

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. GALLERIE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

**LINEA COSENZA – PAOLA / S. LUCIDO
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
RADDOPPIO COSENZA – PAOLA / S. LUCIDO**

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

SCALA:

-

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

RC1C 03 R 07 RH GN0000 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	P.Pitoli S.Saviani	Novembre 2021	P.Pitoli	Novembre 2021	I.D'Amore	Novembre 2021	A. Sciotti Giugno 2022
B	Emissione a seguito di richiesta integrazioni CSLLPP Parere n°5/2022	P.Pitoli <i>P. Pitoli</i>	Giugno 2022	P.Pitoli <i>P. Pitoli</i>	Giugno 2022	I.D'Amore <i>I.D'Amore</i>	Giugno 2022	ITALFERR S.p.A. U.O. GALLERIE Aut. Ing. Alessandra Scioffi C/linea degli ingegneri di Reggio Calabria n° 19846 <i>Scioffi</i>

File: RC1C03R07RHGN0000001B.DOCdoc

SOMMARIO

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO.....	5
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
4	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO	7
5	ALLEGATI.....	8
6	DESCRIZIONE DELL'OPERA	9
6.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO.....	9
6.2	SEZIONI DI INTRADOSSO	12
6.3	OPERE DI IMBOCCO.....	13
6.4	OPERE PER LA SICUREZZA IN GALLERIA.....	17
6.5	OPERE TECNOLOGICHE	20
6.6	INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO.....	21
7	METODOLOGIA DI LAVORO.....	22
8	FASE CONOSCITIVA	23
8.1	IL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....	23
8.2	INDAGINI GEOTECNICHE	30
8.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	33
9	FASE DI DIAGNOSI.....	113
9.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	113
9.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	114
9.3	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO	119
9.4	RISCHI POTENZIALI CONNESSI ALLO SCAVO DELLA GALLERIA.....	120
10	FASE DI TERAPIA	122
10.1	DEFINIZIONE DEL METODO DI SCAVO	122
10.2	METODO DI SCAVO MECCANIZZATO	122

10.3	METODO DI SCAVO TRADIZIONALE.....	143
11	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO	147
11.1	SCAVO MECCANIZZATO.....	147
11.2	SCAVO TRADIZIONALE	147
11.3	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	148
12	INDAGINI COMPLEMENTARI	149
13	CONCLUSIONI.....	150

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

1 PREMESSA

Nel presente documento sono analizzati i temi progettuali e gli aspetti tecnici relativi al progetto di fattibilità tecnico-economica delle opere in sotterraneo per il potenziamento della Linea Ferroviaria Cosenza-Paola nella tratta compresa tra Bivio S. Antonello/Castiglione Cosentino e Bivio S. Lucido/Paola.

Tale progettazione si inserisce nell'ambito degli interventi di potenziamento con caratteristiche di alta velocità della direttrice ferroviaria Salerno-Reggio Calabria che Rete Ferroviaria Italiana è stata autorizzata a realizzare con Decreto-legge n. 34 del 19 Maggio 2020 “Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economia, nonché di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19”, convertito in legge il 17 luglio 2020 (legge n.77).

La nuova linea AV Salerno – Reggio Calabria costituisce la continuità di un itinerario strategico passeggeri e merci per la connessione tra il Sud della penisola e il Nord attraverso il corridoio dorsale, asse principale del paese. In particolare:

- a livello europeo fa parte del corridoio Scandinavo – Mediterraneo della rete TEN-T;
- a livello nazionale fa parte della rete SNIT di primo livello ed è necessaria per ridurre il gap infrastrutturale fra Nord e Sud del Paese;
- a livello locale rappresenta un progetto strategico per collegare le regioni interessate con la parte centrosettentrionale del paese.

Il raddoppio della linea ferroviaria tra Paola/S. Lucido e Cosenza, essendo attualmente a singolo binario, rappresenta un tratto critico dell'itinerario stesso a causa delle sovrapposizioni del traffico merci Gioia Tauro – Taranto – Bari con il traffico regionale che interessa le relazioni Reggio Calabria–Lamezia Terme–Cosenza e Battipaglia–Paola–Cosenza. L'obiettivo del raddoppio è dunque quello di incrementare complessivamente la capacità della tratta potenziando sia il traffico passeggeri che il traffico merci.

In sintesi, l'intervento comprende il raddoppio tra Bivio S. Antonello/Castiglione Cosentino e S. Lucido (corretto tracciato), per un'estesa di circa 20 km, e le due diramazioni verso Paola lunghe complessivamente circa 6 km. Dei 20 km del corretto tracciato circa 16 km si sviluppano in sotterraneo mediante una nuova galleria con configurazione a doppia canna a singolo binario che si sviluppa a Sud della galleria Santomarco esistente con tracciato pressoché parallelo. Riguardo le interconnessioni di Paola l'estesa del tratto in sotterraneo è complessivamente di circa 4 km. Sia per il corretto tracciato che per le diramazioni di Paola i restanti 6 km di linea comprendono opere all'aperto quali trincee, rilevati e viadotti, in affiancamento o in raddoppio rispetto a quelle della linea esistente.

Scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali individuate per la realizzazione della galleria e delle opere in sotterraneo connesse.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

2 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] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- Rif. [4] Regolamento (UE) N° 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del sistema ferroviario dell’Unione europea, rettificato dal Regolamento (UE) 2016/912 del 9 giugno 2016 e modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Rif. [5] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;
- Rif. [6] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 E “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili” (31/12/2020);
- Rif. [7] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 E “Manuale di Progettazione delle opere civili” (31/12/2020);
- Rif. [8] Italferr, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” (Dicembre 2015).

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Rif. [9] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).
- Rif. [10] U.O. Opere Geotecniche, Elaborati di progetto;
- Rif. [11] U.O. Geologia, documento n° RC1C03R69RGGE0001001B “Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica” (Giugno 2022).
- Rif. [12] U.O. Geologia, documento n° RC1C03R69RHGE0001001B “Relazione geomeccanica” (Giugno 2022)
- Rif. [13] U.O. Geologia, documento n° RC1C03R69N4GE0001001B “Carta geologica con elementi di geomorfologia – Tavola 1 di 1” (Giugno 2022).
- Rif. [14] U.O. Geologia, documento n° RC1C03R69N4GE0002001B “Carta idrogeologica – Tavola 1 di 1” (Giugno 2022).
- Rif. [15] U.O. Geologia, documento n° RC1C03R69F4GE0001001B “Profilo geologico di linea BP – Tavola 1 di 2” (Giugno 2022).
- Rif. [16] U.O. Geologia, documento n° RC1C03R69F4GE0001002B “Profilo geologico di linea BP – Tavola 2 di 2” (Giugno 2022)
- Rif. [17] U.O. Geologia, documento n° RC1C03R69F4GE0001003B “Profilo geologico interconnessione BD) – Tavola 1 di 1” (Giugno 2022).

- Rif. [18] U.O. Geologia, documento n° RC1C03R69F4GE0002001B “Profilo idrogeologico di linea BP – Tavola 1 di 2” (Giugno 2022).
- Rif. [19] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69F4GE0002002B “Profilo idrogeologico di linea BP – Tavola 2 di 2” (Giugno 2022).
- Rif. [20] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69F4GE0002003B “Profilo idrogeologico interconnessione BD – Tavola 1 di 2” (Giugno 2022).
- Rif. [21] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69L5GE0001001B “Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico di linea BP - Imbocco lato Cosenza” (Giugno 2022).
- Rif. [22] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69L5GE0001002B “Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico di linea BP Imbocco lato S. Lucido” (Giugno 2022).
- Rif. [23] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69L5GE0001003B “Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico interconnessione BD Imbocco lato Paola” (Giugno 2022).
- Rif. [24] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69L5GE0002001B “Carta idrogeologica e profilo idrogeologico di linea BP Imbocco lato Cosenza” (Giugno 2022).
- Rif. [25] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69L5GE0002002B “Carta idrogeologica e profilo idrogeologico di linea BP Imbocco lato S. Lucido” (Giugno 2022).
- Rif. [26] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69L5GE0002003B “Carta idrogeologica e profilo idrogeologico interconnessione BD Imbocco lato Paola” (Giugno 2022).
- Rif. [27] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69SGGE0005001A “Indagini geognostiche: Sondaggi ordinari” (Ottobre 2021).
- Rif. [28] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69PRGE0005001A “Indagini geognostiche: Prove di laboratorio” (Ottobre 2021).
- Rif. [29] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69IGGE0005001A “Indagini geognostiche: Indagini geofisiche” (Ottobre 2021).
- Rif. [30] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69SGGE0005002A “Indagini geognostiche: Sondaggi ordinari integrativi” (Giugno 2022).
- Rif. [31] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69PRGE0005002A “Indagini geognostiche: Prove di laboratorio integrative” (Giugno 2022).
- Rif. [32] U.O Geologia, documento n° RC1C03R69IGGE0005002A “Indagini geognostiche: Indagini geofisiche integrative” (Giugno 2022).
- Rif. [33] Rizzo V. & Bozzo C. (1998), "Problematiche di geologia applicata nella realizzazione della galleria ferroviaria Paola-Cosenza", GEAM, Quaderni di Studi e di Documentazione 21, marzo 1998.
- Rif. [34] C.Monaco, L.Tortorici. “Tettonica estensionale quaternaria nell'Arco Calabro e in Sicilia Orientale”, Studi Geologici Camerti, Volume Speciale 1995/2, 351-362.
- Rif. [35] Hoek E. (2000) " Big tunnels in bad rock", Draft of a paper to be submitted for publication in the ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2000 Terzaghi Lecture, Seattle
- Rif. [36] Mair, R.J., Taylor, R.N. e Burland, J.B. (1996). Prediction of ground movements and assessment of risk of building damage due to bored tunnelling. Proc. of the International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Balkema, Rotterdam.

- Rif. [37] 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. [38] 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. [39] 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. [40] Bolton M.D. (1986) “The strength and dilatancy of sands” *Geotechnique*, 36(1), 65-78.
- Rif. [41] 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. [42] 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. [43] 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. [44] Ohta, Y., Goto, N. (1978): "Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristic Soil Indexes," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 6.
- Rif. [45] 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.
- Rif. [46] Hoek, E., Wood D. and Shah S. 1992. A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses. Proc. Rock Characterization, Symp. Int. Soc. Rock Mech.: Eurock '92, (ed. J.A. Hudson), 209-214. London, Brit. Geotech. Soc.
- Rif. [47] Marinos P., Hoek E. (2000). GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proc. GeoEng 2000 Conference, Melbourne.
- Rif. [48] Beniaowski Z.T. (1989). Engineering rock mass classification. John Wiley and Sons, New York.
- Rif. [49] Maidl B, Herrenknecht M., Maidl U., Wehrmeyer G. (2012). Mechanised Shield Tunnelling. Ernst and Sons, Berlino.
- Rif. [50] ISRM (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics abstracts, 15, 6, 319-368.

4 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

- Rif. [51] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07F4GN0000001B “Profilo geotecnico galleria di linea - Tav. 1 di 2” (Giugno 2022).
- Rif. [52] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07F4GN0000002B “Profilo geotecnico galleria di linea - Tav. 2 di 2” (Giugno 2022).
- Rif. [53] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07F4GN0000003B “Profilo geotecnico gallerie di interconnessione di Paola” (Giugno 2022).

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

- Rif. [54] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07FZGN0000001B “Risultanze derivanti dalla galleria Santomarco esistente” (Giugno 2022).
- Rif. [55] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07WBGN0000001A “Sezioni tipo di intradosso” (Novembre 2021).
- Rif. [56] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07WBGN0000002A “Rivestimento conci prefabbricati - Sezione tipo di avanzamento e carpenteria anello” (Novembre 2021).
- Rif. [57] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07WZGN0000001A “Cameroni di interconnessione di Paola - Pianta e sezioni tipo di intradosso” (Novembre 2021).
- Rif. [58] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07WZGN0000003A “Cameroni di interconnessione di Paola – Carpenteria, scavo e consolidamenti – Tav. 1 di 2” (Novembre 2021).
- Rif. [59] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07WZGN0000004A “Cameroni di interconnessione di Paola – Carpenteria, scavo e consolidamenti – Tav. 1 di 2” (Novembre 2021).
- Rif. [60] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07WZGA0000001B “Imbocco lato San Lucido – Planimetria, profilo longitudinale e sezione galleria artificiale” (Giugno 2022).
- Rif. [61] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07WZGA0000002A “Imbocco Uscite/accessi di emergenza B.P. e B.D - Planimetria, profilo longitudinale e sezioni” (Novembre 2021).
- Rif. [62] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07LZGN0000001A “Opere in sotterraneo per la sicurezza - Pianta, profilo e sezioni tipologiche” (Novembre 2021).
- Rif. [63] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07PZGN0000001A “Galleria di interconnessione di Paola B.P.. - Uscita/accesso pedonale di emergenza laterale. Planimetria profilo e sezione” (Novembre 2021).
- Rif. [64] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07PZGN0000002A “Galleria di interconnessione di Paola B.D. - Uscita/accesso pedonale di emergenza laterale. Planimetria profilo e sezione” (Novembre 2021).
- Rif. [65] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07WBGN0000005A “Uscite/accessi pedonali di emergenza - Collegamenti trasversali - Carpenteria, scavo e consolidamenti” (Novembre 2021).
- Rif. [66] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07WBGN0000006A “Collegamento trasversale tecnologico - Pianta, profilo e sezioni” (Novembre 2021).
- Rif. [67] U.O. Gallerie, documento n° RC1C03R07RHGN0000002A “Relazione tecnica galleria Santomarco esistente” (Giugno 2022).

5 ALLEGATI

p.m.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

6 DESCRIZIONE DELL'OPERA

6.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

Il progetto del raddoppio della linea Paola-Cosenza prevede la realizzazione di una galleria, la Nuova Santomarco, che consente il raddoppio della tratta tra Bivio S. Antonello/Castiglione Cosentino e S. Lucido (corretto tracciato) e di due gallerie di interconnessione che costituiscono il raddoppio dell'attuale diramazione verso Paola (Figura 1).

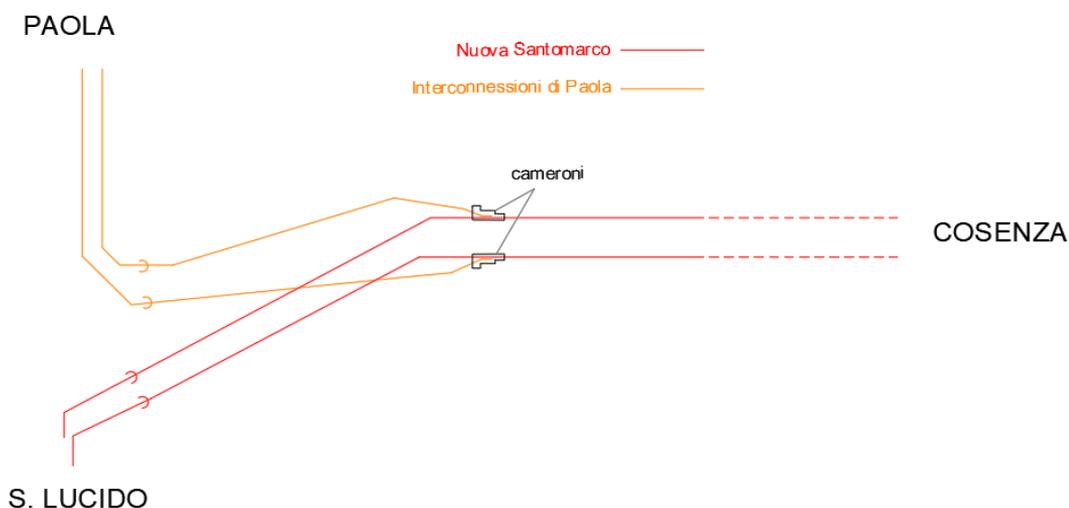


Figura 1 Schematico gallerie di linea del raddoppio Paola-Cosenza

La Nuova Santomarco, con una lunghezza complessiva di circa 15,8 km (15,3 km di galleria naturale e 0,5 km di gallerie artificiali d'imbocco) si sviluppa a Sud della galleria Santomarco esistente, ad una distanza di circa 100 m.

La nuova galleria ha configurazione doppia canna a singolo binario, con interasse delle due canne pari a 40 metri nella tratta a coperture meno elevate lato Cosenza (fino alla progressiva 11+200 circa del binario pari) per poi crescere a 60 metri, per esigenze geotecniche, nella tratta centrale, in corrispondenza dei cameroni e nel tratto in affiancamento delle gallerie di interconnessione. La distanza tra le due canne si riduce sotto i 40m solo in prossimità dello sbocco della galleria sia lato Cosenza che lato S. Lucido.

Tra le progressive km 17+265 e km 17+500 del binario pari e tra le progressive km 16+765 e km 16+990 del binario dispari della nuova galleria sono presenti i cameroni di interconnessione per i rami di raddoppio verso Paola. L'ubicazione dei cameroni è stata definita sulla base delle condizioni geotecniche attraversate (per evitare che l'opera ricadesse all'interno di ammassi intensamente fratturati) e delle condizioni plano-altimetriche di tracciato (legate al vincolo del sottopassaggio dei binari di corretto tracciato da parte delle interconnessioni di Paola).

Dai suddetti cameroni le gallerie di interconnessione di Paola procedono in galleria naturale per un'estesa rispettivamente di circa 1,8 km e 1,7 km rispettivamente per la diramazione binario pari (che si innesta sul binario dispari di corretto tracciato) e la diramazione binario dispari (che si innesta sul binario pari di corretto

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

tracciato). Dopo il tratto in galleria naturale, le interconnessioni proseguono in galleria artificiale per circa 100 m sottopassando il rilevato ferroviario della linea esistente per poi uscire all'aperto e proseguire verso la stazione di Paola.

Nella seguente tabella è riepilogata la scansione delle gallerie naturali in progetto (Tabella 1).

Tabella 1 Elenco delle gallerie naturali in progetto

Opera principale	Tratto d'Opera	Descrizione WBS	p.k. inizio	p.k. fine	Lunghezza (m)
GN01	GN01A	Nuova Santomarco - galleria naturale b.p.	4+275,00	17+265,00	12990,00
	GN01B	Nuova Santomarco - galleria naturale b.d.	3+898,40	16+765,00	12866,40
	GN01C	Nuova Santomarco - camerone diramazione b.p.	17+265,00	17+500,00	235,00
	GN01D	Nuova Santomarco - camerone diramazione b.d.	16+765,00	16+990,00	225,00
	GN01E	Nuova Santomarco (prosecuzione verso S. Lucido) - galleria naturale b.p.	17+500,00	19+619,68	2119,68
	GN01F	Nuova Santomarco (prosecuzione verso S. Lucido) - galleria naturale diramazione lato S. Lucido b.d.	16+990,00	19+200,00	2210,00
GN02	GN02	Interconnessione di Paola - galleria naturale b.p.	0+225,00	2+020,00	1795,00
GN03	GN03	Interconnessione di Paola - galleria naturale b.d.	0+235,00	1+915,00	1680,00

La Nuova Santomarco presenta una copertura massima di circa 1150 m a circa metà galleria. In considerazione dell'orografia del territorio, gran parte dell'opera (tratta centrale di circa 8500m tra le progressive 9+200 e 17+600 del binario pari) presenta coperture elevate, superiori ai 300-400 metri. Per le gallerie di interconnessione la copertura massima si ha in corrispondenza dell'innesto nei cameroni ed è pari a circa 300 m.

La galleria in progetto ha un andamento altimetrico in ascesa da Paola verso Cosenza con pendenze massime del 12‰ (Figura 2). Solo un breve tratto, successivo ai cameroni proseguendo verso Paola, presenta pendenza contraria per consentire lo scavalco dei rami d'interconnessione verso Paola con un franco di circa 4,5 metri. Tale andamento di tracciato genera un punto di minimo altimetrico ("corda molle") in prossimità dei cameroni di interconnessione: le acque raccolte all'interno delle due canne della galleria che convergono verso il suddetto punto di minimo altimetrico saranno convogliate attraverso i cameroni e portate all'esterno mediante i due rami di interconnessione che procedono in discesa verso Paola.

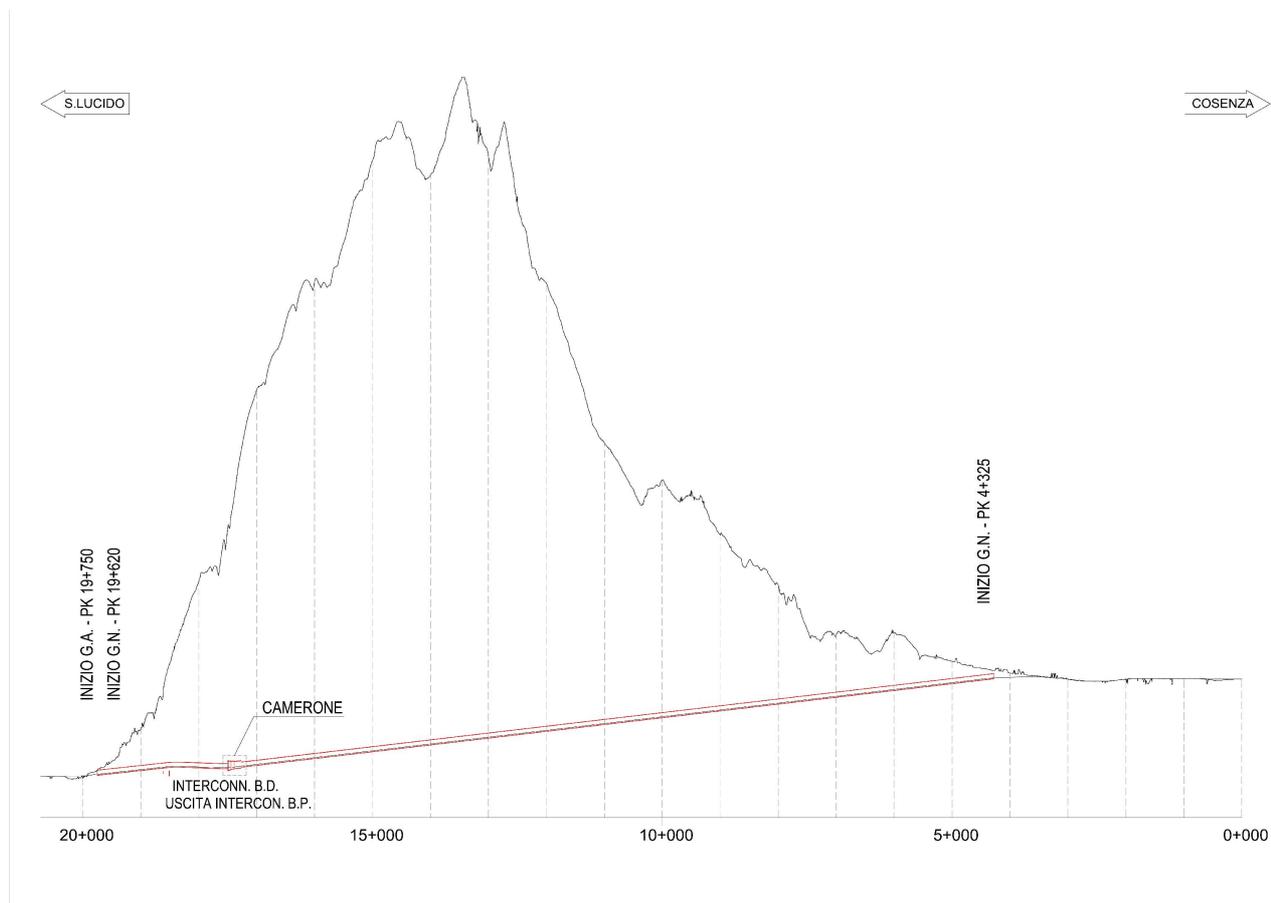


Figura 2 Profilo altimetrico della galleria di linea

La velocità massima di progetto per la galleria di linea è pari a 250 km/h, tranne nei tratti che si estendono dai camerone di interconnessione fino al collegamento con la linea ferroviaria Battipaglia-Reggio Calabria sia in direzione Nord (rami di interconnessione), che in direzione Sud (corretto tracciato) per i quali è inferiore a 250 km/h.

Riguardo la realizzazione delle gallerie, è prevista l'adozione del metodo di scavo meccanizzato tramite TBM sia per le due canne della nuova galleria Santomarco, che per le gallerie di interconnessione di Paola. Lo scavo è previsto con 4 TBM: 2 TBM partono dall'imbocco lato Cosenza e 2 TBM eseguono lo scavo delle due interconnessioni di Paola fino ai camerone per poi essere smontate e portate all'imbocco lato S. Lucido da dove eseguono lo scavo della nuova Santomarco fino all'incontro con le due TBM in avanzamento lato Cosenza alla pk 12+000 del binario pari.

È prevista, invece, con metodo di scavo tradizionale la realizzazione dei camerone di interconnessione e delle altre opere accessorie e per la sicurezza in galleria previste in progetto.

6.2 Sezioni di intradosso

La sezione di intradosso delle gallerie naturali di linea è la sezione standard prevista dal Manuale di Progettazione RFI per gallerie a singolo binario in scavo meccanizzato e velocità non superiore ai 250 km/h (Figura 3). Tale sezione consente il transito del PMO5 (Gabarit C), presenta un raggio di intradosso di 4,20 m e prevede elettrificazione a 3 kV e a 25 kV e armamento senza massiciata. I marciapiedi, a geometria variabile sono dotati di mancorrente lungo l'intero sviluppo dell'opera.

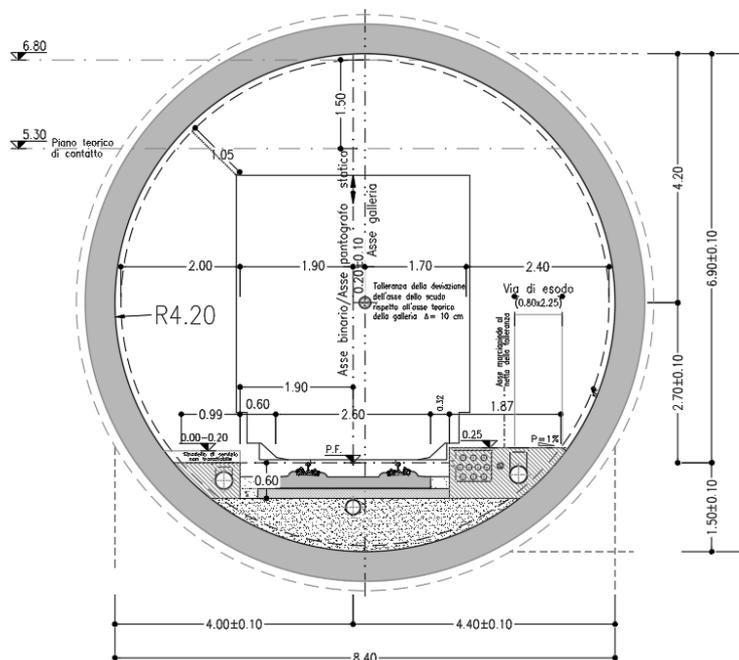


Figura 3 Sezione di intradosso delle gallerie di linea (configurazione in rettifilo)

Nonostante la velocità massima di tracciato nel tratto che va dai cameroni di interconnessione fino al collegamento con la linea ferroviaria Battipaglia-Reggio Calabria sia in direzione Nord (rami di interconnessione) che in direzione Sud (corretto tracciato) risulti inferiore ai 250 km/h, si è scelto di adottare per tutte le gallerie di linea la medesima sezione descritta sopra sia per motivi costruttivi (impiego della stessa TBM), sia per esigenze di continuità impiantistica (TE, armamento,..). Tale scelta è stata preventivamente sottoposta e condivisa con la Committenza.

Tra le progressive km 17+265 e km 17+500 del binario pari e tra le progressive km 16+765 e km 16+990 del binario dispari sono presenti i cameroni di interconnessione tra la nuova galleria Santomarco e le diramazioni verso Paola. Tali opere di lunghezza pari a circa 230 m per entrambi i binari, presentano dimensioni trasversali tali da imporre sezioni di intradosso a geometria variabile (Figura 4), con aree nette che variano da circa 102 m² (sezione minima) a circa 236 m² (sezione massima).

