

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA**

**TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE - GELA**

**PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

**U.O. GALLERIE**

**RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA**

**LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA**

ELABORATI GENERALI

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS6K 00 R 07 RH GN0000 001 A

| Rev. | Descrizione         | Redatto                         | Data           | Verificato | Data           | Approvato | Data           | Autorizzato Data          |
|------|---------------------|---------------------------------|----------------|------------|----------------|-----------|----------------|---------------------------|
| A    | Emissione esecutiva | G. Altamura<br>M.N. Pascariello | Agosto<br>2022 | M. Ricci   | Agosto<br>2022 | P. Mosca  | Agosto<br>2022 | A. Sciotti<br>Agosto 2022 |
|      |                     |                                 |                |            |                |           |                |                           |
|      |                     |                                 |                |            |                |           |                |                           |
|      |                     |                                 |                |            |                |           |                |                           |

ITALFERR S.p.A.  
U.O. GALLERIE  
Dott. Ing. Alessandra Sciotti  
Ordine degli Ingegneri di Roma  
n° 13846

File: RS6K00R07RHGN0000001A

n. Elab.:

## INDICE

|       |                                                                        |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | PREMESSA .....                                                         | 5  |
| 2     | SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO .....                                  | 6  |
| 3     | NORMATIVE E DOCUMENTI REFERENZIATI .....                               | 7  |
| 3.1   | NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO.....                    | 7  |
| 3.2   | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....                                          | 7  |
| 3.3   | DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....                                    | 7  |
| 3.4   | ALLEGATI.....                                                          | 10 |
| 4     | DESCRIZIONE DELLA LINEA .....                                          | 11 |
| 4.1   | IL TRACCIATO E LE GALLERIE ESISTENTI .....                             | 11 |
| 5     | METODOLOGIA DI LAVORO .....                                            | 14 |
| 6     | FASE CONOSCITIVA.....                                                  | 15 |
| 6.1   | INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO .....          | 15 |
| 6.2   | ASSETTO GEOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO .....                             | 16 |
| 6.3   | INDAGINI GEOTECNICHE .....                                             | 17 |
| 6.4   | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....                                     | 20 |
| 6.4.1 | <i>Sabbie limo argillose con intercalazioni di arenite (SLA)</i> ..... | 21 |
| 6.4.2 | <i>Argille limo sabbiose (ALS)</i> .....                               | 49 |
| 6.4.3 | <i>Le condizioni idrauliche</i> .....                                  | 72 |
| 6.5   | INDAGINI E RILIEVI IN GALLERIA .....                                   | 72 |
| 6.5.1 | <i>Stato di fatto delle gallerie</i> .....                             | 73 |
| 7     | FASE DI DIAGNOSI .....                                                 | 84 |
| 7.1   | PROFILO DI TRANSITO.....                                               | 84 |
| 7.2   | ARMAMENTO FERROVIARIO .....                                            | 84 |

|        |                                                                         |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.3    | MARCIAPIEDI.....                                                        | 84  |
| 7.4    | SITUAZIONE DEI RIVESTIMENTI E DELLE OPERE D’IMBOCCO DELLE GALLERIE..... | 85  |
| 7.5    | VERIFICHE DI SAGOMA .....                                               | 87  |
| 8      | FASE DI TERAPIA.....                                                    | 88  |
| 8.1    | INTERVENTO TIPO IN GALLERIA.....                                        | 88  |
| 8.1.1  | <i>Intervento tipo – controanello.....</i>                              | 88  |
| 8.1.2  | <i>Intervento particolare – Galleria 2a di Farello.....</i>             | 92  |
| 8.2    | INTERVENTI TIPO AGLI IMBOCCHI.....                                      | 94  |
| 8.2.1  | <i>Galleria artificiale.....</i>                                        | 94  |
| 8.2.2  | <i>Portale.....</i>                                                     | 95  |
| 8.3    | ANALISI DELLE SINGOLE GALLERIE DELLA TRATTA.....                        | 96  |
| 8.3.1  | <i>Samperi 2a.....</i>                                                  | 96  |
| 8.3.2  | <i>Perniciaro.....</i>                                                  | 96  |
| 8.3.3  | <i>Cotugno.....</i>                                                     | 96  |
| 8.3.4  | <i>Pisciotta.....</i>                                                   | 97  |
| 8.3.5  | <i>Dell’Arcia.....</i>                                                  | 97  |
| 8.3.6  | <i>Priolo Soprano.....</i>                                              | 97  |
| 8.3.7  | <i>Polizzi.....</i>                                                     | 97  |
| 8.3.8  | <i>Buon Fratello.....</i>                                               | 97  |
| 8.3.9  | <i>2a di Farello.....</i>                                               | 98  |
| 8.3.10 | <i>1a di Farello.....</i>                                               | 98  |
| 8.4    | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI.....                          | 98  |
| 8.5    | ANALISI E VERIFICA DEGLI INTERVENTI DEFINITI .....                      | 99  |
| 8.5.1  | <i>Intervento tipo in galleria: controanello.....</i>                   | 99  |
| 8.5.2  | <i>Intervento tipo agli imbocchi: galleria artificiale.....</i>         | 118 |
| 8.5.3  | <i>Intervento particolare – Galleria 2a di Farello.....</i>             | 126 |



**LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA**  
**TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA**  
**RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA**  
**LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA**

**RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS6K     | 00    | R 07 RH  | GN 00 00 001 | A    | 4 di 132 |

|      |                                                                                  |     |
|------|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9    | FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO .....                              | 127 |
| 9.1  | MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA E IN FASE DI ESERCIZIO .....                       | 127 |
| 9.2  | INDAGINI INTEGRATIVE .....                                                       | 127 |
| 10   | CONCLUSIONI.....                                                                 | 129 |
| 11   | APPENDICE 1 .....                                                                | 130 |
| 11.1 | METODI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA ATTRAVERSO PROVE PENETROMETRICHE..... | 130 |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

## 1 PREMESSA

Dopo la proclamazione dell'Unità d'Italia furono intraprese azioni per la progettazione e la costruzione di nuove linee ferroviarie, che all'epoca rappresentavano il più celere mezzo di collegamento per uomini e merci che la tecnologia potesse disporre e che garantiva un sicuro sviluppo del territorio. In questa ottica la Sicilia non fu da meno delle altre regioni italiane.

Nel 1879 con la legge del 29 Luglio, N. 5002 (più nota come legge Baccarini per "La costruzione di nuove linee di complemento della rete ferroviaria del Regno") venne decretata la realizzazione della linea tra Valsavoja (oggi Lentini) e Caltagirone, ma la costruzione del collegamento di Caltagirone con Terranova (oggi Gela) venne decretato solo nel 1911 e inquadrato tra le ferrovie di 4<sup>a</sup> categoria e quindi con la caratteristica di uno scartamento ridotto.

Lo scoppio della Grande Guerra fermò il processo e solo 10 anni dopo, con il R.D. 24 novembre 1921 n. 1696, il progetto riprese vita con un cambio a scartamento ordinario e con onere interamente a carico statale, anche dietro la spinta di don Luigi Sturzo che fu prosindaco di Caltagirone dal 1905 al 1920. I lavori cominciarono a rilento e lo scoppio della Seconda Guerra Mondiale bloccò nuovamente la costruzione con poche opere già realizzate.

Nei primi anni cinquanta, dopo la ricostruzione delle linee principali danneggiate dalla guerra, si procedette ad un aggiornamento del progetto per migliorarne le caratteristiche del tracciato mediante riduzione delle livellette (pendenza max 18‰) e imponendo un raggio planimetrico minimo (pari a 500m), al fine di aumentare il livello prestazionale sia in termini di velocità attesa (90/95 Km/h), ma soprattutto di possibilità di trasporto merci, che più interessava i centri economici dei capolinea, di Niscemi e dei centri economici marinari posti sulle sponde dello Ionio e del Canale di Sicilia. I lavori cominciarono nel 1952 a cura del Ministero dei Lavori Pubblici, ma la costruzione dei circa 45 chilometri di linea, che prevedeva anche lo spostamento della stazione di Caltagirone dal vecchio sito ad uno nuovo più funzionale e adatto, procedette con estrema lentezza, seppur sotto l'interessamento di un altro calatino, Mario Scelba, noto politico degli anni 60 e 70.

La nuova linea venne inaugurata il 24 novembre del 1979 e fu subito di interesse per il traffico passeggeri (sia pendolare che di lunga percorrenza con il collegamento con una carrozza diretta da Vittoria a Roma) e merci per il collegamento con il polo petrolchimico di Gela, per il trasporto del materiale estrattivo effettuato nella zona di Comiso, nonché per l'esportazione del comparto alimentare della zona di Niscemi. Negli anni detto traffico ha subito sempre una maggiore concorrenza del vettore stradale, scemando progressivamente sino all'interruzione del collegamento avvenuto a seguito dei noti avvenimenti del maggio 2011.

|  | <p><b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br/> <b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br/> <b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br/> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b></p>                                                                            |          |              |          |           |      |        |      |    |         |              |   |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|----------|-----------|------|--------|------|----|---------|--------------|---|----------|
| <p>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</p>                               | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS6K</td> <td>00</td> <td>R 07 RH</td> <td>GN 00 00 001</td> <td>A</td> <td>6 di 132</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO        | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | RS6K | 00 | R 07 RH | GN 00 00 001 | A | 6 di 132 |
| COMMESSA                                                                          | LOTTO                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV.     | FOGLIO    |      |        |      |    |         |              |   |          |
| RS6K                                                                              | 00                                                                                                                                                                                                                                                                                    | R 07 RH  | GN 00 00 001 | A        | 6 di 132  |      |        |      |    |         |              |   |          |

## 2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è la descrizione delle soluzioni tecnico-progettuali propedeutiche al ripristino con adeguamento agli standard di sicurezza (da Rif. [3] a Rif. [7]) delle gallerie esistenti presenti sulla tratta Niscemi – Gela, Lotto 2 della tratta Caltagirone – Gela.

Nei paragrafi che seguono viene dapprima fornito un inquadramento geologico e geotecnico dei terreni presenti a tergo delle opere in sotterraneo e dello stato di fatto delle opere derivante dai rilievi visivi e dalle indagini eseguite in galleria, evidenziando le principali difettosità riscontrate; successivamente si fornisce una descrizione degli interventi tipologici previsti e la distribuzione degli stessi all'interno delle singole gallerie e ai relativi imbocchi.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

### 3 NORMATIVE E DOCUMENTI REFERENZIATI

#### 3.1 Normative e specifiche tecniche di riferimento

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018, “Aggiornamento delle Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°7 del 21/01/2019, “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al DM 14/01/2018”;
- Rif. [3] RFI, doc RFI DTC SI CS MA IFS 003 E “Manuale di Progettazione delle opere civili” - Parte II - Sezione 6 - Sagome e Profilo Minimo degli Ostacoli, datato 31/12/2020;
- Rif. [4] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- Rif. [5] Regolamento (UE) N° 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 776/2019 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Rif. [6] Regolamento (UE) N. 1300/2014/UE Specifiche Tecniche di Interoperabilità per l’accessibilità del sistema ferroviario dell’Unione europea per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta del 18/11/2014, modificato con il Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/772 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Rif. [7] Regolamento UE N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «Energia» del sistema ferroviario dell’Unione europea, modificato dal Regolamento di Esecuzione (UE) 2018/868 del 13 giugno 2018 e dal successivo Regolamento.
- Rif. [8] RFI, doc RFI DTC SI GA MA IFS 001 E “Manuale di Progettazione delle opere civili” - Parte II - Sezione 4 - Gallerie, datato 31/12/2020.

#### 3.2 Documenti di riferimento

- Rif. [9] U.O. Geologia, elaborati specialistici.

#### 3.3 Documenti prodotti a supporto

I contenuti della presente relazione sono completati dai seguenti elaborati di progetto:

- Rif. [10] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07RHGN0000002A “Report dei sopralluoghi” datato Agosto 2022;
- Rif. [11] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07RHGN0000003A “Relazione generale delle indagini” datato Agosto 2022;
- Rif. [12] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07RHGN0000004A “Relazione rilievi visivi” datato Agosto 2022;



**LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA**  
**TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA**  
**RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA**  
**LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA**

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN  
SOTTERRANEO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RS6K     | 00    | R 07 RH  | GN 00 00 001 | A    | 8 di 132 |

- Rif. [13] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07SHGN0100001A “Schede rilievi visivi – Galleria Samperi 2a” datato Agosto 2022;
- Rif. [14] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07SHGN0200001A “Schede rilievi visivi – Galleria Perniciaro” datato Agosto 2022;
- Rif. [15] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07SHGN0300001A “Schede rilievi visivi – Galleria Cotugno” datato Agosto 2022;
- Rif. [16] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07SHGN0400001A “Schede rilievi visivi – Galleria Pisciotta” datato Agosto 2022;
- Rif. [17] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07SHGN0500001A “Schede rilievi visivi – Galleria Dell’Arcia” datato Agosto 2022;
- Rif. [18] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07SHGN0600001A “Schede rilievi visivi – Galleria Priolo Soprano” datato Agosto 2022;
- Rif. [19] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07SHGN0700001A “Schede rilievi visivi – Galleria Polizzi” datato Agosto 2022;
- Rif. [20] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07SHGN0800001A “Schede rilievi visivi – Galleria Buon Fratello” datato Agosto 2022;
- Rif. [21] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07SHGN0900001A “Schede rilievi visivi – Galleria 2a di Farello” datato Agosto 2022;
- Rif. [22] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07SHGN1000001A “Schede rilievi visivi – Galleria 1a di Farello” datato Agosto 2022;
- Rif. [23] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07F4GN0000001A “Profilo geotecnico delle gallerie esistenti Tavola 1 di 2” datato Agosto 2022;
- Rif. [24] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07F4GN0000002A “Profilo geotecnico delle gallerie esistenti Tavola 2 di 2” datato Agosto 2022;
- Rif. [25] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07WAGN0100001A “Studio Interferenze – Galleria Samperi 2a” datato Agosto 2022;
- Rif. [26] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07WAGN0200001A “Studio Interferenze – Galleria Perniciaro” datato Agosto 2022;
- Rif. [27] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07WAGN0300001A “Studio Interferenze – Galleria Cotugno” datato Agosto 2022;
- Rif. [28] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07WAGN0400001A “Studio Interferenze – Galleria Pisciotta” datato Agosto 2022;
- Rif. [29] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07WAGN0500001A “Studio Interferenze – Galleria Dell’Arcia Tav 1/2” datato Agosto 2022;
- Rif. [30] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07WAGN0500002A “Studio Interferenze – Galleria Dell’Arcia Tav 2/2” datato Agosto 2022;
- Rif. [31] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07WAGN0600001A “Studio Interferenze – Galleria Priolo Soprano” datato Agosto 2022;

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

- Rif. [32] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07WAGN0700001A “Studio Interferenze – Galleria Polizzi” datato Agosto 2022;
- Rif. [33] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07WAGN0800001A “Studio Interferenze – Galleria Buon Fratello” datato Agosto 2022;
- Rif. [34] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07WAGN0900001A “Studio Interferenze – Galleria 2a di Farello” datato Agosto 2022;
- Rif. [35] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07WAGN1000001A “Studio Interferenze – Galleria 1a di Farello” datato Agosto 2022;
- Rif. [36] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07WBGN0000001A “Interventi tipo in galleria” datato Agosto 2022;
- Rif. [37] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07LZGN0900001A “Intervento ricostruzione galleria 2a di Farello” datato Agosto 2022;
- Rif. [38] U.O. Gallerie, documento n° RS6K00R07LZGN0000001A “Interventi tipo agli imbocchi” datato Agosto 2022;
- Rif. [39] Skempton, A.W., (1986), “Standard Penetration Test Procedures And The Effects In Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation”, *Geotechnique*, 36(3): 425-447;
- Rif. [40] F.H. Kulhawy and P.W. Mayne (1990), “Manual on estimating soil properties for foundation design”, New York: Electric Power Res. Inst., Geotechnical Engineering Group, and (EPRI-EL-6800), Cornell University, 2-28 to 2-36;
- Rif. [41] Schmertmann, J.H.: Guidelines for cone penetration test, performance and design, Report no. FHWA-TS-78-209, Washington D.C., US Department of Transportation, p. 145 (1978);
- Rif. [42] Bolton M.D. (1986) “The strength and dilatancy of sands” *Geotechnique*, 36(1), 65-78;
- Rif. [43] de Mello, V.F.B. (1971) The standard penetration test, State of the Art Report. Proc. 4th Panamerican Conf. on Soil Mech. and Found. Engng, Puerto Rico, v. 1, pp. 1-86;
- Rif. [44] Stroud, M. A. 1989. The Standard Penetration Test – Its Application and Interpretation. Proceedings of the Geotechnology Conference on Penetration Testing in the UK, Thomas Telford;
- Rif. [45] Jamiolkowski, M., Ghionna, V. N., Lancellotta, R., & Pasqualini, E. (1988). New applications of penetration tests in design practice. In Proceedings of the First International Symposium on Penetration Testing (ISOPT I);
- Rif. [46] Ohta, Y., Goto, N. (1978): "Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristic Soil Indexes," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 6;
- Rif. [47] Imai, T. (1977). “P-and S-wave velocities of the ground in Japan,” Proc.9th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol 2, 127–32;

|  | <p><b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br/> <b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br/> <b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br/> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b></p>                                                                             |          |              |          |           |      |        |      |    |         |              |   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|----------|-----------|------|--------|------|----|---------|--------------|---|-----------|
| <p>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN<br/>SOTTERRANEO</p>                           | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS6K</td> <td>00</td> <td>R 07 RH</td> <td>GN 00 00 001</td> <td>A</td> <td>10 di 132</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO        | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | RS6K | 00 | R 07 RH | GN 00 00 001 | A | 10 di 132 |
| COMMESSA                                                                          | LOTTO                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV.     | FOGLIO    |      |        |      |    |         |              |   |           |
| RS6K                                                                              | 00                                                                                                                                                                                                                                                                                     | R 07 RH  | GN 00 00 001 | A        | 10 di 132 |      |        |      |    |         |              |   |           |

Rif. [48] Vucetic, M., Dobry, R. 1991. Effects of the soil plasticity on cyclic response, Journal of the Geoth. Eng. Division, ASCE, 117(1), 89-107;

Rif. [49] Seed H.B., Idriss I.M., Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Analysis, EERC Report No. 10- 70, University of California, 1970.

### 3.4 Allegati

Il documento non è corredato da allegati.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

## 4 DESCRIZIONE DELLA LINEA

### 4.1 Il tracciato e le gallerie esistenti

La linea da Caltagirone è quasi sempre in discesa verso Gela, perdendo poco meno di 500 metri di quota in poco più di 45 chilometri complessivi.

Dopo la stazione di Niscemi la linea procede in direzione Gela con pendenze più accentuate, e sono presenti in sequenza la galleria Samperi 2<sup>a</sup> (232 metri circa), in ambiente urbano, la galleria Perniciaro (860 metri circa) e la galleria Cotugno (246 metri) e, dopo un viadotto a 8 luci, la galleria Pisciotta (330 metri circa). Dopo aver superato un viadotto a quattro luci si incontrano le gallerie Dell’Arcia, la seconda opera a superare i 1.000 metri di lunghezza (1.225 metri circa) e subito dopo la galleria di Priolo Soprano (763 metri circa), prima di arrivare all’omonima stazione (180 m.s.l.m.) dopo quasi 8.090 metri dalla precedente.

Dopo un tratto all’aperto si incontrano le gallerie Polizzi e Buon Fratello, rispettivamente della lunghezza di 97 e 690 metri circa, separate tra loro da un viadotto a 20 luci, che si trovano a ridosso della stazione di Priolo Sottano (105 m.s.l.m.) posta dopo 5.195 metri circa dall’impianto precedente. La galleria Buon Fratello è l’ultima della linea a superare la lunghezza di 500 metri.

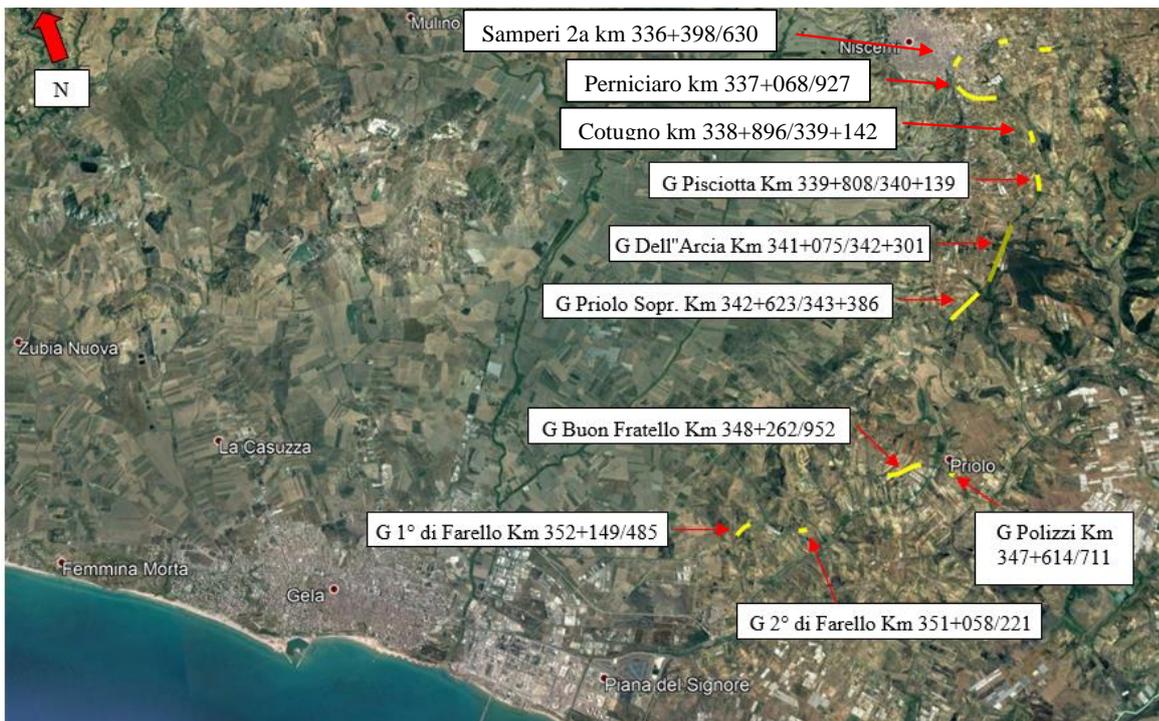
Dopo due viadotti di 5 e 11 luci si trovano le due gallerie di Farello II e I, rispettivamente della lunghezza pari a 163 e 336 metri circa, prima di arrivare alle stazioni di Piana del Signore (22 m.s.l.m.) e di Gela (9 m.s.l.m.).

Riassumendo, sulla tratta in oggetto, tra Niscemi e Gela, sono presenti 10 opere in sotterraneo per una lunghezza complessiva di 4.950 metri circa; una di esse ha lunghezza maggiore di 1.000 metri e altre 3 hanno lunghezza compresa tra 500 e 1.000 metri.

Le dieci gallerie in progetto sono riportate nella successiva tabella e identificate dalle progressive chilometriche storiche dei portali. Più precisamente, la prima tabella (Tabella 1) unita alla successiva corografia (Figura 1) riporta le progressive storiche dei portali; la seconda tabella (Tabella 2) si riferisce invece alle progressive relative al nuovo tracciato di progetto.

**Tabella 1 – Elenco delle gallerie del Lotto 2 – progressive storiche dei portali**

|                                      |                | Progressive portale lato |            | Lunghezza<br>(m) | Lotti di<br>progettazione |
|--------------------------------------|----------------|--------------------------|------------|------------------|---------------------------|
|                                      |                | Caltagirone              | Gela       |                  |                           |
| <b>Stazione di NISCEMI</b>           |                |                          |            |                  |                           |
| 1                                    | Samperi 2a     | 336+398,01               | 336+630,46 | 232,45           |                           |
| 2                                    | Perniciaro     | 337+067,81               | 337+927,31 | 859,50           |                           |
| 3                                    | Cotugno        | 338+896,06               | 339+141,86 | 245,80           |                           |
| 4                                    | Pisciotta      | 339+808,21               | 340+138,56 | 330,35           |                           |
| 5                                    | Dell'Arcia     | 341+075,21               | 342+300,61 | 1225,40          |                           |
| 6                                    | Priolo Soprano | 342+622,81               | 343+385,91 | 763,10           |                           |
| <b>Stazione di PRIOLO SOPRANO</b>    |                |                          |            |                  |                           |
| 7                                    | Polizzi        | 347+614,26               | 347+711,06 | 96,80            | 2<br>(4.950 m)            |
| 8                                    | Buon Fratello  | 348+262,46               | 348+952,36 | 689,90           |                           |
| <b>Stazione di PRIOLO SOTTANO</b>    |                |                          |            |                  |                           |
| 9                                    | 2a di Farello  | 351+058,23               | 351+221,48 | 163,25           |                           |
| 10                                   | 1a di Farello  | 352+148,73               | 352+484,88 | 336,15           |                           |
| <b>Stazione di PIANA DEL SIGNORE</b> |                |                          |            |                  |                           |
| <b>Stazione di GELA</b>              |                |                          |            |                  |                           |



**Figura 1: Gallerie lungo la tratta Niscemi – Gela**

**Tabella 2 – Elenco delle gallerie del Lotto 2 – progressive di progetto dei portali**

|                                      |                | Progressivo portale lato |            | Lunghezza<br>(m) | Lotti di<br>progettazione |
|--------------------------------------|----------------|--------------------------|------------|------------------|---------------------------|
|                                      |                | Caltagirone              | Gela       |                  |                           |
| <b>Stazione di NISCEMI</b>           |                |                          |            |                  |                           |
| 1                                    | Samperi 2a     | 336+378,72               | 336+610,89 | 232,17           |                           |
| 2                                    | Perniciaro     | 337+051,89               | 337+911,02 | 859,13           |                           |
| 3                                    | Cotugno        | 338+878,53               | 339+124,60 | 246,07           |                           |
| 4                                    | Pisciotta      | 339+791,13               | 340+131,61 | 340,48           |                           |
| 5                                    | Dell'Arcia     | 341+058,28               | 342+284,16 | 1225,88          |                           |
| 6                                    | Priolo Soprano | 342+606,16               | 343+369,36 | 763,2            |                           |
| <b>Stazione di PRIOLO SOPRANO</b>    |                |                          |            |                  |                           |
| 7                                    | Polizzi        | 347+594,85               | 347+691,77 | 96,92            | 2                         |
| 8                                    | Buon Fratello  | 348+242,94               | 348+932,60 | 689,66           | (4.955,55 m)              |
| <b>Stazione di PRIOLO SOTTANO</b>    |                |                          |            |                  |                           |
| 9                                    | 2a di Farello  | 351+043,68               | 351+206,73 | 163,05           |                           |
| 10                                   | 1a di Farello  | 352+132,78               | 352+468,77 | 335,99           |                           |
| <b>Stazione di PIANA DEL SIGNORE</b> |                |                          |            |                  |                           |
| <b>Stazione di GELA</b>              |                |                          |            |                  |                           |

|  | <p><b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br/> <b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br/> <b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br/> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b></p>                                                                             |          |              |          |           |      |        |      |    |         |              |   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|----------|-----------|------|--------|------|----|---------|--------------|---|-----------|
| <p>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</p>                               | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS6K</td> <td>00</td> <td>R 07 RH</td> <td>GN 00 00 001</td> <td>A</td> <td>14 di 132</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO        | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | RS6K | 00 | R 07 RH | GN 00 00 001 | A | 14 di 132 |
| COMMESSA                                                                          | LOTTO                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV.     | FOGLIO    |      |        |      |    |         |              |   |           |
| RS6K                                                                              | 00                                                                                                                                                                                                                                                                                     | R 07 RH  | GN 00 00 001 | A        | 14 di 132 |      |        |      |    |         |              |   |           |

## 5 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione degli interventi sulle gallerie in oggetto si è articolata nelle seguenti fasi:

1. fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi dello stato di fatto delle gallerie con riferimento alle caratteristiche geometriche delle sezioni di intradosso, alle condizioni dei rivestimenti, al contesto geologico e geotecnico di inserimento (cap. 6);
2. fase di diagnosi: in funzione del quadro emerso dalla fase conoscitiva, vengono individuate le principali problematiche da risolvere per garantire il ripristino della linea ai fini dell'esercizio (cap. 7).
3. fase di terapia: in funzione delle problematiche da risolvere evidenziate nella fase di diagnosi, e dei requisiti minimi necessari per adeguare le gallerie alle Normative (da Rif. [3] a Rif. [7]), sulla sicurezza si definiscono le modalità di intervento necessarie, che in questa fase progettuale sono definite come interventi tipo (cap. 8).
4. fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio sia in corso d'opera, sia in fase di esercizio (cap. 9).

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

## 6 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si sono acquisiti gli elementi necessari, adeguati a tale fase progettuale, per la definizione del contesto geologico, geotecnico e dell'attuale stato di fatto delle gallerie, con riferimento in particolare alle caratteristiche geometriche delle sezioni di intradosso e alle condizioni delle murature, in termini di eventuali lesioni, venute d'acqua o degrado dei materiali.

A tale scopo, successivamente alla precedente fase di Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica, è stata condotta una campagna di indagini e rilievi nelle gallerie.

### 6.1 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico

Di seguito si riporta un breve inquadramento dell'area di progetto definito sulla base della relazione geologica (Rif. [9]). Per ulteriori dettagli si rimanda allo specifico elaborato.

I territori nei quali si sviluppa la tratta ferroviaria Caltagirone-Gela sono quasi totalmente compresi nel bacino idrografico del Fiume Dirillo e, in misura minore, nel bacino del fiume Gela e nell'area compresa tra il bacino del fiume Gela ed il bacino del fiume Acate.

Ad eccezione dei depositi alluvionali di fondovalle dei corsi d'acqua (All) e delle coperture detritiche (q) risalenti all'Olocene, gli altri terreni affioranti nella zona sono rappresentati essenzialmente da depositi sabbiosi e argillosi appartenenti a due distinti cicli sedimentari, rispettivamente Pleistocene inferiore terminale e Pleistocene inferiore.

In dettaglio, è possibile riconoscere in affioramento il ciclo sedimentario del Pleistocene inferiore terminale (Qcs). Esso è costituito da sabbie limo argillose localmente quarzose di colore giallastro (Qcs-1), con giacitura suborizzontale e stratificazione parallela contenenti, nella parte alta dell'unità, ripetute intercalazioni di areniti-biocalcareniti molto competenti (Qcs-2), ricche di gusci di molluschi spesso di grandi dimensioni. La formazione ha una potenza complessiva di 50 metri; i livelli sabbiosi in genere hanno maggiore potenza di quelli calcarenitici, i quali entro i livelli sabbiosi formano intercalazioni frequentemente discontinue e sporgenti messe in evidenza dall'erosione selettiva, di spessore variabile da pochi centimetri fino a banchi di 5-10 metri. In alcune aree i termini sabbiosi appartenenti all'Unità Qcs passano lateralmente a sabbie molassiche fini quarzose con livelli arenacei e siltoso-argillosi di età del Pleistocene inferiore-medio (Qsa).

Il ciclo sedimentario del Pleistocene inferiore (Qa) è costituito da argille siltose marnose grigio azzurre aventi intercalazioni sabbiose – siltose. Su tale ciclo sedimentario riposa generalmente l'unità Qcs. Viene solitamente individuato nella media e bassa valle del Fiume Acate e intercettato in profondità dalle verticali di sondaggio durante le varie campagne di indagini geognostiche di riferimento.

L'evoluzione geomorfologica del settore di studio è legata ad un insieme di fattori geologici e geologico-strutturali che hanno agito, in maniera concomitante, nello sviluppo del paesaggio attuale. Il territorio degrada progressivamente verso quote altimetricamente più basse, procedendo da settentrione verso meridione.

La morfologia dell'area è legata alla natura dei terreni affioranti: in generale i processi erosivi fluviali sui depositi arenaceo-sabbiosi danno luogo a colline arrotondate alla sommità o spianate a seconda della giacitura

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

degli strati, delimitate da versanti mediamente acclivi con locali rotture di pendenza, in corrispondenza dell'affioramento di strati e banchi arenacei messi in risalto dall'erosione selettiva.

In particolare, i territori compresi nelle aree esaminate presentano in superficie una variazione litologica e conseguenti difformità morfologiche che derivano dalla loro diversa resistenza all'azione degli agenti erosivi. Infatti, dove sono presenti le intercalazioni arenitiche-biocalcarenitiche si sviluppano morfologie con pareti subverticali, mentre dove è dominante la componente sabbiosa limosa sciolta sono presenti forme addolcite e smussate.

Dal punto di vista idrogeologico, i litotipi a composizione prevalentemente sabbioso limosa – limosa sabbiosa argillosa (Qsa e Qcs) sono caratterizzati da permeabilità per porosità e da un grado di permeabilità variabile in base alla componente limosa argillosa del deposito. Data l'elevata presenza di materiale fine si prevedono, ad ogni modo, bassi / medio - bassi valori di permeabilità.

I litotipi a composizione prevalentemente argillosa limosa – limosa argillosa (Qa), invece, sono caratterizzati da un grado di permeabilità scarso o quasi nullo (impermeabili) e costituiscono, ai vari livelli stratigrafico strutturali ed in presenza dell'opportuna continuità laterale, i *bedrock* che consentono l'accumulo idrico sotterraneo. La dinamica idrica sotterranea risulta quindi strettamente influenzata dalla sovrapposizione di strati a diversa permeabilità. Inoltre, la presenza di formazioni sabbiose caratterizzate dall'alternanza di livelli sabbiosi, sabbioso-limosi e intercalazioni argillose può determinare la formazione di acquiferi composti da più falde sovrapposte e/o accumuli di acqua sospesi a carattere stagionale.

## 6.2 Assetto geologico lungo il tracciato

Lungo il tracciato dell'intervento in oggetto le formazioni precedentemente descritte si presentano in successioni stratigrafiche variabili; nel profilo geologico (Rif. [9]) si distinguono in particolare le seguenti tratte:

- Dall'inizio del lotto 2 fino alla pk 339+800 circa il tracciato attraversa la formazione Qcs. Le gallerie localizzate in questo tratto sono le seguenti:
  - galleria Samperi 2°, con una copertura che varia da pochi metri ad un massimo di 15 m;
  - galleria Perniciaro, con copertura che raggiunge un valore massimo di circa 30 m;
  - galleria Cotugno con copertura massima 20 m.
- Dalla pk 339+800 alla pk 340+500 il tracciato attraversa le formazioni Qcs e Qa. In particolare, la galleria Pisciotta qui localizzata intercetta il substrato argilloso nella parte bassa della sezione per buona parte dello sviluppo longitudinale della galleria mentre al tetto viene intercettata sempre la formazione sabbiosa Qcs. La copertura massima è pari a circa 20 m.
- Dalla pk 340+500 alla pk 342+500 il tracciato attraversa la formazione Qcs. La galleria inserita in questo tratto è la galleria dell'Arcia che presenta una copertura massima di circa 40 m. Il substrato argilloso (Qa) è posto subito sotto il profilo della galleria.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

- Dalla pk 342+500 alla pk 344+000 il tracciato attraversa ancora in modo alternato le formazioni Qcs (litofacies sabbioso Qcs-1) e Qa. La galleria di Priolo Soprano ricade in questa tratta e presenta una copertura massima di circa 30 m.
- Dalla pk 344+000 alla pk 349+500 il tracciato si sviluppa nei depositi sabbiosi Qcs-1 della formazione Qcs. Le gallerie localizzate in questo tratto sono le seguenti:
  - galleria Polizzi avente copertura massima di circa 10 m.
  - galleria del Buon Fratello avente copertura massima di circa 20 m.
- Dalla pk 349+500 alla pk 352+500 circa il tracciato attraversa alternativamente le formazioni Qcs e Qa. Le gallerie localizzate in questo tratto sono le seguenti:
  - galleria 2a di Farello che intercetta quasi esclusivamente la formazione Qa, presenta una copertura massima di 20 m;
  - la galleria 1a di Farello, realizzata in parte nelle sabbia Qcs e in parte nella formazione di base Qa, avente copertura massima è di 30 m.
- Dalle pk 352+500 fino alla fine del Lotto 2 il tracciato si sviluppa nei depositi sabbiosi Qcs-1 della formazione Qcs.

### 6.3 Indagini geotecniche

Ai fini della caratterizzazione geotecnica delle unità che interessano le opere esistenti della tratta in oggetto, sono stati utilizzati i dati delle indagini geognostiche disponibili relative alle campagne geotecniche eseguite in passato sulla medesima tratta per i progetti di seguito elencati:

1. *Campagna indagini Italferr 2019/2020 – Progetto Definitivo dell’Adeguamento Sismico di 7 Viadotti sul lotto 2 (da Niscemi a Gela) della tratta Caltagirone-Gela;*
2. *Campagna indagini RFI 2020 – Indagini geognostiche, strutturali e rilievi geometrici-strutturali sulle opere d’arte della tratta Caltagirone - Niscemi e Niscemi – Gela;*
3. *Campagna indagini Italferr 2021 – PFTE Ripristino tratta Niscemi-Gela.*
4. *Campagna indagini Italferr 2022 – PFTE Ripristino tratta Niscemi-Gela.*

Nella campagna di indagini Italferr 2019/2020 (Rif. [9]) sono stati eseguiti:

- n. 20 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 20 e 55 m dal piano campagna) di cui 9 attrezzati con piezometri;
- n. 1 sondaggio a distruzione di nucleo di profondità 55 m dal piano campagna;
- n. 20 prove dilatometriche nei fori di sondaggio;
- n. 26 prove di permeabilità di tipo Lefranc;
- n. 139 prove SPT;

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

- n. 5 prove sismiche in foro di tipo Down-Hole;
- n. 3 prospezioni sismiche di tipo MASW;
- n. 3 prove HVSR

Il numero totale di campioni prelevati durante questa campagna è di 95, di cui 80 indisturbati e 15 rimaneggiati.

Nella campagna di indagini RFI realizzata nel 2020 (Rif. [9]) sono stati eseguiti:

- n. 7 sondaggi a carotaggio continuo (profondità pari a 35 m dal piano campagna);
- n. 42 prove SPT;
- n. 7 prove sismiche in foro di tipo down-hole.

Il numero totale di campioni prelevati durante questa campagna è di 28, di cui 14 indisturbati e 14 rimaneggiati.

Nella campagna di indagini Italferr realizzata nel 2021 (Rif. [9]) sono stati eseguiti:

- n. 13 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 30 e 40 m dal piano campagna) di cui 10 attrezzati con piezometri;
- n. 35 prove di permeabilità di tipo Lefranc;
- n. 159 prove SPT;
- n. 2 prove penetrometriche di tipo DPSH;
- n. 3 prove sismiche in foro di tipo Down-Hole;
- n. 10 prospezioni sismiche di tipo MASW;
- n. 13 prove HVSR.

Il numero totale di campioni prelevati durante queste campagne è di 133, di cui 76 indisturbati e 57 rimaneggiati.

Nella campagna di indagini Italferr realizzata nel 2022 (Rif. [9]) sono stati eseguiti:

- n. 12 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 20 e 40 m dal piano campagna) di cui 11 attrezzati con piezometri;
- n. 12 prove di permeabilità di tipo Lefranc;
- n. 92 prove SPT;
- n. 7 prove pressiometriche (tipo Menard);
- n. 2 prove penetrometriche di tipo DPSH;
- n. 1 prova sismica in foro di tipo Down-Hole;
- n. 6 prospezioni sismiche di tipo MASW;

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

- n. 6 prove HVSR.

Il numero totale di campioni prelevati durante queste campagne è di 38, di cui 18 indisturbati, 18 rimaneggiati e 2 litoidi.

Dai dati derivanti dalle precedenti campagne geotecniche, comprendenti anche sondaggi non realizzati in corrispondenza delle gallerie, sono stati utilizzati per la caratterizzazione globale dei terreni quelli di seguito indicati:

- n. 32+12 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 20 m e 55 m dal piano campagna), di cui 19+11 attrezzati con piezometri;
- n. 20 prove dilatometriche nei fori di sondaggio;
- n. 7 prove pressiometriche Menard;
- n. 61+12 prove di permeabilità di tipo Lefranc;
- n. 3+1 prove sismiche in foro di tipo down-hole;
- n. 4+6 prospezioni sismiche MASW;
- n. 170+92 prove penetrometriche di tipo SPT.

Il numero totale di campioni indisturbati considerati nella tratta di interesse è di 148+38; le prove meccaniche eseguite su tali campioni ed utilizzate per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni sono riepilogate di seguito (Rif. [9]):

- n. 50 prove di taglio diretto (TD);
- n. 32 prove di compressione triassiale consolidate non drenate (CIU);
- n. 5 prove di compressione triassiale consolidate drenate (CID);
- n. 37 prove di compressione triassiale non consolidate non drenate (UU);
- n. 19 prove edometriche.

Su 3 campioni litoidi recuperati nel corso di 3 sondaggi sono state eseguite ed analizzate le seguenti prove:

- n. 1 prova di compressione monoassiale con misura delle deformazioni;
- n. 1 misura della velocità sonica  $V_p$  e  $V_s$ ;
- n. 2 point load test.

Per ulteriori dettagli relativi alle campagne di indagini si rimanda agli specifici elaborati di progetto (Rif. [9]). I risultati delle indagini geotecniche, in situ e di laboratorio hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni presenti lungo il tracciato (Rif. [23] e Rif. [24]). L'ubicazione dei sondaggi è indicata nelle carte geologiche e nei profili geologici (Rif. [9]).

#### 6.4 Caratterizzazione geotecnica

A partire dal modello geologico di riferimento, l'analisi e l'interpretazione dei risultati delle indagini geotecniche in sito ed in laboratorio hanno consentito di individuare nell'area interessata dall'intervento in progetto le seguenti 2 Unità Geotecniche:

1. Sabbie limo argillose con intercalazioni di arenite SLA appartenenti al ciclo sedimentario del Pleistocene inferiore terminale, coincidenti con la formazione geologica Qcs;
2. Argille limo sabbiose ALS appartenenti al ciclo sedimentario del Pleistocene inferiore, coincidenti con la formazione geologica Qa.

Per quanto concerne le coperture detritiche (formazione geologica q) ed i depositi alluvionali (formazione geologica All), sebbene tali formazioni siano state intercettate durante l'esecuzione di alcuni sondaggi, non si è proceduto alla loro caratterizzazione in quanto non di interesse per le opere in sotterraneo in progetto.

Si rimanda agli elaborati di "Profilo geotecnico" (Rif. [23] e Rif. [24]) per la rappresentazione dei modelli stratigrafici di tali Unità Geotecniche.

Sono illustrate nel seguito le caratteristiche fisiche e meccaniche delle Unità Geotecniche 1 e 2, ricavate dalle prove eseguite in sito ed in laboratorio.

La Tabella 2 riporta i simboli di riferimento adottati nella caratterizzazione geotecnica.

**Tabella 2. Simboli di riferimento adottati per la caratterizzazione**

|                        |                   |                                                       |
|------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|
| $\gamma$               | kN/m <sup>3</sup> | Peso dell'unità di volume                             |
| $\gamma_d$             | kN/m <sup>3</sup> | Peso dell'unità di volume secco                       |
| $\gamma_s$             | kN/m <sup>3</sup> | Peso specifico                                        |
| w                      | %                 | Umidità naturale                                      |
| w <sub>L</sub>         | %                 | Limite liquido                                        |
| w <sub>P</sub>         | %                 | Limite plastico                                       |
| I <sub>P</sub>         | %                 | Indice di plasticità                                  |
| I <sub>C</sub>         | -                 | Indice di consistenza                                 |
| D <sub>r</sub>         | -                 | Densità relativa                                      |
| c' <sub>TD</sub>       | kPa               | Coazione efficace da prove di taglio diretto          |
| $\phi'$ <sub>TD</sub>  | °                 | Angolo di attrito efficace da prove di taglio diretto |
| c' <sub>TX</sub>       | kPa               | Coazione efficace da prove triassiali                 |
| $\phi'$ <sub>TX</sub>  | °                 | Angolo di attrito da prove triassiali                 |
| c <sub>U</sub>         | kPa               | Coazione non drenata                                  |
| $\phi'$ <sub>SPT</sub> | °                 | Angolo di attrito efficace da prove SPT               |
| $\phi'$ <sub>CPT</sub> | °                 | Angolo di attrito efficace da prove CPT               |

|                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                                                                              | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

|               |     |                                                            |
|---------------|-----|------------------------------------------------------------|
| $\sigma_{ci}$ | MPa | Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta |
| $E_i$         | GPa | Modulo elastico della matrice rocciosa                     |
| $C_c$         | -   | Indice di compressibilità                                  |
| $C_s$         | -   | Indice di rigonfiamento                                    |
| OCR           | -   | Grado di sovraconsolidazione                               |
| $E'_{ed}$     | MPa | Modulo edometrico                                          |
| $E'$          | MPa | Modulo di Young da prove edometriche                       |
| $E_{unload}$  | MPa | Modulo elastico di scarico da prove dilatometriche         |
| $E_{load}$    | MPa | Modulo elastico di carico da prove dilatometriche          |
| $E'_{SPT}$    | MPa | Modulo elastico da prove SPT                               |
| $G_{0,SPT}$   | MPa | Modulo di taglio iniziale da prove SPT                     |
| k             | m/s | Coefficiente di permeabilità                               |

#### 6.4.1 Sabbie limo argillose con intercalazioni di arenite (SLA)

##### Caratteristiche fisiche

Questa Unità Geotecnica è costituita prevalentemente da sabbie limo-argillose fossilifere di colore da giallastro a bruno-oliva ed in parte minore da limi sabbiosi argillosi dello stesso colore (Figura 2). Al suo interno sono presenti livelli argilloso-limosi molto consistenti (Figura 2 a destra) e intercalazioni di livelli arenitici ben cementati di spessore variabile da pochi centimetri a banchi metrici (Figura 3). Lo strato poggia sull'Unità Geotecnica delle Argille limo-sabbiose (ALS).

