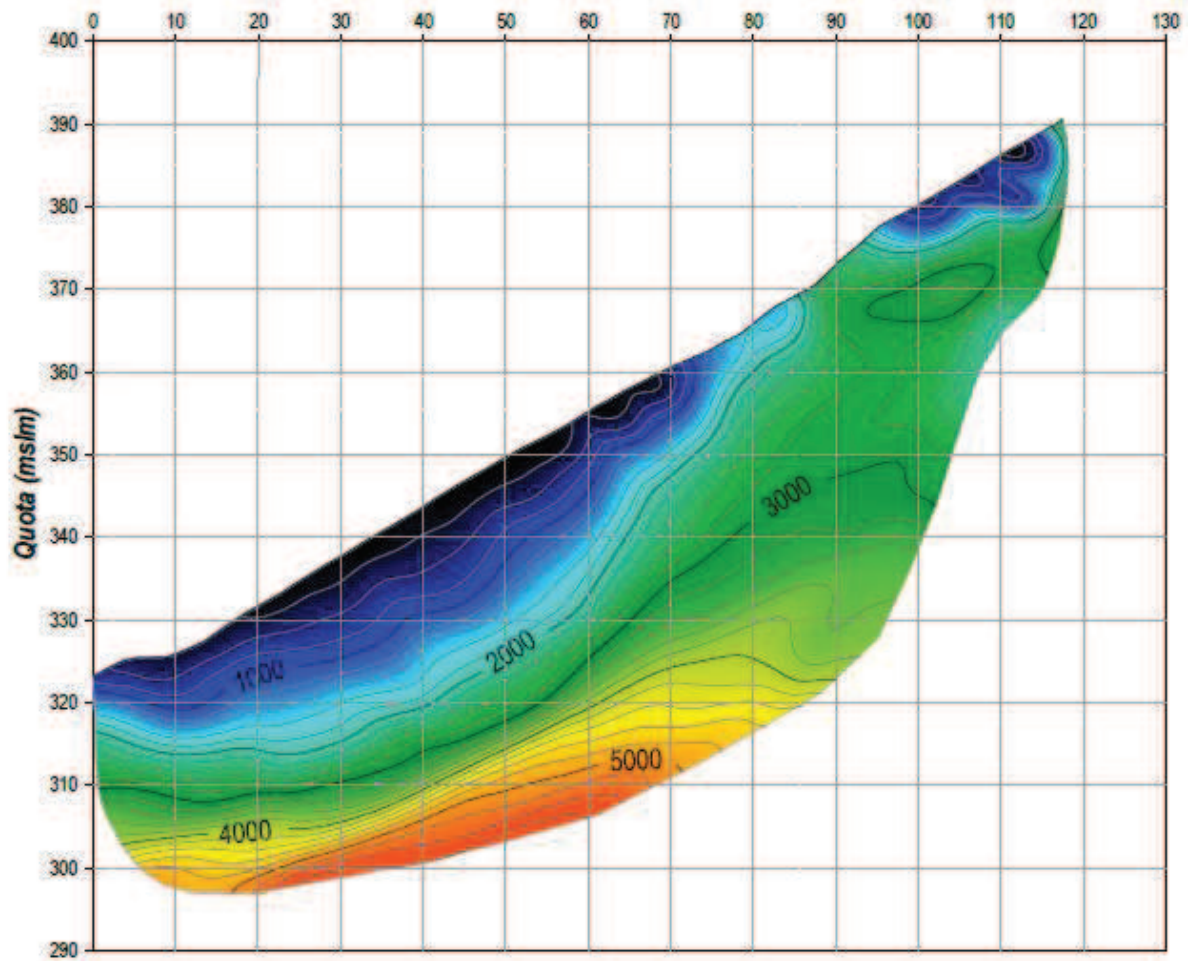


Figura 10 - Sismica a rifrazione – Linea TSD6 – Imbocco Pedescala Nord

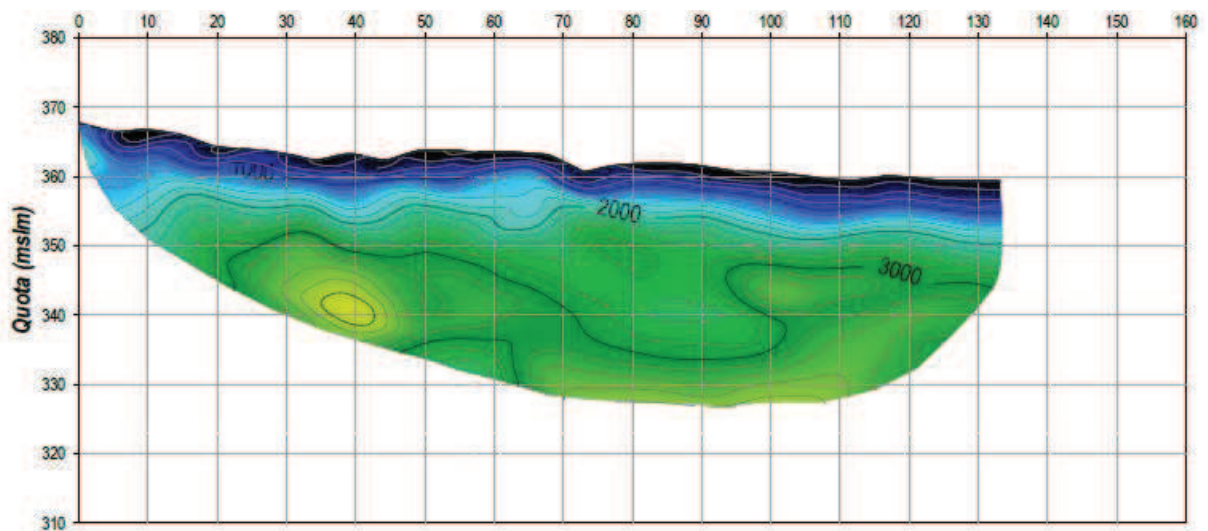


Figura 11 - Sismica a rifrazione – Linea TSD7 – Imbocco Pedescala Nord

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

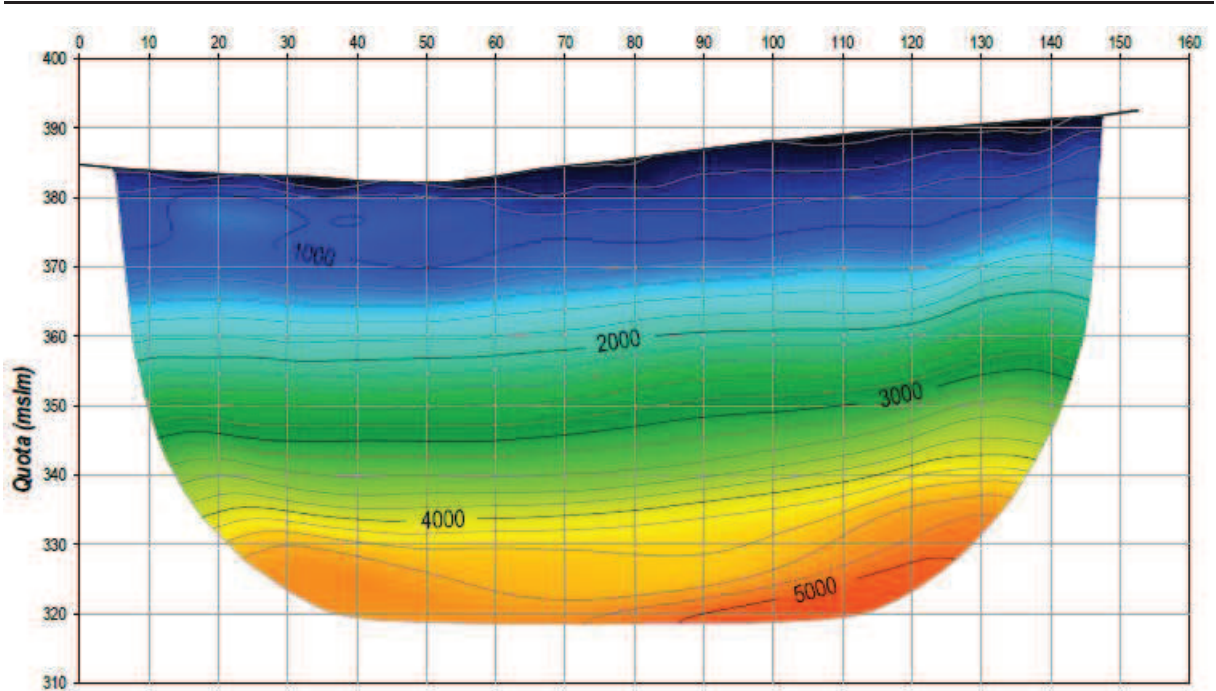


Figura 12 - Sismica a rifrazione – Linea TSD8 – Imbocco San Pietro Sud

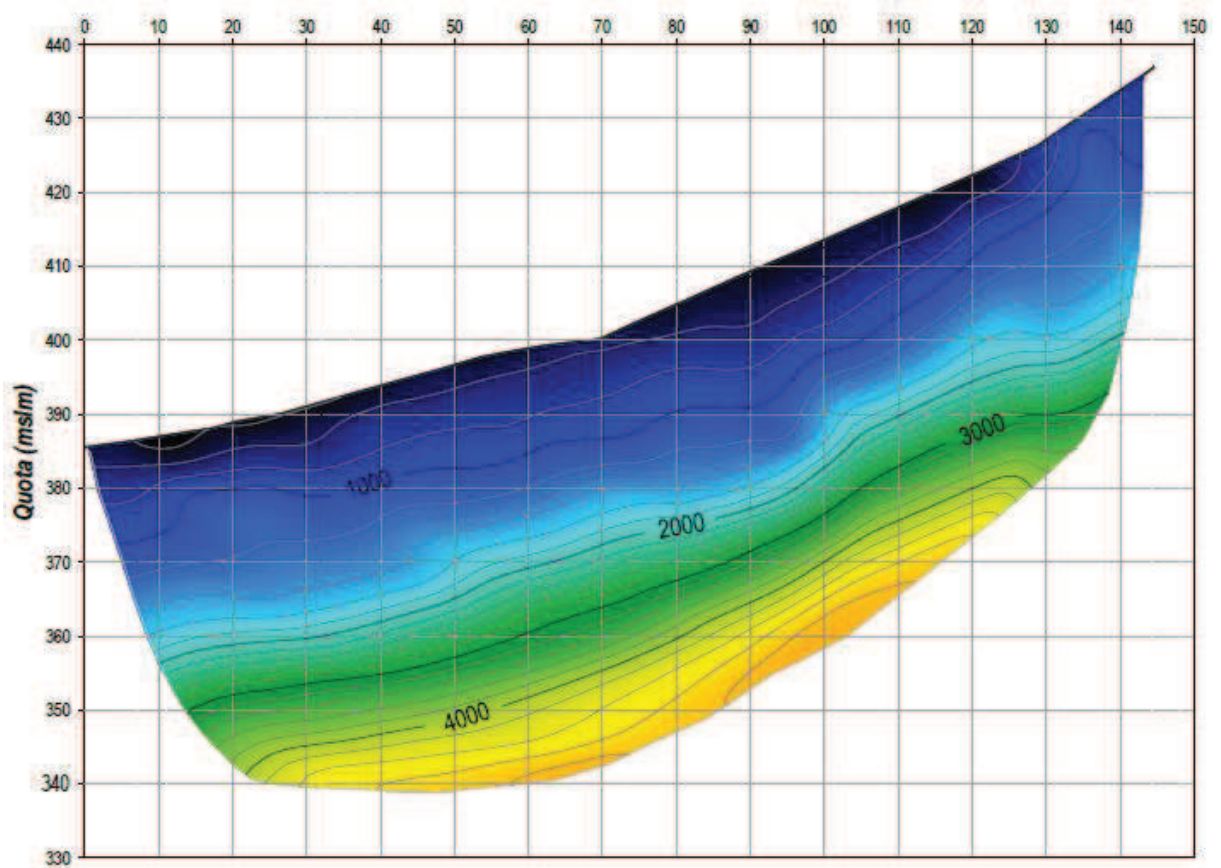


Figura 13 - Sismica a rifrazione – Linea TSD9 – Imbocco San Pietro Sud

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

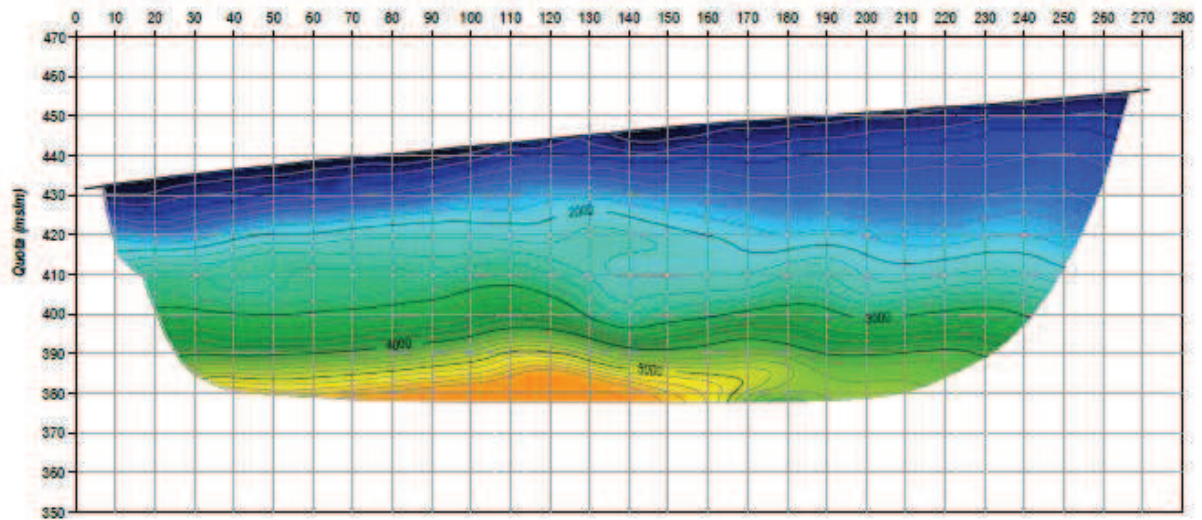


Figura 14 - Sismica a rifrazione – Linea TS11 – Imbocco San Pietro Nord

Nella figura seguente si riporta un confronto tra i valori di modulo elastico ottenibili con le sismiche a rifrazione ed il modulo elastico dalla formula di Berardi e Lancellotta, che sottostima notevolmente E, nonostante si sia assunto cautelativamente $E=1/10 E_0$.