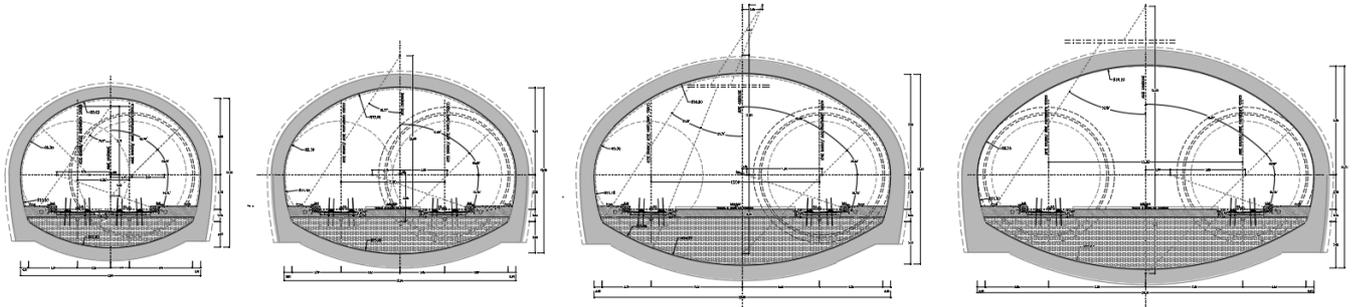


Figura 4 Sezioni di intradesso cameroni di interconnessione

6.3 Opere di imbocco

Lato San Lucido il tracciato della nuova linea prevede il collegamento con la linea costiera più a Sud rispetto alla linea esistente. In considerazione dell'orografia del terreno, per consentire l'attacco con adeguata copertura, i due imbocchi risultano sfalsati di circa 30 m (progressiva di imbocco del binario pari al km 19+119.68, progressiva di imbocco del binario dispari al km 19+200) (Figura 5).

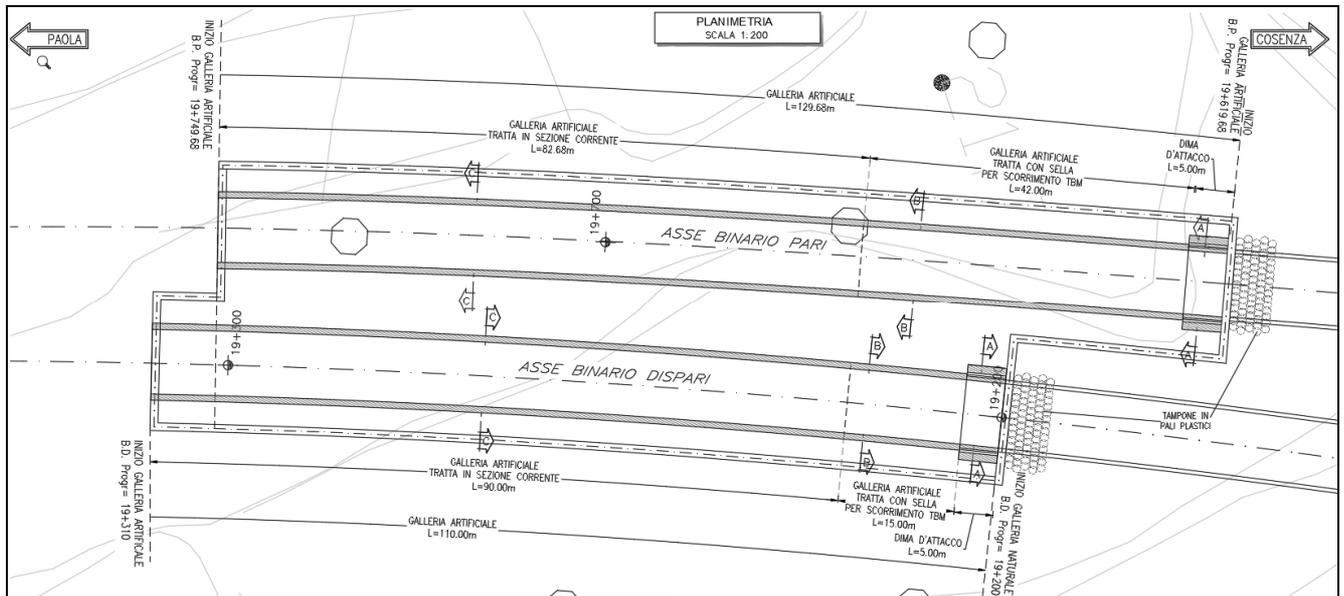


Figura 5 Imbocco nuova Santomarcò lato S. Lucido: stralcio planimetrico

Lo scavo meccanizzato che prende avvio da tale imbocco è realizzato mediante le stesse TBM con cui è previsto lo scavo dei due rami delle interconnessioni di Paola: terminato lo scavo delle gallerie di interconnessione, le macchine saranno smontate e traslate a ritroso all'interno delle gallerie di interconnessione, quindi trasportate nell'area antistante l'imbocco lato S. Lucido e riassemblate per procedere con lo scavo della Nuova Santomarcò in direzione Cosenza.

Il fronte d'attacco della galleria naturale è raggiunto con uno scavo tra paratie di diaframmi a più ordini di tiranti che proseguono lateralmente anche nel successivo tratto in trincea. L'ampiezza degli scavi in senso trasversale

al tracciato tiene conto anche degli ingombri necessari al montaggio e alla traslazione delle TBM. Nello specifico, per consentire il posizionamento e la partenza delle frese è prevista su entrambi i rami la realizzazione di una sella e della dima d'attacco al di sotto della quale saranno installati i conchi prefabbricati in fase di avanzamento delle TBM. Nel primo tratto di scavo in naturale (tratto di break-in della fresa) è previsto un intervento di consolidamento dall'alto realizzato con pali plastici.

Ultimato lo scavo della galleria naturale si procederà alla realizzazione dei tratti di galleria artificiale che presentano la stessa sezione di intradosso della galleria naturale. Tali tratti di lunghezza pari rispettivamente a 130 m per il binario pari e a 110 m per il binario dispari saranno ritombati in sistemazione definitiva in modo da ripristinare la configurazione del versante precedente agli scavi. Il passaggio tra galleria artificiale e opere di linea all'aperto è previsto mediante muri portali sfalsati tra i due binari analogamente alle paratie di imbocco.

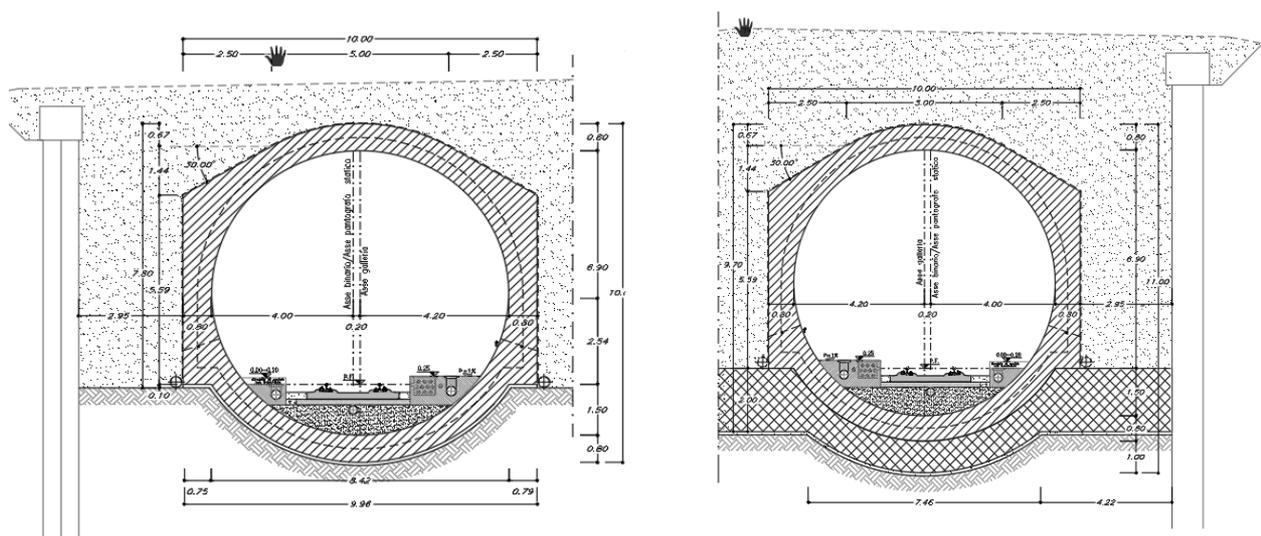


Figura 6 Imbocco Nuova Santomarco lato S. Lucido: sezione GA senza (sx) e con (dx) sella traslazione TBM

Gli imbocchi della galleria Santomarco lato Cosenza e gli imbocchi delle gallerie di interconnessione di Paola fanno parte delle opere provvisorie previste per i tratti di galleria artificiale scatolare che precedono la galleria naturale. Per maggiori dettagli e per una rappresentazione esaustiva di queste opere d'imbocco si rimanda, pertanto, agli specifici elaborati di progetto (Rif. [10]).

Di seguito si riporta una descrizione sintetica di tali imbocchi con riferimento allo scavo in meccanizzato.

La partenza delle TBM per lo scavo della Nuova Santomarco lato Cosenza è prevista a partire da un pozzo di lancio unico per entrambe le canne (GA20) realizzato in scavo dall'alto tra paratie di diaframmi multitirantate. Tale pozzo, che presenta una larghezza utile al posizionamento della testa e dello scudo delle frese, è preceduto da due tratti separati di trincea tra diaframmi puntonati (GA03 e GA04), all'interno dei quali saranno montati i carri del back-up delle TBM. Una volta terminato lo scavo della galleria naturale, all'interno delle due trincee saranno realizzate le due gallerie artificiali scatolari che proseguiranno anche all'interno del pozzo secondo la configurazione a doppia canna della galleria naturale.

A tergo della paratia d'attacco (tratto di break-in della fresa) è previsto per ciascun ramo un intervento di consolidamento dall'alto realizzato con pali plastici.

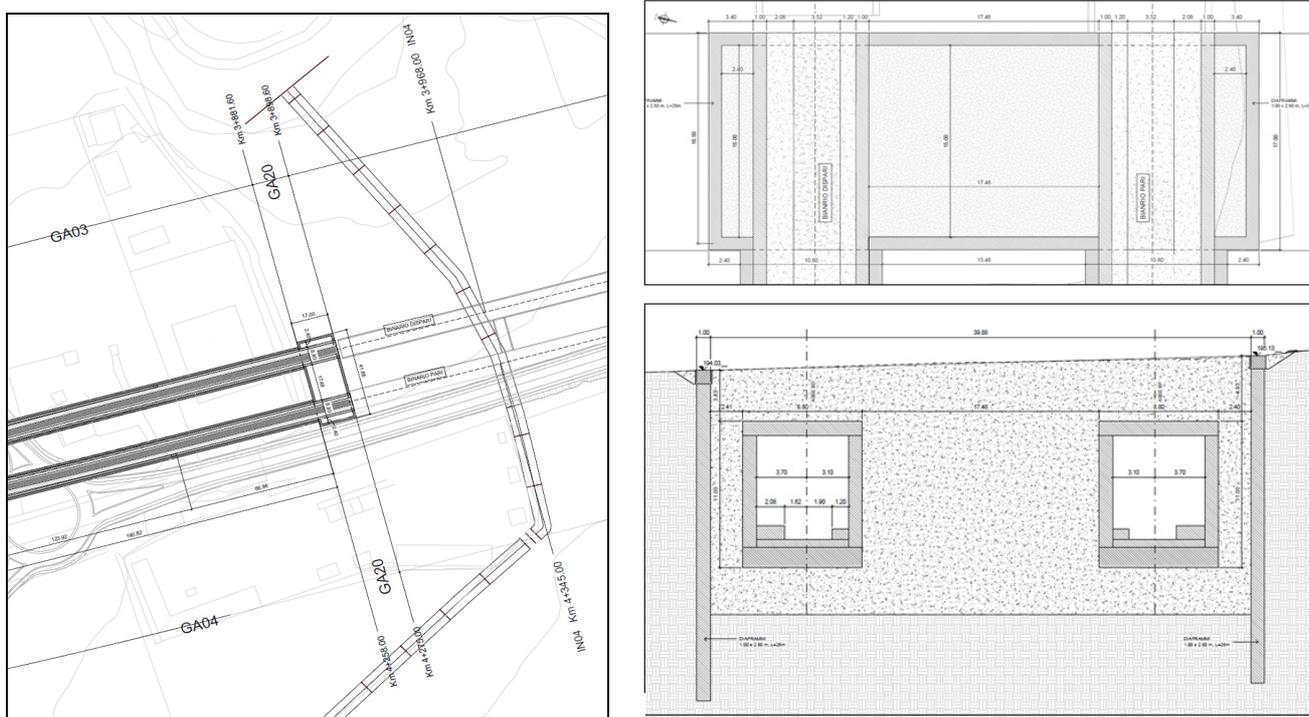


Figura 7 Imbocco nuova Santomarco lato Cosenza: stralcio planimetrico, pianta e sezione

L'imbocco delle gallerie naturali dei due rami delle interconnessioni di Paola è ubicato a monte del rilevato della linea esistente lato S. Lucido. Per consentire il sottoattraversamento della linea storica in tale tratta, mantenendo l'esercizio ferroviario, è prevista la realizzazione di due strutture scatolari poste in opera con la tecnica dello spingitubo (SL06 e SL07). Tra le strutture scatolari e l'imbocco delle gallerie naturali è prevista la realizzazione con metodo "Milano" di due tratti di galleria artificiale (GA06 e GA07) (Figura 8).

Le sezioni d'intradosso sia degli scatolari realizzati con spingitubo, sia dei tratti di galleria artificiale sono state studiate in modo da consentire in fase costruttiva la traslazione all'interno delle stesse delle TBM previste per lo scavo dei due rami di interconnessione, il cui montaggio sarà eseguito nel precedente tratto all'aperto lato Paola.

Anche in questo caso, a tergo delle paratie d'attacco delle gallerie naturali (tratto di break-in della fresa) è previsto un intervento di consolidamento dall'alto realizzato con pali plastici.

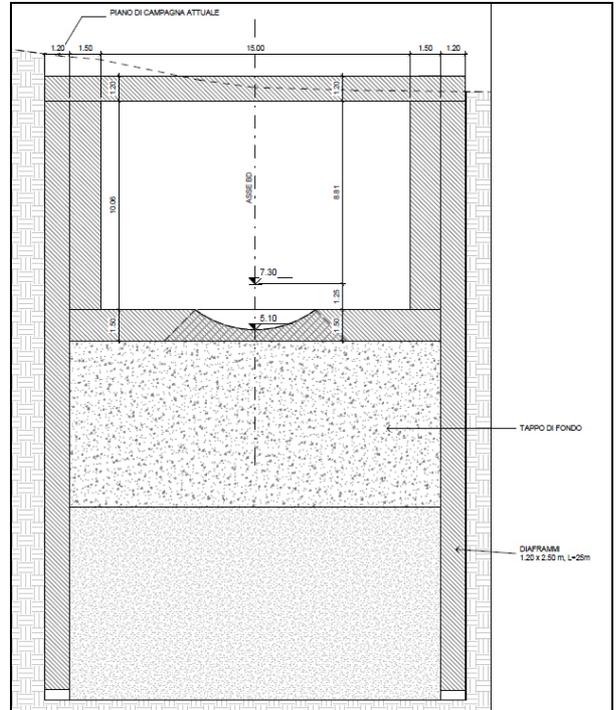
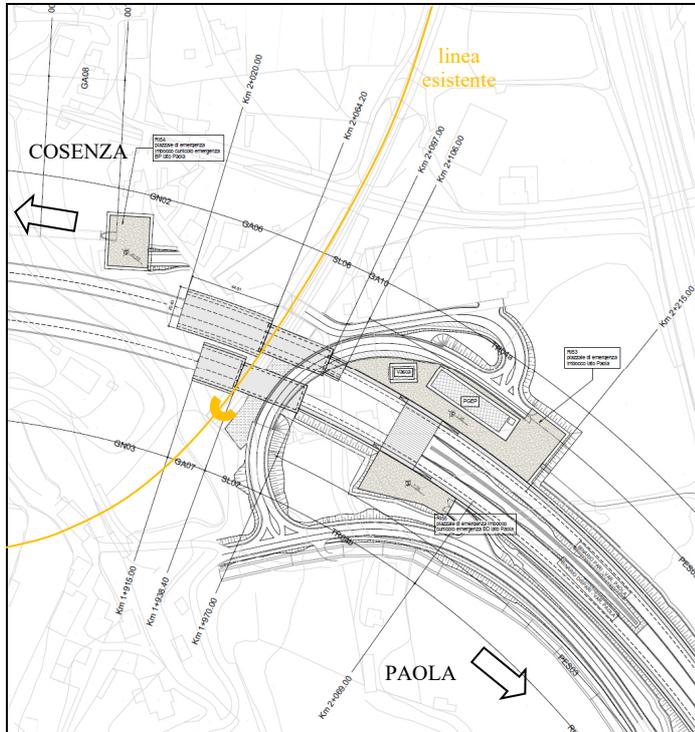


Figura 8 Imbocco Interconnessioni di Paola: stralcio planimetrico e sezione GA06/GA07

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

6.4 Opere per la sicurezza in galleria

La configurazione della Nuova Santomarco è a doppia canna a singolo binario con collegamenti trasversali per l'esodo in caso di emergenza, posti ad interasse non superiore a 500 m per l'intera estensione dell'opera in sotterraneo. Complessivamente è prevista la realizzazione di 31 by-pass di esodo di lunghezza media pari a circa 40 m (50 m nelle tratte ad interasse pari a 60 m e 30 m nella tratta a coperture non elevate).

Le gallerie di interconnessione di Paola sono gallerie a singola canna a singolo binario. Presentando entrambe una lunghezza in sotterraneo di poco inferiore a 2km, per ciascuna galleria di interconnessione è prevista la realizzazione di un'uscita/accesso di emergenza laterale di tipo pedonale. L'innesto sulle gallerie di Interconnessione di tali uscite è stato definito in modo da avere percorsi di esodo, sia verso l'imbocco che verso il primo by-pass di esodo delle gallerie di corretto tracciato (posto tra i due cameroni di interconnessione) inferiori a 1000 m. La lunghezza delle gallerie di uscita/accesso di emergenza laterali risulta rispettivamente di circa 860 m per l'interconnessione pari e circa 610 m per l'interconnessione dispari.

Per le uscite/accessi di emergenza delle interconnessioni sono state scartate la soluzione di collegamenti trasversali tra le due gallerie per l'interferenza con le due canne della Nuova Santomarco e la soluzione di collegamenti trasversali con le adiacenti canne di corretto tracciato oltre che per difficoltà legate alla diversa altimetria dei due tracciati, anche per mantenere indipendenti (ossia uno non costituisce il luogo sicuro dell'altro in caso di emergenza) i due rami di galleria che convergono nel camerone di interconnessione, evitando quindi la realizzazione di pozzi di disconnessione fumi in corrispondenza dei cameroni stessi.

Nella seguente Figura 9 è rappresentato il layout delle opere per la sicurezza in galleria previste in progetto.

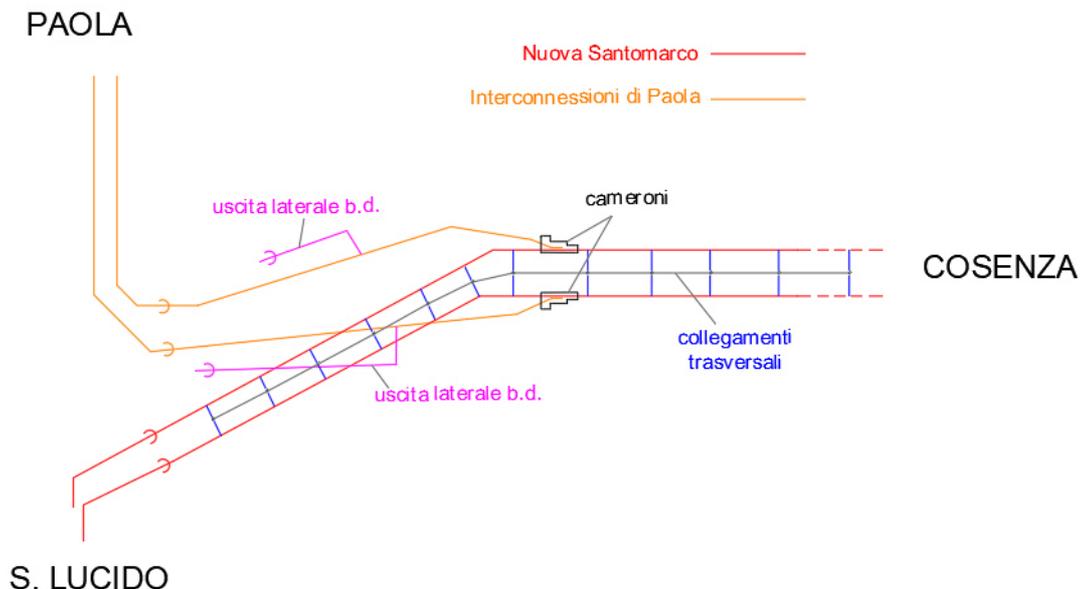


Figura 9 Lay-out sicurezza: uscita di emergenza e by-pass

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa delle progressive degli imbocchi, degli innesti dei 31 by-pass di esodo con relative distanze reciproche da cui emerge il rispetto dell'interdistanza non superiore a 500 metri tra le uscite di emergenza (Tabella 2).

Tabella 2 Riepilogo uscite di emergenza per le gallerie di linea

USCITE EMERGENZA	p.k. binario pari	p.k. binario dispari	interasse uscite lato b.p. [m]	interasse uscite lato b.p. [m]
Inizio GA lato Cosenza (fine tratta all'aperto)	3+975,00	3+598,00		
by-pass esodo n. 1	4+350,00	3+973,59	+375,00	+375,59
by-pass esodo n. 2	4+850,00	4+471,86	+500,00	+498,27
by-pass esodo n. 3	5+328,61	4+950,00	+478,61	+478,14
by-pass esodo n. 4	5+826,92	5+450,00	+498,31	+500,00
by-pass esodo n. 5	6+326,12	5+950,00	+499,20	+500,00
by-pass esodo n. 6	6+826,12	6+450,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 7	7+326,12	6+950,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 8	7+826,12	7+450,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 9	8+326,12	7+950,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 10	8+826,12	8+450,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 11	9+326,12	8+950,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 12	9+826,12	9+450,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 13	10+326,12	9+950,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 14	10+826,12	10+450,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 15	11+325,97	10+950,00	+499,85	+500,00
by-pass esodo n. 16	11+825,80	11+450,00	+499,83	+500,00
by-pass esodo n. 17	12+325,80	11+950,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 18	12+825,80	12+450,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 19	13+325,80	12+950,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 20	13+825,80	13+450,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 21	14+325,80	13+950,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 22	14+825,80	14+450,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 23	15+325,80	14+950,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 24	15+825,80	15+450,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 25	16+325,80	15+950,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 26	16+825,80	16+450,00	+500,00	+500,00
by-pass esodo n. 27	17+300,00	16+924,20	+474,20	+474,20
by-pass esodo n. 28	17+800,00	17+418,20	+500,00	+494,00
by-pass esodo n. 29	18+300,00	17+892,70	+500,00	+474,50
by-pass esodo n. 30	18+800,00	18+366,45	+500,00	+473,75
by-pass esodo n. 31	19+300,00	18+853,38	+500,00	+486,93
Inizio GA lato S. Lucido (fine tratta all'aperto)	19+750,00	19+340,00	+450,00	+486,62

Nelle Figura 10 e Figura 11 sono rappresentate sezioni tipologiche dei by-pass di esodo tra le canne della nuova galleria Santomarco e delle uscite/accessi di emergenza pedonali previste per i rami di interconnessione.

Visto il complesso contesto geotecnico in cui saranno realizzate le uscite/accessi di emergenza pedonali, per garantire l'applicazione di interventi idonei per la stabilizzazione del cavo e la sicurezza delle maestranze, è stata prevista una sezione di scavo analoga a quella dei collegamenti trasversali. L'area utile che ne deriva ospita gli spazi di esodo necessari come da standard.