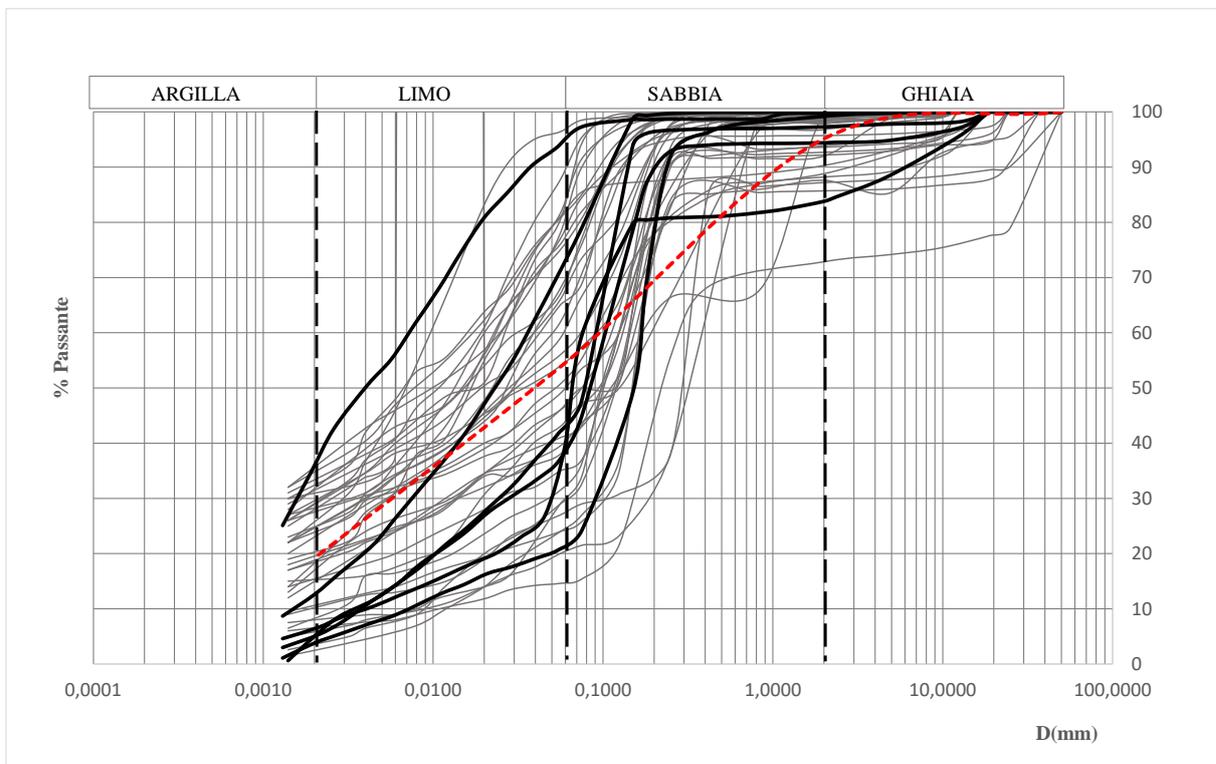


Figura 2. Sabbie limo argillose nel foro di sondaggio S\_RS4N\_22 tra 5 e 10 m S\_RS4N\_17 tra 5 e 10 m da p.c.



**Figura 3. Intercalazione di arenite nel sondaggio SI-9 tra 15 e 20 m da p.c.**

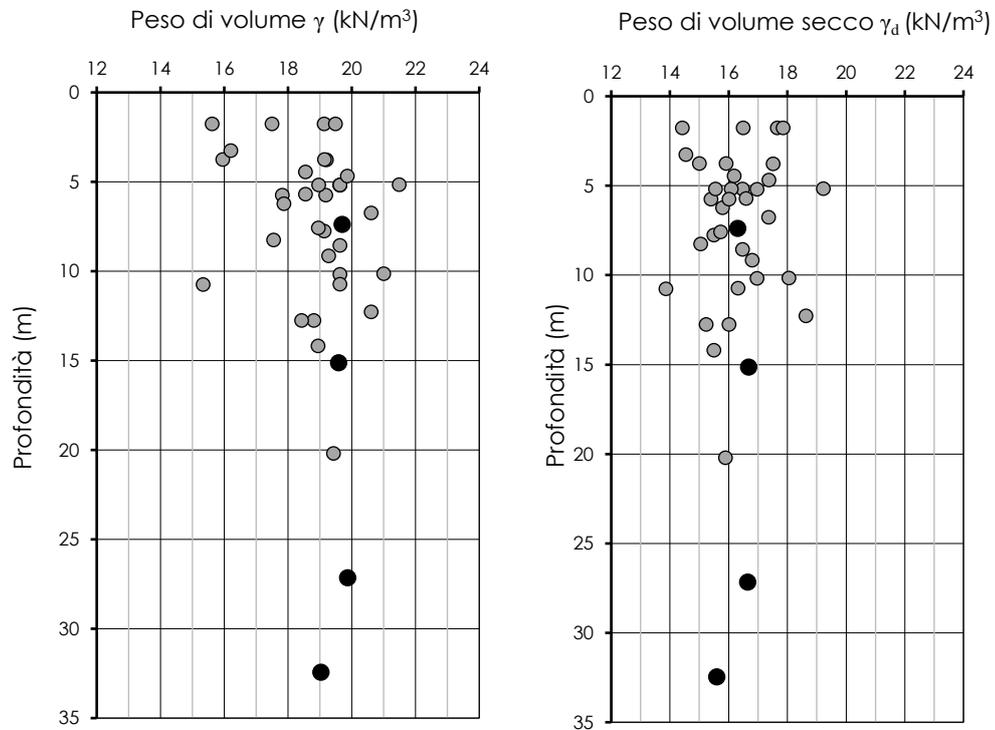
Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati mettono in evidenza l’eterogeneità della formazione e la presenza non trascurabile della componente a grana fine. Il terreno è classificabile mediamente come sabbia con limo argilloso (Figura 4).



**Figura 4. Analisi granulometrica**  
**(con tratto più spesso le curve relative alla campagna integrativa, in rosso la curva media)**

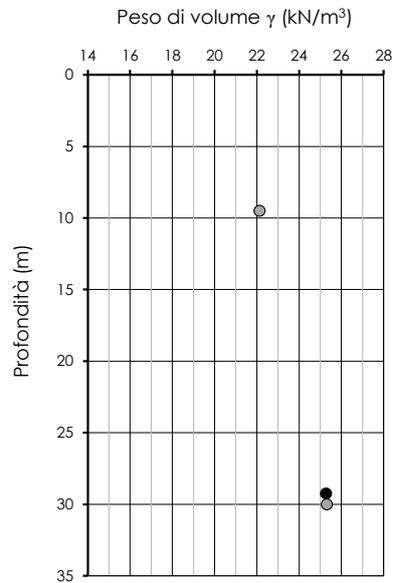
Sono stati analizzati 42 campioni prelevati tra 1,5 e 33 m di profondità e 3 campioni lapidei recuperati tra 9,5 e 30 m di profondità. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un quadro complessivo al variare della profondità delle principali grandezze fisiche e meccaniche dell'unità indagata.

Per quanto riguarda i campioni indisturbati di terreno, il peso dell'unità di volume è compreso tra 15 e 22 kN/m<sup>3</sup> mentre il peso di volume del materiale secco varia tra 14 e 20 kN/m<sup>3</sup> (Figura 5). Il peso specifico varia tra 25 e 27 kN/m<sup>3</sup>.



**Figura 5. Peso dell'unità di volume  $\gamma$  e peso dell'unità di volume del materiale secco  $\gamma_d$  (in nero i dati relativi alla campagna integrativa)**

Il peso dell'unità di volume dei 3 campioni lapidei è compreso tra 22 e 25 kN/m<sup>3</sup> (Figura 6).

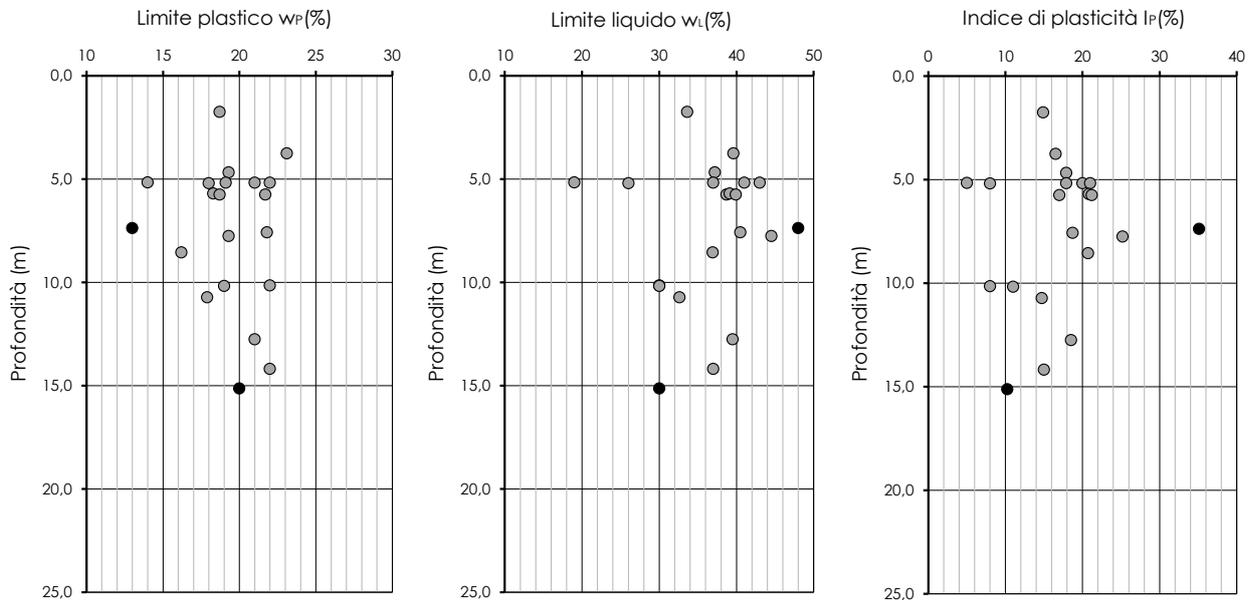


**Figura 6. Peso dell'unità di volume  $\gamma$**   
**(in nero i dati relativi alla campagna integrativa)**

I limiti di Atterberg (Figura 7), valutati sulla frazione fine dell'Unità Geotecnica, sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

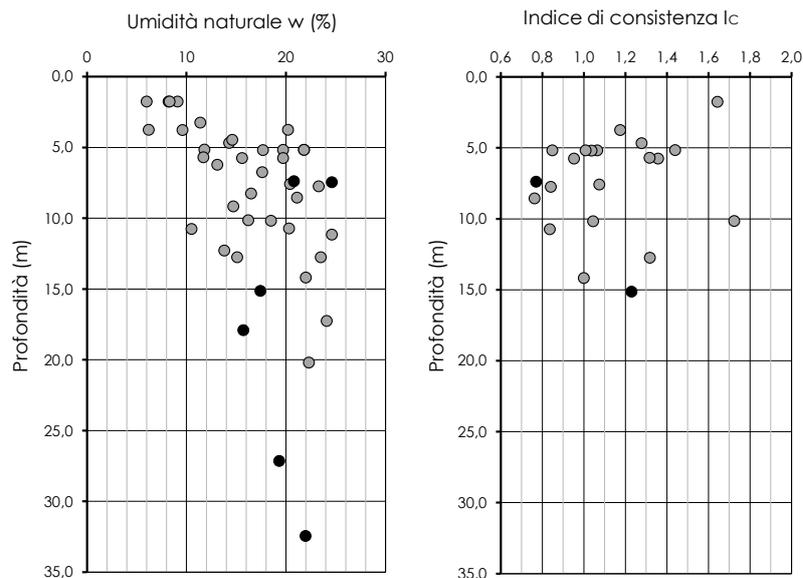
- Limite plastico,  $w_p$ : 13% ÷ 23%
- Limite liquido,  $w_L$ : 19% ÷ 48%
- Indice di Plasticità,  $I_p$ : 5% ÷ 35%.

Nel 50% dei casi il materiale è risultato non plastico.



**Figura 7. Limiti di Atterberg e indice di plasticità (in nero i dati relativi alla campagna integrativa)**

Il contenuto d'acqua naturale  $w$  risulta compreso tra il 6% ed il 25%, con un valore medio di circa 17%. L'indice di consistenza  $I_c$  è variabile tra 0,8 e 1,7 (Figura 8), con un valore medio intorno ad 1 che denota una consistenza solido-plastica.



**Figura 8. Umidità naturale  $w$  e indice di consistenza  $I_c$  (in nero i dati relativi alla campagna integrativa)**

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche dell'Unità Geotecnica SLA (Tabella 3). Si evidenzia che su 2 dei campioni sono state eseguite solo le analisi granulometriche.

**Tabella 3. Caratteristiche fisiche SLA**  
 (in grassetto i dati relativi alla campagna di indagini integrative)

| Sondaggio  | Campione | Profondità da p.c. | $\gamma$     | $\gamma_d$   | $w_p$ | $w_L$ | $I_p$ | $I_c$ |
|------------|----------|--------------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| (-)        | (-)      | (m)                | ( $kN/m^3$ ) | ( $kN/m^3$ ) | (%)   | (%)   | (%)   | (-)   |
| S1 349+697 | CI1      | 8,6                | 19,6         | 16,5         | 16,2  | 36,9  | 20,7  | 0,8   |
| S1 349+797 | CI1      | 12,3               | 20,6         | 18,6         | -     | -     | -     | -     |
| S1-351+805 | CI1      | 7,8                | 19,1         | 15,5         | 19,3  | 44,5  | 25,2  | 0,8   |
| S1 353+941 | CI1      | 6,8                | 20,6         | 17,4         | -     | -     | -     | -     |
| S2         | CI1      | 5,2                | 21,5         | 19,2         | 14    | 19    | 5     | 1,4   |
| S5         | CI1      | 5,2                | 19,6         | 16,5         | 21    | 41    | 20    | 1,1   |
| S5         | CI3      | 14,2               | 18,9         | 15,5         | 22    | 37    | 15    | 1,0   |
| S11        | CI1      | 5,2                | 19,6         | 17,0         | 18    | 26    | 8     | 1,0   |
| S11        | CI2      | 10,1               | 21,0         | 18,1         | 22    | 30    | 8     | 1,7   |
| S12        | CI1      | 5,2                | 19,6         | 16,1         | 22    | 43    | 21    | 1,0   |
| S14        | CI2      | 10,2               | 19,6         | 17,0         | 19    | 30    | 11    | 1,0   |
| S22        | CI2      | 20,2               | 19,4         | 15,9         | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N16   | CI1      | 11,2               | -            | -            | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N17   | CI1      | 1,8                | 19,1         | 17,7         | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N17   | CI2      | 3,8                | 19,2         | 17,5         | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N17   | CI3      | 5,8                | 17,8         | 15,4         | 21,7  | 38,7  | 17    | 1,4   |
| S_RS4N21   | CI1      | 1,8                | 17,5         | 16,5         | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N21   | CI2      | 3,8                | 16,0         | 15,0         | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N21   | CI3      | 10,8               | 15,3         | 13,9         | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N21   | CI4      | 12,8               | 18,8         | 15,2         | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N21   | CI5      | 17,3               | -            | -            | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N23   | CI1      | 1,8                | 19,5         | 17,9         | 18,7  | 33,6  | 14,9  | 1,6   |
| S_RS4N23   | CI2      | 4,7                | 19,9         | 17,4         | 19,3  | 37,2  | 17,9  | 1,3   |
| S_RS4N23   | CI3      | 7,6                | 18,9         | 15,7         | 21,8  | 40,5  | 18,7  | 1,1   |
| S_RS4N23   | CI4      | 10,7               | 19,6         | 16,3         | 17,9  | 32,6  | 14,7  | 0,8   |
| S_RS4N24   | CI1      | 1,8                | 15,6         | 14,4         | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N24   | CI2      | 4,5                | 18,5         | 16,2         | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N24   | CI3      | 6,2                | 17,9         | 15,8         | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N24   | CI4      | 9,2                | 19,3         | 16,8         | -     | -     | -     | -     |
| S_RS4N25   | CI1      | 5,7                | 18,5         | 16,6         | 18,3  | 39,1  | 20,8  | 1,3   |

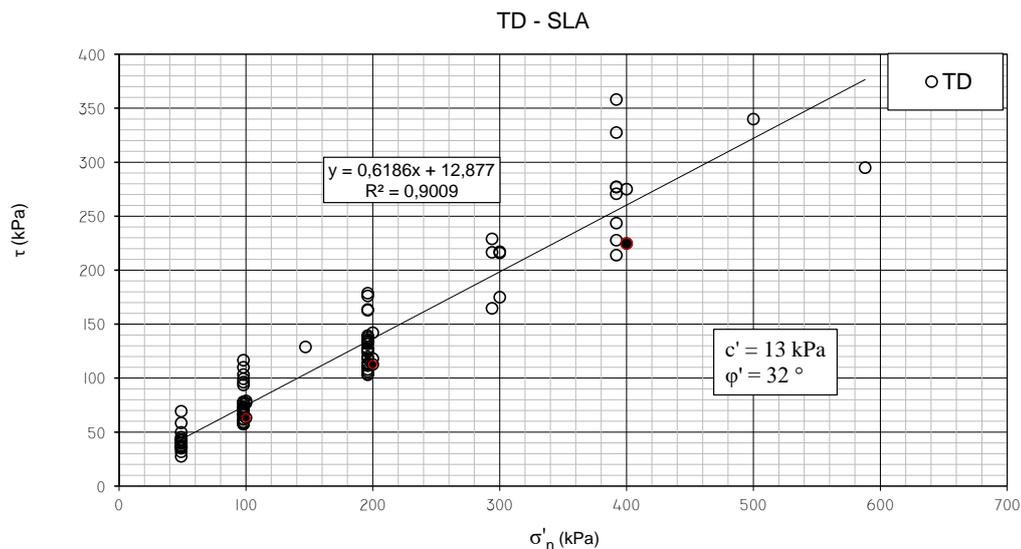
| Sondaggio      | Campione    | Profondità da p.c. | $\gamma$             | $\gamma_d$           | WP        | WL        | Ip           | Ic         |
|----------------|-------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------|-----------|--------------|------------|
| (-)            | (-)         | (m)                | (kN/m <sup>3</sup> ) | (kN/m <sup>3</sup> ) | (%)       | (%)       | (%)          | (-)        |
| S_RS4N26       | CI2         | 3,8                | 19,1                 | 15,9                 | 23,1      | 39,6      | 16,5         | 1,2        |
| S_RS4N26       | CI3         | 5,8                | 19,2                 | 16,0                 | 18,7      | 39,9      | 21,2         | 1,0        |
| S_RS4N26       | CI4         | 8,3                | 17,5                 | 15,0                 | -         | -         | -            | -          |
| S_RS4N26       | CI6         | 12,8               | 18,4                 | 16,0                 | 21        | 39,5      | 18,5         | 1,3        |
| S_RS4N28       | CI1         | 3,3                | 16,2                 | 14,5                 | -         | -         | -            | -          |
| S_RS4N28       | CI2         | 5,2                | 19,0                 | 15,6                 | 19,1      | 37        | 17,9         | 0,8        |
| <b>SL9</b>     | <b>CR1</b>  | <b>7,5</b>         | -                    | -                    | -         | -         | -            | -          |
| <b>SL9</b>     | <b>CR2</b>  | <b>17,9</b>        | -                    | -                    | -         | -         | -            | -          |
| <b>SL13</b>    | <b>CR3</b>  | <b>32,5</b>        | <b>19,0</b>          | <b>15,6</b>          | -         | -         | -            | -          |
| <b>SL14</b>    | <b>CI1</b>  | <b>15,1</b>        | <b>19,6</b>          | <b>16,7</b>          | <b>20</b> | <b>30</b> | <b>10,22</b> | <b>1,2</b> |
| <b>SL14</b>    | <b>CI2</b>  | <b>27,2</b>        | <b>19,9</b>          | <b>16,7</b>          | -         | -         | -            | -          |
| <b>SRIL.11</b> | <b>CI.2</b> | <b>7,4</b>         | <b>19,7</b>          | <b>16,3</b>          | <b>13</b> | <b>48</b> | <b>35,1</b>  | <b>0,8</b> |

### Caratteristiche meccaniche

Sono stati analizzati, ai fini della caratterizzazione meccanica, i risultati delle prove di sito e delle prove di laboratorio condotte sui campioni indisturbati e sui campioni lapidei recuperati.

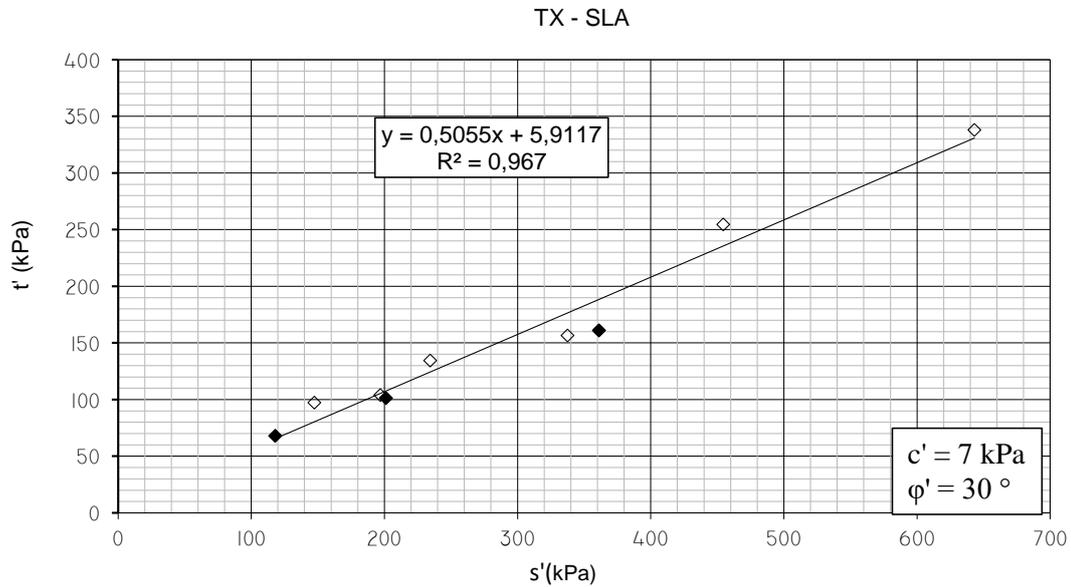
Per determinare le caratteristiche di resistenza dell'unità geotecnica SLA sono stati elaborati i risultati di 31 prove di taglio diretto, 1 prova di compressione triassiale consolidata non drenata (CIU), 2 prove di compressione triassiale consolidata drenata (CID), 5 prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU), 1 prova di compressione monoassiale con misura delle deformazioni, 2 point load test e 1 misura di velocità sonica sui campioni lapidei ed i risultati di 234 prove SPT.

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 9) evidenzia valori dei parametri di resistenza con coesione  $c'$  pari a circa 13 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  pari a circa 32°. Le profondità di prelievo dei campioni variano tra 1,5 e 28 m da p.c.



**Figura 9. Involuppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)  
 (con simbolo pieno i dati relativi alla campagna integrativa)**

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti  $t'$  ed  $s'$  (Figura 10) derivante dall'elaborazione delle prove triassiali CIU e CID restituisce un valore di coesione  $c'$  di 7 kPa e di angolo di attrito  $\phi'$  pari a 30°. I risultati si riferiscono ad un numero esiguo di campioni, prelevati a profondità comprese tra 4,5 e 15 m dal p.c.



**Figura 10. Inviluppo di resistenza delle prove triassiali (con simbolo pieno i dati relativi alla campagna integrativa)**

Di seguito le tabelle riassuntive delle prove di taglio diretto e delle prove di compressione triassiali (Tabella 4 e Tabella 5).

**Tabella 4. Valori a rottura delle prove TD relative ad ogni campione (in grassetto i dati relativi alla campagna di indagini integrative)**

| Prova di taglio diretto |                    |             |              |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------------|
| Sondaggio e campione    | Profondità da p.c. | $\sigma'_n$ | $\tau$       |
| (-)                     | (m)                | (kPa)       | (kPa)        |
| S1-349+697_C1           | 8,6                | 98          | 99,4         |
|                         |                    | <b>196</b>  | <b>163,6</b> |
|                         |                    | 294         | 216,5        |
| S1-349+797_C1           | 12,3               | 98          | 116,7        |
|                         |                    | <b>196</b>  | <b>176,1</b> |
|                         |                    | 392         | 358          |
| S1-351+805_C1           | 7,8                | 98          | 93,6         |
|                         |                    | <b>196</b>  | <b>113,6</b> |
|                         |                    | 294         | 164,7        |
| S1-353+941_C1           | 6,8                | 98          | 110          |
|                         |                    | <b>196</b>  | <b>178,6</b> |
|                         |                    | 294         | 228,9        |
| S_RS4N17_C1             | 1,8                | 49          | 35,7         |

| Prova di taglio diretto |                    |             |        |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------|
| Sondaggio e campione    | Profondità da p.c. | $\sigma'_n$ | $\tau$ |
| (-)                     | (m)                | (kPa)       | (kPa)  |
|                         |                    | 98          | 71,9   |
|                         |                    | 196         | 131,5  |
| S_RS4N17_C2             | 3,8                | 49          | 37,6   |
|                         |                    | 98          | 57,4   |
|                         |                    | 196         | 126,5  |
| S_RS4N17_C3             | 5,8                | 49          | 49,7   |
|                         |                    | 98          | 57,5   |
|                         |                    | 196         | 124,4  |
| S_RS4N21_C1             | 1,8                | 49          | 27,5   |
|                         |                    | 98          | 59,4   |
|                         |                    | 196         | 103,1  |
| S_RS4N21_C2             | 3,8                | 49          | 31,9   |
|                         |                    | 98          | 58,6   |
|                         |                    | 196         | 118,3  |
| S_RS4N21_C3             | 10,8               | 98          | 70,5   |
|                         |                    | 196         | 135,2  |
|                         |                    | 392         | 270,8  |
| S_RS4N21_C4             | 12,8               | 98          | 96,4   |
|                         |                    | 196         | 162,8  |
|                         |                    | 392         | 327,5  |
| S_RS4N23_C2             | 4,7                | 49          | 69,4   |
|                         |                    | 98          | 103,3  |
|                         |                    | 147         | 128,9  |
| S_RS4N23_C3             | 7,6                | 49          | 42,5   |
|                         |                    | 98          | 73,6   |
|                         |                    | 196         | 111,67 |
| S_RS4N23_C4             | 10,7               | 98          | 77,8   |
|                         |                    | 196         | 125    |
|                         |                    | 392         | 277    |
| S_RS4N24_C1             | 1,8                | 49          | 35     |
|                         |                    | 98          | 66,4   |
|                         |                    | 196         | 127,5  |
| S_RS4N24_C2             | 4,5                | 49          | 40,3   |
|                         |                    | 98          | 71,4   |
|                         |                    | 196         | 132,8  |

| Prova di taglio diretto |                    |             |        |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------|
| Sondaggio e campione    | Profondità da p.c. | $\sigma'_n$ | $\tau$ |
| (-)                     | (m)                | (kPa)       | (kPa)  |
| S_RS4N24_C3             | 6,2                | 49          | 42,2   |
|                         |                    | 98          | 67,5   |
|                         |                    | 196         | 137,8  |
| S_RS4N24_C4             | 9,2                | 49          | 45,3   |
|                         |                    | 98          | 70,1   |
|                         |                    | 196         | 139,4  |
| S_RS4N25_C1             | 5,7                | 49          | 39,4   |
|                         |                    | 98          | 58,3   |
|                         |                    | 196         | 126,7  |
| S_RS4N25_C3             | 15,2               | 98          | 75,7   |
|                         |                    | 196         | 135,8  |
|                         |                    | 392         | 277,2  |
| S_RS4N26_C2             | 3,8                | 49          | 58,5   |
|                         |                    | 98          | 78     |
|                         |                    | 196         | 134,3  |
| S_RS4N26_C3             | 5,8                | 49          | 43,6   |
|                         |                    | 98          | 65,6   |
|                         |                    | 196         | 108,1  |
| S_RS4N26_C4             | 8,3                | 98          | 61,7   |
|                         |                    | 196         | 119,7  |
|                         |                    | 392         | 227,8  |
| S_RS4N26_C6             | 12,8               | 98          | 72,8   |
|                         |                    | 196         | 112,2  |
|                         |                    | 392         | 243,6  |
| S_RS4N27_C3             | 14,7               | 196         | 106,1  |
|                         |                    | 392         | 213,9  |
|                         |                    | 588         | 295    |
| S_RS4N28_C1             | 3,3                | 49          | 36,9   |
|                         |                    | 98          | 66,4   |
|                         |                    | 196         | 111,9  |
| S_RS4N28_C2             | 5,2                | 49          | 35,3   |
|                         |                    | 98          | 62,2   |
|                         |                    | 196         | 103,9  |
| S2_C1                   | 5,2                | 100         | 77     |
|                         |                    | 200         | 142    |

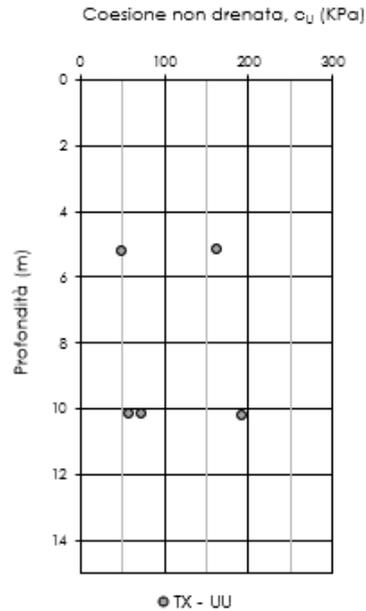
| Prova di taglio diretto |                    |             |               |
|-------------------------|--------------------|-------------|---------------|
| Sondaggio e campione    | Profondità da p.c. | $\sigma'_n$ | $\tau$        |
| (-)                     | (m)                | (kPa)       | (kPa)         |
|                         |                    | 300         | 217           |
| S22_C2                  | 20,2               | 300         | 216           |
|                         |                    | 400         | 275           |
|                         |                    | 500         | 340           |
| S5_C1                   | 5,2                | 100         | 79            |
|                         |                    | 200         | 118           |
|                         |                    | 300         | 175           |
| SI14_C12                | 27,2               | <b>100</b>  | <b>63,31</b>  |
|                         |                    | <b>200</b>  | <b>112,64</b> |
|                         |                    | <b>400</b>  | <b>224,64</b> |

Tabella 5. Valori a rottura delle prove TX relative ad ogni campione  
(in grassetto i dati relativi alla campagna di indagini integrative)

| Prove di compressione triassiale |           |          |                    |              |             |              |              |
|----------------------------------|-----------|----------|--------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| Prova                            | Sondaggio | Campione | Profondità da p.c. | $\sigma'_1$  | $\sigma'_3$ | $s'$         | $t'$         |
| (-)                              | (-)       | (-)      | (m)                | (kPa)        | (kPa)       | (kPa)        | (kPa)        |
| CID                              | S_RS4N23  | CI2      | 4,7                | 244,7        | 50          | 147,3        | 97,3         |
|                                  |           |          |                    | 368,7        | 100         | 234,3        | 134,3        |
|                                  |           |          |                    | 709,0        | 200         | 454,5        | 254,5        |
| CID                              | S-RIL-11  | CI2      | 7,4                | <b>186,1</b> | <b>50</b>   | <b>118,1</b> | <b>68,1</b>  |
|                                  |           |          |                    | <b>202,5</b> | <b>100</b>  | <b>201,2</b> | <b>101,2</b> |
|                                  |           |          |                    | <b>522,2</b> | <b>200</b>  | <b>361,1</b> | <b>161,1</b> |
| CIU                              | S5_C3     | CI3      | 14,2               | 508,0        | 300         | 197,0        | 104,0        |
|                                  |           |          |                    | 813,0        | 500         | 337,5        | 156,5        |
|                                  |           |          |                    | 1376,0       | 700         | 643,0        | 338,0        |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

I valori della resistenza non drenata  $c_u$  ricavati dalle prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU) sono diagrammati in funzione della profondità in Figura 11. I valori ottenuti risultano compresi tra 50 e 193 kPa.



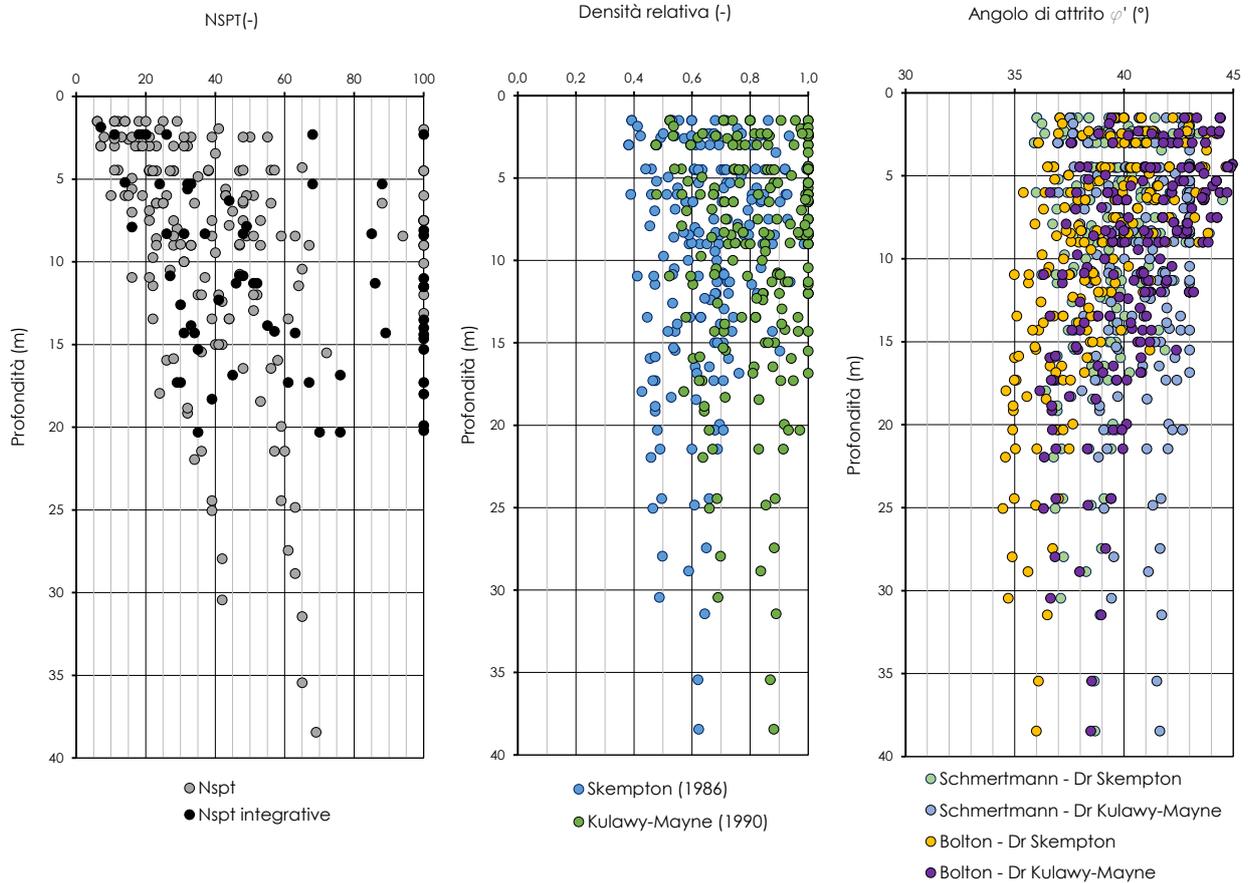
**Figura 11. Resistenza al taglio non drenata**

I risultati delle prove sono riportati nella tabella seguente (Tabella 6).

**Tabella 6. Prove di compressione triassiale UU**

| Sondaggio | Campione | Profondità da p.c. | $c_u$ |
|-----------|----------|--------------------|-------|
| (-)       | (-)      | (m)                | (kPa) |
| S5_C2     | CI2      | 10,2               | 193   |
| S11_C1    | CI1      | 5,2                | 50    |
| S14_C2    | CI2      | 10,2               | 73    |
| S11_C2    | CI2      | 10,1               | 58    |
| S12_C1    | CI1      | 5,2                | 162   |

Le 234 prove penetrometriche dinamiche SPT sono state elaborate in accordo alle relazioni empiriche dei terreni granulari (ALLEGATO 1). In Figura 12 si riporta l'andamento, in funzione della profondità, del numero di colpi  $N_{SPT}$ , della densità relativa  $D_r$  e dell'angolo di attrito efficace  $\phi'$ , definito utilizzando le correlazioni empiriche riportate in ALLEGATO 1.



**Figura 12.  $N_{SPT}$ , densità relativa e angolo di attrito da prove SPT**

I risultati delle prove in situ mostrano un angolo di attrito compreso tra  $34^\circ$  e  $45^\circ$  e densità relativa compresa tra 0,4 e 1,0.

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove relative ad ogni verticale di indagine (Tabella 7). Quando la prova SPT ha dato come risultato “rifiuto” è stato attribuito un valore pari a 100 colpi.

**Tabella 7. Numero di colpi N<sub>SPT</sub>**
**(in grassetto i dati relativi alla campagna di indagini integrative)**

| <b>Sondaggio</b> | <b>z (m)</b> | <b>N<sub>SPT</sub></b> |
|------------------|--------------|------------------------|
| S1-336+842       | 1,5          | 25                     |
| S1-336+842       | 8,6          | 23                     |
| S1-345+029       | 3            | 18                     |
| S1-346+468       | 2            | 100                    |
| S1-346+468       | 5,6          | 43                     |
| S1-349+697       | 2,6          | 15                     |
| S1-349+697       | 5,6          | 16                     |
| S1-349+697       | 10           | 31                     |
| S1-349+787       | 4,3          | 65                     |
| S1-349+787       | 9            | 67                     |
| S1-349+787       | 15,5         | 72                     |
| S1-351+805       | 1,5          | 29                     |
| S1-351+805       | 8            | 29                     |
| S1-351+805       | 10           | 31                     |
| S1-353+942       | 2            | 24                     |
| S1-353+942       | 7            | 16                     |
| S1-353+942       | 10,5         | 27                     |
| S2               | 1,5          | 6                      |
| S2               | 3            | 7                      |
| S2               | 4,5          | 28                     |
| S2               | 6            | 43                     |
| S2               | 7,5          | 100                    |
| S2               | 9            | 100                    |
| S3               | 1,5          | 11                     |
| S3               | 3            | 32                     |
| S3               | 4,5          | 100                    |
| S3               | 6            | 10                     |
| S3               | 7,5          | 39                     |
| S3               | 9            | 33                     |
| S3               | 12           | 100                    |
| S5               | 1,5          | 12                     |

| <b>Sondaggio</b> | <b>z (m)</b> | <b>N<sub>SPT</sub></b> |
|------------------|--------------|------------------------|
| S5               | 3            | 31                     |
| S5               | 4,5          | 47                     |
| S5               | 6            | 51                     |
| S5               | 7,5          | 48                     |
| S5               | 9            | 53                     |
| S5               | 12           | 41                     |
| S5               | 15           | 40                     |
| S7               | 3            | 23                     |
| S7               | 6            | 19                     |
| S9               | 1,5          | 14                     |
| S9               | 3            | 17                     |
| S9               | 4,5          | 21                     |
| S9               | 6            | 14                     |
| S9               | 7,5          | 100                    |
| S11              | 1,5          | 6                      |
| S11              | 3            | 7                      |
| S11              | 4,5          | 28                     |
| S11              | 6            | 43                     |
| S11              | 7,5          | 100                    |
| S11              | 9            | 100                    |
| S11              | 12           | 52                     |
| S12              | 1,5          | 18                     |
| S12              | 3            | 11                     |
| S12              | 4,5          | 27                     |
| S12              | 6            | 15                     |
| S12              | 7,5          | 21                     |
| S12              | 9            | 28                     |
| S14              | 1,5          | 20                     |
| S14              | 3            | 21                     |
| S14              | 4,5          | 38                     |
| S14              | 6            | 26                     |
| S14              | 7,5          | 28                     |
| S14              | 9            | 23                     |
| S14              | 12           | 35                     |
| S15              | 1,5          | 14                     |
| S15              | 3            | 28                     |

| Sondaggio | z (m) | N <sub>SPT</sub> |
|-----------|-------|------------------|
| S15       | 4,5   | 100              |
| S15       | 6     | 49               |
| S15       | 7,5   | 53               |
| S15       | 9     | 47               |
| S15       | 12    | 51               |
| S15       | 15    | 42               |
| S17       | 1,5   | 11               |
| S17       | 3     | 19               |
| S17       | 4,5   | 21               |
| S17       | 6     | 100              |
| S17       | 7,5   | 100              |
| S17       | 9     | 33               |
| S17       | 12    | 36               |
| S17       | 15    | 41               |
| S_RS4N16  | 2,45  | 55               |
| S_RS4N16  | 4,45  | 56               |
| S_RS4N16  | 6,45  | 56               |
| S_RS4N16  | 8,45  | 59               |
| S_RS4N16  | 10,75 | 47               |
| S_RS4N16  | 13,45 | 61               |
| S_RS4N16  | 16,45 | 56               |
| S_RS4N16  | 19,15 | 32               |
| S_RS4N16  | 21,45 | 36               |
| S_RS4N16  | 24,45 | 39               |
| S_RS4N16  | 27,95 | 42               |
| S_RS4N16  | 30,45 | 42               |
| S_RS4N17  | 2,45  | 13               |
| S_RS4N17  | 4,5   | 23               |
| S_RS4N17  | 6,45  | 25               |
| S_RS4N17  | 8,45  | 63               |
| S_RS4N17  | 11,45 | 64               |
| S_RS4N17  | 13,45 | 39               |
| S_RS4N17  | 15,45 | 36               |
| S_RS4N17  | 18,45 | 53               |
| S_RS4N17  | 21,45 | 57               |
| S_RS4N17  | 24,85 | 63               |
| S_RS4N17  | 28,85 | 63               |

| Sondaggio | z (m) | N <sub>SPT</sub> |
|-----------|-------|------------------|
| S_RS4N18  | 2,45  | 39               |
| S_RS4N18  | 4,45  | 21               |
| S_RS4N18  | 6,45  | 34               |
| S_RS4N18  | 8,45  | 39               |
| S_RS4N19  | 2,45  | 33               |
| S_RS4N19  | 4,45  | 38               |
| S_RS4N19  | 6,45  | 48               |
| S_RS4N19  | 8,45  | 49               |
| S_RS4N19  | 10,1  | 100              |
| S_RS4N19  | 13,12 | 100              |
| S_RS4N20  | 2,45  | 50               |
| S_RS4N20  | 4,45  | 57               |
| S_RS4N20  | 6,45  | 88               |
| S_RS4N20  | 8,45  | 94               |
| S_RS4N20  | 10,45 | 65               |
| S_RS4N20  | 13,45 | 44               |
| S_RS4N20  | 16,45 | 48               |
| S_RS4N21  | 2,55  | 11               |
| S_RS4N21  | 4,45  | 12               |
| S_RS4N21  | 6,45  | 23               |
| S_RS4N21  | 9,45  | 40               |
| S_RS4N21  | 11,45 | 22               |
| S_RS4N21  | 13,45 | 22               |
| S_RS4N21  | 15,95 | 26               |
| S_RS4N21  | 17,95 | 24               |
| S_RS4N22  | 1,95  | 41               |
| S_RS4N22  | 3,45  | 40               |
| S_RS4N22  | 6,95  | 45               |
| S_RS4N22  | 8,95  | 47               |
| S_RS4N22  | 12,95 | 51               |
| S_RS4N22  | 15,95 | 58               |
| S_RS4N22  | 19,95 | 59               |
| S_RS4N22  | 21,45 | 60               |
| S_RS4N22  | 24,45 | 59               |
| S_RS4N22  | 27,45 | 61               |
| S_RS4N22  | 31,45 | 65               |
| S_RS4N22  | 35,45 | 65               |

| Sondaggio    | z (m)       | N <sub>SPT</sub> |
|--------------|-------------|------------------|
| S_RS4N22     | 38,45       | 69               |
| S_RS4N23     | 2,45        | 31               |
| S_RS4N23     | 4,85        | 35               |
| S_RS4N23     | 7,8         | 44               |
| S_RS4N23     | 10,95       | 16               |
| S_RS4N24     | 2,45        | 16               |
| S_RS4N24     | 4,95        | 16               |
| S_RS4N24     | 6,9         | 21               |
| S_RS4N24     | 9,75        | 22               |
| S_RS4N24     | 12,4        | 42               |
| S_RS4N25     | 2,45        | 48               |
| S_RS4N25     | 4,45        | 48               |
| S_RS4N25     | 6,35        | 48               |
| S_RS4N25     | 8,45        | 51               |
| S_RS4N25     | 10,95       | 21               |
| S_RS4N26     | 2,45        | 8                |
| S_RS4N26     | 4,45        | 11               |
| S_RS4N26     | 6,45        | 23               |
| S_RS4N26     | 8,95        | 30               |
| S_RS4N26     | 10,95       | 37               |
| S_RS4N26     | 13,45       | 44               |
| S_RS4N26     | 15,85       | 28               |
| S_RS4N26     | 18,85       | 32               |
| S_RS4N26     | 21,95       | 34               |
| S_RS4N26     | 25,05       | 39               |
| S_RS4N27     | 2,45        | 21               |
| S_RS4N27     | 4,5         | 22               |
| S_RS4N27     | 6,45        | 25               |
| S_RS4N27     | 8,45        | 28               |
| <b>SI_9</b>  | <b>2,3</b>  | <b>11</b>        |
| <b>SI_9</b>  | <b>5,2</b>  | <b>14</b>        |
| <b>SI_9</b>  | <b>8,3</b>  | <b>26</b>        |
| <b>SI_9</b>  | <b>12,3</b> | <b>41</b>        |
| <b>SI_9</b>  | <b>15,3</b> | <b>100</b>       |
| <b>SI_9</b>  | <b>18</b>   | <b>100</b>       |
| <b>SI_10</b> | <b>2,3</b>  | <b>68</b>        |
| <b>SI_10</b> | <b>5,3</b>  | <b>88</b>        |

| Sondaggio      | z (m)        | N <sub>SPT</sub> |
|----------------|--------------|------------------|
| <b>SI_10</b>   | <b>8,3</b>   | <b>85</b>        |
| <b>SI_10</b>   | <b>11,3</b>  | <b>51</b>        |
| <b>SI_10</b>   | <b>14,3</b>  | <b>34</b>        |
| <b>SI_10</b>   | <b>17,3</b>  | <b>30</b>        |
| <b>SI_11</b>   | <b>2,3</b>   | <b>26</b>        |
| <b>SI_11</b>   | <b>5,3</b>   | <b>32</b>        |
| <b>SI_11</b>   | <b>8,3</b>   | <b>37</b>        |
| <b>SI_11</b>   | <b>11,5</b>  | <b>100</b>       |
| <b>SI_11</b>   | <b>14,3</b>  | <b>31</b>        |
| <b>SI_12</b>   | <b>2,3</b>   | <b>100</b>       |
| <b>SI_12</b>   | <b>5,3</b>   | <b>68</b>        |
| <b>SI_12</b>   | <b>8,1</b>   | <b>100</b>       |
| <b>SI_12</b>   | <b>11</b>    | <b>100</b>       |
| <b>SI_12</b>   | <b>14</b>    | <b>100</b>       |
| <b>SI_12</b>   | <b>17,3</b>  | <b>100</b>       |
| <b>SI_13</b>   | <b>2,3</b>   | <b>18</b>        |
| <b>SI_13</b>   | <b>5,6</b>   | <b>32</b>        |
| <b>SI_13</b>   | <b>8,3</b>   | <b>48</b>        |
| <b>SI_13</b>   | <b>11,3</b>  | <b>52</b>        |
| <b>SI_13</b>   | <b>14,2</b>  | <b>57</b>        |
| <b>SI_13</b>   | <b>17,3</b>  | <b>61</b>        |
| <b>SI_13</b>   | <b>20,3</b>  | <b>70</b>        |
| <b>SI_14</b>   | <b>2,3</b>   | <b>19</b>        |
| <b>SI_14</b>   | <b>5,3</b>   | <b>24</b>        |
| <b>SI_14</b>   | <b>8,3</b>   | <b>31</b>        |
| <b>SI_14</b>   | <b>10,85</b> | <b>47</b>        |
| <b>SI_14</b>   | <b>14,3</b>  | <b>63</b>        |
| <b>SI_14</b>   | <b>17,3</b>  | <b>67</b>        |
| <b>SI_14</b>   | <b>20,3</b>  | <b>76</b>        |
| <b>SI_15</b>   | <b>2,3</b>   | <b>20</b>        |
| <b>SI_15</b>   | <b>5,3</b>   | <b>33</b>        |
| <b>SI_15</b>   | <b>8,4</b>   | <b>100</b>       |
| <b>SI_15</b>   | <b>11,5</b>  | <b>100</b>       |
| <b>SI_15</b>   | <b>14,65</b> | <b>100</b>       |
| <b>SI_15</b>   | <b>20,3</b>  | <b>35</b>        |
| <b>S_RIL-9</b> | <b>6,3</b>   | <b>44</b>        |
| <b>S_RIL-9</b> | <b>7,85</b>  | <b>49</b>        |

| Sondaggio | z (m) | N <sub>SPT</sub> |
|-----------|-------|------------------|
| S_RIL-9   | 11,3  | 46               |
| S_RIL-9   | 13,5  | 100              |
| S_RIL-9   | 16,85 | 76               |
| S_RIL-9   | 19,9  | 100              |
| S_RIL-10  | 11,3  | 86               |
| S_RIL-10  | 14,3  | 89               |
| S_RIL-10  | 14,4  | 100              |
| S_RIL-10  | 20,2  | 100              |
| S_RIL-11  | 7,9   | 16               |
| S_RIL-11  | 10,85 | 27               |