TSD1

Profondità	Vp [m/s]	Vs [m/s]	γ [kN/m ³]	G ₀ [MPa]	ν	E ₀ [MPa]	E [MPa]
0	500	267	23	167	0.3	435	44
5	1000	535	23	670	0.3	1742	174
7	1500	802	23	1507	0.3	3919	392
10	2000	1069	23	2679	0.3	6967	697
20	3000	1604	23	6029	0.3	15675	1567

TSD2

Profondità	Vp [m/s]	Vs [m/s]	γ [kN/m ³]	G ₀ [MPa]	ν	E ₀ [MPa]	E [MPa]
0	500	267	23	167	0.3	435	44
5	1000	535	23	670	0.3	1742	174
12	1500	802	23	1507	0.3	3919	392
20	2000	1069	23	2679	0.3	6967	697
40	2500	1336	23	4187	0.3	10885	1089

TSD2bis

Profondità	Vp [m/s]	Vs [m/s]	γ [kN/m ³]	G ₀ [MPa]	ν	E ₀ [MPa]	E [MPa]
0	500	267	23	167	0.3	435	44
7	1000	535	23	670	0.3	1742	174
14	1500	802	23	1507	0.3	3919	392
20	2000	1069	23	2679	0.3	6967	697
30	2500	1336	23	4187	0.3	10885	1089
40	3000	1604	23	6029	0.3	15675	1567

Berardi e Lancellotta

Profondità	Dr	γ [kN/m ³]	E ₀ [MPa]	E [MPa]
1	1	23	52	5
5	1	23	117	12
10	1	23	165	17
20	1	23	234	23
40	1	23	331	33

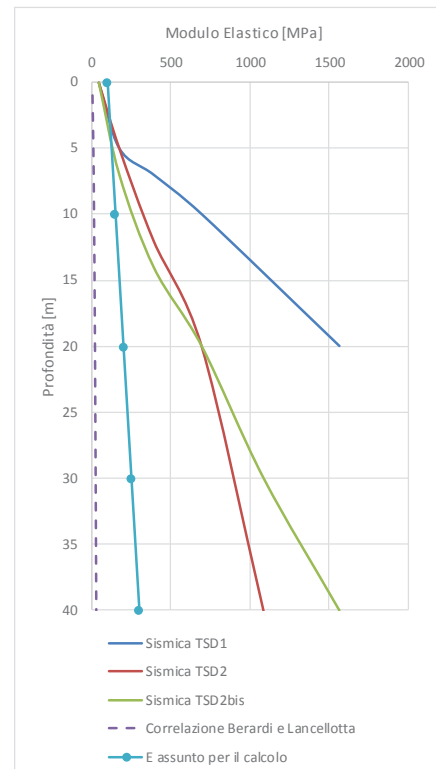


Figura 15 - Comparazione tra i moduli elastici ottenuti da prova sismica e da correlazione di letteratura

Per questo motivo, per i calcoli si assume un modulo elastico che, partendo da 100MPa, cresce inizialmente di 50MPa ogni 10m di profondità per i primi 50m (per cogliere il comportamento del materiale nelle zone di imbocco) e successivamente di 100MPa ogni 10m (per le grandi profondità, dove il materiale tende ad avere grado di cementazione via via crescente).

Come si vede in figura seguente, il modulo elastico di calcolo a 100m di profondità risulta pari a 850MPa, rimanendo inferiore ai 1500MPa che si ottengono da $V_p=3000\text{m/s}$ nella prova TSD2bis nella zona in cui la copertura detritica è massima.

E assunto per il calcolo

Profondità	E [MPa]
0	100
10	150
20	200
30	250
40	300
50	350
60	450
70	550
80	650
90	750
100	850
110	950
120	1050

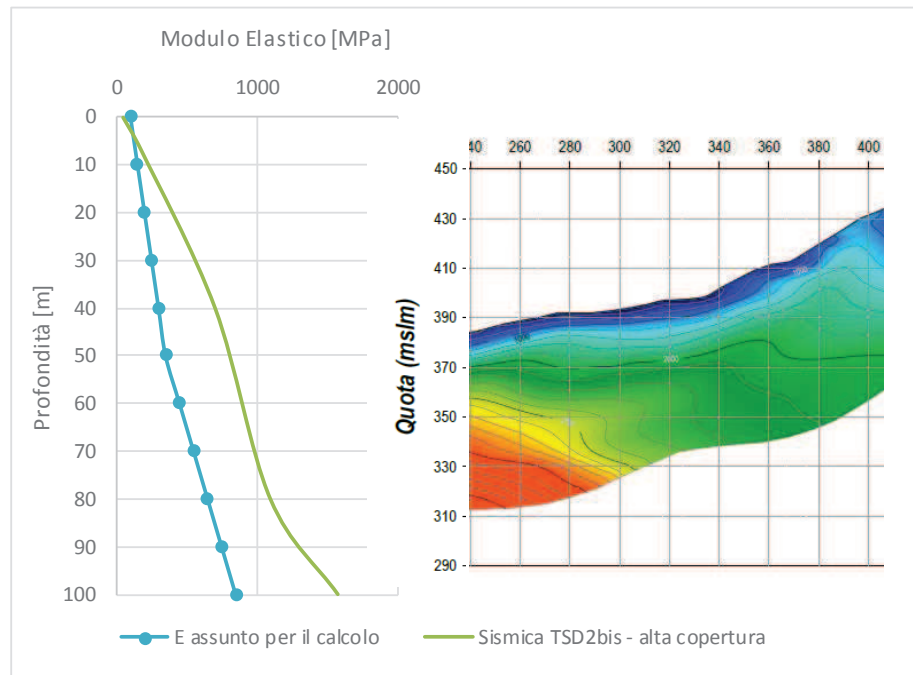


Tabella 16 – Variabilità del modulo

Alla stessa conclusione si arriva analizzando i dati della prova sismica TSD11, realizzati nell’area della frana della Marogna (e i dati della sismica TR07a del progetto preliminare): il modulo elastico ottenuto dall’analisi sismica rimane sempre al di sopra del valore utilizzato per i calcoli e a circa 60m di profondità si ha un significativo incremento di E in corrispondenza del passaggio al substrato roccioso, in accordo a quanto elaborato nella tavola J16L1_07_02_06_023_0101_0PD.

E assunto per il calcolo

Profondità	E [MPa]
0	100
10	150
20	200
30	250
40	300
50	350
60	450
70	550
80	650
90	750
100	850
110	950
120	1050

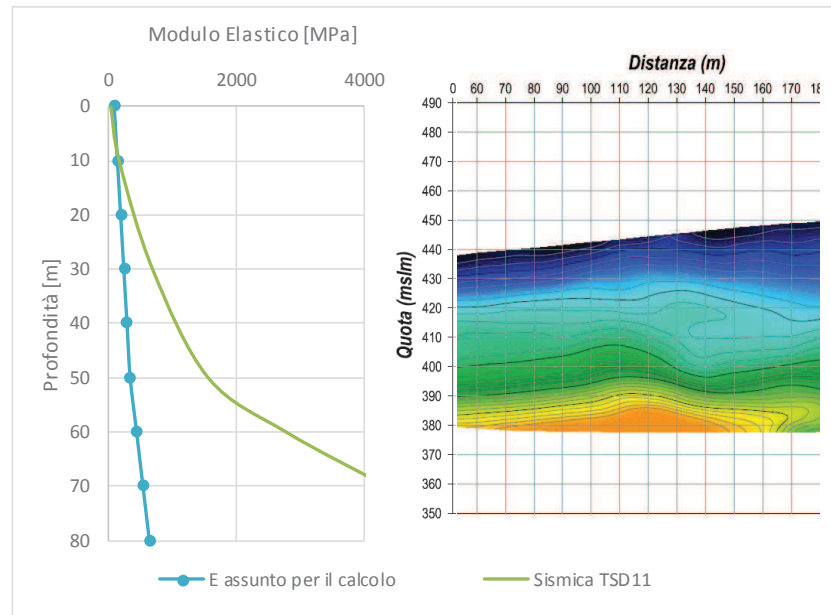


Tabella 17 – Variabilità del modulo elastico nella paleofrana

Considerando gli elevati valori di moduli elastici ottenuti dalle indagini sismiche a grande profondità, derivanti dalle significative velocità $v_p > 3000$ m/sec, si è tenuto conto di un corrispondente livello crescente di cementazione introducendo una coesione di 30kPa in corrispondenza della massima copertura detritica all’imbocco San Pietro Nord (70m) e una coesione di 50kPa in corrispondenza della massima copertura detritica all’imbocco Cogollo Sud (125m).

5.3 FORMAZIONI ROCCIOSE

5.3.1 Generalità

La caratterizzazione geomeccanica delle formazioni rocciose presenti è stata realizzata facendo riferimento alla classificazione dell’ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1989), allo schema concettuale di mezzo continuo (omogeneo o stratificato) e ai criteri di rottura proposti e aggiornati da Hoek & Brown a partire dal 1980.

In particolare:

- 1 - Il parametro **RMR** “Rock Mass Rating” verrà stimato sulla base di quanto descritto nel **paragrafo 5.3.2**; il parametro **GSI** (Geological Strength Index) verrà valutato con la seguente espressione (vedi Sjoberg, 1997):

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

- 2 - L’involuppo delle resistenze dell’ammasso roccioso in condizioni “undisturbed” o “disturbed” verrà valutato sulla base di quanto riportato in Brown & Hoek (1988),

Hoek & Brown (1988), Hoek, Kaiser & Bawden (1995), Hoek et al (2002) (vedi il **paragrafo 5.3.3**).

- 3 Le caratteristiche di deformabilità dell’ammasso roccioso verranno stimate sulla base di quanto riportato nel paragrafo 5.3.4.

5.3.2 Valutazione del parametro RMR d’ammasso secondo Bieniawsky 1989

Per ogni litotipo il parametro RMR’89 viene stimato in accordo a quanto proposto in Bieniawski (1989), ovvero come somma dei seguenti indici:

- Resistenza alla compressione semplice della roccia intatta

Classe	R	σ_c (M P a)	is 50 PLT	Coeff.
Medio alta		> 250	> 10	15
Alta	44-58	110-250	4-10	10-15
Medio - alta	32-43	60 - 110	2-4	6-10
Moderata	12-31	20 - 60	1-2	3-6
Bassa	<12	10-20	<1	2-3
Molto bassa	0	<10		1

- Qualità della roccia RQD

Qualità	%	s (cm)*	Coeff.
Eccellente	90-100	>19	18-20
Buona	75-90	10,9-19	15-18
Discreta	50-75	6-10,5	10-15
Bassa	25-50	3,5-6	6-10
Molto bassa	<25	<3,5	3-6

- Spaziatura delle discontinuità

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

- Condizioni delle discontinuità

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

				Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4		Coeff.
PERSISTENZA	Molto bassa	< 1m (0-10%)							6
	Bassa	1-3m (10-25%)							4
	Media	3-10m (25-50%)							2
	Alta	10-20m (50-100)							1
	Molto alta	> 20 m (100%)							0
x = si estende oltre la parte visibile - r = termina in roccia - d = termina contro un'altra discontinuità									
APERTURA	molto chiusi	nessuna							6
	chiusi	< 0.1 mm							5
	moderat. aperti	0.1 -1.0 mm							4
	aperti	1 - 5 mm							1
	molto aperti	> 5 mm							0
RUGOSITA'	molto rugose	16-18 18-20							6
	rugose	12-14 14-16							5
	legg. rugose	8-10 10-12							3
	piane	4-6 6-8							1
	levigate	0-2 2-4							0
RIEMPIMENTO	Nessuno								6
	compatto < 5mm								5
	Compatto > 5mm								3
	Sciolto < 5mm								1
	sciolto > 5mm								0
ALTERAZIONE	Non alterata								6
	Leggermente alterata								5
	Moderatamente alterata								3
	Altamente alterata								1
	Suolo residuale								0

- Condizioni idriche dell'ammasso

R5 - CONDIZIONI IDRICHE AMMASSO			
Condizioni generali	Venute d'acqua per 10 m di lunghezza (l/min)	σ_w/σ_h	Coeff.
Asciutta	nessuna	0	15
Umida	<10	<0.1	10
Bagnata	10-25	0,1-0,2	7
Stillicidio	25-125	0,2-0,5	4
Venute	>125	>0,5	0

- Correzione per l'orientazione

R6 - CORREZIONE PER L'ORIENTAZIONE				
Immersione		Inclinazione	Coeff.	
parallela all'asse galleria	reggipoggio	45-90		0
		20-45		-2
	franapoggio	45-90		-5
		20-45		-10
perpendicolare all'asse galleria		45-90		-12
		20-45		-5
Qualsiasi		<20		-5

- Determinazione del valore RMR d'ammasso secondo Bieniawsky 1989

RMR - BIENIAWSKI (1989)					
PARAMETRI					COEFF.
Resistenza roccia intatta				R1	
Rock Quality Designation (R.Q.D.)				R2	
Spaziatura discontinuità				R3	
Condizioni delle discontinuità				R4	
Presenza di acqua nella roccia				R5	
Compensazione orientazione				R6	
RMR					

Il valore del parametro RMR ottenuto ci consente di definire la classe d'ammasso secondo Bieniawski (1989).

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

La definizione del GSI sarà definita seconda la seguente correlazione:

$$\text{GSI} = \text{RMR base (secco)} - 5 =$$

Tendenzialmente nella valutazione di RMR'89 (RMR in dry conditions) utilizzato per la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi:

- Non si terrà conto dell'indice che descrive qualitativamente l'orientamento più o meno favorevole delle discontinuità (incluse quelle dovute alla stratificazione) rispetto alle opere da realizzare; ove rilevante/possibile tale aspetto verrà messo in conto nella definizione del modello geometrico da utilizzare nelle analisi di progetto.

- L’indice legato alla presenza dell’acqua verrà assunto pari a quello associabili a condizioni “dry”. Gli effetti della presenza dell’acqua verranno messi in conto nella definizione del modello geotecnico da utilizzare nelle analisi di progetto.

5.3.3 Criteri di rottura

In accordo a quanto riportato in Brown & Hoek (1988), Hoek & Brown (1988) e Hoek, Kaiser & Bawden (1995) (vedi anche Sjoberg, 1997), Hoek et al. (2002) l’ammasso roccioso verrà descritto per ogni litotipo dal seguente criterio di rottura:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^\alpha$$

essendo:

$$m_b = m_i \cdot e^{\frac{GSI-100}{28-14 \cdot D}}$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3 \cdot D}}$$

D = 0 per “undisturbed rock masses”

D = 1 per “disturbed rock masses”

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right)$$

GSI = RMR’89 – 5

RMR’89 = vedi il paragrafo

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta

σ_1' = tensione principale efficace maggiore

σ_3' = tensione principale efficace minore

σ_c = resistenza alla compressione semplice della roccia intatta.

Nell’applicazione del criterio di rottura sopra riportato valgono le seguenti precisazioni:

1. In generale, per ogni litotipo il coefficiente m_i verrà valutato sulla base dei risultati di prove triassiali su provini di roccia intatta e di un criterio di rottura analogo a quello dell’ammasso roccioso, con GSI = 100. In mancanza di dati sperimentali si farà riferimento a quanto riportato ad una serie di valori di letteratura come riferimento, riportati nella tabella seguente.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates* (21 ± 3)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias (19 ± 5)		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
Organic					Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Homfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6		
	Foliated**		Gneiss 28 ± 5	Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3	Diorite 25 ± 5	Granodiorite (29 ± 3)	
		Dark	Gabbro 27 ± 3	Dolerite (16 ± 5)	Norte 20 ± 5	
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

* Conglomerates and breccias may present a wide range of m_i values depending on the nature of the cementing material and the degree of cementation, so they may range from values similar to sandstone to values used for fine grained sediments.

** These values are for intact rock specimens tested normal to bedding or foliation. The value of m_i will be significantly different if failure occurs along a weakness plane.

Tabella: Valori di riferimento della costante m_i della roccia intatta in base al tipo di roccia (i valori indicati tra parentesi sono stimati) (Hoek, Kaiser e Bawden, 1995)

2. L'applicazione di criteri di rottura analoghi per la roccia intatta e per l'ammasso roccioso, ove l'unica differenza è rappresentata dai valori di GSI, implica che, per $m_i = 10$, il rapporto tra la resistenza a trazione e la resistenza a compressione semplice della roccia intatta, è pari a $\cong 1/m_i$.
3. In presenza di ammassi rocciosi caratterizzati da marcata eterogeneità, ovvero da alternanza di strati competenti e di strati con caratteristiche geotecniche più scadenti, il valore di GSI valutato sulla base di RMR_{89} verrà messo a confronto anche con quello stimabile sulla base della carta proposta da Hoek et al. (1998) e da Marinos & Hoek (2000) per formazioni flyshoidi.

