

**S.S.51 "ALEMAGNA"**  
**VARIANTE DI LONGARONE**

**PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ED ECONOMICO**

COD. VE407

**PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG**

**RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE e PRGETTISTA:**

*Dott. Ing. Massim Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma A26031)*

**PROGETTISTA:**

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*  
 Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*  
 Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*  
 Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*

**GEOLOGO:**

*Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)*

**COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

*Dott. Ing. Matteo Di Giacomo (Ord. Ing. Prov. Roma A15138)*

**COORDINATORE ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:**

*Dott. Ing. Maria Antonietta Merendino (Ord. Ing. Prov. Roma A28481)*

**VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:**

*Dott. Ing. Ettore De La Grennelais De Cesbron*

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**



**GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA**  
**GALLERIA CASTELLAVAZZO**  
**RELAZIONE GEOTECNICA**

**CODICE PROGETTO**

PROGETTO

LIV. PROG. ANNO

DPVE0407 D 21

**NOME FILE**

VE407\_T00GN01GETRE01A

**CODICE ELAB.**

T00GN01GETRE01

**REVISIONE**

**SCALA:**

A

-

D

C

B

A

EMISSIONE

MAGGIO 2022

V. TURANO

M. CUCCARO

M.CAPASSO

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             | <br><b>anas</b><br><small>GRUPPO FS ITALIANE</small> |
| Variante di Longarone |                             |   |
| <b>VE407</b>          | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

## INDICE

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 1          | PREMESSA.....   | 3         |
| 2          | RIFERIMENTI NORMATIVI .....                                   | 5         |
| 3          | CENNO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO .....                        | 6         |
| 4          | INDAGINI GEOTECNICHE .....                                    | 7         |
| <b>4.1</b> | <b>Campagna d'indagini 2021: .....</b>                        | <b>8</b>  |
| 5          | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI .....                | 16        |
| <b>5.1</b> | <b>Terreni sciolti .....</b>                                  | <b>20</b> |
|            | 5.1.1 Materiale di riporto – TR .....                         | 20        |
|            | 5.1.2 Alluvioni fluvio-glaciali a grana grossa – FLG .....    | 20        |
| <b>5.2</b> | <b>Rocce lapidee.....</b>                                     | <b>25</b> |
|            | 5.2.1 Calcari e calcareniti - Ca .....                        | 25        |
| <b>5.3</b> | <b>Falda .....</b>  | <b>36</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Caratterizzazione fisico – meccanica dei terreni .....</b> | <b>36</b> |
| <b>5.5</b> | <b>Caratterizzazione sismica dei terreni.....</b>             | <b>37</b> |
| 6          | RAPPORTI OPERE TERRENI.....                                   | 38        |

|                       |                             |  |
|-----------------------|-----------------------------|--|
| SS 51 "Alemagna"      |                             | <br><b>ANAS</b><br>GRUPPO FS ITALIANE |
| Variante di Longarone |                             |  |
| VE407                 | <b>Relazione Geotecnica</b> |  |

## ELENCO DELLE FIGURE

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1: Inquadramento S.S. 51 .....   | 3  |
| Figura 1.2: Variante di Longarone – asse di progetto e posizione galleria .....                         | 3  |
| Figura 5.1: Terreni FLG – Andamento del passante in peso con la profondità .....                        | 21 |
| Figura 5.2: Terreni FLG – Valori di $N_{30}$ da prove SPT .....   | 22 |
| Figura 5.3: Terreni FLG – Valori di angolo di resistenza al taglio da prove SPT .....                   | 23 |
| Figura 5.4: Terreni FLG – Valori del modulo elastico operativo da prove SPT .....                       | 24 |
| Figura 5.5: Ca – distribuzione $\sigma_{ci}$ da prove di compressione monoassiale e point load .....    | 25 |
| Figura 5.6: Ubicazione Geostop .....  | 26 |
| Figura 5.7: Gruppo A .....  | 28 |
| Figura 5.8: Gruppo B .....  | 29 |
| Figura 5.9: Ca – valore medio di RQD nello strato .....   | 30 |
| Figura 5.10: Ca – RMR .....   | 31 |
| Figura 5.11: Ca – caratteristiche di resistenza per ammasso non disturbato in asse galleria .....       | 32 |
| Figura 5.12: Ca – caratteristiche di resistenza per ammasso disturbato in asse galleria .....           | 33 |
| Figura 5.13: Ca – caratteristiche di resistenza per ammasso non disturbato in fondazione viadotto ..... | 34 |
| Figura 5.14: Ca – modulo elastico secante $E_{s50}$ .....   | 35 |
| Figura 5.15: Ca – coefficiente di Poisson $\nu_{50}$ .....  | 35 |
| Figura 6.1: GN01 – schema fisico di riferimento .....   | 39 |

## ELENCO DELLE TABELLE

|   |    |
|---|----|
| Tabella 4.1: Sondaggi eseguiti nella campagna d'indagini 2021/2022 .....                  | 8  |
| Tabella 4.2: Operazioni in foro nella campagna d'indagini 2021/2022 .....                 | 9  |
| Tabella 4.3: Risultati delle Prove Penetrometriche Dinamiche SPT .....                    | 11 |
| Tabella 4.4: Campioni litoidi, indisturbati e rimaneggiati prelevati .....                | 13 |
| Tabella 4.5: Posizione delle prove Lèfranc, Lugeon e dilatometriche .....                 | 14 |
| Tabella 5.1: Classificazione geotecnica dei terreni .....                                 | 16 |
| Tabella 5.2: Coefficiente A funzione dell'epoca geologica del deposito .....              | 17 |
| Tabella 5.3: Coefficiente B funzione della composizione granulometrica del deposito ..... | 17 |
| Tabella 5.4: Dip – Dip dir .....  | 27 |
| Tabella 5.5: Dip – Dip dir gruppo A .....   | 28 |
| Tabella 5.6: Dip – Dip dir gruppo B .....   | 29 |
| Tabella 5.7: Caratteristiche di progetto dei terreni sciolti .....                        | 37 |
| Tabella 5.8: Caratteristiche di progetto delle rocce lapidee per la galleria .....        | 37 |

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| VE407                 | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

## 1 PREMESSA

Nella seguente relazione sono presentati i risultati degli studi svolti e delle verifiche eseguite nell'ambito della caratterizzazione geotecnica dei terreni costituenti la galleria Castellavazzo in ambito del progetto dell'intervento di ricollocamento e costruzione riguardante la variante di Longarone, S.S.51 "Alemagna".



*Figura 1.1: Inquadramento S.S. 51*



*Figura 1.2: Variante di Longarone – asse di progetto e posizione galleria*

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| VE407                 | <i>Relazione Geotecnica</i> |   |

La galleria attraversa unità geotecniche mediamente omogenee, che sono state analizzate sulla base di ricostruzioni geologiche dei terreni e dell'analisi delle indagini eseguite nel corso delle campagne svolte.

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| VE407                 | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

---

- Circolare Ministero dei LL.PP. 21/01/2109 n. 7 - Istruzione per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»»
- Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (G.U. Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8).
- Circolare Ministero dei LL.PP. 02/02/09 n. 617 - Istruzione per l'applicazione delle «Nuove Norme tecniche per le costruzioni».
- D.M. 14/01/2008 - «Nuove Norme tecniche per le costruzioni».
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274/2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.”; modificata dall'O.P.C.M. 3431 del 03/05/2005.
- Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI.
- Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI.
- Eurocodice 8 (1998). Progettazione delle strutture per la resistenza sismica.
- Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. UNI.
- Circolare ministeriale LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- D.M. 11/03/88 - Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| VE407                 | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

### 3 CENNO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

---

Dal punto di vista geologico, nella successione stratigrafica dell'area interessata dal tracciato si possono riconoscere le seguenti unità litologiche:

- **Detrito di versante.** Deposito caotico ad elementi eterometrici a spigoli vivi e arrotondati originato dai processi evolutivi dei versanti rocciosi e dallo smantellamento dei terrazzi fluviali sovrastanti.
- **Depositi alluvionali di alveo attuale.** Ghiaie grossolane e ciottoli, con lenti limo-sabbiose e sabbio-limose.
- **Depositi alluvionali terrazzati.** Ghiaie in matrice scarsamente sabbiosa con lenti di limo sabbiosa e sabbio-limosa, variamente ghiaiose, scarsamente argillose.
- **Depositi fluvio-glaciali.** Ghiaie grossolane e ciottoli con lenti limo sabbiose e sabbio-limose, scarsamente argillose, localmente cementate.
- **Calcere di Soccher.** Calcari micritici verdi e rossastri in strati sottili tabulari, fortemente selciferi, intercalati a biocalcarenitici gradate, sovente laminate e facies tipiche del Rosso Ammonitico.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geologica (vedi elaborato T00GE00GEORE01A).

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| VE407                 | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

## 4 INDAGINI GEOTECNICHE

---

Per lo sviluppo della progettazione delle opere sono state eseguite indagini di carattere geotecnico finalizzate:

- al riconoscimento ed alla caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, allo scopo di fornire i parametri fisico-meccanici per l'esecuzione dei calcoli strutturali e geotecnici delle opere d'arte;
- alla ricostruzione dei rapporti opere-terreni finalizzata alla progettazione delle fondazioni delle opere d'arte (viadotti, ponti, gallerie).

Le caratteristiche geotecniche dei terreni e delle rocce interessati dal tracciato sono state investigate con un'approfondita campagna di indagini geognostica, geofisica e geotecnica svolta nel corso del 2021 e 2022.

La campagna di indagini è stata condotta su incarico ANAS dalla ditta Vicenzetto S.R.L., nel rispetto delle disposizioni, delle specifiche tecniche e del capitolato d'appalto ANAS, nonché delle raccomandazioni AGI 1977/1994 e hanno previsto:

- n° 27 sondaggi a carotaggio continuo, di cui n° 14 condizionati con tubo per prove Down-Hole e n° 13 condizioni a piezometro a tubo aperto;
- n° 2 sondaggi a distruzione di nucleo e carotaggio continuo, condizionati con piezometro a tubo aperto;
- n° 271 prove penetrometriche dinamiche S.T.P.;
- n° 34 pozzetti, dei quali n° 14 geognostici e n° 20 ambientali;
- n° 14 prove pressiometriche;
- n° 40 prove di permeabilità di cui n° 30 Léfranc e n° 10 Lugeon;
- n° 20 prove dilatometriche;
- n° 145 prelievo di campioni per la caratterizzazione geotecnica durante l'esecuzione dei sondaggi, di cui n° 2 indisturbati, n° 113 rimaneggiati e n° 30 litoidi;
- n° 27 prelievo di campioni a fini ambientali;
- n° 7 prelievo di campioni di acqua di falda;
- Analisi e prove geotecniche di laboratorio;

Per le prove di laboratorio si è fatto riferimento alla normativa ASTM ed alle norme UNI.

I risultati delle indagini in sito e delle prove di laboratorio sono illustrati negli elaborati redatti dalle società incaricate delle indagini, allegati al progetto. La posizione dei punti d'indagine è riportata nelle apposite Tavole di progetto.

Nel seguito si descrivono le principali attività svolte durante la campagna.

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             | <br><b>anas</b><br><small>GRUPPO FS ITALIANE</small> |
| Variante di Longarone |                             |   |
| <b>VE407</b>          | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

## 4.1 Campagna d'indagini 2021:

La campagna di indagini geognostiche e geofisiche svolta nel corso della presente fase di progettazione ha compreso 29 sondaggi verticali, 2 dei quali svolti parzialmente a distruzione di nucleo, svolti tra Luglio 2021 e Febbraio 2022. Durante l'esecuzione dei carotaggi si è proceduto con il condizionamento dei fori per prove SPT, prove down-hole e installazione di piezometri. Sono stati prelevati 145 campioni tra rimaneggiati, indisturbati e litoidi.

Nelle tabelle che seguono si riportano l'elenco dei sondaggi e le strumentazioni installate.

| Anno | Sondaggio   | Condizionamento | Profondità<br>[m] | Coordinate |             |
|------|-------------|-----------------|-------------------|------------|-------------|
|      |             |                 |                   | G.B. Est   | G.B. Nord   |
| 2021 | SD00A_DH    | Down-Hole       | 35                | 753733,042 | 5122016,655 |
| 2021 | SD00B_DH    | Down-Hole       | 35                | 753699,525 | 5122120,349 |
| 2021 | SD01_DH     | Down-Hole       | 35                | 753673,017 | 5122175,990 |
| 2021 | SD02_DH     | Down-Hole       | 35                | 753520,378 | 5122421,378 |
| 2021 | SD03_PZ     | Piezometro      | 35                | 753502,058 | 5122513,939 |
| 2021 | SD05_PZ     | Piezometro      | 35                | 753651,524 | 5120933,221 |
| 2021 | SD06_PZ     | Piezometro      | 30                | 753476,132 | 5124029,931 |
| 2021 | SD07_DH     | Down-Hole       | 30                | 753725,301 | 5124566,615 |
| 2022 | SD08_DH     | Down-Hole       | 35                | 754102,547 | 5123541,154 |
| 2021 | SD09_PZ     | Piezometro      | 35                | 754312,053 | 5125448,758 |
| 2021 | SD09_bis_PZ | Piezometro      | 35                | 754124,956 | 5125219,110 |
| 2021 | SD09_ter_DH | Down-Hole       | 30                | 754135,852 | 5125097,368 |
| 2021 | SD10_DH     | Down-Hole       | 35                | 754390,275 | 5125578,633 |
| 2021 | SD11_PZ     | Piezometro      | 25                | 754551,082 | 5125886,993 |
| 2022 | SD12_PZ     | Piezometro      | 35                | 754715,706 | 5126527,859 |
| 2022 | SD12_bis_PZ | Piezometro      | 35                | 754724,021 | 5126713,198 |
| 2021 | SD13_DH     | Down-Hole       | 40                | 754751,454 | 5126826,129 |
| 2022 | SD14_DH     | Down-Hole       | 35                | 754762,580 | 5127900,214 |
| 2021 | SD16_DH     | Down-Hole       | 35                | 754674,956 | 5128277,894 |
| 2021 | SD17_DH     | Down-Hole       | 35                | 754728,639 | 5129042,211 |
| 2021 | SD18_PZ     | Piezometro      | 30                | 754690,778 | 5129275,182 |
| 2021 | SD19_DH     | Down-Hole       | 35                | 754666,043 | 5129416,464 |
| 2021 | SD20_DH     | Down-Hole       | 30                | 754548,722 | 5130134,627 |
| 2021 | SD21_PZ     | Piezometro      | 30                | 754520,403 | 5130207,055 |
| 2021 | SD22_PZ     | Piezometro      | 47                | 754617,004 | 5130766,298 |
| 2021 | SD23_PZ     | Piezometro      | 65                | 754657,156 | 5130992,853 |
| 2021 | SD24_PZ     | Piezometro      | 90                | 754700,651 | 5131268,287 |
| 2022 | SD25_PZ     | Piezometro      | 135               | 754697,341 | 5131727,004 |
| 2022 | SD26        |                 | 5                 | 754993,547 | 5132173,355 |