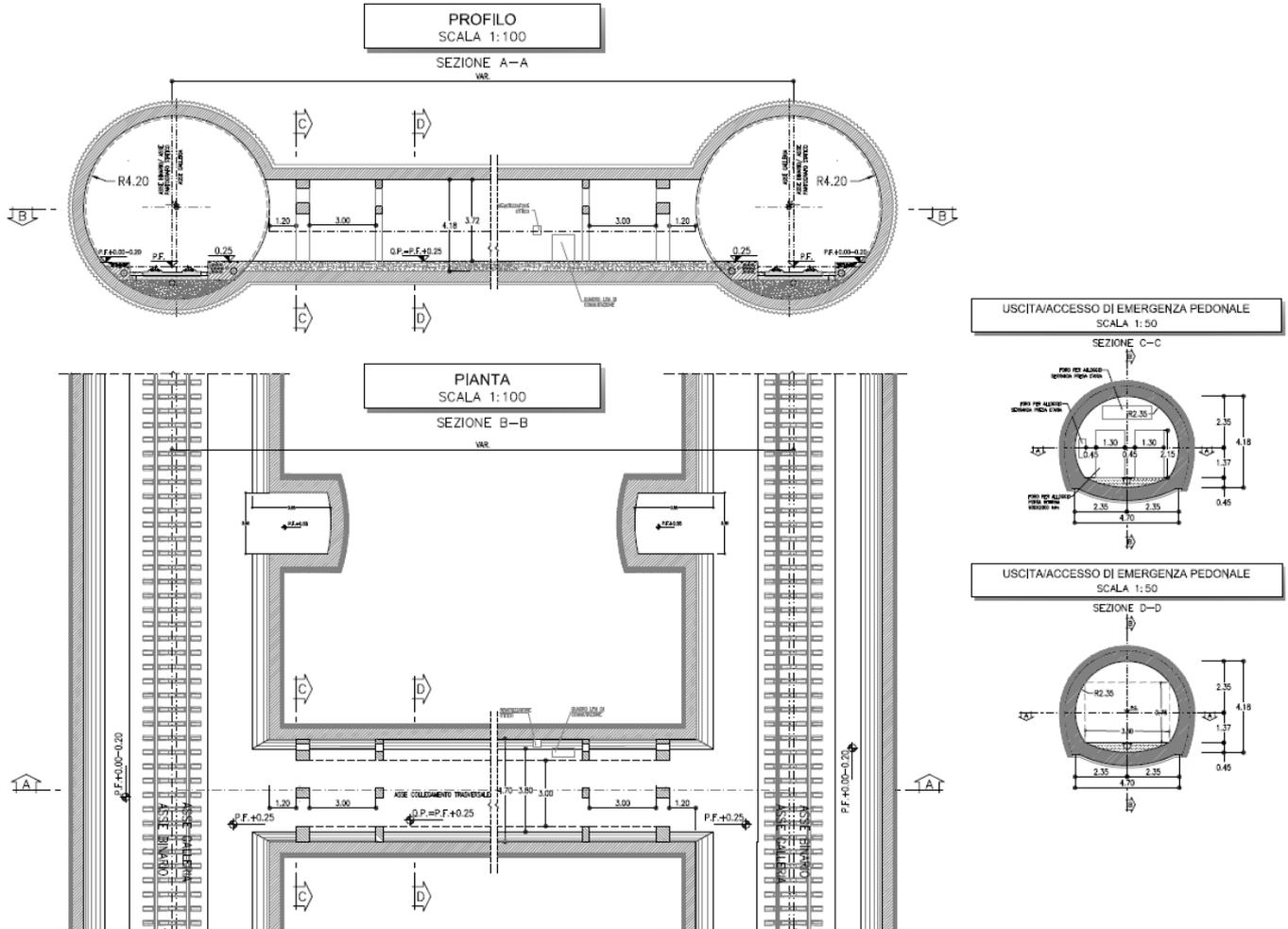


Figura 10 Bypass di esodo ogni 500 m tra le canne della nuova galleria Santomarco

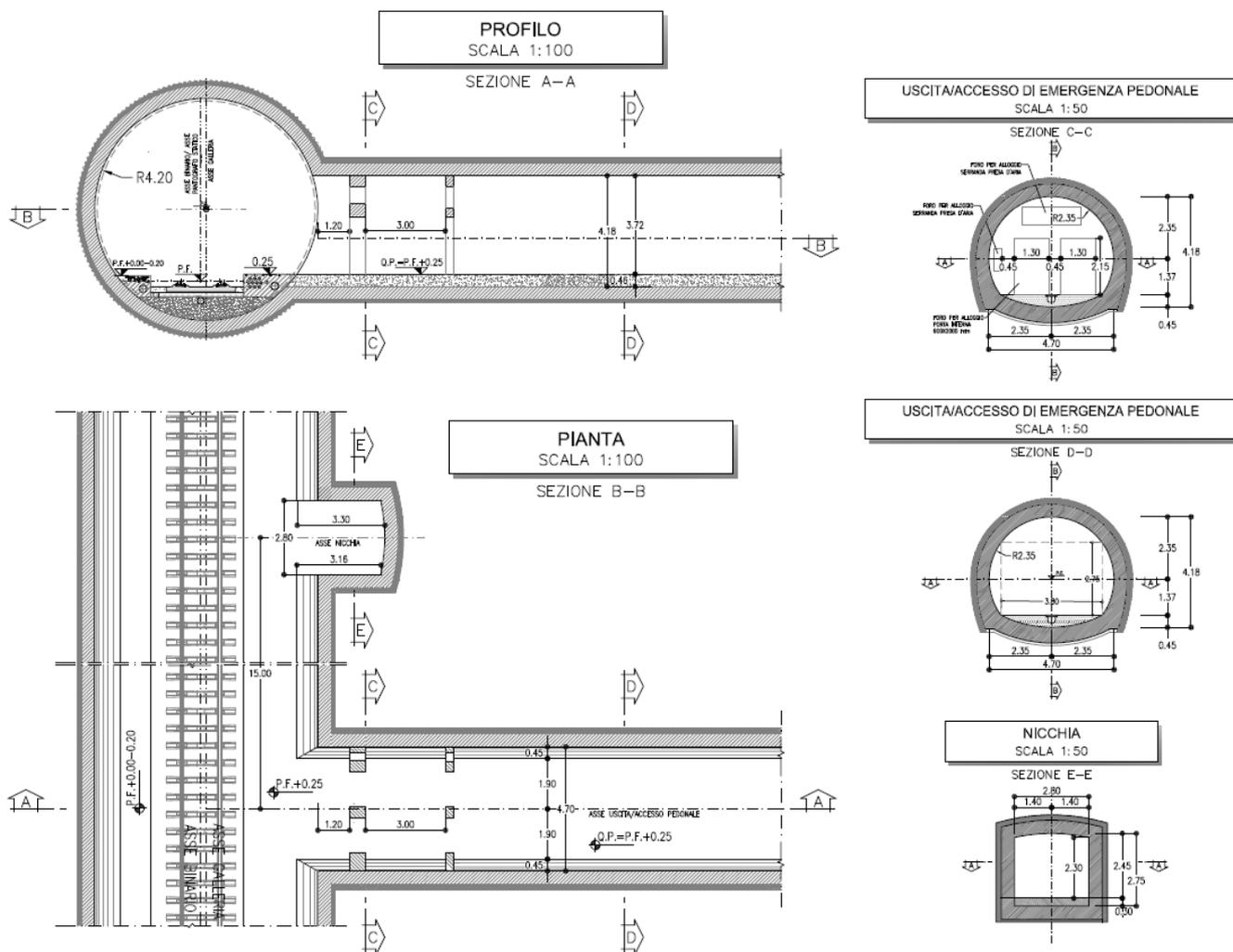


Figura 11 Uscite/accessi di emergenza pedonali su gallerie interconnessione Paola

6.5 Opere tecnologiche

È prevista la realizzazione di un collegamento trasversale per l'allocatione di impianti tecnologici ubicato alla pk 17+200 del binario pari. Il by-pass, di lunghezza pari a circa 50 m, presenta una sezione di intradosso policentrica con raggio di calotta pari a 4,06 m, raggio ai piedritti pari a 2,46 m ed area libera pari a 30 m² circa (Figura 12).

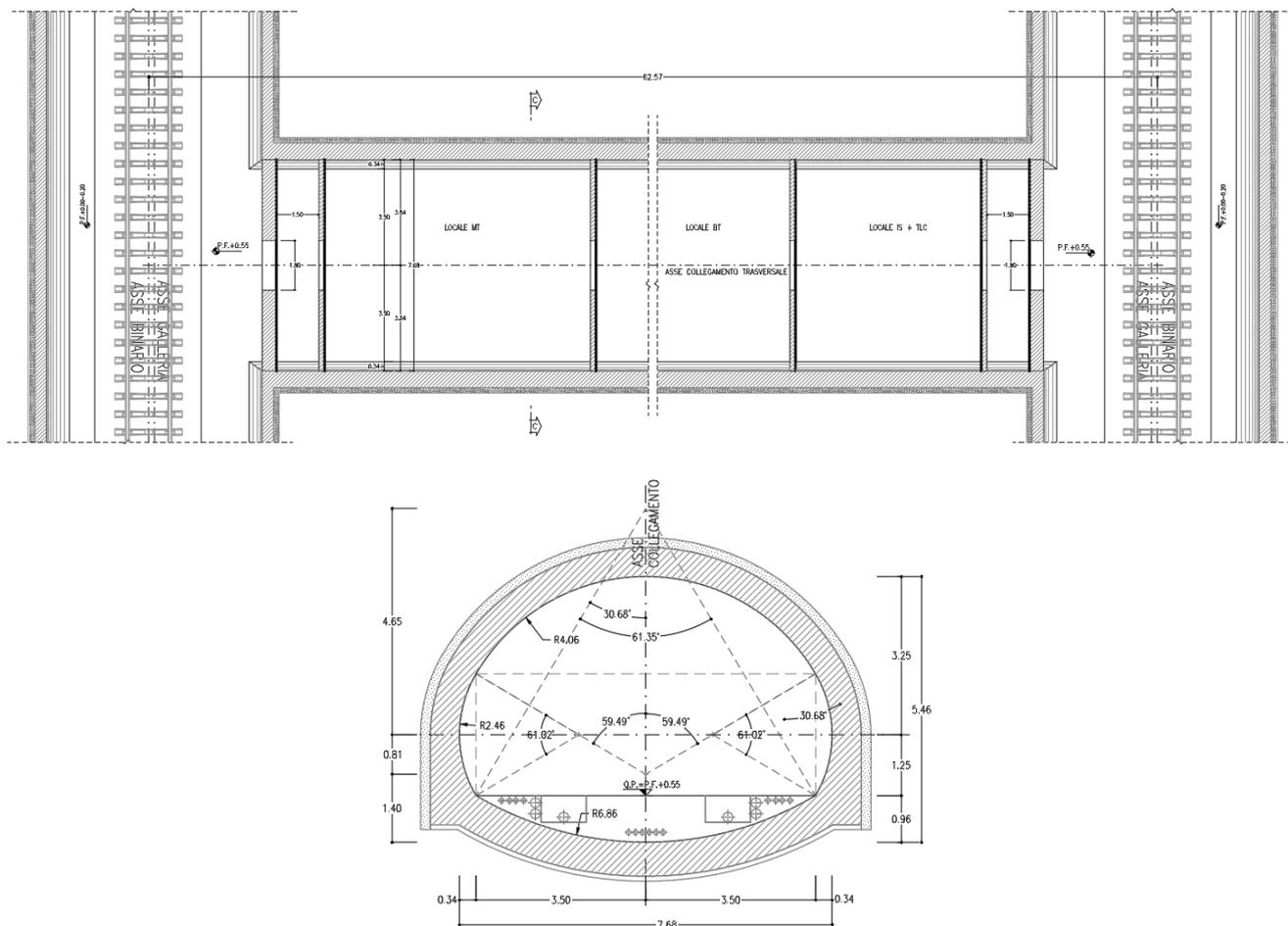


Figura 12 Pianta e sezione collegamenti trasversali tecnologici

6.6 Interferenze lungo il tracciato

Le gallerie in progetto attraversano aree moderatamente antropizzate solo nelle porzioni di tracciato lato Tirreno (Paola/S. Lucido) e lato Cosenza. In prossimità degli imbocchi sia lato S. Lucido che lato Cosenza si riscontra la presenza di alcuni edifici in asse galleria o a distanze dall'asse delle gallerie non superiori a 20 m sottopassati con coperture di circa 10 metri sopra la calotta.

7 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [9]), si è articolata nelle seguenti fasi:

1. fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui deve essere realizzata l'opera;
2. fase di diagnosi: si esegue la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione per la determinazione delle categorie di comportamento;
3. fase di terapia: sulla base dei risultati delle precedenti fasi progettuali, si individuano le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione idonei (sezioni tipo) per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza.
4. fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa. Nel piano di monitoraggio sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso al procedere dello scavo, verificare la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le soluzioni progettuali nell'ambito delle variabilità previste.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

8 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dalle opere in sotterraneo. Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica.

8.1 Il modello geologico di riferimento

Metodi e risultati dello studio geologico sono illustrati e commentati negli elaborati specialistici di progetto. Si riporta di seguito una breve sintesi dei principali caratteri litologici e strutturali delle formazioni interessate dallo scavo delle opere in sotterraneo.

L'area di studio ricade nel settore centrale della Regione Calabria e, più precisamente, lungo il margine occidentale dell'Appennino Calabro. Tale area, strutturalmente complessa, è posta a cavallo tra due strutture tettoniche di importanza regionale: l'horst della Catena Costiera ad Ovest e il graben del Crati ad Est.

Nel dettaglio, la linea Paola-Cosenza si colloca tra il bordo occidentale dell'alta valle del Fiume Crati (gaben del Crati) e la fascia costiera tirrenica (gaben di Paola), tagliando trasversalmente la Catena Costiera (horst della catena Costiera), tra i territori comunali di Rende a Nord-Ovest e Paola e San Lucido a Sud-Est..

Dal punto di vista geologico, nell'area interessata dal progetto sono presenti 6 diverse successioni, ciascuna delle quali composte da differenti unità geologiche (Rif. [11]):

- Basamento metamorfico paleozoico: costituito da 5 unità geologiche, di cui 4 interessano il tracciato delle opere in sotterraneo per circa il 65% della lunghezza totale della galleria di linea ed il 90% della lunghezza delle interconnessioni. A partire dal margine occidentale del bacino del Crati e per la quasi totalità della catena costiera costituisce il substrato prevalente:
 - Gneiss di Cozzo Luparello (GCL): costituiti da gneiss e scisti biotitico-granatiferi di colore grigio e grigio-rossastro, a tessitura scistosa e fortemente orientata.
 - Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (EBG): costituiti da scisti con epidoto di colore verde e grigio-verdastro a tessitura scistosa, con locali intercalazioni di scisti violetti e frequenti vene di quarzo parallele alle scistosità.
 - Scisti muscovitici di Greco (MGR): costituiti da scisti muscovitici di colore grigio, marrone e grigio-verdastro spesso a composizione granitica e a tessitura scistosa e fortemente orientata. Sono presenti frequenti vene di quarzo parallele alle scistosità.
 - Filladi di San Giovanni (FSG): costituiti da scisti e scisti filladici di colore grigio e nerastro, rossastro per alterazione, a tessitura finemente scistosa con locali intercalazioni di metarenarie e metacalcari e frequenti vene di quarzo parallele alle scistosità.
 - Gneiss e Metagraniti di Pizzo del Sorco (GPS): non intercettati dal tracciato di progetto.
- Basamento cristallino paleozoico: costituito da una sola unità geologica che intercetta il tracciato della galleria di linea per circa 140 m a partire dalla pk 9+375:

- Graniti di Varco Ceraso (GVC): costituiti da graniti muscovitici-biotitici di colore grigio-chiaro, giallastro per alterazione, spesso laminati ed a grana grossolana.
- Successioni marine mioceniche: costituite da 3 unità geologiche che interessano il tracciato nella zona orientale della catena costiera a partire dalla pk 7+960 e per un lembo di limitata estensione nella zona occidentale verso S.Lucido, per un totale di circa il 14% della lunghezza della galleria di linea:
 - Conglomerati di San Fili (CFL): costituiti da conglomerati medi e grossolani di colore giallastro e bruno-rossastro debolmente cementati e stratificazione mal definita, composti da ciottoli di granito, gneiss e filladi di dimensioni molto variabili e passaggi di microconglomerati poligenici ed arenarie tenere (Tortoniano).
 - Arenarie di Paola (RPL): costituite da arenarie da fini a grossolane di colore bruno, grigio chiaro e giallastro ben stratificate e intensamente fratturate, a cemento calcareo, con frequenti livelli di conglomerati e intercalazioni di calcari arenacei, sabbie poco cementate e argille marnose (Tortoniano).
 - Argille marnose del Lavandaio (ALD): costituite da argille marnose, argille limose e argille sabbiose di colore grigio e grigio-verdastro, sottilmente stratificate, con occasionali passaggi di argille fogliettate rosso scure e livelli centimetrici di sabbie e sabbie limose. Possono essere presenti passaggi di arenarie, calcari e marne e lenti di ghiaie a matrice sabbio-limosa (Tortoniano).
- Successioni marine plio-pleistoceniche: costituite da 6 unità geologiche, di cui 4 interessano il tracciato delle opere in sotterraneo per circa il 20% della lunghezza totale della galleria di linea nel settore orientale dall'inizio del tracciato fino alla pk 7+960 circa:
 - Conglomerati di San Sisto dei Valdesi (CSS): non interessano il tracciato di progetto.
 - Argille marnose del Torrente Scumalatte (ASM): sono costituite da argille marnose, argille limose e limi argillosi di colore grigio e grigio-azzurro, con frequenti intercalazioni di sabbie limose e limi sabbiosi e locali passaggi di sabbie grossolane ed arenarie (Pliocene superiore-Pleistocene).
 - Sabbie di Mandrigli (SMD): sono costituite da sabbie e sabbie limose di colore grigio, bruno chiaro e rossastro, a stratificazione ben definita e localmente a piccoli ciottoli. Sono presenti intercalazioni di arenarie tenere e conglomerati e sottili livelli di argille limose (Pleistocene inferiore).
 - Argille limose del Torrente Settimo (ATS ed ATSa): sono costituite da argille limose e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio e grigio-azzurro, con frequenti intercalazioni di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi e locali ghiaie. Sono anche riconoscibili lenti di argilliti e scisti argillitici grigio nerastri (litofacies ATSa) (Pleistocene inferiore).
 - Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (SCM): sono costituiti da sabbie e conglomerati generalmente fini di colore bruno rossastro, con locali intercalazioni di arenarie (Pleistocene inferiore).
 - Sabbie e conglomerati di Destra Comune (SDD): non interessano il tracciato di progetto.
- Successioni marine quaternarie: costituite da 2 unità geologiche, che interessano il tracciato delle opere in sotterraneo nel settore occidentale nel tratto terminale in zona S.Lucido:

- Depositi marini terrazzati (gn): sono costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche in matrice sabbiosa e sabbio-limosa, con passaggi di sabbie e sabbie limose e limi argillo-sabbiosi (Pleistocene medio-superiore).
 - Depositi marini attuali e recenti (g2): sono costituiti ghiaie poligeniche ed eterometriche in matrice sabbiosa e sabbio-limosa, con passaggi di sabbie e sabbie limose (Olocene-attuale).
- Successioni continentali quaternarie: costituite da 4 unità geologiche, che non intercettano il tracciato di progetto delle opere in sotterraneo:
- Depositi alluvionali terrazzati (bn) (Pleistocene medio-superiore).
 - Depositi alluvionali attuali e recenti (bb) (Olocene-attuale).
 - Depositi detritico -colluviale (b2) (Olocene-attuale).
 - Riporti antropici (h) (attuale).

Dal punto di vista strutturale, l'area di studio è caratterizzata da un assetto molto articolato ed eterogeneo, dovuto essenzialmente alla complessa evoluzione tettonica subita.

I principali sistemi di faglie riconosciuti sono legati essenzialmente al sollevamento dell'horst della Catena Costiera; nei settori occidentali della catena, lungo il margine costiero, tali strutture presentano dei piani di faglia immergenti generalmente verso ovest, in direzione del graben di Paola, mentre nei settori più orientali presentano dei piani di faglia con immersione media verso est, che costituiscono un sistema a gradinata culminante con la faglia "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano".

Nella parte centrale della Catena Costiera sono presenti ulteriori strutture tettoniche che segmentano le unità cristallino-metamorfiche in grossi blocchi strutturali. Tali sistemi presentano in linea di massima un orientamento circa N-S, con piani ad alto angolo mediamente immergenti verso i settori esterni della catena, ma non mancano strutture tettoniche trasversali caratterizzate da cinematismi sia diretti che trascorrenti.

I settori collinari del Bacino del Crati sono caratterizzati, essenzialmente, da strutture tettoniche di origine distensiva, particolarmente evidenti nella porzione più occidentale dell'area, a ridosso della Catena Costiera. Tali strutture influenzano localmente l'assetto morfologico dell'area anche se, a causa della forte erodibilità dei litotipi affioranti, non si rileva una relazione diretta tra forme del rilievo e lineamenti tettonici come per le aree di affioramento dei terreni cristallino-metamorfici.

In generale, il tracciato delle opere in sotterraneo è dunque interessato dalla presenza di numerose faglie (Rif. [11]). Per quanto riguarda nel dettaglio il tracciato della galleria di linea, si possono individuare i seguenti lineamenti tettonici procedendo da Cosenza verso Paola:

- alla pk 8+458 il contatto tra il basamento cristallino-metamorfico (GCL) e l'unità geologica RPL avviene attraverso una faglia diretta ad asse N-S attualmente attiva appartenente all'allineamento "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano";
- alle pk 8+860 e 9+193 l'unità GCL è ribassata da due faglie dirette immergenti a SE e NW;
- alla pk 9+518 il contatto tra GVC ed ALD si verifica tramite una faglia diretta orientata NNE-SSW e ribassa i settori più occidentali;

- alla pk 10+689 il contatto tra EBG ed ALD si verifica tramite una importante faglia diretta attualmente attiva ad asse NNW-SSE appartenente all'allineamento "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano" che ribassa i settori orientali;
- tra le pk 10+039 e 11+012 sono presenti faglie dirette orientate NE-SW che ribassano l'intera sequenza stratigrafica e causano negli EBG ampie fasce cataclasate;
- tra le pk 12+290 e 12+427 il passaggio tra EBG ed FSG avviene mediante una faglia diretta che genera un'ampia fascia cataclasata ed un sovrascorrimento tra le pk 13+022 e 13+337 con annessa fascia disturbata;
- alla pk 14+236 il contatto tra FSG ed EBG si verifica tramite una importante faglia diretta orientata NNE-SSW che provoca una fascia cataclasata;
- tra le pk 14+236 e 16+196 l'unità EBG è ribassata una serie di faglie dirette immergenti verso E e W;
- alla pk 16+196 il contatto tra EBG ed FSG si verifica tramite una faglia diretta orientata N-S che provoca una fascia cataclasata;
- alla pk 17+051 il contatto tra FSG ed MGR si verifica tramite una importante faglia diretta orientata NNE-SSW;
- alle pk 17+162 e 17+482 l'unità MGR è caratterizzata dalla presenza di 2 faglie dirette immergenti a ENE e WSW;
- alla pk 18+350 il passaggio da MGR ed FSG avviene tramite una importante faglia diretta attualmente attiva orientata NNW-SSE che genera una intensa area ed estesa area cataclasata tra le pk 18+324 e 18+519;
- alla pk 17+051 il contatto tra ALD e GCL si verifica tramite una faglia diretta orientata NNW-SSE, che ribassa i settori occidentali e alla pk 19+190 il contatto tra GCL e CFL avviene tramite un sovrascorrimento. Tutta la fascia compresa tra la pk 18+159 e 19+206 è interessata da elevato tasso di disturbo e fratturazione;
- alla pk 19+030 l'unità GCL è ribassata da una faglia diretta immergente a WSW.

Dal punto di vista geomorfologico, la morfologia superficiale del territorio in esame risulta fortemente condizionata sia dalle caratteristiche litologiche dei litotipi affioranti che dal particolare assetto geologico-strutturale appena descritto. L'area è interessata da una diffusa instabilità dei versanti, ma i dissesti identificati non interferiscono con le gallerie, né con le opere di imbocco (Rif. [11]).

8.1.1 Il modello idrogeologico

Sono stati individuati 7 complessi idrogeologici, distinti sulla base delle differenti caratteristiche di permeabilità e tipo di circolazione idrica che li caratterizza (Rif. [11]):

- Complesso metamorfico-scistoso (GCL, EBG, MGR, FSG, GPS): caratterizzato da permeabilità per fessurazione da molto bassa a media, sede di falde idriche di scarsa rilevanza frazionate localizzate nelle zone di maggiore alterazione dell'ammasso. È possibile la presenza di falde in pressione nelle zone ove l'assetto strutturale favorisce il confinamento latero-verticale delle zone più fratturate.
- Complesso granitico porfirítico (GVC): caratterizzato da permeabilità per porosità e fessurazione da molto bassa a bassa, sede di falde idriche di modesta rilevanza frazionate localizzate nelle zone di maggiore alterazione dell'ammasso.
- Complesso arenaceo-conglomeratico (CFL, RPL, CSS): caratterizzato da permeabilità per porosità e fessurazione da bassa a media, sede di falde idriche di scarsa rilevanza a causa del ridotto spessore dei depositi ed il tamponamento dato dai termini pelitici del substrato.
- Complesso argilloso-marnoso (ALD, ASM, ATS, ATSa): caratterizzato da permeabilità per porosità e fessurazione da impermeabile a bassa, i suoi litotipi costituiscono gli aquicludi per i corpi idrogeologici limitrofi e possono contenere falde confinate nei livelli più grossolani e permeabile.
- Complesso sabbioso-arenaceo (SMD, SCM, SDC): caratterizzato da permeabilità per porosità e fessurazione da bassa a media, i suoi litotipi costituiscono acquiferi di discreta trasmissività, sede di falde idriche di modesta rilevanza, generalmente tamponate dai termini pelitici del substrato.
- Complesso alluvionale e marino (gn, g2, bn, bb): caratterizzato da permeabilità per porosità da bassa ad alta, i suoi litotipi costituiscono acquiferi di buona trasmissività, sede di falde idriche di discreta rilevanza,
- Complesso detritico-colluviale (b2): caratterizzato da permeabilità per porosità da bassa a media, costituisce un acquifero di scarsa trasmissività, sede di falde idriche stagionali influenzate dal regime meteorico.

Sono disponibili misure puntuali nei sondaggi attrezzati con piezometri relativi alle campagne di indagini Italferr 2012, 2021 e 2022, che coprono rispettivamente il periodo che va da giugno a luglio 2012 e da giugno 2021 a giugno 2022, sulla base delle quali è stata ricostruita una ipotesi sul livello di falda per le porzioni di tracciato orientali e occidentali, in cui sono state realizzate le perforazioni (Rif. [11]).

Per quanto riguarda la porzione centrale del tracciato di galleria (da pk 4+850 a 18+900), i dati attualmente disponibili relativi alle condizioni idrauliche attese derivano dal ritorno di esperienza della costruzione della galleria Santomarco esistente (Rif. [33]) e dal rilievo eseguito per l'analisi dello stato di fatto all'interno della stessa (Rif. [67]).

Come infatti evidenziato dai dati idrogeologici provenienti dalla realizzazione della galleria esistente (Rif. [33]), lungo l'asse del tracciato furono riscontrate venute d'acqua, localizzate in particolare nei seguenti settori:

- lato Cosenza da inizio galleria alla pk 4+325 fino alla pk 8+500, in cui l'opera attraversa i depositi sabbioso-conglomeratici SCM, le argille limose ATS, gli scisti argillitici ATSa, le sabbie SMD, le argille marnose ASM, le arenarie RPL, gli gneiss GCL ed i graniti GVC. In questo tratto sono state riscontrate venute d'acque fino a 50 l/s (Rif. [33]) legate all'intercettazione di falde presenti nei depositi sabbiosi e conglomeratici, di falde sospese formati nei livelli sabbiosi presenti all'interno

delle formazioni argillose con moti di filtrazione e venute d'acqua legate all'intensa fratturazione degli ammassi rocciosi incontrati;

- nella zona tettonizzata e cataclasata individuata negli scisti EBG tra la pk 10+600 e 11+900 circa;
- nella zona tettonizzata localizzata al contatto tra le filladi FSG e gli scisti MGR tra le pk 16+800 e 17+150 circa;
- lato Paola dalla pk 18+300 a fine tracciato, in cui l'opera attraversa una zona intensamente fratturata e tettonizzata nelle unità FSG, ALD, GCL, CFL e nei depositi marini dove sia i dati storici che le risultanze delle indagini geotecniche eseguite mettono in evidenza la presenza di venute d'acqua fino a 10 l/s (Rif. [33]) e di una falda in pressione a circa 42,5 m da p.c. incontrata durante l'esecuzione del sondaggio SGN05 di portata pari a circa 3 l/s.

Tale dato relativo alle venute d'acqua in fase di scavo della galleria Santomarco esistente risulta sostanzialmente in linea con le evidenze derivanti dal rilievo condotto all'interno della stessa.

Il rilievo (Rif. [67]) mostra infatti che le tratte in cui si riscontra la maggiore estensione di macchie di umidità sul rivestimento risultano quelle della prima parte di galleria lato Paola, dall'imbocco fino alla progressiva assoluta della galleria esistente 4+500 circa, corrispondente al passaggio tra Filladi di S. Giovanni, FSG, e Scisti epidotici, EBG, con copertura di circa 800m.

Procedendo verso Cosenza si osserva una netta riduzione (qualche evidenza più limitata nel successivo tratto all'interno degli Scisti epidotici, EBG) e poi una sostanziale assenza di aree umide sul rivestimento in tutta la restante tratta alle massime coperture all'interno delle formazioni del Basamento Metamorfico anche in corrispondenza delle zone di faglia.

La presenza estremamente ridotta di macchie di umidità sul rivestimento prosegue anche oltre le formazioni del Basamento Metamorfico fino allo sbocco della galleria lato Cosenza con evidenze più importanti (comunque inferiori a quelle presenti lato Paola) circoscritte a tratte limitate (tra le pk assolute 12+450 e 12+800 tra 13+800 e 14+100 e tra 15+900 e 16+200) corrispondenti a tratte di passaggio litologico (rispettivamente tra le Arenarie di Paola, RPL, e le Argille marnose del Torrente Scumalatte, ASM, tra queste ultime e le Sabbie di Mandrigli, SMD, e all'interno delle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola, SCM, in prossimità dell'imbocco lato Cosenza).

Evidenze di assenza o, comunque di circolazione idrica sotterranea estremamente ridotta nella tratta centrale della galleria all'interno delle formazioni del Basamento Metamorfico alle massime coperture risultano anche dai due sondaggi, SGN10_gall nelle Filladi di San Giovanni, FSG, e SGN12_gall negli scisti epidotici, EBG eseguiti dalla galleria esistente nell'ambito della presente fase di approfondimento progettuale (Rif. [11]) in corrispondenza delle chilometriche del binario pari di progetto rispettivamente 13+900 e 11+700 circa.

Tuttavia, riguardo il carico idraulico, tutte le informazioni al momento a disposizione non sono tali da poterne definire l'entità lungo l'intero tracciato della galleria.