Alla resistenza alla compressione semplice σ_c ed al coefficiente m_i della roccia intatta verranno inoltre assegnati valori "pesati" in base a quanto sotto riportato:

Tipo di ammasso	Criterio di valutazione di σ_c e di m_i
A e B	Valori relativi al litotipo più competente
C	Valori del litotipo più competente ridotti del 20% e pieni valori del litotipo di caratteristiche più scadenti
D e E	Valori del litotipo più competente ridotti del 40% e pieni valori del litotipo di caratteristiche più scadenti
F	Valori del litotipo più competente ridotti del 60% e pieni valori del litotipo di caratteristiche più scadenti
G	Valori del litotipo di caratteristiche più scadenti
H	Valori del litotipo di caratteristiche più scadenti

Ammassi rocciosi eterogenei – Criteri di valutazione di σ_c e di m_i (Hoek et al., 1998; Marinos & Hoek, 2000)

4. In accordo a Sjoberg (1997), ai termini "undisturbed" e "disturbed" verrà attribuito un significato legato anche alle modalità di utilizzo dei parametri di resistenza nelle analisi ingegneristiche; in particolare:
 - Il criterio di rottura relativo alle "undisturbed rock masses" rappresenta la resistenza di picco dell'ammasso roccioso quando esso si trova in condizioni di pre-rottura.
 - Il criterio di rottura relativo alle "disturbed rock masses" rappresenta la resistenza media disponibile lungo superfici di scivolamento critiche in condizioni di incipiente rottura; ricorrendo a terminologie proprie della meccanica dei terreni tale resistenza può essere denominata "softened".

Sotto tali presupposti, nei casi rappresentati da situazioni non caratterizzate da dissesti progressivi o in atto, si opererà come segue:

- In analisi di stabilità o di interazione terreno-struttura eseguite con metodi ove non è possibile riprodurre il comportamento “strain softening” si farà riferimento ai parametri dell’ammasso relativi alle condizioni “disturbed”;
 - In analisi di stabilità o di interazione terreno-struttura condotte con metodi in grado di riprodurre la caduta di resistenza tra condizioni di picco e condizioni “softened” verranno presi come riferimento sia il criterio di rottura relativo alle condizioni “undisturbed” che quello relativo alle condizioni “disturbed”. Verranno inoltre ipotizzate diverse leggi di degrado dei parametri di resistenza, fra cui quella che contempla una repentina caduta di resistenza dalle condizioni di picco a quelle “softened”.
5. I criteri di rottura espressi in termini di tensioni efficaci principali σ_1' e σ_3' possono essere trasformati in termini di tensioni di taglio τ e di tensioni efficaci normali alla superficie di rottura σ_n' . A tale proposito valgono le seguenti equazioni:

$$\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'} = 1 + \alpha \cdot m_b \cdot \left(\frac{m_b \cdot \sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^{\alpha-1}$$

$$\sigma_n' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} - \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} \cdot \frac{\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'} - 1}{\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'} + 1}$$

$$\tau = (\sigma_1' - \sigma_3') \cdot \frac{\sqrt{\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'}}}{\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'} + 1}$$

6. L’involuppo di rottura in termini di tensioni di taglio τ e di tensioni efficaci normali alla superficie di rottura σ_n' verrà interrotto per valori di σ_n' negativi (trazione) inferiori a 0 kPa; in corrispondenza di valori di σ_n' negativi (trazione) le resistenze al taglio saranno assunte pari a 0 kPa (“tension cut off”).

5.3.4 Caratteristiche di deformabilità

I moduli iniziali di taglio (G_{o1}) e di Young (E_{o1}) iniziali, corrispondenti alle pressioni efficaci geostatiche medie p_o' , possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_{o1} = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_{o1} = G_{o1} \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

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/sec.

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ricavata direttamente dalle prove geofisiche down hole.

I moduli iniziali di taglio (G_o) e di Young (E_o) iniziali, corrispondenti alle pressioni efficaci medie generiche p' , possono essere ricavati dalle seguenti espressioni:

$$G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o'} \right)^{0.3} \quad (\text{kPa})$$

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu') \quad (\text{kPa})$$

I moduli di Young “operativi” E_{op} dell’ammasso roccioso, utilizzabili in analisi con modelli costitutivi elastico-lineari o elastico-lineari-plastici, possono essere stimati sulla base delle seguenti espressioni (Bieniawski, 1978; Serafim & Pereira, 1983; Hoek et al., 2002):

$$E_{op} = 2000 \cdot GSI - 100000 \quad \text{per } GSI > 55$$

$$E_{op} = 1000 \cdot \left(1 - \frac{D}{2} \right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{(GSI-10)/40} \quad \text{per } 10 < GSI < 55 \text{ e per } \sigma_c < 100 \text{ MPa.}$$

essendo:

D = coefficiente di disturbo, variabile tra 0 e 1.

Ove non diversamente specificato, dal lato della sicurezza, nel caso dei fronti di scavo (sostenuti e non) e di fondazioni dirette verranno adottati i seguenti valori di D:

Fondazioni dirette, rilevati, fronti di scavo non sostenuti o sostenuti in modo passivo $\Rightarrow D = 1$;

Fondazioni a pozzo e fronti di scavo sostenuti in modo attivo $\Rightarrow D = 0.5$.

I moduli valutati con le espressioni sopra indicate si intenderanno riferiti alle tensioni efficaci geostatiche; quelli relativi alle tensioni efficaci correnti verranno scalati utilizzando le stesse espressioni indicate per i moduli iniziali.

6 CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA

Sulla base dei dati raccolti, scaturiti dai rilievi strutturali, dalle colonne stratigrafiche ricavate dai sondaggi è stato possibile effettuare una suddivisione dell’ammasso roccioso in 6 differenti gruppi geomeccanici (gruppi 1A, 1B, 2A, 2B, 3A e 3B).

I principali fattori considerati per l’individuazione di tali gruppi sono:

- Criteri litologici (composizione mineralogica e petrografica, grado di alterazione, eventuale presenza di acqua)
- Criteri strutturali (caratteristiche delle strutture di separazione, indice RDQ, intensità della foliazione, intensità della tettonizzazione come ad esempio la presenza di struttura a pieghe fino alla microscala,
- Criteri litomeccanici (con riferimento ad una prima valutazione delle proprietà fisiche, di resistenza e deformabilità).

6.1 Gruppi geomeccanici

L’analisi di dettaglio delle carote dei sondaggi eseguiti in dolomia, S9D, S10D, S11D, ha consentito di discretizzare tratte con caratteristiche di fratturazione omogenea e, conseguentemente valori di RMR e di GSI omogenei.

Di seguito si riporta il dettaglio dell’analisi dei tre sondaggi, eseguita tratta per tratta.

SONDAGGIO S9D

SONDAGGIO S9D		2B		3A		1A		3A		1A		3A			
DOLOMIA		DOLOMIA		DOLOMIA		DOLOMIA		DOLOMIA		DOLOMIA		DOLOMIA			
Profondità	da m	a m	Profondità	da m	a m	Profondità	da m	a m	Profondità	da m	a m	Profondità	da m	a m	
	6,70	10,40		10,40	12,70		12,70	17,30		17,30	19,50		19,50	20,30	
RESISTEN	57 MPa	R1	6	67 MPa	R1	7	47 MPa	R1	5,5	67 MPa	R1	7	47 MPa	R1	5,5
RQD * %	23	R2	6	85	R2	16,5	7	R2	4	83	R2	16	3	R2	3,5
SPAZIATI	20-60 cm	R3	8	0,6-1,8 m	R3	12	8-20 cm	R3	6	0,6-1,8 m	R3	12	8-20 cm	R3	6
DISCONTINUITA'	R4	5	asciutto	R4	18	asciutto	R4	8	asciutto	R4	18	asciutto	R4	8	
ACQUA *	asciutto	R5	15	asciutto	R5	15	asciutto	R5	15	asciutto	R5	15	asciutto	R5	15
RMR BASE=		40		68,5		38,5		68		38		68		38	
GSI		35		63,5		33,5		63		33		63		33	
Profondità	da m	a m	Profondità	da m	a m	Profondità	da m	a m	Profondità	da m	a m	Profondità	da m	a m	
	20,30	23,30		23,30	27,00		27,00	31,50		31,50	32,00		32,00	40,00	
67 MPa	R1	7	47 MPa	R1	5,5	67 MPa	R1	7	47 MPa	R1	5,5	67 MPa	R1	7	
70	R2	14	9	R2	4	77	R2	15	5	R2	3,5	81	R2	16	
0,6-1,8 m	R3	12	8-20 cm	R3	6	0,6-1,8 m	R3	12	8-20 cm	R3	6	0,6-1,8 m	R3	12	
asciutto	R4	13	asciutto	R4	8	asciutto	R4	18	asciutto	R4	5	asciutto	R4	18	
	R5	15	asciutto	R5	15	asciutto	R5	15	asciutto	R5	15	asciutto	R5	15	
		61		38,5		67		35		68		68		68	
		56		33,5		62		30		63		63		63	

L’analisi eseguita sui sondaggi combinata ai dati ottenuti dai rilievi strutturali, ha consentito di definire i seguenti 6 gruppi geomeccanici:

	GSI	
	Gruppo geomeccanico 1A	55
Gruppo geomeccanico 1B	45	55
Gruppo geomeccanico 2A	40	45
Gruppo geomeccanico 2B	35	40
Gruppo geomeccanico 3A	25	35
Gruppo geomeccanico 3B	<25	

Per il dettaglio dei rilievi geostrutturali si farà riferimento all’elaborato J16L1_03_05_01_003_0101_OPD_00, che descrive e riporta tutti i dati del rilievo, la posizione e la documentazione fotografica.

Rilievi geostrutturali eseguiti

			GSI	GRUPPO
RG01	Dolomia	50-75	56,5	1A
RG02	Dolomia	75-90	64	1A
RG03	Dolomia	50-75	49	1B
RG04	Dolomia	75-90	68	1A
RG05	Vulcaniti	50-75	56	1A
RG06	Dolomia	50-75	59,5	1A

Gruppo geomeccanico 1A

L’ammasso (in dolomia principale o vulcaniti) presenta buone proprietà geomeccaniche. L’RQD è mediamente maggiore del 60-75%; si individuano chiaramente la superficie di strato regolarmente spaziata ed almeno due differenti sistemi di discontinuità principali. Le superfici dei giunti sono prive di alterazione.

Documentazione fotografica del tratto di sondaggio S10D rappresentativo del gruppo geomeccanico 1A.



Gruppo geomeccanico 1B

L’ammasso (in dolomia principale o vulcaniti) presenta da buone a medie proprietà geomeccaniche. L’RQD è mediamente maggiore del 50-60%; si individua sempre la superficie di strato regolarmente spaziata. Le superfici dei giunti sono in genere prive di alterazione.

Documentazione fotografica del tratto di sondaggio S10D rappresentativo del gruppo geomeccanico 1B.



Gruppo geomeccanico 2A

L’ammasso (in dolomia principale o vulcaniti) mostra discrete proprietà geomeccaniche. L’RQD presenta valori medi di 30-40%; la superficie di strato ed i sistemi di discontinuità sono fratturati, mediamente alterati.

Documentazione fotografica del tratto di sondaggio S10D rappresentativo del gruppo geomeccanico 2A.



Gruppo geomeccanico 2B

L’ammasso (in dolomia principale o vulcaniti) mostra da discrete a scadenti proprietà geomeccaniche. L’RQD presenta valori medi di 10-25%; la superficie di strato ed i sistemi di discontinuità sono molto fratturati e alterati.

Documentazione fotografica del tratto di sondaggio S9D rappresentativo del gruppo geomeccanico 2B.



Gruppo geomeccanico 3A

L’ammasso (in dolomia principale o vulcaniti) mostra scadenti proprietà geomeccaniche. L’RQD presenta valori medi di 5-10%; la superficie di strato ed i sistemi di discontinuità sono intensamente fratturati e alterati.

L’ammasso (in dolomia principale o vulcaniti) che ricade in questo gruppo appartiene a zone particolarmente fratturate e/o tettonizzate o alterate e mostra proprietà geomeccaniche da scadenti a molto scadenti.

Documentazione fotografica del tratto di sondaggio S9D rappresentativo del gruppo geomeccanico 3A.



Gruppo geomeccanico 3B

L'ammasso (in dolomia principale o vulcaniti) mostra da scadenti a pessime proprietà geomeccaniche. L'RQD presenta valori dello 0%; la superficie di strato ed i sistemi di discontinuità sono intensamente fratturati e alterati.

I materiali che ricadono in questo gruppo geomeccanico appartengono a zone particolarmente fratturate e/o tettonizzate o alterate, sono caratterizzati da proprietà geomeccaniche da scadenti a molto scadenti e assimilabili ad un detrito.

Documentazione fotografica del tratto di sondaggio S8D rappresentativo del gruppo geomeccanico 3B.



In sintesi:

- Il Gruppo 3A e 3B possono essere considerati rappresentativi del comportamento dell’ammasso roccioso delle zone a bassa copertura o in corrispondenza di importanti strutture geologiche (es. faglie, nuclei di pieghe, sovrascorrimenti, ecc.), e, nel caso del gruppo 3B, come specificato, i terreni possono essere assimilati ad un detrito
- i Gruppi 1A ed 1B, al contrario, possono essere considerati rappresentativi delle condizioni migliori d’ammasso roccioso
- infine i Gruppi 2A e 2B possono essere considerati rappresentativi delle caratteristiche medie dell’ammasso roccioso.

6.2 Caratterizzazione geomeccanica dei gruppi geomeccanici

6.2.1 Caratteristiche della matrice

Per l’interpretazione delle prove geomeccaniche di laboratorio si è fatto riferimento al criterio non lineare di Hoek e Brown. La legge di resistenza di Hoek e Brown è curvilinea ed è caratterizzata da elevati valori di angolo di attrito istantaneo ai bassi livelli di confinamento, in accordo con le osservazioni sperimentali sui materiali rocciosi e sul comportamento degli scavi in roccia. La resistenza di picco del materiale roccioso viene definita dall’equazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m_i \sigma_{ci} \sigma_3 + \sigma_{ci}^2)^{0.5} \quad [1]$$

dove σ_1 e σ_3 sono rispettivamente le tensioni principali massima e minima.

Il parametro σ_{ci} rappresenta la resistenza a compressione monoassiale del materiale roccioso intatto, mentre il parametro m_i è un parametro di resistenza del materiale intatto; entrambi i parametri sono direttamente determinabili attraverso l’interpretazione di prove di laboratorio. Disponendo infatti dei risultati di una di prove meccaniche di laboratorio, ovvero di n coppie di valori σ_1 e σ_3 , si può scrivere un equivalente numero di equazioni [1] e ricavare, attraverso un’analisi di regressione, le due incognite m_i e σ_{ci} .

Nel successivo paragrafo si riportano in sintesi i valori ottenuti per la litologia principale, dolomia e per la litologia secondaria, vulcaniti.

6.2.2 Calcolo del GSI (Geological Strength Index)

La classificazione della roccia può essere fatta considerando l’ammasso roccioso nella sua globalità, senza distinzione di matrice e discontinuità, usando il metodo degli indici di qualità.