Tabella 4.1: Sondaggi eseguiti nella campagna d'indagini 2021/2022

|   |                             |   |
|---|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"<br>Variante di Longarone |                             |  |
| VE407                                     | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche SPT, prove dilatometriche, prove di permeabilità Lugeon e Léfranc e sono stati prelevati campioni tra indisturbati, rimaneggiati e rocciosi. Il numero di tali operazioni, per tipologia di prova e per sondaggio, è distinto nella seguente tabella:

| Anno | Sondaggio   | No. SPT | No. campioni |              |         | Perm. Lefranc | Perm. Lugeon | Dilatometriche |
|------|-------------|---------|--------------|--------------|---------|---------------|--------------|----------------|
|      |             |         | indisturbati | rimaneggiati | litoidi |               |              |                |
| 2021 | SD00A_DH    | 11      | -            | 6            | -       | 2             | -            | -              |
| 2021 | SD00B_DH    | 11      | -            | 6            | -       | 2             | -            | -              |
| 2021 | SD01_DH     | 11      | -            | 6            | -       | 2             | -            | -              |
| 2021 | SD02_DH     | 11      | 1            | 4            | -       | 2             | -            | -              |
| 2021 | SD03_PZ     | 13      | -            | 4            | -       | 1             | -            | -              |
| 2021 | SD05_PZ     | 11      | -            | 4            | -       | 2             | -            | -              |
| 2021 | SD06_PZ     | 10      | 1            | 4            | -       | 2             | -            | -              |
| 2021 | SD07_DH     | 10      | -            | 4            | -       | 2             | -            | -              |
| 2022 | SD08_DH     | 11      | -            | 5            | -       | 2             | -            | -              |
| 2021 | SD09_PZ     | 11      | -            | 5            | -       | 2             | -            | -              |
| 2021 | SD09_bis_PZ | 11      | -            | 4            | -       | 1             | -            | -              |
| 2021 | SD09_ter_DH | 10      | -            | 5            | -       | 2             | -            | -              |
| 2021 | SD10_DH     | 11      | -            | 5            | -       | 2             | -            | -              |
| 2021 | SD11_PZ     | 8       | -            | 5            | -       | 2             | -            | -              |
| 2022 | SD12_PZ     | 11      | -            | 6            | -       | 2             | -            | -              |
| 2022 | SD12_bis_PZ | 11      | -            | 6            | -       | 2             | -            | -              |
| 2021 | SD13_DH     | 12      | -            | 8            | -       | 2             | -            | -              |
| 2022 | SD14_DH     | 11      | -            | 6            | -       | 2             | -            | -              |
| 2021 | SD16_DH     | 11      | -            | 4            | -       | 1             | -            | -              |
| 2021 | SD17_DH     | 11      | -            | 4            | -       | 1             | -            | -              |
| 2021 | SD18_PZ     | 10      | -            | 4            | -       | 1             | -            | -              |
| 2021 | SD19_DH     | 11      | -            | 4            | -       | 1             | -            | -              |
| 2021 | SD20_DH     | 10      | -            | 4            | -       | 1             | -            | -              |
| 2021 | SD21_PZ     | 5       | -            | 4            | -       | 1             | -            | -              |
| 2021 | SD22_PZ     | 13      | -            | 6            | -       | -             | -            | 1              |
| 2021 | SD23_PZ     | 5       | -            | -            | 6       | -             | 3            | 8              |
| 2021 | SD24_PZ     | 0       | -            | -            | 6       | -             | 3            | 4              |
| 2022 | SD25_PZ     | 0       | -            | -            | 6       | -             | 4            | 7              |
| 2022 | SD26        | 0       | -            | 2            | -       | -             | -            | -              |

Tabella 4.2: Operazioni in foro nella campagna d'indagini 2021/2022

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa delle prove SPT eseguite.

| Sondaggio | Da [m] | SPT      | Sondaggio | Da [m] | SPT      | Sondaggio   | Da [m] | SPT      |
|-----------|--------|----------|-----------|--------|----------|-------------|--------|----------|
| SD00A_DH  | 3,0    | 10-12-17 | SD02_DH   | 27,0   | 20-23-36 | SD07_DH     | 15,0   | R        |
| SD00A_DH  | 6,0    | 9-25-42  | SD02_DH   | 30,0   | 11-12-15 | SD07_DH     | 18,0   | 29-38-R  |
| SD00A_DH  | 9,0    | 11-17-19 | SD02_DH   | 33,0   | 14-13-17 | SD07_DH     | 21,0   | 28-41-R  |
| SD00A_DH  | 12,0   | 9-14-21  | SD03_PZ   | 3,0    | 27-R     | SD07_DH     | 24,0   | 36-R     |
| SD00A_DH  | 15,0   | 12-19-21 | SD03_PZ   | 6,0    | 31-R     | SD07_DH     | 27,0   | 26-41-45 |
| SD00A_DH  | 18,0   | 7-15-21  | SD03_PZ   | 9,0    | 25-37-R  | SD07_DH     | 30,0   | 31-39-42 |
| SD00A_DH  | 21,0   | 3-11-20  | SD03_PZ   | 12,0   | 16-R     | SD08_DH     | 3,0    | 12-17-21 |
| SD00A_DH  | 24,0   | 10-16-23 | SD03_PZ   | 15,0   | R        | SD08_DH     | 6,0    | 14-15-19 |
| SD00A_DH  | 27,0   | 13-19-27 | SD03_PZ   | 18,0   | 21-33-R  | SD08_DH     | 9,0    | 17-19-23 |
| SD00A_DH  | 30,0   | 12-21-29 | SD03_PZ   | 21,0   | R        | SD08_DH     | 12,0   | 14-18-21 |
| SD00A_DH  | 33,0   | 17-21-31 | SD03_PZ   | 24,0   | 18-21-30 | SD08_DH     | 15,0   | 17-19-24 |
| SD00B_DH  | 3,0    | 21-27-32 | SD03_PZ   | 27,0   | 19-35-25 | SD08_DH     | 18,0   | 15-21-28 |
| SD00B_DH  | 6,0    | 18-24-25 | SD03_PZ   | 30,0   | 21-39-24 | SD08_DH     | 21,0   | 23-24-33 |
| SD00B_DH  | 9,0    | 15-25-31 | SD03_PZ   | 33,0   | 39-47-R  | SD08_DH     | 24,0   | 20-22-31 |
| SD00B_DH  | 12,0   | 12-20-21 | SD03_PZ   | 36,0   | 41-R     | SD08_DH     | 27,0   | 21-24-37 |
| SD00B_DH  | 15,0   | 15-22-27 | SD03_PZ   | 39,0   | 36-41-45 | SD08_DH     | 30,0   | 24-20-35 |
| SD00B_DH  | 18,0   | 13-21-23 | SD05_PZ   | 3,0    | 10-19-26 | SD08_DH     | 33,0   | 21-26-31 |
| SD00B_DH  | 21,0   | 19-26-30 | SD05_PZ   | 6,0    | 11-15-20 | SD09_PZ     | 3,0    | 15-18-19 |
| SD00B_DH  | 24,0   | 9-14-15  | SD05_PZ   | 9,0    | 11-20-34 | SD09_PZ     | 6,0    | 13-15-17 |
| SD00B_DH  | 27,0   | 12-16-16 | SD05_PZ   | 12,0   | 12-24-34 | SD09_PZ     | 9,0    | 15-18-23 |
| SD00B_DH  | 30,0   | 15-18-16 | SD05_PZ   | 15,0   | 13-23-40 | SD09_PZ     | 12,0   | 19-21-38 |
| SD00B_DH  | 33,0   | 10-17-19 | SD05_PZ   | 18,0   | 23-33-41 | SD09_PZ     | 15,0   | 11-17-34 |
| SD01_DH   | 3,0    | 10-27-38 | SD05_PZ   | 21,0   | 21-18-33 | SD09_PZ     | 18,0   | 7-15-21  |
| SD01_DH   | 6,0    | 19-23-32 | SD05_PZ   | 24,0   | 10-25-30 | SD09_PZ     | 21,0   | 19-23-30 |
| SD01_DH   | 9,0    | 21-19-38 | SD05_PZ   | 27,0   | 23-29-31 | SD09_PZ     | 24,0   | 9-14-23  |
| SD01_DH   | 12,0   | 12-24-41 | SD05_PZ   | 30,0   | 20-25-31 | SD09_PZ     | 27,0   | 11-13-25 |
| SD01_DH   | 15,0   | 19-23-43 | SD05_PZ   | 33,0   | 19-20-27 | SD09_PZ     | 30,0   | 12-24-41 |
| SD01_DH   | 18,0   | 23-33-45 | SD06_PZ   | 3,0    | 19-21-31 | SD09_PZ     | 33,0   | 11-23-34 |
| SD01_DH   | 21,0   | 23-23-16 | SD06_PZ   | 6,0    | 21-26-29 | SD09_bis_PZ | 3,0    | 15-21-24 |
| SD01_DH   | 24,0   | 5-8-15   | SD06_PZ   | 9,0    | 36-R     | SD09_bis_PZ | 6,0    | 30-33-34 |
| SD01_DH   | 27,0   | 9-11-17  | SD06_PZ   | 12,0   | R        | SD09_bis_PZ | 9,0    | 34-29-32 |
| SD01_DH   | 30,0   | 6-7-8    | SD06_PZ   | 15,0   | 32-44-R  | SD09_bis_PZ | 12,0   | R        |
| SD01_DH   | 33,0   | 3-4-4    | SD06_PZ   | 18,0   | 37-36-44 | SD09_bis_PZ | 15,0   | 23-21-34 |
| SD02_DH   | 3,0    | 9-20-34  | SD06_PZ   | 21,0   | 3-3-4    | SD09_bis_PZ | 18,0   | 17-24-29 |
| SD02_DH   | 6,0    | 12-18-20 | SD06_PZ   | 24,0   | 2-3-4    | SD09_bis_PZ | 21,0   | 20-31-37 |
| SD02_DH   | 9,0    | 10-15-21 | SD06_PZ   | 27,0   | 4-6-7    | SD09_bis_PZ | 24,0   | 31-35-36 |
| SD02_DH   | 12,0   | 12-19-32 | SD06_PZ   | 30,0   | 5-7-7    | SD09_bis_PZ | 27,0   | 30-R     |
| SD02_DH   | 15,0   | 21-19-38 | SD07_DH   | 3,0    | R        | SD09_bis_PZ | 30,0   | 22-21-31 |
| SD02_DH   | 18,0   | 19-23-35 | SD07_DH   | 6,0    | R        | SD09_bis_PZ | 33,0   | 27-33-33 |
| SD02_DH   | 21,0   | 22-20-39 | SD07_DH   | 9,0    | 31-R     | SD09_ter_DH | 3,0    | 11-14-19 |
| SD02_DH   | 24,0   | 8-13-16  | SD07_DH   | 12,0   | R        | SD09_ter_DH | 6,0    | 12-19-21 |

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| <b>VE407</b>          | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

| Sondaggio   | Da [m] | SPT      | Sondaggio   | Da [m] | SPT      | Sondaggio | Da [m] | SPT      |
|-------------|--------|----------|-------------|--------|----------|-----------|--------|----------|
| SD09_ter_DH | 9,0    | 11-14-22 | SD12_bis_PZ | 6,0    | 5-7-10   | SD16_DH   | 21,0   | 41-47-R  |
| SD09_ter_DH | 12,0   | 20-18-32 | SD12_bis_PZ | 9,0    | 7-9-10   | SD16_DH   | 24,0   | 44-45-R  |
| SD09_ter_DH | 15,0   | 17-19-29 | SD12_bis_PZ | 12,0   | 10-3-14  | SD16_DH   | 27,0   | 36-37-R  |
| SD09_ter_DH | 18,0   | 11-17-28 | SD12_bis_PZ | 15,0   | 11-10-15 | SD16_DH   | 30,0   | 31-39-45 |
| SD09_ter_DH | 21,0   | 20-18-32 | SD12_bis_PZ | 18,0   | 12-13-16 | SD16_DH   | 33,0   | 36-R     |
| SD09_ter_DH | 24,0   | 18-21-30 | SD12_bis_PZ | 21,0   | 14-17-20 | SD17_DH   | 3,0    | 17-21-27 |
| SD09_ter_DH | 27,0   | 19-23-34 | SD12_bis_PZ | 24,0   | 13-15-19 | SD17_DH   | 6,0    | R        |
| SD09_ter_DH | 30,0   | 20-24-31 | SD12_bis_PZ | 27,0   | 12-17-23 | SD17_DH   | 9,0    | R        |
| SD10_DH     | 3,0    | 17-15-24 | SD12_bis_PZ | 30,0   | 20-23-25 | SD17_DH   | 12,0   | 21-26-34 |
| SD10_DH     | 6,0    | 10-21-34 | SD12_bis_PZ | 33,0   | 18-23-24 | SD17_DH   | 15,0   | 20-31-R  |
| SD10_DH     | 9,0    | 11-18-20 | SD13_DH     | 3,0    | 7-5-4    | SD17_DH   | 18,0   | 37-R     |
| SD10_DH     | 12,0   | 19-4-40  | SD13_DH     | 6,0    | 23-20-21 | SD17_DH   | 21,0   | 30-45-47 |
| SD10_DH     | 15,0   | 12-19-30 | SD13_DH     | 9,0    | 27-31-35 | SD17_DH   | 24,0   | R        |
| SD10_DH     | 18,0   | 12-15-17 | SD13_DH     | 12,0   | R        | SD17_DH   | 27,0   | 17-23-31 |
| SD10_DH     | 21,0   | 13-17-19 | SD13_DH     | 15,0   | 37-39-45 | SD17_DH   | 30,0   | 39-R     |
| SD10_DH     | 24,0   | 17-19-34 | SD13_DH     | 18,0   | R        | SD17_DH   | 33,0   | 15-25-R  |
| SD10_DH     | 27,0   | 23-30-39 | SD13_DH     | 21,0   | 11-10-10 | SD18_PZ   | 3,0    | 15-19-25 |
| SD10_DH     | 30,0   | 21-27-36 | SD13_DH     | 24,0   | 31-R     | SD18_PZ   | 6,0    | 20-24-27 |
| SD10_DH     | 33,0   | 19-25-33 | SD13_DH     | 27,0   | 21-30-31 | SD18_PZ   | 9,0    | R        |
| SD11_PZ     | 3,0    | 16-20-23 | SD13_DH     | 30,0   | 19-37-41 | SD18_PZ   | 12,0   | 21-R     |
| SD11_PZ     | 6,0    | 15-19-42 | SD13_DH     | 33,0   | 30-36-39 | SD18_PZ   | 15,0   | 39-44-R  |
| SD11_PZ     | 9,0    | 17-22-29 | SD13_DH     | 36,0   | 41-R     | SD18_PZ   | 18,0   | 21-25-29 |
| SD11_PZ     | 12,0   | 19-18-22 | SD14_DH     | 3,0    | 17-21-33 | SD18_PZ   | 21,0   | 19-27-31 |
| SD11_PZ     | 15,0   | 17-21-32 | SD14_DH     | 6,0    | 50-R     | SD18_PZ   | 24,0   | 29-27-32 |
| SD11_PZ     | 18,0   | 18-19-27 | SD14_DH     | 9,0    | 26-R     | SD18_PZ   | 27,0   | 30-33-37 |
| SD11_PZ     | 21,0   | 21-24-33 | SD14_DH     | 12,0   | 19-23-31 | SD18_PZ   | 30,0   | 27-31-35 |
| SD11_PZ     | 24,0   | 11-14-27 | SD14_DH     | 15,0   | 17-25-30 | SD19_DH   | 3,0    | 25-35-R  |
| SD12_PZ     | 3,0    | 6-9-14   | SD14_DH     | 18,0   | 16-20-26 | SD19_DH   | 6,0    | 39-39-R  |
| SD12_PZ     | 6,0    | 5-7-8    | SD14_DH     | 21,0   | R        | SD19_DH   | 9,0    | 47--R    |
| SD12_PZ     | 9,0    | 8-12-14  | SD14_DH     | 24,0   | 28-33-41 | SD19_DH   | 12,0   | 31-45-R  |
| SD12_PZ     | 12,0   | 11-9-13  | SD14_DH     | 27,0   | 21-27-36 | SD19_DH   | 15,0   | 37-36-44 |
| SD12_PZ     | 15,0   | 13-18-22 | SD14_DH     | 30,0   | 29-32-38 | SD19_DH   | 18,0   | 27-35-47 |
| SD12_PZ     | 18,0   | 15-19-17 | SD14_DH     | 33,0   | 28-33-36 | SD19_DH   | 21,0   | 29-31-39 |
| SD12_PZ     | 21,0   | 10-16-15 | SD16_DH     | 3,0    | R        | SD19_DH   | 24,0   | 37-39-R  |
| SD12_PZ     | 24,0   | 7-9-15   | SD16_DH     | 6,0    | R        | SD19_DH   | 27,0   | 31-35-41 |
| SD12_PZ     | 27,0   | 12-18-21 | SD16_DH     | 9,0    | 38-R     | SD19_DH   | 30,0   | 41-40-39 |
| SD12_PZ     | 30,0   | 13-14-17 | SD16_DH     | 12,0   | 43-R     | SD19_DH   | 33,0   | 37-45-49 |
| SD12_PZ     | 33,0   | 18-13-23 | SD16_DH     | 15,0   | 45-41-39 | SD20_DH   | 3,0    | 9-10-13  |
| SD12_bis_PZ | 3,0    | 6-9-12   | SD16_DH     | 18,0   | 31-37-R  | SD20_DH   | 6,0    | 29-R     |