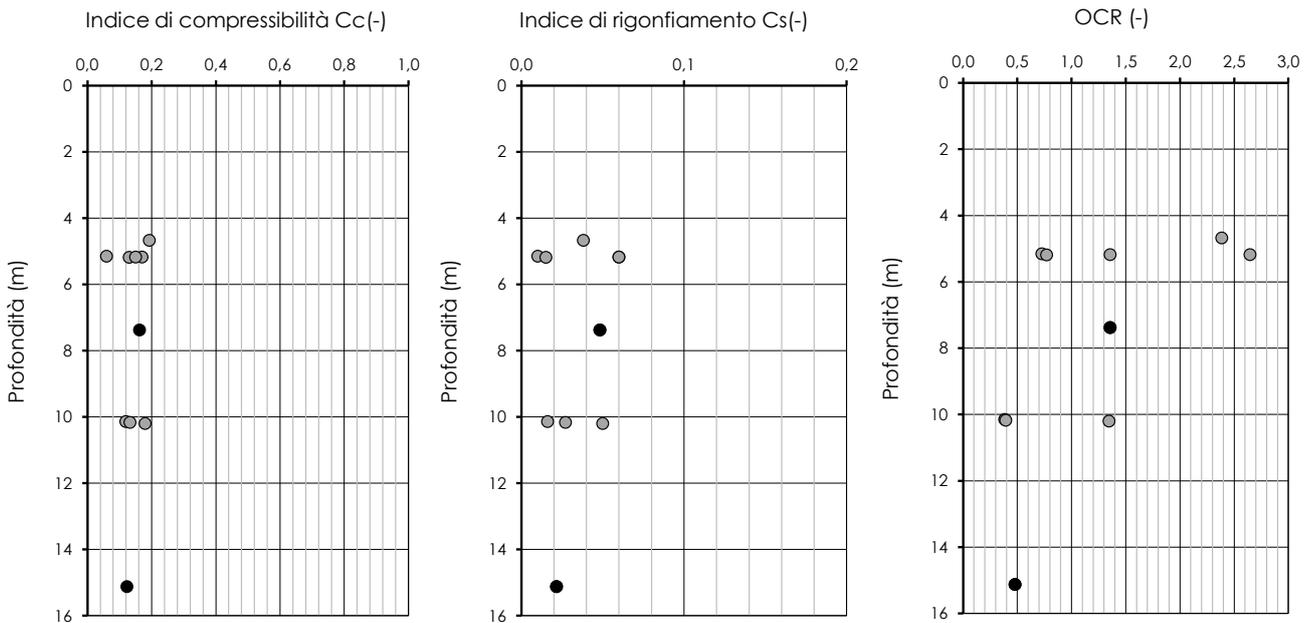
| Sondaggio | z (m) | N <sub>SPT</sub> |
|-----------|-------|------------------|
| S_RIL-11  | 13,85 | 33               |
| S_RIL-11  | 16,85 | 45               |
| S_RIL-12  | 12,6  | 30               |
| S_RIL-12  | 15,3  | 35               |
| S_RIL-12  | 18,3  | 39               |
| S_RIL-13  | 1,85  | 7                |
| S_RIL-13  | 10,85 | 48               |
| S_RIL-13  | 13,85 | 55               |
| S_RIL-13  | 17,3  | 29               |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

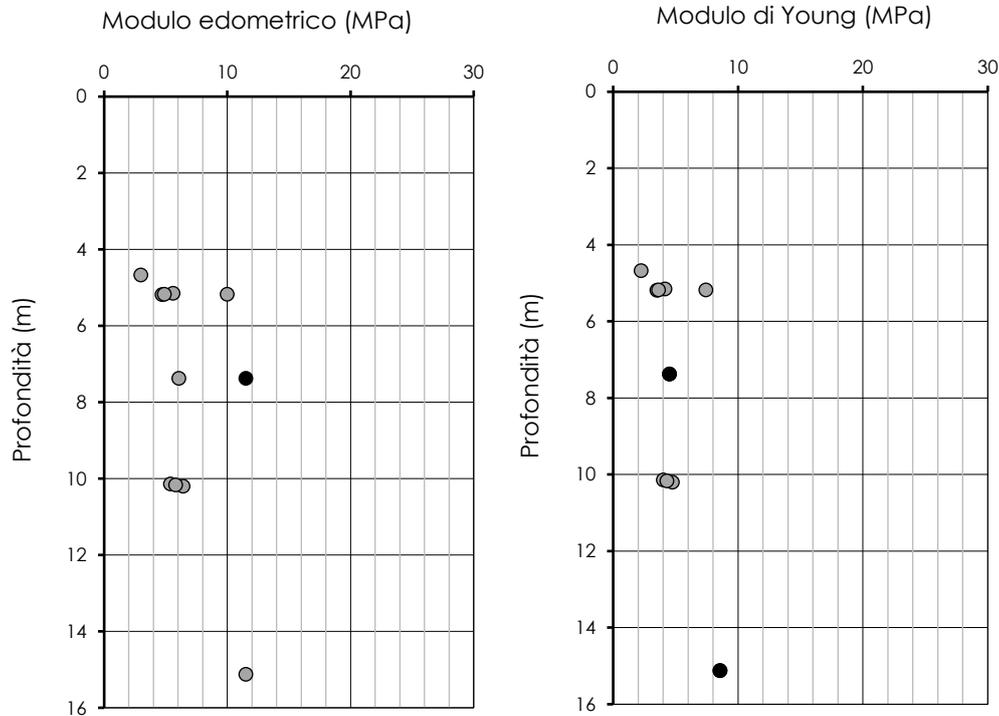
Per determinare le caratteristiche di deformabilità e compressibilità sono stati elaborati i risultati di 10 prove di compressione edometrica (eseguite sulla frazione fine della matrice), 14 prove geofisiche (10 MASW e 4 down-hole), 9 prove dilatometriche, 7 prove pressiometriche, 234 prove penetrometriche dinamiche SPT.

I parametri ottenuti dall'elaborazione delle prove di compressione edometrica sono diagrammati in funzione della profondità in Figura 13 e Figura 14; tali valori risultano compresi nei seguenti intervalli di variabilità:

- Indice di compressibilità  $C_c$ : 0,06 ÷ 0,19 (-)
- Indice di rigonfiamento  $C_s$ : 0,01 ÷ 0,06 (-)
- Grado di sovraconsolidazione OCR: 0,4 ÷ 2,6 (-)
- Modulo edometrico  $E_{ed}$ : 3 ÷ 12 MPa
- Modulo di Young  $E'$ : 2 ÷ 9 MPa.



**Figura 13. Indice di compressibilità, indice di rigonfiamento e grado di sovraconsolidazione da prove edometriche (con simbolo pieno i dati relativi alla campagna integrativa)**



**Figura 14. Modulo edometrico e modulo di Young da prove edometriche (con simbolo pieno i dati relativi alla campagna integrativa)**

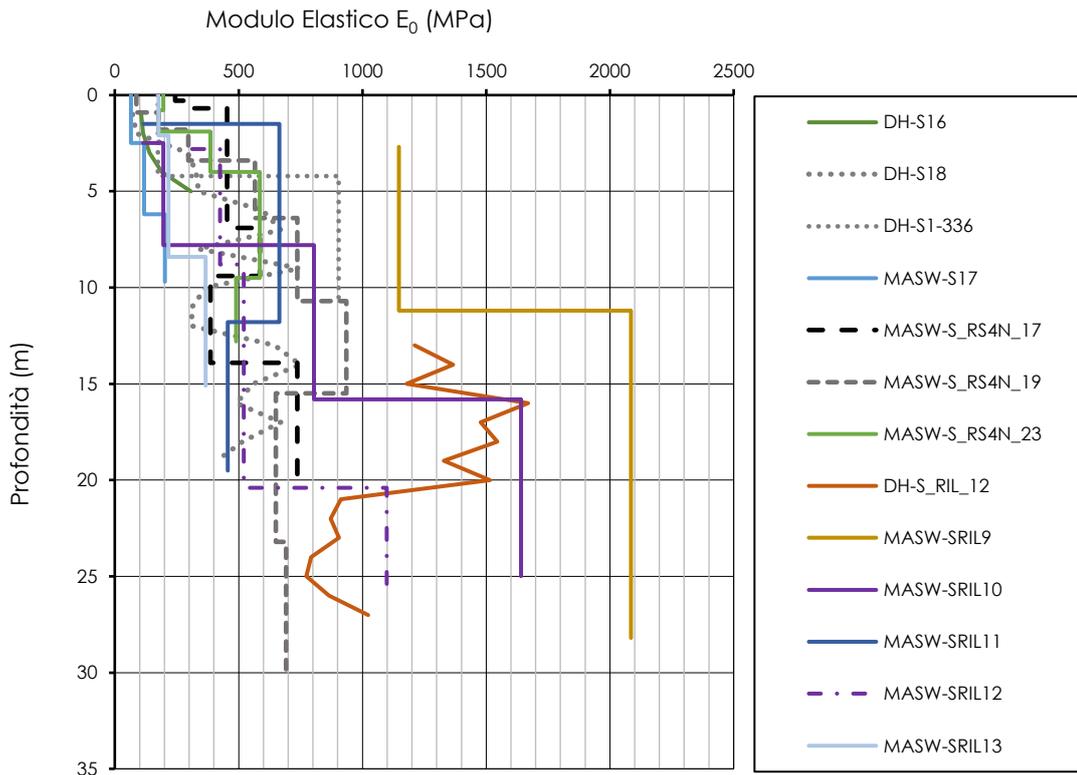
Di seguito la tabella riassuntiva delle prove di compressione edometrica (Tabella 8).

**Tabella 8. Prove edometriche (in grassetto i dati relativi alla campagna di indagini integrative)**

| Sondaggio      | Campione   | Profondità da p.c. | C <sub>c</sub> | C <sub>s</sub> | OCR         | e <sub>0</sub> | E'ed        |
|----------------|------------|--------------------|----------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| (-)            | (-)        | (m)                | (-)            | (-)            | (-)         | (-)            | (MPa)       |
| S2             | CI1        | 5,2                | 0,06           | 0,01           | 0,73        | 0,34           | 5,6         |
| S5             | CI1        | 5,2                | 0,17           | 0,06           | 2,65        | 0,60           | 10,0        |
| S5             | CI2        | 10,2               | 0,18           | 0,05           | 1,34        | 0,67           | 6,4         |
| S11            | CI1        | 5,2                | 0,13           | 0,02           | 0,77        | 0,50           | 4,7         |
| S11            | CI2        | 10,1               | 0,12           | 0,02           | 0,38        | 0,49           | 5,4         |
| S12            | CI1        | 5,2                | 0,15           | 0,06           | 1,36        | 0,64           | 4,9         |
| S14            | CI2        | 10,2               | 0,13           | 0,03           | 0,39        | 0,52           | 5,8         |
| S_RS4N23       | CI2        | 4,7                | 0,19           | 0,04           | 2,39        | 0,77           | 3,0         |
| <b>SI_14</b>   | <b>CI1</b> | <b>15,1</b>        | <b>0,12</b>    | <b>0,02</b>    | <b>0,48</b> | <b>0,53</b>    | <b>11,5</b> |
| <b>SRIL_11</b> | <b>CI2</b> | <b>7,4</b>         | <b>0,16</b>    | <b>0,05</b>    | <b>1,36</b> | <b>0,55</b>    | <b>6,1</b>  |

|                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                               |                  |             |                     |                           |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                  |             |                     |                           |           |
|                                                                                                                                              | RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO                                                                                                                                                  | COMMESSA<br>RS6K | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 07 RH | DOCUMENTO<br>GN 00 00 001 | REV.<br>A |

Per determinare il modulo di rigidezza iniziale della formazione si è fatto riferimento ai risultati delle 14 prove geofisiche eseguite in prossimità delle gallerie (Figura 15).

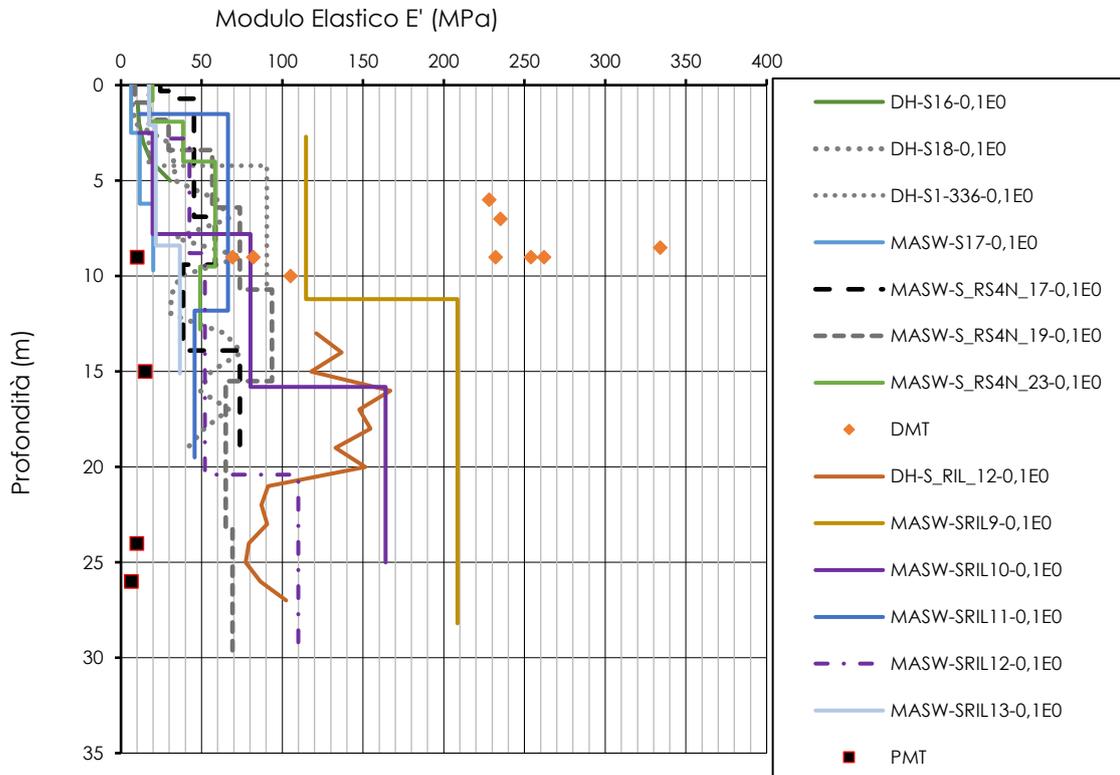


**Figura 15. Modulo di rigidezza iniziale da prove geofisiche**

I risultati ottenuti mostrano un incremento della rigidezza con la profondità. I valori più elevati sono legati all'eterogeneità della formazione e alla presenza di livelli cementati e di livelli limo-argillosi molto consistenti all'interno dell'unità SLA.

L'interpretazione delle prove dilatometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente al terzo ciclo di scarico ed al primo ciclo di carico. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo  $69 \div 334$  MPa mentre quello di carico nell'intervallo  $33 \div 84$  MPa. Si evidenzia che i valori ottenuti dalle prove eseguite nei sondaggi S2, S3, S5, S12, S14 sono tutti associati a livelli limo-argillosi molto consistenti, mentre i restanti 3 sono associati a livelli più sabbiosi.

Le prove geofisiche elaborate considerando un valore del rapporto  $E/E_0$  pari a 0,1 in funzione del livello deformativo atteso restituiscono valori paragonabili a quelli ottenuti con le prove dilatometriche eseguite nell'orizzonte sabbioso dell'Unità SLA mentre i valori derivati dalle prove pressiometriche risultano in generale inferiori a quelli derivati dalle altre prove (Figura 16).



**Figura 16. Modulo di deformabilità operativo da prove dilatometriche, pressiometriche e prove geofisiche**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove dilatometriche (Tabella 9) e pressiometriche (Tabella 10) relative ad ogni sondaggio.

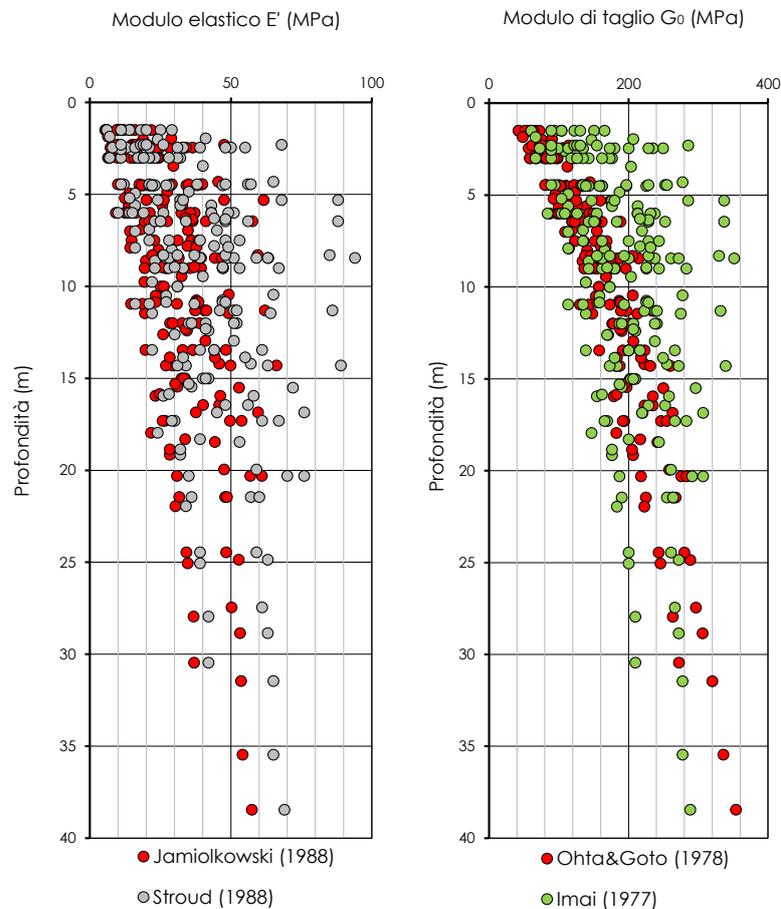
**Tabella 9. Prove dilatometriche**

| Sondaggio | Profondità da p.c. | E unload | E load |
|-----------|--------------------|----------|--------|
| (-)       | (m)                | (MPa)    | (MPa)  |
| S2        | 6,0                | 228      | 43,7   |
| S3        | 9,0                | 262      | 55,7   |
| S5        | 7,0                | 235      | 54,7   |
| S9        | 10,0               | 105      | 33     |
| S11       | 9,0                | 254      | 59,2   |
| S12       | 9,0                | 232      | 48,8   |
| S14       | 8,5                | 334      | 83,6   |
| S16       | 9,0                | 82       | 47,4   |
| S17       | 9,0                | 69       | 33,7   |

**Tabella 10. Prove pressiometriche**

| Sondaggio | Profondità da p.c. | $E_M$ |
|-----------|--------------------|-------|
| (-)       | (m)                | (MPa) |
| S9        | 9.0-10.0           | 10.0  |
| S10       | 24.0-24.5          | 9.8   |
| S11       | 15.0-16.0          | 15.0  |
| S12       | 26.0-27.0          | 6.4   |
| S13       | 24.0-25.0          | -     |
| S14       | 21.0-22.0          | -     |
| S15       | 12.0-13.0          | -     |

La Figura 17 mostra gli andamenti con la profondità del modulo elastico  $E'$  e del modulo di taglio iniziale  $G_0$  ottenuti da prove SPT. I parametri risultano rispettivamente compresi negli intervalli 6÷94 MPa e 42÷354 MPa. L'intervallo di variazione del modulo elastico paragonabile a quanto ottenuto dalle prove geofisiche. Come atteso, si nota un incremento di rigidezza con la profondità.



**Figura 17. Modulo elastico  $E'$  e modulo di taglio  $G_0$  da prove SPT**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

Per la caratterizzazione meccanica dell'arenite sono stati considerati i risultati di 1 prova di compressione monoassiale e 2 point load test eseguite su campioni lapidei prelevati nei fori di sondaggio. Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale compresi nell'intervallo 54÷113 MPa (media-elevata).

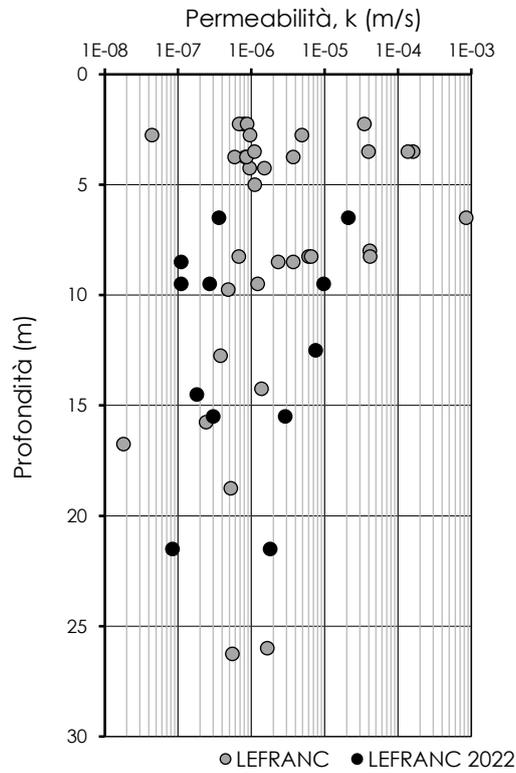
Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 1 prova di velocità sonica e dalle misure di deformazioni eseguite durante la prova di compressione monoassiale. I valori ottenuti variano tra 46 e 54 GPa (misure eseguite sullo stesso campione).

La Tabella 11 riassume i risultati ottenuti per ogni campione.

**Tabella 11. Resistenza a compressione monoassiale e modulo elastico da prove di laboratorio  
(in grassetto i dati relativi alla campagna di indagini integrative)**

| Sondaggio    | Campione   | Profondità da p.c. | $\sigma_{ci}$<br>(compr. monoassiale) | $\sigma_{ci}$<br>(PLT) | $E_{i,s}$<br>(compr. monoassiale) | $E_i$<br>(vel.sonica) |
|--------------|------------|--------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| (-)          | (-)        | (m)                | (MPa)                                 | (MPa)                  | (GPa)                             | (GPa)                 |
| S5           | CL6        | 30,1               | 113,2                                 |                        | 53,9                              | 45,7                  |
| S_RS4N20     | CL5        | 9,8                |                                       | 53,8                   |                                   |                       |
| <b>SI-14</b> | <b>CL1</b> | <b>29.4</b>        |                                       | <b>77.7</b>            |                                   |                       |

Sono state eseguite un totale di 52 prove di permeabilità di tipo Lefranc nei fori di sondaggio a profondità variabili tra 2 e 26,5 m da p.c lungo tutto il tracciato del Lotto 2. Il coefficiente di permeabilità  $k$  varia essenzialmente tra  $10^{-3}$  e  $10^{-8}$  m/s (Figura 18), a conferma della dipendenza del parametro dalla minore o maggiore presenza della componente limo-argillosa nella formazione.



**Figura 18. Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove Lefranc (con simbolo pieno i dati relativi alla campagna integrativa)**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove Lefranc relative ad ogni sondaggio (Tabella 12).

**Tabella 12. Prove Lefranc (in grassetto i dati relativi alla campagna di indagini integrative)**

| <b>Prova</b> | <b>Sondaggio</b> | <b>Profondità da p.c.</b> | <b><math>k</math></b> |
|--------------|------------------|---------------------------|-----------------------|
| <b>(-)</b>   | <b>(-)</b>       | <b>(m)</b>                | <b>(m/s)</b>          |
| Lefranc      | S2               | 2,25                      | 7,8E-07               |
| Lefranc      | S3               | 2,25                      | 6,8E-07               |
| Lefranc      | S5               | 2,75                      | 4,4E-08               |
| Lefranc      | S9               | 3,75                      | 3,7E-06               |
| Lefranc      | S11              | 4,25                      | 9,5E-07               |
| Lefranc      | S12              | 3,75                      | 8,2E-07               |
| Lefranc      | S14              | 2,25                      | 8,7E-07               |

| Prova   | Sondaggio    | Profondità da p.c. | k              |
|---------|--------------|--------------------|----------------|
| (-)     | (-)          | (m)                | (m/s)          |
| Lefranc | S14          | 12,75              | 3,8E-07        |
| Lefranc | S15          | 3,75               | 5,9E-07        |
| Lefranc | S17          | 3,75               | 8,6E-07        |
| Lefranc | S18          | 2,75               | 4,9E-06        |
| Lefranc | S19          | 2,75               | 9,6E-07        |
| Lefranc | S19          | 16,75              | 1,8E-08        |
| Lefranc | S22          | 4,25               | 1,5E-06        |
| Lefranc | S22          | 15,75              | 2,4E-07        |
| Lefranc | S_RS4N16     | 3,5                | 1,1E-06        |
| Lefranc | S_RS4N16     | 8,5                | 2,3E-06        |
| Lefranc | S_RS4N16     | 26,25              | 5,5E-07        |
| Lefranc | S_RS4N17     | 8,25               | 6,1E-06        |
| Lefranc | S_RS4N17     | 26                 | 1,7E-06        |
| Lefranc | S_RS4N18     | 3,5                | 3,9E-05        |
| Lefranc | S_RS4N18     | 8                  | 4,1E-05        |
| Lefranc | S_RS4N19     | 3,5                | 1,6E-04        |
| Lefranc | S_RS4N19     | 8,25               | 6,5E-06        |
| Lefranc | S_RS4N20     | 3,5                | 3,9E-03        |
| Lefranc | S_RS4N20     | 8,25               | 1,6E-03        |
| Lefranc | S_RS4N21     | 9,25               | 1,8E-03        |
| Lefranc | S_RS4N22     | 5                  | 1,1E-06        |
| Lefranc | S_RS4N22     | 9,75               | 4,8E-07        |
| Lefranc | S_RS4N22     | 18,75              | 5,3E-07        |
| Lefranc | S_RS4N23     | 3,5                | 1,4E-04        |
| Lefranc | S_RS4N23     | 8,5                | 3,7E-06        |
| Lefranc | S_RS4N24     | 2,25               | 3,5E-05        |
| Lefranc | S_RS4N24     | 8,25               | 6,7E-07        |
| Lefranc | S_RS4N25     | 3,5                | 1,4E-03        |
| Lefranc | S_RS4N25     | 8,25               | 4,2E-05        |
| Lefranc | S_RS4N26     | 14,25              | 1,4E-06        |
| Lefranc | S_RS4N27     | 6,5                | 1,8E-03        |
| Lefranc | S_RS4N28     | 6,5                | 8,5E-04        |
| Lefranc | S_RS4N28     | 9,5                | 1,2E-06        |
| Lefranc | <b>SI 9</b>  | <b>6,5</b>         | <b>3,6E-07</b> |
| Lefranc | <b>SI 10</b> | <b>21,5</b>        | <b>8,4E-08</b> |
| Lefranc | <b>SI 11</b> | <b>15,5</b>        | <b>2,9E-06</b> |

| Prova   | Sondaggio      | Profondità da p.c. | k              |
|---------|----------------|--------------------|----------------|
| (-)     | (-)            | (m)                | (m/s)          |
| Lefranc | <b>SI 12</b>   | <b>21,5</b>        | <b>1,8E-06</b> |
| Lefranc | <b>SI 13</b>   | <b>15,5</b>        | <b>3,0E-07</b> |
| Lefranc | <b>SI 14</b>   | <b>9,5</b>         | <b>1,1E-07</b> |
| Lefranc | <b>SI 15</b>   | <b>9,5</b>         | <b>9,7E-06</b> |
| Lefranc | <b>SRIL 9</b>  | <b>6,5</b>         | <b>2,1E-05</b> |
| Lefranc | <b>SRIL 10</b> | <b>9,5</b>         | <b>2,7E-07</b> |
| Lefranc | <b>SRIL 11</b> | <b>8,5</b>         | <b>1,1E-07</b> |
| Lefranc | <b>SRIL 12</b> | <b>14,5</b>        | <b>1,8E-07</b> |
| Lefranc | <b>SRIL 13</b> | <b>12,5</b>        | <b>7,5E-06</b> |

### Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'Unità Geotecnica SLA (terreno e roccia). La Tabella 13 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro; si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 13. Sintesi parametri geotecnici Unità SLA**

|                     | Min      | Max      |                      |
|---------------------|----------|----------|----------------------|
| $\gamma$            | 15,3     | 21,5     | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| $\gamma_d$          | 13,9     | 19,2     | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| w                   | 6,0      | 24,6     | (%)                  |
| w <sub>L</sub>      | 19,0     | 48,0     | (%)                  |
| w <sub>P</sub>      | 13,0     | 23,0     | (%)                  |
| I <sub>P</sub>      | 5,0      | 35,0     | (%)                  |
| I <sub>C</sub>      | 0,8      | 1,7      | (-)                  |
| D <sub>r</sub>      | 0,4      | 1,0      | (-)                  |
| $\phi'_{TD}$        | 30,0     |          | (°)                  |
| c' <sub>TD</sub>    | 17,0     |          | (kPa)                |
| $\phi'_{TXT}$       | 28,0     |          | (°)                  |
| c' <sub>TXT</sub>   | 20,0     |          | (kPa)                |
| C <sub>U</sub>      | 50,0     | 193,0    | (kPa)                |
| $\phi'_{SPT}$       | 34,0     | 45,0     | (°)                  |
| C <sub>C</sub>      | 0,06     | 0,19     | (-)                  |
| C <sub>S</sub>      | 0,01     | 0,06     | (-)                  |
| OCR                 | 0,4      | 2,6      | (-)                  |
| E' <sub>ed</sub>    | 3,0      | 12,0     | (MPa)                |
| E'                  | 2,0      | 9,0      | (MPa)                |
| E <sub>unload</sub> | 69,0     | 334,0    | (MPa)                |
| E <sub>load</sub>   | 33,0     | 84,0     | (MPa)                |
| E' <sub>pr</sub>    | 6,4      | 15,0     | (MPa)                |
| E' <sub>SPT</sub>   | 6,0      | 94,0     | (MPa)                |
| G <sub>0,SPT</sub>  | 42,0     | 354,0    | (MPa)                |
| k                   | 1,80E-08 | 3,90E-03 | (m/s)                |

| Involuppi di rottura |      |       |
|----------------------|------|-------|
| $\phi'_{TD}$         | 32   | (°)   |
| c' <sub>TD</sub>     | 13,0 | (kPa) |
| $\phi'_{TXT}$        | 30   | (°)   |
| c' <sub>TXT</sub>    | 7    | (kPa) |
| C <sub>U</sub>       | 107  | (kPa) |

|                    | Min  | Max   |                      |
|--------------------|------|-------|----------------------|
| $\gamma$           | 22,1 | 25,3  | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| $\sigma_c$         | 53,8 | 113,2 | (MPa)                |
| E <sub>i,vel</sub> | 45,7 | 53,9  | (GPa)                |

### 6.4.2 Argille limo sabbiose (ALS)

#### Caratteristiche fisiche

Questa Unità Geotecnica è costituita dai depositi del Pleistocene inferiore terminale e costituisce il substrato del modello geotecnico. Essa è composta essenzialmente da argille limo sabbiose fossilifere di colore grigio-azzurro e da limi argillo-sabbiosi dello stesso colore (Figura 19 e Figura 20). Si ritrovano a profondità variabili dei passaggi prevalentemente sabbiosi (Figura 21).



Figura 19. Argille limo sabbiose nel foro di sondaggio S\_RS4N\_20 tra 30 e 40 m da p.c.



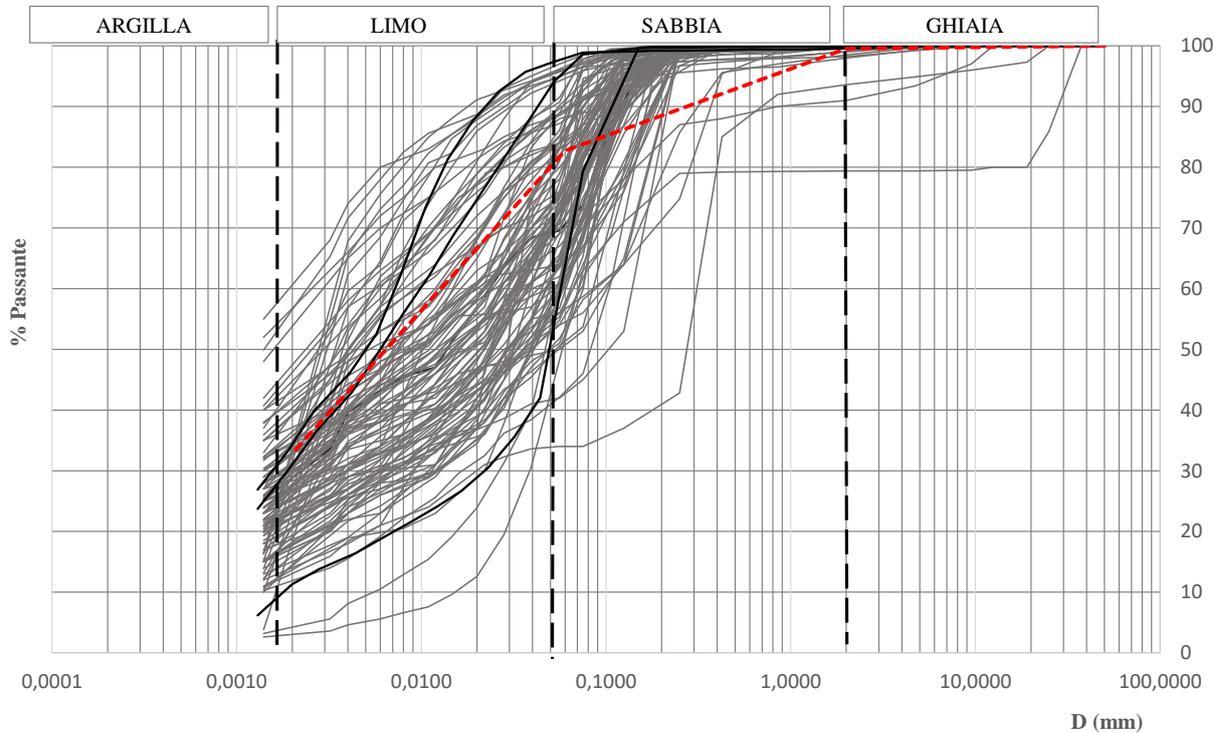
Figura 20. Argille limo sabbiose nel foro di sondaggio SI\_11 tra 20 e 30 m da p.c.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |



**Figura 21. Passaggio sabbioso in ALS nel foro di sondaggio S5 tra 25 e 30 m dal p.c.**

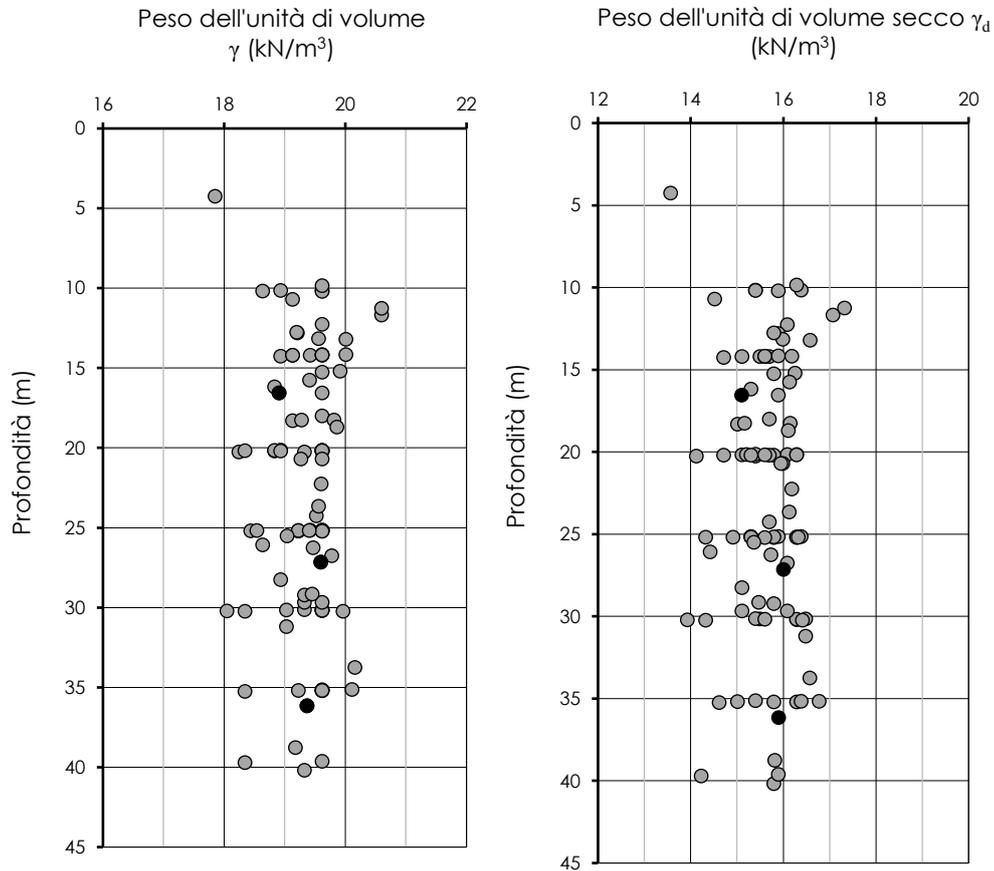
Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati mettono in evidenza la presenza non trascurabile di sabbia all'interno della formazione fine. Sulla base dei campioni analizzati il terreno è mediamente classificabile come limo con argilla sabbioso (Figura 22).



**Figura 22. Analisi granulometrica**  
(con tratto più spesso le curve relative alla campagna integrativa, in rosso la curva media)

Sono stati analizzati 106 campioni indisturbati prelevati tra 4,5 e 40 m di profondità. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un quadro complessivo al variare della profondità delle principali grandezze fisiche e meccaniche dell'unità indagata.

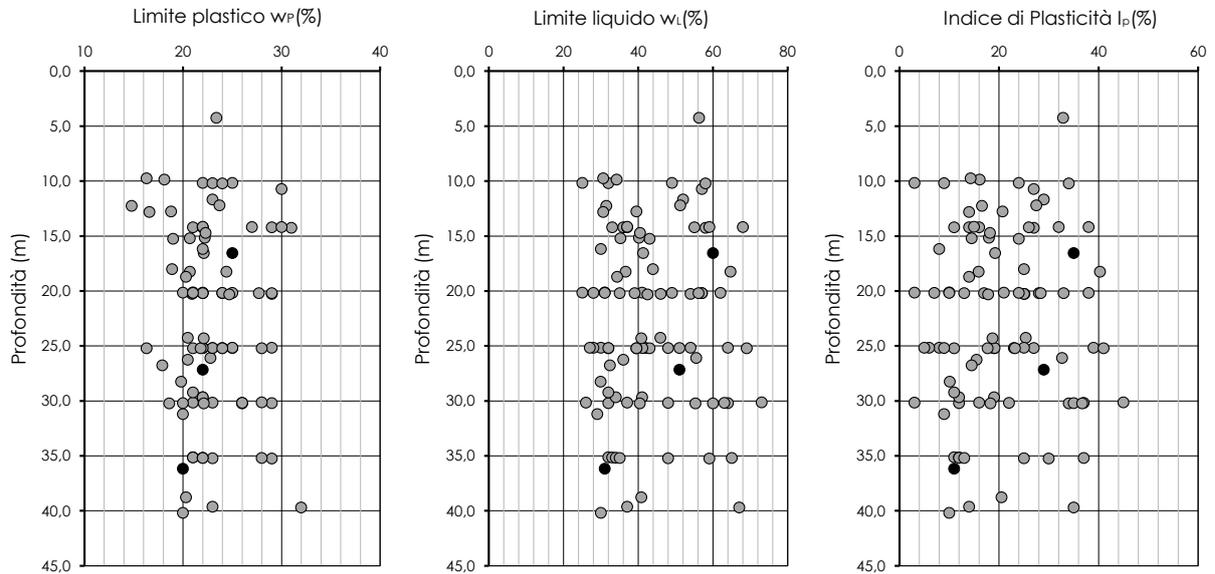
Il peso dell'unità di volume è compreso tra 18 e 21 kN/m<sup>3</sup> mentre il peso di volume del materiale secco varia tra 13.5 e 17.5 kN/m<sup>3</sup> (Figura 23). Il peso specifico varia tra 25.5 e 27 kN/m<sup>3</sup>.



**Figura 23. Peso dell'unità di volume  $\gamma$  e peso dell'unità di volume del materiale secco  $\gamma_d$  (con simbolo pieno i dati relativi alla campagna integrativa)**

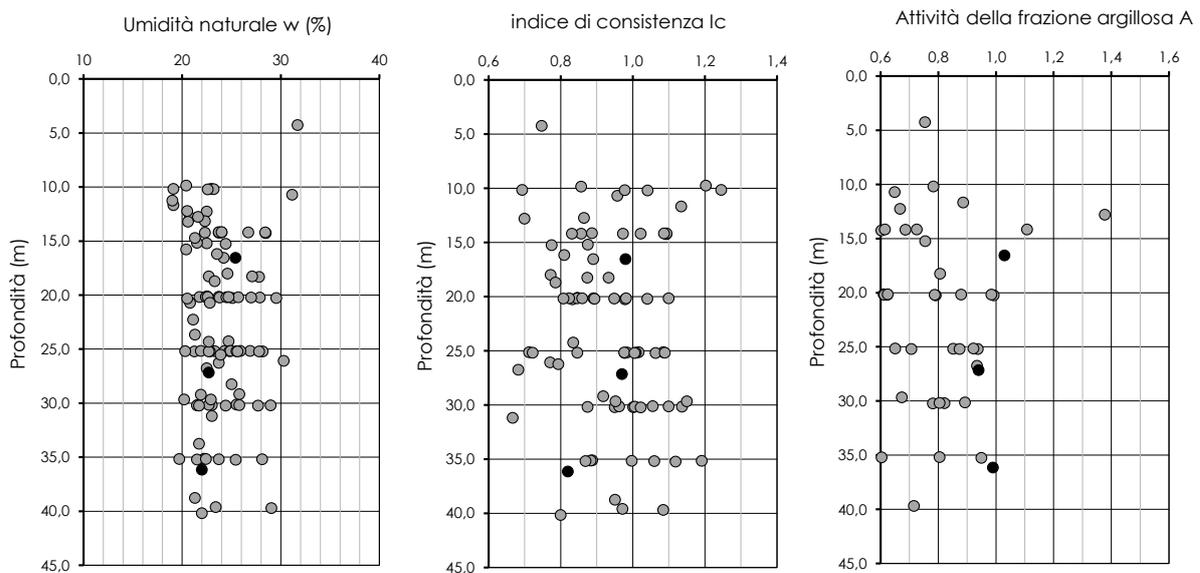
I limiti di Atterberg (Figura 24) sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

- Limite plastico,  $w_p$ : 25% ÷ 32%
- Limite liquido,  $w_L$ : 15% ÷ 73%
- Indice di Plasticità,  $I_p$ : 3% ÷ 45%.