A riguardo è opportuno evidenziare che la galleria esistente, realizzata in parte in tradizionale e in parte in meccanizzato con conci privi di guarnizioni idrauliche, ha certamente prodotto nel corso del tempo un nuovo assetto del regime idraulico in sotterraneo. È ragionevole quindi ipotizzare che la nuova galleria in progetto, posta ad una distanza di soli 100 m, possa beneficiare degli effetti della galleria esistente sul regime idrico sotterraneo sia in termini di venute d'acqua in fase di scavo, che di carico idraulico sui rivestimenti.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Valutazioni analoghe possono essere fatte anche con riferimento all'eventuale impatto delle opere in progetto sui punti d'acqua presenti lungo il tracciato. Per quanto detto sopra infatti, gli effetti di una eventuale interferenza si sarebbero già dovuti riscontrare con la realizzazione della galleria esistente. Ciò premesso, riguardo l'impatto sui punti d'acqua si rimanda alle considerazioni riportate nello specifico studio geologico.

8.1.2 Condizioni di sismicità

Il settore in cui si sviluppa l'opera in progetto è caratterizzato da una intensa attività sismica e dalla presenza di numerose strutture sismogenetiche (Rif. [11]).

Esso ricade infatti nella zona di subduzione denominata “*Calabrian Arc*” (ITSD001) ed è caratterizzato dalla presenza della sorgente sismogenetica composita denominata “*Crati Valley*” (ITCS015, nel settore orientale), composta da più sorgenti sismogenetiche individuali, e dalla sorgente sismogenetica attualmente in fase di studio denominata “*Catena Costiera*” (ITDS030, nel settore centrale). Tali strutture tettoniche sono caratterizzate da una magnitudo M_w massima attesa variabile tra 6.0 e 7.1, stimata in base ai dati storici di sismicità e studi specialistici sulla tettonica regionale.

Secondo l'attuale Zonazione sismogenetica nazionale, la quasi totalità del tracciato ad eccezione della porzione occidentale in zona Paola-S.Lucido è localizzata nella zona 929 “*Calabria Tirrenica*”, nella quale sono attesi terremoti con profondità medio-elevata (8-12 km) e magnitudo massima 7.3, legati a meccanismi di fagliazione prevalentemente normali (Rif. [11]). Dal punto di vista della pericolosità sismica, i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza dal 10% in 50 anni e periodo di ritorno 475 anni) sono compresi nell'intervallo 0.150-0.275 a_g .

Secondo il database del progetto ITHACA, il tracciato delle opere in sotterraneo intercetta numerosi lineamenti tettonici e faglie, alcune delle quali attive e capaci (potenzialmente in grado di generare deformazioni in superficie). A riguardo si segnala che è attualmente in corso uno studio di approfondimento, con l'aiuto della Protezione Civile, allo scopo di verificare se le suddette faglie possiedono tutti gli elementi geologico-strutturali per poter essere catalogate come faglie capaci. Le risultanze di tale studio saranno evidenziate nella successiva fase progettuale di PFTE per gara. Per ulteriori dettagli in merito si rimanda agli specifici elaborati di progetto Rif. [11]).

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

8.2 Indagini geotecniche

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/rocce interessati dalle opere in sotterraneo, adeguato al livello di progettazione in oggetto.

Ai fini della modellazione e della caratterizzazione geotecnica delle unità che interessano le opere in sotterraneo, sono stati utilizzati i dati relativi alle campagne geotecniche di seguito elencate:

1. Campagna di indagini RFI 2015 “Attività di indagini in situ, in laboratorio e di rilievo geometrico-strutturale finalizzate all’individuazione dei parametri del sottosuolo, delle caratteristiche geometriche e meccaniche occorrenti per l’esecuzione delle verifiche di vulnerabilità sismica su opere d’arte e fabbricati ai sensi dell’OPCM 3274/2003 e S.M.I. nelle Direzioni Territoriali Produzione di Bari, Bologna, Reggio Calabria, Trieste”;
2. Campagna di indagini RFI 2017-2018 “Attività di indagini in situ, in laboratorio e di rilievo geometrico-strutturale finalizzate all’individuazione dei parametri del sottosuolo, delle caratteristiche geometriche e meccaniche occorrenti per l’esecuzione delle verifiche di vulnerabilità sismica su opere d’arte e fabbricati ai sensi dell’OPCM 3274/2003 e S.M.I. nelle Direzioni Territoriali Produzione di Reggio Calabria”;
3. Campagna di indagini Italferr 2012 eseguita per il progetto di Raddoppio della tratta bivio S.Antonello/Castiglione Cosentino ;
4. Campagna di indagini Italferr 2021 eseguita per il PFTE Raddoppio Cosenza - Paola / S. Lucido;
5. Campagna di indagini integrative Italferr 2022 eseguita per l’aggiornamento del PFTE Raddoppio Cosenza - Paola / S. Lucido.

Durante la campagna di indagini RFI 2015 sono stati eseguiti (Rif. [11]):

- n. 6 sondaggi a carotaggio continuo di profondità pari a 30 m dal piano campagna;
- n. 37 prove SPT;
- n. 6 prove sismiche di tipo Down-Hole.
- Durante la campagna di indagini RFI 2017-2018 sono stati eseguiti (Rif. [11]):
- n. 9 sondaggi a carotaggio continuo di profondità variabile tra 35 e 40 m dal piano campagna;
- n. 30 prove SPT;
- n. 9 prove sismiche di tipo Down-Hole.

Durante la campagna di indagini Italferr 2012 sono stati eseguiti (Rif. [11]):

- n. 6 sondaggi a carotaggio continuo di profondità variabili tra 30 e 100 m dal piano campagna attrezzati tutti con piezometro;
- n. 21 prove SPT;

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

- n. 10 prove di permeabilità di tipo Lefranc;
- n. 2 prove pressiometriche Menard;
- n. 1 prova dilatometrica.

Durante la campagna di indagini Italferr 2021 sono stati eseguiti (Rif. [27], Rif. [29] e Rif. [12]):

- n. 14 sondaggi a carotaggio continuo di profondità variabili tra 30 e 125 m dal piano campagna attrezzati tutti con piezometro;
- n. 83 prove SPT;
- n. 36 prove di permeabilità di tipo Lefranc;
- n. 26 prove pressiometriche Menard;
- n. 6 prove dilatometriche;
- n. 4 prospezioni sismiche di tipo MASW;
- n. 4 prospezioni sismiche di tipo HVSR;
- n. 7 stendimenti di sismica a rifrazione;
- n. 3 prove sismiche di tipo Down-Hole;
- n. 10 stop geostrutturali.

Durante la campagna di indagini Italferr 2022 sono stati eseguiti (Rif. [27], Rif. [29] e Rif. [12]):

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo di profondità variabili tra 28 e 40 m dal piano campagna;
- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti dall'interno della Galleria Santomarco esistente di estensione pari a 17 m;
- n. 18 prove dilatometriche.

Il numero totale dei campioni indisturbati/litoidi analizzati nella tratta di interesse è di 129 (Rif. [28]).

Sui campioni indisturbati sono state eseguite le seguenti prove meccaniche:

- n. 46 prove di taglio diretto (TD);
- n. 13 prove edometriche;
- n. 3 prove di rigonfiamento ISP;
- n. 9 prove di compressione triassiale consolidata non drenata di tipo CIU;
- n. 8 prove di compressione triassiale consolidata non drenata di tipo UU;
- n. 1 prova di compressione triassiale consolidata drenata CID;
- n. 2 prove di espansione libera ELL.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Sui campioni litoidi:

- n. 13 prova di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni;
- n. 3 prove di compressione monoassiale semplice;
- n. 13 prove di velocità ultrasonica;
- n. 27 point load test.
- n. 3 prove di trazione indiretta.

Per ulteriori dettagli relativi alle campagne di indagini si rimanda al documento “Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica” (Rif. [11]). L’ubicazione dei sondaggi ed il modello geotecnico sono rappresentati negli elaborati specifici “Profilo geotecnico” (da Rif. [51] a Rif. [53]).

8.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

Sono illustrati le principali caratteristiche delle formazioni presenti lungo il tracciato, definite sulla base dei risultati delle indagini al momento disponibili.

8.3.1 Depositi marini (g2 e gn)

I depositi marini attuali e recenti (g2) e terrazzati (gn) sono composti da ghiaie in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa con passaggi di sabbie e sabbie limose, lenti di conglomerati ed intercalazioni di limi argillo-sabbiosi (Figura 13).



Figura 13 g2 e gn nel foro di sondaggio SGN07 tra 0 e 10 m da p.c.

Le analisi granulometriche eseguite su 16 campioni rimaneggiati e indisturbati consentono di classificarli come ghiaia sabbiosa, sabbia limo-argillosa e limo argillo-sabbioso (AGI 1977).

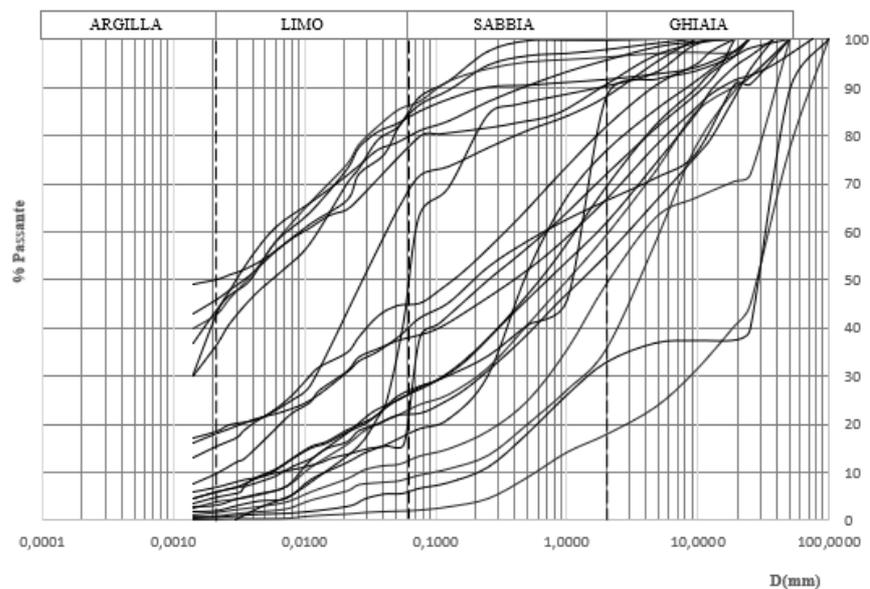


Figura 14 Analisi granulometrica

Proprietà fisiche

Sono stati analizzati 7 campioni indisturbati prelevati nella frazione coesiva della formazione e 12 campioni rimaneggiati prelevati tra 4,4 e 39,3 m di profondità da piano campagna. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un primo quadro delle principali grandezze fisiche e meccaniche della formazione indagata.

Il peso dell'unità di volume varia tra 17,7 kN/m³ e 21,1 kN/m³ ed il peso di volume del materiale secco tra 13 kN/m³ e 19,1 kN/m³ (Figura 15). Il peso specifico dei granuli valutato su tutti i campioni varia tra 25,8 kN/m³ e 26,6 kN/m³.

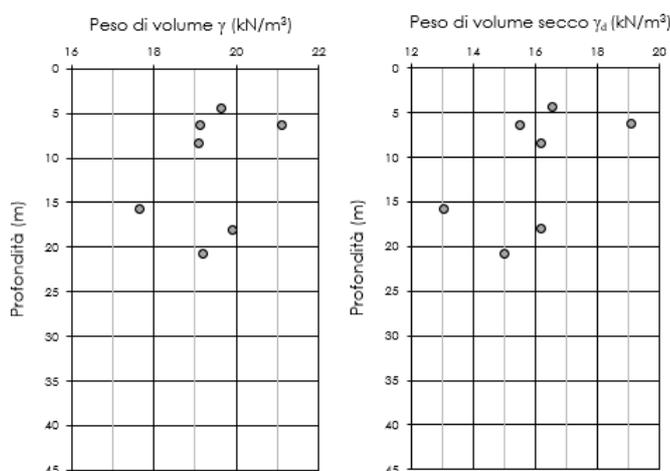


Figura 15 Peso dell'unità di volume e peso del materiale secco

I limiti di Atterberg (Figura 16), valutati sulla frazione fine della formazione, sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

- Limite plastico, w_p : 21% ÷ 36%; Limite liquido, w_L : 40% ÷ 61%; Indice di Plasticità, I_p : 10% ÷ 40%.

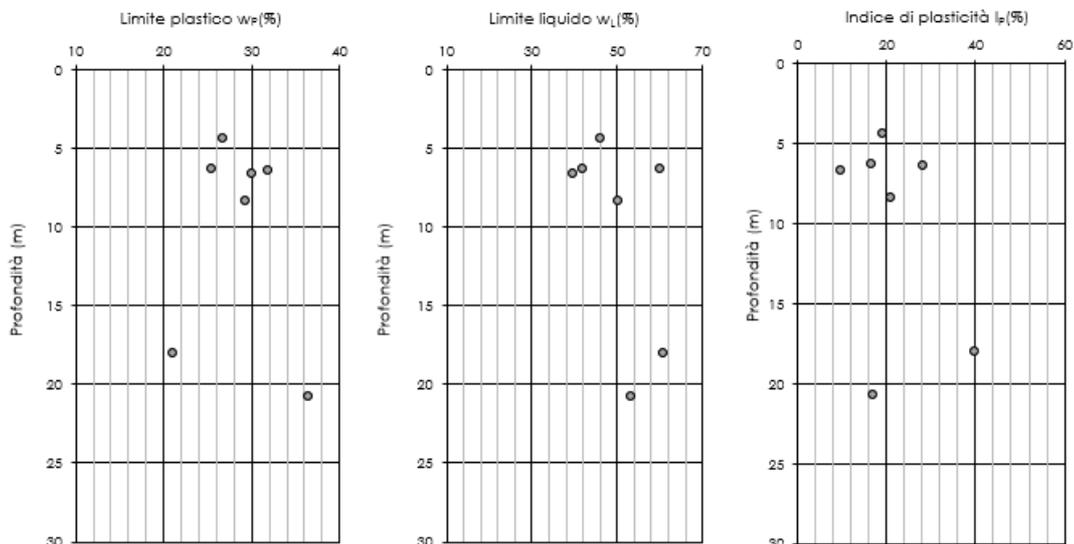


Figura 16 Limiti di Atterberg e indice di plasticità

Il contenuto d'acqua naturale w risulta compreso tra il 10,4% ed il 34,8%, con un indice di consistenza I_c variabile tra 0,9 e 2,1 (Figura 17).

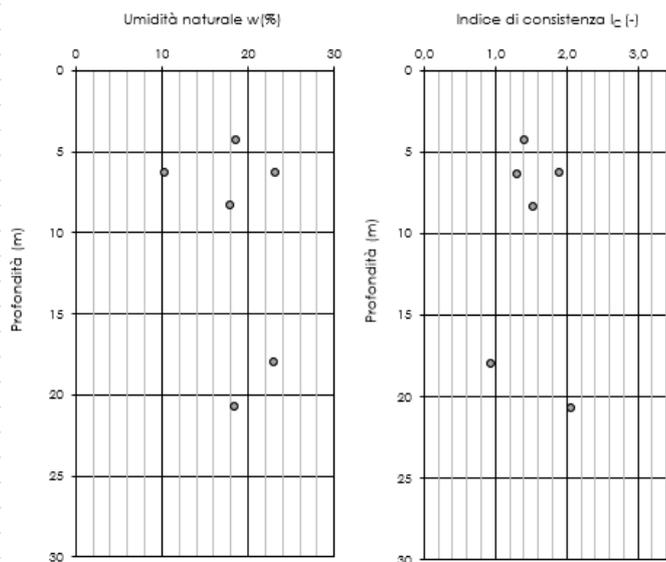


Figura 17 Umidità naturale w ed indice di consistenza I_c

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche delle formazioni g_2 e g_n (Tabella 3).

Tabella 3 Caratteristiche fisiche g_2 e g_n

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	γ_d	γ_s	w	w_p	w_L	I_p	I_c
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)
SGN07	CI1	4,4	19,6	16,5	26,6	18,6	26,7	45,9	19,2	1,4
SGN07	CI2	8,4	19,1	16,2	26,6	18	29,4	50,4	21	1,5
SGN07	SPT2	6,6			26,4		30,1	39,8	9,7	
SV05	CR3	21,3			26,0					
SV05	CR4	29,3			26,1					
SV05	CR5	39,3			26,0					
SV06	CI1	6,4	19,1	15,5	26,6	23,2	31,9	60	28,1	1,3
BH01	CR3	10,7								
BH4	CR3	18,7								
BH2	CR1	8,2								
BH2	CR4	21,6								
BH3	CR2	16,8								
S1_198+208	CI1	18,0	19,9	16,2	26,3	23,1	21,1	61	39,9	0,9
S1_198+208	CI2	20,8	19,2	15,0	26,4	18,4	36,4	53,4	17	2,1

S1_197+975	CI1	15,8	17,7	13,0	26,2	34,8				
SV04	CI1	6,3	21,1	19,1	26,1	10,4	25,4	42,1	16,7	1,9
SV05	CR1	7,3			25,8					
SV05	CR2	12,8			26,1					
SV07	SPT2	6,3	19,6	16,5	26,1	18,6	26,7	45,9	19,2	1,4

Proprietà meccaniche

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

Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati elaborati i risultati di 23 prove SPT e 6 prove di taglio diretto eseguite sulla frazione coesiva.

I risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT sono stati elaborati in accordo alle relazioni empiriche dei terreni granulari (da Rif. [37] a Rif. [45]).

In Figura 18 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 ϕ' , definito utilizzando le correlazioni empiriche.

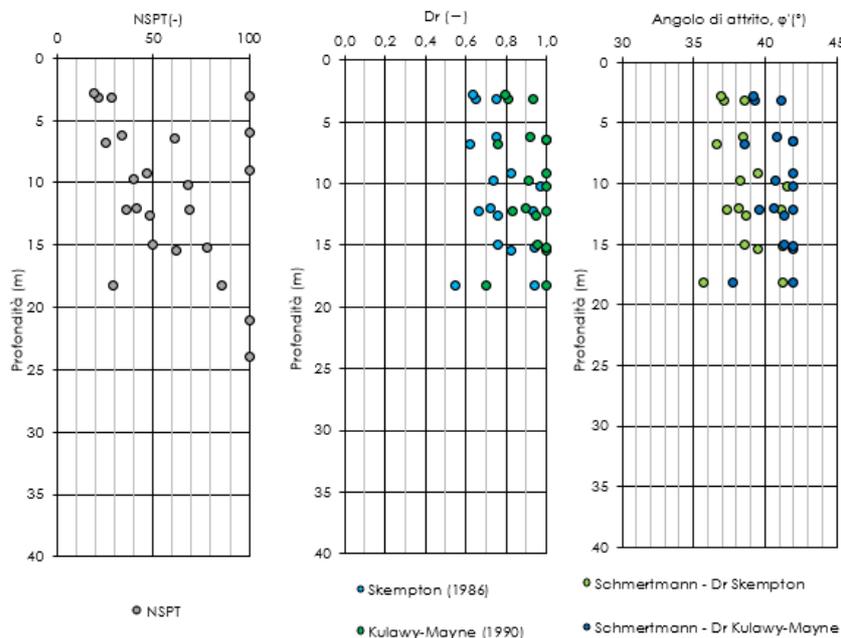


Figura 18 N_{SPT} , densità relativa e angolo di attrito da prove SPT

L'elaborazione dei risultati delle prove in situ definisce un angolo di attrito compreso tra 35° e 42° . La densità relativa risulta compresa tra 0,5 e 1,0.

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove relative ad ogni verticale di indagine (quando la prova è andata a rifiuto è stato attribuito il valore 100) (Tabella 4).

Tabella 4 Numero di colpi N_{SPT}

Sondaggio	z (m)	N_{SPT}
SGN07	12,2	36
SVI04	3,2	28
SVI04	6,8	25
SVI04	9,7	40
SVI04	12,6	48
SVI04	15,4	62
SVI05	3,2	21
SVI05	6,5	61
SVI05	10,2	68
SVI05	12,2	69
SVI05	15,2	78
SVI05	18,2	86
SVI05	21	100
SVI05	24	100
SVI07	2,8	19
SVI07	6,2	34
SVI07	9,2	47
S1_198+208	3	100
S1_198+208	6	100
S1_198+208	9	100
S1_198+208	12	41
S1_198+208	15	50
S1_198+208	18,2	29

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 19) restituisce un valore di coesione c' pari a circa 25 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a circa 30°. Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 4,4 e 20,8 m dal piano campagna.

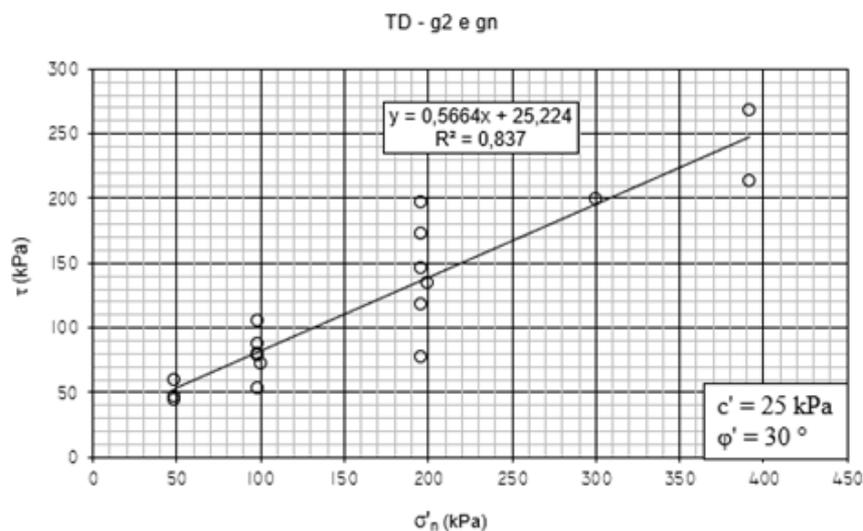


Figura 19 Involuppo di resistenza della prova di taglio diretto (TD)

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove di taglio diretto (Tabella 5).

Tabella 5 Valori a rottura delle prove TD

Prove di taglio diretto			
Sondaggio e campione	Profondità da p.c.	σ'_n	τ
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)
SGN07-CI1	4,4	49	59,7
		98	105,1
		196	196,5
SGN07-CI2	8,4	98	79,4
		196	117,8
		392	213,3
SVI06-CI1	6,4	49	44,4
		98	52,8
		196	77,5
S1_198+208-CI2	20,8	100	72
		200	135
		300	200
S1_197+975-CI1	15,8	98	78,6
		196	146,4
		392	268
SVI04-CI1	6,3	49	47,2
		98	87,5
		196	172,5

Per determinare le caratteristiche di deformabilità e compressibilità sono stati elaborati i risultati di 23 prove SPT e 4 prove geofisiche (2 MASW e 2 Down-Hole).

La Figura 20 mostra gli andamenti con la profondità del modulo elastico E' e del modulo di taglio iniziale G_0 ottenuti da prove SPT. I parametri, che mostrano un aumento con la profondità, risultano rispettivamente compresi negli intervalli 16÷100 MPa e 130÷500 MPa.

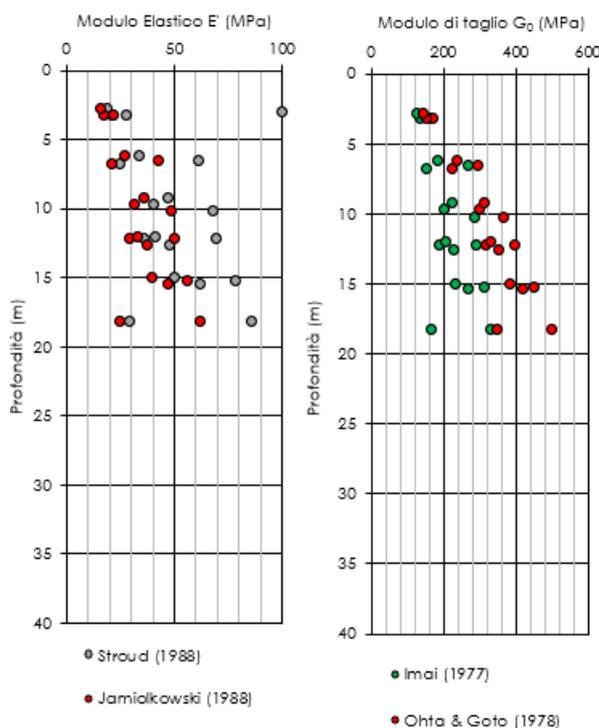


Figura 20 Modulo elastico E' e modulo di taglio G_0 da prove SPT

Dai risultati delle 4 prove geofisiche si sono ricavati il modulo di rigidezza a taglio G_0 ed il modulo di rigidezza iniziali. Le prove sono state poi rielaborate considerando un valore del rapporto E/E_0 pari a 0,1 in funzione del livello deformativo atteso per ricavare un modulo di rigidezza operativo (Figura 21). I risultati ottenuti mostrano un incremento della rigidezza con la profondità.

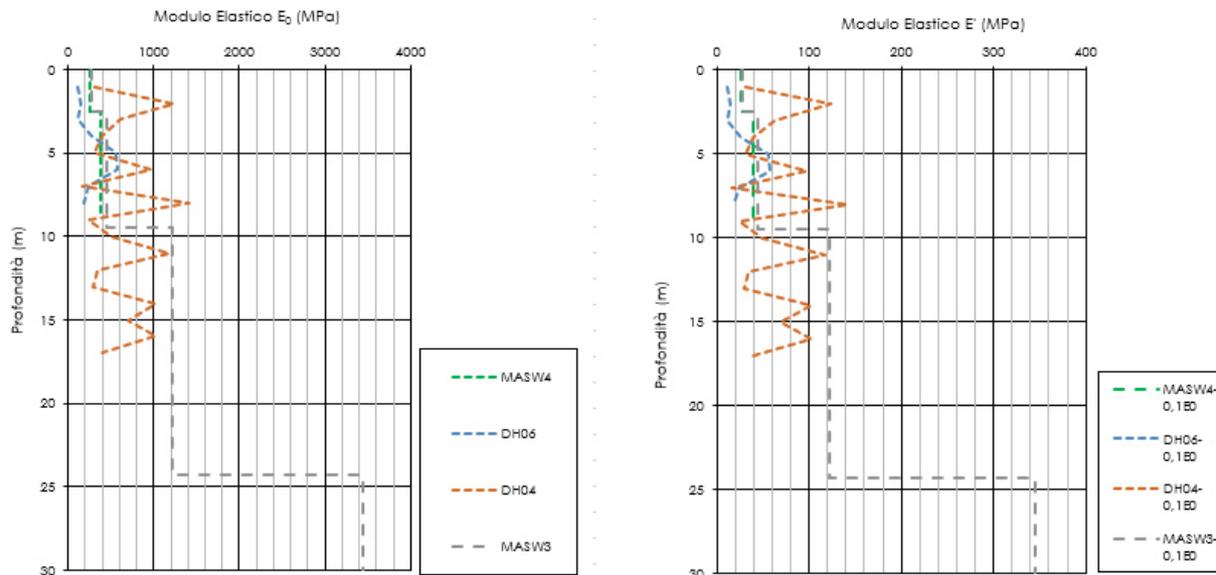


Figura 21 Modulo di rigidità iniziali e modulo operativo da prove geofisiche

Sono state eseguite 6 prove di permeabilità di tipo Lefranc a profondità variabili tra 5,5 e 33,8 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità k ottenuto varia da 10^{-5} a 10^{-7} m/s (Figura 22).

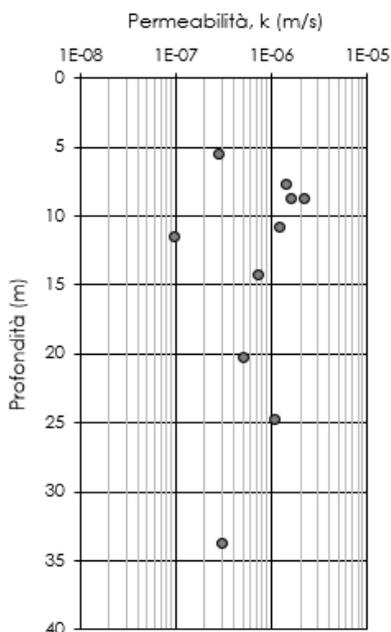


Figura 22 Coefficiente di permeabilità k da prove Lefranc

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove Lefranc relative ad ogni sondaggio (Tabella 6).