Dei diversi metodi di classificazione presenti in letteratura, per il presente lavoro è stato scelto il concetto di GSI (Geological Strength Index) proposto da Hoek (1991).

Il parametro GSI quantifica lo stato strutturale di un ammasso roccioso e viene stimato utilizzando direttamente i ratings della classificazione di Bieniawski o, alternativamente, i parametri del Q-system di Barton. Esistono inoltre anche dei metodi speditivi proposti da Hoek per la stima del GSI mediante degli abachi e tenendo conto della natura litologica, strutturale e tessiturale dell’ammasso roccioso in esame.

La formula impiegata per ricavare il GSI scalando i valori di RMR è:

$$GSI = RMR89 - 5$$

Nel caso in esame, sulla base dell’esame di tutti i dati disponibili direttamente ottenuti nel corso delle indagini pregresse ed attuali, si è potuto assegnare i seguenti valori di GSI per i sei gruppi geomeccanici individuati:

	GSI	
Gruppo geomeccanico 1A	55	65
Gruppo geomeccanico 1B	45	55
Gruppo geomeccanico 2A	40	45
Gruppo geomeccanico 2B	35	40
Gruppo geomeccanico 3A	25	35
Gruppo geomeccanico 3B	<25	

6.2.3 Sintesi dei parametri geomeccanici

Per la determinazione dei parametri di resistenza d’ammasso è stato seguito un criterio di confronto e incrocio dei valori ottenuti, secondo le seguenti procedure:

- determinazione per via sperimentale delle curve di resistenza intrinseca dei materiali rocciosi, attraverso l’interpretazione delle prove geomeccaniche di laboratorio; tutti i valori delle prove di laboratorio, resistenza a compressione monoassiale, resistenza a trazione indiretta, prove triassiali, sono stati utilizzati per la determinazione dei due parametri relativi alla roccia intatta m_i e σ_c , mediante l’utilizzo del software *RocLab* utilizzando la funzione Lab Data (Rocscience)
- determinazione delle caratteristiche strutturali dell’ammasso roccioso attraverso il calcolo dell’indice GSI (Geological Strength Index), come descritto al precedente paragrafo;
- declassamento delle caratteristiche della matrice attraverso l’indice GSI e determinazione dei parametri d’ammasso.

L’elaborazione è stata eseguita mediante il software “Roclab”, versione 1.031 di Rocscience.

Come dati di input sono stati utilizzati i parametri m_i , σ_c , (rappresentativi caratteristici della roccia intatta) e *GSI* (rappresentativo delle caratteristiche d’ammasso).

Dati caratteristici della roccia intatta ottenuta con RocLab per la Dolomia

Calculate mi, sigci from Lab Data
☰

Lab Data

Number of Tests:

#	sig3 (MPa)	sig1 (MPa)
1	0	52.35
2	0	49.85
3	0	68.06
4	0	113.97
5	0	96.19
6	0	85.45
7	0	92.57
8	0	66.62
9	0	36.54
10	0	82.45
11	0	64.35
12	0	19.53
13	0	18.27
14	5	90.91
15	10	122.85

Copy
 Paste
Import...

* Copy data from your spreadsheet, and then press Paste to have it entered in the grid
 * Use Import to read data from a RocData file or a (comma or tab delimited) text file

mi: sigci: MPa

Plot Mogi's Line Residuals:

Apply
OK
Cancel

Dati caratteristici della roccia intatta ottenuta con RocLab per le Vulcaniti

Calculate mi, sigci from Lab Data
✖

Lab Data

Number of Tests:

#	sig3 (MPa)	sig1 (MPa)
1	0	28.8
2	0	73
3	0	75.3
4	5	109.8
5	10	104.8
6	13	171.9
7	5	51.9
8	10	117.2
9	16	133.9
10	10	121.5
11	13	113.4
12	16	191.3
13	13	195.6
14	16	102.2
15	10	200.2

Copy
 Paste
Import...

* Copy data from your spreadsheet, and then press Paste to have it entered in the grid
 * Use Import to read data from a RocData file or a (comma or tab delimited) text file

mi: sigci: MPa

Plot Mogi's Line Residuals:

Apply
OK
Cancel

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Di seguito si riporta la sintesi dei valori ottenuti mediante l'elaborazione con il criterio di Hoek & Brown

DOLOMIA

GRUPPO 1A

parametri roccia intatta				Hoek-Brown criterion			E dformabilità	Copertura 0-50m		Copertura 50-250m		Copertura 250-500m		Copertura 500-750m		Copertura 750-1000m	
σ_{ci} [MPa]	m_i	E_i [MPa]	GSI	mb	s	a	E_{rm} [MPa]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]
88,814	13,542	50000	65	3,880	0,0205	0,502	31000	1,5	63	1,9	55	2,7	49	3,4	46	4,1	43
88,814	13,542	50000	55	2,715	0,0067	0,504	20000	0,8	63	1,3	53	2,1	47	2,7	43	3,3	41

GRUPPO 1B

parametri roccia intatta				Hoek-Brown criterion			E dformabilità	Copertura 0-50m		Copertura 50-250m		Copertura 250-500m		Copertura 500-750m		Copertura 750-1000m	
σ_{ci} [MPa]	m_i	E_i [MPa]	GSI	mb	s	a	E_{rm} [MPa]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]
88,814	13,542	50000	55	2,715	0,0067	0,504	20000	0,8	63	1,3	53	2,1	47	2,7	43	3,3	41
88,814	13,542	50000	45	1,899	0,0022	0,508	11100	0,5	61	1,0	51	1,7	44	2,3	40	2,8	38

GRUPPO 2A

parametri roccia intatta				Hoek-Brown criterion			E dformabilità	Copertura 0-50m		Copertura 50-250m		Copertura 250-500m		Copertura 500-750m		Copertura 750-1000m	
σ_{ci} [MPa]	m_i	E_i [MPa]	GSI	mb	s	a	E_{rm} [MPa]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]
88,814	13,542	50000	45	1,899	0,0022	0,508	11100	0,5	61	1,0	51	1,7	44	2,3	40	2,8	38
88,814	13,542	50000	40	1,589	0,0012	0,511	8000	0,4	61	0,9	50	1,5	43	2,1	39	2,6	36

GRUPPO 2B

parametri roccia intatta				Hoek-Brown criterion			E dformabilità	Copertura 0-50m		Copertura 50-250m		Copertura 250-500m		Copertura 500-750m		Copertura 750-1000m	
σ_{ci} [MPa]	m_i	E_i [MPa]	GSI	mb	s	a	E_{rm} [MPa]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]
88,814	13,542	50000	40	1,589	0,0012	0,511	8000	0,4	61	0,9	50	1,5	43	2,1	39	2,6	36
88,814	13,542	50000	35	1,329	0,0007	0,516	5600	0,3	59	0,8	48	1,4	41	1,9	37	2,3	34

GRUPPO 3A

parametri roccia intatta				Hoek-Brown criterion			E dformabilità	Copertura 0-50m		Copertura 50-250m		Copertura 250-500m		Copertura 500-750m		Copertura 750-1000m	
σ_{ci} [MPa]	m_i	E_i [MPa]	GSI	mb	s	a	E_{rm} [MPa]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]
88,814	13,542	50000	35	1,329	0,0007	0,516	5600	0,3	59	0,8	48	1,4	41	1,9	37	2,3	34
88,814	13,542	50000	25	0,930	0,0002	0,531	3000	0,2	56	0,6	44	1,1	38	1,5	34	1,9	31

GRUPPO 3B (G. S. Pietro)

parametri roccia intatta				Hoek-Brown criterion			E dformabilità	Copertura 50-250m	
σ_{ci} [MPa]	m_i	E_i [MPa]	GSI	mb	s	a	E_{rm} [MPa]	c' [MPa]	ϕ [°]
88,814	13,542	50000	25	0,930	0,0002	0,531	3000	0,6	44
88,814	13,542	50000	15	0,650	0,0001	0,561	1800	0,4	39

VULCANITI

GRUPPO 1A

parametri roccia intatta				Hoek-Brown criterion			E dformabilità	Copertura 0-50m		Copertura 50-250m		Copertura 250-500m		Copertura 500-750m		Copertura 750-1000m	
σ_{ci} [MPa]	m_i	E_i [MPa]	GSI	mb	s	a	E_{rm} [MPa]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]
73,184	8,821	32500	65	2,527	0,0205	0,502	20500	1,5	58	1,8	50	2,4	44	2,9	41	3,4	38
73,184	8,821	32500	55	1,768	0,0067	0,504	13000	0,8	58	1,2	48	1,8	42	2,3	38	2,8	35

GRUPPO 1B

parametri roccia intatta				Hoek-Brown criterion			E dformabilità	Copertura 0-50m		Copertura 50-250m		Copertura 250-500m		Copertura 500-750m		Copertura 750-1000m	
σ_{ci} [MPa]	m_i	E_i [MPa]	GSI	mb	s	a	E_{rm} [MPa]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]
73,184	8,821	32500	55	1,768	0,0067	0,504	13000	0,8	58	1,2	48	1,8	42	2,3	38	2,8	35
73,184	8,821	32500	45	1,237	0,0022	0,508	7000	0,5	57	0,9	46	1,4	39	1,9	35	2,3	32

GRUPPO 2A

parametri roccia intatta				Hoek-Brown criterion			E dformabilità	Copertura 0-50m		Copertura 50-250m		Copertura 250-500m		Copertura 500-750m		Copertura 750-1000m	
σ_{ci} [MPa]	m_i	E_i [MPa]	GSI	mb	s	a	E_{rm} [MPa]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]
73,184	8,821	32500	45	1,237	0,0022	0,508	7000	0,5	57	0,9	46	1,4	39	1,9	35	2,3	32
73,184	8,821	32500	40	1,035	0,0013	0,511	5000	0,4	56	0,7	44	1,2	37	1,7	34	2,1	31

GRUPPO 2B

parametri roccia intatta				Hoek-Brown criterion			E dformabilità	Copertura 0-50m		Copertura 50-250m		Copertura 250-500m		Copertura 500-750m		Copertura 750-1000m	
σ_{ci} [MPa]	m_i	E_i [MPa]	GSI	mb	s	a	E_{rm} [MPa]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]
73,184	8,821	32500	40	1,035	0,0013	0,511	5000	0,4	56	0,7	44	1,2	37	1,7	34	2,1	31
73,184	8,821	32500	35	0,866	0,0007	0,516	3500	0,3	55	0,7	43	1,1	36	1,5	32	1,9	29

GRUPPO 3A

parametri roccia intatta				Hoek-Brown criterion			E dformabilità	Copertura 0-50m		Copertura 50-250m		Copertura 250-500m		Copertura 500-750m		Copertura 750-1000m	
σ_{ci} [MPa]	m_i	E_i [MPa]	GSI	mb	s	a	E_{rm} [MPa]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]	c' [MPa]	ϕ [°]
73,184	8,821	32500	35	0,866	0,0007	0,516	3500	0,3	55	0,7	43	1,1	36	1,5	32	1,9	29
73,184	8,821	32500	25	0,606	0,0002	0,531	2000	0,2	52	0,5	39	0,9	32	1,2	29	1,5	26

Per i dati di input della roccia intatta è stato utilizzato il valore rappresentativo (k) tra la “popolazione” di valori ottenuti analizzando le prove di laboratorio.

Per i dati di output si riportano sia i parametri ottenuti secondo il criterio di Hoek & Brown sia i valori ottenuti secondo Mohr-Coulomb alle differenti coperture previste lungo il tracciato delle gallerie.

Il criterio di Hoek e Brown è curvilineo ed è espresso in funzione degli sforzi principali σ_1 e σ_3 .

Per passare al criterio di rottura di Mohr – Coulomb, nel piano τ / σ , nel quale la resistenza dell’ammasso è espressa in termini di coesione c' ed angolo di resistenza al taglio ϕ' , occorre seguire una procedura di linearizzazione del criterio curvilineo mediante un principio di equivalenza espresso dalle seguenti formule (indicate dagli stessi Autori):

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

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

La valutazione del modulo di deformabilità è stata eseguita utilizzando i dati ottenuti dalle prove triassiali eseguite in laboratorio sui provini di roccia ottenuti dai sondaggi; il valore rappresentativo (k) di E_i sul provino di roccia intatta è stato utilizzato come dato di input nelle elaborazioni mediante il software “Roclab”, versione 1.031 di Rocscience,.

I valori ottenuti dalle n. 9 prove dilatometriche eseguite in foro di sondaggio (2 prove per le vulcaniti e 7 prove per la dolomia) sono confrontabili con i valori ottenuti dalle elaborazioni Roclab relativi ai gruppi geomeccanici 2B e 3A.

	Dilatometrica	Edef	E young	
Sondaggio	Prof. Prova (m)	Edef (MPa)	E young (MPa)	Litologia di prova
S8D	43	5941	9816	piroclastite riolitica
	53	2975	6588	piroclastite riolitica
S9D	32,6	930	3085	dolomia
	38,5	1977	3716	dolomia
S14D	138,5	1609	4840	dolomia
	142,5	1999	3930	dolomia
	146,5	4111	5503	dolomia
	150,5	1020	1878	dolomia
	159,5	4966	13035	dolomia

6.2.4 Sintesi dei parametri geomeccanici degli ammassi rocciosi nel tratto da pk 15+000 a pk 16+000 circa della Galleria San Pietro

Per la tratta da pk 15+000 a pk 16+000 circa, come indicato nei profili geomeccanici, si segnala la prevalente presenza di un ammasso da molto fratturato a cataclasato, individuato dalle indagini sismiche (TSD10bis e ter) e dal sondaggio S14D. Considerato il particolare contesto evidenziato dalle indagini sopra citate, si è ritenuto opportuno descrivere, nella Relazione Geologica ed anche al paragrafo 4.2.5 della presente Relazione, le risultanze delle indagini stesse e le modalità con cui esse sono state interpretate al fine di pervenire alla caratterizzazione geologica degli ammassi ed alla ricostruzione dei profili geologici e geomeccanici di Progetto.