**Figura 24. Limiti di Atterberg e indice di plasticità (con simbolo pieno i dati relativi alla campagna integrativa)**

Il contenuto d'acqua naturale  $w$  risulta compreso tra il 19% ed il 32%, con un indice di consistenza  $I_C$  variabile tra 0,4 e 1,2 e mediamente pari a 0,9, valore che denota una consistenza solido-plastica. L'attività della frazione argillosa  $A$  è compresa tra 0,1 e 1,4, mediamente pari a 0,6, indice di terreni normalmente attivi (Figura 25). Non si evidenzia la presenza di campioni attivi.



**Figura 25. Umidità naturale  $w$ , indice di consistenza  $I_C$  e attività  $A$  (con simbolo pieno i dati relativi alla campagna integrativa)**

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche dell'Unità Geotecnica ALS (Tabella 14).

**Tabella 14. Caratteristiche fisiche ALS**  
**(in grassetto i dati relativi alla campagna di indagini integrative)**

| Sondaggio  | Campione | Profondità da p.c. | $\gamma$             | $\gamma_d$           | w <sub>P</sub> | w <sub>L</sub> | I <sub>P</sub> | I <sub>C</sub> | A   |
|------------|----------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|
| (-)        | (-)      | (m)                | (kN/m <sup>3</sup> ) | (kN/m <sup>3</sup> ) | (%)            | (%)            | (%)            | (-)            | (-) |
| S1-336+832 | CI2      | 26,1               | 18,6                 | 14,4                 | 22,8           | 55,5           | 32,7           | 0,8            | 0,6 |
| S1-345     | CI1      | 12,3               | 19,6                 | 16,1                 | 14,8           | 31,4           | 16,6           | 0,5            | 0,7 |
| S1-345     | CI2      | 24,3               | 19,5                 | 15,7                 | 20,5           | 45,9           | 25,4           | 0,8            | 0,4 |
| S1-346     | CI1      | 18,3               | 19,1                 | 15,0                 |                |                |                |                |     |
| S1-346     | CI2      | 28,3               | 18,9                 | 15,1                 | 19,8           | 29,9           | 10,1           | 0,5            | 0,3 |
| S1 349+697 | CI2      | 16,6               | 19,6                 | 15,9                 | 22,1           | 41,3           | 19,2           | 0,9            | 0,5 |
| S1 349+797 | CI2      | 18,0               | 19,6                 | 15,7                 | 18,9           | 43,9           | 25             | 0,8            | 0,6 |
| S1-351+805 | CI2      | 15,3               | 19,6                 | 15,8                 | 19             | 43             | 24             | 0,8            | 0,8 |
| S1 353+941 | CI3      | 20,3               | 19,3                 | 15,4                 | 20,9           | 46             | 25,1           | 0,8            | 1,0 |
| S2         | CI2      | 10,7               | 19,1                 | 14,5                 | 30             | 57             | 27             | 1,0            | 0,6 |
| S2         | CI3      | 14,3               | 18,9                 | 14,7                 | 31             | 58             | 27             | 1,1            | 0,6 |
| S2         | CI4      | 20,3               | 18,2                 | 14,1                 | 29             | 54             | 25             | 1,0            | 0,8 |
| S2         | CI5      | 25,2               | 18,4                 | 14,3                 | 24             | 51             | 27             | 0,8            | 0,9 |
| S2         | CI6      | 30,2               | 18,3                 | 14,3                 | 26             | 60             | 34             | 1,0            | 0,8 |
| S2         | CI7      | 35,2               | 18,3                 | 14,6                 | 29             | 59             | 30             | 1,1            | 0,9 |
| S1 356+642 | CI1      | 4,3                | 17,9                 | 13,6                 | 23,4           | 56,3           | 32,9           | 0,7            | 0,8 |
| S1 356+642 | CI2      | 18,3               | 19,3                 | 15,2                 | 24,4           | 64,7           | 40,3           | 0,9            | 0,8 |
| S3         | CI3      | 14,2               | 19,4                 | 15,1                 | 29             | 55             | 26             | 1,0            | 0,7 |
| S3         | CI4      | 20,2               | 18,8                 | 14,7                 | 29             | 57             | 28             | 1,0            | 0,6 |
| S3         | CI5      | 25,2               | 19,4                 | 15,3                 | 29             | 54             | 25             | 1,1            | 0,7 |
| S3         | CI6      | 30,2               | 18,1                 | 13,9                 | 29             | 64             | 35             | 1,0            | 0,8 |
| S3         | CI7      | 39,7               | 18,3                 | 14,2                 | 32             | 67             | 35             | 1,1            | 0,7 |
| S5         | CI4      | 20,2               | 18,3                 | 15,1                 | 21             | 28             | 7              | 0,9            | 0,2 |
| S5         | CI5      | 25,2               | 19,2                 | 15,8                 | 21             | 32             | 11             | 1,0            | 0,3 |
| S7         | CI1      | 16,2               | 18,8                 | 15,3                 | 22             | 30             | 8              | 0,8            | 0,2 |
| S7         | CI2      | 20,1               | 18,9                 | 15,4                 | 21             | 31             | 10             | 0,8            | 0,2 |
| S7         | CI3      | 25,2               | 19,6                 | 15,9                 | 22             | 30             | 8              | 0,7            | 0,2 |
| S7         | CI4      | 31,2               | 19,0                 | 16,5                 | 20             | 29             | 9              | 0,7            | 0,3 |
| S7         | CI5      | 35,1               | 20,1                 | 15,4                 | 21             | 32             | 11             | 0,9            | 0,4 |
| S7         | CI6      | 40,2               | 19,3                 | 15,8                 | 20             | 30             | 10             | 0,8            | 0,4 |
| S9         | CI2      | 10,2               | 18,9                 | 15,4                 | 22             | 25             | 3              | 0,7            | 0,1 |
| S9         | CI3      | 14,2               | 19,6                 | 15,7                 | 22             | 36             | 14             | 0,9            | 0,5 |
| S9         | CI4      | 20,2               | 19,6                 | 16,1                 | 22             | 25             | 3              | 0,8            | 0,2 |

| Sondaggio | Campione | Profondità da p.c. | $\gamma$             | $\gamma_d$           | $w_P$ | $w_L$ | $I_p$ | $I_c$ | A   |
|-----------|----------|--------------------|----------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-----|
| (-)       | (-)      | (m)                | (kN/m <sup>3</sup> ) | (kN/m <sup>3</sup> ) | (%)   | (%)   | (%)   | (-)   | (-) |
| S9        | CI5      | 25,2               | 19,6                 | 16,4                 | 22    | 28    | 6     | 1,0   | 0,3 |
| S9        | CI6      | 30,2               | 19,6                 | 16,5                 | 21    | 37    | 16    | 1,0   | 0,4 |
| S9        | CI7      | 35,2               | 19,6                 | 16,3                 | 23    | 48    | 25    | 1,1   | 0,6 |
| S11       | CI3      | 14,2               | 19,1                 | 15,5                 | 21    | 37    | 16    | 0,8   | 0,5 |
| S11       | CI4      | 20,2               | 18,8                 | 15,2                 | 20    | 41    | 21    | 0,8   | 0,6 |
| S11       | CI5      | 25,2               | 18,5                 | 14,9                 | 25    | 48    | 23    | 1,0   | 0,9 |
| S11       | CI6      | 30,2               | 19,6                 | 16,3                 | 20    | 32    | 12    | 0,9   | 0,4 |
| S11       | CI7      | 35,2               | 19,6                 | 16,4                 | 21    | 33    | 12    | 0,9   | 0,6 |
| S12       | CI2      | 10,2               | 18,6                 | 15,4                 | 23    | 32    | 9     | 1,0   | 0,3 |
| S12       | CI3      | 14,2               | 19,1                 | 15,6                 | 22    | 33    | 11    | 1,0   | 0,6 |
| S12       | CI4      | 20,2               | 18,9                 | 15,3                 | 22    | 39    | 17    | 0,9   | 0,5 |
| S12       | CI5      | 25,2               | 19,6                 | 16,3                 | 23    | 42    | 19    | 1,0   | 0,6 |
| S12       | CI6      | 30,2               | 19,6                 | 16,3                 | 26    | 48    | 22    | 1,1   | 0,6 |
| S12       | CI7      | 35,2               | 19,6                 | 16,8                 | 22    | 34    | 12    | 1,2   | 0,3 |
| S14       | CI3      | 14,2               | 19,6                 | 15,9                 | 22    | 37    | 15    | 0,9   | 0,6 |
| S14       | CI4      | 20,2               | 19,6                 | 15,8                 | 22    | 35    | 13    | 0,8   | 0,6 |
| S14       | CI5      | 25,2               | 19,6                 | 15,8                 | 22    | 27    | 5     | 0,4   | 0,2 |
| S14       | CI6      | 30,2               | 19,0                 | 15,5                 | 23    | 26    | 3     | 1,1   | 0,1 |
| S14       | CI7      | 35,2               | 19,6                 | 15,8                 | 22    | 35    | 13    | 0,9   | 0,6 |
| S14       | CI8      | 39,6               | 19,6                 | 15,9                 | 23    | 37    | 14    | 1,0   | 0,5 |
| S16       | CI2      | 10,2               | 19,6                 | 16,4                 | 25    | 49    | 24    | 1,2   | 0,6 |
| S16       | CI3      | 14,2               | 20,0                 | 16,2                 | 27    | 59    | 32    | 1,1   | 0,7 |
| S16       | CI4      | 20,2               | 19,6                 | 15,7                 | 24    | 57    | 33    | 0,9   | 0,8 |
| S16       | CI5      | 25,2               | 19,2                 | 15,3                 | 25    | 64    | 39    | 1,0   | 0,9 |
| S16       | CI6      | 30,1               | 19,3                 | 15,4                 | 28    | 73    | 45    | 1,1   | 0,9 |
| S17       | CI2      | 10,2               | 19,6                 | 15,9                 | 24    | 58    | 34    | 1,0   | 0,8 |
| S17       | CI3      | 14,2               | 19,6                 | 15,6                 | 30    | 68    | 38    | 1,1   | 1,1 |
| S17       | CI4      | 20,2               | 19,6                 | 15,6                 | 24    | 62    | 38    | 1,0   | 1,0 |
| S17       | CI5      | 25,2               | 19,6                 | 15,6                 | 28    | 69    | 41    | 1,0   | 0,9 |
| S17       | CI6      | 30,2               | 19,6                 | 15,6                 | 26    | 63    | 37    | 1,0   | 0,8 |
| S17       | CI7      | 35,2               | 19,2                 | 15,0                 | 28    | 65    | 37    | 1,0   | 0,8 |
| S18       | CI2      | 20,2               | 19,6                 | 16,3                 | 21    | 31    | 10    | 0,9   | 0,6 |
| S18       | CI3      | 25,2               | 19,2                 | 15,3                 | 23    | 32    | 9     | 0,7   | 0,5 |
| S18       | CI4      | 29,7               | 19,6                 | 16,1                 | 22    | 41    | 19    | 1,0   | 0,7 |
| S19       | CI3      | 11,7               | 20,6                 | 17,1                 | 23    | 52    | 29    | 1,1   | 0,9 |
| S19       | CI5      | 20,2               | 19,6                 | 16,3                 | 25    | 49    | 24    | 1,1   | 0,9 |
| S19       | CI6      | 25,2               | 19,6                 | 16,3                 | 24    | 43    | 19    | 1,1   | 0,7 |
| S19       | CI7      | 29,7               | 19,3                 | 15,1                 | 22    | 34    | 12    | 1,2   | 0,5 |

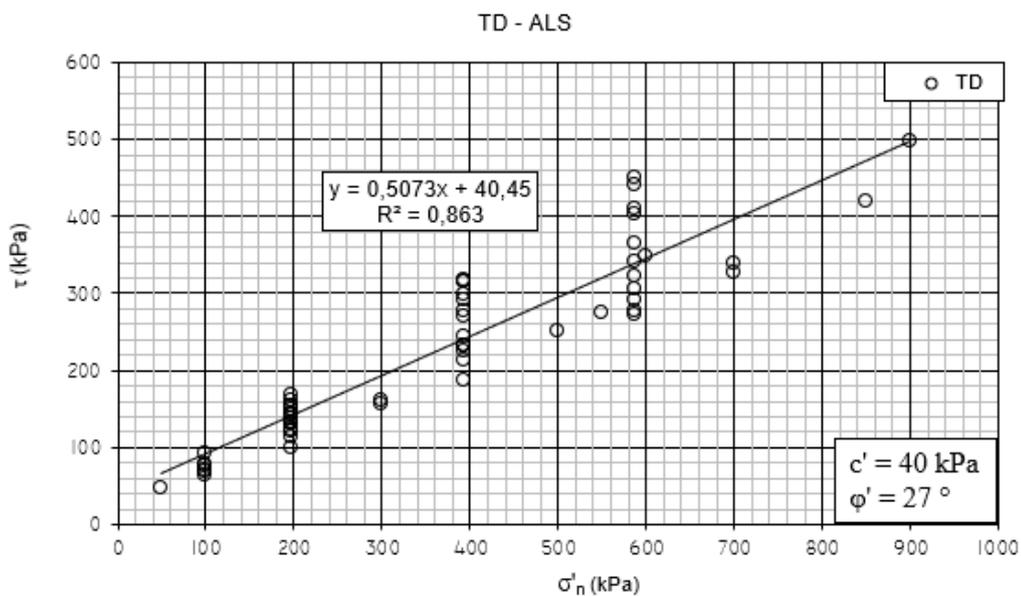
| Sondaggio    | Campione   | Profondità da p.c. | $\gamma$             | $\gamma_d$           | $w_p$       | $w_L$       | $I_p$     | $I_c$      | A          |
|--------------|------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|
| (-)          | (-)        | (m)                | (kN/m <sup>3</sup> ) | (kN/m <sup>3</sup> ) | (%)         | (%)         | (%)       | (-)        | (-)        |
| S22          | CI4        | 29,2               | 19,3                 | 15,8                 | 21          | 32          | 11        | 0,9        | 0,4        |
| S_RS4N18     | CI1        | 9,9                | 19,6                 | 16,3                 | 18,1        | 34,2        | 16,1      | 0,9        | 0,4        |
| S_RS4N18     | CI2        | 12,8               | 19,2                 | 15,9                 | 16,6        | 30,6        | 14        | 0,7        | 1,4        |
| S_RS4N18     | CI3        | 15,2               | 19,9                 | 16,3                 | 20,7        | 35,2        | 14,5      | 0,9        | 0,3        |
| S_RS4N18     | CI5        | 25,2               | 19,4                 | 16,3                 | 22          | 41,1        | 19,1      | 1,1        | 0,5        |
| S_RS4N18     | CI6        | 30,2               | 20,0                 | 16,4                 | 22,1        | 40,4        | 18,3      | 1,0        | 0,5        |
| S_RS4N19     | CI1        | 15,8               | 19,4                 | 16,1                 |             |             |           |            |            |
| S_RS4N19     | CI2        | 20,7               | 19,6                 | 16,0                 |             |             |           |            |            |
| S_RS4N20     | CI1        | 18,3               | 19,8                 | 16,1                 | 20,7        | 36,6        | 15,9      | 0,9        | 0,4        |
| S_RS4N20     | CI3        | 26,3               | 19,5                 | 15,7                 | 20,5        | 36          | 15,5      | 0,8        | 0,6        |
| S_RS4N2      | CI6        | 22,3               | 19,6                 | 16,2                 |             |             |           |            |            |
| S_RS4N21     | CI7        | 26,8               | 19,8                 | 16,1                 | 17,9        | 32,4        | 14,5      | 0,7        | 0,9        |
| S_RS4N23     | CI5        | 13,2               | 19,6                 | 16,0                 |             |             |           |            |            |
| S_RS4N23     | CI6        | 18,7               | 19,9                 | 16,1                 | 20,3        | 34,3        | 14        | 0,8        | 0,4        |
| S_RS4N23     | CI7        | 23,7               | 19,6                 | 16,1                 |             |             |           |            |            |
| S_RS4N23     | CI8        | 29,2               | 19,5                 | 15,5                 |             |             |           |            |            |
| S_RS4N23     | CI9        | 33,8               | 20,2                 | 16,6                 |             |             |           |            |            |
| S_RS4N23     | CI10       | 38,8               | 19,2                 | 15,8                 | 20,3        | 40,8        | 20,5      | 1,0        | 0,3        |
| S_RS4N24     | CI5        | 11,3               | 20,6                 | 17,3                 |             |             |           |            |            |
| S_RS4N24     | CI6        | 13,2               | 20,0                 | 16,6                 |             |             |           |            |            |
| S_RS4N24     | CI8        | 20,7               | 19,3                 | 16,0                 |             |             |           |            |            |
| S_RS4N24     | CI9        | 25,5               | 19,0                 | 15,4                 |             |             |           |            |            |
| S_RS4N25     | CI2        | 12,8               | 19,2                 | 15,8                 | 18,8        | 39,5        | 20,7      | 0,9        | 0,5        |
| S_RS4N25     | CI3        | 15,2               |                      |                      | 22,2        | 40,2        | 18        |            |            |
| S_RS4N25     | CI5        | 25,2               |                      |                      | 21,8        | 39,5        | 17,7      |            |            |
| S_RS4N25     | CI6        | 30,2               |                      |                      | 18,6        | 55,3        | 36,7      |            |            |
| S_RS4N26     | CI8        | 20,3               |                      |                      | 24,7        | 42,5        | 17,8      |            |            |
| S_RS4N26     | CI9        | 24,3               |                      |                      | 22,1        | 40,8        | 18,7      |            |            |
| S_RS4N27     | CI1        | 9,8                | 20,0                 | 17,7                 | 16,3        | 30,6        | 14,3      | 1,2        | 0,6        |
| S_RS4N27     | CI3        | 14,7               |                      |                      | 22,3        | 40,5        | 18,2      |            |            |
| S_RS4N27     | CI5        | 25,2               |                      |                      | 16,3        | 39,5        | 23,2      |            |            |
| S_RS4N28     | CI5        | 12,2               |                      |                      | 23,7        | 51,2        | 27,5      |            |            |
| S_RS4N28     | CI6        | 20,2               |                      |                      | 27,7        | 56,1        | 28,4      |            |            |
| <b>SI 13</b> | <b>CI1</b> | <b>36,2</b>        | <b>19,4</b>          | <b>15,9</b>          | <b>20,0</b> | <b>31,0</b> | <b>11</b> | <b>0,8</b> | <b>1,0</b> |
| <b>SI 15</b> | <b>CI1</b> | <b>16,6</b>        | <b>18,9</b>          | <b>15,1</b>          | <b>25,0</b> | <b>60,0</b> | <b>35</b> | <b>1,0</b> | <b>1,0</b> |
| <b>SI 15</b> | <b>CI2</b> | <b>27,2</b>        | <b>19,6</b>          | <b>16,0</b>          | <b>22,0</b> | <b>51,0</b> | <b>29</b> | <b>1,0</b> | <b>0,9</b> |

### Caratteristiche meccaniche

Sono stati analizzati, ai fini della caratterizzazione meccanica, i risultati delle prove di sito e delle prove di laboratorio condotte sui campioni indisturbati e sui campioni litici recuperati.

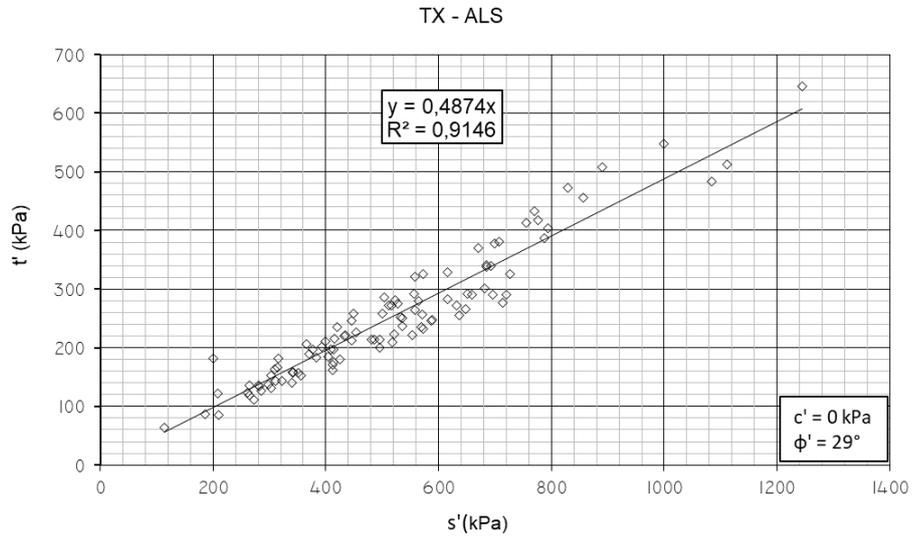
Per determinare le caratteristiche di resistenza dell'unità geotecnica ALS sono stati elaborati i risultati di 19 prove di taglio diretto, 31 prove di compressione triassiale consolidata non drenata (CIU), 3 prove di compressione triassiale consolidata drenata (CID), 32 prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU).

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 26) restituisce un valore di coesione  $c'$  pari a circa 40 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\varphi'$  pari a circa 27°. Le profondità di prelievo dei campioni variano tra 4 e 40 m da p.c.



**Figura 26. Involuppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)**

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti  $t'$  ed  $s'$  (Figura 27) derivante dall'elaborazione delle prove triassiali CIU e CID restituisce un valore di coesione  $c'$  nullo e di angolo di attrito  $\varphi'$  pari a circa 29°. I risultati si riferiscono a campioni prelevati a profondità comprese tra 11 e 40 m dal p.c, aventi una composizione granulometrica piuttosto variabile. La percentuale di sabbia nei campioni testati infatti varia dal 2% al 28%.



**Figura 27. Involuppo di resistenza delle prove triassiali**

Di seguito le tabelle riassuntive delle prove di taglio diretto e delle prove di compressione triassiali (Tabella 15 e

Tabella 16).

**Tabella 15. Valori a rottura delle prove TD relative ad ogni campione**

| Prova di taglio diretto |                    |             |        |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------|
| Sondaggio e campione    | Profondità da p.c. | $\sigma'_n$ | $\tau$ |
| (-)                     | (m)                | (kPa)       | (kPa)  |
| S1-345_C1               | 12,3               | 98          | 69,4   |
|                         |                    | 196         | 124,4  |
|                         |                    | 392         | 231,9  |
| S1-346_C1               | 18,3               | 196         | 167,5  |
|                         |                    | 392         | 269,4  |
|                         |                    | 588         | 411,1  |
| S1-353+941_C3           | 20,3               | 196         | 99     |
|                         |                    | 392         | 186,9  |
|                         |                    | 588         | 273,1  |
| S1-356+642_C1           | 4,3                | 49          | 48,3   |
|                         |                    | 98          | 65     |
|                         |                    | 196         | 114,7  |
| S9_C6                   | 30,2               | 300         | 157    |
|                         |                    | 500         | 251    |
|                         |                    | 700         | 340    |

| Prova di taglio diretto |                    |             |        |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------|
| Sondaggio e campione    | Profondità da p.c. | $\sigma'_n$ | $\tau$ |
| (-)                     | (m)                | (kPa)       | (kPa)  |
| S9_C7                   | 35,2               | 550         | 276    |
|                         |                    | 700         | 327    |
|                         |                    | 850         | 419    |
| S11_C7                  | 35,2               | 300         | 161    |
|                         |                    | 600         | 348    |
|                         |                    | 900         | 497    |
| S_RS4N18_C1             | 9,9                | 98          | 79,4   |
|                         |                    | 196         | 132,8  |
|                         |                    | 588         | 276,9  |
| S_RS4N18_C5             | 25,2               | 196         | 132,8  |
|                         |                    | 392         | 243,9  |
|                         |                    | 588         | 341,1  |
| S_RS4N19_C1             | 15,8               | 98          | 93,3   |
|                         |                    | 196         | 145,3  |
|                         |                    | 392         | 315,9  |
| S_RS4N19_C2             | 20,7               | 196         | 149,7  |
|                         |                    | 392         | 291,7  |
|                         |                    | 588         | 402,8  |
| S_RS4N23_C5             | 13,2               | 98          | 72,2   |
|                         |                    | 196         | 143    |
|                         |                    | 392         | 314,2  |
| S_RS4N23_C7             | 23,7               | 196         | 161,1  |
|                         |                    | 392         | 277    |
|                         |                    | 588         | 440    |
| S_RS4N23_C10            | 38,8               | 196         | 142,5  |
|                         |                    | 392         | 213,9  |
|                         |                    | 588         | 322,5  |
| S_RS4N24_C6             | 13,2               | 98          | 75,8   |
|                         |                    | 196         | 153,3  |
|                         |                    | 392         | 298    |
| S_RS4N24_C8             | 20,7               | 196         | 129,9  |
|                         |                    | 392         | 233,5  |
|                         |                    | 588         | 366    |
| S_RS4N24_C9             | 25,5               | 196         | 155,3  |
|                         |                    | 392         | 318,3  |

| Prova di taglio diretto |                    |             |        |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------|
| Sondaggio e campione    | Profondità da p.c. | $\sigma'_n$ | $\tau$ |
| (-)                     | (m)                | (kPa)       | (kPa)  |
|                         |                    | 588         | 451,4  |
| S_RS4N25_C5             | 25,2               | 196         | 121,7  |
|                         |                    | 392         | 225,3  |
|                         |                    | 588         | 305,6  |
| S_RS4N26_C8             | 20,3               | 196         | 137,8  |
|                         |                    | 392         | 232,3  |
|                         |                    | 588         | 292    |

**Tabella 16. Valori a rottura delle prove TX relative ad ogni campione**

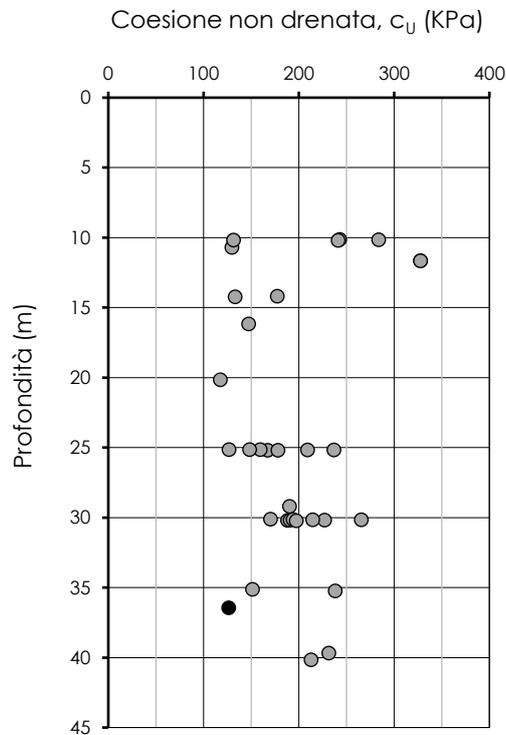
| Prove di compressione triassiale |            |          |                    |             |             |        |       |
|----------------------------------|------------|----------|--------------------|-------------|-------------|--------|-------|
| Prova                            | Sondaggio  | Campione | Profondità da p.c. | $\sigma'_1$ | $\sigma'_3$ | s'     | t'    |
| (-)                              | (-)        | (-)      | (m)                | (kPa)       | (kPa)       | (kPa)  | (kPa) |
| CID                              | S19        | CI6      | 25,2               | 631,0       | 200         | 415,5  | 215,5 |
|                                  |            |          |                    | 1175,0      | 400         | 787,5  | 387,5 |
|                                  |            |          |                    | 1624,0      | 600         | 1112,0 | 512,0 |
| CID                              | S_RS4N20   | CI3      | 26,3               | 691,0       | 200         | 445,5  | 245,5 |
|                                  |            |          |                    | 1312,0      | 400         | 856,0  | 456,0 |
|                                  |            |          |                    | 1890,5      | 600         | 1245,3 | 645,3 |
| CID                              | S_RS4N25   | CI6      | 30,3               | 565,5       | 200         | 382,7  | 182,7 |
|                                  |            |          |                    | 1052,0      | 400         | 726,0  | 326,0 |
|                                  |            |          |                    | 1568,0      | 600         | 1084,0 | 484,0 |
| CIU                              | S1-336+832 | CI2      | 26,1               | 672,5       | 450         | 272,8  | 111,3 |
|                                  |            |          |                    | 1001,9      | 650         | 414,6  | 176,0 |
|                                  |            |          |                    | 1292,8      | 850         | 553,7  | 221,4 |
| CIU                              | S1-345     | CI2      | 24,3               | 621,3       | 450         | 209,7  | 85,7  |
|                                  |            |          |                    | 954,4       | 650         | 356,3  | 152,2 |
|                                  |            |          |                    | 1268,0      | 850         | 517,7  | 209,0 |
| CIU                              | S1-346     | CI2      | 28,3               | 813,6       | 450         | 316,5  | 181,8 |
|                                  |            |          |                    | 1211,2      | 650         | 522,2  | 280,6 |
|                                  |            |          |                    | 1611,7      | 850         | 707,3  | 380,9 |
| CIU                              | S1 349+697 | CI2      | 16,6               | 720,9       | 450         | 279,9  | 135,4 |
|                                  |            |          |                    | 1018,1      | 650         | 403,8  | 184,1 |
|                                  |            |          |                    | 1354,0      | 850         | 532,9  | 252,0 |
| CIU                              | S1 349+797 | CI2      | 18,0               | 766,9       | 450         | 341,6  | 158,5 |

| Prove di compressione triassiale |            |          |                    |             |             |       |       |
|----------------------------------|------------|----------|--------------------|-------------|-------------|-------|-------|
| Prova                            | Sondaggio  | Campione | Profondità da p.c. | $\sigma'_1$ | $\sigma'_3$ | s'    | t'    |
| (-)                              | (-)        | (-)      | (m)                | (kPa)       | (kPa)       | (kPa) | (kPa) |
|                                  |            |          |                    | 1078,6      | 650         | 495,7 | 214,3 |
|                                  |            |          |                    | 1341,4      | 850         | 586,8 | 245,7 |
| CIU                              | S1-351+805 | CI2      | 15,3               | 696,4       | 450         | 261,5 | 123,2 |
|                                  |            |          |                    | 930,6       | 650         | 339,2 | 140,3 |
|                                  |            |          |                    | 1382,0      | 850         | 648,2 | 266,0 |
| CIU                              | S1 356+642 | CI2      | 18,3               | 712,7       | 450         | 303,0 | 131,3 |
|                                  |            |          |                    | 972,9       | 650         | 412,4 | 161,5 |
|                                  |            |          |                    | 1361,6      | 850         | 636,6 | 255,8 |
| CIU                              | S2         | CI4      | 20,3               | 686,0       | 400         | 311,0 | 143,0 |
|                                  |            |          |                    | 1100,0      | 600         | 536,0 | 250,0 |
|                                  |            |          |                    | 1401,0      | 800         | 681,5 | 300,5 |
| CIU                              | S2         | CI5      | 25,2               | 713,0       | 400         | 341,5 | 156,5 |
|                                  |            |          |                    | 1115,0      | 600         | 571,5 | 257,5 |
|                                  |            |          |                    | 1381,0      | 800         | 659,5 | 290,5 |
| CIU                              | S3         | CI4      | 20,2               | 653,0       | 400         | 285,5 | 126,5 |
|                                  |            |          |                    | 941,0       | 600         | 412,5 | 170,5 |
|                                  |            |          |                    | 1199,0      | 800         | 495,5 | 199,5 |
| CIU                              | S3         | CI5      | 25,2               | 716,0       | 400         | 351,0 | 158,0 |
|                                  |            |          |                    | 1074,0      | 600         | 536,0 | 237,0 |
|                                  |            |          |                    | 1353,0      | 800         | 714,5 | 276,5 |
| CIU                              | S5         | CI4      | 20,2               | 972,0       | 400         | 504,0 | 286,0 |
|                                  |            |          |                    | 1355,0      | 600         | 699,5 | 377,5 |
|                                  |            |          |                    | 1896,0      | 800         | 999,0 | 548,0 |
| CIU                              | S7         | CI3      | 25,2               | 822,0       | 400         | 400,0 | 211,0 |
|                                  |            |          |                    | 1259,0      | 600         | 615,5 | 329,5 |
|                                  |            |          |                    | 1609,0      | 800         | 793,5 | 404,5 |
| CIU                              | S7         | CI4      | 31,2               | 871,0       | 400         | 419,5 | 235,5 |
|                                  |            |          |                    | 1426,0      | 600         | 756,0 | 413,0 |
|                                  |            |          |                    | 1635,0      | 800         | 776,5 | 417,5 |
| CIU                              | S9         | CI3      | 14,2               | 678,0       | 350         | 310,0 | 164,0 |
|                                  |            |          |                    | 940,0       | 500         | 433,0 | 220,0 |
|                                  |            |          |                    | 1180,0      | 650         | 558,0 | 265,0 |
| CIU                              | S9         | CI4      | 20,2               | 1042,0      | 400         | 558,0 | 321,0 |
|                                  |            |          |                    | 1467,0      | 600         | 770,5 | 433,5 |
|                                  |            |          |                    | 1815,0      | 800         | 889,5 | 507,5 |

| Prove di compressione triassiale |           |          |                    |             |             |       |       |
|----------------------------------|-----------|----------|--------------------|-------------|-------------|-------|-------|
| Prova                            | Sondaggio | Campione | Profondità da p.c. | $\sigma'_1$ | $\sigma'_3$ | s'    | t'    |
| (-)                              | (-)       | (-)      | (m)                | (kPa)       | (kPa)       | (kPa) | (kPa) |
| CIU                              | S11       | CI3      | 14,2               | 623,0       | 350         | 264,5 | 136,5 |
|                                  |           |          |                    | 943,0       | 500         | 434,5 | 221,5 |
|                                  |           |          |                    | 1210,0      | 650         | 564,0 | 280,0 |
| CIU                              | S11       | CI4      | 20,2               | 669,0       | 400         | 281,5 | 134,5 |
|                                  |           |          |                    | 1051,0      | 600         | 453,5 | 225,5 |
|                                  |           |          |                    | 1365,0      | 800         | 615,5 | 282,5 |
| CIU                              | S12       | CI3      | 14,2               | 762,0       | 350         | 366,0 | 206,0 |
|                                  |           |          |                    | 1043,0      | 500         | 511,5 | 271,5 |
|                                  |           |          |                    | 1390,0      | 650         | 671,0 | 370,0 |
| CIU                              | S12       | CI4      | 20,2               | 778,0       | 400         | 371,0 | 189,0 |
|                                  |           |          |                    | 1116,0      | 600         | 501,0 | 258,0 |
|                                  |           |          |                    | 1480,0      | 800         | 693,0 | 340,0 |
| CIU                              | S14       | CI3      | 14,2               | 594,0       | 350         | 208,0 | 122,0 |
|                                  |           |          |                    | 902,0       | 500         | 393,0 | 201,0 |
|                                  |           |          |                    | 1193,0      | 650         | 516,5 | 271,5 |
| CIU                              | S14       | CI4      | 20,2               | 764,0       | 400         | 200,0 | 182,0 |
|                                  |           |          |                    | 1151,0      | 600         | 527,5 | 275,5 |
|                                  |           |          |                    | 1481,0      | 800         | 684,5 | 340,5 |
| CIU                              | S16       | CI3      | 14,2               | 428,0       | 300         | 114,0 | 64,0  |
|                                  |           |          |                    | 895,0       | 500         | 408,5 | 197,5 |
|                                  |           |          |                    | 1172,0      | 700         | 569,0 | 236,0 |
| CIU                              | S16       | CI4      | 20,2               | 686,0       | 400         | 322,0 | 143,0 |
|                                  |           |          |                    | 1047,0      | 600         | 520,5 | 223,5 |
|                                  |           |          |                    | 1382,0      | 800         | 696,0 | 291,0 |
| CIU                              | S17       | CI3      | 14,2               | 474,0       | 300         | 186,0 | 87,0  |
|                                  |           |          |                    | 893,0       | 500         | 413,5 | 196,5 |
|                                  |           |          |                    | 1283,0      | 700         | 650,5 | 291,5 |
| CIU                              | S17       | CI4      | 20,2               | 674,0       | 400         | 298,0 | 137,0 |
|                                  |           |          |                    | 1029,0      | 600         | 481,5 | 214,5 |
|                                  |           |          |                    | 1380,0      | 800         | 720,0 | 290,0 |
| CIU                              | S_RS4N18  | CI3      | 15,2               | 844,7       | 450         | 377,6 | 197,4 |
|                                  |           |          |                    | 1233,0      | 650         | 556,9 | 291,5 |
|                                  |           |          |                    | 1527,3      | 850         | 684,6 | 338,7 |
| CIU                              | S_RS4N20  | CI1      | 18,3               | 689,3       | 450         | 264,4 | 119,7 |
|                                  |           |          |                    | 1009,6      | 650         | 425,4 | 179,8 |

| Prove di compressione triassiale |           |          |                    |             |             |       |       |
|----------------------------------|-----------|----------|--------------------|-------------|-------------|-------|-------|
| Prova                            | Sondaggio | Campione | Profondità da p.c. | $\sigma'_1$ | $\sigma'_3$ | $s'$  | $t'$  |
| (-)                              | (-)       | (-)      | (m)                | (kPa)       | (kPa)       | (kPa) | (kPa) |
|                                  |           |          |                    | 1314,6      | 850         | 572,7 | 232,3 |
| CIU                              | S_RS4N21  | CI7      | 26,7               | 967,7       | 450         | 449,8 | 258,8 |
|                                  |           |          |                    | 1302,5      | 650         | 573,3 | 326,2 |
|                                  |           |          |                    | 1795,8      | 850         | 830,2 | 472,9 |
| CIU                              | S_RS4N27  | CI5      | 25,5               | 755,0       | 450         | 302,8 | 152,5 |
|                                  |           |          |                    | 1078,9      | 650         | 486,4 | 214,5 |
|                                  |           |          |                    | 1344,3      | 850         | 588,7 | 247,1 |
| CIU                              | S_RS4N28  | CI6      | 20,2               | 781,3       | 450         | 315,1 | 165,7 |
|                                  |           |          |                    | 1074,9      | 650         | 445,9 | 212,5 |
|                                  |           |          |                    | 1394,2      | 850         | 632,2 | 272,1 |

I valori della resistenza non drenata  $c_u$  ricavati dalle prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU) sono diagrammati in funzione della profondità in Figura 28. I valori ottenuti risultano compresi tra 118 e 328 kPa.



I risultati delle prove sono riportati nella tabella seguente (Tabella 17).

**Tabella 17. Prove di compressione triassiale UU**  
**(in grassetto i dati relativi alla campagna di indagini integrative)**

| Sondaggio    | Campione   | Profondità da p.c. | c <sub>u</sub> |
|--------------|------------|--------------------|----------------|
| (-)          | (-)        | (m)                | (kPa)          |
| S19          | CI3        | 11,7               | 328            |
| S2           | CI2        | 10,7               | 130            |
| S2           | CI3        | 14,3               | 133            |
| S2           | CI6        | 30,2               | 188            |
| S2           | CI7        | 35,2               | 238            |
| S3           | CI3        | 14,2               | 178            |
| S3           | CI6        | 30,2               | 191            |
| S3           | CI7        | 39,7               | 231            |
| S5           | CI5        | 25,2               | 167            |
| S7           | CI1        | 16,2               | 147            |
| S7           | CI2        | 20,2               | 118            |
| S7           | CI5        | 35,1               | 152            |
| S7           | CI6        | 40,2               | 213            |
| S9           | CI2        | 10,2               | 243            |
| S9           | CI5        | 25,2               | 159            |
| S11          | CI5        | 25,2               | 209            |
| S11          | CI6        | 30,2               | 227            |
| S12          | CI2        | 10,2               | 132            |
| S12          | CI5        | 25,2               | 237            |
| S12          | CI6        | 30,2               | 266            |
| S14          | CI5        | 25,2               | 127            |
| S14          | CI6        | 30,2               | 194            |
| S16          | CI2        | 10,2               | 284            |
| S16          | CI5        | 25,2               | 149            |
| S17          | CI5        | 25,2               | 178            |
| S17          | CI6        | 30,2               | 215            |
| S19          | CI3        | 11,7               | 328            |
| S16          | CI6        | 30,1               | 170            |
| S22          | CI4        | 29,2               | 190            |
| S_RS4N18     | CI6        | 30,2               | 197            |
| S17          | CI2        | 10,2               | 241            |
| <b>SI-13</b> | <b>CI1</b> | <b>36,4</b>        | <b>126</b>     |

Per determinare le caratteristiche di deformabilità e compressibilità sono stati elaborati i risultati di 9 prove di compressione edometrica, 6 prove geofisiche (3 MASW e 4 down-hole), 11 prove dilatometriche.

I parametri ottenuti dall'elaborazione delle prove di compressione edometrica sono diagrammati in funzione della profondità in Figura 29 e Figura 30; tali valori risultano compresi nei seguenti intervalli di variabilità:

- Indice di compressibilità  $C_c$ : 0,15 ÷ 0,29 (-)
- Indice di rigonfiamento  $C_s$ : 0,01 ÷ 0,09 (-)
- Grado di sovraconsolidazione OCR: 0,4 ÷ 1,5 (-)
- Modulo edometrico  $E_{ed}$ : 5 ÷ 11 MPa
- Modulo di Young  $E'$ : 3 ÷ 8 MPa.

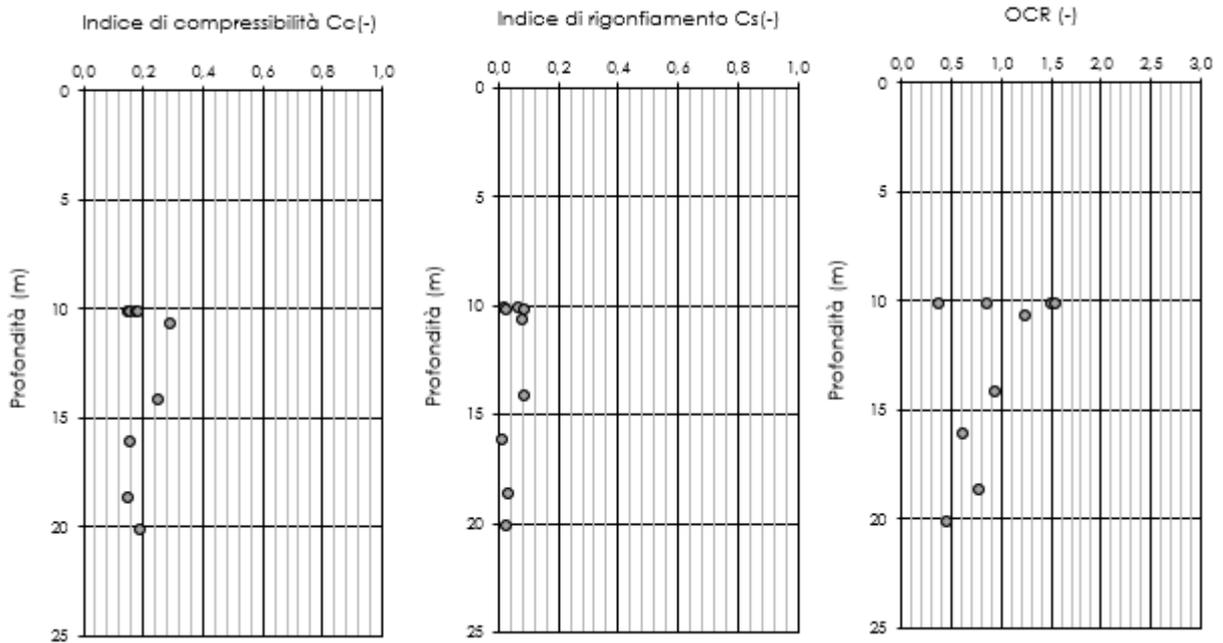
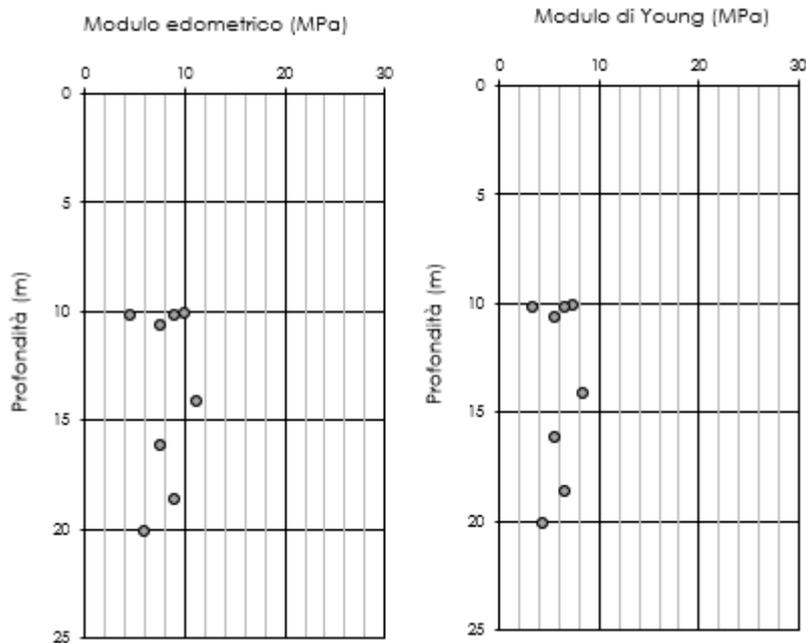


Figura 29. Indice di compressibilità, indice di rigonfiamento e grado di sovraconsolidazione da prove edometriche



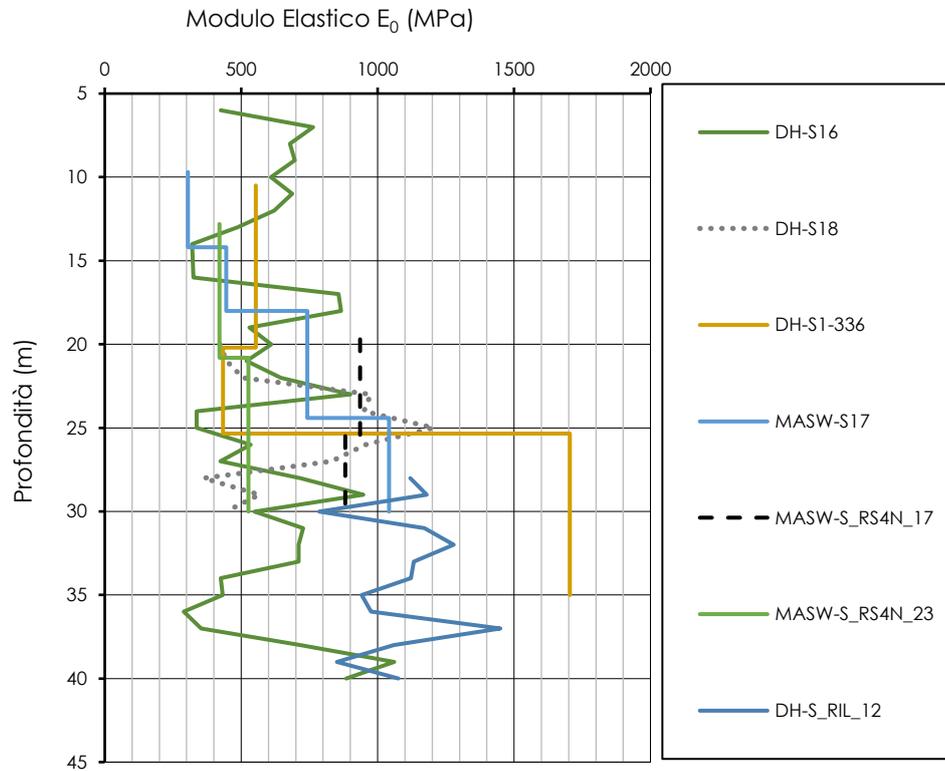
**Figura 30. Modulo edometrico e modulo di Young da prove edometriche**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove di compressione edometrica (Tabella 18).