Tabella 6 Prove di permeabilità

Prova	sondaggio	profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	SVI04	10,8	1,20E-06
Lefranc	SVI05	20,3	5,10E-07
Lefranc	SVI05	33,8	3,10E-07
Lefranc	SVI07	8,7	2,20E-06
Lefranc	SGN07	11,5	9,70E-08
Lefranc	BH01	8,7	1,60E-06
Lefranc	BH02	14,2	7,20E-07
Lefranc	BH02	24,7	1,10E-06
Lefranc	SVI05	7,7	1,40E-06
Lefranc	SGN07	5,5	2,80E-07

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 le formazioni g2 e gn. La Tabella 7 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro; si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 7 Sintesi parametri geotecnici g2 e gn

	Min	Max	
γ	17,7	21,1	(kN/m ³)
γ_d	13	19,1	(kN/m ³)
γ_s	25,8	26,6	(kN/m ³)
w	10,4	34,8	(%)
w _L	40	61	(%)
w _P	21	36	(%)
I _P	10	40	(%)
I _C	0,9	2,1	(-)
ϕ' _{TD}	30		(°)
c' _{TD}	25		(kPa)
ϕ' _{SPT}	35	42	(°)
E _{SPT}	16	100	(MPa)
G _{0, SPT}	130	500	(MPa)
k	9,7E-08	2,2E-06	(m/s)

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

8.3.2 Argille limose del Torrente Settimo (ATS ed ATSa)

La formazione è composta da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio e grigio-azzurro, con intercalazioni millimetriche e centimetriche di sabbie e sabbie limose (Figura 23). Al suo interno possono essere presenti locali lenti di argilliti fogliettate e scisti argillitici (Litofacies ATSa, da Rif. [11]).



Figura 23 ATS nel foro di sondaggio SGN08 tra 10 e 20 m da p.c.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati mettono in evidenza l'eterogeneità della formazione, che presenta un fuso granulometrico piuttosto ampio. I campioni sono mediamente classificabili come limo argilloso sabbioso. Sono presenti 5 campioni prelevati in corrispondenza di intercalazioni sabbiose che sono classificabili come sabbia limosa (Figura 24, AGI 1977).

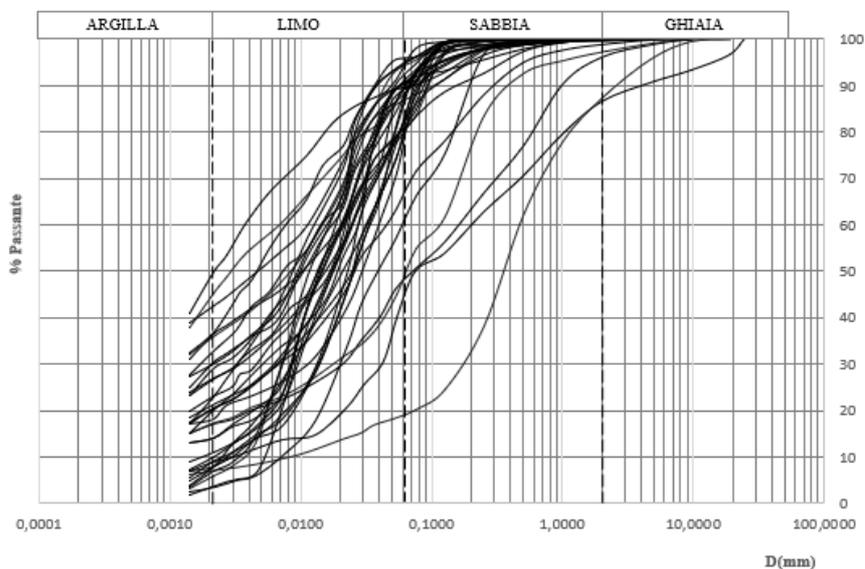


Figura 24 Analisi granulometrica

Proprietà fisiche

Sono stati analizzati 23 campioni indisturbati e 13 campioni rimaneggiati prelevati tra 5,8 e 47,7 m di profondità da p.c.. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un primo quadro delle principali grandezze fisiche e meccaniche della formazione indagata.

Il peso dell'unità di volume varia tra 19 kN/m^3 e $20,6 \text{ kN/m}^3$ ed il peso del materiale secco varia tra $15,8 \text{ kN/m}^3$ e $17,7 \text{ kN/m}^3$. (Figura 27). Il peso specifico dei granuli valutato su tutti i campioni varia tra $26,1 \text{ kN/m}^3$ e $26,6 \text{ kN/m}^3$.

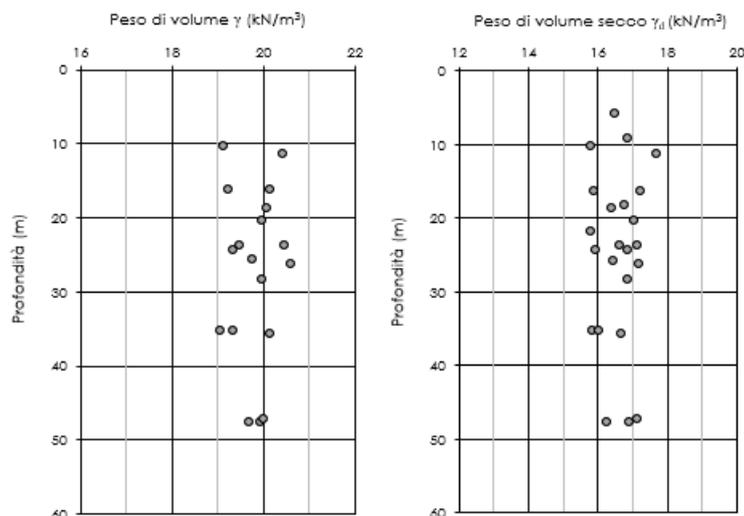


Figura 25 Peso dell'unità di volume e del materiale secco

I limiti di Atterberg (Figura 26), valutati sulla frazione fine della formazione, sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

- Limite plastico, w_p : $10\% \div 29\%$
- Limite liquido, w_L : $29\% \div 59\%$
- Indice di Plasticità, I_p : $11\% \div 33\%$.

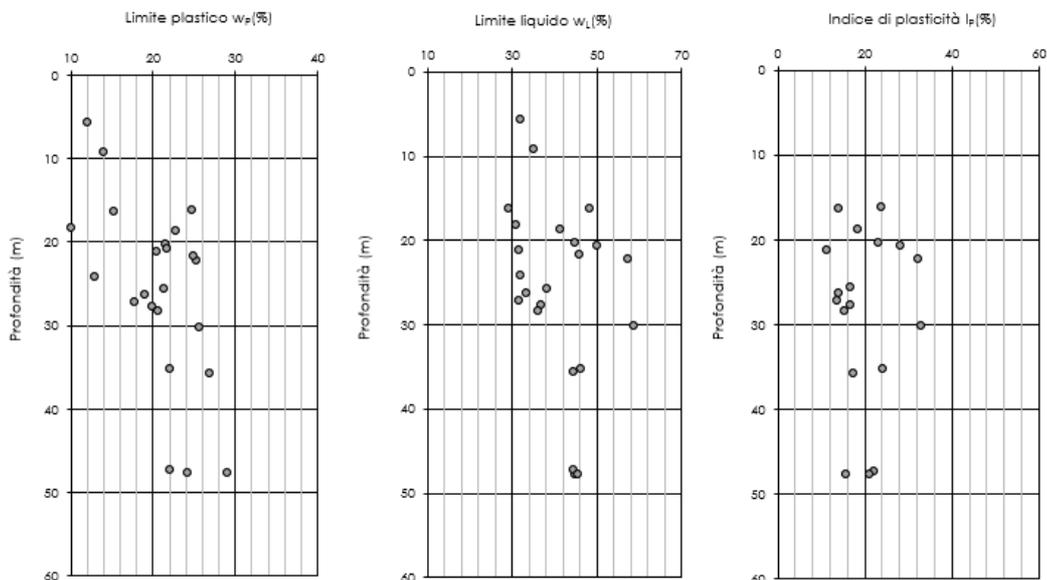


Figura 26 Limiti di Atterberg e indice di plasticità

Il contenuto d'acqua naturale w risulta compreso tra 15,5% ed il 22,4%, con un indice di consistenza I_c variabile tra 0,6 e 1,7. L'indice di attività varia tra 0,3 e 1,0 (Figura 27).

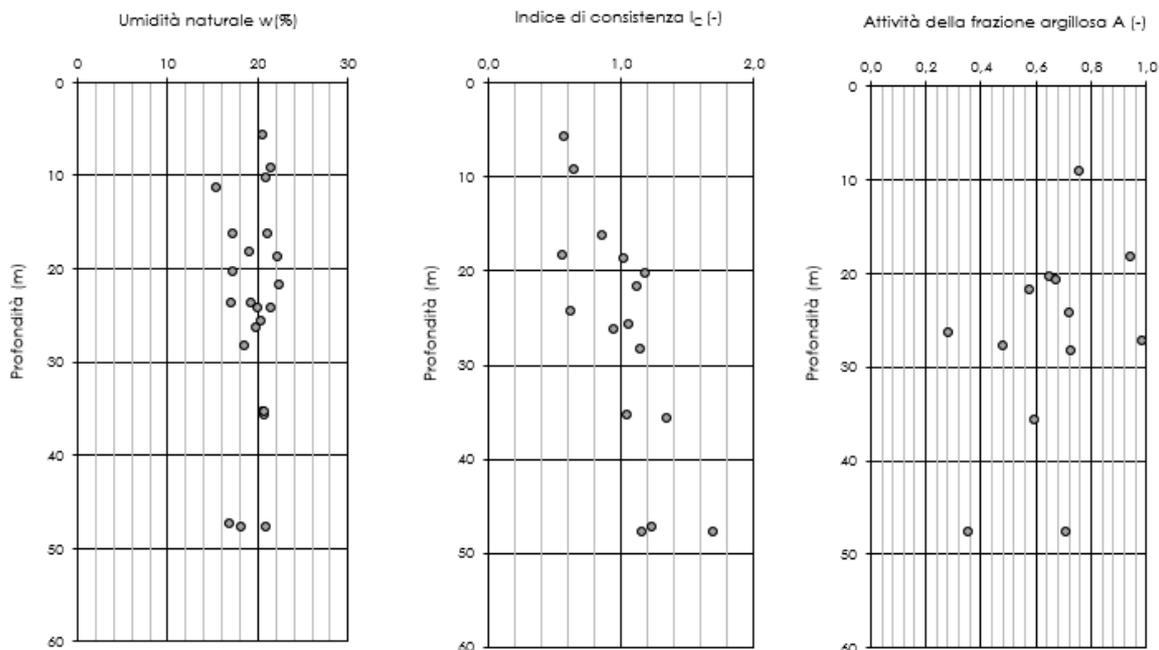


Figura 27 Umidità naturale w , indice di consistenza I_c ed attività A

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche della formazione ATS (Tabella 8).

Tabella 8 Caratteristiche fisiche ATS

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	γ_d	γ_s	w	w_p	w_L	I_p	I_c	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
SGN01	CI2	11,3	20,4	17,7	26,3	15,5					
SGN01	CI3	16,3	20,2	17,2	26,4	17,2	15,2	29,3	14,1	0,9	
SGN01	CI4	20,3	20,0	17,0	26,6	17,2	21,6	44,8	23,2	1,2	0,6
SGN01	CI5	26,3	20,6	17,2	26,7	19,9	19,1	33,2	14,1	0,9	0,3
SVI01	CI3	23,7			26,5	19,3					
SVI01	CI4	35,3			26,3	20,5					
SVI01	CI5	47,7			26,6	18,1	29,1	44,9	15,8	1,7	0,4
SVI01	SPT6	20,7			26,7		21,7	50	28,3	1,8	0,7
SVI01	SPT8	27,7	20,5	17,2	26,6		19,9	36,7	16,8	2,2	0,5
SVI01	SPT10	33,9	19,1	15,8	26,1						
SGN08	CI2	10,3	20,0	16,9	26,5	21					
SGN08	CI3	16,3			26,4	21,1					
SGN08	CI4	23,7			26,5	17					
SGN08	CI5	28,4			26,6	18,5	20,7	36,2	15,5	1,1	0,7

SGN08	SPT3	9,2	19,1	15,8	26,4						
SGN08	SPT5	15,2	19,2	15,9	26,5						
SGN08	SPT7	21,2	19,5	16,6	26,4		20,4	31,6	11,2		
SGN08	SPT9	27,2	20,0	16,9	26,5		17,7	31,5	13,8		1,0
SV02	CI1	18,7	20,1	16,4	26,5	22,3	22,8	41,2	18,4	1,0	1,0
SV02	CI2	25,7	19,8	16,4	26,4	20,3	21,4	38,2	16,8	1,1	
SV02	CI3	35,7	20,2	16,7	26,6	20,8	26,9	44,4	17,5	1,3	0,6
SV02	CI4	47,3	20,0	17,1	26,4	16,9	22,1	44,4	22,3	1,2	
SV02	SPT5	16,2			26,4		24,7	48,4	23,7		
SV02	SPT7	22,2			26,4		25,2	57,4	32,2		
SV02	SPT9	30,2			26,5		25,7	58,6	32,9		
SV03	CI4	24,3	19,3	15,9	26,3	21,4					
SV03	CI5	35,3	19,3	16,0	26,4	20,8	22,1	46,2	24,1	1,1	
SV03	CI6	47,7	19,7	16,3	26,6	20,9	24,3	45,5	21,2	1,2	0,7
SV03	SPT7	24,8			26,5						
SV03	SPT9	32,8			26,4						
BH5	CI1	5,8	19,8	16,5	26,5	20,5	12	32	20	0,6	1,0
BH5	CI2	9,2	20,5	16,9	26,5	21,5	14	35	21	0,6	0,8
BH5	CI3	18,3	20,0	16,8	26,5	19,1	10	31	21	0,6	0,9
BH5	CI4	24,3	20,3	16,9	26,5	20,1	13	32	19	0,6	0,7
BH6	CI1	21,7	19,3	15,8	26,2	22,4	25	46	21	1,1	0,6
BH6	CR3	13,5									

Proprietà meccaniche

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

Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati elaborati i risultati di 14 prove di taglio diretto, 5 prove di compressione triassiale consolidata non drenata (CIU), 1 prova di compressione triassiale consolidata drenata (CID) e 7 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 28) restituisce un valore di coesione c' pari a circa 41 kPa e angolo di resistenza al taglio ϕ' pari a circa 26°. Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 10,3 e 47,7 m da piano campagna.

TD - ATS

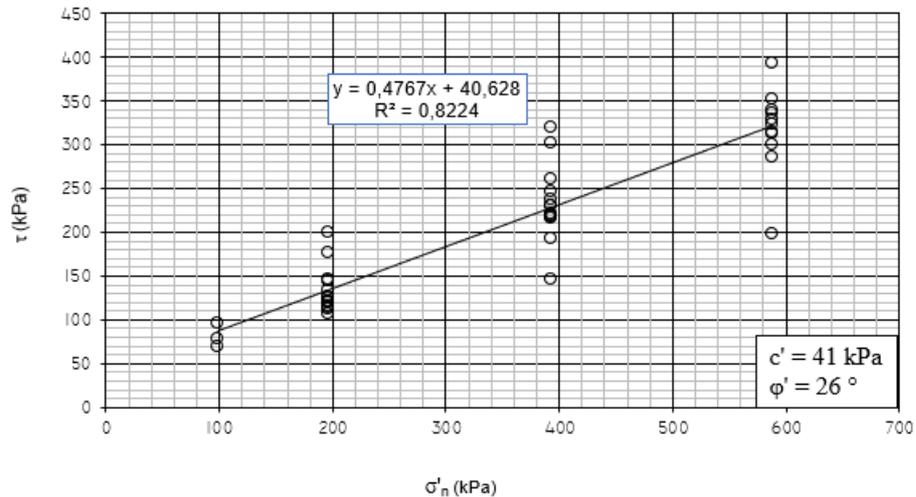


Figura 28 Involuppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti t' ed s' (Figura 29) derivante dall'elaborazione delle prove triassiale CIU e CID restituisce valori di intercetta di coesione c' pari a circa 0 kPa e di angolo di attrito φ' pari a 30° . Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 5,8 e 35,7 m da piano campagna.

TX - ATS

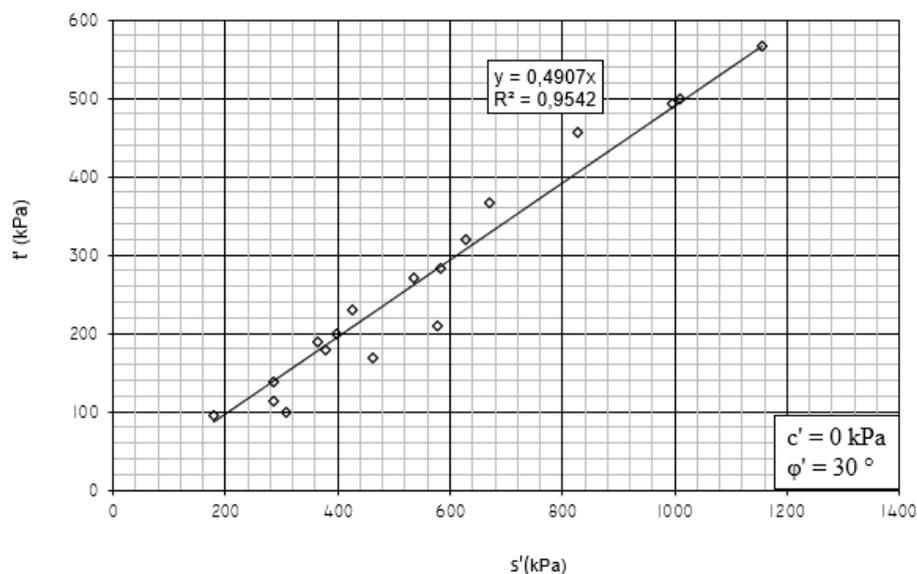


Figura 29 Involuppo di resistenza delle prove triassiali (TXT)

Di seguito le tabelle riassuntive delle prove di taglio diretto e triassiali (Tabella 9).

Tabella 9 Valori a rottura delle prove TD e TXT

Prove di taglio diretto			
Sondaggio e campione	Profondità da p.c.	σ'_n	τ
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)
SGN01-CI2	11,3	98	68,8
		196	176,6
		392	302,7
SGN01-CI3	16,3	98	96,4
		196	146,2
		392	320,6
SGN01-CI4	20,3	196	120,3
		392	218,3
		588	300,6
SVI01-CI4	35,3	196	120,9
		392	229,8
		588	336,5
SVI01-CI5	47,7	196	111,7
		392	219,2
		588	313,3
SGN08-CI2	10,3	98	78,1
		196	127,5
		392	218,1
SGN08-CI3	16,3	196	114,4
		392	147,1
		588	197,5
SGN08-CI4	23,7	196	120,6
		392	261,1
		588	329,7
SGN08-CI5	28,4	196	125
		392	215,3
		588	351,7
SVI02-CI2	25,7	196	133,3
		392	220,8
		588	338,9
SVI02-CI4	47,3	196	199,7
		392	236,9
		588	315,3
SVI03-CI4	24,3	196	143,8
		392	246,9

		588	393,8
SVI03-CI5	35,3	196	116,6
		392	230,2
		588	323,8
SVI03-CI6	47,7	196	106,1
		392	193,3
		588	286,9

Prove di compressione triassiale							
Prova	Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	σ'_1	σ'_3	s'	t'
(-)	(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
CID	BH5	CI1	5,8	409,0	210,0	309,5	99,5
				597,0	200,0	398,5	198,5
				864,0	300,0	582	282
CIU	SGN01	CI5	26,3	398,7	172,2	285,4	113,2
				632,3	293,1	462,7	169,6
				786,6	369,4	578,0	208,6
CIU	SVI02	CI1	18,7	553,6	175,5	364,6	189,1
				807,2	265,3	536,3	271,0
				947,7	310,0	628,9	318,9
CIU	SVI02	CI3	35,7	273,3	84,9	179,1	94,2
				425,6	147,7	286,7	139,0
				558,5	201,1	379,8	178,7
CIU	BH5	CI1	5,8	657,0	198,0	427,5	229,5
				1036,0	302,0	669,0	367,0
				1284,0	373,0	828,5	455,5
CIU	BH5	CI4	24,3	1488,0	503,0	995,5	492,5
				1508,0	510,0	1009,0	499,0
				1720,0	588,0	1154,0	566,0

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 30. I valori ottenuti risultano compresi tra 66 e 557 kPa.

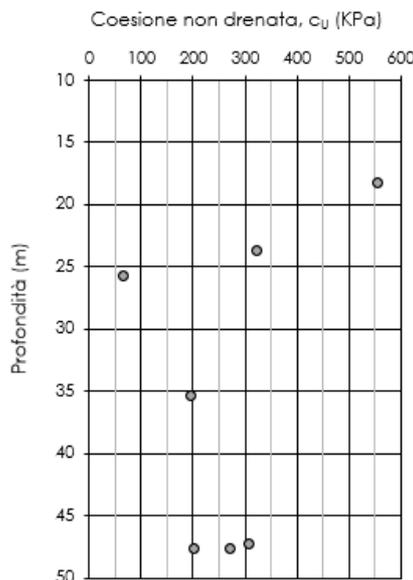


Figura 30 Resistenza al taglio non drenata

Di seguito la tabella riassuntiva con i valori ottenuti dalle prove (Tabella 10).

Tabella 10 Valori a rottura delle prove TXT UU

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	c_u
(-)	(-)	(m)	(kPa)
SVI01	CI5	47,7	271
SGN08	CI4	23,7	323
SV02	CI2	25,7	66
SV02	CI4	47,3	307
SVI03	CI5	35,3	194
SVI03	CI6	47,7	201
BH5	CI3	18,3	557

Per determinare le caratteristiche di deformabilità e compressibilità sono stati elaborati i risultati di 14 prove pressiometriche, 2 prove geofisiche di tipo MASW e 1 prova Down-Hole. Per completezza si riportano anche i risultati ottenuti dalle 8 prove di compressione edometrica, sebbene le caratteristiche di deformabilità per le opere in sotterraneo siano state definite a partire dai risultati delle prove in sito.

L'interpretazione delle prove pressiometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente alla fase di scarico e di carico. In particolare, per le prove pressiometriche è stato necessario dapprima determinare il modulo di Young a partire dal modulo pressiometrico applicando gli opportuni coefficienti reologici. Il modulo di scarico ottenuto si riferisce al primo o al secondo ciclo di scarico.

La Figura 31 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove pressiometriche con la profondità. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo $37 \div 424$ MPa mentre quello di carico nell'intervallo $16 \div 106$ MPa.

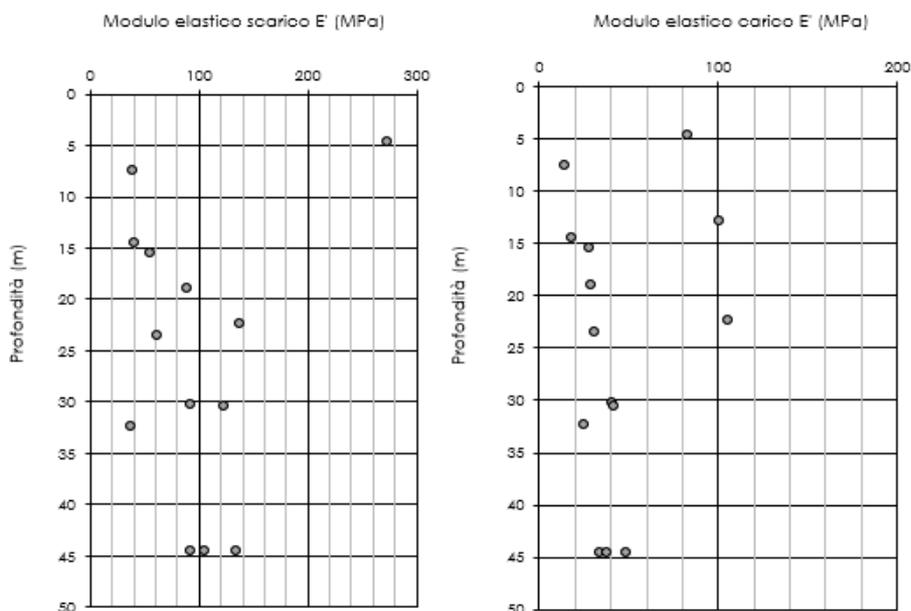


Figura 31 Moduli di deformabilità da prove pressiometriche

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove pressiometriche relative ad ogni sondaggio (Tabella 11).

Tabella 11 Prove pressiometriche

Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	E unload	E load
(-)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)
SGN01	Pressiometrica	7,5	14	38,8
SGN01	Pressiometrica	14,5	17,8	41,4
SGN01	Pressiometrica	23,5	30,6	61,6
SGN08	Pressiometrica	4,7	82,6	273,4
SGN08	Pressiometrica	12,8	100,4	424
SGN08	Pressiometrica	22,4	106	137,4
SVI01	Pressiometrica	19	28,8	89
SVI01	Pressiometrica	30,3	40,8	92,6
SVI01	Pressiometrica	44,5	33,6	105,2
SVI02	Pressiometrica	15,5	27,8	54,8
SVI02	Pressiometrica	32,4	25,2	37,2
SVI02	Pressiometrica	44,5	37,6	92,8
SVI03	Pressiometrica	30,5	41,4	123
SVI03	Pressiometrica	44,5	49	134,8

Dai risultati delle 3 prove geofisiche si sono ricavati il modulo di rigidezza a taglio G_0 ed il modulo di rigidezza iniziali. Le prove sono state poi rielaborate considerando un valore del rapporto E/E_0 pari a 0,1 in funzione del livello deformativo atteso per ricavare un modulo di rigidezza operativo (Figura 32).

I risultati ottenuti mostrano un incremento della rigidezza con la profondità e risultano essenzialmente coerenti con i valori ottenuti dalle prove pressiometriche.

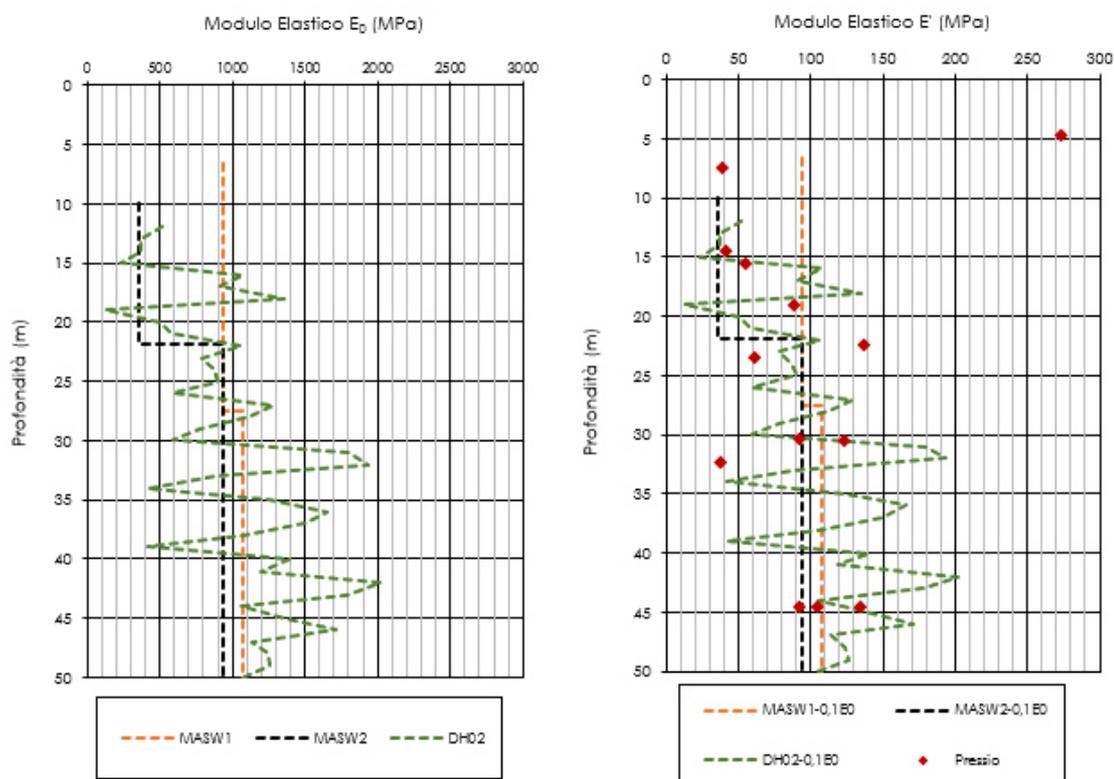


Figura 32 Moduli di rigidezza iniziali e modulo operativo da prove geofisiche

I parametri ottenuti dall'elaborazione delle prove di compressione edometrica (riportati solo per completezza in quanto le caratteristiche di deformabilità sono state definite a partire dai risultati delle prove in sito) sono diagrammati in funzione della profondità in Figura 33 e Figura 34; tali valori risultano compresi nei seguenti intervalli di variabilità:

- Indice di compressibilità C_c : 0,09 ÷ 0,19 (-)
- Indice di rigonfiamento C_s : 0,02 ÷ 0,08 (-)
- Grado di sovraconsolidazione OCR: 0,3 ÷ 1,5 (-)
- Modulo edometrico E_{ed} : 5 ÷ 13 MPa
- Modulo di Young E' : 4 ÷ 10 MPa.