Riassumendo quanto illustrato nei paragrafi sopra citati, per il tratto in esame sono state distinte sostanzialmente tre tipologie di ammassi, come illustrato nella seguente tabella:

TIPOLOGIA DI AMMASSO	DESCRIZIONE	PROFONDITA' INDIVIDUATE NEL SONDRAGGIO SD14	Vp NELLA SISMICA A RIFRAZIONE TSD10bis E tris
1) Ammasso detritico	Ammasso caratterizzato da ciottoli eterometrici e ghiaia a spigoli vivi, in matrice limoso sabbiosa, con evidenze di alterazione di colore bruno-marrone	0 - 25m	< 3000 m/s
2) Ammasso con grado di fratturazione molto elevato, a tratti cataclasato	Ammasso con grado di fratturazione molto elevato, con RQD nelle cassette sostanzialmente nullo. Considerando però il disturbo indotto dal carotiere per cui per l'ammasso roccioso in posto, è lecito attendersi caratteristiche di RQD migliori (comunque comprese nel range 0-25%)	25 – 150m	3000 m/s <Vp <4000 m/s
3) Substrato lapideo con grado di fratturazione da medio a medio-elevato	Rientrano in tale categoria i materiali che, in base al sondaggio S14D, sono risultati (tenendo in conto il disturbo indotto dal carotiere) meno tettonizzati, con grado di fratturazione da medio a medio-elevato.	150 – 160m	Vp >4000 m/s

Per comodità di lettura si riporta di seguito in figura 6.1 un estratto dei profili geologici di progetto, ove sono rappresentate le tre tipologie di ammasso sopra descritte e la loro estensione lungo il tracciato.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

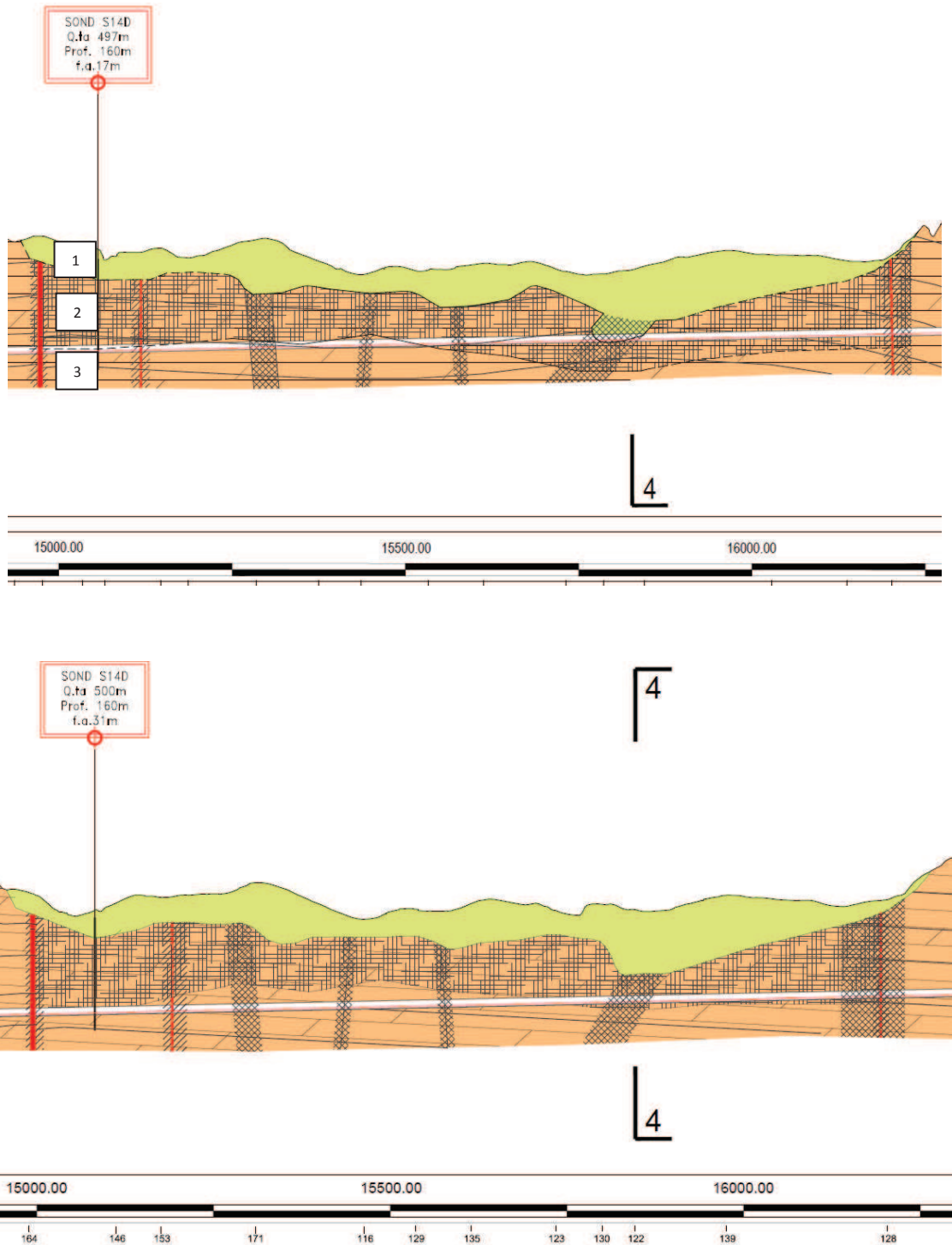


Figura 6.1 Stralcio dei profili geologici di progetto della canna nord (sopra) e sud (sotto)

Premesso quanto sopra, si definiscono nel seguito i parametri geomeccanici degli ammassi presenti a quota galleria nel tratto da pk 15+000 a pk 16+000 circa della Galleria San Pietro.

La parametrizzazione geomeccanica delle tipologie di ammasso sopra descritte, presenti a quota galleria, è stata eseguita utilizzando tutti i dati disponibili. In particolare, pur tenendo in conto delle informazioni desunte da tutti i sondaggi e da tutte le prove di laboratorio eseguite nell’area di progetto, che hanno permesso di caratterizzare gli ammassi detritici e il substrato roccioso ascrivibile alla Dolomia Principale a vario grado di fratturazione, come descritto nei precedenti paragrafi della Relazione geomeccanica, sono state analizzate nel dettaglio anche le informazioni desunte dalle indagini locali.

Si descrivono di seguito le risultanze delle analisi eseguite.

Caratterizzazione geomeccanica della tipologia di ammasso 2): Ammasso con grado di fratturazione molto elevato, a tratti cataclasato

Rilievo geomeccanico

Analizzando le carote del sondaggio S14D sono stati eseguiti Rilievi geomeccanici, rappresentativi delle tipologie di ammasso roccioso presenti a quota galleria.

In particolare, in figura 6.2 sono riportate le risultanze del Rilievo ritenuto rappresentativo delle caratteristiche geomeccaniche dell’ammasso tipo 2 (ammasso con grado di fratturazione molto elevato, a tratti cataclasato).

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

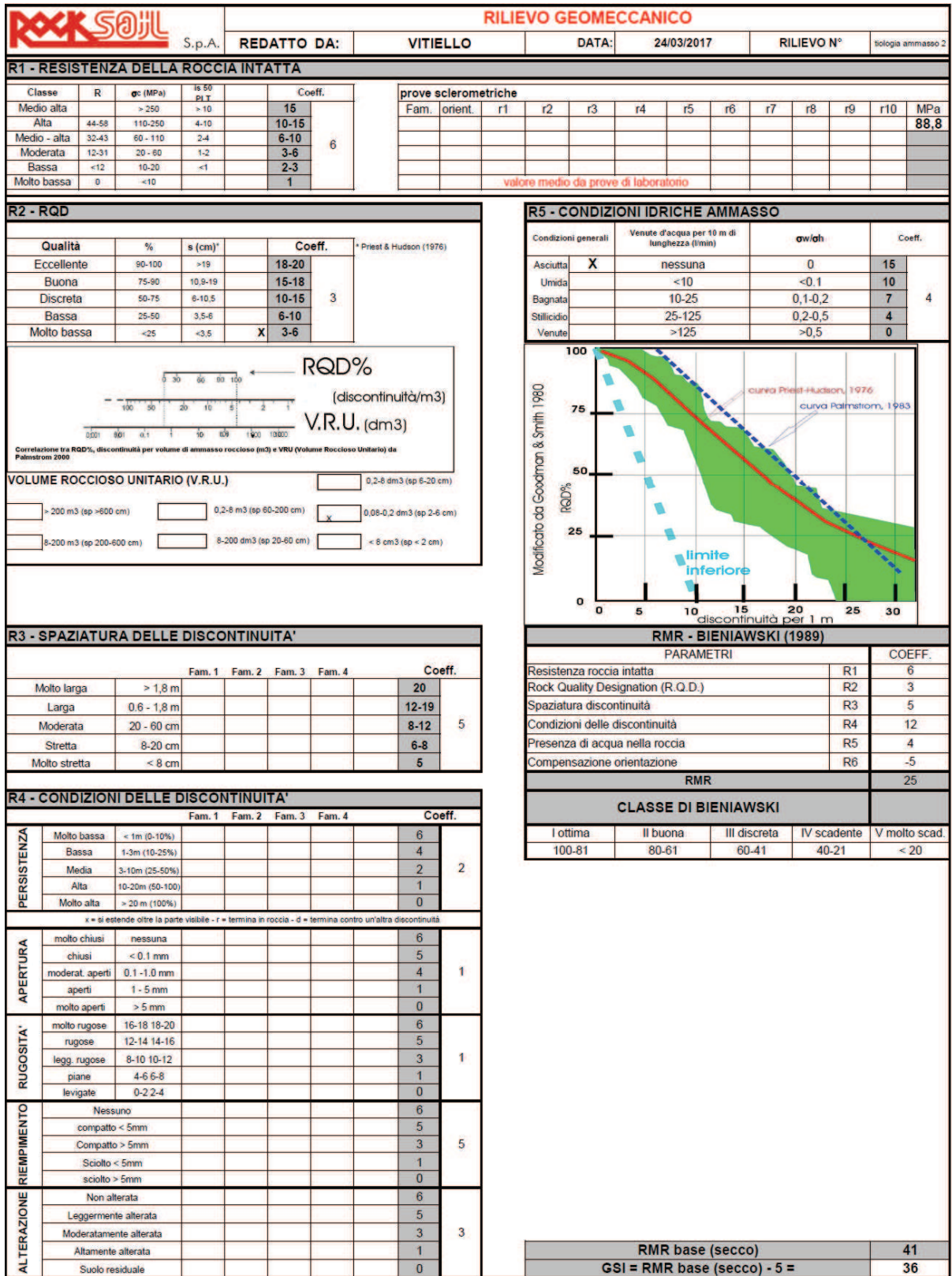


Figura 6.2.a - GSI ricavato partendo dalla metodologia di classificazione dell'ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1989)

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

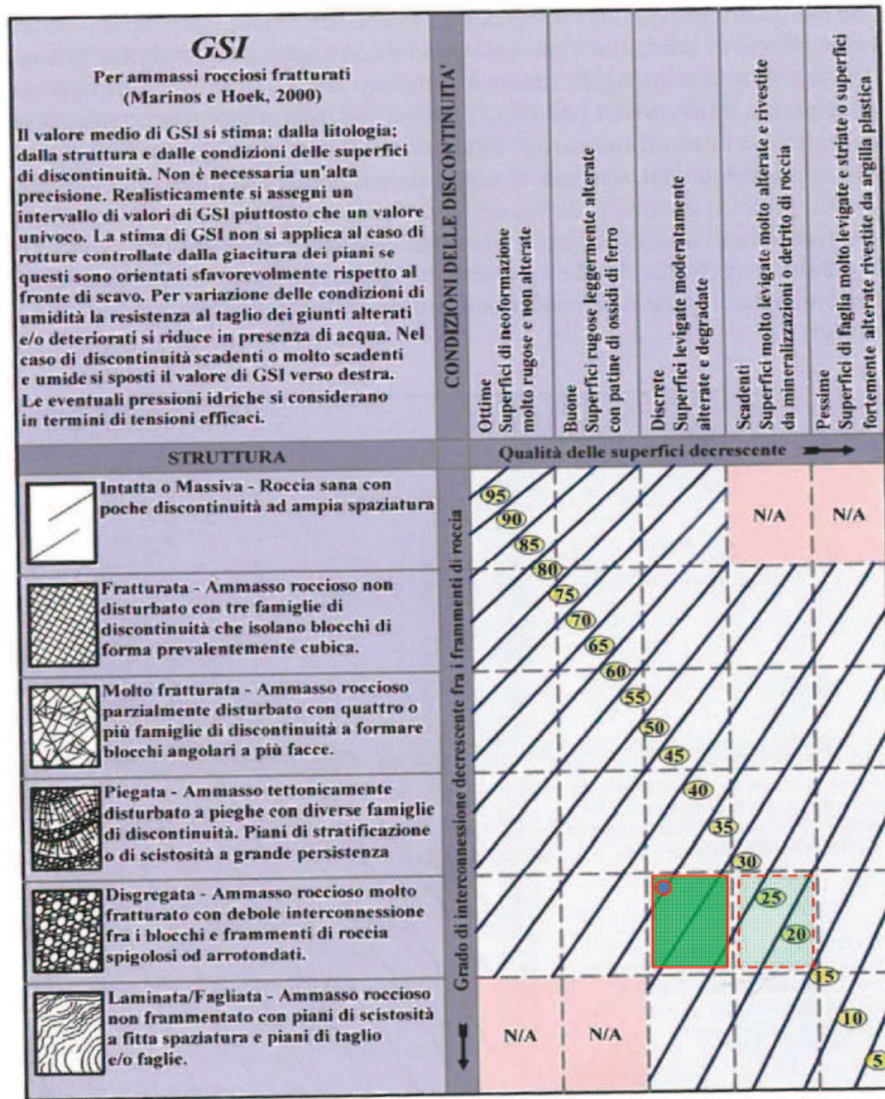
ROKSOJL S.p.A.	RILIEVO GEOMECCANICO				RILIEVO N°	fotologia ammasso 2
	REDATTO DA:	VITIELLO	DATA:	24/03/2017		

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA - CAROTE RAPPRESENTATIVE ESTRATTE DAL SONDAGGIO



Figura 6.2.b – Foto carote estratte da carotaggio S14D, rappresentative delle condizioni prevalenti per la tipologia di ammasso 2

Oltre alla determinazione dell'indice GSI secondo la classificazione dell'ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1989) e sintetizzata in figura 6.2.a, è stato determinato l'indice GSI anche mediante adozione dell'abaco grafico proposto in letteratura (da Marinos e Hock, 2000, modificata), come riportato in figura 6.2.c



Abaco per la determinazione del valore di GSI in ammassi rocciosi fratturati e alterati (da Marinos e Hoek, 2000, modificata)

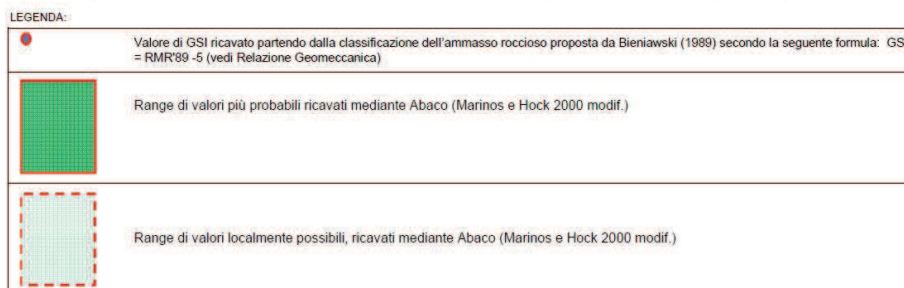


Figura 6.2.c Abaco per la determinazione del valore di GSI in ammassi rocciosi fratturati e alterati (da Marinos e Hoek, 2000, modificata)

In base al rilievo geomeccanico sopra sintetizzato, la tipologia di ammasso 2, (ammasso con grado di fratturazione molto elevato, a tratti cataclasato), risulterebbe prevalentemente ascrivibile, nella zona a quota galleria, al gruppo geomeccanico 3-a, con GSI compreso tra 25 e 35.

Mediante l’abaco per la determinazione del valore di GSI sopra illustrato, è stato altresì determinato il valore di GSI prevedibile nei tratti più alterati, come quelli ad esempio compresi tra la profondità di 30 e 70m del sondaggio, ben superiori rispetto alla quota del tracciato, ma ritenuti comunque rappresentativi di condizioni localmente riscontrabili in galleria nelle fasi di attraversamento delle faglie principali, o del tratto a cavallo della pk 15+800 circa, ove si evidenzia a quota galleria la presenza di un ammasso scadente, con $V_p < 3000$ m/s. Secondo tale determinazione grafica i tratti più fratturati/alterati della tipologia di ammasso in esame, risulterebbe ascrivibile al gruppo geomeccanico 3B (GSI 15-25).