**Tabella 18. Prove edometriche**

| Sondaggio | Campione | Profondità da p.c.<br>(m) | C <sub>c</sub> | C <sub>s</sub> | OCR  | e <sub>0</sub> | E'ed<br>(MPa) |
|-----------|----------|---------------------------|----------------|----------------|------|----------------|---------------|
| (-)       | (-)      | (m)                       | (-)            | (-)            | (-)  | (-)            | (MPa)         |
| S2        | CI2      | 10,7                      | 0,29           | 0,08           | 1,26 | 0,77           | 7,5           |
| S3        | CI3      | 14,2                      | 0,25           | 0,09           | 0,94 | 0,80           | 11,2          |
| S7        | CI1      | 16,2                      | 0,16           | 0,02           | 0,62 | 0,77           | 7,5           |
| S7        | CI2      | 20,2                      | 0,19           | 0,03           | 0,45 | 0,73           | 6,0           |
| S9        | CI2      | 10,2                      | 0,15           | 0,02           | 0,37 | 0,69           | 6,0           |
| S12       | CI2      | 10,2                      | 0,16           | 0,03           | 0,87 | 0,76           | 4,6           |
| S16       | CI2      | 10,2                      | 0,18           | 0,07           | 1,50 | 0,58           | 10,0          |
| S17       | CI2      | 10,2                      | 0,18           | 0,09           | 1,55 | 0,65           | 9,0           |
| S_RS4N23  | CI6      | 18,7                      | 0,15           | 0,04           | 0,78 | 0,70           | 9,0           |

Per determinare il modulo di rigidezza iniziale della formazione si è fatto riferimento ai risultati di 6 prove geofisiche eseguite in prossimità delle gallerie (Figura 31). La prova MASW S\_RS4N\_27 infatti ha interessato soltanto l'Unità geotecnica SLA e quindi non è stata qui considerata come pure le MASW eseguite per la campagna 2022 che hanno investigato marginalmente la formazione ALS.

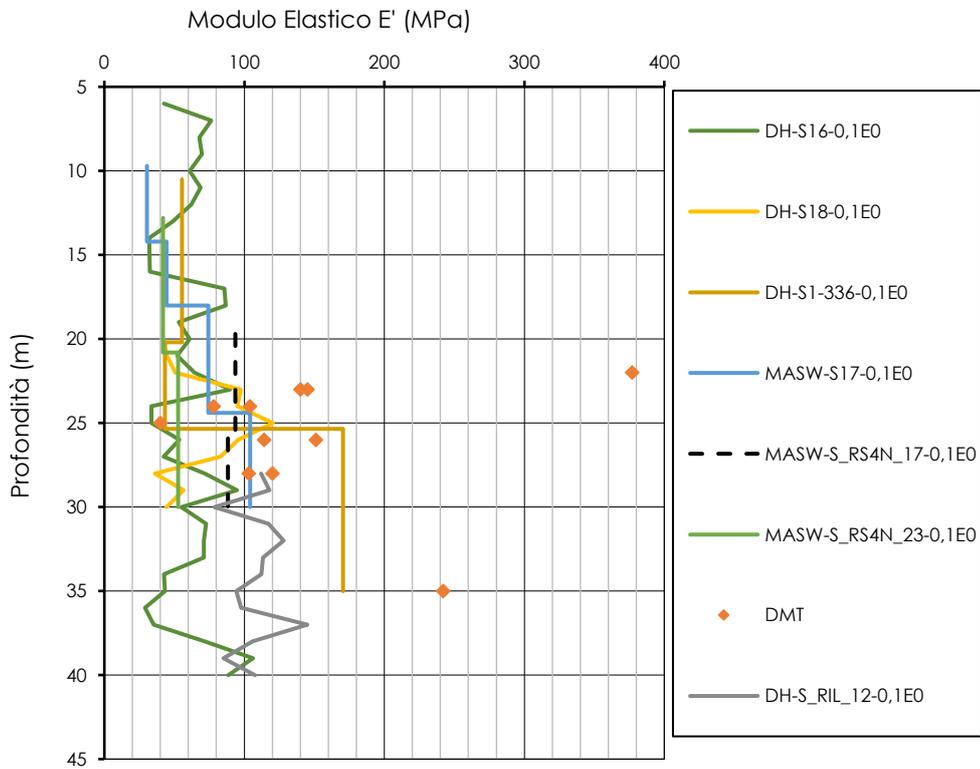


**Figura 31. Modulo di rigidezza iniziale da prove geofisiche**

I risultati ottenuti mostrano un incremento della rigidezza con la profondità.

L'interpretazione delle prove dilatometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente al terzo ciclo di scarico ed al primo ciclo di carico. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo  $40 \div 377$  MPa, mentre quello di carico nell'intervallo  $17 \div 77$  MPa.

Le prove geofisiche elaborate considerando un valore del rapporto  $E/E_0$  pari a 0,1 in funzione del livello deformativo atteso restituiscono valori paragonabili a quelli ottenuti con le prove dilatometriche (Figura 32). Il valore ottenuto dalla prova dilatometrica eseguita nel sondaggio S5 si riferisce ad un livello di argilla di consistenza più dura.



**Figura 32. Modulo di deformabilità operativo da prove dilatometriche e prove geofisiche**

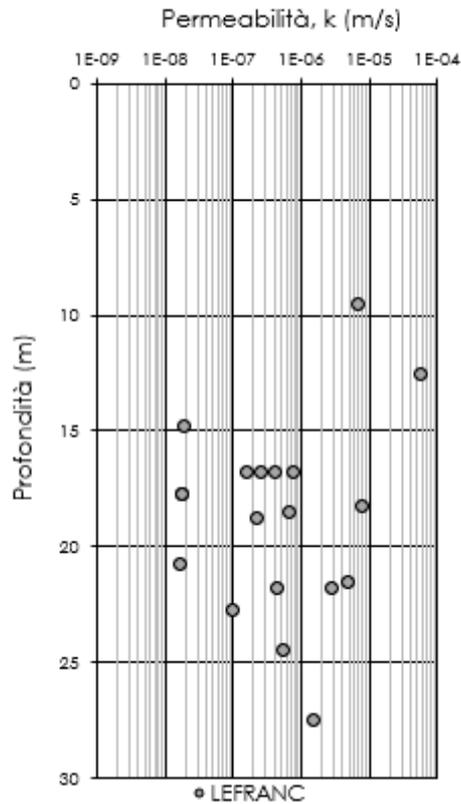
Di seguito la tabella riassuntiva delle prove dilatometriche relative ad ogni sondaggio (Tabella 19).

**Tabella 19. Prove dilatometriche**

| Sondaggio | Profondità da p.c.<br>(m) | E unload<br>(MPa) | E load<br>(MPa) |
|-----------|---------------------------|-------------------|-----------------|
| (-)       | (m)                       | (MPa)             | (MPa)           |
| S2        | 24,0                      | 104               | 17              |
| S3        | 24,0                      | 78                | 77              |
| S5        | 22,0                      | 377               | 68,4            |
| S7        | 25,0                      | 40                | 19              |
| S7        | 36,0                      | 242               | 33,2            |
| S9        | 23,0                      | 145               | 63,9            |
| S11       | 28,0                      | 103               | 47              |
| S12       | 26,0                      | 114               | 47,8            |
| S14       | 26,0                      | 151               | 49,9            |
| S16       | 23,0                      | 140               | 51              |
| S17       | 28,0                      | 120               | 43,9            |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 |

Sono state eseguite un totale di 21 prove di permeabilità di tipo Lefranc nei fori di sondaggio a profondità variabili tra 9 e 28 m da p.c lungo tutto il tracciato del Lotto 2. Il coefficiente di permeabilità  $k$  varia essenzialmente tra  $10^{-4}$  e  $10^{-8}$  m/s (Figura 33) e presenta valori maggiori in corrispondenza dei passaggi sabbiosi.



**Figura 33. Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove Lefranc**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove Lefranc relative ad ogni sondaggio (Tabella 20).

**Tabella 20. Prove Lefranc**

| Prova   | Sondaggio | Profondità da p.c. | k       |
|---------|-----------|--------------------|---------|
| (-)     | (-)       | (m)                | (m/s)   |
| Lefranc | S2        | 17,75              | 1,8E-08 |
| Lefranc | S3        | 14,75              | 1,9E-08 |
| Lefranc | S5        | 16,75              | 4,0E-07 |
| Lefranc | S07       | 21,75              | 2,7E-06 |
| Lefranc | S07       | 34,75              | 2,2E-06 |
| Lefranc | S9        | 16,75              | 2,5E-07 |
| Lefranc | S11       | 22,75              | 9,6E-08 |
| Lefranc | S12       | 16,75              | 1,6E-07 |
| Lefranc | S15       | 20,75              | 1,6E-08 |
| Lefranc | S17       | 17,75              | 1,8E-08 |
| Lefranc | S18       | 18,75              | 2,2E-07 |
| Lefranc | S_RS4N18  | 9,5                | 7,0E-06 |
| Lefranc | S_RS4N19  | 18,5               | 6,5E-07 |
| Lefranc | S_RS4N21  | 21,5               | 4,7E-06 |
| Lefranc | S_RS4N23  | 12,5               | 5,6E-05 |
| Lefranc | S_RS4N24  | 16,75              | 7,4E-07 |
| Lefranc | S_RS4N25  | 18,25              | 7,7E-06 |
| Lefranc | S_RS4N26  | 27,5               | 1,5E-06 |
| Lefranc | S_RS4N27  | 21,75              | 4,4E-07 |
| Lefranc | S_RS4N28  | 24,5               | 5,4E-07 |
| Lefranc | S_RS4N27  | 9,75               | 7,1E-04 |

### Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica ALS. La Tabella 21 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro, si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 21. Sintesi parametri geotecnici Unità ALS**

|                     | Min      | Max      |                      |
|---------------------|----------|----------|----------------------|
| $\gamma$            | 17,9     | 20,6     | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| $\gamma_d$          | 13,6     | 17,7     | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| w                   | 19       | 31,7     | (%)                  |
| w <sub>L</sub>      | 25       | 73       | (%)                  |
| w <sub>P</sub>      | 15       | 32       | (%)                  |
| I <sub>P</sub>      | 3,0      | 45       | (%)                  |
| I <sub>C</sub>      | 0,4      | 1,2      | (-)                  |
| A                   | 0,1      | 1,4      | (-)                  |
| $\phi'_{TD}$        | 27       |          | (°)                  |
| c' <sub>TD</sub>    | 40       |          | (kPa)                |
| $\phi'_{TXT}$       | 29       |          | (°)                  |
| c' <sub>TXT</sub>   | 0        |          | (kPa)                |
| C <sub>U</sub>      | 117      | 328      | (kPa)                |
| C <sub>C</sub>      | 0,15     | 0,29     | (-)                  |
| C <sub>S</sub>      | 0,01     | 0,09     | (-)                  |
| OCR                 | 0,4      | 1,5      | (-)                  |
| E' <sub>ed</sub>    | 4        | 11       | (MPa)                |
| E'                  | 3,4      | 8,3      | (MPa)                |
| E <sub>unload</sub> | 40       | 377      | (MPa)                |
| E <sub>load</sub>   | 17       | 77       | (MPa)                |
| k                   | 6,80E-09 | 6,50E-06 | (m/s)                |

| Involupi di rottura |      |       |
|---------------------|------|-------|
| $\phi'_{TD}$        | 27   | (°)   |
| c' <sub>TD</sub>    | 40,0 | (kPa) |
| $\phi'_{TXT}$       | 29   | (°)   |
| c' <sub>TXT</sub>   | 0    | (kPa) |
| C <sub>U</sub>      | 196  | (kPa) |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

### 6.4.3 Le condizioni idrauliche

Nell'area di progetto sono stati individuati due distinte unità idrogeologiche, “depositi a permeabilità bassa” e “depositi a permeabilità molto bassa”:

- “depositi a permeabilità bassa”: Fanno parte di questi depositi le sabbie limose con inclusi clasti litoidi angolari-spigolosi appartenenti ai Depositi eluvio-colluviali olocenici (q), le sabbie limose argillose - limi sabbiosi argillosi del pleistocene inf. terminale (Qcs), le sabbie fini quarzose con livelli arenacei e siltoso-argillosi (Qsa) ed i depositi alluvionali (all). Coefficiente di permeabilità  $k$  variabile tra  $1 \cdot 10^{-6}$  e  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s. L'unità geotecnica SLA appartiene a questi depositi.
- “depositi a permeabilità molto bassa”: Fanno parte di questi depositi le argille limose sabbiose e/o limi sabbiosi argillosi grigio azzurre del Pleistocene inf (Qa). Coefficiente di permeabilità  $k$  variabile tra  $1 \cdot 10^{-7}$  e  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s. L'unità geotecnica ALS appartiene a questi depositi.

Per la descrizione dettagliata dei complessi idrogeologici si rimanda agli elaborati dedicati (Rif. [9]).

Nei fori di sondaggio eseguiti per il lotto 2 sono stati installati complessivamente 30 piezometri. I dati del monitoraggio eseguito da luglio 2019 a giugno 2021 e, relativamente ai piezometri installati nel corso dell'ultima campagna di indagine, da febbraio 2021 a maggio 2022 hanno permesso di definire l'andamento della falda nelle porzioni di tracciato in cui i piezometri sono presenti, viceversa nelle zone in cui sono assenti il livello piezometrico risulta incerto. In particolare, la falda risulta situata nel complesso sabbioso-limoso nell'unità geotecnica SLA, come indicato nei profili geologici/idrogeologici (Rif. [9]).

Le gallerie che sono interessate dalla presenza della falda sono la Galleria Samperi 2a, la Galleria Perniciaro, la Galleria Pisciotta, la Galleria dell'Arcia, la Galleria di Priolo Soprano. Ciò dovrà essere confermato nelle fasi progettuali successive.

### 6.5 Indagini e rilievi in galleria

La campagna di indagini condotta nel mese di Gennaio 2020 ha previsto l'esecuzione di rilievi visivi speditivi nelle gallerie; tali rilievi forniscono informazioni riguardo la tipologia dei rivestimenti esistenti ed il relativo stato di conservazione, consentendo di individuare aree di possibile degrado, zone umide o con presenza di acqua, eventuali lesioni o stati fessurativi ecc.

Nell'ambito della stessa campagna di indagini sono stati eseguiti anche i rilievi laser scanner al continuo delle superfici di intradosso delle gallerie, che hanno consentito di riconoscere due diverse sezioni di intradosso tipologiche: una per le gallerie tra le stazioni di Niscemi e Priolo Soprano ed una per quelle tra Priolo Soprano e Gela.

La campagna di indagine iniziata nel mese di Settembre 2020 e completata nei mesi di Febbraio e Marzo 2021 ha riguardato i rivestimenti esistenti delle gallerie; in particolare, sono stati eseguiti carotaggi continui, perforazioni a distruzione con video ispezioni e misure di stato tensionale mediante prove di martinetto piatto.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

Nell'ultima campagna di indagini del 2021/2022, sono stati eseguiti dei saggi per la definizione degli spessori di ballast presenti sotto traversa. Tale campagna ha coinvolto tutte le gallerie e per ogn'una di esse sono stati eseguiti saggi in tre diverse progressive.

Per una dettagliata descrizione delle indagini eseguite e dei relativi risultati ottenuti, si rimanda all'elaborato specifico (Rif. [11]).

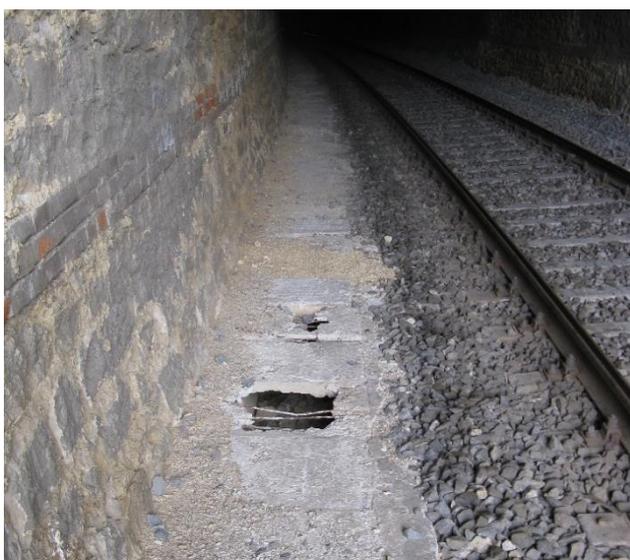
### 6.5.1 Stato di fatto delle gallerie

A seguire sono sintetizzati i principali aspetti emersi dai rilievi visivi e dai sopralluoghi effettuati; per ulteriori dettagli al riguardo si rimanda agli specifici elaborati di progetto (Rif. [10], Rif. [12] e da Rif. [13] a Rif. [22]).

La tipologia strutturale dei rivestimenti più diffusa nell'ambito delle 10 gallerie della tratta è costituita da una calotta in calcestruzzo non armato gettato in opera e piedritti in muratura di pietrame e malta cementizia. In alcuni casi singolari si osservano anche elementi di rivestimento in muratura di mattoni pieni e malta cementizia: per la chiusura in chiave del rivestimento di calotta in calcestruzzo, per alcuni ricorsi della muratura ai piedritti o per i piedritti in brevi tratte. Le gallerie non presentano un rivestimento di arco rovescio.

Tutte le gallerie presentano uno stradello laterale di servizio, al di sotto del quale è posizionato il cunicolo longitudinale di drenaggio; talvolta lo stradello presenta mancanza di continuità superficiale, sia a causa di rotture della copertura, che di anomali innalzamenti localizzati.

In tutte le gallerie sono presenti le nicchie di ricovero del personale su un solo paramento, con passo costante pari a 30 metri, il cui stato dei rivestimenti è assimilabile a quello delle gallerie di linea.



**Figura 34. Stradello laterale**



**Figura 35. Nicchia con concrezioni e venute d'acqua**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

Per quanto riguarda lo stato di conservazione delle gallerie, le principali difettosità riscontrate sono riconducibili alla presenza di acqua e al degrado dei materiali costituenti il rivestimento.

In quasi tutte le gallerie della tratta sono state osservate zone umide e venute di acqua all'interno del cavo; spesso le riprese di getto in calotta e le interfacce al cambio di materiale del rivestimento, risultano vie preferenziali per l'ingresso di acqua e umidità. L'acqua penetra dalla zona di calotta e dalle reni, con stillicidi continui ad intensità variabile, e scorre poi sulle pareti dei piedritti, formando concrezioni carbonatiche sui paramenti. Spesso, tra i due paramenti di rivestimento delle gallerie, l'entità dei fenomeni è risultata asimmetrica. Le venute d'acqua sono spesso accompagnate da trasporto di materiali fini in sospensione, con conseguente deposito di materiale sullo stradello e sulla sede ferroviaria.



**Figura 36. Venute d'acqua, concrezioni e zone umide**

Il degrado dei materiali costituenti il rivestimento riguarda in particolare le malte cementizie delle murature ai piedritti e i calcestruzzi per i rivestimenti di calotta.

Le murature di pietrame ai piedritti sono interessate da diffuse e consistenti perdite di malta che tende a sfarinarsi e ad accumularsi alla base del paramento.

I fenomeni di degrado sono stati riscontrati in modo diffuso, risultando particolarmente evidente nelle due gallerie più vicine a Gela, 2a di Farello e 1a di Farello.



Figura 37 - Cunei di legno tra i blocchi di muratura – Galleria 2a di Farello



Figura 38 - Deposito di malta degradata e distacchi di pietrame proveniente dai rivestimenti – Galleria 1a di Farello

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

Per quanto riguarda i getti in calcestruzzo delle calotte, si osservano diffusamente grandi superfici di intradosso caratterizzate da vespai e segregazione di inerti, spesso messi in evidenza dal distacco dello strato più superficiale di cemento. Lo stato di degrado è accentuato dalla presenza dell'umidità e dalle venute di acqua.



**Figura 39. Vespai in calotta e segregazione degli inerti in calotta**

Gli imbocchi delle gallerie sono riconducibili ad un unico tipologico costituito da un portale in muratura di pietrame, sormontato da un cordolo di protezione dietro al quale è presente la cunetta di guardia superiore. Sono presenti muri d'ala di protezione delle scarpate laterali, anch'essi in muratura di pietrame. In alcuni casi, la sistemazione delle scarpate al contorno dell'imbocco è risultata insufficiente rispetto ai caratteri morfologici esistenti e alle litologie presenti: infatti, è stato rinvenuto materiale sulla sede trasportato per erosione superficiale e caduta massi.



**Figura 40. Situazioni tipologiche degli imbocchi: muri d'ala non sempre adatti alla morfologia esistente**



**Figura 41. Trasporto di materiale sulla sede**



**Figura 42. Distacco del rivestimento al portale**



**Figura 43. Portale lesionato**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

La campagna di indagini 2020/2021 ha previsto l'esecuzione di due sezioni di indagini per ogni galleria della tratta (ad eccezione della galleria 2a di Farello) ubicate rispettivamente a metà ed a un quarto dell'estensione dell'opera in sotterraneo.

Sono stati eseguiti carotaggi continui sub-orizzontali nei piedritti e inclinati alle reni con prelievo di campioni e relative prove di laboratorio per indagare gli spessori dei rivestimenti esistenti e le caratteristiche dei materiali costituenti. Gli spessori dei rivestimenti sono stati indagati anche con perforazioni a distruzione corredate in parte con ispezioni con sonda televisiva in foro. Inoltre, sono stati realizzati ulteriori carotaggi continuo al di sotto del binario per valutare gli spessori di ballast presenti sotto traversa e verificare la presenza o meno dell'arco rovescio. Infine, per ciascuna galleria è stata svolta una prova con martinetto piatto ai piedritti, ad eccezione della galleria 2a di Farello in cui non è stata eseguita alcuna prova e della galleria Dell'Arcia in cui le prove di martinetto piatto sono state eseguite in entrambe le sezioni di indagine.

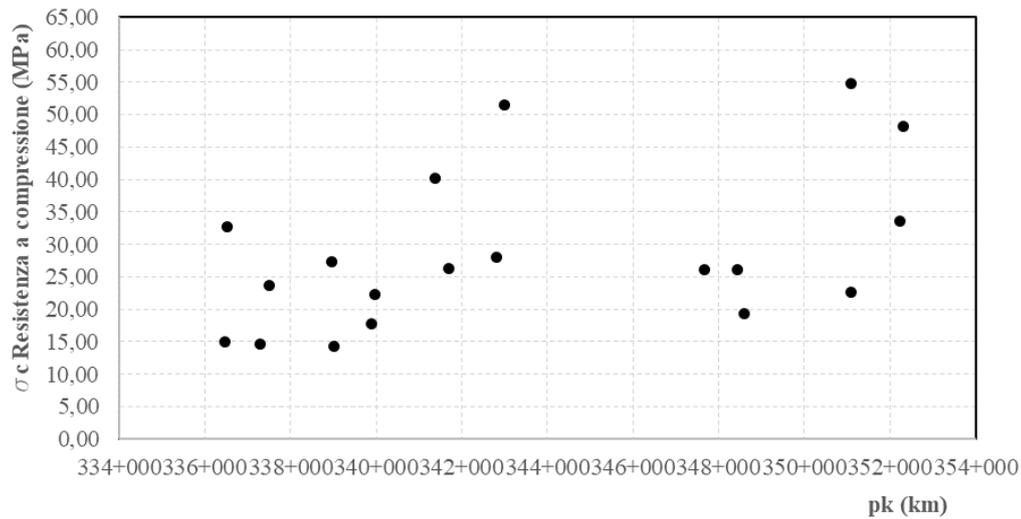
In conclusione, nelle 10 gallerie della tratta sono stati eseguiti in totale: 10 prove di martinetto piatto ai piedritti, 20 carotaggi continui ai piedritti, 8 in calotta e 10 in arco rovescio, 18 perforazioni a distruzione in calotta e 18 alla base del piedritto; sono stati prelevati 28 campioni di rivestimento, di cui 8 di conglomerato cementizio e sono state eseguite 27 prove di laboratorio di compressione uniassiale, di cui una con misurazione delle deformazioni e 9 prove per la determinazione del modulo elastico dinamico.

Il numero di prove di compressione uniassiale sugli elementi di pietra naturale prelevati ai piedritti delle gallerie è pari a 19; in tabella sono riepilogati i risultati delle prove di laboratorio in termini di resistenza a compressione con la relativa ubicazione di prelievo del campione. I risultati sono caratterizzati da un'elevata dispersione, con valori compresi nell'intervallo tra 14 e 55 MPa; il valore medio di resistenza per la muratura analizzata è pari a 28,7 MPa. L'istogramma di seguito riportato mostra il numero di occorrenze per i diversi intervalli di valori di resistenza a compressione riscontrati.

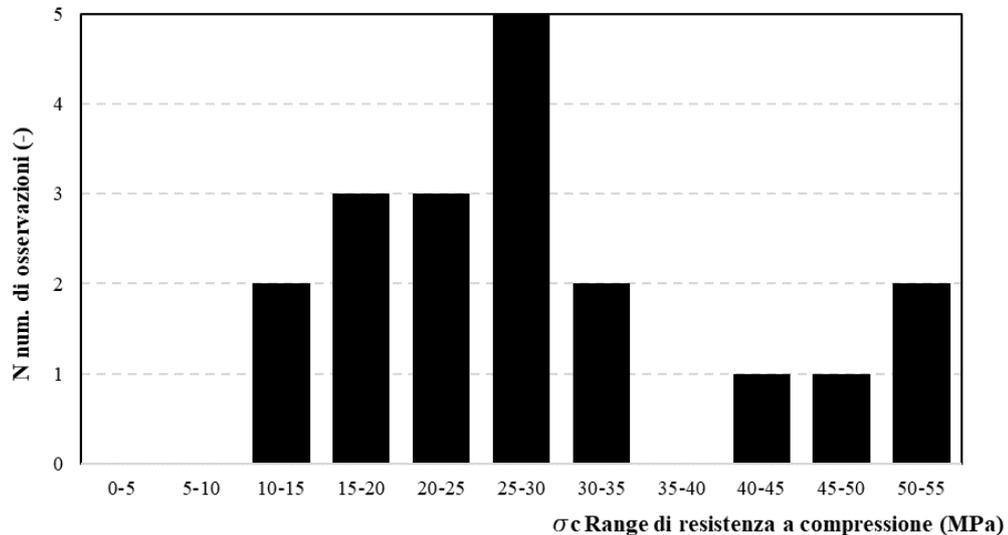
**Tabella 22. Valori di resistenza da prove di compressione uniassiale -elementi in pietra naturale**

| Prova di compressione uniassiale |              |         |            |
|----------------------------------|--------------|---------|------------|
| Galleria                         | Ubicazione   | pk      | $\sigma_c$ |
| (-)                              | (-)          | (km)    | (MPa)      |
| Samperi 2a                       | Piedritto    | 336+514 | 32,75      |
|                                  | Piedritto    | 336+456 | 15,02      |
| Perniciaro                       | Piedritto    | 337+282 | 14,54      |
|                                  | Piedritto    | 337+497 | 23,74      |
| Cotugno                          | Piedritto    | 339+018 | 14,33      |
|                                  | Piedritto    | 338+958 | 27,25      |
| Pisciotta                        | Piedritto    | 339+890 | 17,80      |
|                                  | Piedritto    | 339+973 | 22,36      |
| Dell'Arcia                       | Piedritto    | 341+687 | 26,35      |
|                                  | Piedritto    | 341+381 | 40,13      |
| Priolo Soprano                   | Piedritto    | 343+004 | 51,53      |
|                                  | Piedritto    | 342+813 | 27,96      |
| Polizzi                          | Piedritto    | 347+662 | 26,07      |
| Buon Fratello                    | Piedritto    | 348+607 | 19,27      |
|                                  | Piedritto    | 348+435 | 26,14      |
| 2a di Farello                    | Piedritto sx | 351+097 | 22,70      |
|                                  | Piedritto dx | 351+097 | 54,79      |
| 1a di Farello                    | Piedritto    | 352+316 | 48,24      |
|                                  | Piedritto    | 352+232 | 33,52      |

### Risultanze prove di compressione uniassiale - Pietrame



### Risultanze prove di compressione uniassiale - Pietrame



**Figura 44. Risultanze prove di compressione uniassiale su elementi in pietra naturale**

I valori di resistenza più elevati sono relativi a provini in cui è stato riscontrato un grado di cementazione medio per il materiale; i valori più bassi, invece, compresi tra 14 e 18 Mpa, sono da attribuire a prove eseguite su provini con materiale caratterizzato dalla presenza di clasti carbonatici (gallerie Perniciaro e Pisciotta), dalla presenza di un piano di discontinuità obliquo (galleria Cotugno) o dal carattere poroso (galleria Samperi 2a).

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

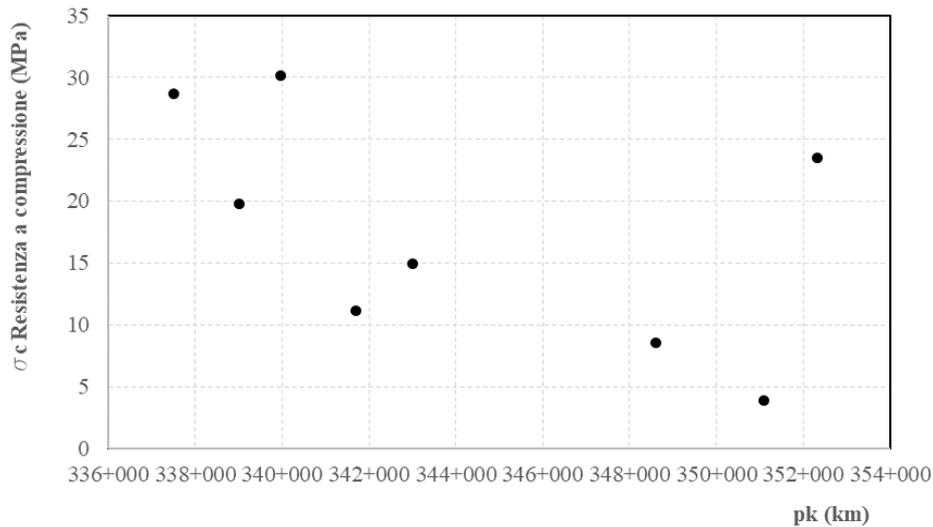
Il numero di prove di compressione uniassiale eseguite sui provini di calcestruzzo prelevati alle reni delle gallerie è pari a 8; in tabella sono riepilogati i risultati delle prove di laboratorio in termini di resistenza a compressione con la relativa ubicazione di prelievo del campione.

Anche in questo caso, i risultati sono caratterizzati da un'elevata dispersione, con valori compresi tra 8 e 30 Mpa (la prova relativa alla galleria 2a di Farello, che ha fornito un valore di resistenza a compressione pari a 4 MPa circa, è da ritenere non significativa, perché relativa ad un provino caratterizzato da eterogeneità di materiali, con una superficie di separazione obliqua all'asse che ha compromesso l'esito della prova). Il valore medio di resistenza per il calcestruzzo analizzato è pari a 19,5 MPa. L'istogramma di seguito riportato mostra il numero di occorrenze per i diversi intervalli di valori di resistenza a compressione definiti.

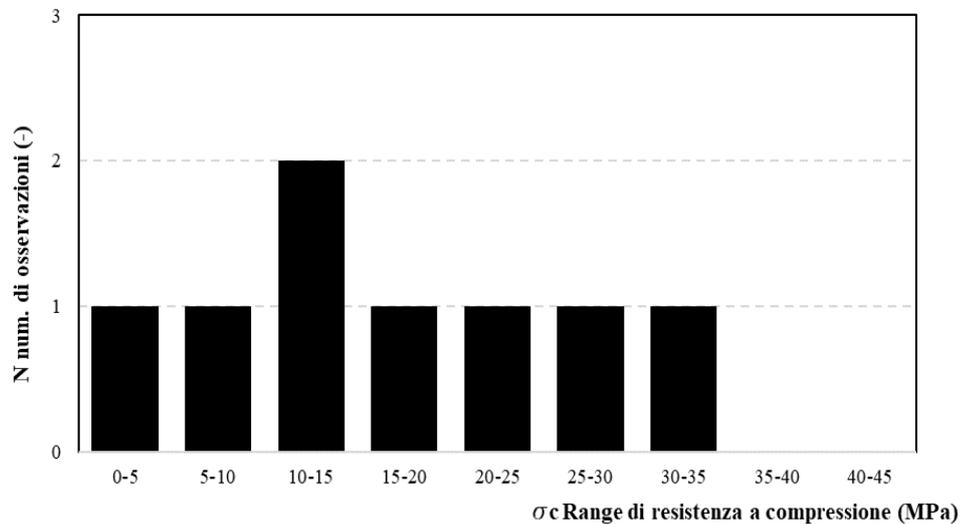
**Tabella 23. Valori di resistenza da prove di compressione uniassiale - calcestruzzo**

| Prova di compressione uniassiale |            |         |            |
|----------------------------------|------------|---------|------------|
| Galleria                         | Ubicazione | pk      | $\sigma_c$ |
| (-)                              | (-)        | (km)    | (MPa)      |
| Perniciaro                       | Calotta    | 337+497 | 28,64      |
| Cotugno                          | Calotta    | 339+018 | 19,82      |
| Pisciotta                        | Calotta    | 339+973 | 30,14      |
| Dell'Arcia                       | Calotta    | 341+687 | 11,14      |
| Priolo Soprano                   | Calotta    | 343+004 | 14,93      |
| Buon Fratello                    | Calotta    | 348+607 | 8,51       |
| 2a di Farello                    | Calotta    | 351+097 | 3,86       |
| 1a di Farello                    | Calotta    | 352+316 | 23,5       |

### Risultanze prove di compressione uniassiale - Calcestruzzo



### Risultanze prove di compressione uniassiale - Calcestruzzo



**Figura 45. Risultanze prove di compressione uniassiale su calcestruzzo**

I valori di resistenza compresi tra gli 8 MPa e i 15 MPa sono stati riscontrati in provini in cui il conglomerato è costituito da clasti carbonatici arrotondati di pezzatura centimetrica, mentre il valore di resistenza di poco superiore ai 30 MPa è stato riscontrato in un provino caratterizzato da inerti lavici.

I risultati delle prove dimostrano come le caratteristiche e la pezzatura grossolana degli inerti nel conglomerato possano comportare non solo l'insorgere delle difettosità rilevate con i rilievi visivi e i sopralluoghi (i.e. segregazione degli inerti, degrado e distacchi nel calcestruzzo), ma anche caratteristiche meccaniche più scadenti.

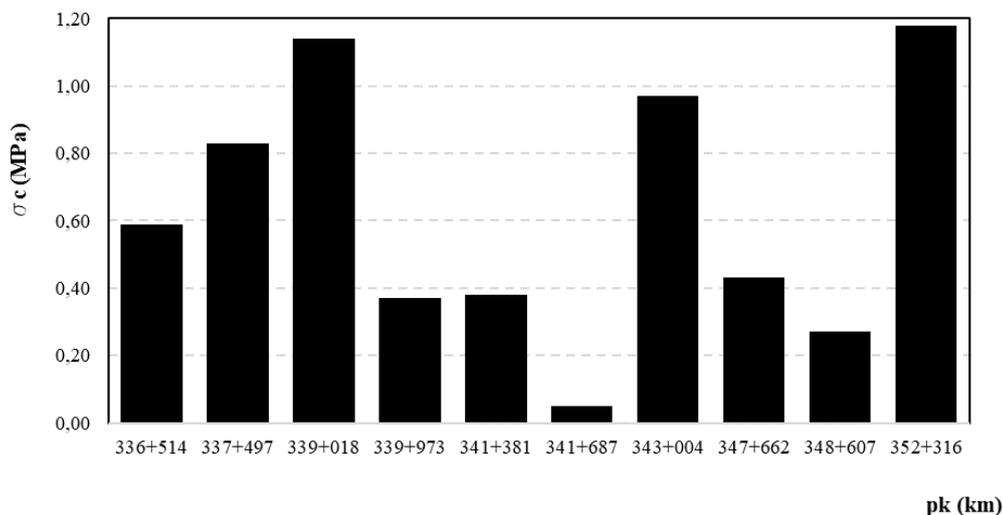
|                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                               |                  |             |                     |                           |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                  |             |                     |                           |           |
|                                                                                                                                              | RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO                                                                                                                                                  | COMMESSA<br>RS6K | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 07 RH | DOCUMENTO<br>GN 00 00 001 | REV.<br>A |

Le 10 prove di martinetto piatto eseguite hanno restituito valori di compressione agente ai piedritti modesti, variabili tra i 0,05 MPa e 1,18 MPa. L'ubicazione e i rispettivi risultati delle prove sono riepilogati in tabella e mostrati nell'istogramma.

**Tabella 24. Ubicazione e risultati prove di martinetto piatto**

| Prova di martinetto piatto |            |         |            |
|----------------------------|------------|---------|------------|
| Galleria                   | Ubicazione | pk      | $\sigma_c$ |
| (-)                        | (-)        | (km)    | (MPa)      |
| Samperi 2a                 | Piedritto  | 336+514 | 0,59       |
| Perniciaro                 | Piedritto  | 337+497 | 0,83       |
| Cotugno                    | Piedritto  | 339+018 | 1,14       |
| Pisciotta                  | Piedritto  | 339+973 | 0,37       |
| Dell'Arcia                 | Piedritto  | 341+381 | 0,38       |
| Dell'Arcia                 | Piedritto  | 341+687 | 0,05       |
| Priolo Soprano             | Piedritto  | 343+004 | 0,97       |
| Polizzi                    | Piedritto  | 347+662 | 0,43       |
| Buon Fratello              | Piedritto  | 348+607 | 0,27       |
| 1a di Farello              | Piedritto  | 352+316 | 1,18       |

**Risultanze prove di martinetto piatto**



**Figura 46. Risultanze prove di martinetto piatto**

Infine, i rivestimenti investigati con carotaggi continui presentano spessori in calotta variabili tra 0.40m e 0.60m con un valore medio pari a 0.53m, mentre al piedritto gli spessori risultano variabili tra 0.45m e 0.55m con un valore medio di circa 0.50m.

Per le risultanze delle indagini in dettaglio di rimanda all'elaborato dedicato (Rif. [11]).

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

## 7 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi vengono presi in considerazione i risultati provenienti dalla fase conoscitiva riguardo lo stato dei rivestimenti e delle opere di imbocco e vengono valutate le relative difettosità che necessitano di intervento. Inoltre, definita la sagoma di transito di progetto e gli ingombri minimi da garantire, vengono condotte le verifiche di sagoma al fine di censire tutte le interferenze con la superficie di intradosso di progetto da risolvere.

### 7.1 Profilo di transito

Come indicato dalla Committenza, che ha richiesto di effettuare la verifica per la transitabilità del PMO2 in galleria (con eventuale elettrificazione), il dato di base relativo al profilo di transito per la progettazione è rappresentato dal Profilo Minimo degli Ostacoli n° 2 che ammette le sagome di riferimento alla Sagoma FS, alla Sagoma cinematica G1, Sagoma cinematica GA e Sagoma cinematica GB (secondo la EN 15273/2017), nonché i trasporti combinati alle velocità di rango A associati a P.M.O.2 e riportati nel Manuale di Progettazione di RFI (Rif. [3]).

### 7.2 Armamento ferroviario

Con l'emissione della specifica tecnica di fornitura RFI TCAR SF AR 03 009 B, del giugno 2016, sono state definite le caratteristiche di una traversa, denominata “tipo galleria”, in c.a. vibrato e precompresso per armamento ferroviario 60E1, che può essere utilizzata nelle gallerie esistenti, nei casi in cui siano presenti particolari condizioni sfavorevoli, quali ridotti spessori della massicciata e/o ridotti franchi laterali.

Per l'inserimento in galleria le dimensioni caratteristiche principali riguardano la lunghezza totale della traversa riferita al piano di appoggio (L) pari a 2250 mm e l'altezza della traversa nella sezione sotto-rotaia (hpr) pari a 172 mm; inoltre nella suddetta specifica tecnica è stato definito anche lo spessore minimo della massicciata sotto traversa che non deve essere inferiore a 20 cm per garantire la possibilità di effettuare le operazioni di rincalzatura e risanamento della massicciata.

Nelle gallerie in progetto l'armamento esistente dovrà essere rinnovato prevedendo l'impiego delle traverse “tipo galleria”.

### 7.3 Marciapiedi

Per l'adeguamento delle gallerie esistenti alle vigenti normative sulla sicurezza (da Rif. [3] a Rif. [7]) è necessario prevedere la realizzazione di un marciapiede di esodo.

Secondo le STI (da Rif. [5] a Rif. [7]) il marciapiede di esodo deve essere previsto per gallerie di lunghezza superiore ai 500 m. Deve essere posizionato ad una quota non inferiore al piano ferro, deve avere una larghezza minima di 80 cm e deve essere corredato di corrimano. Secondo il DM 2005 (Rif. [3]) il marciapiede di esodo deve essere previsto per gallerie di lunghezza superiore ai 500 m. Deve avere una larghezza minima di 50 cm (90 cm per gallerie lunghe più di 2 km) e deve essere corredato di corrimano.



|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

di intradosso hanno una pezzatura spesso grossolana e maggiorata rispetto a quanto sarebbe lecito attendersi. Questo è particolarmente evidente in alcuni ricorsi orizzontali in calcestruzzo inseriti nelle murature dei piedritti.

Per quanto riguarda le murature di pietrame ai piedritti va sottolineata in particolare la diffusa e consistente perdita di malta tra i vari elementi della muratura; la malta risulta polverulenta e tende a sfarinarsi semplicemente al tatto. Nei casi in cui il fenomeno è più evidente si osservano cumuli di malta polverizzata al piede dei paramenti e sullo stradello di servizio esistente. Nel caso della muratura le venute di acqua, spesso associate alla formazione di concrezioni sui paramenti, tendono a mascherare lo stato di degrado delle malte.

Un'ultima considerazione va fatta rispetto alle tecnologie costruttive e ai metodi realizzativi della linea, con particolare riferimento alla scelta dei materiali impiegati: la frequente alternanza di soluzioni diverse tra una galleria e l'altra, per il rivestimento in chiave calotta nell'ambito dei getti in calcestruzzo o per i ricorsi orizzontali ai piedritti in muratura, così come l'impiego, talvolta nell'ambito della stessa galleria, di materiali diversi, ad esempio con tratte di muratura di mattoni sull'intero anello di rivestimento, non sembrano rispondere ad uno schema progettuale ben definito, ma piuttosto ad esigenze e situazioni contingenti.

Rispetto a questo stato di degrado generalizzato dei rivestimenti delle gallerie, di contro, va sottolineato il fatto che dal punto di vista strutturale non si osservano particolari segnali di sofferenza, come confermato peraltro dalle prove di martinetto piatto, che hanno evidenziato modesti valori di compressione agente ai piedritti. Nell'ambito delle schede relative ai rilievi visivi sono state censite un gran numero di lesioni nelle calotte in calcestruzzo che, tuttavia, nella stragrande maggioranza dei casi, sono riconducibili alle riprese di getto. Reali lesioni strutturali si osservano in casi del tutto isolati, e spesso, per confronto con documentazione fotografica storica, non sembrano aver subito alcuna evoluzione nel tempo.