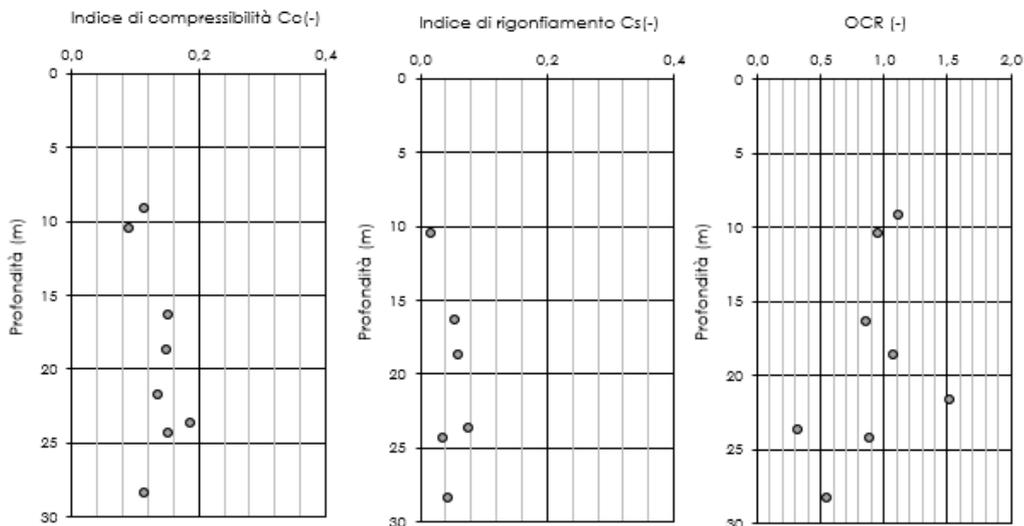


Figura 33 Indice di compressibilità, indice di rigonfiamento e grado di sovraconsolidazione da prove edometriche

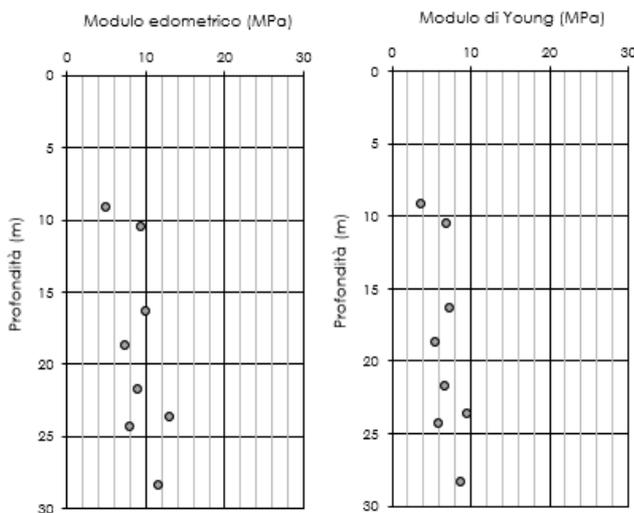


Figura 34 Modulo edometrico e modulo di Young da prove edometriche

Di seguito la tabella riassuntiva (Tabella 12).

Tabella 12 Prove edometriche

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	Cc	Cs	OCR	e ₀	E'ed
(-)	(-)	(m)	(-)	(-)	(-)	(-)	(MPa)
SVI01	CI3	23,7	0,19	0,08	0,32	1,44	13,0
SGN08	CI3	16,4	0,15	0,05	0,87	0,68	10,0
SGN08	CI5	28,4	0,11	0,04	0,55	0,56	11,7
SV02	CI1	18,7	0,15	0,06	1,07	0,63	7,5
SV03	CI2	10,5	0,09	0,02	0,95	0,50	9,5

SV03	CI4	24,3	0,15	0,04	0,88	0,87	8,0
BH5	CI2	9,2	0,12		1,12	0,56	5,0
BH6	CI1	21,7	0,14		1,52	0,64	9,0

Sono state eseguite un totale di 12 prove di permeabilità di tipo Lefranc a profondità variabili tra 4,8 e 37,5 m da piano campagna. Il coefficiente di permeabilità k ottenuto varia da 10^{-6} a 10^{-9} m/s (Figura 35).

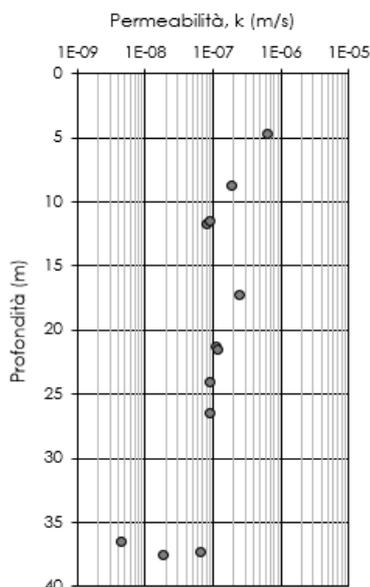


Figura 35 Coefficiente di permeabilità k da prove Lefranc

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove Lefranc relative ad ogni sondaggio (Tabella 13).

Tabella 13 Prove di permeabilità

Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	SGN01	11,8	7,9E-08
Lefranc	SGN01	21,3	1,1E-07
Lefranc	SGN08	4,8	6,3E-07
Lefranc	SGN08	17,3	2,4E-07
Lefranc	SVI01	37,3	6,6E-08
Lefranc	SVI02	21,5	1,2E-07
Lefranc	SVI02	36,5	4,5E-09
Lefranc	SVI03	37,5	1,8E-08
Lefranc	BH05	11,5	9E-08
Lefranc	BH05	26,5	8,9E-08
Lefranc	BH06	8,8	1,9E-07
Lefranc	BH06	24,0	9,1E-08

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 la formazione ATS. La Tabella 14 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro; si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 14 Sintesi parametri geotecnici ATS

	Min	Max	
γ	19,0	20,6	(kN/m ³)
γ_d	15,8	17,7	(kN/m ³)
γ_s	26,1	26,6	(kN/m ³)
w	15,5	22,4	(%)
w _L	29	59	(%)
w _P	10	29	(%)
I _P	11	33	(%)
I _C	0,6	1,7	(-)
A	0,3	1,0	(-)
ϕ' TD	26		(°)
c' TD	41		(kPa)
ϕ' TXT	30		(°)
c' TXT	0		(kPa)
C _U	66	557	(kPa)
C _C	0,09	0,19	(-)
C _S	0,02	0,08	(-)
OCR	0,3	1,5	(-)
E' ed	5	13	(MPa)
E'	4	10	(MPa)
E _{load,pressio}	14	106	(MPa)
E _{unload,pressio}	37	424	(MPa)
k	4,5E-9	6E-7	(m/s)

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

8.3.3 Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (SCM)

La formazione è definita come costituita da sabbie e conglomerati fini con locali intercalazioni di arenarie (Rif. [11]).

Nei sondaggi ad oggi eseguiti (BH06 e SGN01) tale formazione è stata intercettata come intercalazione all'interno delle argille limose ATS e risulta prevalentemente composta da sabbie grossolane debolmente ghiaiose e sabbie limose (Figura 36).



Figura 36 SCM nel foro di sondaggio BH06 tra 15 e 20 m da p.c.

Al momento non sono state eseguite prove in laboratorio per la caratterizzazione di formazione, che viene attraversata per circa 350 m nella parte iniziale della galleria lato Cosenza.

Sono stati analizzati, ai fini della caratterizzazione meccanica, i risultati di 3 prove in sito di tipo SPT che hanno consentito di determinare le caratteristiche di resistenza e deformabilità.

I risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT sono stati elaborati in accordo alle relazioni empiriche dei terreni granulari (da Rif. [37] a Rif. [45]).

In Figura 39 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 φ' , definito utilizzando le correlazioni empiriche.

L'elaborazione dei risultati delle prove in situ definisce un angolo di attrito compreso tra 33° e 42° . La densità relativa risulta compresa tra 0,5 e 1,0.

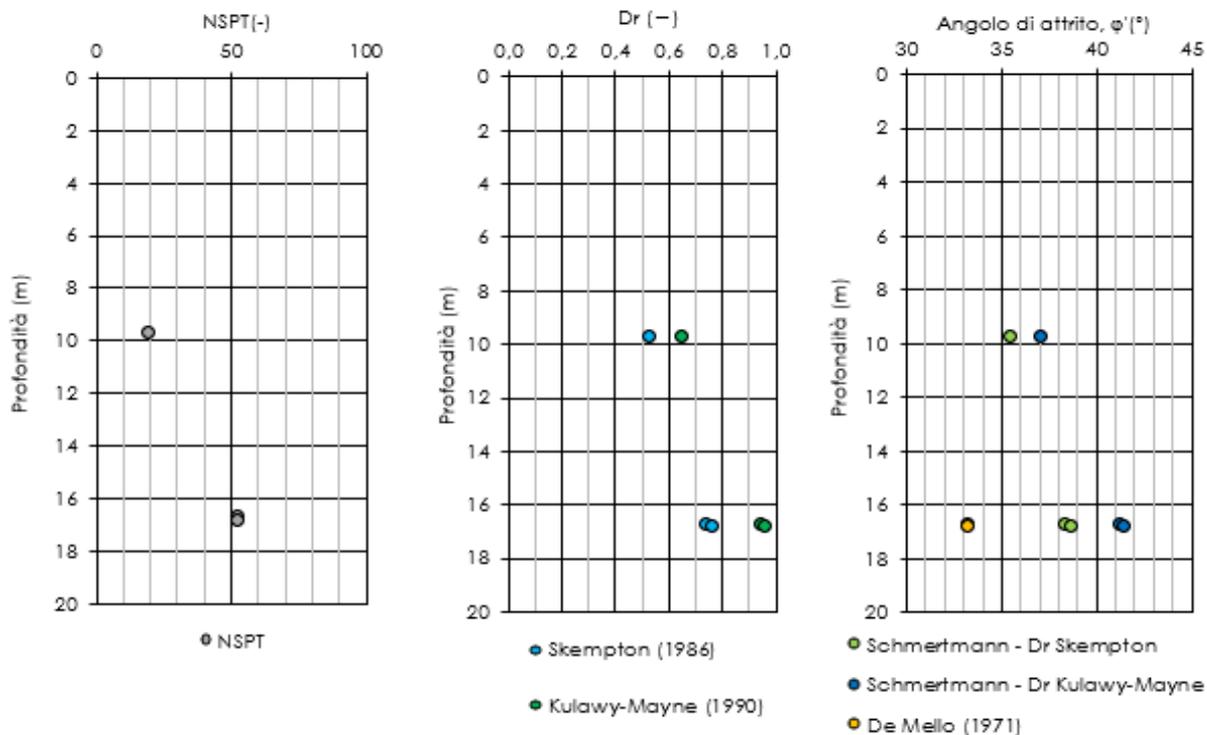


Figura 37 N_{SPT} , densità relativa e angolo di attrito da prove SPT

Nel seguito la tabella riassuntiva delle prove relative ad ogni verticale di indagine (Tabella 15).

Tabella 15 Numero di colpi N_{SPT}

Sondaggio	z (m)	N_{SPT}
BH01	16,7	52
SGN01	9,7	19
SGN01	16,8	52

La Figura 38 mostra gli andamenti con la profondità del modulo elastico E' e del modulo di taglio iniziale G_0 ottenuti dalle prove SPT. I parametri, che mostrano un aumento con la profondità, risultano rispettivamente compresi negli intervalli 16÷52 MPa e 126÷409 MPa.

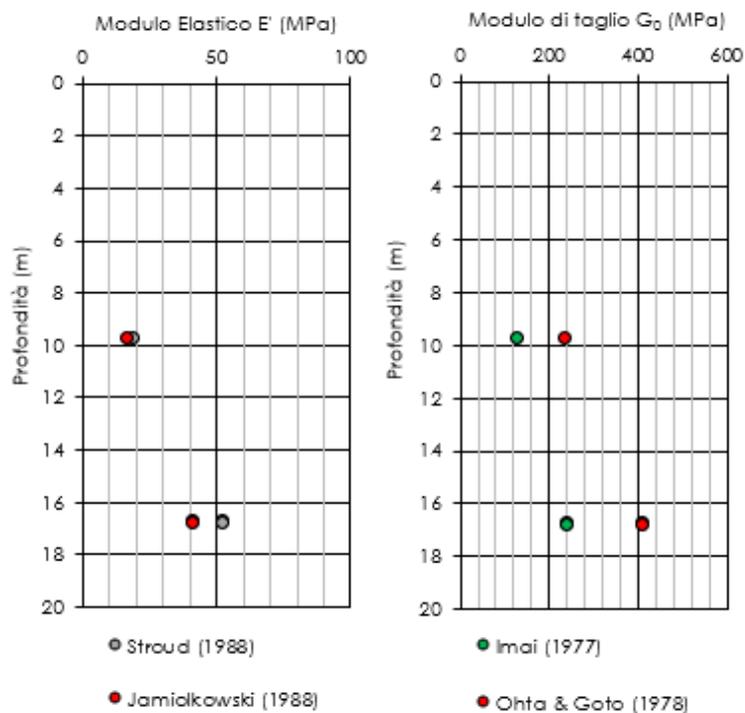


Figura 38 Modulo elastico E' e modulo di taglio G₀ da prove SPT

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri meccanici della formazione SCM. La Tabella 16 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro; si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli.

Tabella 16 Sintesi parametri geotecnici SCM

	Min	Max	
D_R	0,5	1,0	(-)
φ'_{SPT}	33	42	(°)
E_{SPT}	16	52	(MPa)
G_{0, SPT}	126	409	(MPa)

8.3.4 Sabbie di Mandrigli (SMD)

La formazione è definita come costituita da sabbie e sabbie limose con intercalazioni di arenarie, lenti di conglomerati e sottili livelli di argille limose (Rif. [11]).

Nel sondaggio in cui è stata intercettata, (SGN02), risulta prevalentemente composta da sabbia debolmente limosa di colore grigiastro a grana media (Figura 39).



Figura 39 SMD nel foro di sondaggio SGN08 tra 78 e 83 m da p.c.

In questa fase non sono state eseguite prove in sito o in laboratorio .

8.3.5 Argille marnose del Torrente Scumalatte (ASM)

La formazione è composta da argille limose, limi argillosi e argille marnose di colore grigio e grigio-azzurro, con intercalazioni millimetriche e centimetriche di sabbie limose e limi sabbiosi (Figura 40). Al suo interno possono essere presenti passaggi di sabbie grossolane e livelli di arenarie tenere (da Rif. [11]).

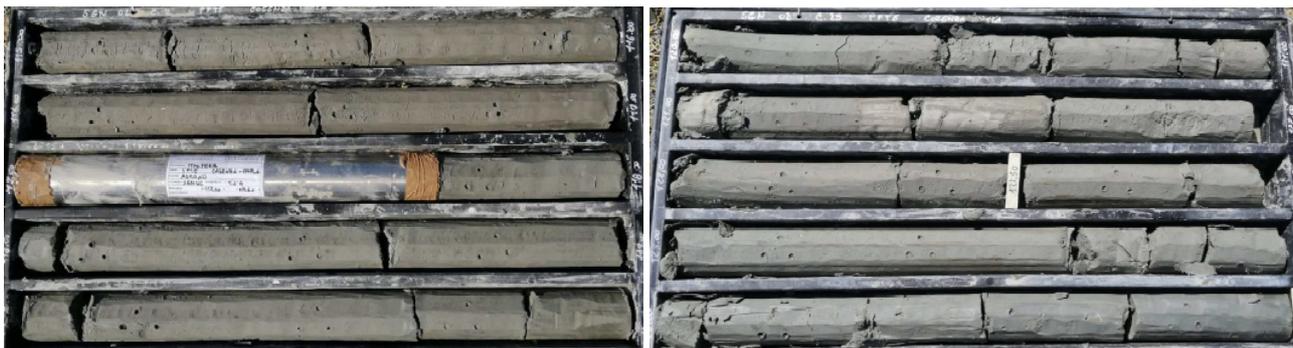


Figura 40 ASM nel foro di sondaggio SGN02 tra 115 e 125 m da p.c.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati permettono di classificarli come limo argilloso sabbioso e argilla limo-sabbiosa (Figura 41, AGI 1977).

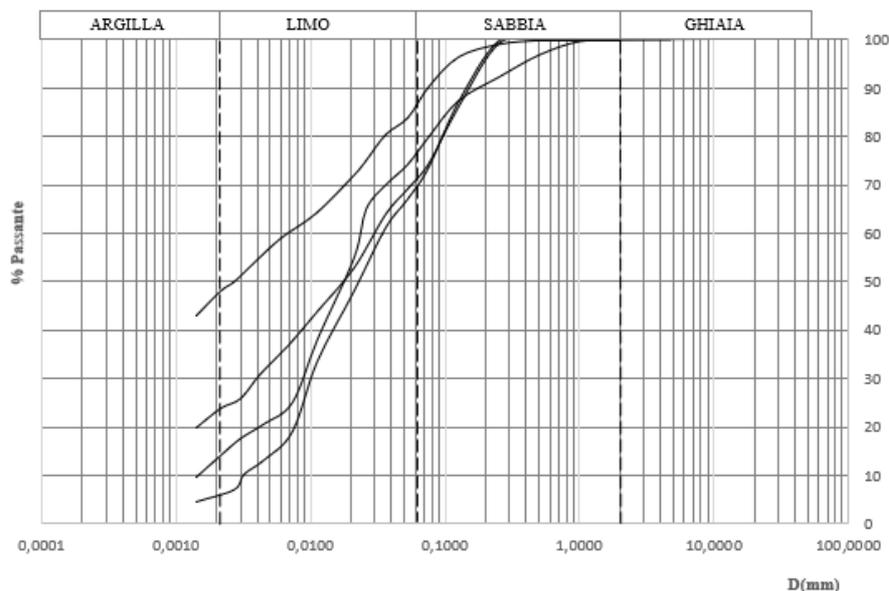


Figura 41 Analisi granulometrica

Proprietà fisiche

Sono stati analizzati 4 campioni indisturbati prelevati tra 99,7 e 117,3 m di profondità da p.c.. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un primo quadro delle principali grandezze fisiche e meccaniche della formazione indagata.

Il peso dell'unità di volume varia tra $19,2 \text{ kN/m}^3$ e $20,1 \text{ kN/m}^3$ ed il peso del materiale secco varia tra $16,3 \text{ kN/m}^3$ e $17,1 \text{ kN/m}^3$. (Figura 42). Il peso specifico dei granuli valutato su tutti i campioni varia tra $26,4 \text{ kN/m}^3$ e $26,7 \text{ kN/m}^3$.

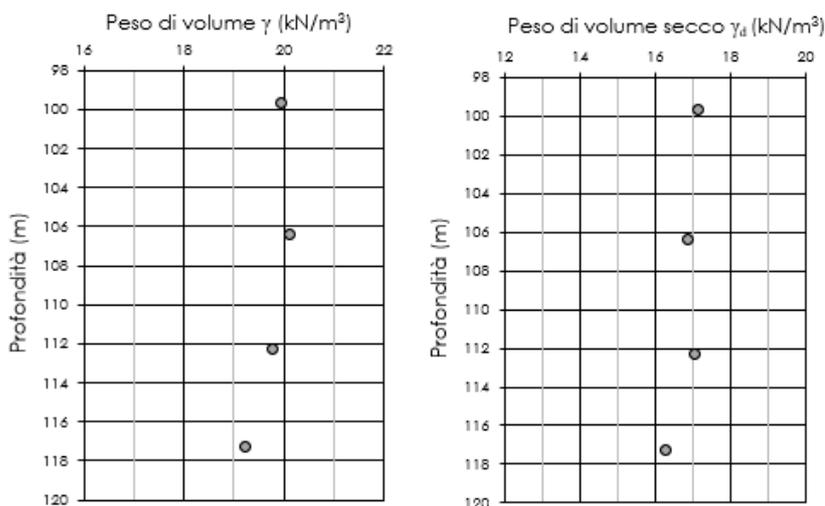


Figura 42 Peso dell'unità di volume e del materiale secco

I limiti di Atterberg (Figura 43) sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

- Limite plastico, w_p : 22% ÷ 23%
- Limite liquido, w_L : 37% ÷ 38%
- Indice di Plasticità, I_p : 15% ÷ 16%.

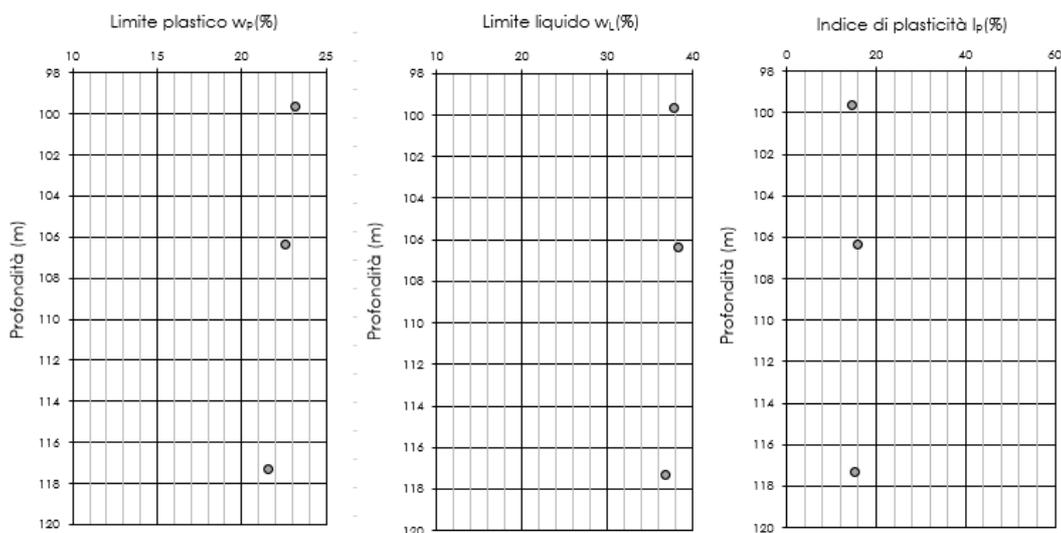


Figura 43 Limiti di Atterberg e indice di plasticità

Il contenuto d'acqua naturale w risulta compreso tra 16,1% ed il 19,2%, con un indice di consistenza I_C variabile tra 1,2 e 1,5. L'indice di attività varia tra 0,3 e 1,3 (Figura 44).

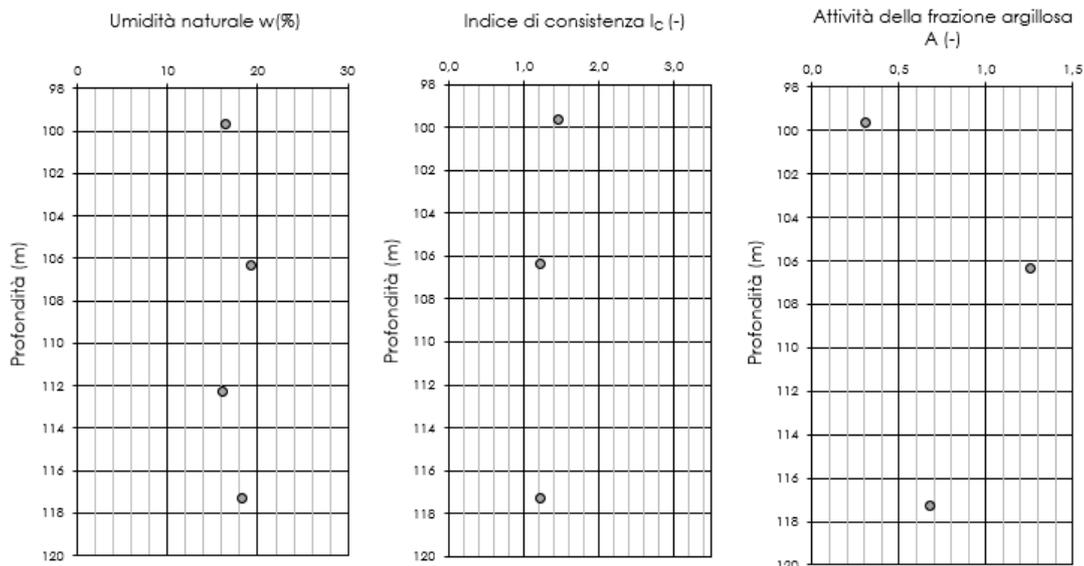


Figura 44 Umidità naturale w , indice di consistenza I_C ed attività A

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche della formazione ASM (Tabella 17).

Tabella 17 Caratteristiche fisiche ASM

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	γ_d	γ_s	w	w_p	w_L	I_p	I_C	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
SGN02	CI1	99,7	19,9	17,1	26,7	16,4	23,2	37,8	14,6	1,5	0,3
SGN02	CI2	106,4	20,1	16,9	26,4	19,2	22,6	38,3	15,7	1,2	1,3
SGN02	CI3	112,3	19,8	17,0	26,4	16,1					
SGN02	CI4	117,3	19,2	16,3	26,5	18,3	21,6	36,8	15,2	1,2	0,7

Proprietà meccaniche

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

Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati elaborati i risultati di 2 prove di taglio diretto, 2 prove di compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) e 1 prova di espansione laterale libera (EL).

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 45) restituisce un valore di coesione c' pari a circa 54 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a circa 27°. Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 99,7 e 117,3 m da piano campagna.

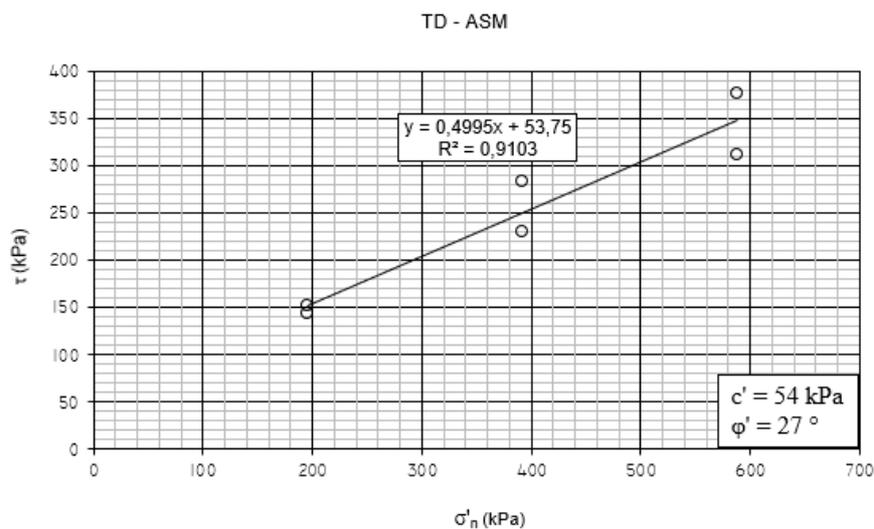


Figura 45 Involuppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti t' ed s' (Figura 46) derivante dall'elaborazione delle prove triassiale CIU e CID restituisce valori di intercetta di coesione c' pari a circa 23 kPa e di angolo di attrito φ' pari a 32°. Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 106,4 e 112,3 m da piano campagna.