Tabella 4.3: Risultati delle Prove Penetrometriche Dinamiche SPT

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| <b>VE407</b>          | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

Di seguito si riporta l'elenco dei campioni prelevati, distinguendoli in:

- CR: campioni rimaneggiati;
- CI: campioni indisturbati;
- CL: campioni di roccia lapidea.

| Sondaggio | Profondità [m] |      | Campione |
|-----------|----------------|------|----------|
|           | da             | a    |          |
| SD00A_DH  | 3,0            | 3,5  | CR1      |
| SD00A_DH  | 7,0            | 7,5  | CR2      |
| SD00A_DH  | 12,5           | 13,0 | CR3      |
| SD00A_DH  | 13,5           | 14,5 | CR4      |
| SD00A_DH  | 19,0           | 19,5 | CR5      |
| SD00A_DH  | 27,5           | 28,0 | CR6      |
| SD00B_DH  | 2,0            | 3,0  | CR1      |
| SD00B_DH  | 7,0            | 7,5  | CR2      |
| SD00B_DH  | 12,5           | 13,0 | CR3      |
| SD00B_DH  | 19,0           | 19,5 | CR4      |
| SD00B_DH  | 25,0           | 25,5 | CR5      |
| SD00B_DH  | 30,0           | 30,5 | CR6      |
| SD01_DH   | 2,0            | 2,5  | CR1      |
| SD01_DH   | 5,0            | 5,5  | CR2      |
| SD01_DH   | 12,0           | 12,5 | CR3      |
| SD01_DH   | 17,5           | 18,0 | CR4      |
| SD01_DH   | 23,0           | 23,5 | CR5      |
| SD01_DH   | 30,0           | 30,5 | CR6      |
| SD02_DH   | 2,0            | 3,0  | CR1      |
| SD02_DH   | 5,0            | 5,5  | CR2      |
| SD02_DH   | 11,0           | 12,0 | CR3      |
| SD02_DH   | 17,5           | 18,0 | CR4      |
| SD02_DH   | 24,5           | 25,0 | CI1      |
| SD03_PZ   | 2,5            | 3,0  | CR1      |
| SD03_PZ   | 6,5            | 7,0  | CR2      |
| SD03_PZ   | 15,5           | 16,0 | CR3      |
| SD03_PZ   | 25,5           | 26,0 | CR4      |
| SD05_PZ   | 2,0            | 3,0  | CR1      |
| SD05_PZ   | 10,0           | 10,5 | CR2      |
| SD05_PZ   | 21,0           | 22,0 | CR3      |
| SD05_PZ   | 28,0           | 28,5 | CR4      |
| SD06_PZ   | 2,0            | 2,5  | CR1      |
| SD06_PZ   | 5,0            | 5,5  | CR2      |
| SD06_PZ   | 9,0            | 9,5  | CR3      |
| SD06_PZ   | 15,5           | 16,0 | CR4      |

| Sondaggio   | Profondità [m] |      | Campione |
|-------------|----------------|------|----------|
|             | da             | a    |          |
| SD06_PZ     | 22,5           | 23,0 | CI1      |
| SD07_DH     | 2,0            | 2,5  | CR1      |
| SD07_DH     | 5,0            | 5,5  | CR2      |
| SD07_DH     | 7,0            | 7,5  | CR3      |
| SD07_DH     | 12,5           | 13,0 | CR4      |
| SD08_DH     | 2,0            | 2,5  | CR1      |
| SD08_DH     | 7,0            | 8,0  | CR2      |
| SD08_DH     | 13,5           | 14,0 | CR3      |
| SD08_DH     | 21,0           | 21,5 | CR4      |
| SD08_DH     | 29,0           | 29,5 | CR5      |
| SD09_PZ     | 2,5            | 3,0  | CR1      |
| SD09_PZ     | 7,0            | 8,0  | CR2      |
| SD09_PZ     | 13,5           | 14,0 | CR3      |
| SD09_PZ     | 21,0           | 21,5 | CR4      |
| SD09_PZ     | 29,5           | 30,0 | CR5      |
| SD09_bis_PZ | 2,0            | 2,5  | CR1      |
| SD09_bis_PZ | 7,5            | 8,0  | CR2      |
| SD09_bis_PZ | 15,5           | 16,0 | CR3      |
| SD09_bis_PZ | 25,5           | 26,0 | CR4      |
| SD09_ter_DH | 2,0            | 3,0  | CR1      |
| SD09_ter_DH | 7,0            | 8,0  | CR2      |
| SD09_ter_DH | 13,5           | 14,0 | CR3      |
| SD09_ter_DH | 21,0           | 21,5 | CR4      |
| SD09_ter_DH | 29,5           | 30,0 | CR5      |
| SD10_DH     | 2,5            | 3,0  | CR1      |
| SD10_DH     | 7,0            | 7,5  | CR2      |
| SD10_DH     | 10,0           | 11,0 | CR3      |
| SD10_DH     | 16,5           | 17,0 | CR4      |
| SD10_DH     | 26,5           | 27,0 | CR5      |
| SD11_PZ     | 2,5            | 3,0  | CR1      |
| SD11_PZ     | 8,5            | 9,0  | CR2      |
| SD11_PZ     | 13,5           | 14,0 | CR3      |
| SD11_PZ     | 17,0           | 18,0 | CR4      |
| SD11_PZ     | 21,5           | 22,0 | CR5      |
| SD12_PZ     | 2,5            | 3,0  | CR1      |

| Sondaggio   | Profondità [m] |      | Campione |
|-------------|----------------|------|----------|
|             | da             | a    |          |
| SD12_PZ     | 7,0            | 8,0  | CR2      |
| SD12_PZ     | 13,0           | 14,0 | CR3      |
| SD12_PZ     | 19,0           | 20,0 | CR4      |
| SD12_PZ     | 24,0           | 25,0 | CR5      |
| SD12_PZ     | 31,0           | 32,0 | CR6      |
| SD12_bis_PZ | 2,0            | 3,0  | CR1      |
| SD12_bis_PZ | 7,0            | 8,0  | CR2      |
| SD12_bis_PZ | 13,0           | 14,0 | CR3      |
| SD12_bis_PZ | 19,0           | 20,0 | CR4      |
| SD12_bis_PZ | 23,0           | 24,0 | CR5      |
| SD12_bis_PZ | 29,0           | 30,0 | CR6      |
| SD13_DH     | 2,5            | 3,0  | CR1      |
| SD13_DH     | 5,5            | 6,0  | CR2      |
| SD13_DH     | 10,5           | 11,0 | CR3      |
| SD13_DH     | 15,5           | 16,0 | CR4      |
| SD13_DH     | 19,5           | 20,0 | CR5      |
| SD13_DH     | 21,5           | 22,0 | CR6      |
| SD13_DH     | 26,5           | 27,0 | CR7      |
| SD13_DH     | 32,5           | 33,0 | CR8      |
| SD14_DH     | 3,0            | 4,0  | CR1      |
| SD14_DH     | 7,0            | 10,0 | CR2      |
| SD14_DH     | 11,5           | 12,5 | CR3      |
| SD14_DH     | 17,0           | 17,5 | CR4      |
| SD14_DH     | 22,0           | 22,5 | CR5      |
| SD14_DH     | 29,5           | 30,0 | CR6      |
| SD16_DH     | 3,0            | 4,0  | CR1      |
| SD16_DH     | 5,0            | 5,5  | CR2      |
| SD16_DH     | 12,5           | 13,0 | CR3      |
| SD16_DH     | 19,5           | 20,0 | CR4      |
| SD17_DH     | 2,0            | 2,5  | CR1      |
| SD17_DH     | 7,5            | 8,0  | CR2      |
| SD17_DH     | 15,5           | 16,0 | CR3      |
| SD17_DH     | 25,5           | 26,0 | CR4      |
| SD18_PZ     | 2,5            | 3,0  | CR1      |
| SD18_PZ     | 6,5            | 7,0  | CR2      |
| SD18_PZ     | 14,0           | 14,5 | CR3      |
| SD18_PZ     | 20,0           | 20,5 | CR4      |
| SD19_DH     | 1,5            | 2,0  | CR1      |

| Sondaggio | Profondità [m] |       | Campione |
|-----------|----------------|-------|----------|
|           | da             | a     |          |
| SD19_DH   | 5,0            | 5,5   | CR2      |
| SD19_DH   | 12,5           | 13,0  | CR3      |
| SD19_DH   | 19,5           | 20,0  | CR4      |
| SD20_DH   | 2,0            | 2,5   | CR1      |
| SD20_DH   | 5,0            | 5,5   | CR2      |
| SD20_DH   | 12,5           | 13,0  | CR3      |
| SD20_DH   | 19,5           | 20,0  | CR4      |
| SD21_PZ   | 3,0            | 3,5   | CR1      |
| SD21_PZ   | 6,0            | 6,5   | CR2      |
| SD21_PZ   | 11,5           | 12,0  | CR3      |
| SD21_PZ   | 15,5           | 16,0  | CR4      |
| SD22_PZ   | 26,0           | 26,5  | CR1      |
| SD22_PZ   | 27,0           | 27,5  | CR2      |
| SD22_PZ   | 30,0           | 30,5  | CR3      |
| SD22_PZ   | 32,5           | 33,0  | CR4      |
| SD22_PZ   | 35,0           | 35,5  | CR5      |
| SD22_PZ   | 38,0           | 39,0  | CR6      |
| SD23_PZ   | 45,5           | 46,5  | CL1      |
| SD23_PZ   | 47,0           | 48,0  | CL2      |
| SD23_PZ   | 49,0           | 50,0  | CL3      |
| SD23_PZ   | 52,0           | 53,0  | CL4      |
| SD23_PZ   | 55,0           | 56,0  | CL5      |
| SD23_PZ   | 57,5           | 58,0  | CL6      |
| SD24_PZ   | 70,0           | 71,0  | CL1      |
| SD24_PZ   | 72,0           | 73,0  | CL2      |
| SD24_PZ   | 75,0           | 76,0  | CL3      |
| SD24_PZ   | 80,0           | 81,0  | CL4      |
| SD24_PZ   | 80,0           | 81,0  | CL5      |
| SD24_PZ   | 83,0           | 84,0  | CL6      |
| SD25_PZ   | 115,0          | 116,0 | CL1      |
| SD25_PZ   | 117,5          | 118,5 | CL2      |
| SD25_PZ   | 120,0          | 121,0 | CL3      |
| SD25_PZ   | 123,0          | 124,0 | CL4      |
| SD25_PZ   | 126,5          | 127,5 | CL5      |
| SD25_PZ   | 128,0          | 129,0 | CL6      |
| SD26      | 1,0            | 2,0   | CR1      |
| SD26      | 3,0            | 4,0   | CR2      |

Tabella 4.4: Campioni litoidi, indisturbati e rimaneggiati prelevati

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| <b>VE407</b>          | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

Sono state eseguite, durante la campagna, 30 prove di permeabilità Léfranc, 10 prove Lugeon e 20 prove dilatometriche:

| Anno | Sondaggio   | Profondità |      | Perm. Léfranc | Perm. Lugeon | Dilat. | Anno | Sondaggio | Profondità |       | Perm. Léfranc | Perm. Lugeon | Dilat. |
|------|-------------|------------|------|---------------|--------------|--------|------|-----------|------------|-------|---------------|--------------|--------|
|      |             | da[m]      | a[m] |               |              |        |      |           | da[m]      | a[m]  |               |              |        |
| 2021 | SD00A_DH    | 9,7        | 9,2  | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD17_DH   | 8,5        | 9,0   | LEF1          | -            | -      |
| 2021 | SD00A_DH    | 20,5       | 21,0 | LEF2          |              |        | 2021 | SD18_PZ   | 11,5       | 12,0  | LEF1          | -            | -      |
| 2021 | SD00B_DH    | 10,0       | 10,5 | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD19_DH   | 13,0       | 13,5  | LEF1          | -            | -      |
| 2021 | SD00B_DH    | 14,5       | 15,0 | LEF2          |              |        | 2021 | SD20_DH   | 11,5       | 12,0  | LEF1          | -            | -      |
| 2021 | SD01_DH     | 14,5       | 15,0 | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD21_PZ   | 14,5       | 15,0  | LEF1          | -            | -      |
| 2021 | SD01_DH     | 29,5       | 30,0 | LEF2          |              |        | 2021 | SD22_PZ   | 46,0       | 47,0  | -             | -            | DIL1   |
| 2021 | SD02_DH     | 8,5        | 9,0  | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD23_PZ   | 39,5       | 44,5  | -             | LUG1         | -      |
| 2021 | SD02_DH     | 26,5       | 27,0 | LEF2          |              |        | 2021 | SD23_PZ   | 44,0       | 45,0  | -             | -            | DIL1   |
| 2021 | SD03_PZ     | 20,5       | 21,0 | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD23_PZ   | 46,0       | 47,0  | -             | -            | DIL2   |
| 2021 | SD05_PZ     | 11,5       | 12,0 | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD23_PZ   | 47,0       | 48,0  | -             | -            | DIL3   |
| 2021 | SD05_PZ     | 19,3       | 19,8 | LEF2          |              |        | 2021 | SD23_PZ   | 46,0       | 51,0  | -             | LUG2         | -      |
| 2021 | SD06_PZ     | 5,5        | 6,0  | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD23_PZ   | 49,0       | 50,0  | -             | -            | DIL4   |
| 2021 | SD06_PZ     | 17,5       | 18,0 | LEF2          |              |        | 2021 | SD23_PZ   | 51,0       | 52,0  | -             | -            | DIL5   |
| 2021 | SD07_DH     | 5,5        | 6,0  | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD23_PZ   | 53,0       | 54,0  | -             | -            | DIL6   |
| 2021 | SD07_DH     | 14,5       | 15,0 | LEF2          |              |        | 2021 | SD23_PZ   | 54,0       | 55,0  | -             | -            | DIL7   |
| 2022 | SD08_DH     | 14,5       | 15,0 | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD23_PZ   | 57,0       | 58,0  | -             | -            | DIL8   |
| 2022 | SD08_DH     | 20,5       | 21,0 | LEF2          |              |        | 2021 | SD23_PZ   | 57,0       | 62,0  | -             | LUG3         | -      |
| 2021 | SD09_PZ     | 11,5       | 12,0 | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD24_PZ   | 55,0       | 60,0  | -             | LUG1         |        |
| 2021 | SD09_PZ     | 17,5       | 18,0 | LEF2          |              |        | 2021 | SD24_PZ   | 69,0       | 70,0  | -             | -            | DIL1   |
| 2021 | SD09_bis_PZ | 10,0       | 10,5 | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD24_PZ   | 72,0       | 77,0  | -             | LUG2         | -      |
| 2021 | SD09_ter_DH | 11,5       | 12,0 | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD24_PZ   | 74,0       | 75,0  | -             | -            | DIL2   |
| 2021 | SD09_ter_DH | 17,5       | 18,0 | LEF2          |              |        | 2021 | SD24_PZ   | 79,0       | 80,0  | -             | -            | DIL3   |
| 2021 | SD10_DH     | 10,5       | 11,0 | LEF1          | -            | -      | 2021 | SD24_PZ   | 79,5       | 85,5  | -             | LUG3         | -      |
| 2021 | SD10_DH     | 23,5       | 24,0 | LEF2          |              |        | 2021 | SD24_PZ   | 84,0       | 85,0  | -             | -            | DIL4   |
| 2021 | SD11_PZ     | 9,9        | 10,4 | LEF1          | -            | -      | 2022 | SD25_PZ   | 111,8      | 116,8 | -             | LUG1         | -      |
| 2021 | SD11_PZ     | 15,5       | 16,0 | LEF2          |              |        | 2022 | SD25_PZ   | 115,0      | 116,0 | -             | -            | DIL1   |
| 2022 | SD12_PZ     | 12,0       | 12,5 | LEF1          | -            | -      | 2022 | SD25_PZ   | 116,0      | 117,0 | -             | -            | DIL2   |
| 2022 | SD12_PZ     | 20,0       | 20,5 | LEF2          |              |        | 2022 | SD25_PZ   | 117,0      | 118,0 | -             | -            | DIL3   |
| 2022 | SD12_bis_PZ | 13,0       | 13,5 | LEF1          | -            | -      | 2022 | SD25_PZ   | 118,5      | 119,5 | -             | -            | DIL4   |
| 2022 | SD12_bis_PZ | 19,0       | 19,5 | LEF2          |              |        | 2022 | SD25_PZ   | 117,0      | 122,0 | -             | LUG2         | -      |
| 2021 | SD13_DH     | 10,0       | 10,5 | LEF1          | -            | -      | 2022 | SD25_PZ   | 122,0      | 123,0 | -             | -            | DIL5   |
| 2021 | SD13_DH     | 16,0       | 16,5 | LEF2          |              |        | 2022 | SD25_PZ   | 125,0      | 126,0 | -             | -            | DIL6   |
| 2022 | SD14_DH     | 13,1       | 13,5 | LEF1          | -            | -      | 2022 | SD25_PZ   | 122,8      | 127,8 | -             | LUG3         | -      |
| 2022 | SD14_DH     | 21,0       | 21,5 | LEF2          |              |        | 2022 | SD25_PZ   | 128,0      | 129,0 | -             | -            | DIL7   |
| 2021 | SD16_DH     | 17,5       | 18,0 | LEF1          | -            | -      | 2022 | SD25_PZ   | 128,0      | 133,0 | -             | LUG4         | -      |

Tabella 4.5: Posizione delle prove Léfranc, Lugeon e dilatometriche

|                       |                                    |   |
|-----------------------|------------------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                                    | <br><b>anas</b><br><small>GRUPPO FS ITALIANE</small> |
| Variante di Longarone |                                    |   |
| <b>VE407</b>          | <b><i>Relazione Geotecnica</i></b> |   |

In laboratorio si è proceduto all'esecuzione di cicli completi di prove d'identificazione consistenti in determinazioni del contenuto d'acqua naturale, del peso di volume naturale, secco e dei granuli, della massa volumica reale, della porosità, dell'indice dei vuoti, del grado di saturazione, dei limiti di Atterberg, del limite di ritiro, della composizione granulometrica per stacciatura e sedimentazione.

Sono state anche eseguite prove meccaniche (prove di compressione edometrica, prove di taglio diretto consolidate drenate CD).

Su campioni di roccia lapidea sono state eseguite prove di compressione monoassiale con misura delle deformazioni assiali, prove point load e prove di compressione triassiale.

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             | <br><b>anas</b><br><small>GRUPPO FS ITALIANE</small> |
| Variante di Longarone |                             |   |
| <b>VE407</b>          | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce interessati dalla galleria si è fatto riferimento ai risultati della campagna di indagini, richiamate nel paragrafo precedente, a conoscenze acquisite dallo studio delle carte geologiche e a dati di letteratura.

I terreni e le rocce che ricadono nel volume di terreno significativo ai fini geotecnici sono stati raggruppati in 2 classi, per ciascuna delle quali possono distinguersi i termini principali indicati nella tabella che segue.

| Terreni sciolti |  |
|-----------------|--|
| <b>FLG</b>      | <b>Ghiaie e Sabbie</b> , ghiaie con sabbia e sabbie con ghiaie, spesso da limose a debolmente limose, raramente con ciottoli, di origine fluvio-glaciale blandamente cementate. I grani presentano spesso spigoli arrotondati. Colore dall'avana al beige al biancastro, con rari segmenti giallastri. Rara presenza di sezioni più limose a profondità elevate. |
| Rocce lapidee   |  |
| <b>Ca</b>       | <b>Calcari e calcareniti</b> , color grigio chiaro con patine e zone ossidate color avana, con discontinuità spesso ricementate. Presenta di fratture variamente orientate da sub-orizzontali a inclinate di circa 45°. Le discontinuità si presentano lisce e parzialmente ossidate. A zone l'ammasso risulta più fratturato.                                   |

*Tabella 5.1: Classificazione geotecnica dei terreni*

Per ciascun sondaggio sono indicati i terreni riconosciuti dall'esame delle stratigrafie, la posizione dei campioni indisturbati e dei piezometri, i valori  $N_{30}$  ricavati dalle prove SPT, la profondità della falda ove presente.

Si rimanda alla relazione geotecnica T00GE00GETRE01A per la caratterizzazione di tutte le unità interessate dal tracciato.

Dal punto di vista geotecnico è possibile osservare come la galleria attraversi stratigrafie omogenee costituite da terreni FLG a ricoprimento dell'ammasso Ca nei primi 200 m e nei calcari Ca successivamente.

Nelle pagine che seguono si illustrano, per ciascuno dei terreni indicati nella classificazione geotecnica, le principali caratteristiche fisiche e meccaniche determinate con le indagini in sito e di laboratorio. In particolare, si è fatto riferimento alle campagne di indagine recenti eseguite sui terreni di fondazione, i cui risultati sono riportati negli specifici elaborati allegati al progetto, corredati di tabelle di sintesi, ai quali si rimanda per i dettagli sui valori sperimentali analizzati nella presente relazione.

I terreni a granulometria prevalentemente sabbioso-ghiaiosa sono stati caratterizzati da parametri di resistenza in termini di sforzi effettivi, determinati sulla base di correlazioni con i risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT utilizzando le seguenti correlazioni:

- Shioi & Fukuni (1982):  $\varphi' = 0,3 \times N_{60} + 27^\circ$ ;
- Peck, Hanson and Thornburn (1956):  $\varphi' = 0,28 \times N_{SPT} + 27,2^\circ$ .

|   |                             |   |
|---|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"<br>Variante di Longarone |                             |  |
| VE407                                     | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

Per la determinazione della densità relativa  $D_r$  dei terreni sabbioso-ghiaiosi si è fatto riferimento alle correlazioni che legano il numero di colpi  $N_{SPT}$  a  $D_r$ :

- Gibbs & Holtz (1957):

$$N_{SPT} = \left( 17 + 24 \cdot \frac{\sigma_{v0}}{p_a} \right) \cdot D_r^2$$

- Schultze & Mezembach (1961):

$$\ln(D_r\%) = 0,478 \times \ln(N_{SPT}) - 0,262 \times \ln(\sigma'_{v0}) + 2,84.$$

I valori del modulo di taglio  $G_0$  e del modulo di elasticità  $E_0$  iniziali sono stati ricavati a partire dai valori della velocità delle onde di taglio  $V_s$  ottenuti indirettamente a partire dai valori di  $N_{SPT}$ .

La velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  può essere ricavata direttamente dai risultati delle prove Down-Hole oppure valutata indirettamente, dai risultati delle prove SPT, per mezzo dell'equazione di Ohta & Goto (1978):

$$V_s = 67,3 \times N_{60}^{0,17} \times z^{0,199} \times A \times B$$

dove:

- ✓  $z$  è la profondità di calcolo (m dal p.c.) della velocità di propagazione delle onde di taglio;
- ✓  $A$  è il fattore che tiene conto dell'età geologica del deposito (v. tabella sotto);
- ✓  $B$  è il fattore che tiene conto della granulometria del deposito (v. tabella sotto).

|   |                     |                     |
|---|---------------------|---------------------|
|   | Depositi<br>recenti | Depositi<br>antichi |
| A | 1,0                 | 1,3                 |

Tabella 5.2: Coefficiente A funzione dell'epoca geologica del deposito

|   |        |                    |                  |                 |                |
|---|--------|--------------------|------------------|-----------------|----------------|
|   | Ghiaia | Sabbia<br>ghiaiosa | Sabbia<br>grossa | Sabbia<br>media | Sabbia<br>fina |
| B | 3500   | 3287               | 20336            | 329             | 62             |

Tabella 5.3: Coefficiente B funzione della composizione granulometrica del deposito

Il modulo di taglio a piccolissime deformazioni  $G_0$  si ricava dalla seguente espressione:

$$G_0 = V_s^2 \gamma / g$$

dove:

- ✓  $\gamma$  è il peso dell'unità di volume del terreno ( $\text{kN/m}^3$ );
- ✓  $g$  è l'accelerazione di gravità pari a  $9,81 \text{ m/sec}^2$ .

Pertanto, risulta:

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

con  $\nu$  modulo di Poisson.

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| VE407                 | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

Per la stima del modulo elastico operativo  $E'_{op}$  dei terreni a granulometria prevalentemente sciolta a partire dai risultati delle prove SPT, si è fatto ricorso a relazioni empiriche:

- $E'_{op} = 2,0 \times N_{60}$  (Schmertmann - per sabbia a grana grossa)
- $E'_{op} = (191 + 7,71 \times N_{60}) / 10$  (D'Appolonia – per sabbia e ghiaia normalmente consolidata)
- $E'_{op} = 1,2 \times (6 + N_{60} / 60 \times 55)$  (European Conference on SPT, 1974 – per sabbia ghiaiosa e ghiaia.

Per caratterizzare l'ammasso roccioso si ricorre alla classificazione di Bieniawsky e ai criteri di rottura di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb.

La classificazione di Bieniawsky prevede la determinazione dell'indice RMR (Rock Mass Rating) attraverso lo studio delle caratteristiche della roccia intatta e dei sistemi di discontinuità dell'ammasso, determinabili tramite prove in laboratorio e misure in sito.

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

con:

- $A_1$  parametro dipendente dalla resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta  $\sigma_{ci}$ ;
- $A_2$  parametro dipendente dall'indice RQD (Rock Quality Designation), determinabile dall'osservazione delle cassette dei carotaggi;
- $A_3$  parametro dipendente dalla spaziatura delle discontinuità;
- $A_4$  parametro dipendente dalle caratteristiche delle discontinuità (persistenza, apertura, rugosità, alterazione, riempimento);
- $A_5$  parametro dipendente dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m;
- $A_6$  parametro di correzione per l'orientamento delle discontinuità rispetto al fronte di scavo, differenziato per gallerie e fondazioni.

Il criterio di Hoek-Brown permette di determinare le caratteristiche dell'ammasso roccioso sulla base dei seguenti parametri:

- $\sigma_{ci}$ ;
- GSI, Geological Strength Index, calcolato dall'RMR nelle condizioni di assenza di venute d'acqua, orientazione molto favorevole delle discontinuità e riducendo tale valore di 5;
- $m_i$ , parametro costante dipendente dal materiale dell'ammasso;
- D, grado di disturbo dell'ammasso causato dallo scavo;
- $\gamma_{rm}$ , densità dell'ammasso roccioso;
- h, profondità rispetto al piano campagna della galleria.

Durante i successivi calcoli si utilizzeranno i parametri di resistenza alla Mohr-Coulomb, determinati in funzione dei parametri di Hoek-Brown attraverso le seguenti relazioni:

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

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

con:

|                       |                                    |   |
|-----------------------|------------------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                                    |  |
| Variante di Longarone |                                    |   |
| <b>VE407</b>          | <b><i>Relazione Geotecnica</i></b> |   |

- a, s costanti per l'ammasso roccioso calcolati sulla base del GSI e del grado di disturbo D;
- $m_b$ , valore ridotto dell' $m_i$  per l'ammasso;
- $\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma_{ci}$ .

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| VE407                 | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

## 5.1 Terreni sciolti

### 5.1.1 Materiale di riporto – TR

Terreno vegetale, di spessore generalmente pari a 50-100 cm, di natura eterogenea, spesso rimaneggiato, con granulometria da sabbia e ghiaia a sabbia con limo con frequenti ciottoli arrotondati e colore da beige a marrone, spesso con componente vegetale. La natura del terreno è variabile, spesso materiale di riporto TR (rinterro, cemento, etc.) o detrito dtr.

### 5.1.2 Alluvioni fluvio-glaciali a grana grossa – FLG

Le alluvioni fluvio-glaciali a grana grossa FLG sono state rinvenute tra le progressive 0+840 e 3+100, 8+660 e 9+960 con spessori fino ad oltre 30 m e rare lenti a grana più fina.

La composizione granulometrica è variabile da ghiaia e sabbie a ghiaie con sabbie a sabbie con ghiaie, spesso da limose a debolmente limose, raramente con ciottoli, blandamente cementate. I grani presentano spesso spigoli arrotondati. Rara presenza di sezioni più limose a profondità elevate. Le percentuali di passante in peso di ghiaia e di sabbia mediamente risultano pari al 60% e al 20%, mentre la percentuale di fine si attesta mediamente al 17%.