Anche in corrispondenza degli imbocchi sono state evidenziate alcune problematiche che necessitano di intervento. Innanzi tutto, vanno segnalate numerose situazioni in cui manca un'adeguata protezione della sede dalle scarpate al contorno dei portali di imbocco, col conseguente rischio di trasporto di materiale fino ai binari, come avvenuto in passato e come avvenuto anche nel periodo di tempo in cui la linea è stata oggetto dei sopralluoghi. Inoltre, diversi portali risultano lesionati, anche se nella maggior parte dei casi, è possibile ritenere che le lesioni interessino solo lo strato superficiale di rivestimento e non la sottostante struttura in calcestruzzo; su alcuni portali questo strato superficiale di rivestimento ha anche subito macroscopici distacchi e crolli.

Sia all'interno delle gallerie che in corrispondenza di alcuni imbocchi, nel corso del tempo sono già stati eseguiti interventi sulle strutture; si tratta per lo più di gusci di gunite su brevi tratte di galleria e interventi di risarcitura di lesioni e stuccature di murature probabilmente instabili. A tale riguardo si sottolinea, in particolare, che i gusci di gunite realizzati in tratte di galleria con problemi di venute di acqua, allo scopo di impermeabilizzare il cavo, oggi risultano in avanzato stato di degrado per presenza di acqua; questo dimostra che nelle tratte caratterizzate da elevata umidità e presenza di acqua, per avere garanzia di durabilità degli interventi in progetto, non è sufficiente realizzare un nuovo guscio in calcestruzzo, se non opportunamente corredato da un efficace sistema di impermeabilizzazione e drenaggio.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

## 7.5 Verifiche di sagoma

Le verifiche di sagoma sono state condotte sulla base del modello tridimensionale delle gallerie ottenuto dal rilievo laser scanner. Le verifiche sono restituite in termini di sezioni trasversali estratte dai suddetti modelli 3D, secondo un passo significativo (pari a 10 metri) e comunque tale da rappresentare tutte le possibili interferenze e le situazioni di criticità.

Il profilo minimo degli ostacoli di progetto è stato posizionato manualmente all'interno delle sezioni di intradosso di progetto sulla base della posizione delle rotaie definita dal tracciato di progetto. La sezione di intradosso delle gallerie verificata tiene conto di un margine di almeno 20 cm rispetto all'intradosso esistente rilevato perché, come verrà maggiormente dettagliato nella fase di terapia ai successivi paragrafi, il progetto prevede la realizzazione di un controanello strutturale sull'intero sviluppo delle gallerie.

Tale attività di verifica di sagoma ha consentito, secondo un processo iterativo, di individuare la migliore soluzione di tracciato in termini di minimizzazione delle interferenze residue da risolvere.

Negli elaborati di progetto (da Rif. [25] a Rif. [35]) è rappresentato il censimento delle interferenze residue associate al tracciato di progetto individuato, il cui esito può essere riassunto come di seguito:

- una sola galleria (Cotugno) non presenta alcuna interferenza;
- 8 gallerie presentano interferenze modeste che possono essere risolte con piccoli adattamenti nel posizionamento del cassero con cui verrà realizzato il getto del controanello di progetto.
- 1 galleria (2a di Farello) presenta diffuse e significative interferenze che richiedono uno specifico intervento di risoluzione “ad hoc” per la galleria in esame. In questo unico caso, pertanto, non è previsto l'esecuzione di un contro anello su tutto l'intradosso, ma si procede con la realizzazione “ex-novo” dell'intera galleria.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

## 8 FASE DI TERAPIA

Nella fase di terapia vengono definite le modalità di intervento tipologiche previste per risolvere le criticità individuate sia all'interno delle gallerie che agli imbocchi delle stesse, e le interferenze censite, indicando in dettaglio gli interventi previsti per ciascuna galleria.

### 8.1 Intervento tipo in galleria

#### 8.1.1 Intervento tipo – controanello

Il quadro emerso dalla fase conoscitiva e dalla fase di diagnosi ha evidenziato uno stato di degrado nei rivestimenti esistenti delle gallerie molto diffuso, certamente accentuato in alcune situazioni dalle particolari condizioni ambientali, dall'umidità e dalle venute d'acqua, ma più in generale appare associato alla qualità dei materiali da costruzione utilizzati e alle metodologie costruttive dell'epoca di realizzazione della linea.

In tal senso, le problematiche da risolvere devono considerarsi generalizzate e non possono limitarsi alle sole tratte in cui ad oggi si osservano gli ammaloramenti maggiori, perché è del tutto lecito pensare che senza opportuni interventi, anche laddove ad oggi non si osservano particolari criticità, si possa avere nel tempo un'evoluzione dello stato di degrado dei rivestimenti del tutto simile a quanto si osserva in altre tratte più scadenti. In altre parole, la durabilità dell'opera rispetto alla vita utile di progetto per il ripristino in sicurezza dell'esercizio ferroviario non può essere garantita nello stato di fatto.

Per quanto detto sopra, è stato definito un intervento tipologico da applicare sull'intera estesa di ciascuna galleria della tratta.

L'intervento prevede la realizzazione di un contro-anello di spessore 0,2 m in calcestruzzo armato, con la finalità di proteggere la superficie di intradosso del rivestimento esistente. Dal punto di vista strutturale il contro-anello non è pensato come sostitutivo del rivestimento esistente nella risposta ai carichi di esercizio: si ritiene che il contro-anello venga realizzato in una condizione di equilibrio, rispetto alla quale è atteso che rimanga scarico nel breve termine; a lungo termine il contro-anello sarà in grado di portare la quota parte dei carichi di esercizio che deriveranno da un eventuale ulteriore decadimento dei rivestimenti esistenti.

Il controanello è chiuso anche in arco rovescio, con lo stesso spessore minimo di 0,2 m. La scelta di realizzare una struttura chiusa in arco rovescio per il controanello, oltre a garantire il pieno controllo delle geometrie della nuova vasca dell'armamento, consente anche di realizzare una struttura con maggiori capacità di resistenza e al contempo minimizzarne gli spostamenti differenziali rispetto al rivestimento esistente, a garanzia della reciproca collaborazione statica.

Come già accennato, l'adozione della traversa "tipo galleria" per il nuovo armamento consente di minimizzare lo spessore di ballast sotto traversa. Per la realizzazione del nuovo arco rovescio è comunque necessario prevedere, almeno localmente, delle operazioni di ribasso dell'attuale piano di regolamento, di entità variabile in funzione della differenza di quota tra il nuovo tracciato di progetto e quello esistente.

In considerazione dell'entità degli abbassamenti massimi dell'attuale piano di regolamento per la realizzazione del controanello in arco rovescio e della variabilità di tale grandezza rispetto al nuovo tracciato di progetto, non

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

si è ritenuto necessario prevedere un intervento di sottofondazione dei piedritti esistenti; sarà però necessario gestire le attività di scavo per campi di lunghezza ridotta opportunamente in funzione dell'entità del ribasso da realizzare.

Nell'ambito della realizzazione del controanello è previsto anche il completo rifacimento del sistema di impermeabilizzazione e drenaggio delle gallerie. A tergo del getto è prevista la posa dell'impermeabilizzazione sull'intero arco di calotta; al piede dell'impermeabilizzazione sono previsti due tubi di raccolta longitudinali che scaricano, attraverso il ballast, all'interno di una canaletta centrale di raccolta delle acque di nuova realizzazione.

Nei casi in cui si debba intervenire in presenza di venute di acqua di infiltrazione significative, in aggiunta all'impermeabilizzazione è prevista la preliminare posa di pannelli drenanti, in grado di intercettare la venuta e convogliarla nei tubi di raccolta.

Il camminamento di larghezza pari a 50 cm è posizionato a quota +0,20 sul p.f. In alcune tratte singolari e di limitata estensione, in funzione della geometria del tracciato di progetto, non sarà possibile rispettare la distanza laterale minima di 60 cm tra il camminamento e testa traversa; in questi casi occorrerà valutare se andare in deroga mantenendo la soluzione con marciapiede fisso gettato in opera, oppure prevedere una soluzione rimovibile con beole accostate semplicemente appoggiate sul ballast, per agevolare le future attività di manutenzione del binario.

Considerato l'esiguo spessore del controanello, sarà necessario evitare sotto-spessori rispetto a eventuali irregolarità delle superfici di intradosso esistenti. Pertanto, nei casi in cui si debba intervenire in presenza di concrezioni importanti oppure in tratte in cui è già stato realizzato un guscio di spritz-beton o siano presenti elementi di rivestimento sporgenti che riducano localmente lo spazio a disposizione per il nuovo getto, sono previsti interventi preliminari di scarifica/demolizione/snicchiatura per il ripristino del profilo di intradosso di progetto.

Tutti gli interventi sui rivestimenti esistenti dovranno essere realizzati con demolizione controllata mediante testa fresante di piccole dimensioni, per garantire il controllo delle vibrazioni indotte nel rivestimento esistente e non provocare lesioni. In ogni caso, dovrà essere garantita un'opportuna regolarizzazione della superficie di intradosso propedeutica alla posa dell'impermeabilizzazione prevista a tergo del controanello, prevedendo il riempimento con malta cementizia di eventuali vuoti dovuti a perdita di malta o di mattoni nelle murature, locali distacchi di rivestimento, ecc.

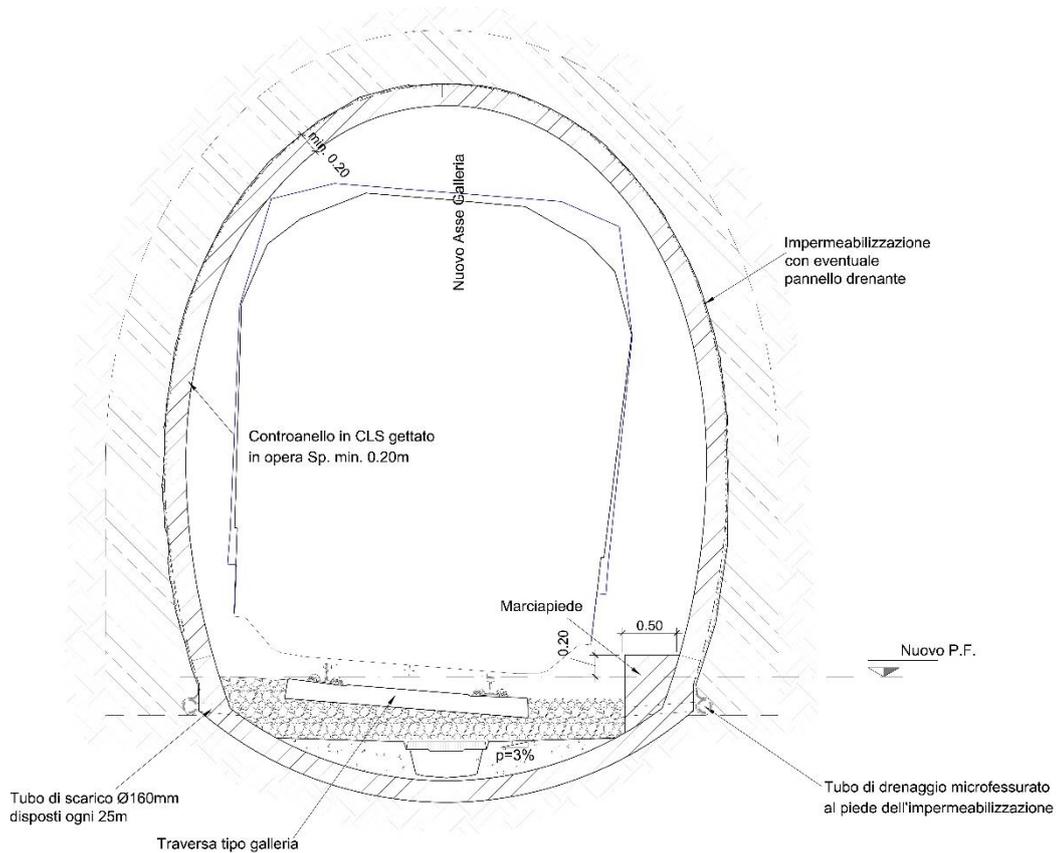
Le principali fasi di intervento possono riassumersi come riportato di seguito.

1. Eventuale regolarizzazione del profilo di intradosso esistente (calotta e piedritti).
2. Rimozione dell'armamento esistente.
3. Scavo del piano di regolamento secondo le geometrie di progetto per la realizzazione del controanello in arco rovescio.
4. Eventuale posa in opera del pannello drenante all'intradosso di calotta e piedritti.
5. Posa in opera del manto impermeabile all'intradosso di calotta e piedritti.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                  |             |                     |                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                  |             |                     |                           |           |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | COMMESSA<br>RS6K | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 07 RH | DOCUMENTO<br>GN 00 00 001 | REV.<br>A |

6. Posa in opera dei tubi di raccolta longitudinali al piede dell'impermeabilizzazione.
7. Casseratura e getto del controanello in arco rovescio.
8. Casseratura e getto del controanello in calotta.
9. Completamento delle finiture interne (marciapiede, getto di regolamento e canaletta centrale di raccolta delle acque).
10. Posa del nuovo armamento.

Nella seguente Figura 48 è rappresentata l'applicazione dell'intervento tipo in galleria. Si rimanda agli elaborati grafici di riferimento per ulteriori dettagli e per la rappresentazione dell'applicazione dell'intervento (Rif. [36]).



**Figura 48. Intervento tipo in galleria**

Fatto salvo il concetto sopra espresso che per il diffuso stato di degrado dei rivestimenti non è possibile garantire la durabilità delle gallerie solo con interventi puntuali, dedicati alla risoluzione delle difettosità che oggi appaiono più significative, la scelta dell'intervento tipo del contro-anello con applicazione sistematica sull'intera estesa delle gallerie offre indubbi vantaggi rispetto ad altri possibili scenari di intervento discreti.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

Eseguire getti casserati in galleria è infatti un'operazione relativamente semplice e che può consentire anche produzioni elevate, impostando i lavori su più cantieri in parallelo e ricorrendo ad esempio a soluzioni con armature preassemblate. Inoltre, l'efficacia della soluzione può considerarsi garantita, anche rispetto al completo rifacimento delle soluzioni di impermeabilizzazione e drenaggio delle gallerie sul loro intero sviluppo.

Peraltro, l'attuale stato di consistenza delle gallerie dimostra proprio che gli interventi puntuali eseguiti nel corso del tempo sulla linea, con conci di gunite o spritz-beton di rinforzo strutturale o impermeabilizzazione del cavo, così come i tentativi di risarcire e stuccare localmente i giunti delle murature con perdita di malta, non danno garanzia di efficacia, soprattutto in termini di durabilità.

Inoltre, interventi puntuali di consolidamento e restauro delle murature esistenti, se fatti in modo generalizzato su ampie tratte di galleria, risulterebbero estremamente onerosi sia in termini di costi, sia in termini di tempi, e la loro realizzazione richiede una manodopera altamente specializzata.

Per poter definire la necessità e modulare l'intensità di interventi di questo tipo, sarebbe inoltre necessaria una campagna di indagini molto capillare nelle gallerie, perché le condizioni dei rivestimenti esistenti potrebbero risultare estremamente variabili sia in direzione longitudinale che trasversale, come hanno evidenziato le prove fin qui eseguite.

Un eventuale intervento di consolidamento o riqualifica dei calcestruzzi di calotta che hanno evidenziato deficit di resistenza e stati di degrado appare comunque non percorribile, rendendo inevitabili interventi di demolizione e ricostruzione.

In ogni caso resterebbe da risolvere il problema della sistemazione idraulica delle gallerie per la gestione delle venute di acqua.

Pertanto, per i motivi sopra elencati, si ritiene che interventi di consolidamento e restauro dei rivestimenti esistenti non siano adatti al contesto in esame, e per questo è stato previsto il ricorso al controanello sistematico con getti casserati che consente di intervenire diffusamente sulle opere in sotterraneo, con un approccio industrializzato, che favorisce un'ottimizzazione di costi e tempi di realizzazione e garantisce al contempo efficacia ed affidabilità di riuscita.

Va sottolineato infine che l'intervento del controanello in galleria non preclude eventuali futuri scenari di elettrificazione della linea. Il progetto, come noto, non prevede l'elettrificazione della linea, ma in fase di diagnosi sono comunque state fatte delle valutazioni di fattibilità al riguardo; secondo tali valutazioni gli spazi a disposizione all'interno delle gallerie, anche dopo la realizzazione del controanello di progetto, risultano compatibili con una soluzione di catenaria rigida a 4.80 m sul piano ferro (con PMO 2).

Rispetto alla condizione di intervento sopra definita, fa eccezione la galleria 2a di Farello in cui, come già accennato nella fase di diagnosi, le verifiche di sagoma hanno evidenziato diffuse interferenze significative per la cui risoluzione è stato necessario prevedere la realizzazione ex-novo dell'intera galleria. Nel paragrafo successivo viene dettagliata la specifica soluzione progettuale adottata.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

### 8.1.2 *Intervento particolare – Galleria 2a di Farello*

Per la galleria 2a di Farello è previsto un intervento specifico. Per l'introduzione del controanello è stata elaborata una sostanziale modifica altimetrica di tracciato; la quota del piano ferro è stata abbassata sensibilmente in corrispondenza della galleria fino a circa un metro. Tale soluzione richiederebbe un cospicuo scavo in corrispondenza dell'arco rovescio che impatterebbe sulla statica degli attuali piedritti del rivestimento. Ulteriore aspetto non trascurabile è lo stato di forte degrado in cui versa l'intero rivestimento preesistente. Pertanto, la soluzione progettuale scelta per garantire il passaggio della sagoma in corrispondenza della galleria è la realizzazione ex-novo dell'intera opera in sotterraneo.

La galleria di lunghezza pari a circa 163 metri, presenta una copertura variabile data dalla orografia della collina che attraversa, con un massimo di circa 20 metri in corrispondenza della parte centrale. In superficie, inoltre, non sono presenti edifici o interferenze di altro genere. In questo caso l'intervento individuato prevede la demolizione e ricostruzione del rivestimento definitivo con intervento da piano campagna, previa realizzazione di opere di sostegno provvisorie che permettono di eseguire lo scavo a cielo aperto. Il nuovo manufatto viene quindi ritombato con ripristino in superficie della situazione ante-operam.

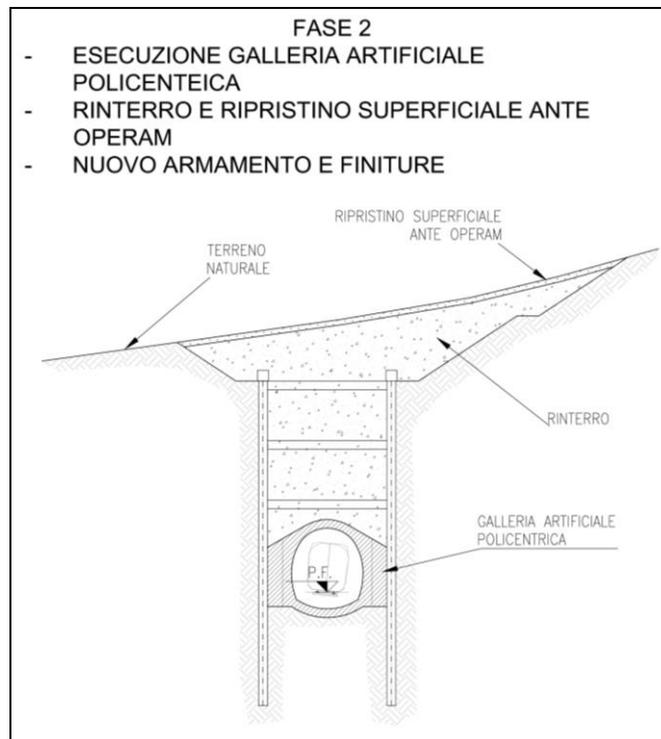
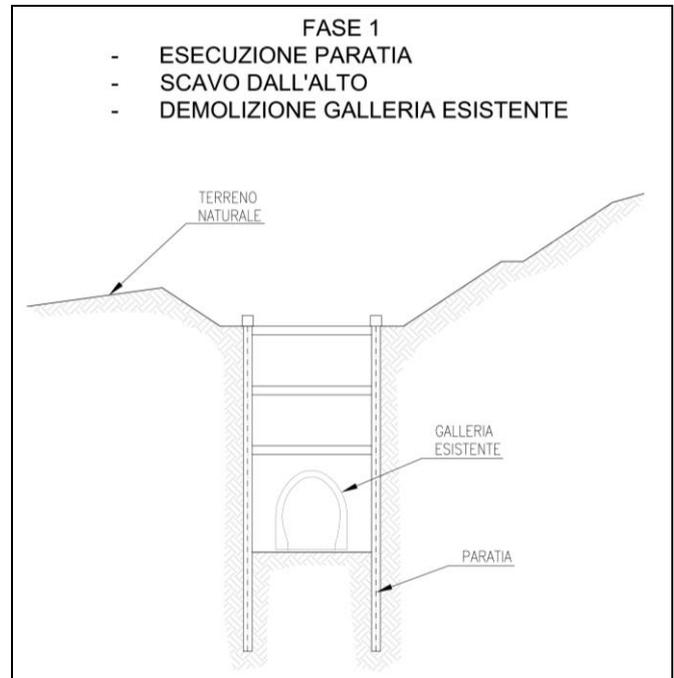
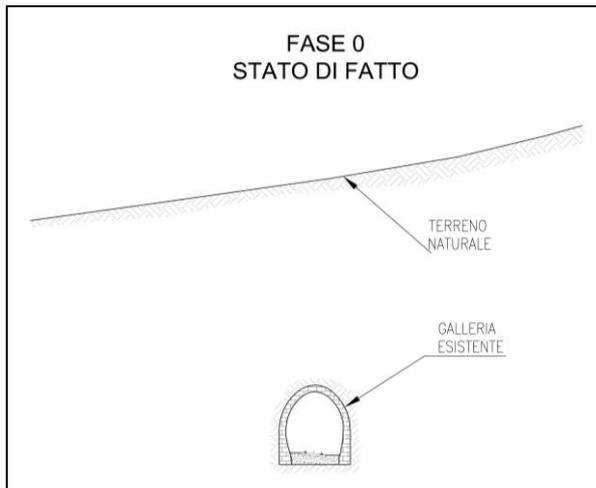
La sezione di intradosso della nuova galleria artificiale è in accordo al Manuale di Progettazione RFI (Rif. [8]) – Tavola 3, sezione a singolo binario con velocità  $V \leq 160$  km/h.

Per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato dedicato (Rif. [37]).

Le principali fasi di intervento possono riassumersi come riportato di seguito (Figura 49).

- Esecuzione delle paratie di pali  $\Phi 800$ , di lunghezza variabile in funzione delle ricoperture, vincolate da puntoni. Nella parte sommitale della collina sono previsti tre ordini di puntoni. La paratia continua, ambo i lati, in corrispondenza di entrambi gli imbocchi in modo da inglobare i portali preesistenti.
- Esecuzione dello scavo dall'alto fino a raggiungere la quota del futuro arco rovescio della nuova galleria.
- Nello scavo di ribasso è prevista la demolizione della galleria preesistente 2a di Farello.
- Realizzazione della nuova galleria policentrica artificiale all'interno dello scavo a cielo aperto.
- Rinterro dello scavo con ripristino ante opera della sistemazione superficiale.

Nell'ambito della successiva fase progettuale non si esclude la possibilità di ottimizzare l'andamento altimetrico del tracciato in corrispondenza dell'opera in sotterraneo, prevedendo un innalzamento del piano ferro di progetto, in modo da ridurre la profondità di scavo e delle opere provvisorie di sostegno ed il conseguente ritombamento della nuova galleria.



**Figura 49: Intervento Galleria 2a di Farello**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

## 8.2 Interventi tipo agli imbocchi

Il quadro emerso dalla fase conoscitiva e dalla fase di diagnosi ha evidenziato uno stato di degrado negli elementi strutturali presenti agli imbocchi analogo a quello descritto per le gallerie e correlato, anche in questo caso, alla qualità dei materiali da costruzione utilizzati e alle metodologie costruttive dell'epoca di realizzazione della linea.

Per gli imbocchi però le principali difettosità riscontrate sembrano interessare per lo più solo gli strati superficiali di rivestimento in muratura delle strutture portanti, presentando lesioni, distacchi ed in qualche caso isolato anche crolli.

Inoltre, come già evidenziato, sono state individuate numerose situazioni in cui le opere di imbocco a presidio delle scarpate in cui si inseriscono sono insufficienti ad evitare il rischio di trasporto di materiale sulla sede.

Tali fenomeni sono certamente accentuati anche dallo stato di abbandono delle scarpate conseguente l'interruzione della linea ormai decennale e dalla mancanza di un'adeguata manutenzione delle stesse. Pertanto, preliminarmente alla realizzazione degli interventi in progetto, sarà necessario prevedere opportuni interventi di manutenzione straordinaria di ciascun imbocco che consenta almeno la sistemazione delle scarpate con la rimozione della vegetazione incolta, e la pulizia e lo svuotamento di tutti i fossi di guardia e delle canalette di raccolta delle acque.

Per un maggior dettaglio si rimanda all'elaborato grafico dedicato agli interventi previsti agli imbocchi (Rif. [38]).

### 8.2.1 Galleria artificiale

Per gli imbocchi che evidenziano l'assenza di muri d'ala longitudinali a protezione delle scarpate laterali, e in presenza di morfologie acclivi che possono comportare un significativo rischio di trasporto di materiale sulla sede, è prevista la realizzazione di un nuovo breve tratto di galleria artificiale policentrica, con la stessa sezione di intradosso del contro-anello in galleria, che consenta la sistemazione delle scarpate mediante opportuno ritombamento, dando al contempo maggiore stabilità anche al timpano del portale esistente.

Ai fini della stima economica degli interventi può considerarsi una lunghezza tipologica delle tratte di galleria artificiale di nuova realizzazione pari a 20 m.

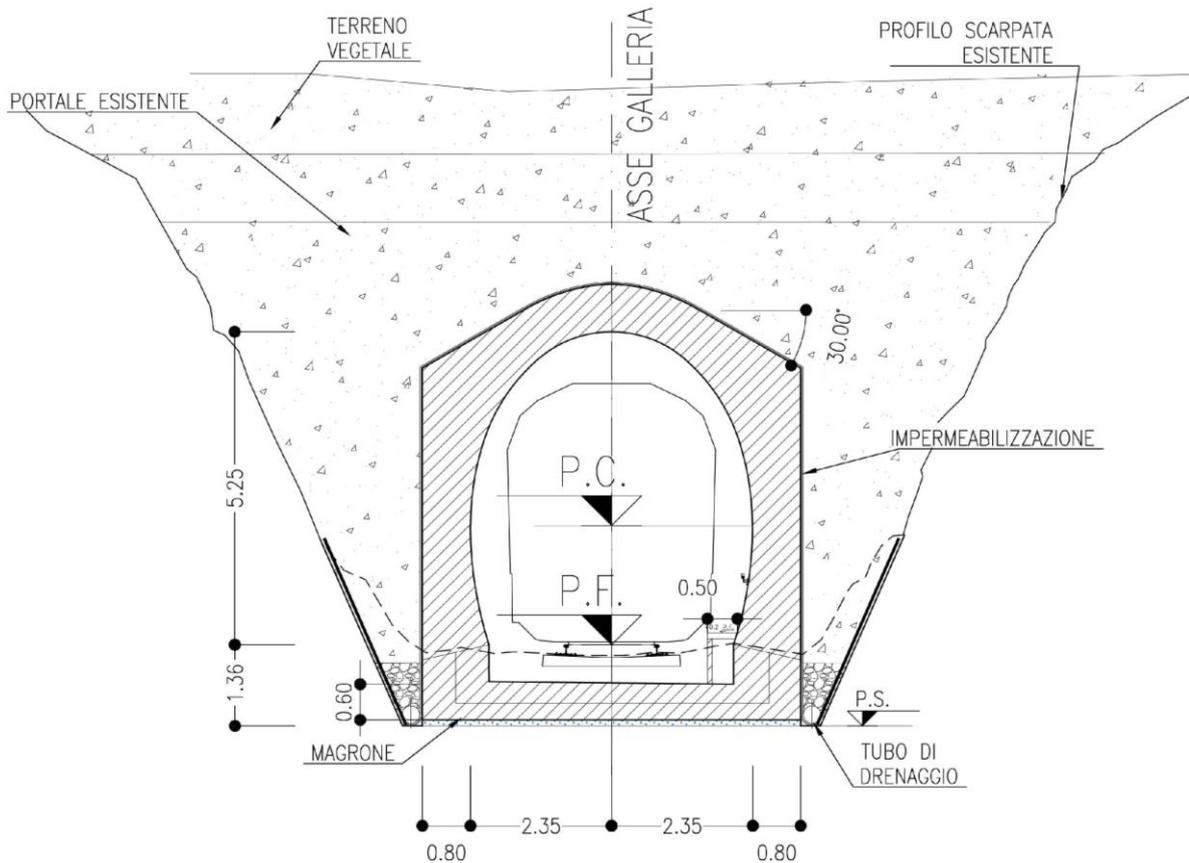


Figura 50. Intervento tipo imbocco – Galleria artificiale

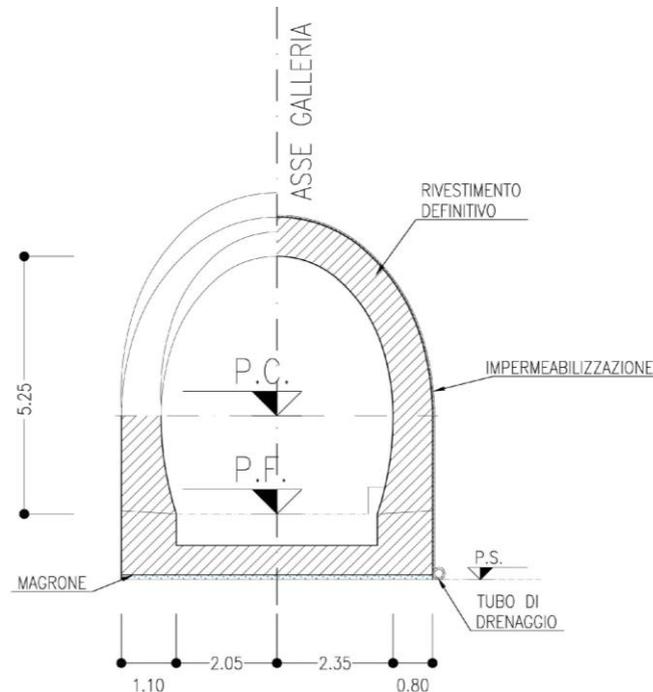
### 8.2.2 Portale

Rispetto al rischio di instabilità dei rivestimenti dei timpani dei portali esistenti, con conseguente potenziale distacco di materiale dall'alto, anche nei casi in cui non sia prevista una nuova galleria artificiale per esigenze di stabilizzazione delle scarpate (§8.2.1), si prevede la sistematica realizzazione di nuovi portali di imbocco con la stessa carpenteria delle suddette gallerie artificiali.

Questo consente peraltro di dare continuità al contro-anello in galleria, rinforzando e dando sostegno alle zone di interfaccia tra i portali e la sezione corrente delle gallerie, che i rilievi visivi hanno evidenziato molto spesso come critiche.

In ogni caso, dovranno essere preliminarmente sanate e risarcite tutte le lesioni attualmente presenti sui rivestimenti dei portali esistenti.

Ai fini della stima economica degli interventi può considerarsi una lunghezza tipologica dei portali di imbocco di nuova realizzazione pari a 6 m.



**Figura 51. Intervento tipo imbocco – Portale**

### 8.3 Analisi delle singole gallerie della tratta

#### 8.3.1 Samperi 2a

Nella galleria Samperi 2a, lunga 232 m circa e con copertura massima inferiore ai 15 m, è prevista la realizzazione del controanello senza la necessità di preventivi interventi di scarifica o demolizioni, e senza l'impiego di pannelli drenanti a tergo dell'impermeabilizzazione.

Per entrambi gli imbocchi è previsto l'intervento di realizzazione del nuovo portale.

#### 8.3.2 Perniciaro

Nella galleria Perniciaro, lunga 859 m circa e con copertura massima inferiore ai 30 m, è prevista la realizzazione del controanello; in alcune tratte potrebbero essere necessari preventivi interventi di scarifica o demolizioni, e l'impiego di pannelli drenanti a tergo dell'impermeabilizzazione.

Per entrambi gli imbocchi è previsto l'intervento di realizzazione del nuovo portale.

#### 8.3.3 Cotugno

Nella galleria artificiale Cotugno, lunga 246 m circa e con copertura massima inferiore ai 20 m, è prevista la realizzazione del controanello senza la necessità di preventivi interventi di scarifica o demolizioni, e senza l'impiego di pannelli drenanti a tergo dell'impermeabilizzazione.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

Per entrambi gli imbocchi è previsto l'intervento di realizzazione del nuovo portale.

#### **8.3.4 Pisciotta**

Nella galleria Pisciotta, lunga 340 m circa e con copertura massima inferiore ai 20 m, è prevista la realizzazione del controanello; in alcune tratte potrebbero essere necessari preventivi interventi di scarifica o demolizioni, e l'impiego di pannelli drenanti a tergo dell'impermeabilizzazione.

Per entrambi gli imbocchi è previsto l'intervento di realizzazione del nuovo portale da associare ad un intervento di risarcitura delle lesioni sui portali esistenti.

#### **8.3.5 Dell'Arcia**

Nella galleria Dell'Arcia, lunga 1225 m circa e con copertura massima di 30 m circa, è prevista la realizzazione del controanello; in alcune tratte potrebbero essere necessari preventivi interventi di scarifica o demolizioni, e l'impiego di pannelli drenanti a tergo dell'impermeabilizzazione.

Per l'imbocco lato Caltagirone è previsto l'intervento di realizzazione del nuovo portale; per l'imbocco lato Gela, invece, l'intervento consiste nella realizzazione di una galleria artificiale.

#### **8.3.6 Priolo Soprano**

Nella galleria Priolo Soprano, lunga 763 m circa e con copertura massima inferiore ai 30 m, è prevista la realizzazione del controanello; in alcune tratte potrebbero essere necessari preventivi interventi di scarifica o demolizioni, e l'impiego di pannelli drenanti a tergo dell'impermeabilizzazione.

Per entrambi gli imbocchi è previsto l'intervento di realizzazione del nuovo portale.

#### **8.3.7 Polizzi**

Nella galleria artificiale Polizzi, lunga 96 m circa e con copertura massima inferiore ai 10 m, è prevista la realizzazione del controanello senza la necessità di preventivi interventi di scarifica o demolizioni, e senza l'impiego di pannelli drenanti a tergo dell'impermeabilizzazione.

Per entrambi gli imbocchi è previsto l'intervento di realizzazione del nuovo portale.

#### **8.3.8 Buon Fratello**

Nella galleria Buon Fratello, lunga 689 m circa e con copertura massima inferiore ai 20 m, è prevista la realizzazione del controanello; in alcune tratte potrebbero essere necessari preventivi interventi di scarifica o demolizioni.

Per l'imbocco lato Caltagirone è previsto l'intervento di realizzazione di una galleria artificiale; per l'imbocco lato Gela, invece, l'intervento consiste nella realizzazione di un nuovo portale con risarcitura della lesione sul portale esistente.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                  |             |                     |                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                  |             |                     |                           |           |
|                                                                                   | RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN<br>SOTTERRANEO                                                                                                                                               | COMMESSA<br>RS6K | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 07 RH | DOCUMENTO<br>GN 00 00 001 | REV.<br>A |

### 8.3.9 2a di Farello

Nella galleria artificiale 2a di Farello, lunga 163 m circa e con copertura massima inferiore ai 20 m, è previsto un intervento specifico che contempla la realizzazione ex-novo della galleria, previa demolizione di quella preesistente (§8.1.2).

Per entrambi gli imbocchi è previsto l'intervento di realizzazione della nuova galleria artificiale parallelamente alla fila di pali di sostegno dello scavo, con relativo ritombamento e sistemazione dei versanti.

### 8.3.10 1a di Farello

Nella galleria artificiale 1a di Farello, lunga 336 m circa e con copertura massima di circa 30 m, è prevista la realizzazione del controanello senza la necessità di preventivi interventi di scarifica o demolizioni, e senza l'impiego di pannelli drenanti a tergo dell'impermeabilizzazione.

In considerazione del degrado molto spinto delle malte, e dell'elevata instabilità che caratterizza la prima fila degli elementi di muratura all'intradosso, prima di poter intervenire con la realizzazione dell'intervento tipo del contro-anello, si ritiene necessario prevedere un intervento preliminare di messa in sicurezza delle murature instabili mediante stuccatura superficiale e risarcitura dei giunti poveri di malta.

Per entrambi gli imbocchi è previsto l'intervento di realizzazione della nuova galleria artificiale con relativo ritombamento e sistemazione dei versanti.

## 8.4 Caratteristiche dei materiali strutturali

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni della Normativa vigente (Rif. [1]) e del "Manuale di progettazione delle opere civili" (Rif. [3]).

### Gallerie artificiali

| <b>Calcestruzzo (calotta e piedritti)</b> |        |
|-------------------------------------------|--------|
| Classe di esposizione ambientale          | XC2    |
| Classe di resistenza                      | C25/30 |
| Classe di resistenza di calcolo           | C25/30 |
| Copriferro                                | 5 cm   |
| <b>Calcestruzzo (arco rovescio)</b>       |        |
| Classe di esposizione ambientale          | XA1    |
| Classe di resistenza                      | C30/37 |
| Classe di resistenza di calcolo           | C25/30 |
| Copriferro                                | 5 cm   |

|                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                               |                  |             |                     |                           |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                  |             |                     |                           |           |
|                                                                                                                                              | RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN<br>SOTTERRANEO                                                                                                                                               | COMMESSA<br>RS6K | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 07 RH | DOCUMENTO<br>GN 00 00 001 | REV.<br>A |

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| <b>Acciaio per barre di armatura</b> |       |
| Tipo                                 | B450C |

#### Galleria naturale – Controanello

|                                           |        |
|-------------------------------------------|--------|
| <b>Calcestruzzo (calotta e piedritti)</b> |        |
| Classe di resistenza                      | C25/30 |
| Classe di resistenza di calcolo           | C25/30 |
| Copriferro                                | 5 cm   |

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| <b>Calcestruzzo (arco rovescio)</b> |        |
| Classe di resistenza                | C30/37 |
| Classe di resistenza di calcolo     | C25/30 |
| Copriferro                          | 5 cm   |

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| <b>Acciaio per barre di armatura</b> |       |
| Tipo                                 | B450C |

## 8.5 Analisi e verifica degli interventi definiti

Di seguito si riporta la descrizione delle analisi numeriche eseguite per il dimensionamento e la verifica degli interventi previsti in progetto ed una sintesi dei risultati ottenuti.

### 8.5.1 *Intervento tipo in galleria: controanello*

Come detto, l'intervento tipo in galleria prevede la realizzazione di un controanello in calcestruzzo armato di spessore pari a 20 cm sia in calotta sia in arco rovescio.

#### 8.5.1.1 Criteri di verifica

Per la scelta della sezione di analisi da prendere a riferimento per le verifiche dell'intervento di realizzazione del nuovo controanello, sono state fatte le seguenti considerazioni.

L'intervento è previsto in tutte le gallerie esistenti a meno della 2a di Farello; le gallerie presentano caratteri di eterogeneità per stato di consistenza e condizioni al contorno.

La sezione di analisi scelta fa riferimento alla sezione di indagine della galleria San Nicola Noce del Lotto 1, le cui condizioni stratigrafiche e di copertura possono considerarsi rappresentative di larghe tratte di linea per la maggior parte delle gallerie dell'intera tratta Caltagirone-Gela, comprendendo quindi anche la tratta del lotto 2: Niscemi – Gela.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

La carpenteria della sezione di analisi è stata individuata sulla base delle indagini eseguite in corrispondenza della sezione di riferimento scelta; gli spessori considerati risultano comunque coerenti con i risultati medi di spessore derivanti dalla campagna di indagine su tutte le gallerie della tratta Niscemi-Gela (cfr. 736.5.1).

Inoltre, la profondità del piano di posa dei piedritti considerata per la sezione di analisi è quella minima ottenuta nell'ambito della campagna di indagine anche per il Lotto 2, e per la profondità dello scavo di ribasso è stato considerato il valore massimo di abbassamento del p.f. previsto in progetto.

Si sottolinea, infine, che nella sezione di riferimento scelta sono stati determinati i valori massimi di stato tensionale misurato nei rivestimenti esistenti mediante le prove di martinetto piatto.

Sulla base delle ipotesi sopra esposte, è stato messo a punto un modello numerico di back analysis, simulando la realizzazione della galleria storica e cercando di cogliere lo stato tensionale misurato con le prove di martinetto piatto. Il valore di stato tensionale di back analysis (cfr. 8.5.1.4) è confrontabile con il valore massimo (1,2 MPa) misurato durante la campagna di indagini del Lotto 2.

Parametri della back analysis sono stati i parametri geotecnici della formazione nell'ambito delle variabilità definite in sede di caratterizzazione, la quota di falda e la percentuale di rilascio a vuoto delle forze di scavo prima dell'installazione dei rivestimenti definitivi.

Dopo aver ricostruito lo stato tensionale iniziale nel modello di riferimento, è stato simulato l'intervento di controanello previsto in progetto.

#### 8.5.1.2 Interazione opera-terreno

##### Modello geotecnico

Il modello geotecnico di sottosuolo in corrispondenza della sezione di analisi è caratterizzato da due formazioni: la SLA (Qcs-1) costituita da sabbie limo argillose fino ad una profondità di 27 m da p.c. e la ALS (Qa) costituita da argille limo sabbiose fino ad una profondità di 70 m da p.c. La copertura sulla calotta della galleria è di 25 m. L'analisi è condotta in assenza di falda.

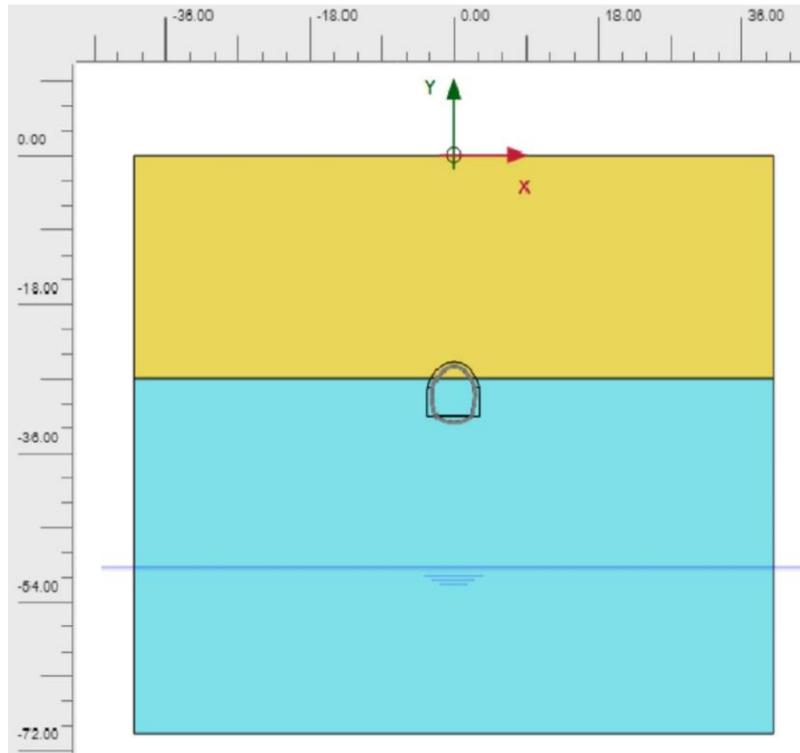


Figura 52 – Modello geotecnico

La Tabella riassume i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per l’analisi numerica. Il modello costitutivo dei terreni è elasto-plastico con modello Hardening Soil.

Tabella 25 – Sezione geotecnica di calcolo

| Stratigrafia di calcolo |                    | H           | $\gamma$             | $c'_k$ | $\varphi'_k$ | E'    | E <sub>ur</sub> | $\nu'$ | $k_0$ |
|-------------------------|--------------------|-------------|----------------------|--------|--------------|-------|-----------------|--------|-------|
| Formazione              | Profondità da p.c. |             |                      |        |              |       |                 |        |       |
| [-]                     | [m da pc]          | [m] da p.c. | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kPa]  | [kPa]        | [MPa] | [MPa]           | [-]    | [-]   |
| SLA                     | 0 - 27             | 25          | 18                   | 5      | 30           | 100   | 400             | 0,3    | 0,50  |
| ALS                     | 27 - 70            |             | 19                   | 30     | 28           | 200   | 800             | 0,3    | 0,54  |

C = copertura (rispetto alla calotta)

$\gamma$  = peso per unità di volume

$c'_k$  = coesione drenata

$\varphi'_k$  = angolo di attrito interno

E' = modulo elastico

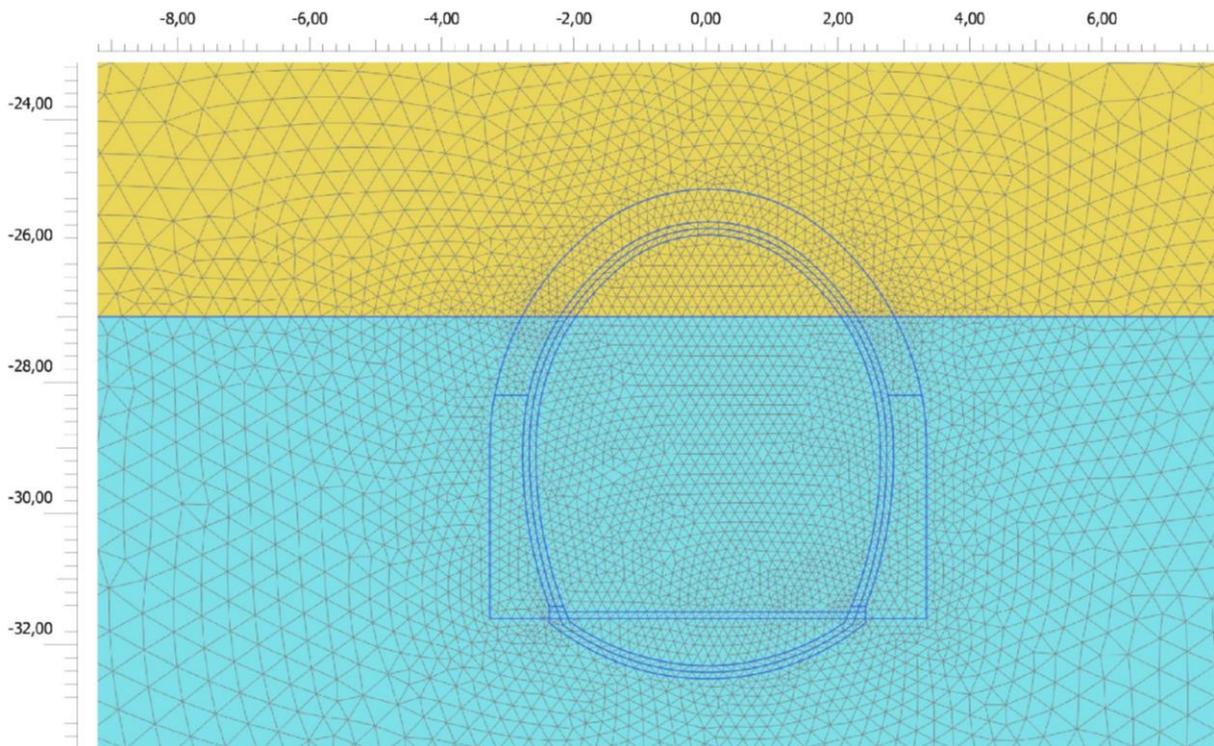
$\nu'$  = coefficiente di Poisson

$k_0$  = coefficiente di spinta a riposo

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 |

### 8.5.1.3 Modello geometrico

La mesh di calcolo è costituita da elementi triangolari (16476 elementi, 133505 nodi). La griglia presenta un'estensione laterale di 40 m (per una larghezza totale di 80 m) e un'altezza complessiva di 70 m. I bordi sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria (a distanza  $> 3D$  con  $D$  = diametro della galleria), in modo tale che le condizioni di vincolo ivi definite non influenzino la modellazione.