Del resto anche le prove dilatometriche condotte nel foro di sondaggio, tra le profondità di 138 e 150m, evidenziano valori medi del Modulo di deformabilità compatibili con la parte bassa del gruppo geomeccanico 3A e parte alta del gruppo geomeccanico 3B; (vedi tabella 6.3 riepilogativa delle prove dilatometriche condotte nel foro di sondaggio S14D, confrontata con la tabella dei parametri geomeccanici riportata al precedente paragrafo 6.2.3).

PROVE IN SITU				
	Dilatometrica	Edef	E young	
Sondaggio	Prof. Prova (m)	Edef (MPa)	E young (MPa)	Litologia di prova
S14D	138,5	1609	4840	dolomia
	142,5	1999	3930	dolomia
	146,5	4111	5503	dolomia
	150,5	1020	1878	dolomia
	159,5	4966	13035	dolomia

Tabella 6.3 – Risultati prove dilatometriche eseguite nel sondaggio S14D

I Moduli Elastici ricavati dalle indagini sismiche TSD10bis, (figura 6.4), evidenziano comunque, per i materiali appartenenti alla tipologia di ammasso in esame, (sismostrato con V_p compresa tra 3000 e 4000 m/s a quota galleria), valori medi del Modulo Elastico E pari a 5600 MPa, (media di E0/5 e E0/10) superiori rispetto ai valori medi di E (4037 MPa), desunti dalle prove dilatometriche, denotando che, (pur considerando che si tratta di Moduli Elastici ricavati con metodologie di indagine diverse), allontanandosi dal sondaggio S14D e quindi dalla faglia della Valpegara, è probabile che le caratteristiche della tipologia di ammasso in esame siano leggermente migliori, con minor grado di fratturazione.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

TSD10bis (Dist 400)

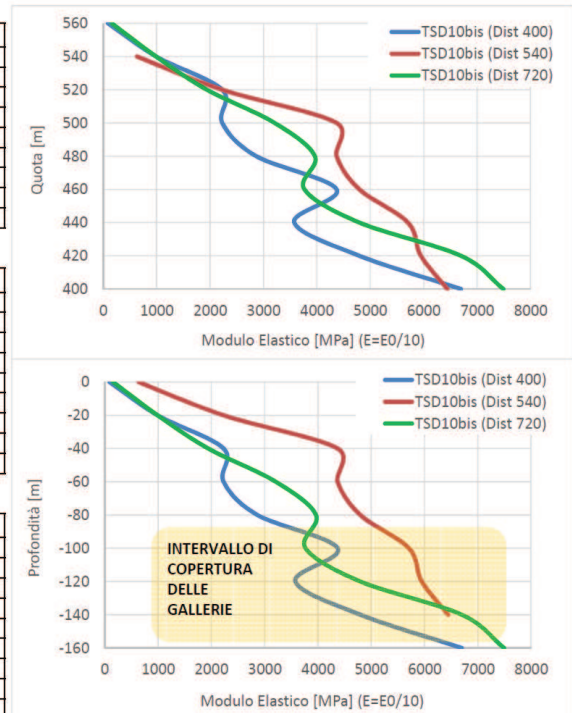
Quota	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ν [kN/m ³]	G ₀ [MPa]	ν	E ₀ [MPa]	E [E ₀ /5]	E [E ₀ /10]
560	600	367	27	372	0,2	892	178	89
540	2000	1225	27	4128	0,2	9908	1982	991
520	3000	1837	27	9289	0,2	22294	4459	2229
500	3000	1837	27	9289	0,2	22294	4459	2229
480	3400	2082	27	11931	0,2	28635	5727	2863
460	4200	2572	27	18206	0,2	43695	8739	4370
440	3800	2327	27	14904	0,2	35769	7154	3577
420	4400	2694	27	19982	0,2	47956	9591	4796
400	5200	3184	27	27908	0,2	66980	13396	6698

TSD10bis (Dist 540)

Quota	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ν [kN/m ³]	G ₀ [MPa]	ν	E ₀ [MPa]	E [E ₀ /5]	E [E ₀ /10]
560								
540	1600	980	27	2642	0,2	6341	1268	634
520	3000	1837	27	9289	0,2	22294	4459	2229
500	4200	2572	27	18206	0,2	43695	8739	4370
480	4200	2572	27	18206	0,2	43695	8739	4370
460	4400	2694	27	19982	0,2	47956	9591	4796
440	4800	2939	27	23780	0,2	57072	11414	5707
420	4900	3001	27	24781	0,2	59474	11895	5947
400	5100	3123	27	26845	0,2	64428	12886	6443

TSD10bis (Dist 720)

Quota	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ν [kN/m ³]	G ₀ [MPa]	ν	E ₀ [MPa]	E [E ₀ /5]	E [E ₀ /10]
560	800	490	27	661	0,2	1585	317	159
540	2000	1225	27	4128	0,2	9908	1982	991
520	2800	1715	27	8092	0,2	19420	3884	1942
500	3600	2205	27	13376	0,2	32103	6421	3210
480	4000	2449	27	16514	0,2	39633	7927	3963
460	3900	2388	27	15698	0,2	37676	7535	3768
440	4400	2694	27	19982	0,2	47956	9591	4796
420	5200	3184	27	27908	0,2	66980	13396	6698
400	5500	3368	27	31221	0,2	74931	14986	7493



TSD10bis tracciata lungo il vecchio tracciato

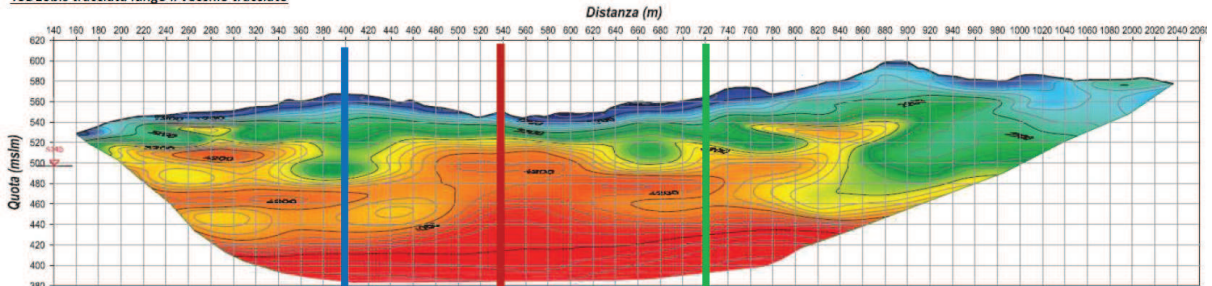


Figura 6.4 – Moduli elastici ricavati da indagini sismiche

In sintesi, per l’ammasso tipo 2, (ammasso con grado di fratturazione molto elevato, a tratti cataclasato) si prevedono parametri ascrivibili al gruppo geomeccanico 3-A, con locali peggioramenti previsti nei tratti più cataclasati/alterati, ascrivibili al gruppo 3B.

La sezione di scavo prevalente per attraversare ammassi della tipologia in esame, è la sezione tipo B2V. Il progetto prevede anche una sezione di tipo C2V per la locale intercettazione dei tratti più alterati o cataclasati.

Caratterizzazione geomeccanica della tipologia di ammasso 3): Substrato lapideo con grado di fratturazione da medio a medio-elevato

Rilievo geomeccanico

Analizzando le carote del sondaggio S14D sono stati eseguiti Rilievi geomeccanici, rappresentativi delle tipologie di ammasso roccioso presenti a quota galleria.

In particolare, in figura 6.5 sono riportate le risultanze del Rilievo ritenuto rappresentativo delle caratteristiche geomeccaniche dell’ammasso tipo 3 Substrato lapideo con grado di fratturazione da medio a medio-elevato

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

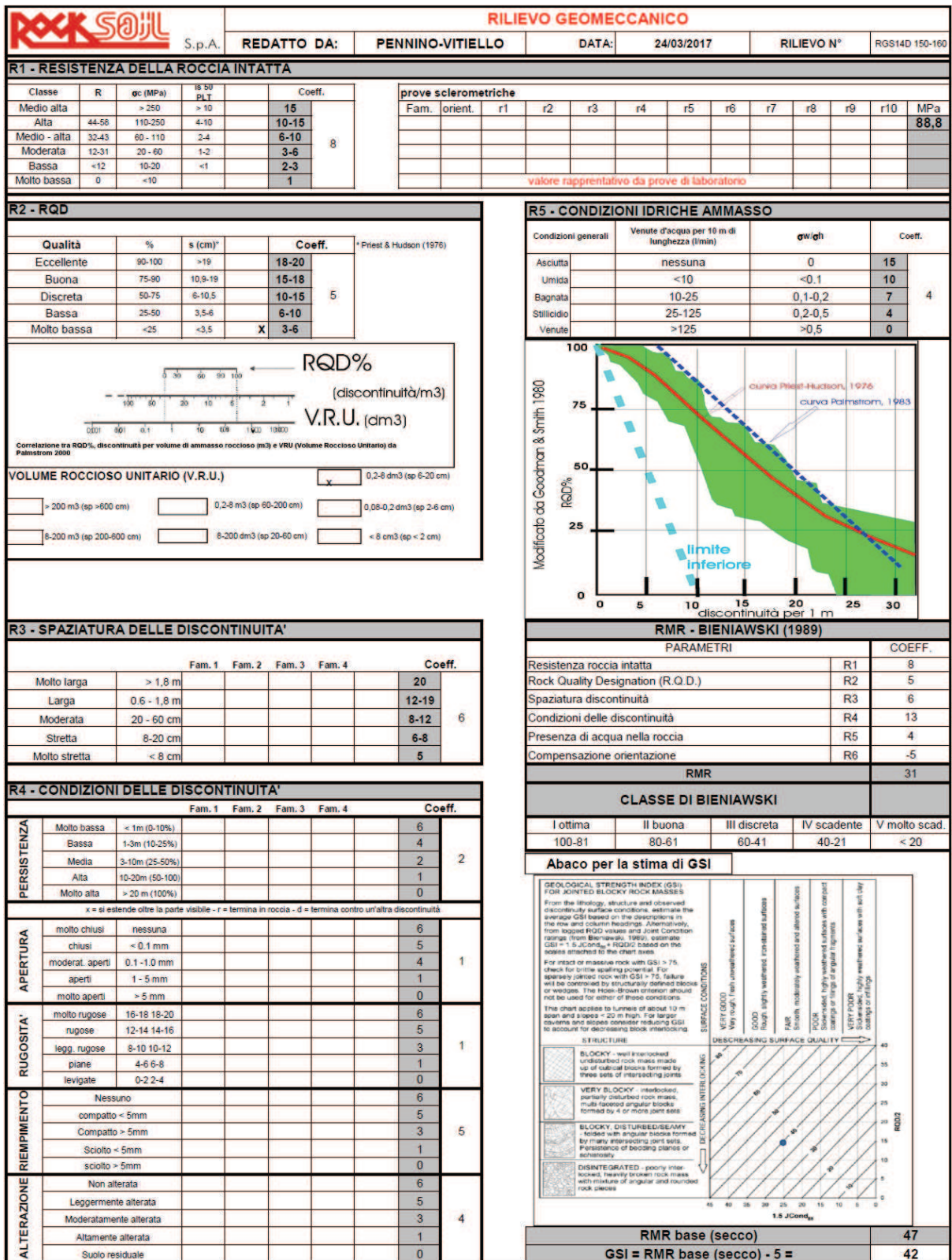


Figura 6.5.a – Moduli elastici ricavati da indagini sismiche

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

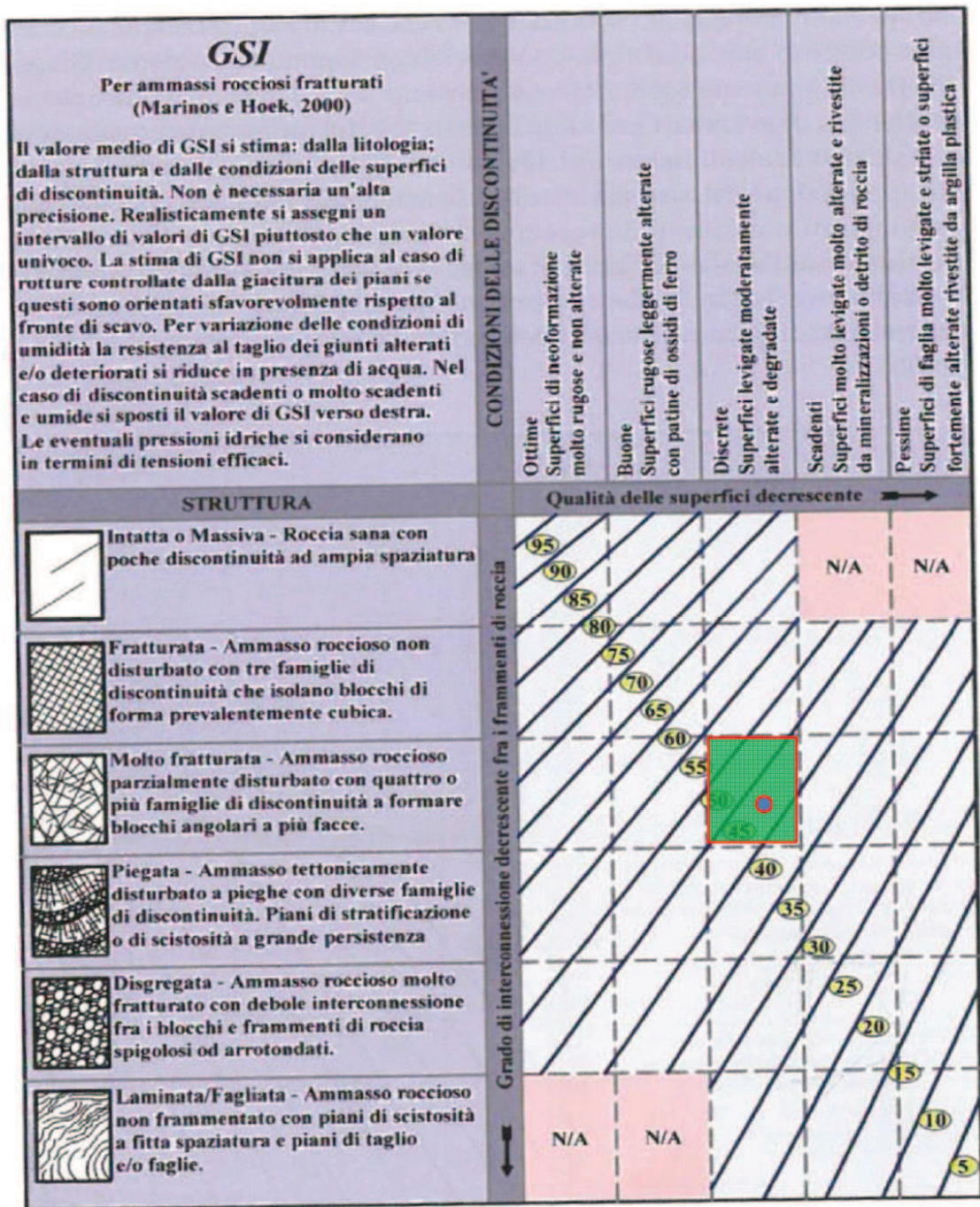
ROKSOJIL S.p.A.	RILIEVO GEOMECCANICO				
	REDATTO DA:	VITIELLO	DATA:	24/03/2017	RILIEVO N°

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA - CAROTE ESTRATTE DAL SONDAGGIO



Figura 6.5.b – Foto carote estratte da carotaggio S14D, rappresentative delle condizioni prevalenti per la tipologia di ammasso 3

Oltre alla determinazione dell'indice GSI secondo la classificazione dell'ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1989) e sintetizzata in figura 6.5.a, è stato determinato l'indice GSI anche mediante adozione dell'abaco grafico proposto in letteratura (da Marinos e Hock, 2000, modificata), come riportato in figura 6.5.c



Abaco per la determinazione del valore di GSI in ammassi rocciosi fratturati e alterati (da Marinos e Hoek, 2000, modificata)

LEGENDA:


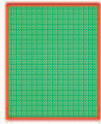
	Valore di GSI ricavato partendo dalla classificazione dell'ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1989) secondo la seguente formula: $GSI = RMR'89 - 5$ (vedi Relazione Geomeccanica)
	Range di valori più probabili ricavati mediante Abaco (Marinos e Hoek 2000 modif.)