Si osserva, di seguito, la distribuzione delle percentuali del passante in peso con la profondità per i campioni identificati come FLG. In particolare si indica:

- %G: percentuale di passante in peso di ghiaia;
- %S: percentuale di passante in peso di sabbia;
- %L: percentuale di passante in peso di limo;
- %A: percentuale di passante in peso di argilla.

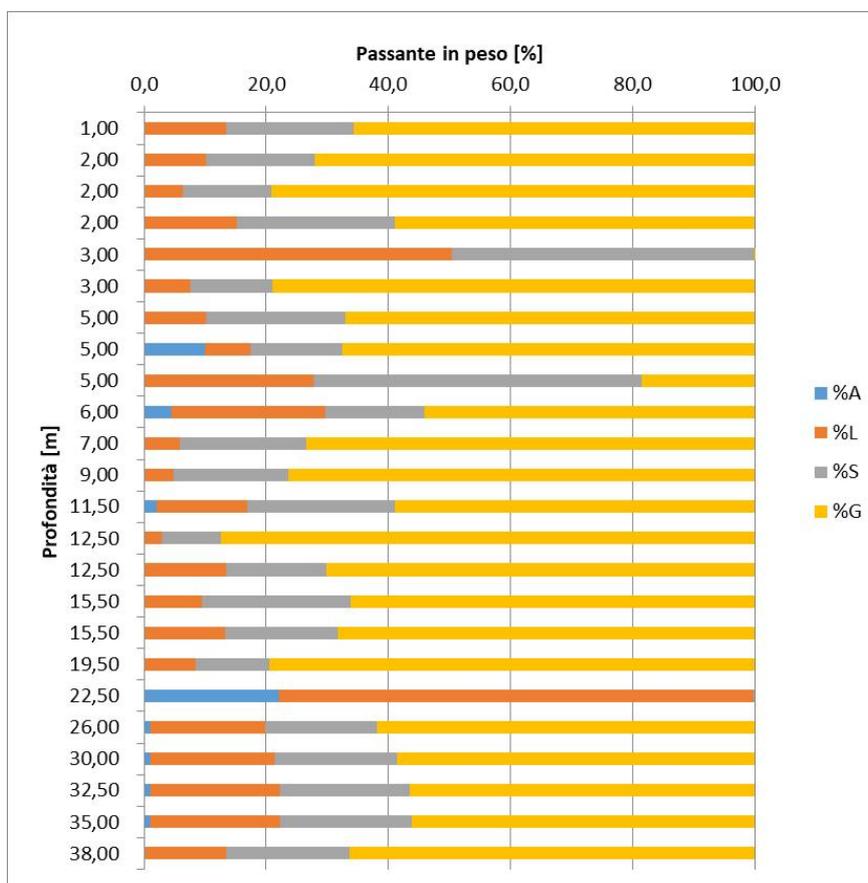


Figura 5.1: Terreni FLG – Andamento del passante in peso con la profondità

In corrispondenza dei campioni con componente limosa più elevata sono stati valutati i limiti di Atterberg, ottenendo i seguenti valori di limite di liquidità  $W_L$  e di plasticità  $W_P$ :

$$W_L = 21 \div 46 \%$$

$$W_P = 12 \div 25 \%$$

Il peso dell'unità di volume naturale  $\gamma$  è compreso tra 20 e 21 kN/m<sup>3</sup>.

Le prove SPT hanno fornito valori principalmente a rifiuto, si procede a riportare di seguito i valori non a rifiuto:

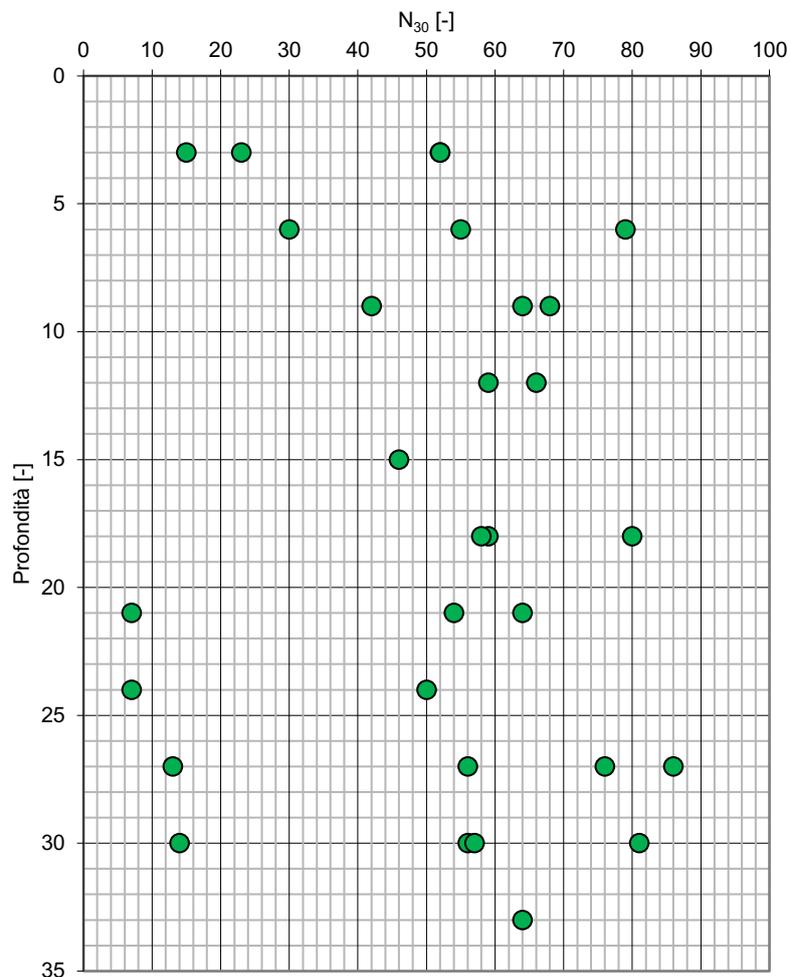


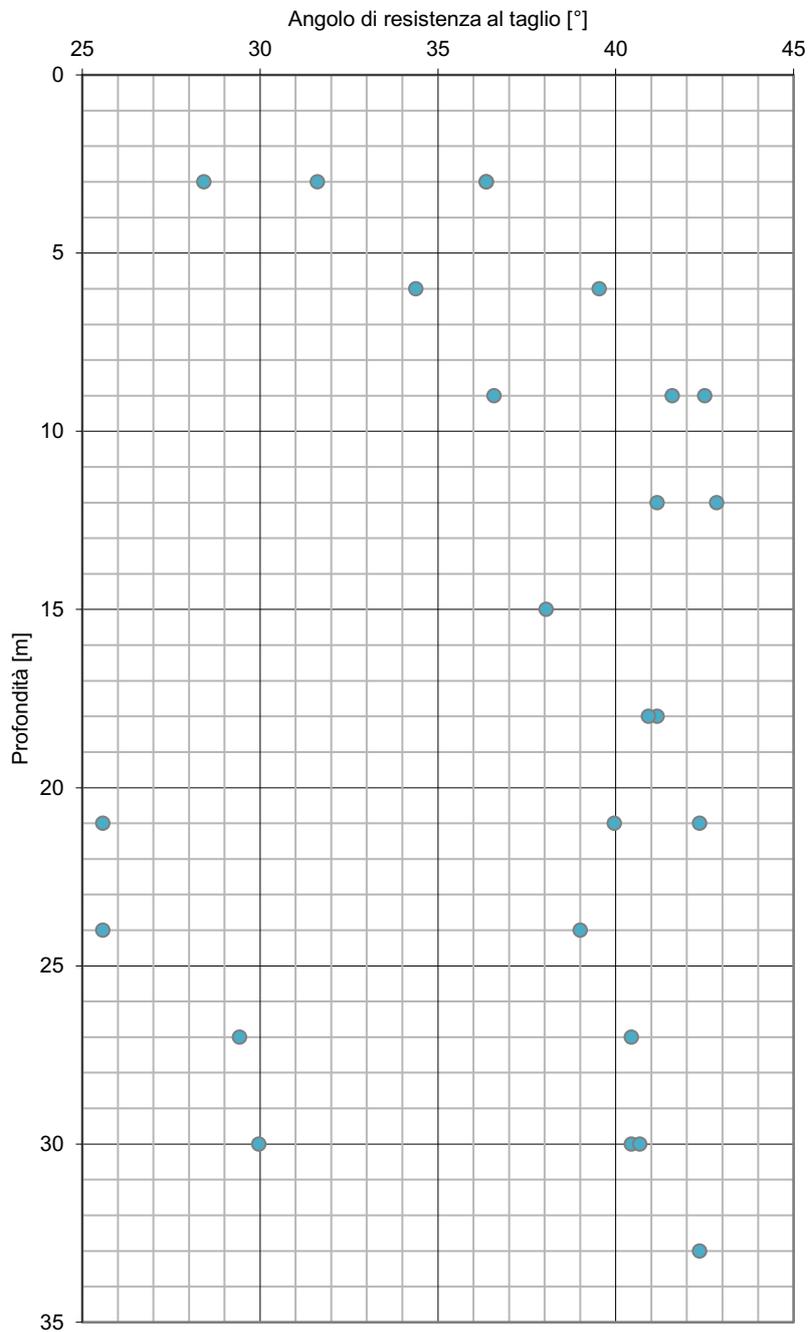
Figura 5.2: Terreni FLG – Valori di  $N_{30}$  da prove SPT

Si evidenzia in particolare un'area, in basso a sinistra nel diagramma sopra riportato, con risultati notevolmente minori degli altri. Tali dati sono relativi al medesimo sondaggio SD06\_PZ e a profondità successive. La concomitanza di tali risultati e l'osservazione delle cassette catalogatrici ha permesso di evidenziare che in tale sondaggio, a profondità maggiori di 21 m, è presente una lente di terreni a grana prevalentemente fine con estensione non definibile. Questi quattro valori non verranno quindi considerati nella determinazione di seguito riportata in quanto non determinati nei terreni limitrofi alla galleria.

Dal'elaborazione delle prove SPT si ricavano i seguenti intervalli per i valori dell'angolo d'attrito  $\varphi'$  e del modulo elastico operativo  $E'_{op\ SPT}$  in termini di pressioni effettive:

$$\varphi' = 35 \div 43^\circ; \quad E'_{op\ SPT} = 40 \div 70 \text{ MPa.}$$

Di seguito si riportano i diagrammi con le elaborazioni delle prove:



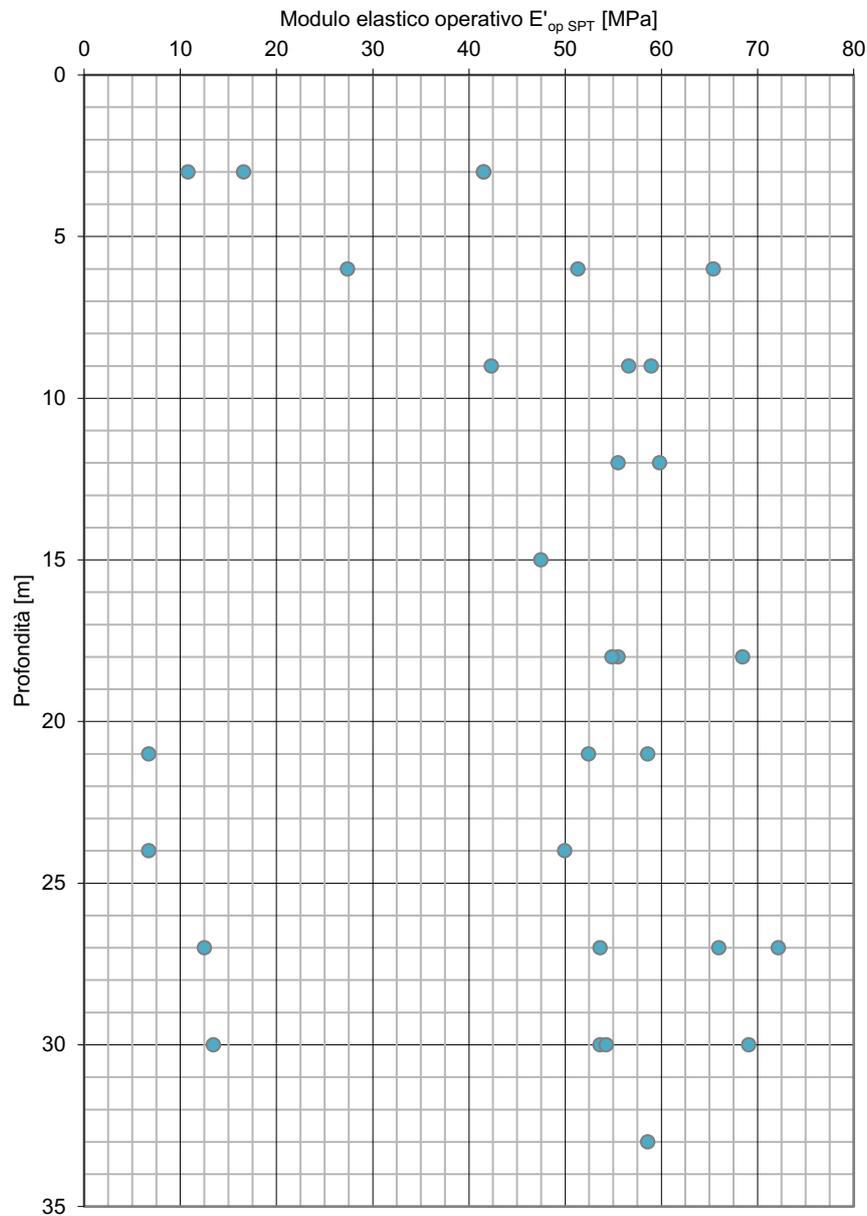


Figura 5.4: Terreni FLG – Valori del modulo elastico operativo da prove SPT

Sul campione SD06-PZ\_CI01 è inoltre stata effettuata una prova di taglio diretto CD, ottenendo un valore di angolo di resistenza al taglio di 24°.

I terreni FLG presentano inoltre una blanda cementazione non apprezzabile dalle cassette catalogatrici. Sulla base dell'esperienza del progettista e in base alle conoscenze acquisite dai sopralluoghi geologici svolti in sito si assegna una coesione efficace approssimativamente pari a 10 kPa per tenere in considerazione la cementazione dell'unità.