**Figura 53 – Modello di calcolo – dettaglio della geometria mesh**

Il rivestimento definitivo esistente in muratura ai piedritti e calcestruzzo in calotta sono stati simulati utilizzando un modello costitutivo elasto plastico perfetto con criterio di resistenza alla Tresca; il controanello in calcestruzzo armato di nuova realizzazione è stato simulato utilizzando un modello elastico lineare.

Per ottenere le sollecitazioni agenti nel controanello sono stati utilizzati nel modello degli elementi “liner” in linea d’asse ai rivestimenti definitivi (che rappresenta geometricamente il controanello) caratterizzati da rigidità molto bassa (modulo elastico degli elementi diviso per un fattore di scala  $F=10^3$ ). Grazie alla loro bassa rigidità essi si deformano come il rivestimento definitivo senza interferire con il campo di sforzi e deformazioni agente all’interno dell’elemento di volume del rivestimento. Le sollecitazioni in output sono poi moltiplicate per lo stesso fattore di scala  $F$  per ottenere le sollecitazioni per le verifiche strutturali.

Sia per la calotta che per i piedritti è stato considerato uno spessore pari a 0,50 m. Il controanello è modellato secondo uno spessore costante pari a 0,20 m, con calcestruzzo di classe C30/37 per l’arco rovescio, e C25/30 per i piedritti e la calotta.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

Per la definizione delle caratteristiche della muratura esistente si è proceduto come descritto di seguito. Con riferimento al §C8.5.4 della Circolare delle istruzioni applicative (Rif. [2]) relativo alle costruzioni esistenti, va definito innanzi tutto il livello di conoscenza dell'opera in oggetto, sulla base delle indagini effettuate. A tale riguardo si ritiene che le diverse campagne di indagini svolte siano pienamente adeguate al livello della progettazione e alla tipologia degli interventi previsti. Pertanto, è stato adottato il livello di conoscenza massimo LC3, cui corrisponde un fattore di confidenza FC pari a 1 da applicare alla resistenza a compressione della muratura.

Per il coefficiente di Poisson  $\nu$  della muratura si è fatto riferimento al §11.10.3.4 (Rif. [1]), in cui è fornita un'indicazione sul rapporto tra il modulo di taglio G ed il modulo elastico E ( $G/E=0,4$ ) da considerare nel caso della muratura. Per il peso di volume  $\gamma$  è stato considerato il valore medio delle prove di laboratorio eseguite sui campioni di rivestimento prelevati.

Al §C8.5.4.1, per murature che possano essere ricondotte alle tipologie presenti nelle Tabelle C8.5.I e C8.5.II, sono indicati i valori delle caratteristiche meccaniche da utilizzare per le verifiche, in relazione ai diversi livelli di conoscenza. In particolare, per LC3, i valori delle resistenze e dei moduli elastici riportati in Tabella C.8.5.I individuano una distribuzione a-priori che può essere aggiornata sulla base dei risultati delle misure eseguite in sito.

Le prove di laboratorio eseguite sui prelievi dalle murature esistenti si ritengono rappresentative del solo elemento di pietra naturale e non del complesso malta cementizia ed elemento. Pertanto, per la determinazione dei parametri meccanici della muratura è stato considerato quanto riportato nelle NTC2018 al 11.10.3. In particolare, al 11.10.3.1.2. per la stima della resistenza a compressione è fornita una tabella con i valori di  $f_k$  per murature in elementi naturali di pietra squadrata (tab 11.10.VII): il valore  $f_{bk}=0,75*f_{bm}=21$  MPa, dove  $f_{bm}=28$  MPa è il valore medio derivante dalle prove di laboratorio. Entrando in tabella con tale valore e considerando la malta di caratteristiche più scadenti (M2,5), si ottiene una resistenza a compressione pari a 6,1 MPa. Il valore di modulo elastico derivante dalle prove di laboratorio è pari a circa 8,8 GPa, mentre utilizzando la formulazione proposta dalla normativa al 11.10.3.4. si ottiene  $E=6,1$  GPa.

Per quanto concerne il calcestruzzo esistente, le prove di laboratorio di schiacciamento forniscono un valore medio di resistenza a compressione pari a  $f_{cm}=21,7$  MPa; da cui si ricava un valore di modulo elastico pari a  $E=22000(f_{cm}/10)^{0,3}=27,756$  GPa.

Nella fase di lungo termine modellata al termine dell'analisi per la verifica del controanello, per tener conto di un eventuale decadimento del rivestimento esistente, sono stati abbattuti del 30% i relativi valori di resistenza e rigidezza sia per la muratura ai piedritti che per il calcestruzzo in calotta.

Le caratteristiche dei materiali modellate per i rivestimenti sono riepilogate nella tabella di seguito.

**Tabella 26 - Definizione delle caratteristiche del rivestimento esistente**

| Caratteristiche           | Rivestimento esistente muratura |               | Rivestimento esistente calcestruzzo |               |
|---------------------------|---------------------------------|---------------|-------------------------------------|---------------|
|                           | Stato di fatto                  | Lungo termine | Stato di fatto                      | Lungo termine |
| Resistenza a compressione | 6,1 MPa                         | 4,27 MPa      | 21,7 MPa                            | 15,19 MPa     |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                  |             |                     |                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                  |             |                     |                           |           |
|                                                                                   | RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO                                                                                                                                                  | COMMESSA<br>RS6K | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 07 RH | DOCUMENTO<br>GN 00 00 001 | REV.<br>A |

|                 |         |          |           |           |
|-----------------|---------|----------|-----------|-----------|
| Modulo elastico | 6,1 GPa | 4,27 GPa | 27,76 GPa | 19,43 GPa |
|-----------------|---------|----------|-----------|-----------|

**Tabella 27 - Definizione delle caratteristiche del controanello**

| Caratteristiche        | Arco rovescio | Piedritti e calotta |
|------------------------|---------------|---------------------|
| Classe di calcestruzzo | C30/37        | C25/30              |
| Modulo elastico        | 33,02 MPa     | 31,45 MPa           |

#### 8.5.1.4 Fasi e percentuali di rilascio

Nella back analysis effettuata per la ricostruzione dello stato tensionale iniziale nel rivestimento esistente, la percentuale di rilascio delle forze di scavo a vuoto prima dell'installazione dei rivestimenti è stata definita pari al 10%. Lo scavo della galleria è stato simulato a piena sezione.

La fase di scavo di ribasso per il nuovo arco rovescio del controanello è stata simulata con rilascio nullo per massimizzare le sollecitazioni indotte sul controanello e per tener conto del fatto che tali attività di scavo sono comunemente previste realizzate per campi di lunghezza ridotta.

La seguente tabella schematizza la successione delle fasi di calcolo dell'analisi numerica condotta.

**Tabella 28 – Fasi di analisi**

| Fase                 | Descrizione | Rilascio forze di scavo                                  |      |
|----------------------|-------------|----------------------------------------------------------|------|
| <b>Back Analysis</b> | 0           | Inizializzazione stato tensionale geostatico             | 0,00 |
|                      | 1           | Rilascio a cavo libero                                   | 0,10 |
|                      | 2           | Installazione rivestimenti galleria esistente            | 1,00 |
| <b>Intervento</b>    | 3           | Scavo di ribasso arco rovescio                           | 0,00 |
|                      | 4           | Installazione del controanello                           | 1,00 |
|                      | 5           | Lungo termine con decadimento del rivestimento esistente | 1,00 |

Nelle figure di seguito mostrate è evidenziato lo stato tensionale nel rivestimento esistente ottenuto dalla back-analysis (fase 2), per confronto con quanto evidenziato in situ dalle prove di martinetto piatto: lo stato tensionale misurato in-situ al piedritto è pari a 1,6 MPa ad un'altezza di circa 0,90 m da p.f. Lo stato tensionale derivante dall'analisi è pari a circa 1,2 MPa. In calotta si registrano i valori massimi di compressione intorno ai 5 MPa.

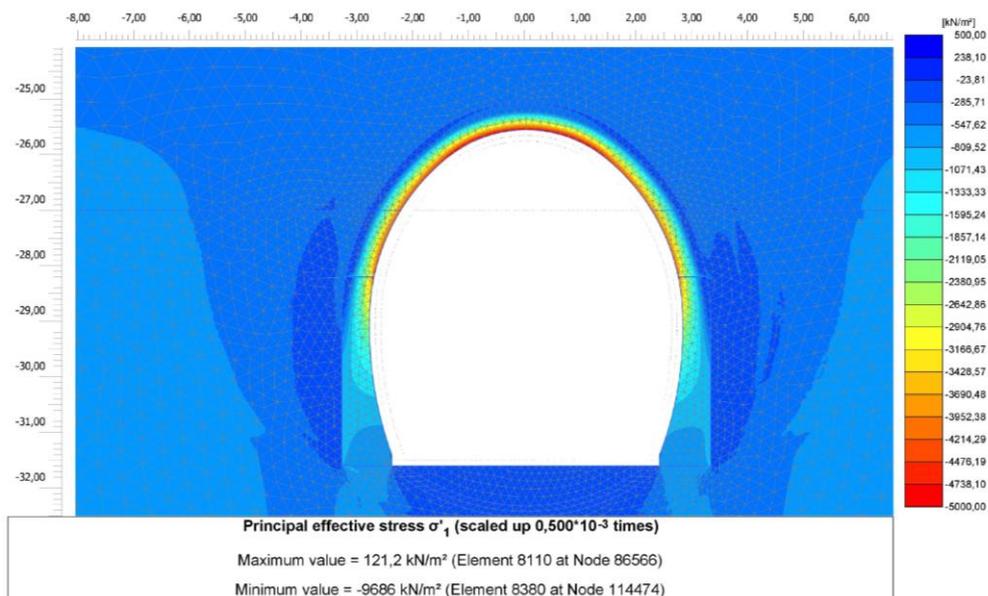
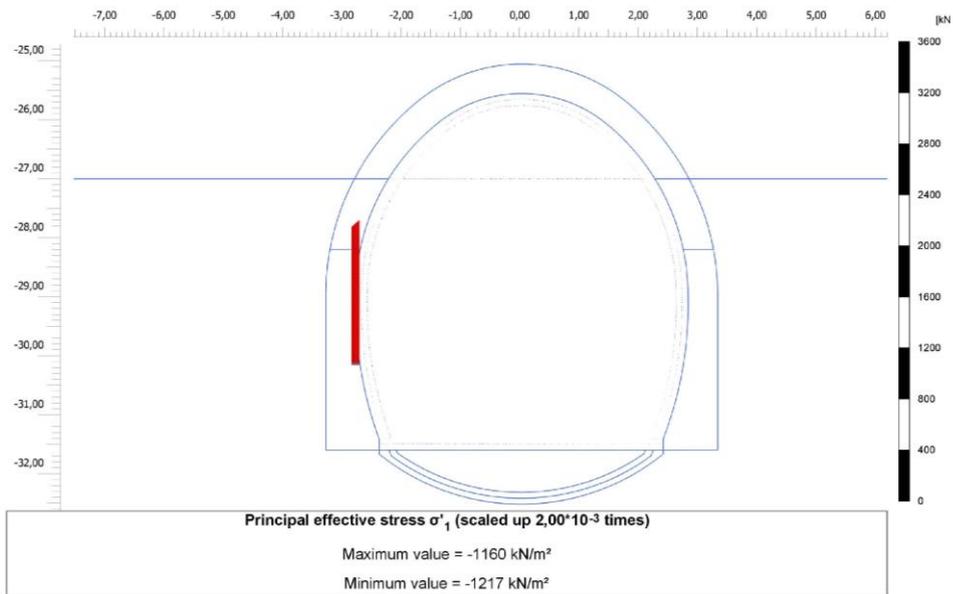


Figura 54 – (a) Stato tensionale al piedritto ottenuto dalla back-analysis – (b) Principal total stress s1 fase di back-analysis

### 8.5.1.5 Analisi e commento dei risultati

I risultati in termini di tensioni principali massime (di compressione) e tensioni principali minime (di trazione) sono riportati di seguito per le singole fasi di intervento. Sono, inoltre, riportati gli spostamenti indotti di fase e le plasticizzazioni nell'intorno del cavo.

FASE 2 – Rivestimenti galleria esistente - Back analysis

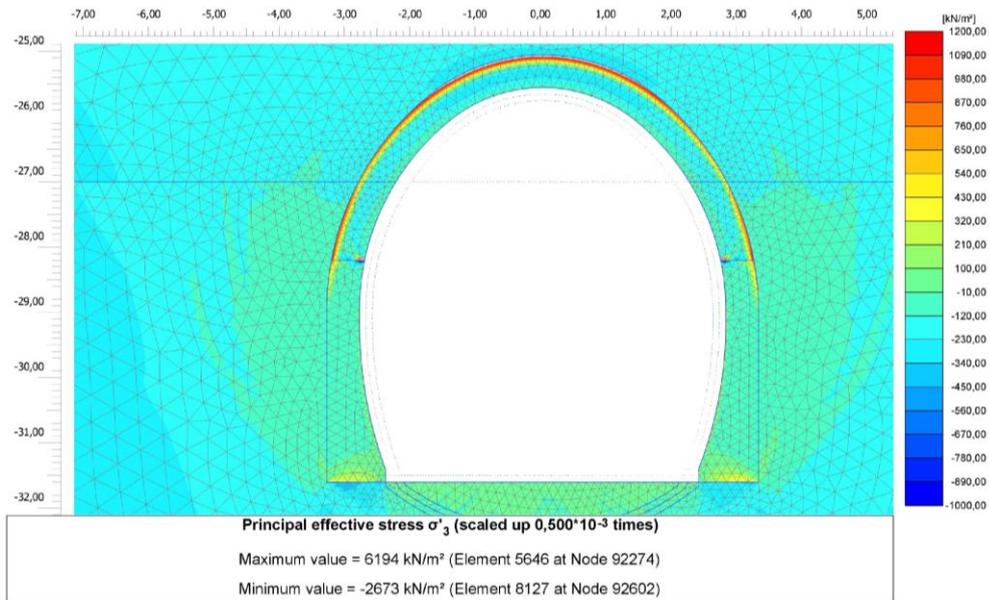


Figura 55 – Fase 2: Stato tensionale iniziale - Tensioni principali minime (di trazione)

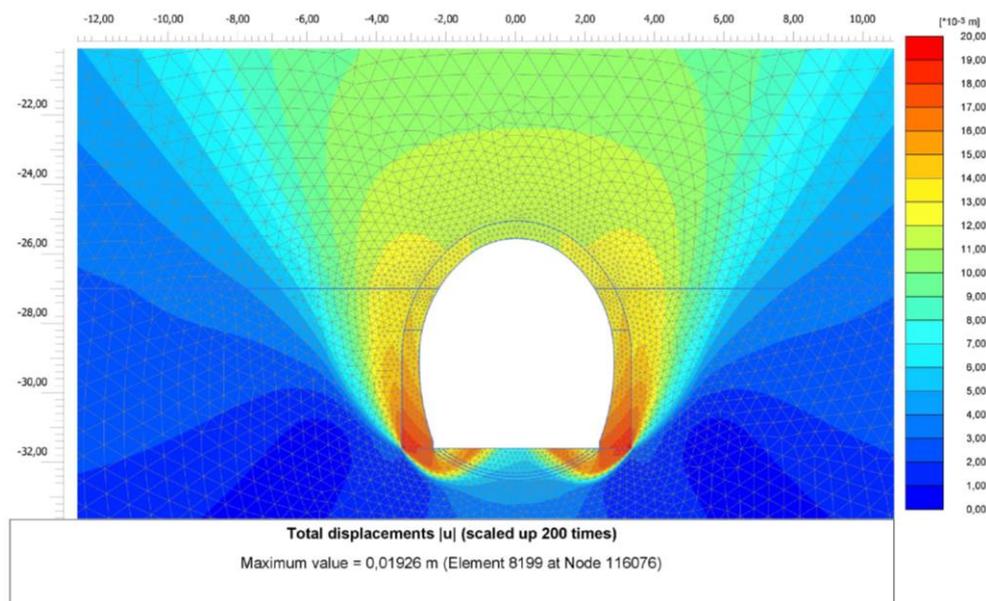
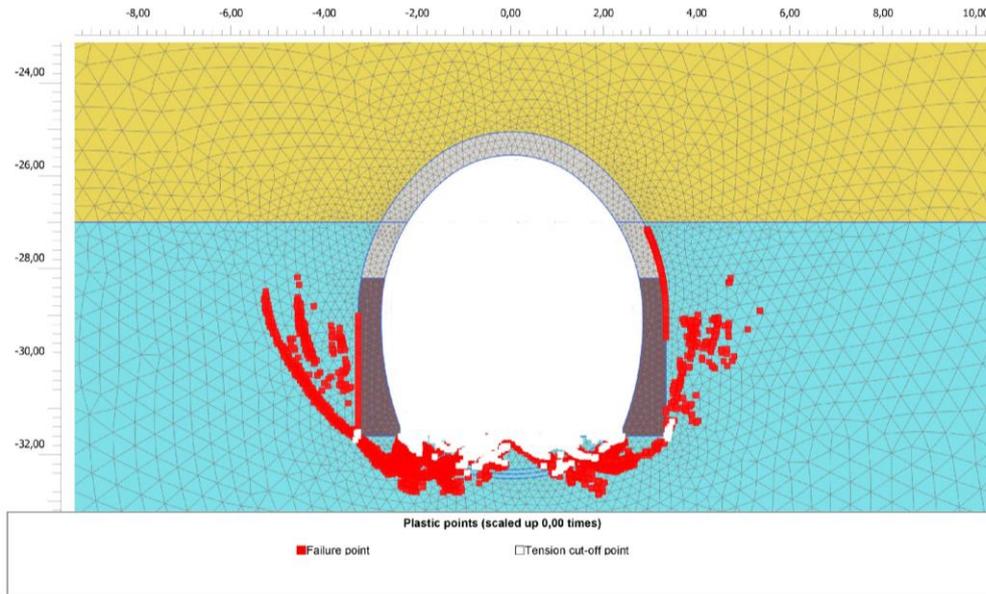
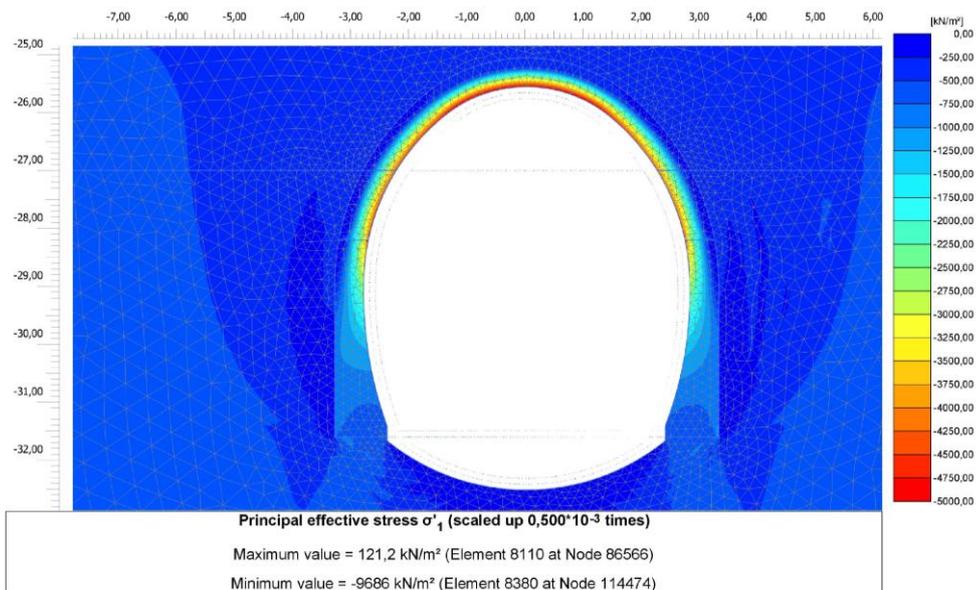


Figura 56 – Fase 2: Spostamenti di back analysis

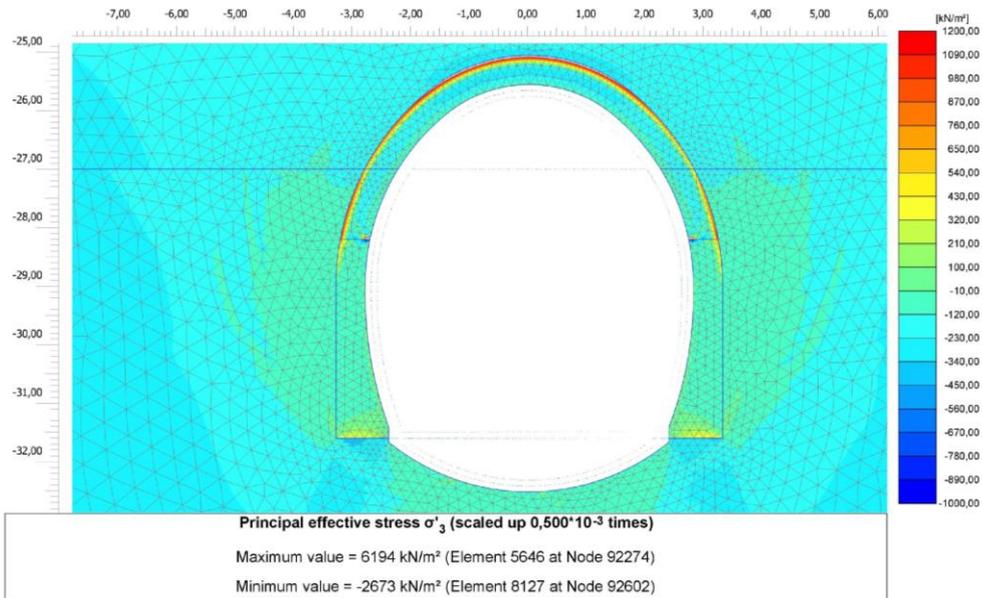


**Figura 57 – Fase 2: Plasticizzazioni**

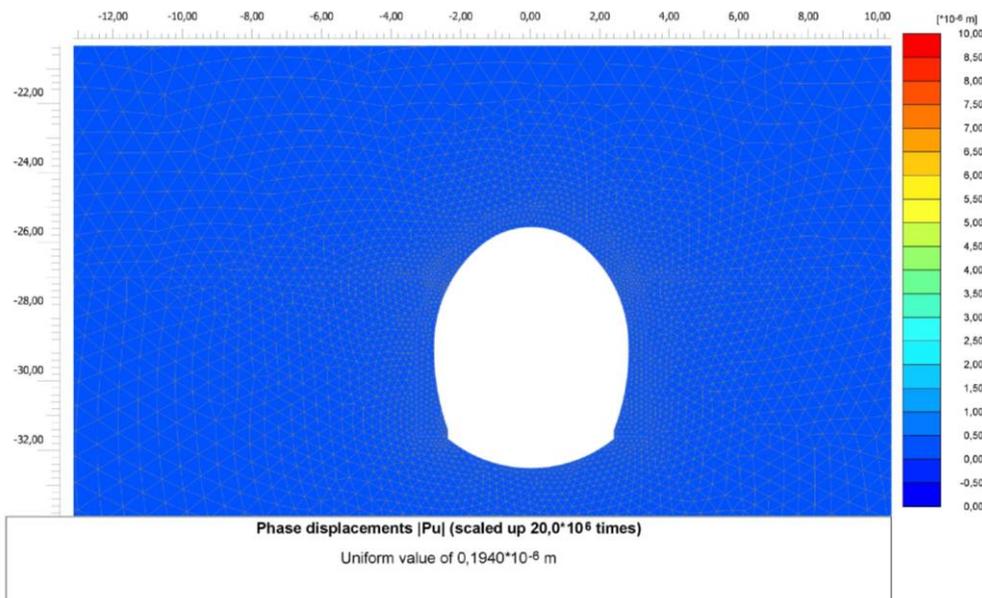
**FASE 3 – Scavo di ribasso**



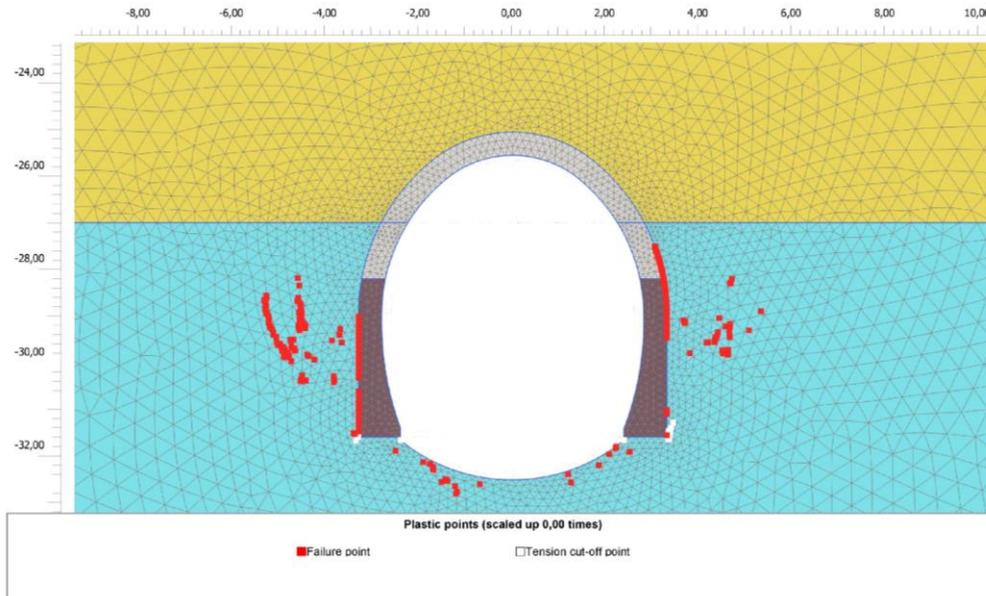
**Figura 58 – Fase 3: Stato tensionale - Tensioni principali massime (di compressione)**



**Figura 59 – Fase 3: Stato tensionale – Tensioni principali minime (di trazione)**

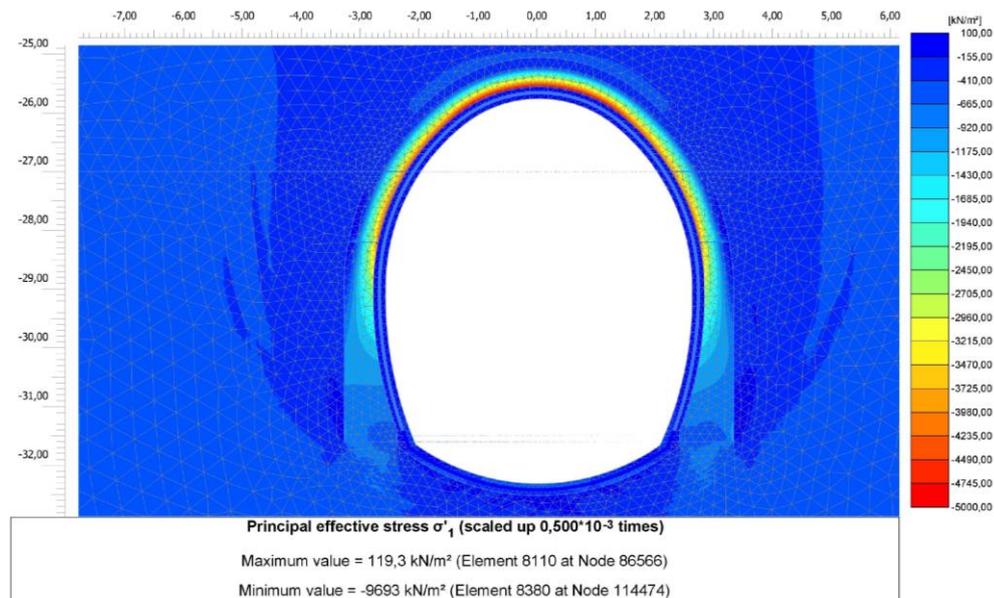


**Figura 60 – Fase 3: Spostamenti indotti di fase**

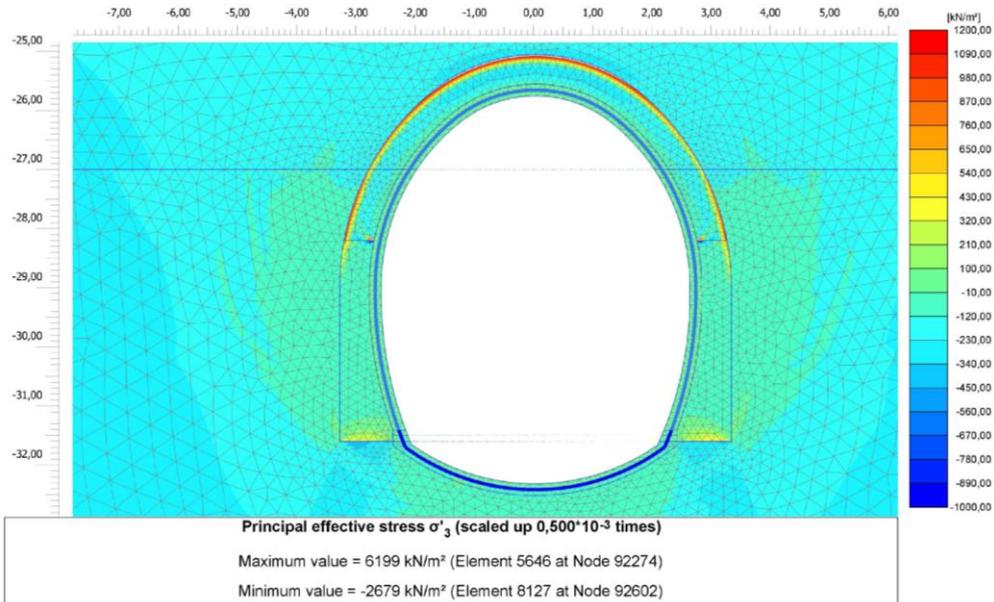


**Figura 61 – Fase 3: Plasticizzazioni**

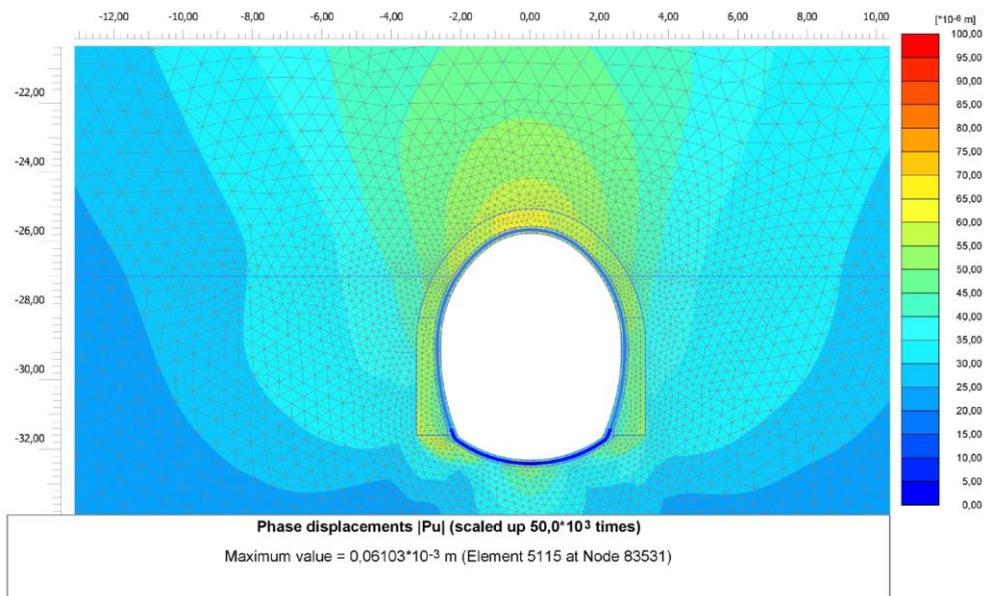
FASE 4 – Getto controanello



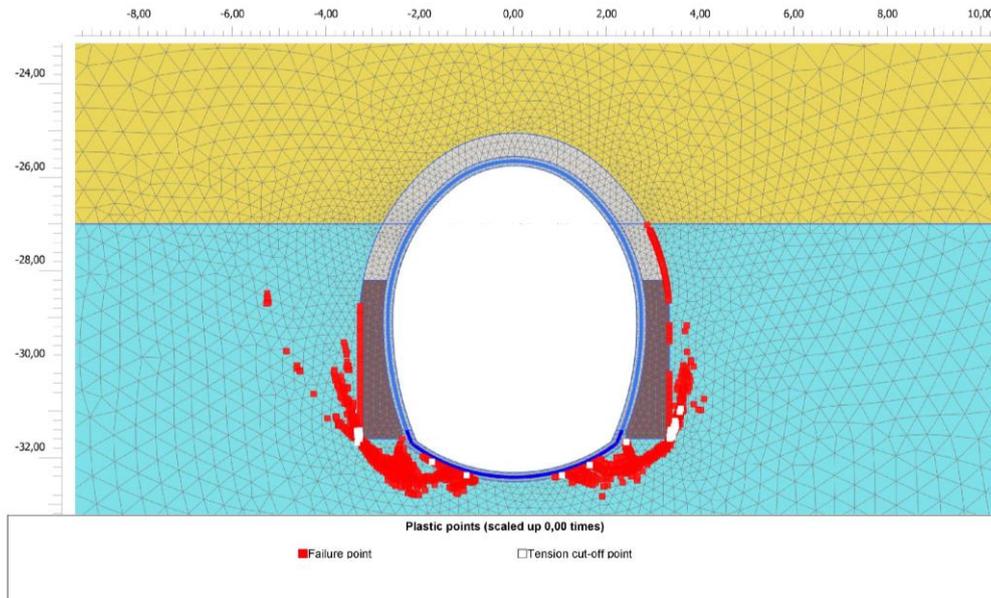
**Figura 62 – Fase 4: Stato tensionale - Tensioni principali massime (di compressione)**



**Figura 63 – Fase 4: Stato tensionale – Tensioni principali minime (di trazione)**

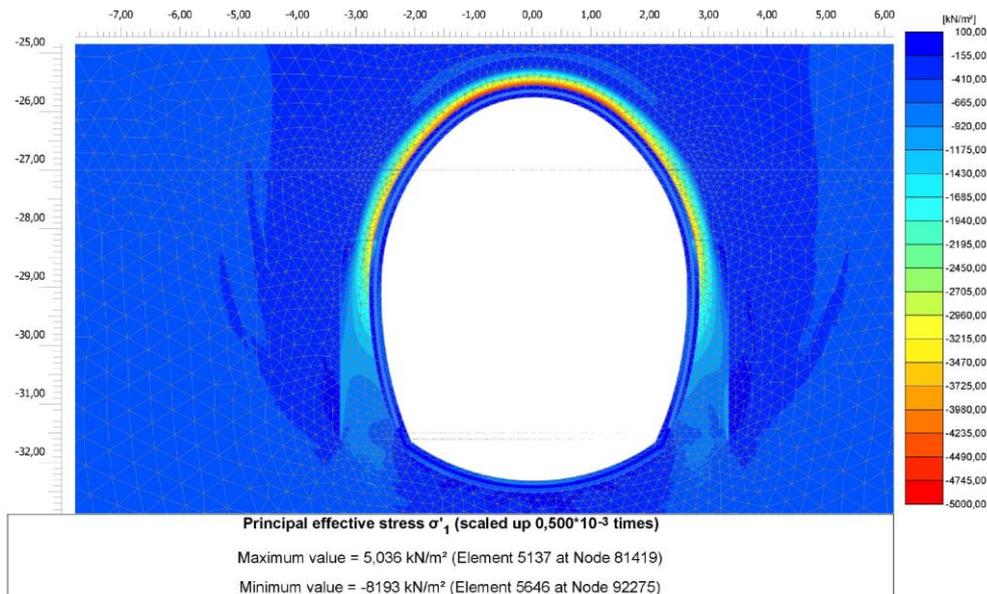


**Figura 64 – Fase 4: Spostamenti indotti di fase**

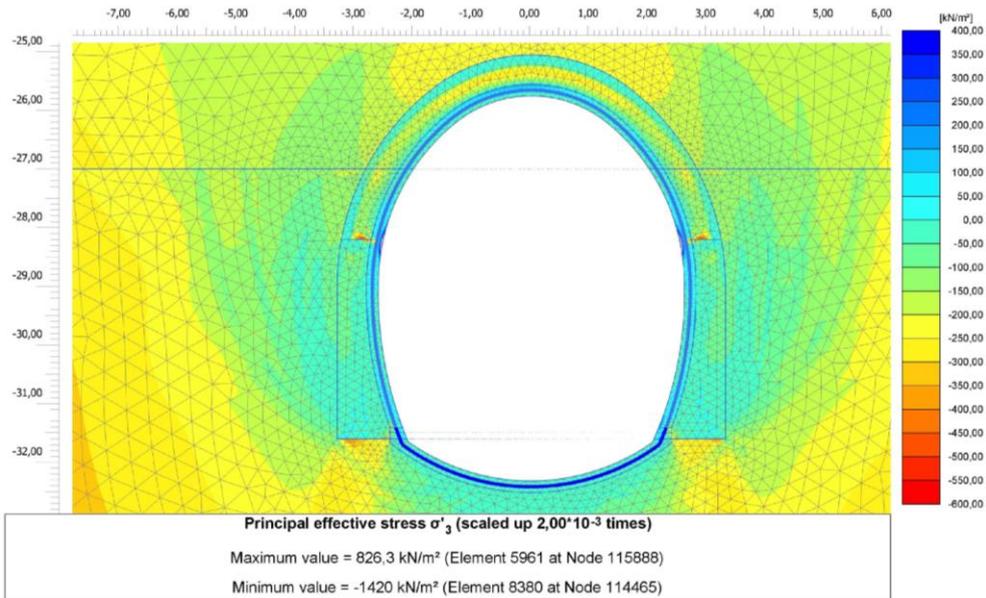


**Figura 65 – Fase 4: Plasticizzazioni**

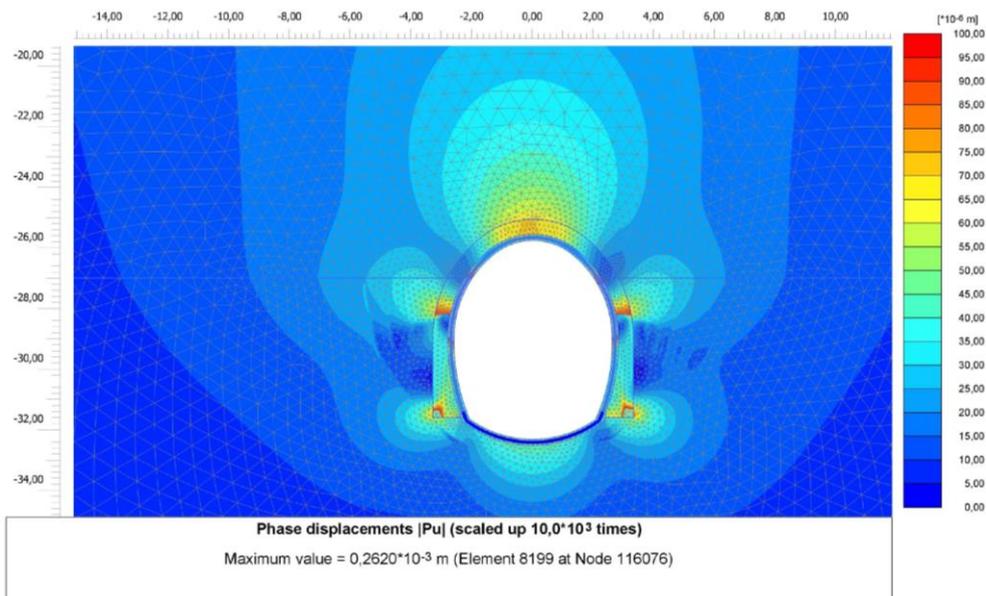
FASE 5 – Lungo termine



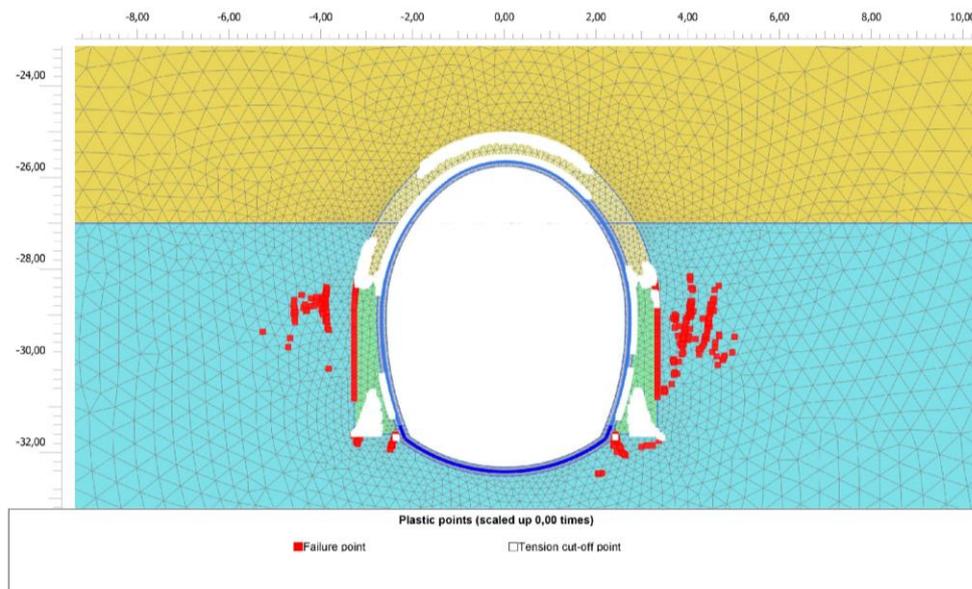
**Figura 66 – Fase 5: Stato tensionale - Tensioni principali massime (di compressione)**



**Figura 67 – Fase 5: Stato tensionale – Tensioni principali minime (di trazione)**



**Figura 68 – Fase 5: Spostamenti indotti di fase**



**Figura 69 – Fase 5: Plasticizzazioni**

I risultati delle analisi mostrano che:

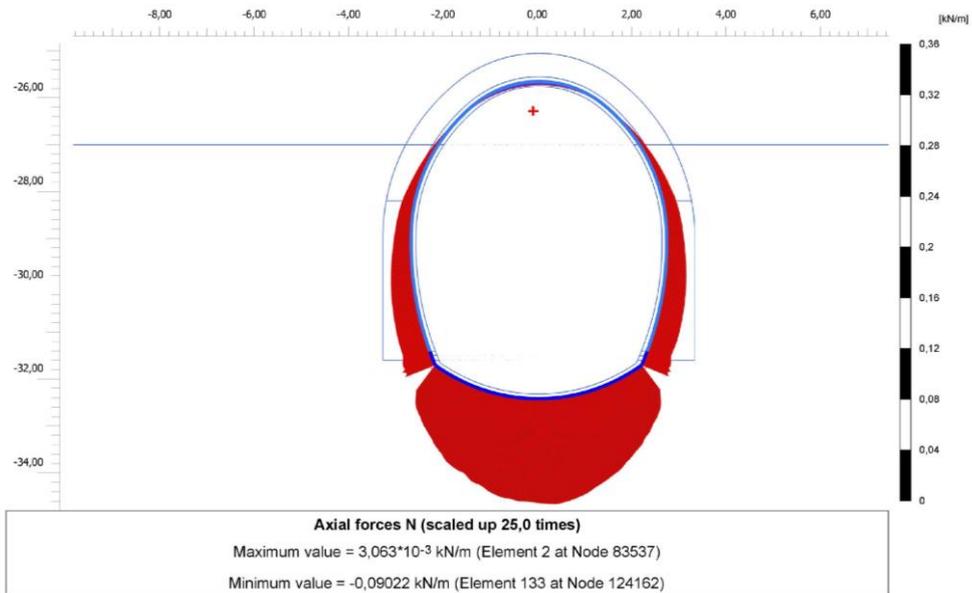
- Lo stato tensionale iniziale definito nella back analysis è compatibile con i risultati delle prove di martinetto piatto;
- A seguito della realizzazione dell'intervento di scavo di ribasso e realizzazione del controanello si osservano variazioni nella distribuzione delle tensioni nel rivestimento. Le tensioni di compressione a seguito delle varie fasi dell'intervento sono ovunque inferiori alle resistenze di progetto assunte pari a  $f_c/FC$  e le tensioni di trazione che si sviluppano sono localizzate ed inferiori alle resistenze di progetto assunte pari ad 1/10 della resistenza a compressione del materiale.