Figura 6.5.c Abaco per la determinazione del valore di GSI in ammassi rocciosi fratturati e alterati (da Marinos e Hoek, 2000, modificata)

In base al rilievo geomeccanico sopra sintetizzato, la tipologia di ammasso 3, (Substrato lapideo con grado di fratturazione da medio a medio-elevato), risulterebbe prevalentemente ascrivibile, nella zona a quota galleria, al gruppo geomeccanico 2-A, con GSI compreso tra 40 e 45.

I valori di GSI ricavati mediante abaco grafico, riportato in figura 6.5.c, individuano un range più ampio, con valori di GSI compresi tra 35 e 45 ascrivibili ai gruppi geomeccanici (2A, 2B).

Del resto le prove dilatometriche condotte nel foro di sondaggio alla profondità di 159.5m, all’interno della tipologia di ammasso in esame, evidenziano valori del Modulo di deformabilità compatibili con la parte bassa del gruppo geomeccanico 2B (vedi tabella 6.3 riepilogativa delle prove dilatometriche condotte nel foro di sondaggio S14D)

I Moduli Elastici ricavati dalle indagini sismiche TSD10bis, (figura 6.6), evidenziano, per i materiali appartenenti alla tipologia di ammasso in esame, (sismostrato con $V_p > 4000$ m/s), valori medi del Modulo Elastico E compatibili con i valori desunti dalle prove dilatometriche.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

TSD10bis (Dist 400)

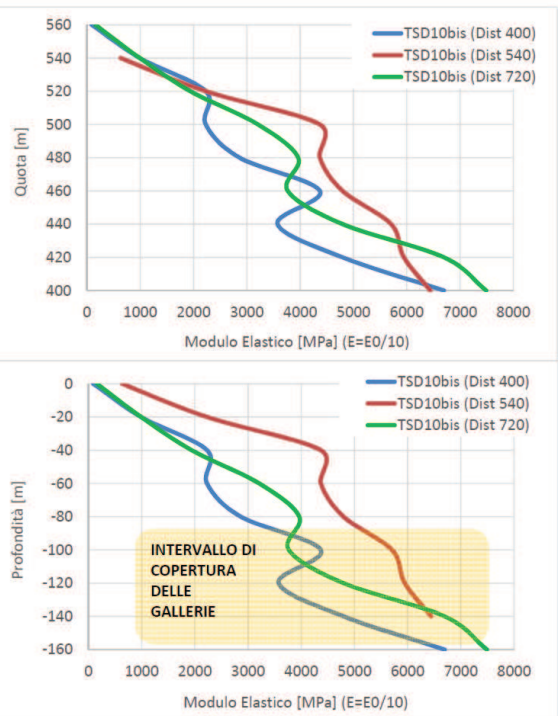
Quota	Vp [m/s]	Vs [m/s]	γ [kN/m ³]	G ₀ [MPa]	ν	E ₀ [MPa]	E [E ₀ /5]	E [E ₀ /10]
560	600	367	27	372	0,2	892	178	89
540	2000	1225	27	4128	0,2	9908	1982	991
520	3000	1837	27	9289	0,2	22294	4459	2229
500	3000	1837	27	9289	0,2	22294	4459	2229
480	3400	2082	27	11931	0,2	28635	5727	2863
460	4200	2572	27	18206	0,2	43695	8739	4370
440	3800	2327	27	14904	0,2	35769	7154	3577
420	4400	2694	27	19982	0,2	47956	9591	4796
400	5200	3184	27	27908	0,2	66980	13396	6698

TSD10bis (Dist 540)

Quota	Vp [m/s]	Vs [m/s]	γ [kN/m ³]	G ₀ [MPa]	ν	E ₀ [MPa]	E [E ₀ /5]	E [E ₀ /10]
560								
540	1600	980	27	2642	0,2	6341	1268	634
520	3000	1837	27	9289	0,2	22294	4459	2229
500	4200	2572	27	18206	0,2	43695	8739	4370
480	4200	2572	27	18206	0,2	43695	8739	4370
460	4400	2694	27	19982	0,2	47956	9591	4796
440	4800	2939	27	23780	0,2	57072	11414	5707
420	4900	3001	27	24781	0,2	59474	11895	5947
400	5100	3123	27	26845	0,2	64428	12886	6443

TSD10bis (Dist 720)

Quota	Vp [m/s]	Vs [m/s]	γ [kN/m ³]	G ₀ [MPa]	ν	E ₀ [MPa]	E [E ₀ /5]	E [E ₀ /10]
560	800	490	27	661	0,2	1585	317	159
540	2000	1225	27	4128	0,2	9908	1982	991
520	2800	1715	27	8092	0,2	19420	3884	1942
500	3600	2205	27	13376	0,2	32103	6421	3210
480	4000	2449	27	16514	0,2	39633	7927	3963
460	3900	2388	27	15698	0,2	37676	7535	3768
440	4400	2694	27	19982	0,2	47956	9591	4796
420	5200	3184	27	27908	0,2	66980	13396	6698
400	5500	3368	27	31221	0,2	74931	14986	7493



TSD10bis tracciata lungo il vecchio tracciato

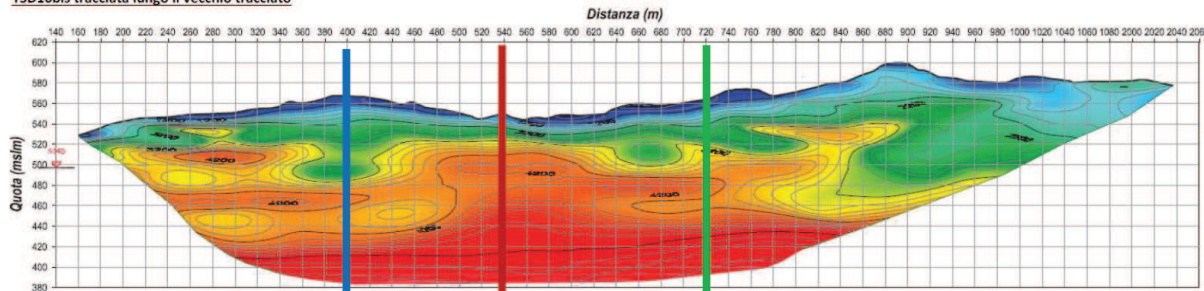


Figura 6.6 – Moduli elastici ricavati da indagini sismiche

In sintesi, per l'ammasso tipo 3, (Substrato lapideo con grado di fratturazione da medio a medio-elevato) si prevedono parametri ascrivibili mediamente al gruppo geomeccanico 2-A, ritenendo comunque probabile, all'interno di tale tipologia di ammasso, un range di parametri più ampio, ascrivibile ai gruppi geomeccanici 1B, 2A, 2B.

Le sezioni di scavo previste per attraversare ammassi della tipologia in esame, sono la sezione tipo B0 e la sezione tipo B0V, ritenendo comunque possibile, soprattutto nella parte centrale della carreggiata Sud, dove si evidenzia una marcata risalita del sismostrato caratterizzato da $V_p > 4000$ m/s, anche l'applicazione marginale di sezioni tipo A.

PROFILI GEOMECCANICI

Nel presente capitolo vengono descritti i criteri che hanno portato alla redazione dei profili geomeccanici delle gallerie. In generale, secondo quanto previsto dall'approccio progettuale ADECO-RS, ogni profilo geomeccanico è stato composto dalle seguenti informazioni.

FASE CONOSCITIVA

Studio geologico

Le Formazioni geologiche individuate sono i Detriti di Versante (ghiaie eterometriche) per le zone d'imbocco, le Vulcaniti indifferenziate (andesiti-riloliti-daciti) nei primi 1500 m ca. della g. Cogollo e la Dolomia principale (dolomia) nel restante tratto della g. Cogollo e in tutta la g. Pedescala e la Galleria S. Pietro. L'assetto strutturale è caotico nei Detriti, massivo nelle Vulcaniti e stratificato nella Dolomia principale. Sono state individuate zone di faglia (principalmente da areofoto) principali e secondarie nelle quali è stata rappresentata la core zone e la damage zone estesa per 20 m a cavallo della core zone.

Studio idrogeologico

Sulla base delle prove di permeabilità sono state indicate le Classi di permeabilità delle formazioni come segue:

- Detriti di versante: $K= 10^{-4}/10^{-6}$ m/sec
- Vulcaniti indifferenziate: $K= 10^{-6}/10^{-8}$ m/sec
- Dolomia principale: $K= 10^{-6}/10^{-8}$ m/sec
- Faglie secondarie: $k= 10^{-6}/10^{-7}$ m/sec
- Faglie principali: $k= 10^{-5}/10^{-6}$ m/sec

Le condizioni idriche d'ammasso sono state considerate "bagnato" per i detriti di versante, da "asciutto" a "umido" per Le Vulcaniti e la Dolomia principale, da "bagnato" a "stillicidio" nelle faglie secondarie e da "stillicidio" a "venute" nelle faglie principali.

La stima degli afflussi in galleria risultata:

- Detriti di versante: $Q= 0-5$ l/sec
- Vulcaniti indifferenziate e Dolomia principale: $Q= 0-0.5$ l/sec
- Faglie secondarie: $Q= 0-5$ l/sec
- Faglie principali: $Q= 1-20$ l/sec

Il carico idraulico ipotizzato risulta:

- Detriti di versante: $H < 50$ m
- Vulcaniti indifferenziate e Dolomia principale: $H < 50$ m
- Faglie: $Q = H$ da < 50 m a > 50 m

Caratterizzazione geomeccanica

RMR_{corretto} è stato ricavato a partire dal valore di $RMR'89$ (ricavato dagli stop geostrutturali e dalle carote di sondaggio come precedentemente descritto) assumendo un punteggio per l'acqua pari a 10 (“umidità”) per le vulcaniti e la dolomia principale e pari a 4 (“stillicidi”) per le zone di faglia; per l'orientazione delle discontinuità è stata assunta una correzione pari a -5 (“discreta”), considerando la bassa inclinazione delle discontinuità principali (stratificazione) mediamente inferiore a 20° .

Le Classi d'ammasso derivanti dai valori di $RMRC$ sopra determinati sono risultate essere le seguenti:

- Vulcaniti indifferenziate e Dolomia principale: CLASSI III-IV
- Faglie secondarie: CLASSE IV
- Faglie principali: CLASSI IV-V

Per quanto riguarda l'assegnazione dei gruppi geomeccanici per le varie formazioni risulta:

- Vulcaniti indifferenziate e Dolomia principale: GRUPPI 1A-1B-2A $GSI = 45-65$
- Faglie secondarie: GRUPPI 2A-2B $GSI = 35-45$
- Faglie principali: GRUPPI 2A-2B-3A $GSI = 25-45$

Per quanto riguarda la parametrizzazione geomeccanica degli ammassi delle varie formazioni sono stati abbinati ai range di GSI suddetti le caratteristiche intrinseche della roccia intatta (m_i , σ_i , E_i) e determinati i parametri geomeccanici secondo il criteri di Mohr-Coulomb (zone di faglia e detriti) e Hoek&Brown (vulcaniti e dolomia principale).

ANALISI DI RISCHIO

L'analisi del contesto geologico – stratigrafico, geomorfologico e tettonico dell'area di studio, sopra sintetizzato ed illustrato anche negli elaborati grafici di riferimento (cartografia di progetto, profili e sezioni geologiche), ha consentito una valutazione, qualitativa, dei possibili scenari di rischio connessi al particolare contesto in esame.

Al fine di consentire l'individuazione degli interventi tecnici e costruttivi finalizzati ad una corretta gestione di ciascun fattore di rischio si è adottata una metodologia di studio le cui fasi sostanziali sono di seguito descritte:

- Esame degli elaborati progettuali di riferimento e dei dati derivanti dalle indagini geognostiche pregresse e di quelle effettuate per il PD
- Sopralluoghi e rilievi geologici e geomeccanici
- Classificazione dei fattori di rischio geologici, geomorfologici e geomeccanici ed eventuali altre criticità individuate lungo il tracciato delle opere
- Caratterizzazione e circoscrizione di ciascun fattore di rischio secondo i criteri di seguito elencati:
 - Analisi combinata della probabilità di accadimento e della relativa incidenza (danno) per ciascun fattore individuato lungo il tracciato delle gallerie.
 - Attribuzione ad ogni aspetto analizzato, del grado di rischio (probabilità x danno= rischio: da molto basso (trascurabile) ad alto, utilizzando come base la matrice di seguito illustrata:

Impact	Likelihood				
	Rare	Unlikely	Possible	Likely	Almost certain
Catastrophic	moderate	moderate	high	critical	critical
Major	low	moderate	moderate	high	critical
Moderate	low	moderate	moderate	moderate	high
Minor	very low	low	moderate	moderate	moderate
Insignificant	very low	very low	low	low	moderate

La valutazione del rischio, condotta nel modo sopra illustrato, è stata definita per i seguenti aspetti principali:

Analisi di rischio legate alle caratteristiche dell’ammasso roccioso

- Instabilità del fronte e/o del cavo per la presenza di
 - Zone tettonizzate
 - Basse coperture
- Presenza di trovanti
- Presenza in superficie di doline e/o depressioni di origine carsica
- Deformazioni d’ammasso (convergenze/estrusioni)
- Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere di superficie
- Fenomeni di squeezing
- Fenomeni di spalling
- Fenomeni di swelling
- Presenza di gas

Analisi di rischio legate alla presenza di acqua

- Carico idraulico
- Venute d’acqua concentrate
- Fenomeni carsici
- Acque aggressive
- Fenomeni di dissoluzione

Per quanto riguarda i fenomeni di “spalling” i possibili rischi sono stati valutati e descritti nella “Relazione Tecnica di Calcolo” della Galleria Cogollo (elaborato J16L1_07_02_04_001_0101_OPD_00), a cui si rimanda per i dettagli.

L’analisi combinata della probabilità di accadimento e del relativo danno ha consentito di definire le seguenti quattro classi di rischio, rappresentate nei profili geologici e geomeccanici di progetto:

- Rischio trascurabile (rappresentato con il colore bianco) – low, very low
- Rischio basso (rappresentato con il colore verde) - moderate
- Rischio medio (rappresentato con il colore arancio) - high
- Rischio elevato (rappresentato con il colore rosso) – critical.

Di seguito si riporta, da esempio, una tratta della Galleria Cogollo, con l’approccio schematico utilizzato per valutare i differenti gradi di rischio definiti.