## 5.2 Rocce lapidee

### 5.2.1 Calcari e calcareniti - Ca

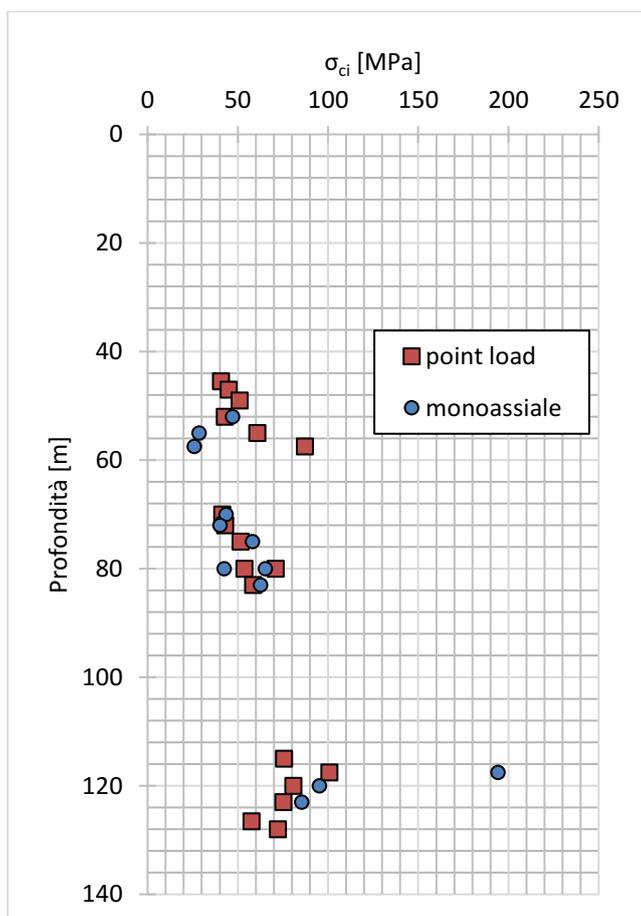
I calcari e le calcareniti Ca sono stati rinvenuti dalle progressive 8+720 fino a fine tracciato come roccia del substrato e spessori non definibili. L'ammasso risulta, con la progressiva, a profondità sempre minori fino a risultare affiorante dopo la progressiva 9+960.

I termini Ca presentano una struttura a tratti massiva a tratti fratturata, con discontinuità variamente orientate da leggermente scabre a lisce e a tratti ricementate compatta lamellare, di colore grigio chiaro con patine e zone ossidate color avana.

La densità  $\gamma$  è generalmente compresa tra 24 e 26 kN/m<sup>3</sup>.

La caratterizzazione meccanica dell'ammasso roccioso si è basata su prove di compressione monoassiale non confinata, su prove point load, su prove triassiali e dell'osservazione delle cassette catalogatrici provenienti dai carotaggi. Per rapportare i valori ottenuti dalle prove point load ai risultati delle prove di compressione monoassiale si considera la seguente relazione:

$$\sigma_{ci,Is} \approx 22 \cdot I_{s50\%}$$



La resistenza a compressione monoassiale è sempre compresa tra 20 e 90 MPa, ad esclusione del sondaggio SD25-PZ\_CL2 dove si ottiene un valore particolarmente elevato di resistenza a compressione monoassiale di 194 MPa. È possibile notare inoltre come risultati più dispersivo il valore ottenuto da prove point load. Tali prove infatti, da letteratura, forniscono risultati che possono discostarsi dalla vera resistenza a compressione monoassiale del 100% del valore.

Le discontinuità dell'ammasso roccioso sono state caratterizzate considerando dei rilievi effettuati in parete (Geostop) in differenti posizioni, qui di seguito evidenziate.

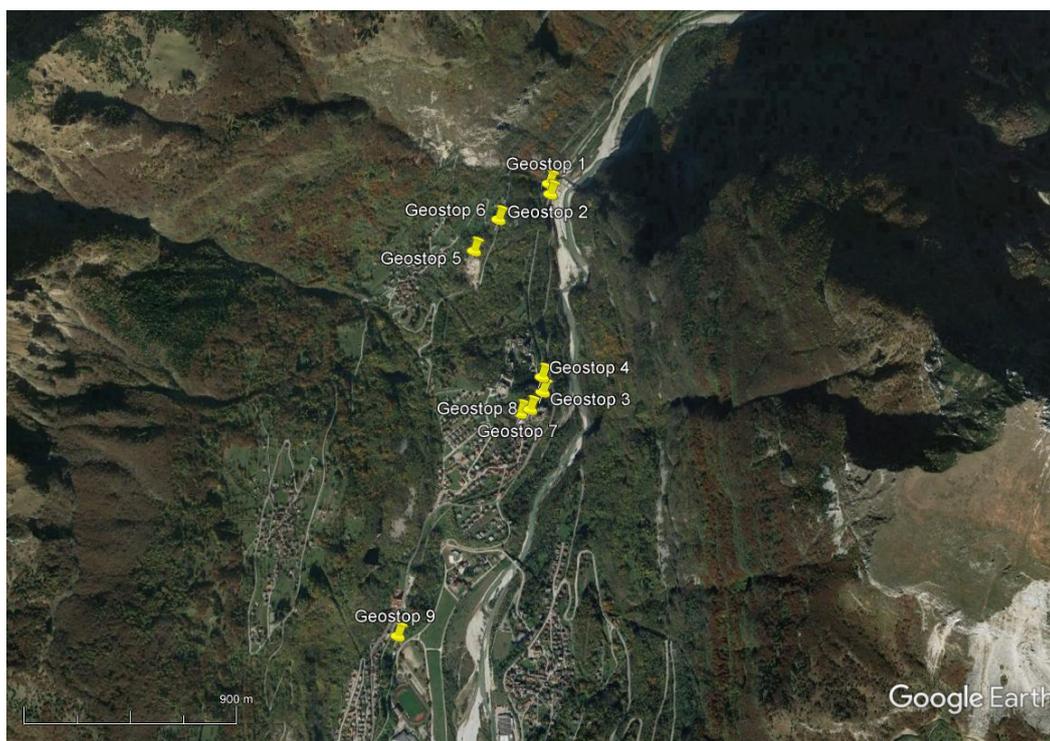


Figura 5.6: Ubicazione Geostop

Ogni discontinuità è stata misurata un numero di volte compreso tra 3 e 6 al fine di ottenere un valore medio affidabile per lo strato. Si riporta di seguito una tabella riassuntiva delle misure.

| GHOSTOP | DIR | DIP |
|---------|-----|-----|
| 1       | 238 | 45  |
|         | 141 | 42  |
|         | 265 | 61  |
|         | 355 | 88  |
|         | 330 | 80  |
| 2       | 42  | 21  |
|         | 344 | 89  |
|         | 258 | 80  |

| GHOSTOP | DIR | DIP |
|---------|-----|-----|
|         | 35  | 70  |
| 3       | 239 | 21  |
|         | 81  | 43  |
|         | 224 | 81  |
|         | 329 | 89  |
| 4       | 288 | 22  |
|         | 310 | 89  |
|         | 33  | 89  |
| 5       | 75  | 80  |
|         | 342 | 80  |
|         | 106 | 45  |
|         | 120 | 31  |
|         | 140 | 89  |
| 6       | 354 | 37  |
|         | 321 | 76  |
|         | 50  | 72  |
|         | 83  | 71  |
| 7       | 40  | 31  |
|         | 285 | 81  |
|         | 261 | 71  |
| 8       | 176 | 33  |
|         | 140 | 89  |
|         | 256 | 71  |
| 9       | 48  | 38  |
|         | 167 | 44  |
|         | 40  | 61  |
|         | 219 | 50  |
|         | 102 | 69  |
|         | 202 | 66  |
|         | 173 | 80  |

*Tabella 5.4: Dip – Dip dir*

Di queste si distinguono:

- Geostop 1, Geostop 2: rilievi effettuati in corrispondenza dell'ammasso roccioso in corrispondenza del viadotto Fason;
- Geostop 3, Geostop 4, Geostop 7, Geostop 8: rilievo effettuato sulle rocce affioranti di interesse per la galleria;
- Geostop 5, Geostop 6: rilievo effettuato sulle rocce affioranti di interesse per la galleria;
- Geostop 9: rilievo effettuato lungo l'asse del tracciato.

Sono state inoltre misurate le caratteristiche dell'ammasso necessaria per la definizione dell'indice RMR, ottenendo:

- Spaziatura generalmente compresa tra 10 e 100 cm, dal quale si è determinato un valore di  $RMR_3$  compreso, a vantaggio di sicurezza, tra 5 e 10;
- Persistenza compresa tra 3 e 20 m, dal quale generalmente è risultato  $RMR_{4.1} = 2$ ;
- Separazione raramente superiore a 0,1 mm, dal quale generalmente è risultato  $RMR_{4.2} = 5$ ;
- Scabrezza variabile, con valori di  $RMR_{4.3}$  compresi, a vantaggio di sicurezza, tra 1 e 3;
- Riempimento generalmente assente, dal quale  $RMR_{4.4} = 6$ .

La valutazione delle singole componenti dell'indice RMR è variata in funzione delle caratteristiche locali dell'ammasso e dall'osservazione delle cassette catalogatrici.

Per la valutazione delle famiglie di discontinuità lungo l'asse della galleria si considerano i Geostop 3, 4, 5, 6, 7, 8. In particolare si suddividono questi in due gruppi. Il primo (Gruppo A) comprende i Geostop 5 e 6, il secondo (Gruppo B), i Geostop 3, 4, 7, 8. Si riportano di seguito le famiglie di discontinuità individuate dall'elaborazione dei due gruppi:

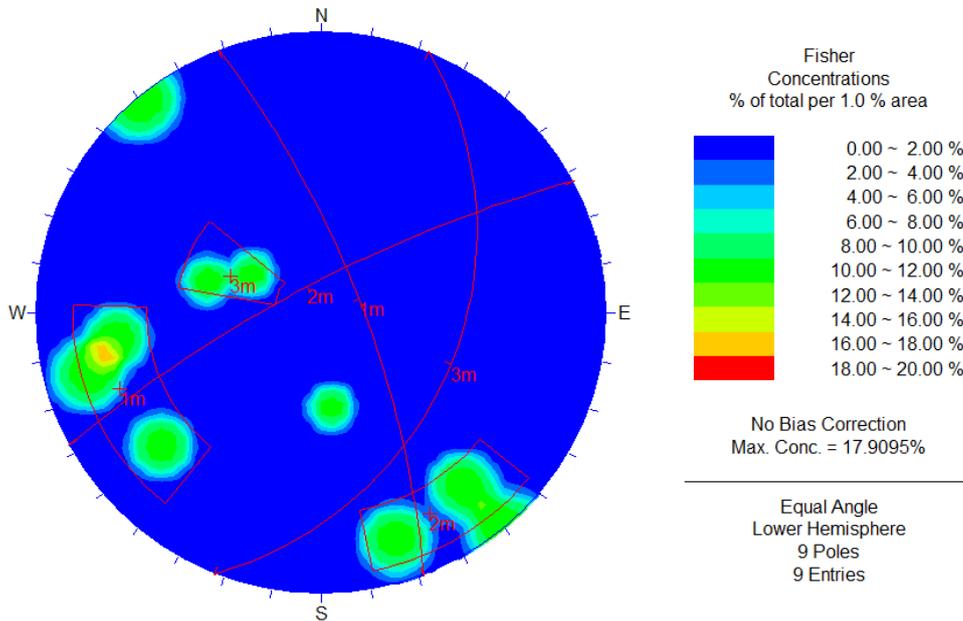
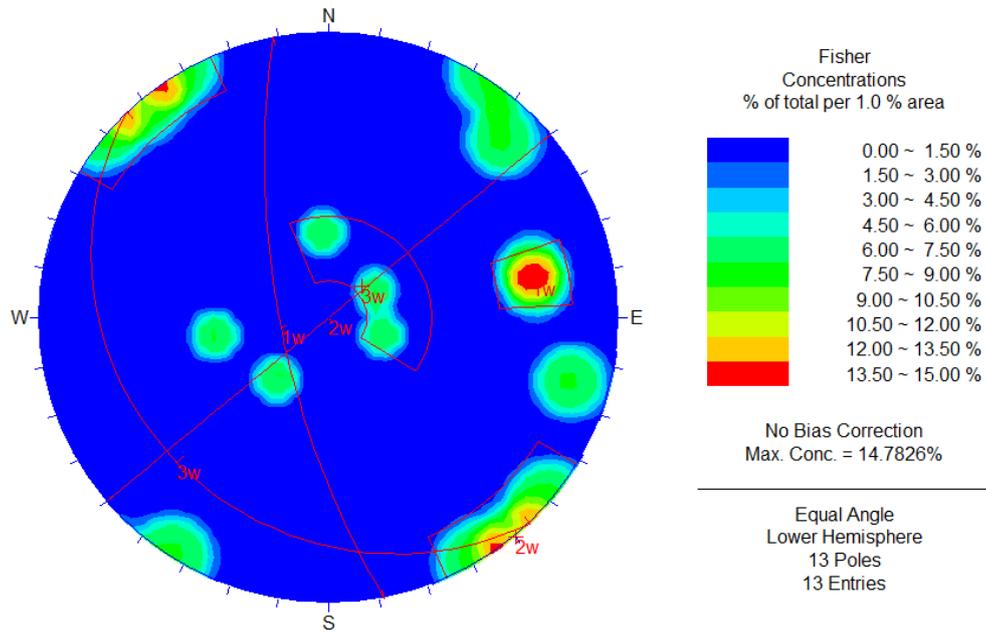


Figura 5.7: Gruppo A

| Famiglia | Dip | Dir |
|----------|-----|-----|
| 1        | 74  | 69  |
| 2        | 78  | 332 |
| 3        | 38  | 112 |

Tabella 5.5: Dip – Dip dir gruppo A



*Figura 5.8: Gruppo B*

| Famiglia | Dip | Dir |
|----------|-----|-----|
| 1        | 71  | 259 |
| 2        | 90  | 320 |
| 3        | 18  | 226 |

*Tabella 5.6: Dip – Dip dir gruppo B*

Si considerano, nel dimensionamento della galleria, i singoli Geostop allo scopo di valutare tutte le possibili instabilità dell'ammasso.

Le caratteristiche di resistenza e deformabilità (coesione  $c$ , angolo di resistenza al taglio  $\phi$ , modulo di Young dell'ammasso roccioso  $E_m$ ) sono state determinate sulla base della teoria di Hoek-Brown per ogni provino testato, interpretando le prove eseguite su roccia intatta sulla base del valore di RQD medio nello strato, del valore di RMR (e conseguentemente del valore di GSI), del grado di disturbo  $D$  e di un valore costante di  $m_i$  pari a 8, dipendente dalla natura geologica della formazione.