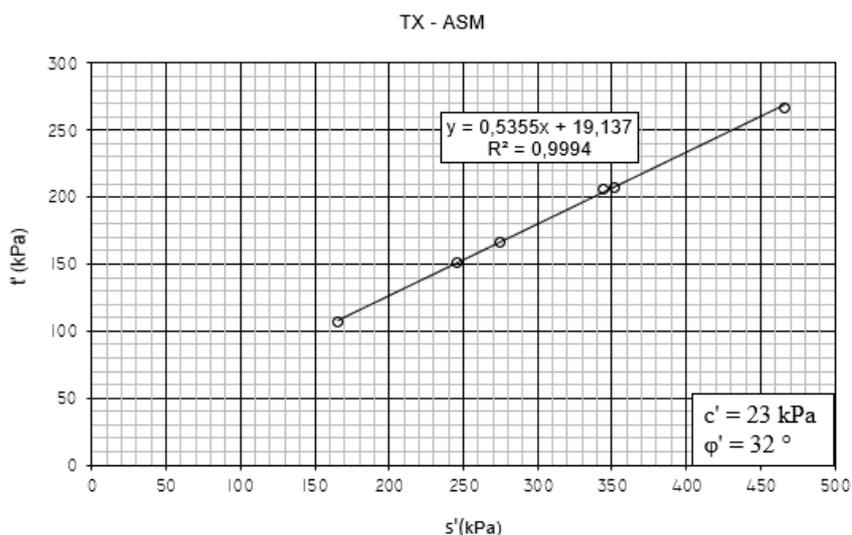


Figura 46 Involuppo di resistenza delle prove triassiali (TXT)

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Di seguito le tabelle riassuntive delle prove di taglio diretto e triassiali (Tabella 18).

Tabella 18 Valori a rottura delle prove TD e TXT

Prove di taglio diretto			
Sondaggio e campione	Profondità da p.c.	σ'_n	τ
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)
SGN02-CI2	99,7	196	152,5
		392	230,3
		588	310,8
SGN02-CI4	117,3	196	143,6
		392	283,2
		588	376,9

Prove di compressione triassiale							
Prova	Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	σ'_{11}	σ'_{33}	s'	t'
(-)	(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
CIU	SGN02	CI2	106,4	396,8	95,5	246,2	150,7
				559,5	144,4	352,0	207,6
				732,7	198,6	465,7	267,1
CIU	SGN02	CI3	112,3	271,6	58,7	165,2	106,5
				441,3	107,6	274,5	166,9
				549,5	138,4	344,0	205,6

Per determinare le caratteristiche di deformabilità e compressibilità sono stati elaborati i risultati di 3 prove dilatometriche. L'interpretazione delle prove dilatometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente alla fase di scarico e di carico. In particolare, il modulo di scarico ottenuto si riferisce al terzo ciclo di scarico.

La Figura 47 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove con la profondità. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo $95 \div 126$ MPa mentre quello di carico nell'intervallo $22 \div 49$ MPa.

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

Tabella 19 Prove dilatometriche

Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	E unload	E load
(-)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)
SGN02	Dilatometrica	100	126	22
SGN02	Dilatometrica	108	125	37
SGN02	Dilatometrica	116	95	49

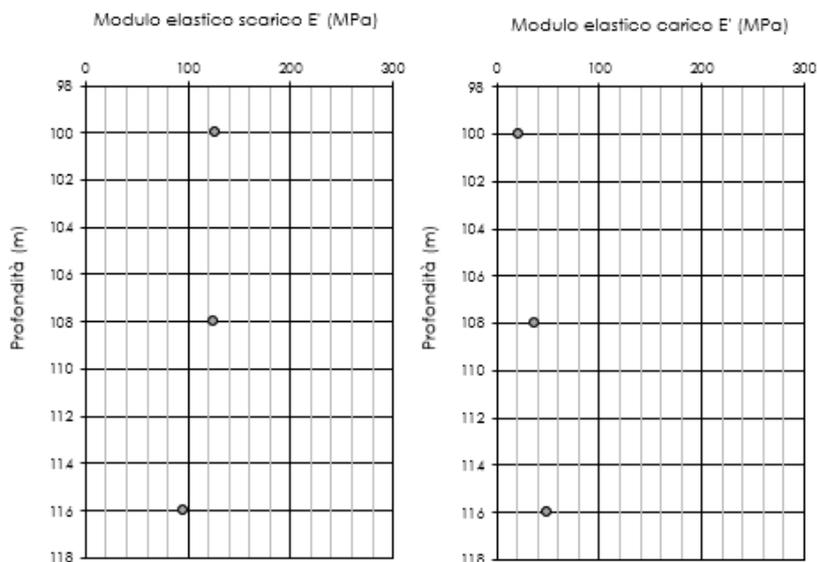


Figura 47 Moduli di deformabilità da prove dilatometriche

Sono state eseguite un totale di 3 prove di permeabilità di tipo Lefranc a profondità variabili tra 4,8 e 37,5 m da piano campagna. Il coefficiente di permeabilità k ottenuto varia da 10^{-8} a 10^{-9} m/s (Figura 48).

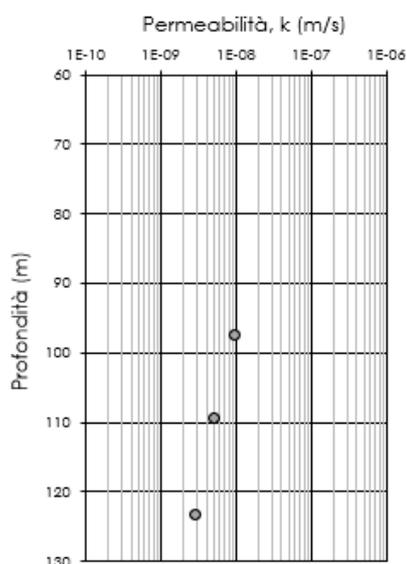


Figura 48 Coefficiente di permeabilità k da prove Lefranc

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

Tabella 20 Prove di permeabilità

Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	SGN02	97,5	9,5E-09
Lefranc	SGN02	109,5	4,9E-09
Lefranc	SGN02	123,3	2,9E-09

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 la formazione ASM. 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 ASM

	Min	Max	
γ	19,2	20,1	(kN/m ³)
γ_d	16,3	17,1	(kN/m ³)
γ_s	26,4	26,7	(kN/m ³)
w	16,1	19,2	(%)
w _L	37	38	(%)
w _P	22	23	(%)
I _P	15	16	(%)
I _C	1,2	1,5	(-)
A	0,3	1,3	(-)
ϕ' TD	27		(°)
c' TD	54		(kPa)
ϕ' TXT	32		(°)
c' TXT	23		(kPa)
E _{load,dilato}	22	49	(MPa)
E _{unload,dilato}	95	126	(MPa)
k	2,9E-09	9,5E-09	(m/s)

8.3.6 Argille marnose del Torrente Lavandaio (ALD)

La formazione è definita come composta da argille limose, argille sabbiose e argille marnose di colore grigio e grigio-verdastro, con intercalazioni millimetriche e centimetriche di sabbie limose e limi sabbiosi. Al suo interno possono essere presenti passaggi di argille fogliettate rosso scuro, intercalazioni centimetriche di sabbie e ghiaie e livelli di arenarie, calcari e marne (da Rif. [11]).

Per i sondaggi in cui la formazione è stata intercettata, realizzati tutti a basse coperture (profondità massima di 50 m da p.c.), la formazione risulta essenzialmente composta da argille marnose sabbiose con intercalazioni di arenarie e, nei sondaggi più prossimi alla costa tirrenica, da argille limose e limo-sabbioso (Figura 52).



Figura 49 ALD nel foro di sondaggio SGN07 tra 20 e 30 m da p.c.

La formazione è attraversata dalla galleria per circa 1100 m ad una profondità di 400 m circa da p.c.. In questa tratta, al di fuori dell'imbocco lato Paola, non sono stati eseguiti sondaggi o prove in sito, ma il ritorno di esperienza derivante dalla costruzione della galleria Santomarco esistente descrive la formazione scavata come costituita da "marne argillose parzialmente spingenti". Inoltre, le indagini attualmente in corso dalla Galleria Santomarco esistente (SGN13gall Figura 50) confermano che alle quote di interesse per lo scavo, la formazione si presenta nella sua litofacies arenaceo – marnosa.



Figura 50 ALD da sondaggio galleria esistente Santomarco

È pertanto opportuno distinguere la caratterizzazione della componente litoide e terrigena per l'unità geotecnica in esame.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati mostrano una formazione con fuso granulometrico ampio: i campioni sono classificabili come limo argilloso, limo sabbioso e sabbia limosa (Figura 51, AGI 1977).

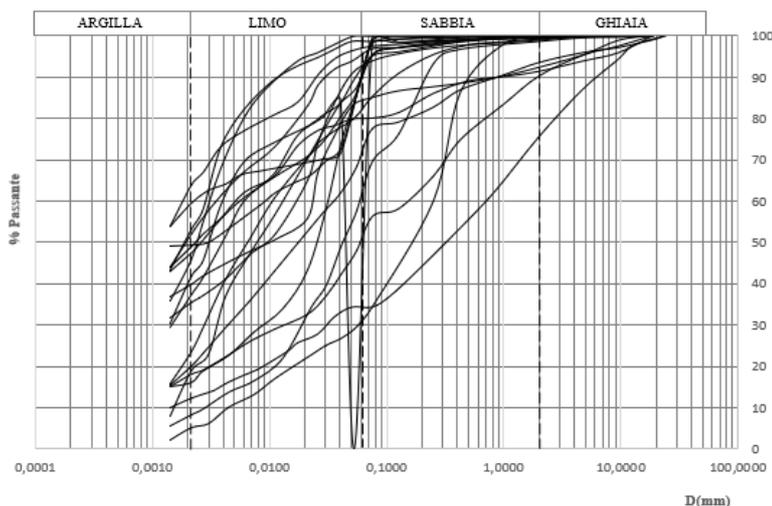


Figura 51 Analisi granulometrica

Proprietà fisiche

Sono stati analizzati 20 campioni indisturbati e 12 campioni litoidi prelevati tra 9,3 e 48,6 m di profondità da piano campagna. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un primo quadro delle principali grandezze fisiche e meccaniche della formazione indagata.

Il peso dell'unità di volume dei campioni indisturbati varia tra 18,5 kN/m³ e 21,9 kN/m³ ed il peso del materiale secco varia tra 14,3 kN/m³ e 19,4 kN/m³. (Figura 52). Il peso specifico dei granuli valutato su tutti i campioni varia tra 25,8 kN/m³ e 26,8 kN/m³.

Per le porzioni litoidi, il peso di volume del materiale varia tra 22,1 e 24,3 kN/m³ (Figura 53).

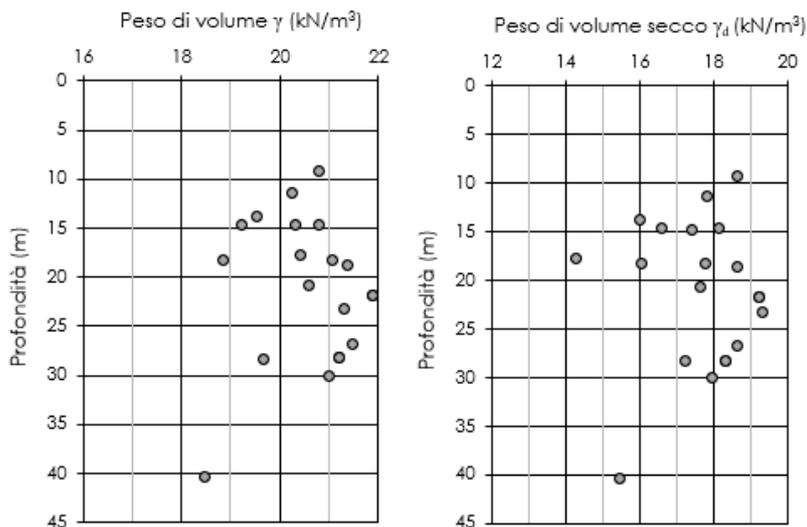


Figura 52 Peso dell'unità di volume e del materiale secco dei campioni indisturbati

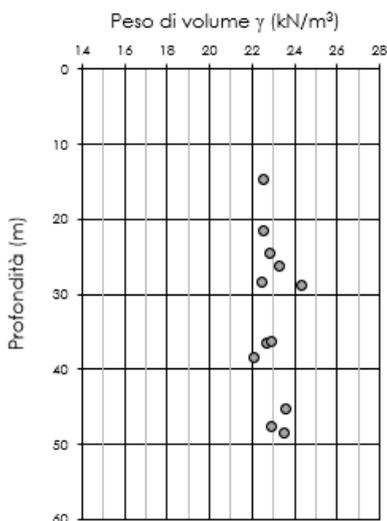


Figura 53 Peso di volume dei campioni litoidi

I limiti di Atterberg (Figura 54) sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

- Limite plastico, w_p : 18% ÷ 34%
- Limite liquido, w_L : 27% ÷ 65%
- Indice di Plasticità, I_p : 9% ÷ 39%.

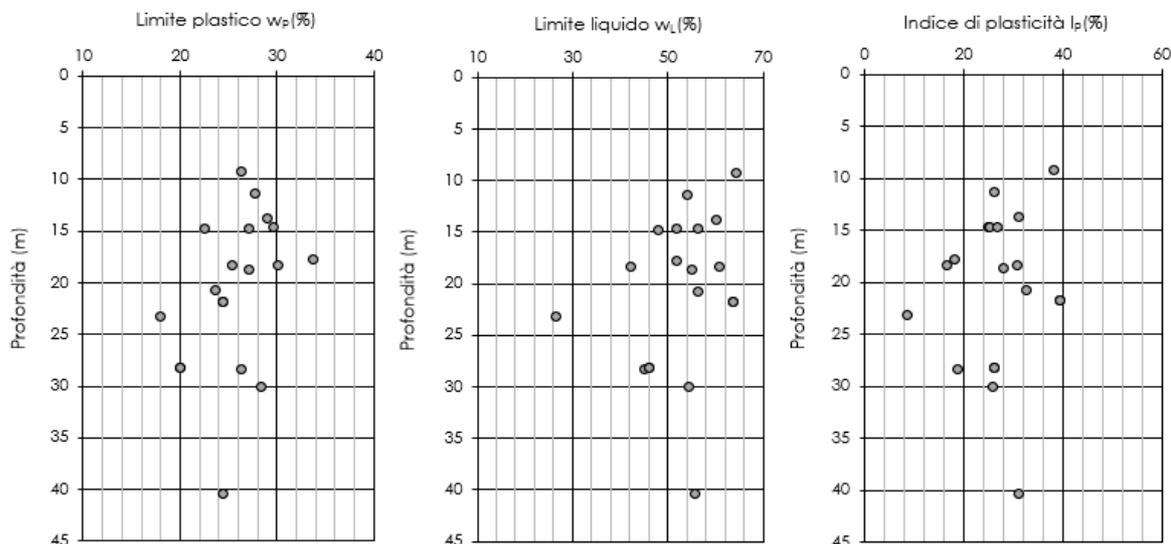


Figura 54 Limiti di Atterberg e indice di plasticità

Il contenuto d'acqua naturale w risulta compreso tra 9,9% ed il 21,7%, con un indice di consistenza I_c variabile tra 1,1 e 1,9. L'indice di attività varia tra 0,3 e 1,2 (Figura 55)

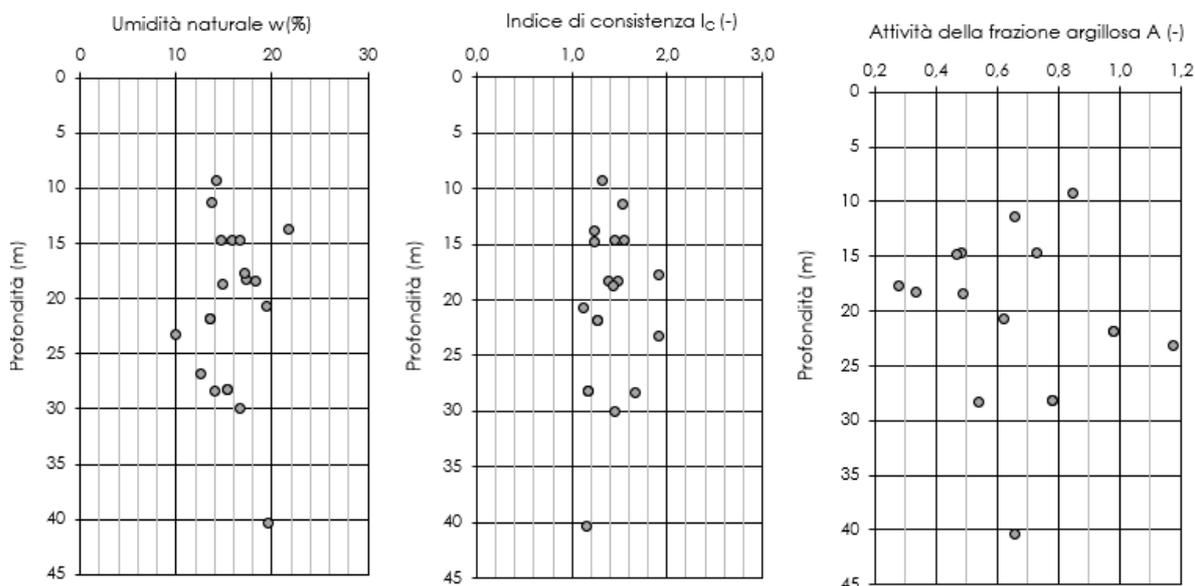


Figura 55 Umidità naturale w , indice di consistenza I_c ed attività A

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche della formazione ALD (Tabella 22).

Tabella 22 Caratteristiche fisiche ALD

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	γ_d	γ_s	w	w _p	w _L	I _p	I _c	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
SGN06	CI1	40,4	18,5	15,5	26,6	19,6	25	56	31	1,2	0,7
SGN07	CI3	14,7	19,2	16,6	26,7	15,9	27	52	25	1,4	0,5
SGN07	CI5	28,4	19,7	17,2	26,6	14,1	26	45	19	1,7	0,5
SV04	CI2	18,3	18,8	16,1	26,6	17,3	25	42	17	1,5	0,3
SV06	CI2	14,8	20,3	17,8	26,6	13,7	28	54	26	1,5	0,7
SV06	CI3	17,8	21,1	17,8	26,8	18,3	30	61	31	1,4	0,5
S1_200+072	CI1	14,7	20,3	17,4	26,9	16,6	23	48	25	1,2	0,5
S1_200+072	CI2	18,7	20,4	14,3	26,8	17,1	34	52	18	1,9	0,3
S1_197+699	CI1	23,2	20,8	18,1	26,7	14,7	30	56	27	1,6	0,7
S1_197+699	CI2	30,0	21,4	18,6	26,5	14,9	27	55	28	1,4	
S1_197+699	CI3	21,8	21,3	19,3	26,4	9,9	18	27	9	1,9	1,2
S1_197+699	CI4	28,2	21,0	18,0	26,5	16,7	28	54	26	1,4	1,2
S1_198+805	CI1	9,3	21,9	19,2	26,4	13,6	24	64	39	1,3	1,0
S1_198+805	CI2	20,8	21,2	18,3	26,6	15,4	20	46	26	1,2	0,8
S1_199+703	CI1	13,8	20,8	18,6	26,0	14,2	26	65	38	1,3	0,8
S1_199+703	CI2	26,8	20,6	17,7	26,3	19,5	24	56	33	1,1	0,6
S1_0+601	CI1	21,8	19,5	16,0	25,8	21,7	29	60	31	1,2	
S1_0+601	CI2	28,2	21,5	18,6	26,5	12,5					
S1_0+670	CI1	14,8	21,9	19,2	26,4	13,6	24	64	39	1,3	1,0
S1_0+670	CI2	17,8	21,2	18,3	26,6	15,4	20	46	26	1,2	0,8

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)
SVI07	CI1	14,7	22,5
SVI07	CI2	21,5	22,5
SVI07	CI3	28,9	24,3
SVI07	CI4	38,4	22,1
SGN06	CI2	45,3	23,6
SGN07	CI4	28,4	22,5
SVI04	CI3	26,2	23,3
SVI04	CI4	36,6	22,7
SVI04	CI5	48,6	23,5
SVI06	CI4	24,6	22,9
SVI06	CI5	36,4	22,9
SVI06	CI6	47,7	22,9

Proprietà meccaniche

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

Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati elaborati i risultati di 17 prove di taglio diretto, 1 prova di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU) e 1 prova di espansione laterale libera (EL). Sono stati inoltre eseguiti 12 point load test sui campioni lapidei.

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 56) restituisce un valore di coesione c' pari a circa 34 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a circa 26°. Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 9,3 e 40,4 m da piano campagna.

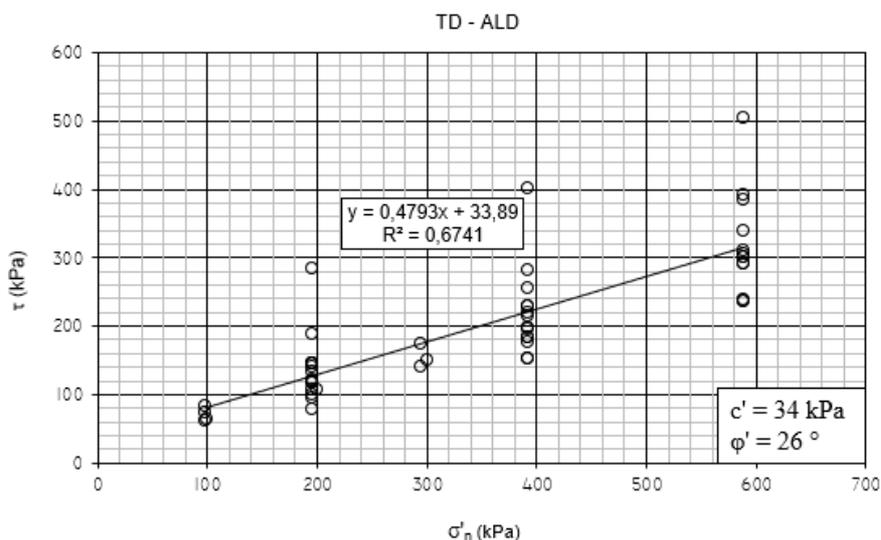


Figura 56 Involuppo di resistenza delle prove di taglio diretto (TD)

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove di taglio diretto (Tabella 23).

Tabella 23 Valori a rottura delle prove TD

Prova di taglio diretto			
Sondaggio e campione	Profondità da p.c.	σ'_n	τ
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)
SGN06-CI1	40,4	196	100,1
		392,0	175,3
		588	239,6
SGN07-CI3	14,7	196	119,4
		392,0	228,3
		588	300,6
SGN07-CI5	28,4	196	116,1
		392,0	197,8

		588	306,7
SVI04-CI2	18,3	196	140,8
		392	281,7
		588	390,7
SVI06-CI3	18,4	196	107,7
		392	228,8
		588	300,5
S1_200+072-CI2	17,8	100	64
		200	107
		300	151
S1_197+699-CI1	14,7	196	120
		392	219,7
		588	338
S1_197+699-CI3	23,2	196	189
		392	254,2
		588	384
S1_197+699-CI4	30,0	196	132,8
		392	194,4
		588	311
S1_198+805-CI1	21,8	196	145,4
		392	182,5
		588	235,5
S1_198+805-CI2	28,2	196	146
		392	151,5
		588	291,5
S1_199+703-CI1	9,3	98	62,1
		196	77,6
		294	140,6
S1_199+703-CI2	20,8	98	83,4
		196	95,1
		294	173,4
S1_0+601-CI1	13,8	98	73,3
		196	121,4
		392	215,7
S1_0+601-CI2	26,8	196	283
		392	402
		588	505
S1_0+670-CI1	21,8	196	145,4
		392	182,5
		588	235,5

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

S1_0+670-CI2	28,2	196	146
		392	151,5
		588	291,5

La prova di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU) eseguita su un campione prelevato a 11,4 m di profondità ha restituito un valore di coesione non drenata pari a 305 kPa.

Di seguito si riportano la tabella riassuntiva delle prove (Tabella 24) e l'andamento dei valori ottenuti con la profondità (Figura 57).

Tabella 24 Valori a rottura delle prove UU ed EL

Prova	Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	c _u
(-)	(-)	(-)	(m)	(kPa)
UU	SVI06	CI2	11,4	305
EL	SVI04	CI2	18,3	103

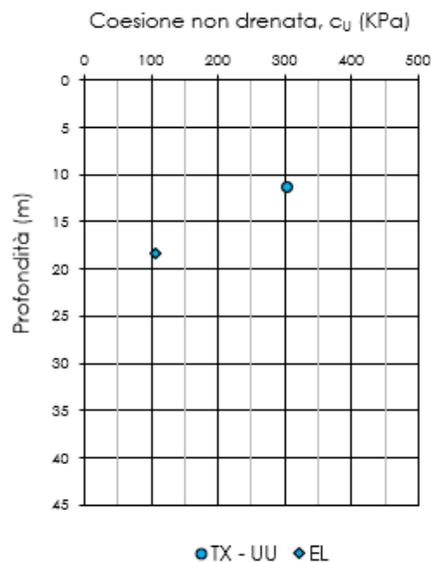


Figura 57 Coesione non drenata

Per determinare le caratteristiche di resistenza della frazione lapidea sono stati eseguiti 12 point load test. In Figura 58 si riporta l'andamento della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta con la profondità. I valori ottenuti risultano compresi tra 1 e 17 MPa ed aumentano con la profondità.

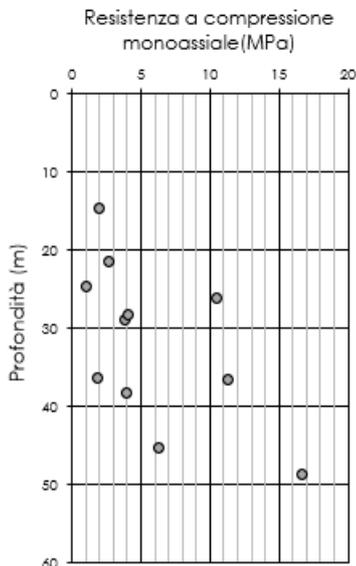


Figura 58 Resistenza a compressione monoassiale

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti (Tabella 25).

Tabella 25 Prove sui campioni litoidi

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\sigma_{ci, plt}$
(-)	(-)	(m)	(MPa)
SVI07	CI1	14,7	2
SVI07	CI2	21,5	3
SVI07	CI3	28,9	4
SVI07	CI4	38,4	4
SGN06	CI2	45,3	6
SGN07	CI4	28,4	4
SVI04	CI3	26,2	11
SVI04	CI4	36,6	11
SVI04	CI5	48,6	17
SVI06	CI4	24,6	1
SVI06	CI5	36,4	2
SVI06	CI6	47,7	2

Per determinare le caratteristiche di deformabilità sono stati elaborati i risultati di 10 prove pressiometriche, 1 prova geofisica di tipo MASW e 2 Down-Hole. Per completezza si riportano anche i risultati ottenuti dalle 4 prove di compressione edometrica, sebbene le caratteristiche di deformabilità per le opere in sotterraneo siano state definite a partire dai risultati delle prove in sito.

L'interpretazione delle prove pressiometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente alla fase di scarico e di carico. In particolare, è stato necessario dapprima determinare il

modulo di Young a partire dal modulo pressiometrico applicando gli opportuni coefficienti reologici. Il modulo di scarico ottenuto si riferisce al primo o al secondo ciclo di scarico.