GALLERIA COGOLLO – tratta da pk 4860 a 5430 ca

Codice fattore	Probabilità	Danno	Rischio
<i>Zone tettonizzate</i>	Assente	Insignificante	Trascurabile
<i>Basse coperture</i>	Certa	Elevato	Alto
<i>Presenza trovanti</i>	Certa	Elevato	Alto
<i>Fronte misto</i>	Assente	Insignificante	Trascurabile
<i>Subsidenza/Interferenze</i>	Possibile	Basso	Medio
<i>Squeezing</i>	Assente	Insignificante	Trascurabile
<i>Spalling</i>	Assente	Insignificante	Trascurabile
<i>Swelling</i>	Assente	Insignificante	Trascurabile
<i>Convergenze /Estrusioni</i>	Possibile	Basso	Medio
<i>Gas</i>	Assente	Insignificante	Trascurabile
<i>Carico idraulico</i>	Possibile	Molto basso	Basso
<i>Venute d’acqua concentrate</i>	Possibile	Basso	Medio
<i>Carsismo</i>	Assente	Insignificante	Trascurabile
<i>Acque aggressive</i>	Assente	Insignificante	Trascurabile
<i>Fenomeni dissoluzione</i>	Assente	Insignificante	Trascurabile

FASE DI DIAGNOSI

Utilizzando i dati di input della Fase conoscitiva è stato possibile mediante i metodi di valutazione di stabilità del fronte (TAMEZ) e di comportamento tenso deformativo della cavità (Linee caratteristiche), è stato possibile giungere alla previsione del comportamento allo scavo del tunnel in assenza di interventi, secondo il metodo ADECO-RS.

Per le varie formazioni risulta:

- Detriti di versante: Fronte e cavo instabili, fenomeni deformativi elastoplastici.
- Vulcaniti indifferenziate e Dolomia principale: Fronte e cavo stabili, fenomeni deformativi elastoplastici.

- Faglie: Fronte stabile a breve termine e cavo instabile, fenomeni deformativi elastoplastici.

FASE DI TERAPIA

Una volta caratterizzato il comportamento allo scavo degli ammassi in assenza di interventi è stato possibile definire gli interventi costruttivi necessari per realizzare le gallerie.

Interventi di impermeabilizzazione in avanzamento

Tali interventi, descritti in dettaglio nelle relazioni tecniche e di calcolo delle rispettive gallerie, sono stati previsti dove sono prevedibili importanti afflussi idrici con $Q \geq 10$ l/sec x ml di tunnel.

Queste condizioni sono prevedibili in corrispondenza delle coore zone dei tratti di faglia principale e nel passaggio litologico tra vulcaniti e dolomia principale. Non essendo comunque certe nemmeno in tali contesti, tali interventi sono stati indicati con una linea tratteggiata nelle faglie principali, ad indicare l’eventualità del loro utilizzo.

Riempimento cavità

Tali interventi, descritti in dettaglio nelle relazioni tecniche e di calcolo delle rispettive gallerie, sono stati previsti visti i fenomeni di dissoluzione carsica che caratterizzano la formazione della Dolomia Principale, dimostrati dalla presenza in superficie di cavità che possono divenire vere e proprie grotte come è il caso del “Buso delle Banchette” che si trova in asse al tracciato della g. Pedescala attorno alla pk 12+250 ca.

Non potendo avere certezza né sulla densità, né sulla posizione, né tantomeno sulle dimensioni di tali cavità, tali interventi sono stati rappresentati come eventuali con una linea tratteggiata per l’intero sviluppo delle gallerie all’interno della Dolomia Principale.

Tipologie interventi

Sono stati indicati gli interventi relativi alle sezioni tipo di avanzamento, con riferimento a quella prevalente nei tratti geomeccanici omogenei individuati.

Le sezioni di scavo previste per le gallerie Pedescala e S. Pietro (diametro equivalente di scavo pari a 13 m ca.) da realizzarsi “in tradizionale”, progettate secondo l’approccio ADECO-RS, dovranno gestire sostanzialmente le seguenti tre condizioni geomeccaniche:

- 1) Zone d’imbocco. Lato sud in detrito si applica la sezione tipo C1b/C1b* che prevede un preconsolidamento al fronte ed al contorno con jet-grouting sub-orizzontale. Lato

nord in roccia alterata si applica la sezione tipo B0V che prevede al contorno un presostegno metallico iniettato mediante iniezioni selettive in pressione. Lo scavo è a piena sezione con mezzi meccanici. Il prerivestimento è centinato. I rivestimenti definitivi di calotta murette ed arco rovescio sono previsti in C.A.

- 2) Tratti in roccia compatta. Si applicano sezioni di scavo con scavo a piena sezione tramite esplosivo e prerivestimento bullonato (sezioni tipo Ab1 e Ab2) o centinato (sezioni tipo Ac). I rivestimenti definitivi di calotta murette ed arco rovescio sono previsti in cls.
- 3) Tratti in roccia fratturata/faglia. In funzione dell’entità della fratturazione si prevede un preconsolidamento al fronte in VTR ed al contorno con presostegno metallico ed iniezioni selettive in pressione (sezioni tipo C2V e B2V), il solo preconsolidamento del contorno con presostegno metallico ed iniezioni selettive in pressione (sezione tipo B0V) o l’assenza di preconsolidamento (sezione tipo B0). Lo scavo è a piena sezione con mezzi meccanici. Il prerivestimento è centinato. I rivestimenti definitivi di calotta murette ed arco rovescio sono previsti in C.A.

Per la g. Cogollo lo scavo procedendo da sud attraversa le formazioni rocciose delle vulcaniti e della dolomia, ad esclusione dei primi 850 m circa da sud, dove il fronte è completamente in detrito. In ragione della variabilità dei materiali si è scelto di utilizzare una fresa scudata che possa lavorare a fronte chiuso nel primo tratto in detrito (dove tra l’altro sono previste interferenze abitative di superficie) ed a fronte aperto nel restante tratto in roccia. Il diametro di scavo sarà pari a 14.85. Lo spessore dei conci prefabbricati in C.A. sarà pari a 50 cm con un riempimento a tergo pari a 27.5 cm.

Sistemi di impermeabilizzazione e drenaggio

Per le g. in tradizionale sono previsti 2 sistemi d’impermeabilizzazione, Tipo 1 e Tipo 2. Il Tipo 1, da applicarsi nelle tratte di roccia compatta poco permeabile, prevede il drenaggio e la raccolta delle acque sul tubo in muretta e si applica là dove non sono state riscontrate venute d’acqua significative in avanzamento e non vi è pertanto rischio di impatto idrogeologico. La sezione Tipo 2, da applicarsi nelle tratte nelle zone di faglia principali più permeabili, al contatto tra vulcaniti e dolomia principale e nelle zone d’imbocco, là dove si sono rinvenute venute d’acqua più significative ($Q > 1 \text{ l/sec}$), prevede l’impermeabilizzazione full-round con drenaggio impedito, allo scopo di limitare l’impatto idrogeologico. Sono previsti comunque tubi di raccolta acque con scarico impedito da valvole a tenuta, che si aprono solo al superamento di pressioni idrauliche significative ($\geq 6-7 \text{ bar}$), allo scopo di preservare l’integrità statica dei rivestimenti definitivi. La sezione tipo 2 è stata prevista come eventuale anche nelle faglie secondarie (linea tratteggiata nei profili).

Allo scopo di isolare i tratti di impermeabilizzazione tipo 2 sono stati previsti opportuni schermi di impermeabilizzazione radiale all’inizio ed alla fine dei tratti stessi (vedi elaborati relativi).

Anche nella g. Cogollo in meccanizzato sono previsti 2 sistemi d’impermeabilizzazione, Tipo 1 e Tipo 2. La Tipo 1, prevista nei depositi detritici iniziali e nei tratti di roccia poco permeabile, però si differenzia dalla corrispondente in tradizionale poiché, in virtù della forma circolare dei rivestimenti a conci prefabbricati e del fatto che gli stessi sono in C.A. che possono gestire carichi idraulici fino a 6-7 bar, risulta essere full-round inibendo il drenaggio. La tipo 2 prevista nelle faglie principali, dove non si possono escludere carichi idraulici anche superiori, è full-round ma comunque dotata di tubi di raccolta acque con scarico impedito da valvole a tenuta, che si aprono solo al superamento di pressioni idrauliche significative (\geq 6-7 bar), allo scopo di preservare l’integrità statica dei rivestimenti definitivi.

Sezioni tipo

Alle sezioni tipo sopra descritte per le g. “in tradizionale” sono state assegnate delle percentuali di applicazione adottando i seguenti criteri:

Nei tratti in ammasso compatto di Dolomia Principale vengono previste prevalentemente le sezioni bullonate (Ab1 e Ab2 gruppo geomeccanico 1A) e subordinatamente quelle centinate (Ac e B0 gruppi geomeccanici 1B e 2A). In particolare, facendo riferimento alle percentuali di rinvenimento degli analoghi gruppi geomeccanici sulle carote di sondaggio e sugli stop geostrutturali si sono assegnate mediamente le seguenti percentuali di applicazione: Ab1+Ab2= 55%; Ac= 35%; B0= 10%.

Per l’attraversamento delle zona di faglia sono state previste le sezioni tipo B0 (gruppo geomeccanico 2A) e sezioni tipo B0V e B2V, (gruppi geomeccanici 2B e 3A).

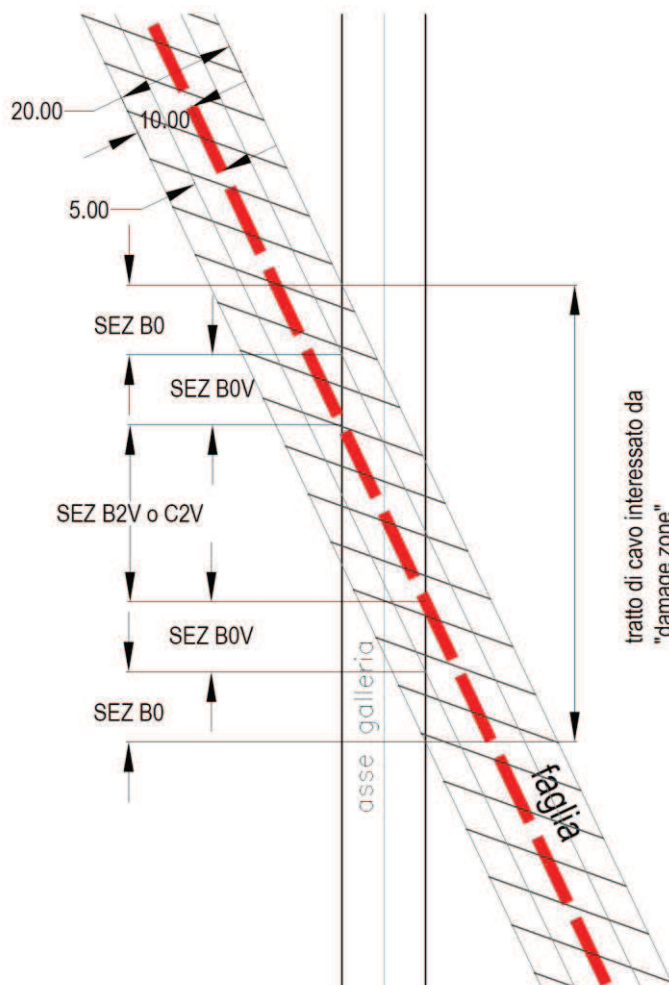
In particolare, per ottenere una stima della lunghezza dei tratti di scavo appartenenti ai diversi gruppi geomeccanici sopra citati e quindi quantificare le percentuali di sezioni tipo da prevedersi nelle zone di faglia, si è operato nel modo di seguito illustrato.

Sulla base delle osservazioni emerse da rilievo geologico, sondaggi, indagini sismiche e magnetotelluriche, nonché tenendo conto di esperienze pregresse maturate in contesti simili, a cavallo di ciascuna zona di faglia è stato mediamente previsto uno spessore di circa 20m di ammasso roccioso significativamente più fratturato alterato, (“damage zone”), rispetto alle condizioni di ammasso non disturbato presente al di fuori delle faglie.

All’interno della “damage zone” si è ulteriormente distinta una zona di spessore pari a 10m a cavallo del lineamento tettonico, (5 metri per parte), ascrivibile alla “core zone” con ammasso roccioso previsto molto fratturato e parametri ascrivibili ai gruppi geomeccanici

2B, 3A, ed invece una zona ubicata tra i 5m ed i 10m di distanza dalla linea di asse faglia in cui si prevede un ammasso fratturato, prevalentemente ascrivibile al gruppo geomeccanico 2A.

Rispetto alla situazione generale sopra illustrata, per le faglie principali si è ritenuto cautelativamente opportuno prevedere inoltre una percentuale di sezioni tipo C2V, per far fronte a possibili situazioni di ammasso estremamente fratturato, (gruppo 3B), all’interno delle “core zone”.



Operando secondo le modalità sopra descritte, al variare delle orientazioni del piano di faglia rispetto al tracciato e dell'importanza della stessa, le percentuali oscillano mediamente da: C2V= 0-10%; B2V= 15-35%; B0V= 35-45%; B0= 25-30%.

FASE DI CONTROLLO

Allo scopo di verificare costantemente le condizioni geomeccaniche dell’ammasso in avanzamento e la sua risposta tenso-deformativa è stato previsto un articolato piano di monitoraggio.

In particolare, allo scopo di verificare o meno la presenza di significative venute d’acqua e/o cavità, sono state sistematicamente previste perforazioni a distruzione in avanzamento (vedi elaborati relativi). Inoltre, qualora le stesse evidenziassero presenze di cavità sono previsti approfondimenti d’indagine mediante sismiche in foro allo scopo di determinare i volumi e le geometrie delle cavità stesse. Per l’avanzamento in meccanizzato è previsto inoltre il sistema di rilevamento indiretto tipo BEAM.

Per quanto riguarda il monitoraggio delle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi sono previsti sistematici rilievi del fronte, mentre la risposta deformativa verrà monitorata mediante sistematiche misure di convergenza a 5 mire ed estensimetri multibase. Lo stato tensionale nei pririvestimenti e nei rivestimenti verrà controllato mediante apposita strumentazione (celle di carico e barrette estensimetriche). Per i sottoattraversamenti di zone a bassa copertura e con interferenze di superficie è stato infine previsto un monitoraggio di superficie ad hoc.

7 CONCLUSIONI

Il presente elaborato costituisce la “*Relazione geomeccanica*” di progetto definitivo del 1° lotto funzionale dell’autostrada A31 Vicenza – Piovene Rocchette – Trento, a prolungamento dell’attuale tratto in esercizio da Longare, (a sud di Vicenza), fino a Piovene Rocchette, ai sensi dell’art. 8 dell’allegato XXI del D.Lgs 163/2006 e s.m.i.

Oggetto della presente Relazione è l’inquadramento geologico, geostrutturale e geomeccanico del settore interessato dalle opere infrastrutturali connesse alla prosecuzione dell’autostrada A31, dallo svincolo di Piovene Rocchette, dove oggi termina l’autostrada, fino allo svincolo di San Pietro, al confine con la provincia di Trento, per un totale di circa 18 chilometri, (cfr figura 1.1).

Dopo un breve illustrazione delle opere previste, (CAPITOLO 1), della documentazione di riferimento (CAPITOLO 2), si è proceduto alla descrizione di tutte le indagini geognostiche disponibili (CAPITOLO 3), individuando i principali elementi di novità emersi dalle indagini recenti, eseguite in tale fase di Progettazione Definitiva .

Si è quindi proceduto con la descrizione sintetica del modello geologico generale dell’area in studio, e di dettaglio lungo il tracciato delle opere in sotterraneo (CAPITOLO 4). Si procede con la caratterizzazione geotecnica e geomeccanica dei terreni coinvolti (CAPITOLI 5 e 6). Il CAPITOLO 7 descrive i profili geomeccanici lungo il tracciato.