Gli spostamenti indotti nell'ammasso a tergo del rivestimento dovuti alla realizzazione del nuovo controanello sono del tutto trascurabili.

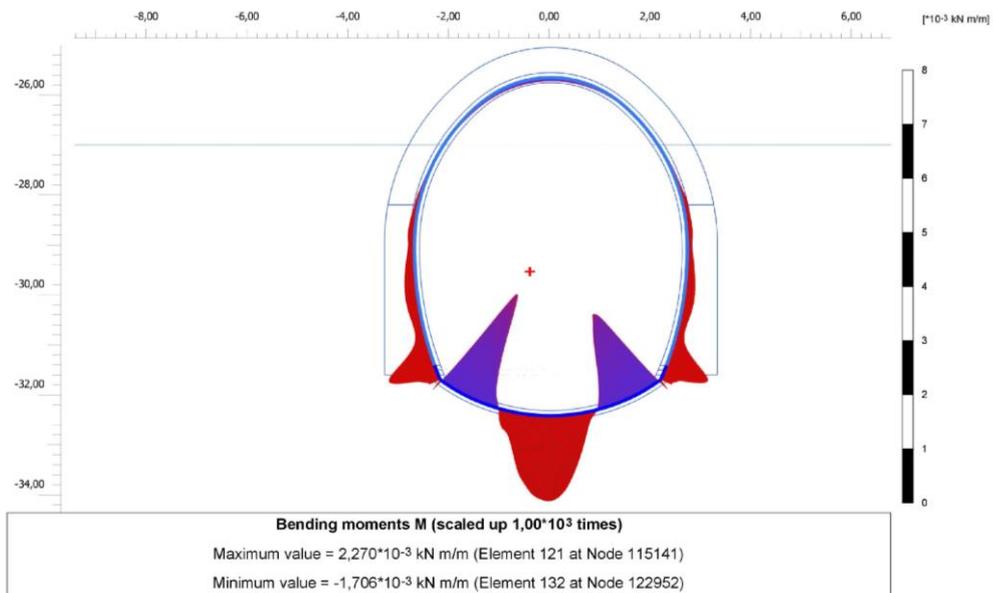
#### 8.5.1.6 Verifica strutturale SLU del controanello

La verifica strutturale del controanello prevede il confronto tra le sollecitazioni di calcolo, ottenute a partire dai risultati del modello numerico applicando i relativi coefficienti parziali, e le resistenze di calcolo che individuano il dominio resistente nel piano M, N.

Le immagini seguenti sintetizzano le sollecitazioni ottenute nel controanello della galleria per le fasi 4 e 5 per le quali sono state condotte le verifiche, insieme ad una tabella riepilogativa riportante le sollecitazioni massime.



**Figura 70 – Andamento sforzo normale (fase 4)**



**Figura 71 – Andamento momento flettente (Fase 4)**

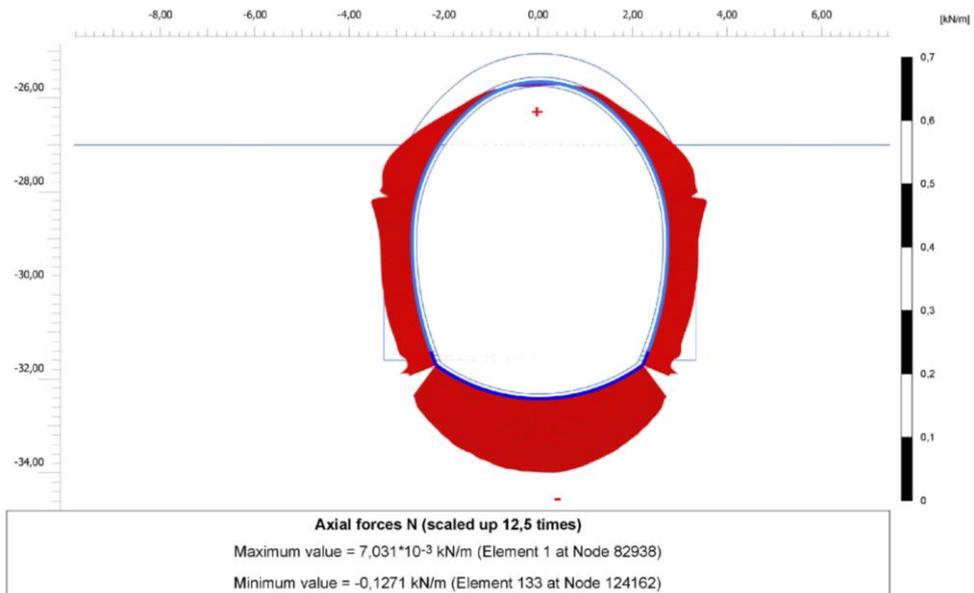


Figura 72 – Andamento sforzo normale (Fase 5)

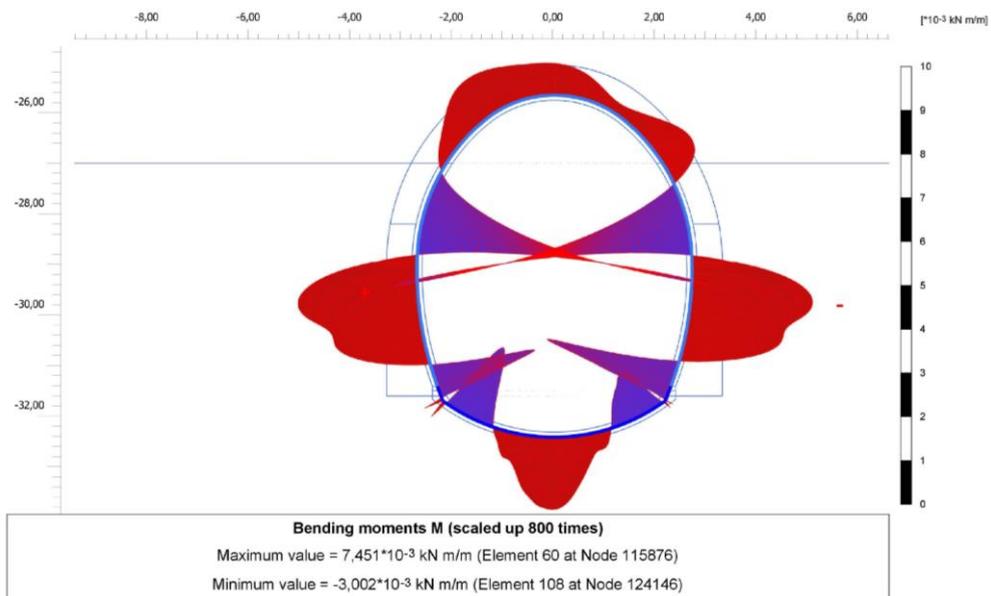


Figura 73 – Andamento momento flettente (Fase 5)

|                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                               |                  |             |                     |                           |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                  |             |                     |                           |           |
|                                                                                                                                              | RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO                                                                                                                                                  | COMMESSA<br>RS6K | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 07 RH | DOCUMENTO<br>GN 00 00 001 | REV.<br>A |

**Tabella 29 – Sollecitazioni massime di progetto nel controanello derivanti dall’analisi numerica**

| Fase | N <sub>sa</sub><br>(kN/m) | M <sub>sa</sub><br>(kNm/m) | V <sub>sa</sub><br>(kN/m) | N <sub>sa</sub> SLU<br>(kN/m) | M <sub>sa</sub> SLU<br>(kNm/m) | V <sub>sa</sub> SLU<br>(kN/m) |
|------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 4    | 90,2                      | 2,3                        | 7,7                       | 117,3                         | 3,0                            | 10,0                          |
| 5    | 127,1                     | 7,5                        | 33,7                      | 165,2                         | 9,7                            | 43,8                          |

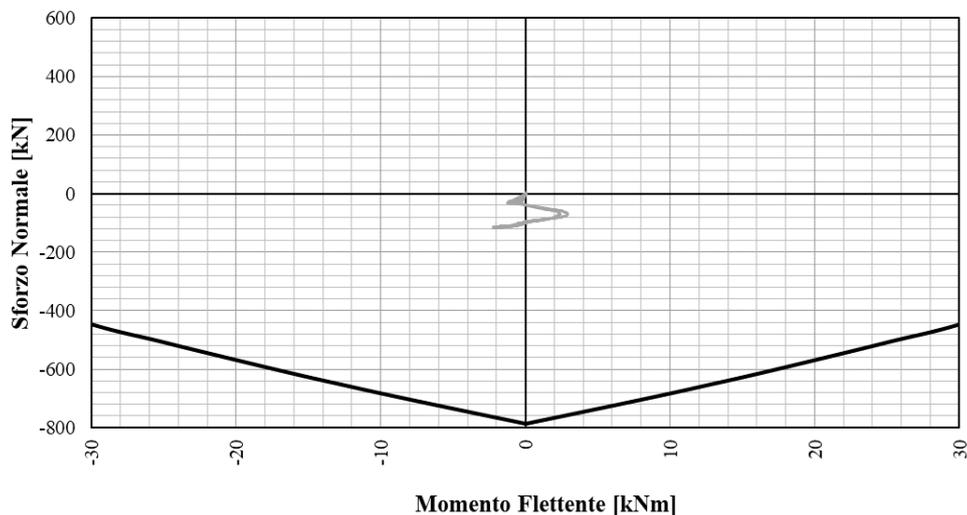
Di seguito sono riportate le verifiche strutturali condotte per i rivestimenti definitivi nelle fasi di analisi di getto del controanello e di lungo termine.

Le combinazioni allo SLU sono ottenute moltiplicando le combinazioni derivanti dall’analisi per il coefficiente parziale  $\gamma_G = 1.3$ .

Il controanello è considerato armato simmetricamente con 5 $\phi$ 16 in zona tesa e 5 $\phi$ 16 in zona compressa. Le verifiche delle sezioni armate sono state condotte considerando un copriferro netto pari a 5 cm. Si prevede l’impiego di spilli  $\phi$ 12/(30x40cm). L’incidenza media complessiva del controanello è pari a 130 kg/m<sup>3</sup>.

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche SLU condotte sui rivestimenti per le fasi di calcolo 4 e 5.

SLU- Dominio di resistenza M-N



**Figura 74 – Dominio resistente SLU - Fase 4 (Controanello)**



LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA  
TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA  
RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA  
LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN  
SOTTERRANEO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO     |
|----------|-------|----------|--------------|------|------------|
| RS6K     | 00    | R 07 RH  | GN 00 00 001 | A    | 117 di 132 |

SLU- Dominio di resistenza M-N

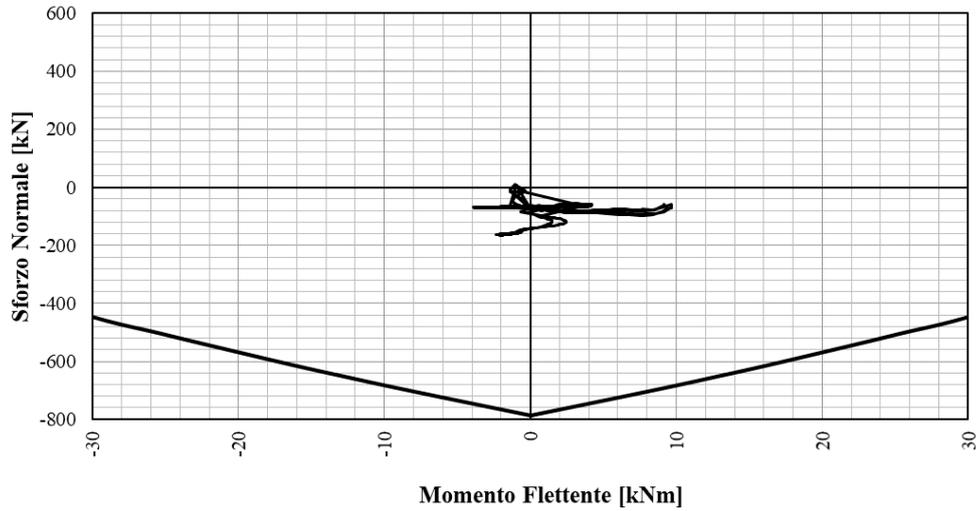


Figura 75 – Dominio resistente SLU - Fase 5 (Controanello)

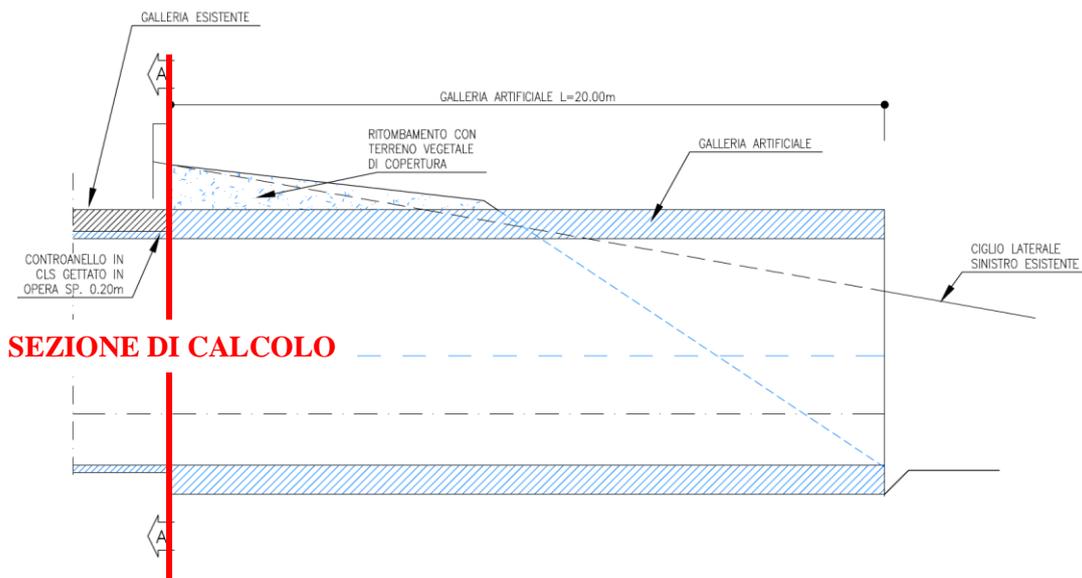
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 |

### 8.5.2 *Intervento tipo agli imbocchi: galleria artificiale*

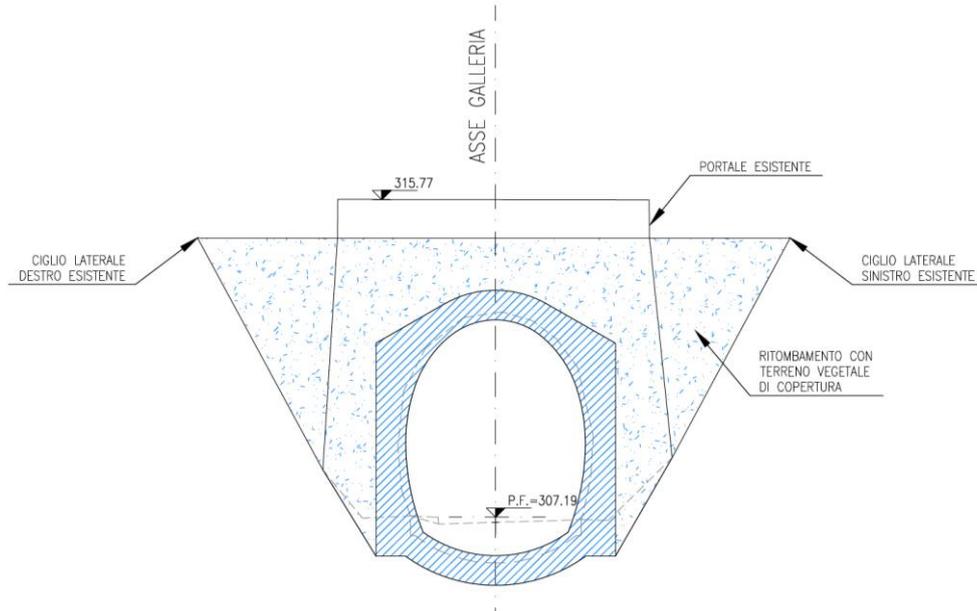
Il progetto prevede interventi agli imbocchi delle gallerie esistenti costituiti dalla realizzazione di nuove gallerie artificiali (o portali) di lunghezza variabile. Le nuove tratte di galleria artificiale sono per lo più ritombate a garanzia della stabilità delle scarpate esistenti nella nuova sistemazione definitiva.

Per la verifica delle gallerie artificiali si è scelta la condizione più rappresentativa della maggior parte delle gallerie artificiali presenti nell'intera linea Caltagirone-Gela, ovvero quelle presente ai portali, prendendo a riferimento una di quelle con il massimo ritombamento prevista in progetto.

Nelle figure seguenti si riporta il profilo longitudinale della galleria artificiale con indicazione della sezione di calcolo e la carpenteria di riferimento.



**Figura 76 - Profilo longitudinale**

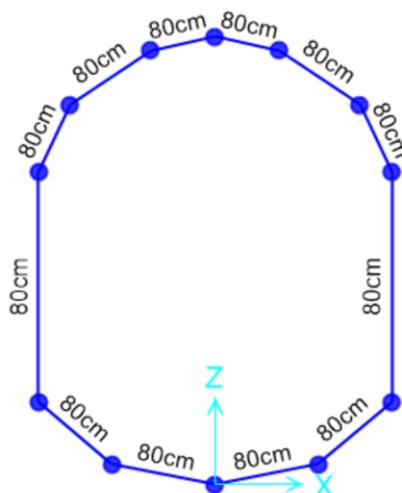


**Figura 77 - Carpenteria**

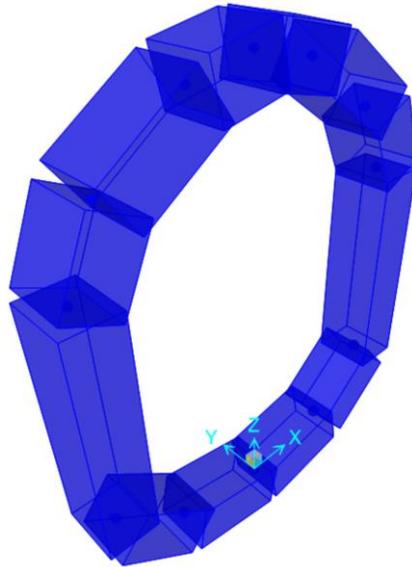
#### 8.5.2.1 Modello di calcolo

Per il calcolo delle sollecitazioni si è adottato il metodo delle reazioni iperstatiche attraverso una modellazione numerica ad elementi finiti monodimensionali eseguita con il programma di calcolo SAP2000.

È stata considerata una lunghezza unitaria in direzione dell'asse della galleria e sono stati modellati gli elementi strutturali come degli elementi trave (*frame*).



**Figura 78 - Spessore degli elementi**



**Figura 79 - Schema tridimensionale del modello**

Gli elementi strutturali sono vincolati, lungo il loro sviluppo, con delle molle elastiche resistenti solo a compressione simulanti la reazione offerta dal terreno circostante (*line springs*). La rigidezza delle molle è stata calcolata con le seguenti formulazioni:

$$k = \frac{E'}{R_{eq}(1 + \nu)} \quad \text{per i tratti curvilinei}$$

$$k = \frac{E'}{B(1 - \nu^2)} \quad \text{per i tratti rettilinei}$$

dove:

- $R_{eq}$  raggio di curvatura
- $B$  lunghezza del tratto rettilineo
- $\nu$  coefficiente di Poisson del terreno
- $E'$  modulo elastico del terreno

**Tabella 30 - Calcolo della rigidezza delle molle per la simulazione dell'interazione terreno-struttura**

| Parametri di calcolo |                      |       |         |       |       |
|----------------------|----------------------|-------|---------|-------|-------|
| Tipo Terreno         | $\gamma$             | $c'$  | $\phi'$ | $E'$  | $\nu$ |
| [-]                  | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kPa] | [°]     | [MPa] | [-]   |
| Ritombamento         | 20                   | 0     | 35      | 30    | 0.3   |
| SLA                  | 18                   | 5     | 30      | 100   | 0.3   |

| Rigidezza molle per elementi curvilinei |                      |          |                      |
|-----------------------------------------|----------------------|----------|----------------------|
| $k = \frac{E'}{R_{eq}(1+\nu)}$          | Elemento             | $R_{eq}$ | k                    |
|                                         | [-]                  | [m]      | [kN/m <sup>3</sup> ] |
|                                         | <b>Arco Rovescio</b> | 3.70     | <b>20790</b>         |
|                                         | <b>Calotta</b>       | 2.30     | <b>10033</b>         |

| Rigidezza molle per elementi curvilinei |                  |      |                      |
|-----------------------------------------|------------------|------|----------------------|
| $k = \frac{E'}{B(1-\nu^2)}$             | Elemento         | B    | k                    |
|                                         | [-]              | [m]  | [kN/m <sup>3</sup> ] |
|                                         | <b>Piedritto</b> | 3.70 | <b>8910</b>          |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

### 8.5.2.2 Verifiche strutturali

Le verifiche sono state svolte considerando le seguenti caratteristiche geometriche ed armature:

**Tabella 31 - Geometria ed armatura delle sezioni di verifica**

| Elemento strutturale | Spessore | Armatura principale (intradosso) | Armatura principale (estradosso) | Ripartitori | Spilli    |
|----------------------|----------|----------------------------------|----------------------------------|-------------|-----------|
| [-]                  | [m]      | [-]                              | [-]                              | [-]         | [-]       |
| <b>Calotta</b>       | 0.80     | 5 Ø18                            | 5 Ø18                            | Ø12/30      | Ø12/30x40 |
| <b>Piedritti</b>     | 0.80     | 5 Ø18                            | 5 Ø18                            | Ø12/30      | Ø12/30x40 |
| <b>Arco rovescio</b> | 0.80     | 5 Ø18                            | 5 Ø18                            | Ø12/30      | Ø12/30x40 |

Nella tabella seguente si riporta una stima delle incidenze di armatura per i diversi elementi strutturali.

**Tabella 32 - Incidenza di armatura**

| Elemento strutturale | Spessore | Incidenza            |
|----------------------|----------|----------------------|
|                      | [m]      | [kg/m <sup>3</sup> ] |
| <b>Calotta</b>       | 0.80     | 60                   |
| <b>Piedritti</b>     | 0.80     | 60                   |
| <b>Arco rovescio</b> | 0.80     | 60                   |

Nelle tabelle seguenti si riportano le verifiche SLE e SLU/SLV degli elementi strutturali.

Calotta

| SLE                                       |               |       | SLU/SLV                                 |               |       |
|-------------------------------------------|---------------|-------|-----------------------------------------|---------------|-------|
| <b>VERIFICA TENSIONALE</b>                |               |       | <b>VERIFICA A PRESSOFLESSIONE</b>       |               |       |
| $\sigma_{c,max} = 0,45 f_{ck}$            | 11.2          | [MPa] | <b>Sollecitazioni agenti</b>            |               |       |
| $\sigma_{s,max} = 0,8 f_{yk}$             | 360.0         | [MPa] | $M_{Ed}$                                | <b>186.11</b> | [kNm] |
| <b>Sollecitazioni agenti</b>              |               |       | $N_{Ed}$                                | <b>124.74</b> | [kN]  |
| $M_{Ek}$                                  | <b>55.69</b>  | [kNm] | <b>Verifica</b>                         |               |       |
| $N_{Ek}$                                  | <b>120.52</b> | [kN]  | $M_{Rd}$                                | 398.6         | [kNm] |
| <b>Asse neutro</b>                        |               |       | $M_{Ed}/M_{Rd}$                         | 0.47          | -     |
| x                                         | 27.87         | [cm]  | <b>Verifica Soddisfatta</b>             |               |       |
| <b>Tensioni</b>                           |               |       | <b>VERIFICA A TAGLIO</b>                |               |       |
| $\sigma_{c,max}$                          | 0.982         | [MPa] | <b>Sollecitazioni agenti</b>            |               |       |
| <b>Verifica Soddisfatta</b>               |               |       | $V_{Ed}$                                | <b>163.4</b>  | [kN]  |
| $\sigma_{s,traz}$                         | 23.26         | [MPa] | $N_{Ed}$                                | <b>124.74</b> | [kN]  |
| $\sigma_{s,comp}$                         | 10.45         | [MPa] | <b>Verifica</b>                         |               |       |
| <b>Verifica Soddisfatta</b>               |               |       | <i>Verifica senza armatura a taglio</i> |               |       |
| <b>VERIFICA A FESSURAZIONE</b>            |               |       | $V_{Rd}$                                | 253.9         | [kN]  |
| $\sigma_{t,max}$                          | 2.13          | [MPa] | $V_{Ed}/V_{Rd}$                         | 0.64          | -     |
| $w_{k,lim}$                               | 0.2           | [mm]  | <b>Verifica Soddisfatta</b>             |               |       |
| <b>Stato limite di formazione fessure</b> |               |       | <i>Verifica con armatura a taglio</i>   |               |       |
| $\sigma_{c,max}$                          | 0.34          | [MPa] | $\theta$                                | 21.8          | °     |
| <b>Verifica Soddisfatta</b>               |               |       | $V_{Rsd}$                               | 596.4         | [kN]  |
| <b>Stato limite di apertura fessure</b>   |               |       | $V_{Rcd}$                               | 1592.1        | [kN]  |
| $\epsilon_{sm}$                           | -             | [‰]   | $V_{Rd}$                                | 596.4         | [kN]  |
| $\Delta_{sm}$                             | -             | [cm]  | $V_{Ed}/V_{Rd}$                         | 0.27          | -     |
| $w_k$                                     | -             | [mm]  | <b>Verifica Soddisfatta</b>             |               |       |
| -                                         |               |       | -                                       |               |       |

Le verifiche risultano soddisfatte.

Piedritti

| SLE                                       |               |       | SLU/SLV                                 |               |       |
|-------------------------------------------|---------------|-------|-----------------------------------------|---------------|-------|
| <b>VERIFICA TENSIONALE</b>                |               |       | <b>VERIFICA A PRESSOFLESSIONE</b>       |               |       |
| $\sigma_{c,max} = 0,45 f_{ck}$            | 11.2          | [MPa] | <b>Sollecitazioni agenti</b>            |               |       |
| $\sigma_{s,max} = 0,8 f_{yk}$             | 360.0         | [MPa] | $M_{Ed}$                                | <b>223.04</b> | [kNm] |
| <b>Sollecitazioni agenti</b>              |               |       | $N_{Ed}$                                | <b>118.06</b> | [kN]  |
| $M_{Ek}$                                  | <b>116.79</b> | [kNm] | <b>Verifica</b>                         |               |       |
| $N_{Ek}$                                  | <b>209.18</b> | [kN]  | $M_{Rd}$                                | 396.4         | [kNm] |
| <b>Asse neutro</b>                        |               |       | $M_{Ed}/M_{Rd}$                         | 0.56          | -     |
| x                                         | 24.48         | [cm]  | <b>Verifica Soddisfatta</b>             |               |       |
| <b>Tensioni</b>                           |               |       | <b>VERIFICA A TAGLIO</b>                |               |       |
| $\sigma_{c,max}$                          | 2.13          | [MPa] | <b>Sollecitazioni agenti</b>            |               |       |
| <b>Verifica Soddisfatta</b>               |               |       | $V_{Ed}$                                | <b>317.17</b> | [kN]  |
| $\sigma_{s,traz}$                         | 61.88         | [MPa] | $N_{Ed}$                                | <b>118.06</b> | [kN]  |
| $\sigma_{s,comp}$                         | 21.38         | [MPa] | <b>Verifica</b>                         |               |       |
| <b>Verifica Soddisfatta</b>               |               |       | <i>Verifica senza armatura a taglio</i> |               |       |
| <b>VERIFICA A FESSURAZIONE</b>            |               |       | $V_{Rd}$                                | 253.0         | [kN]  |
| $\sigma_{t,max}$                          | 2.13          | [MPa] | $V_{Ed}/V_{Rd}$                         | 1.25          | -     |
| $w_{k,lim}$                               | 0.2           | [mm]  | <b>Verifica non Soddisfatta</b>         |               |       |
| <b>Stato limite di formazione fessure</b> |               |       | <i>Verifica con armatura a taglio</i>   |               |       |
| $\sigma_{c,max}$                          | 0.75          | [MPa] | $\theta$                                | 21.8          | °     |
| <b>Verifica Soddisfatta</b>               |               |       | $V_{Rsd}$                               | 596.4         | [kN]  |
| <b>Stato limite di apertura fessure</b>   |               |       | $V_{Rcd}$                               | 1591.2        | [kN]  |
| $\epsilon_{sm}$                           | -             | [‰]   | $V_{Rd}$                                | 596.4         | [kN]  |
| $\Delta_{sm}$                             | -             | [cm]  | $V_{Ed}/V_{Rd}$                         | 0.53          | -     |
| $w_k$                                     | -             | [mm]  | <b>Verifica Soddisfatta</b>             |               |       |
| -                                         |               |       |                                         |               |       |

Le verifiche risultano soddisfatte.

Arco Rovescio

| SLE                                       |               |       | SLU/SLV                                 |               |       |
|-------------------------------------------|---------------|-------|-----------------------------------------|---------------|-------|
| <b>VERIFICA TENSIONALE</b>                |               |       | <b>VERIFICA A PRESSOFLESSIONE</b>       |               |       |
| $\sigma_{c,max} = 0,45 f_{ck}$            | 11.2          | [MPa] | <b>Sollecitazioni agenti</b>            |               |       |
| $\sigma_{s,max} = 0,8 f_{yk}$             | 360.0         | [MPa] | $M_{Ed}$                                | <b>229.90</b> | [kNm] |
| <b>Sollecitazioni agenti</b>              |               |       | $N_{Ed}$                                | <b>216.54</b> | [kN]  |
| $M_{Ek}$                                  | <b>136.20</b> | [kNm] | <b>Verifica</b>                         |               |       |
| $N_{Ek}$                                  | <b>248.11</b> | [kN]  | $M_{Rd}$                                | 428.7         | [kNm] |
| <b>Asse neutro</b>                        |               |       | $M_{Ed}/M_{Rd}$                         | 0.53          | -     |
| x                                         | 24.74         | [cm]  | <b>Verifica Soddisfatta</b>             |               |       |
| <b>Tensioni</b>                           |               |       | <b>VERIFICA A TAGLIO</b>                |               |       |
| $\sigma_{c,max}$                          | 2.48          | [MPa] | <b>Sollecitazioni agenti</b>            |               |       |
| <b>Verifica Soddisfatta</b>               |               |       | $V_{Ed}$                                | <b>177.68</b> | [kN]  |
| $\sigma_{s,traz}$                         | 70.85         | [MPa] | $N_{Ed}$                                | <b>216.54</b> | [kN]  |
| $\sigma_{s,comp}$                         | 24.89         | [MPa] | <b>Verifica</b>                         |               |       |
| <b>Verifica Soddisfatta</b>               |               |       | <i>Verifica senza armatura a taglio</i> |               |       |
| <b>VERIFICA A FESSURAZIONE</b>            |               |       | $V_{Rd}$                                | 266.2         | [kN]  |
| $\sigma_{t,max}$                          | 2.13          | [MPa] | $V_{Ed}/V_{Rd}$                         | 0.44          | -     |
| $w_{k,lim}$                               | 0.2           | [mm]  | <b>Verifica Soddisfatta</b>             |               |       |
| <b>Stato limite di formazione fessure</b> |               |       | <i>Verifica con armatura a taglio</i>   |               |       |
| $\sigma_{c,max}$                          | 0.87          | [MPa] | $\theta$                                | 21.8          | °     |
| <b>Verifica Soddisfatta</b>               |               |       | $V_{Rsd}$                               | 596.4         | [kN]  |
| <b>Stato limite di apertura fessure</b>   |               |       | $V_{Rcd}$                               | 1604.9        | [kN]  |
| $\epsilon_{sm}$                           | -             | [‰]   | $V_{Rd}$                                | 596.4         | [kN]  |
| $\Delta_{sm}$                             | -             | [cm]  | $V_{Ed}/V_{Rd}$                         | 0.20          | -     |
| $w_k$                                     | -             | [mm]  | <b>Verifica Soddisfatta</b>             |               |       |
| -                                         |               |       |                                         |               |       |

Le verifiche risultano soddisfatte.

|  | <p><b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br/> <b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br/> <b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br/> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b></p>                                                                              |          |              |          |            |      |        |      |    |         |              |   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|----------|------------|------|--------|------|----|---------|--------------|---|------------|
| <p>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN<br/>SOTTERRANEO</p>                           | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS6K</td> <td>00</td> <td>R 07 RH</td> <td>GN 00 00 001</td> <td>A</td> <td>126 di 132</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO        | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV. | FOGLIO | RS6K | 00 | R 07 RH | GN 00 00 001 | A | 126 di 132 |
| COMMESSA                                                                          | LOTTO                                                                                                                                                                                                                                                                                   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV.     | FOGLIO     |      |        |      |    |         |              |   |            |
| RS6K                                                                              | 00                                                                                                                                                                                                                                                                                      | R 07 RH  | GN 00 00 001 | A        | 126 di 132 |      |        |      |    |         |              |   |            |

### 8.5.3 *Intervento particolare – Galleria 2a di Farello*

Per quanto concerne la galleria 2a di Farello, l'intervento previsto rientra nelle ricorrenti soluzioni progettuali in contesti analoghi per operazioni di costruzione di gallerie artificiali dall'alto, all'interno di uno scavo a cielo aperto, sostenuto da paratie di pali.

Per la verifica e dimensionamento, pertanto, si fa riferimento ad analoghe esperienze pregresse e si rimanda ad un approfondimento nella fase progettuale successiva per specifiche analisi strutturali di dettaglio.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                         |                    |                            |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                         |                    |                            |                                  |                  |
|                                                                                   | <b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>                                                                                                                                           | <b>COMMESSA</b><br>RS6K | <b>LOTTO</b><br>00 | <b>CODIFICA</b><br>R 07 RH | <b>DOCUMENTO</b><br>GN 00 00 001 | <b>REV.</b><br>A |

## 9 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

### 9.1 Monitoraggio in corso d'opera e in fase di esercizio

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio, volto a verificare la validità delle previsioni progettuali attraverso un confronto in corso d'opera tra le stesse previsioni e le prestazioni delle opere in progetto.

Con riferimento all'intervento del controanello, previsto in tutte le gallerie, si dovrà prevedere il monitoraggio dello stato tensionale del controanello mediante strain gauges da installare secondo la seguente disposizione:

- 5 coppie di estensimetri nella parte di calotta del controanello
- 3 coppie di estensimetri in corrispondenza dell'arco rovescio.

Sono previste sezioni di monitoraggio ogni 500 m di galleria. Per gallerie di lunghezza inferiore è prevista almeno una sezione.

Con riferimento alla galleria 2a di Farello, oggetto degli interventi specifici definiti al precedente §8.1.2, il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- misure topografiche per il controllo degli spostamenti del piano campagna a tergo della paratia di pali con la strumentazione di almeno due sezioni.
- Misure dello stato tensionale dei puntoni con l'introduzione di estensimetri per almeno tre coppie di puntoni per i tre ordini previsti nel punto di massima copertura.

Il sistema di monitoraggio dovrà essere predisposto in modo tale da garantire l'esame tempestivo e continuativo dei dati rilevati e la trasmissione sistematica dei dati e delle elaborazioni, avendo precedentemente definito ed assegnato le responsabilità per la lettura, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati di monitoraggio, nonché per la loro distribuzione.

Le grandezze individuate come rappresentative dovranno essere rilevate e controllate con un sistema di misura che abbia un grado di precisione compatibile con i valori attesi.

### 9.2 Indagini integrative

Nell'ambito della successiva fase progettuale potranno essere condotti gli opportuni approfondimenti di indagine che consentiranno di confermare o eventualmente ritardare la distribuzione degli interventi tipo definita in questa sede.

In relazione allo stato di fatto delle gallerie, potranno essere eseguiti degli approfondimenti di indagine per avere ulteriori informazioni relative ai rivestimenti esistenti in termini di spessori, caratteristiche meccaniche e stati tensionali agenti. Un aspetto di sicuro interesse in tal senso rispetto agli interventi previsti in progetto è rappresentato dagli spessori di ballast presenti sotto traversa e dalla profondità del piano di posa della fondazione dei piedritti esistenti.



**LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA**  
**TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA**  
**RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA**  
**LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA**

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN  
SOTTERRANEO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO     |
|----------|-------|----------|--------------|------|------------|
| RS6K     | 00    | R 07 RH  | GN 00 00 001 | A    | 128 di 132 |

Le considerazioni progettuali svolte in questa fase sulla base delle informazioni disponibili raccolte nella fase conoscitiva e che dipendono, ovviamente, dal livello della progettazione, rispondono a criteri di conservatività; in tal senso, sono stati previsti interventi sistematici, sull'intera estesa delle opere in sotterraneo e su ciascun imbocco, interessando in alcuni casi, anche situazioni che apparentemente ad oggi potrebbero non richiedere alcun intervento.

Nella successiva fase progettuale, condotti tutti i necessari approfondimenti di indagine, potrà essere eventualmente definita un'ottimizzazione degli interventi da realizzare.

|  | <p><b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br/> <b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br/> <b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br/> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b></p>                                                                              |          |              |          |            |      |        |      |    |         |              |   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|----------|------------|------|--------|------|----|---------|--------------|---|------------|
| <p>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN<br/>SOTTERRANEO</p>                           | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS6K</td> <td>00</td> <td>R 07 RH</td> <td>GN 00 00 001</td> <td>A</td> <td>129 di 132</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO        | CODIFICA | DOCUMENTO  | REV. | FOGLIO | RS6K | 00 | R 07 RH | GN 00 00 001 | A | 129 di 132 |
| COMMESSA                                                                          | LOTTO                                                                                                                                                                                                                                                                                   | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV.     | FOGLIO     |      |        |      |    |         |              |   |            |
| RS6K                                                                              | 00                                                                                                                                                                                                                                                                                      | R 07 RH  | GN 00 00 001 | A        | 129 di 132 |      |        |      |    |         |              |   |            |

## 10 CONCLUSIONI

Nel presente documento sono state definite le soluzioni tecnico-progettuali propedeutiche al ripristino con adeguamento agli standard di sicurezza (da Rif. [3] a Rif. [7]) delle gallerie esistenti presenti sulla tratta Caltagirone-Gela.

La progettazione degli interventi sulle gallerie in oggetto si è articolata nelle seguenti fasi:

1. fase conoscitiva: è stato condotto lo studio e all'analisi dello stato di fatto delle gallerie con riferimento alle caratteristiche geometriche delle sezioni di intradosso, alle condizioni delle murature, al contesto geologico e geotecnico di inserimento (cap. 6);
2. fase di diagnosi: in funzione del quadro emerso dalla fase conoscitiva, sono state individuate le principali problematiche da risolvere per garantire il ripristino della linea ai fini dell'esercizio (cap. 7). Considerando l'intervento previsto costituito da un controanello di calcestruzzo armato all'intradosso del preesistente rivestimento in tutte le gallerie, si è proceduto anche alla valutazione delle interferenze lungo linea.
3. fase di terapia: in funzione delle problematiche da risolvere evidenziate nella fase di diagnosi e dei requisiti minimi necessari per adeguare le gallerie alle Normative sulla sicurezza (da Rif. [3] a Rif. [7]), sono state definite le modalità di intervento necessarie in termini di interventi tipo (cap. 8).
4. fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio sia in corso d'opera, sia in fase di esercizio. Si ipotizza, inoltre, un eventuale piano di indagini integrative, da predisporre ed attuare nell'ambito della successiva fase progettuale, per confermare o ritrarre la distribuzione degli interventi tipo definita in questa fase (cap. 9).

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                  |             |                     |                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                  |             |                     |                           |           |
|                                                                                   | RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN<br>SOTTERRANEO                                                                                                                                               | COMMESSA<br>RS6K | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 07 RH | DOCUMENTO<br>GN 00 00 001 | REV.<br>A |

## 11 APPENDICE 1

### 11.1 Metodi per la caratterizzazione geotecnica attraverso prove penetrometriche

#### Prove penetrometriche dinamiche

Le prove penetrometriche dinamiche sono state elaborate in riferimento alle relazioni empiriche dei terreni granulari presenti nella letteratura tecnico-scientifica. Nello specifico il valore dell'angolo di attrito efficace è correlato alla densità relativa (Schmertmann (1977) e Bolton (1989)), anch'essa deducibile da relazioni empiriche (Skempton (1986) e Kulawy-Mayne (1990)), o esclusivamente al numero di colpi  $N_{SPT}$  (De Mello (1971)). I valori del modulo di Young  $E$  e del modulo di taglio iniziale  $G_0$  sono stati ricavati dalle correlazioni con il numero di colpi  $N_{SPT}$  e la densità relativa (Stroud (1988), Jamiolkowski (1988), Otha e Goto (1978) e Imai (1977)).

Densità relativa da correlazione di Skempton (1986):

$$D_r = \left[ \frac{(N_1)_{60}}{60} \right]^{0.5}$$

essendo:

$$(N_1)_{60} = \frac{ER}{60} C_N N_{SPT}$$

$$C_N = \frac{2}{1 + \frac{s'_v}{100}} \quad \text{sabbie fini}$$

$$C_N = \frac{3}{2 + \frac{s'_v}{100}} \quad \text{sabbie grosse}$$

Densità relativa da correlazione di Kulawy & Maine (1990):

$$D_r = \left[ \frac{N_1}{40} \right]^{0.5}$$

essendo:

$$N_1 = \left[ \frac{p_a}{s'_v} \right]^{0.5} N_{SPT}$$

Angolo di attrito da correlazione di Schmertmann (1977):

$$\varphi' (^\circ) = 28 + 0.14 \cdot D_r \quad \text{per Sabbia fine uniforme}$$

$$\varphi' (^\circ) = 31.5 + 0.115 \cdot D_r \quad \text{per Sabbia media uniforme e sabbia fine ben gradata}$$

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                  |             |                     |                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                  |             |                     |                           |           |
|                                                                                   | RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN<br>SOTTERRANEO                                                                                                                                               | COMMESSA<br>RS6K | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 07 RH | DOCUMENTO<br>GN 00 00 001 | REV.<br>A |

$\varphi' (^{\circ}) = 34.5 + 0.10 \cdot D_r$  per Sabbia grossa uniforme e sabbia ben gradata

$\varphi' (^{\circ}) = 38 + 0.08 \cdot D_r$  per Ghiaia media e fine e sabbia e ghiaia poco limosa

Angolo di attrito da correlazione di Bolton (1989):

$$\varphi' - \varphi'_{cv} = 3 \cdot [D_r (10 - \ln p') - 1]$$

con:

$\varphi'_{cv} = 30^{\circ} - 33^{\circ}$  sabbia quarzosa

$\varphi'_{cv} = 33^{\circ} - 36^{\circ}$  sabbia silicea

$\varphi'_{cv} = 35^{\circ} - 38^{\circ}$  sabbia ghiaia

Angolo di attrito da correlazione di De Mello (1971):

$$\varphi' (^{\circ}) = 19 - 0.38 \sigma'_{v} / 100 + 8.73 \log(N_{SPT})$$

Modulo di Young da correlazione di Stroud (1988):

$$\frac{E'}{N_{60}} = 1$$

essendo:

$$N_{60} = \frac{ER}{60} N_{SPT}$$

Modulo di Young da correlazione di Jamiolkowski (1988):

$$E' = (10.5 - 3.5 D_r) \frac{N_{SPT}}{10} \quad \text{nel caso dei terreni normalmente consolidati}$$

$$E' = (52.5 - 35 D_r) \frac{N_{SPT}}{10} \quad \text{nel caso dei terreni sovraconsolidati}$$

Modulo di taglio iniziale da correlazione di Ohta e Goto (1978):

$$G_0 = \frac{g_t}{9.81} (V_s)^2$$

$$V_s = 69 f_A f_B N_{SPT}^{0.17} z^{0.2}$$

essendo:

z = profondità dal p.c. in metri

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                  |             |                     |                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | <b>LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA</b><br><b>TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE – GELA</b><br><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE-GELA</b><br><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA</b> |                  |             |                     |                           |           |
|                                                                                   | RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN<br>SOTTERRANEO                                                                                                                                               | COMMESSA<br>RS6K | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 07 RH | DOCUMENTO<br>GN 00 00 001 | REV.<br>A |

$f_A$  = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito

$f_B$  = coefficiente funzione della composizione granulometrica

**Tabella 33: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente  $f_A$**

(funzione dell'epoca geologica del deposito)

| $f_A$ | Olocene | Pleistocene |
|-------|---------|-------------|
|       | 1,0     | 1,3         |

**Tabella 34 - Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente  $f_B$**

(funzione della composizione granulometrica del deposito)

| $f_B$ | Ghiaie | Sabbie ghiaiose | Sabbie grosse | Sabbie medie | Sabbie fini |
|-------|--------|-----------------|---------------|--------------|-------------|
|       | 1,45   | 1,15            | 1,14          | 1,07         | 1,09        |

Modulo di taglio iniziale da correlazione di Imai (1977):

$$G_0 = \frac{g_t}{9.81} (V_s)^2$$

$$V_s = aN^b$$

essendo:

a e b = coefficiente funzione dell'epoca geologica e della composizione granulometrica del deposito

**Tabella 35 - Relazione Imai, 1977 - Coefficienti a e b**

| a   | b    | Terreno/età           |
|-----|------|-----------------------|
| 102 | 0.29 | Argille – Olocene     |
| 81  | 0.33 | Sabbie -Olocene       |
| 114 | 0.29 | Argille – Pleistocene |
| 97  | 0.32 | Sabbie pleistocene    |