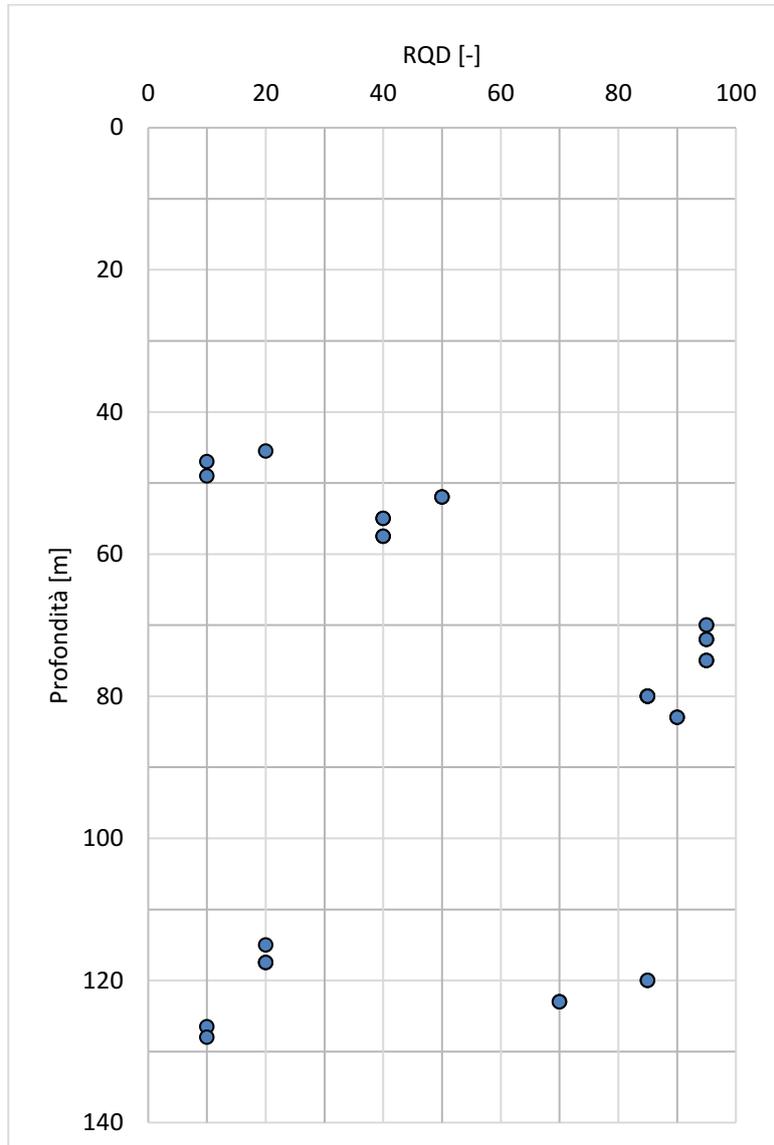


Figura 5.9: Ca – valore medio di RQD nello strato

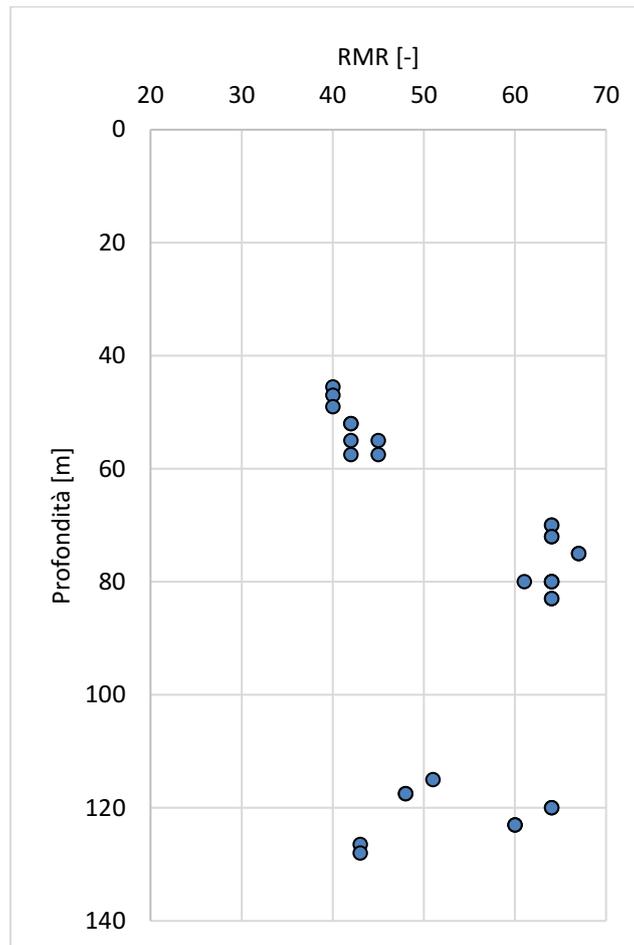


Figura 5.10: Ca - RMR

Le caratteristiche geotecniche dell'ammasso roccioso sono funzione del grado di disturbo dell'ammasso roccioso  $D$  e dell'approfondimento rispetto al piano campagna  $h$ . In funzione di tali parametri si evidenziano i seguenti casi:

1.  $D = 0,0$  ;  $h \approx 100$  m; (asse galleria, fascia non disturbata dalla tecnica di scavo)
2.  $D = 0,5$  ;  $h \approx 100$  m; (asse galleria, fascia disturbata dallo scavo)
3.  $D = 0,0$  ;  $h \approx 0$  m. (fondazione viadotto)

Ottenendo, di conseguenza, i seguenti risultati, distinti per prove di compressione monoassiale (in blu) e per point load (in rosso):

1.

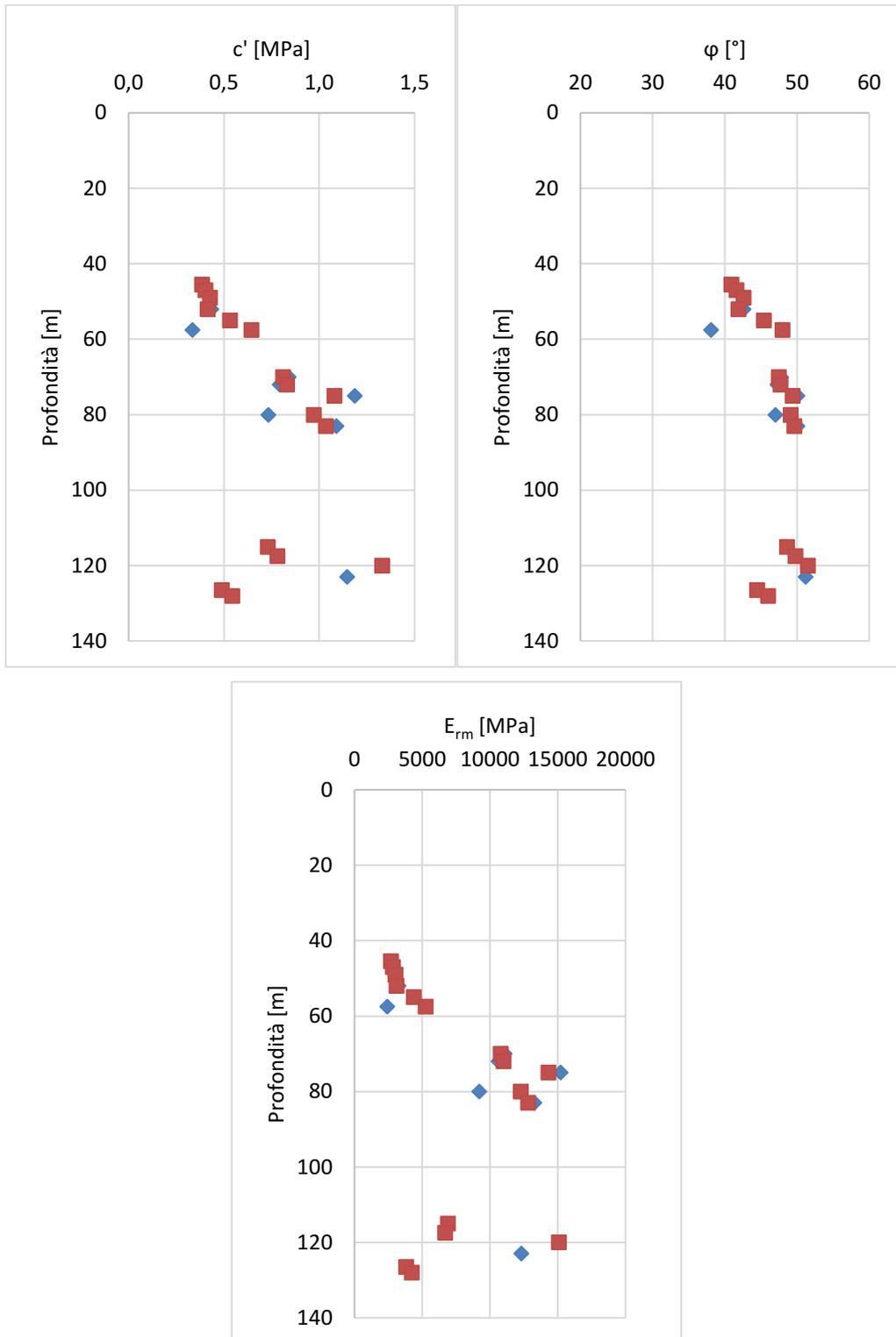


Figura 5.11: Ca – caratteristiche di resistenza per ammasso non disturbato in asse galleria

$c = 0,33 \div 1,18$  MPa;

$\varphi = 38 \div 48$  °;

$E_{rm} = 2,4 \div 12,0$  GPa.

2.

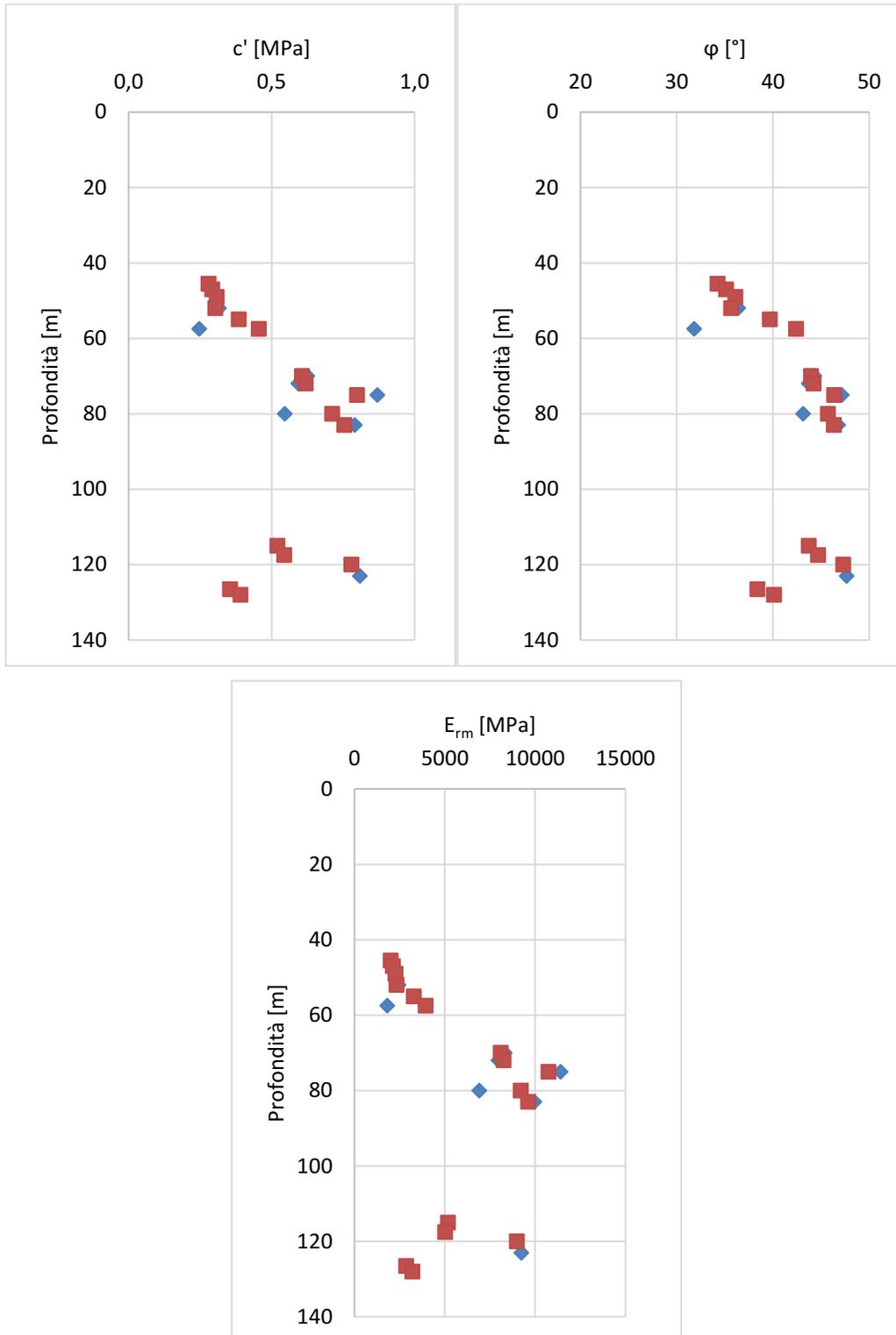


Figura 5.12: Ca – caratteristiche di resistenza per ammasso disturbato in asse galleria

$$c = 0,25 \div 0,87 \text{ MPa};$$

$$\varphi = 31 \div 48 \text{ }^\circ;$$

$$E_{rm} = 1,8 \div 10,0 \text{ GPa}.$$

3.

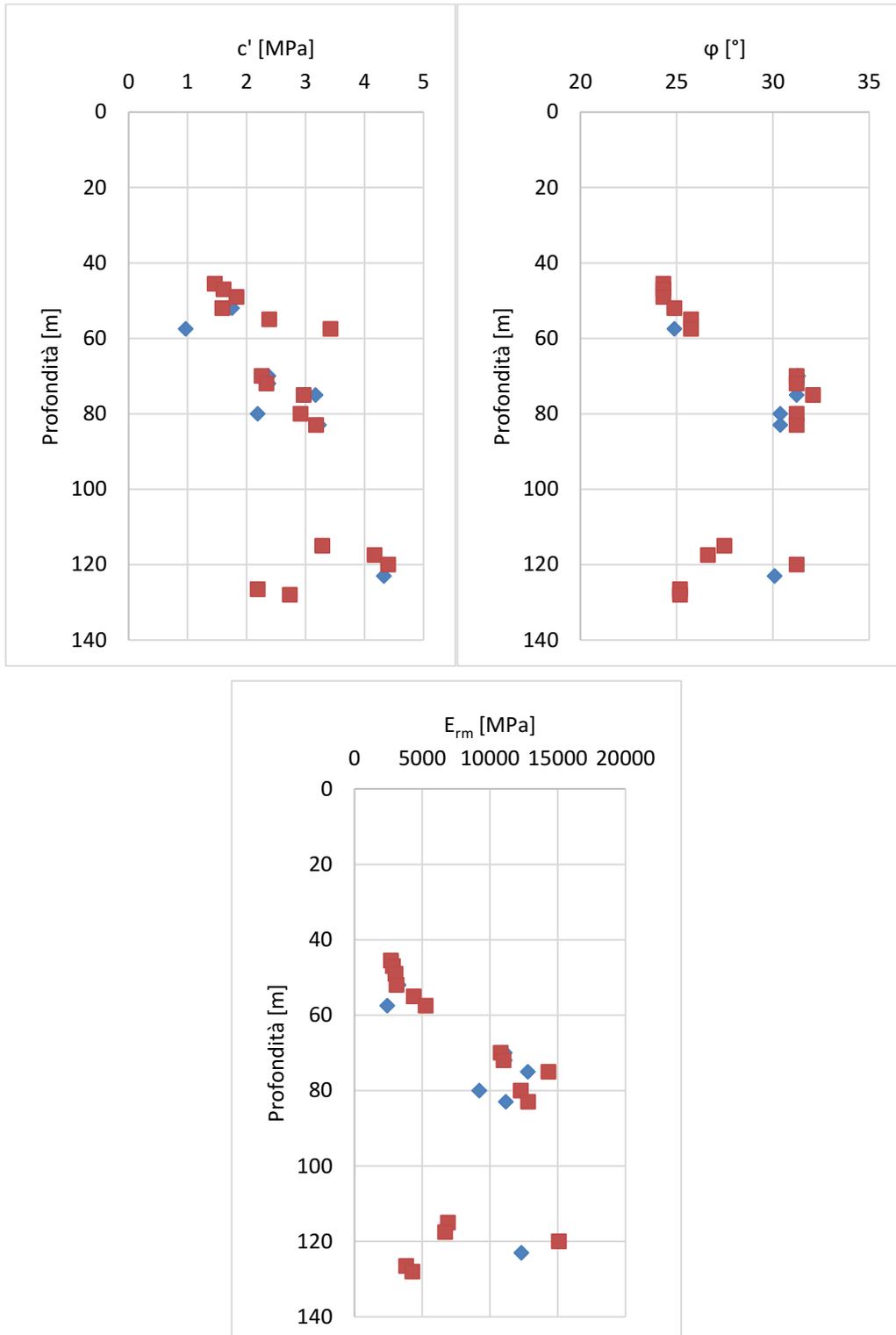


Figura 5.13: Ca – caratteristiche di resistenza per ammasso non disturbato in fondazione viadotto

$$c = 0,95 \div 3,10 \text{ MPa};$$

$$\varphi = 24 \div 31 \text{ }^\circ;$$

$$E_{rm} = 2,4 \div 10,0 \text{ GPa.}$$

In particolare, considerando la presenza di rocce maggiormente fratturate approssimativamente nei primi 5 metri dell'ammasso, si considerino per questi le seguenti caratteristiche minime:

$$c = 0,73 \text{ MPa};$$

$$\varphi = 21^\circ;$$

$$E_m = 1,1 \text{ GPa}$$

Durante le prove di compressione monoassiale sono stati calcolati i valori di modulo di Young secante  $E_{s50}$  e coefficiente di Poisson  $\nu_{50}$ , calcolati al 50% della tensione a rottura:

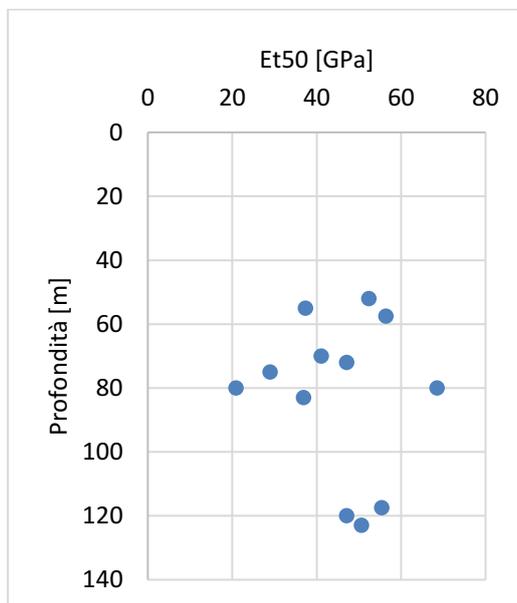


Figura 5.14: Ca – modulo elastico secante  $E_{s50}$

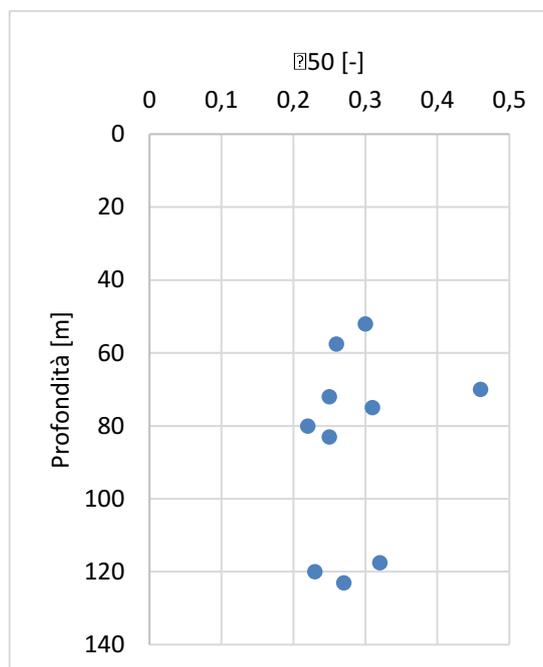


Figura 5.15: Ca – coefficiente di Poisson  $\nu_{50}$

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| VE407                 | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

### 5.3 Falda

L'andamento del pelo libero della falda è stato ricavato dai risultati degli studi geognostici tramite l'installazione di più piezometri a tubo aperto (sondaggi SxxD-PZ), da cui si evince:

- ❑ **dal km 9+315 al km 9+500**  
livello di falda al di sotto dell'asse della galleria nella zona più fratturata dell'ammasso roccioso;
- ❑ **dal km 9+500 al km 9+760**  
livello di falda a profondità variabile ed influenzato dalle numerose faglie sub-verticali, approssimativamente 15 m al di sopra dell'asse della galleria;
- ❑ **dal km 9+760 al km 10+280**  
livello di falda non definibile;
- ❑ **dal km 10+280 al km 10+680**  
livello di falda a profondità variabile ed influenzato dalle numerose faglie sub-verticali, approssimativamente 40 m al di sopra dell'asse della galleria;
- ❑ **dal km 10+680 al km 10+880**  
livello di falda non definibile;

Per una visione più completa del livello di falda in tutto il tracciato si rimanda alla relazione geotecnica generale.

La falda potrebbe subire variazioni stagionali.

### 5.4 Caratterizzazione fisico – meccanica dei terreni

Di seguito sono riportati in sintesi i parametri geotecnici che è possibile attribuire ai terreni che costituiscono il volume significativo ai fini della progettazione.

Tali valori sono stati ricavati sia sulla base delle specifiche prove di laboratorio condotte sui campioni prelevati nel corso dell'ultima campagna di indagini, sia sulla base dei risultati ottenuti dalle prove svolte in sito, sia dai dati acquisiti in occasione di altri lavori su terreni simili a quelli in esame. Si è inoltre fatto riferimento a dati reperibili nella letteratura geotecnica regionale.

I parametri geotecnici valgono per i terreni di tutto il tracciato e con particolare riferimento all'ammasso roccioso della galleria, in considerazione dell'omogeneità di comportamento dei vari termini desunta dai risultati delle indagini in sito e di laboratorio.

Nella tabella che segue si riportano i valori minimi e medi dei parametri fisico-meccanici dei terreni individuati, da utilizzare per il dimensionamento geotecnico e strutturale delle fondazioni delle opere d'arte.

In particolare, si riportano i valori delle seguenti grandezze:

- peso dell'unità di volume naturale  $\gamma_n$ ;

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| <b>VE407</b>          | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

- coesione effettiva  $c'$ ;
- angolo d'attrito effettivo  $\varphi'$ ;
- resistenza a rottura della roccia intatta  $\sigma_{ci}$ ;
- rock mass rating RMR;
- modulo di Young operativo  $E'_{op}$ ;
- modulo di Young dell'ammasso roccioso  $E_{rm}$ ;
- numero di colpi  $N_{SPT}$ ;

|     | Peso volume naturale $\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ] |     | $N_{SPT}$ [-] |     | Angolo di resistenza al taglio $\varphi$ [°] |      |
|-----|--|-----|---------------|-----|--|------|
|     | min  | med | min           | med | min  | med  |
| FLG | 20   | 20  | 23            | 60  | 35,0   | 40,0 |

|     | Modulo el. operativo $E'_{op}$ [MPa] |     | densità relativa $D_r$ [%] |     | coesione eff. $c$ [kPa] |       |
|-----|--------------------------------------|-----|----------------------------|-----|-------------------------|-------|
|     | min                                  | med | min                        | med | min                     | med   |
| FLG | 40                                   | 55  | 60                         | 80  | 5,0°                    | 10,0° |

Tabella 5.7: Caratteristiche di progetto dei terreni sciolti

- Stima effettuata in base alle considerazioni geologiche.

|            | $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ] |     | resist. roccia intatta $\sigma_{ci}$ [MPa] |      | $m_i$ [-] | RMR [-] |     |
|------------|-------------------------------|-----|--|------|-----------|---------|-----|
|            | min                           | med | min  | med  |           | min     | med |
| Ca (D=0)   | 24                            | 25  | 40,0                                       | 55,0 | 8         | 40      | 54  |
| Ca (D=0,5) | 24                            | 25  | 40,0*                                      | 55,0 | 8         | 40      | 54  |

|            | $c'$ [MPa] |      | $\varphi'$ [°] |     | $E_{rm}$ [GPa] |     | $E_s$ [GPa] |     | $\nu$ [-] |      |
|------------|------------|------|----------------|-----|----------------|-----|-------------|-----|-----------|------|
|            | min        | med  | min            | med | min            | med | min         | med | min       | med  |
| Ca (D=0)   | 0,33       | 0,77 | 38             | 46  | 2,4            | 8,8 | 29          | 46  | 0,22      | 0,27 |
| Ca (D=0,5) | 0,25       | 0,55 | 31             | 42  | 1,8            | 6,0 | 29          | 46  | 0,22      | 0,27 |

Tabella 5.8: Caratteristiche di progetto delle rocce lapidee per la galleria

## 5.5 Caratterizzazione sismica dei terreni

La caratterizzazione sismica dei terreni è stata sviluppata nella Relazione Sismica T00GE00GEORE03A, alla quale si rimanda per i dettagli.

Grazie alla notevole omogeneità dei terreni è possibile assegnare la categoria di sottosuolo C a tutti i terreni compresi tra le progressive 0+000 e 9+300. Oltre tale progressiva, nelle rocce Ca, la categoria passa a B.

|                       |                             |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| SS 51 "Alemagna"      |                             |  |
| Variante di Longarone |                             |   |
| VE407                 | <b>Relazione Geotecnica</b> |   |

## 6 RAPPORTI OPERE TERRENI

---

Le conoscenze sui terreni di fondazione acquisite con i rilievi e le indagini hanno consentito di ricostruire con sufficiente dettaglio i rapporti tra le opere in progetto e i terreni di fondazione.

Con riferimento alla classificazione geotecnica riportata nel capitolo precedente, nella tavola P00GN01GETFG01A si illustrano i terreni di fondazione presenti lungo il profilo longitudinale in asse della galleria.

Nelle stesse tavole sono riportate la posizione e la colonnina schematica dei sondaggi e dei pozzetti. Nelle singole colonnine sono indicati il simbolo dell'unità geotecnica, la quota del boccaforo se nota, la profondità della falda se presente, il valore N30 ricavato dalle prove SPT, la posizione dei campioni.

Gli schemi riportati sono da ritenersi puramente indicativi in termini di dimensioni geometriche delle opere, posizione della falda in caso di falda a quota variabile. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati specifici (relazione di calcolo, profili longitudinali, sezioni trasversali) della galleria.

La galleria 01 si estende tra i viadotti 06 e 07 e procede:

- Con scavo a cielo aperto tra le progressive 9+315 e 9+365 (imbocco) fino al raggiungimento del ricoprimento minimo di 15 m;
- Con scavo in naturale fino alla progressiva 10+855 (sbocco).

Lo scavo procede con un'inclinazione variabile. I terreni sono stati caratterizzati tramite i sondaggi SD22\_PZ, SD23\_PZ, SD24\_PZ ed SD25\_PZ.

La stratigrafia individuata è omogenea. Si sono riconosciute alluvioni FLG approssimativamente nei primi 200 m di scavo in naturale e successivamente calcari Ca. i calcari risultano a zone più fratturate ed è stata considerata la presenza di numerose faglie sub-verticali che interessano l'ammasso.

La falda è stata individuata sopra l'asse della galleria su più livelli separati, la presenza di faglie ha probabilmente determinato una faglia a quota variabile non perfettamente individuabile lungo l'intero asse.

I rapporti che intercorrono tra la galleria e i terreni di fondazione sono illustrati, a titolo di esempio, nello stralcio del profilo geotecnico in asse destro, riportato nella figura che segue.

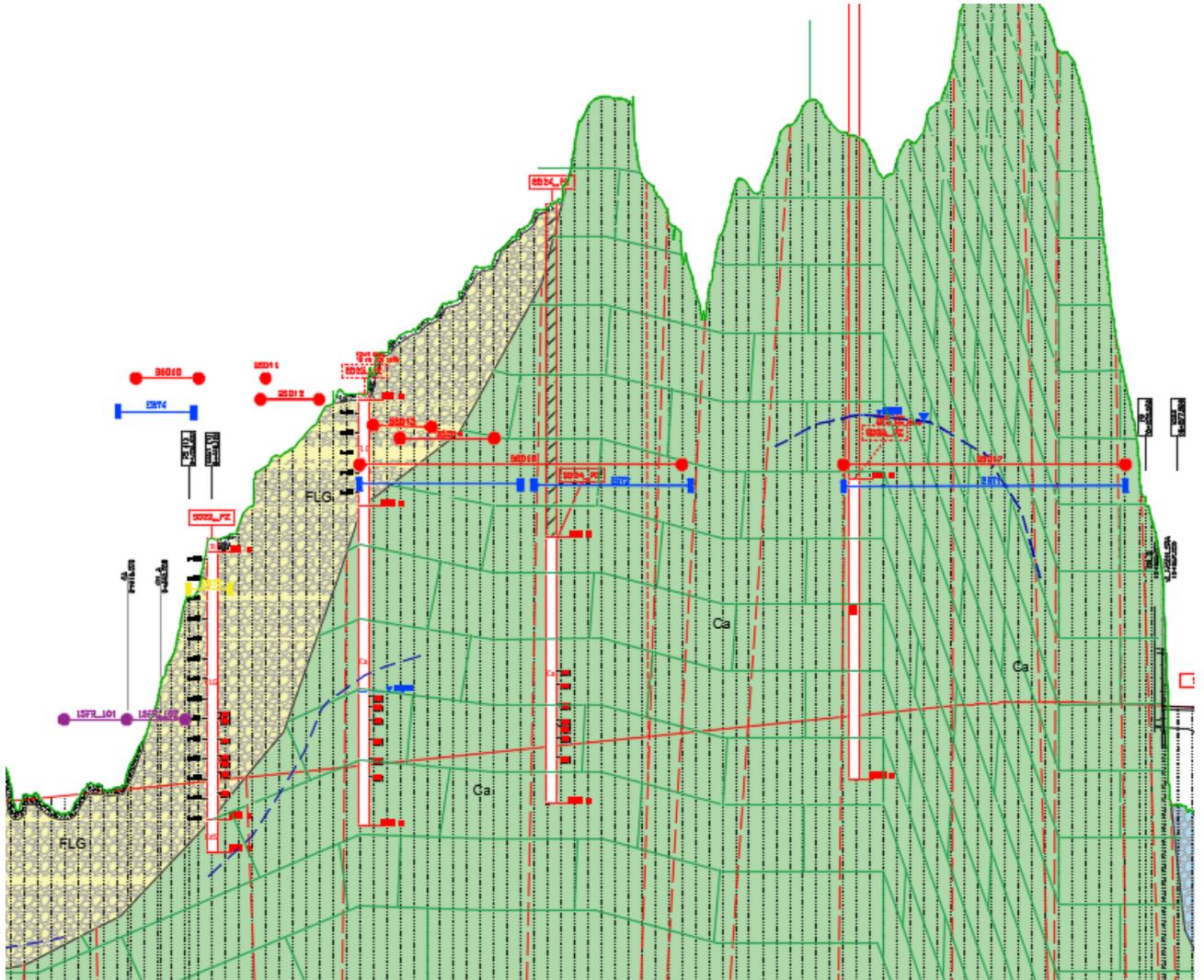


Figura 6.1: GN01 – schema fisico di riferimento