La Figura 59 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove con la profondità. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo 36 ÷ 452 MPa mentre quello di carico nell'intervallo 50 ÷ 144 MPa.

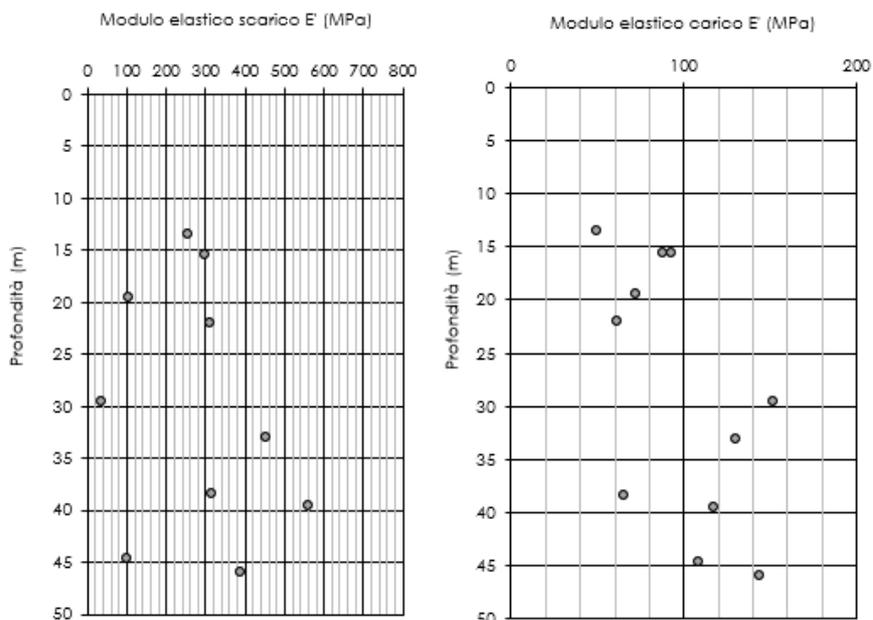


Figura 59 Moduli di deformabilità da prove pressiometriche

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove pressiometriche relative ad ogni sondaggio (Tabella 26).

Tabella 26 Prove pressiometriche

Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	E unload	E load
(-)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)
SVI04	Pressiometrica	19,5	105	73
SVI04	Pressiometrica	29,5	36	113
SVI04	Pressiometrica	44,7	101	108
SVI06	Pressiometrica	15,5	296	93
SVI06	Pressiometrica	33,1	452	130
SVI06	Pressiometrica	46	387	144
SGN06	Pressiometrica	38,5	316	65
SVI07	Pressiometrica	39,5	560	117
SGN07	Pressiometrica	13,5	256	50
SGN07	Pressiometrica	22	310	61

Dai risultati delle 3 prove geofisiche si sono ricavati il modulo di rigidezza a taglio G_0 ed il modulo di rigidezza iniziali. Le prove sono state poi rielaborate considerando un valore del rapporto E/E_0 pari a 0,1 in funzione del livello deformativo atteso per ricavare un modulo di rigidezza operativo (Figura 60).

I risultati ottenuti mostrano un incremento della rigidezza con la profondità e risultano essenzialmente coerenti con i valori ottenuti dalle prove pressiometriche.

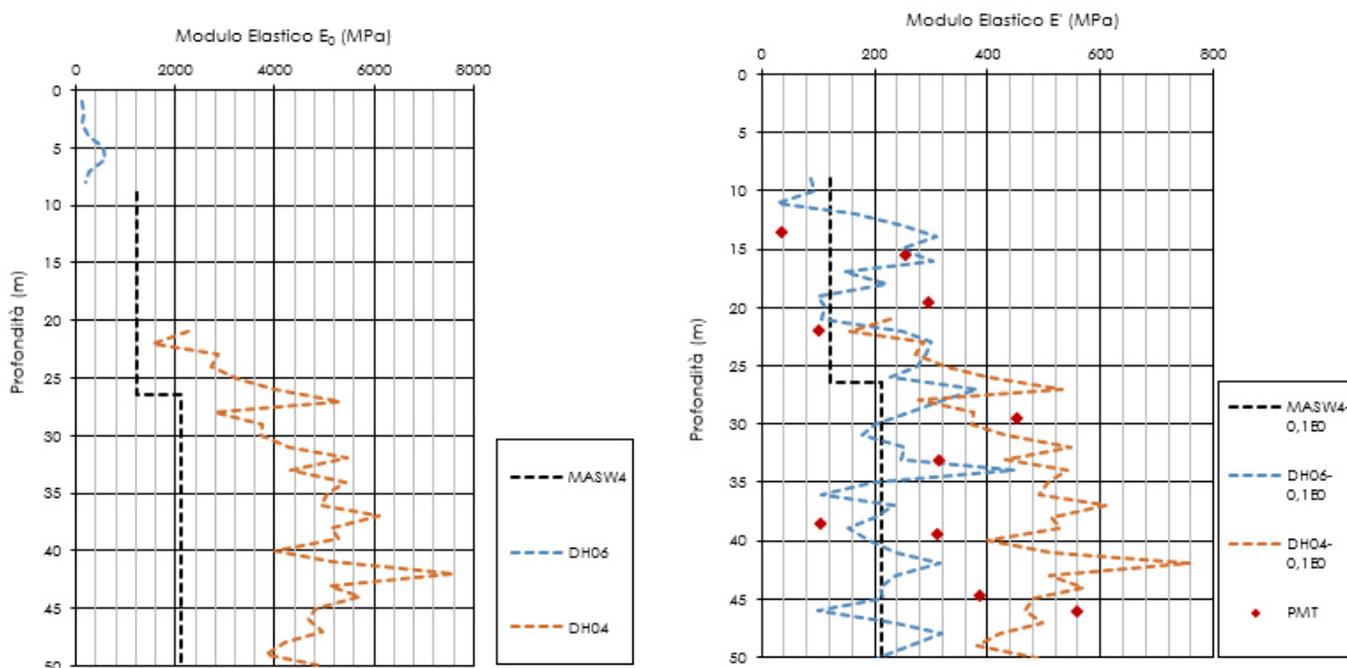


Figura 60 Moduli di rigidezza iniziali e modulo operativo da prove geofisiche

I parametri ottenuti dall'elaborazione delle prove di compressione edometrica (riportati solo per completezza in quanto le caratteristiche di deformabilità sono state definite a partire dai risultati delle prove in sito) sono diagrammati in funzione della profondità in Figura 61 e Figura 62; tali valori risultano compresi nei seguenti intervalli di variabilità:

- Indice di compressibilità C_C : 0,08 ÷ 0,15 (-)
- Indice di rigonfiamento C_S : 0,04 ÷ 0,06 (-)
- Grado di sovraconsolidazione OCR: 0,4 ÷ 1,2 (-)
- Modulo edometrico E_{ed} : 5 ÷ 15 MPa
- Modulo di Young E' : 3 ÷ 11 MPa.

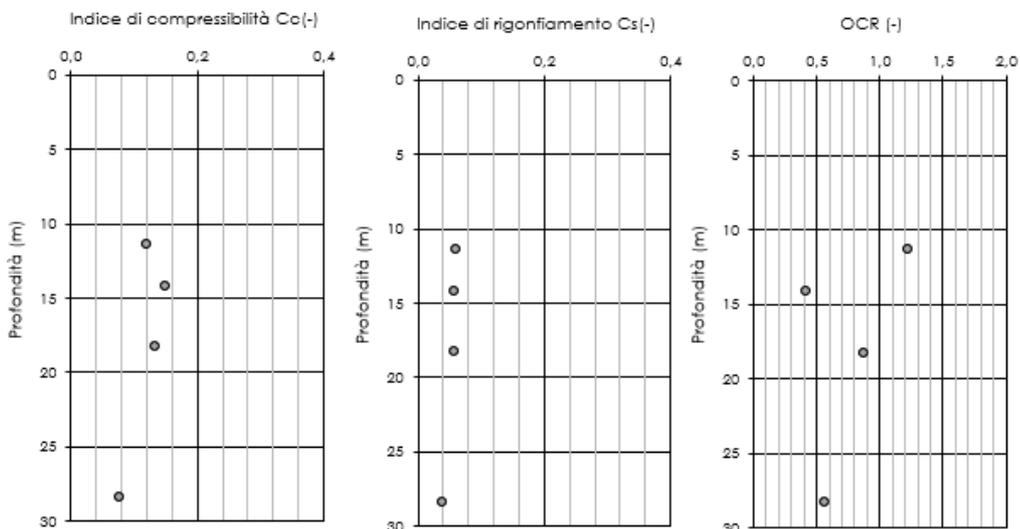


Figura 61 Indice di compressibilità, indice di rigonfiamento e grado di sovraconsolidazione da prove edometriche

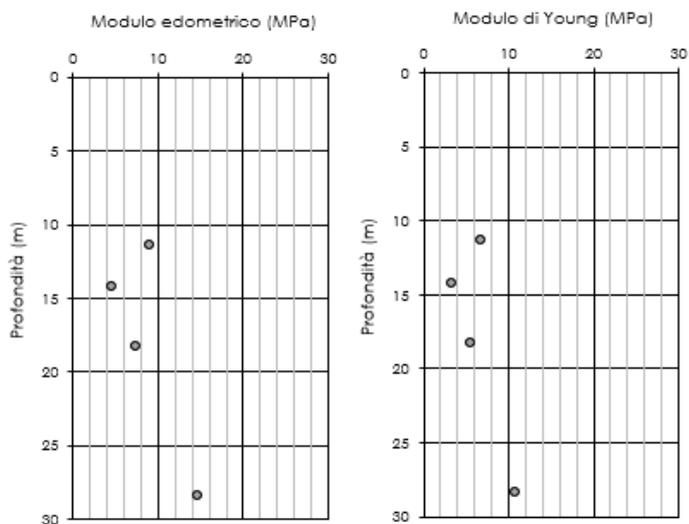


Figura 62 Modulo edometrico e modulo di Young da prove edometriche

Di seguito la tabella riassuntiva (Tabella 27).

Tabella 27 Prove edometriche

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	C_c	C_s	OCR	e_0	E'_{ed}
(-)	(-)	(m)	(-)	(-)	(-)	(-)	(MPa)
SGN07	CI3	14,2	0,150	0,057	0,4	0,584	4,5
SGN07	CI5	28,4	0,077	0,040	0,6	0,462	14,6
SV04	CI2	18,3	0,135	0,058	0,9	0,582	7,5
SV06	CI2	11,4	0,121	0,059	1,2	0,47	9

Sono state eseguite un totale di 10 prove di permeabilità di tipo Lefranc a profondità variabili tra 12,9 e 42,5 m da piano campagna. Il coefficiente di permeabilità k ottenuto varia da 10^{-5} a 10^{-9} m/s (Figura 63).

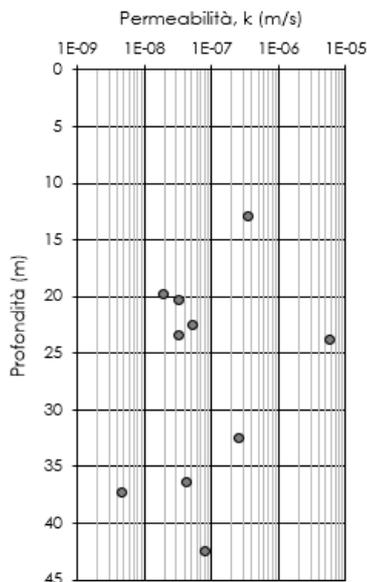


Figura 63 Coefficiente di permeabilità k da prove Lefranc

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove Lefranc relative ad ogni sondaggio (Tabella 28).

Tabella 28 Prove di permeabilità

Prova	Sondaggio	Profondità da p.c. (m)	k (m/s)
Lefranc	SVI04	20,4	3,3E-08
Lefranc	SVI04	36,4	4,2E-08
Lefranc	SVI06	12,9	3,5E-07
Lefranc	SVI06	19,8	1,9E-08
Lefranc	SVI06	37,3	4,6E-09
Lefranc	SVI07	22,5	5,2E-08
Lefranc	SVI07	32,5	2,6E-07
Lefranc	SGN06	42,5	7,9E-08
Lefranc	SGN07	23,5	3,2E-08
Lefranc	BH01	23,8	5,7E-06

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 la formazione ALD nella sua componente terrigena e litoide. La Tabella 29 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro; si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 29 Sintesi parametri geotecnici ALD

Terrigena			
	Min	Max	
γ	18,5	21,9	(kN/m ³)
γ_d	14,3	19,4	(kN/m ³)
γ_s	25,8	26,8	(kN/m ³)
w	9,9	21,7	(%)
w_L	27	65	(%)
w_P	18	34	(%)
I_P	9	39	(%)
I_C	1,1	1,9	(-)
A	0,3	1,2	(-)
ϕ' _{TD}	26		(°)
c' _{TD}	34		(kPa)
C_C	0,08	0,15	(-)
C_S	0,04	0,06	(-)
OCR	0,4	1,2	(-)
E'_{ed}	5	15	(MPa)
E'	3	11	(MPa)
E_{load,pressio}	50	144	(MPa)
E_{unload,pressio}	36	452	(MPa)
k	4,60E-09	5,70E-06	(m/s)

Litoide			
	Min	Max	
γ_{lit}	22,1	24,3	(kN/m ³)
σ_{ci}	1	17	(MPa)
k	4,60E-09	5,70E-06	(m/s)

8.3.7 Conglomerati di San Fili (CFL)

La formazione è definita come costituita da conglomerati medi e grossolani, composti da ciottoli di granito, gneiss e filladi di dimensioni variabili e frequenti passaggi di microconglomerati ed arenarie (Rif. [11]).

La formazione è stata intercettata da un solo sondaggio, SGN06, che mostra in prevalenza microconglomerati mediamente fratturati alternati a livelli di arenarie (Figura 64).



Figura 64 CFL nel foro di sondaggio SGN06 tra 55 e 65 m e da p.c

Proprietà fisiche

Sono stati prelevati all'interno della formazione 4 campioni litoidi, tra 46,6 e 58,2 m di profondità da piano campagna, i quali sono stati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di volume dei campioni analizzati varia tra 22,1 e 26,8 kN/m³ (Figura 65).

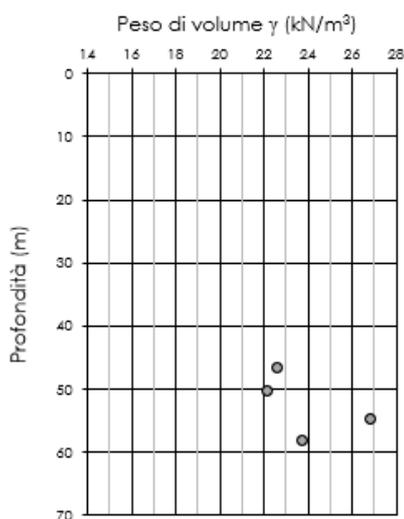


Figura 65 Peso di volume

Proprietà meccaniche

Per determinare le caratteristiche di resistenza sono state eseguite 3 prove di compressione monoassiale semplice e 1 point load test. In Figura 66 si riporta l'andamento della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta con la profondità. I valori ottenuti dalle prove di laboratorio sono compresi tra 33 e 49 MPa.

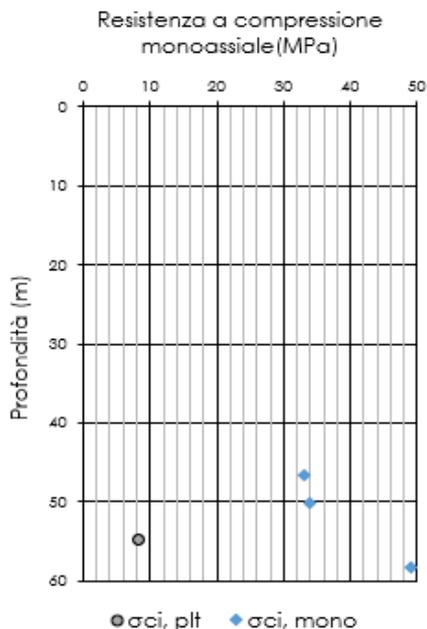


Figura 66 Resistenza a compressione monoassiale

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti (Tabella 30).

Tabella 30 Prove sui campioni litoidi

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	$\sigma_{ci, mono}$	$\sigma_{ci, plt}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(MPa)	(MPa)
SGN06	CI3	54,7	26,8		8,4
SGN06	CR1	46,6	22,6	33	
SGN06	CR2	50,1	22,1	34	
SGN06	CR3	58,2	23,7	49	

Per determinare le caratteristiche di deformabilità sono stati elaborati i risultati di 1 prova pressiométrica eseguita a 55,5 m di profondità. L'interpretazione della prova è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente alla fase di scarico e di carico. In particolare, è stato necessario dapprima determinare il modulo di Young a partire dal modulo pressiométrico applicando gli opportuni coefficienti reologici. Il modulo di scarico ottenuto si riferisce al secondo ciclo di scarico. Il modulo di scarico risulta pari a 230 MPa, il modulo di carico pari a 95 MPa (Tabella 31).

Tabella 31 Prova pressiométrica

Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	E unload	E load
(-)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)
SGN06	Pressiométrica	55,5	230	95

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

È stata eseguita 1 prova di permeabilità di tipo Lefranc a profondità pari a 54,4 m da piano campagna. Il coefficiente di permeabilità k ottenuto è pari a circa 10^{-8} m/s (Tabella 32).

Tabella 32 Prova di permeabilità

Prova	sondaggio	profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	SGN06	54,4	1,4E-08

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove attualmente disponibili ha consentito di definire per la formazione CFL i range di variazione dei parametri riassunti nella Tabella 33:

Tabella 33 Sintesi parametri geotecnici CFL

	Min	Max	
γ	22,1	26,8	(kN/m ³)
σ_{ci}	8,4	49	(MPa)
$E_{load, pressio}$	95		(MPa)
$E_{unload, pressio}$	230		(MPa)
k	1,4E-08		(m/s)

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

8.3.8 Gneiss di Cozzo Luparello (GCL)

La formazione è definita come costituita da gneiss e scisti con vene di materiale granitico, da mediamente a molto fratturati, con locali porzioni argillificate o fortemente cataclosate (da Rif. [11]).

La formazione è stata intercettata da due sondaggi, SGN05 e SGN09, che mettono in evidenza un ammasso fortemente fratturato costituito da scisti e gneiss con diffuse tracce di ossidazione (Figura 67).



Figura 67 GCL nel foro di sondaggio SGN05 tra 50 e 55 m da p.c. e nel foro di sondaggio SGN09 tra 30 e 35 m da p.c.

Sono stati inoltre effettuati 8 stop geologici sulla formazione affiorante che hanno permesso di definire le caratteristiche principali della matrice rocciosa, delle discontinuità e dell'ammasso roccioso (Rif. [11]).

Caratterizzazione della roccia intatta

Sono stati prelevati all'interno della formazione 6 campioni litoidi, tra 27,5 e 72,4 m di profondità da piano campagna, i quali sono stati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di volume dei campioni analizzati varia tra 26,7 e 28,6 kN/m³.

Per determinare le caratteristiche di resistenza e deformabilità della roccia intatta sono state eseguite 3 prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni, 1 point load test, 2 prove di trazione indiretta e 2 prove di velocità ultrasonica. In Figura 68 si riporta l'andamento della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta con la profondità. I valori ottenuti risultano compresi tra 64 e 96 MPa.

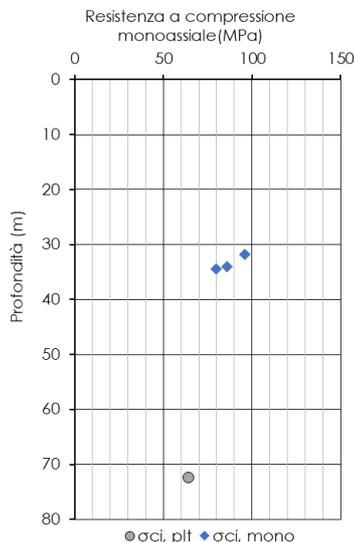


Figura 68 Resistenza a compressione monoassiale

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti (Tabella 34).

Tabella 34 Prove sui campioni litoidi

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	σ _{ci, mono}	σ _{ci, plt}	E _{i, CM}	E _{i, vel}	σ _t
(-)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)	(MPa)
BH4	CR5	31,8	96		42		
BH4	CR8	72,4		64			
SGN09	CR1	27,5				62	7,5
SGN09	CR2	29,7					
SGN09	CR3	34,0	86		60	69	
SGN09	CR4	34,5	80		63	67	10,6
SGN09	CR5	36,2					

Caratterizzazione dell'ammasso roccioso e delle discontinuità

Al fine di valutare le caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso sono stati considerati i risultati delle prove eseguite in foro ed i risultati ottenuti dai rilievi geomeccanici sulla formazione litoide, affiorante o da sondaggio, durante la campagna di indagini Italferr 2021/2022.

- Prove in sito

Per determinare le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso sono stati elaborati i risultati di 2 prove pressiometriche e 4 prove dilatometriche eseguite tra 33,5 e 56 m di profondità.

L'interpretazione delle prove pressiometriche e dilatometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente alla fase di scarico e di carico. In particolare, per le prove pressiometriche

è stato necessario dapprima determinare il modulo di Young a partire dal modulo pressiometrico applicando gli opportuni coefficienti reologici. Il modulo di scarico ottenuto si riferisce al secondo ciclo di scarico.

La Figura 69 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove pressiometriche con la profondità. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo $564 \div 1402$ MPa mentre quello di carico nell'intervallo $412 \div 416$ MPa.

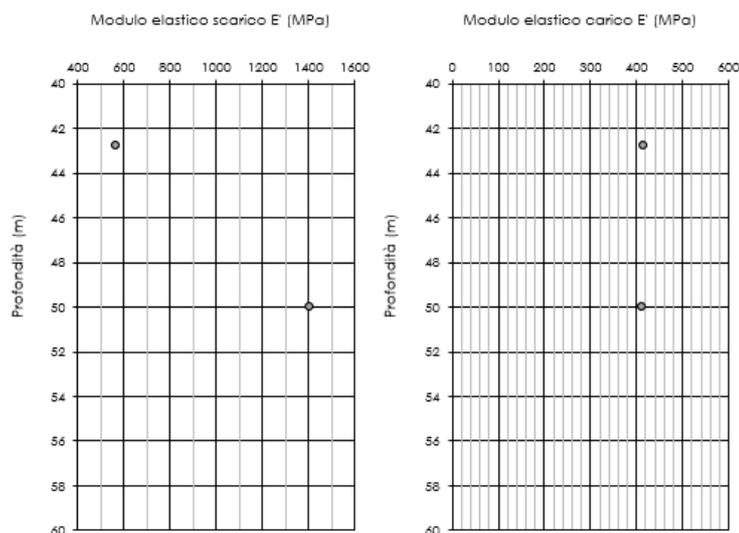


Figura 69 Moduli di deformabilità da prove pressiometriche

Per quanto riguarda le prove dilatometriche, si è considerato per la fase di scarico il modulo determinato per il terzo ciclo di scarico. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo $38 \div 1097$ MPa mentre quello di carico nell'intervallo $15 \div 306$ MPa.

La Figura 70 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove dilatometriche con la profondità.

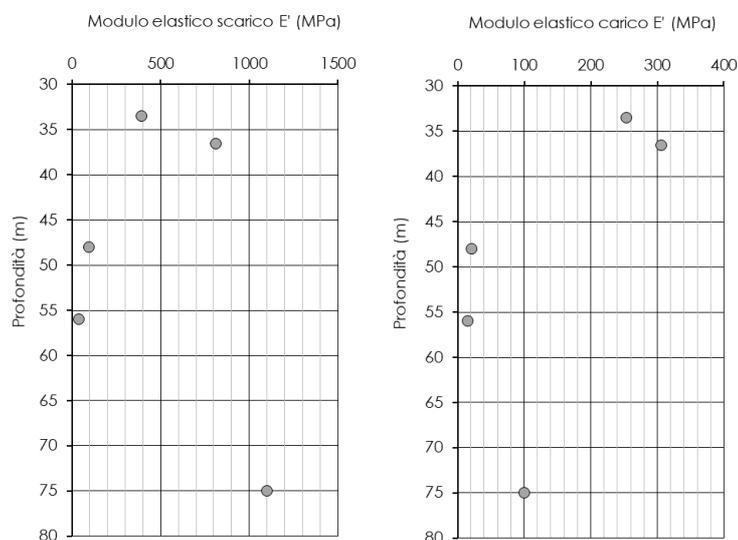


Figura 70 Moduli di deformabilità da prove dilatometriche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove pressiometriche e dilatometriche relative ad ogni sondaggio (Tabella 35).

Tabella 35 Prova pressiometriche e dilatometriche

Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	E unload	E load
(-)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)
BH04	Pressiometrica	42,8	564	416,0
BH04	Pressiometrica	50	1402	412,0
SGN03	Dilatometrica	48	96	21
SGN03	Dilatometrica	56	38	15
BH03	Dilatometrica	75	1097	100
SGN09	Dilatometrica	33.5	394	253
SGN09	Dilatometrica	36.5	812	306

Sono state eseguite 6 prove di permeabilità di tipo Lefranc a profondità variabili tra 33 e 60 m da piano campagna. Il coefficiente di permeabilità k ottenuto varia tra circa 10^{-4} e 10^{-8} m/s (Figura 71).

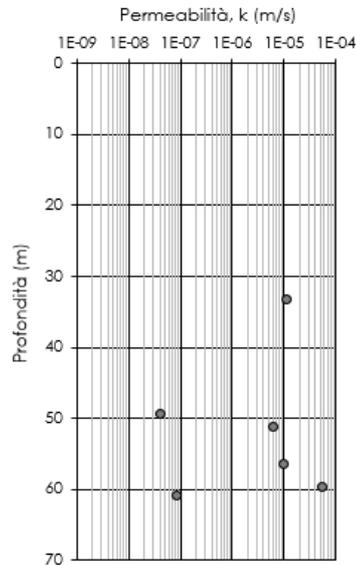


Figura 71 Coefficiente di permeabilità k da prove Lefranc

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove Lefranc relative ad ogni sondaggio (Tabella 36).

Tabella 36 Prove di permeabilità

Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	SGN03	49,25	4,00E-08
Lefranc	SGN03	60,75	8,20E-08
Lefranc	BH03	33,15	1,10E-05

Lefranc	BH03	51,15	6,10E-06
Lefranc	BH03	59,65	5,50E-05
Lefranc	BH04	56,5	1,00E-05

○ Stop geologici

Sono stati eseguiti sull'affioramento della formazione 8 stop geologici. Da essi sono stati ricavati i seguenti dati:

- dati rilevati lungo la linea di scansione tramite rilievo geomeccanico (distanza della frattura dallo zero del nastro, tipo di terminazione, giacitura, apertura, ondulazione, persistenza, alterazione, tipo di giunto, ecc.) secondo ISRM (1978),
- dati ottenuti da battute sclerometriche con martello di Schmidt,
- spaziatore delle discontinuità,
- profili di rugosità,
- stereodiagrammi equiangolari sull'emisfero inferiore dei poli dei piani, della densità e della giacitura delle famiglie principali.

È stato quindi possibile definire le caratteristiche generali dell'affioramento (descrizione geometrica, geologica e geomorfologica), i dati litologici (litologia, grado di alterazione) e i dati strutturali (giaciture, famiglie di giunti e discontinuità, riempimenti delle fratture ed eventuali disturbi tettonici). I dati così ricavati hanno inoltre permesso di caratterizzare le discontinuità presenti.

L'interpretazione dei dati ricavati dagli stop geologici ha consentito di definire le caratteristiche geotecniche dell'ammasso a partire dagli indici di qualità RMR e GSI (Figura 72). Tali indici, derivanti rispettivamente dalle classificazioni geomeccaniche di Bieniawski e Hoek (Rif. [48] e Rif. [47]) e forniscono indicazioni sulla qualità complessiva dell'ammasso roccioso e permettono una stima approssimata del suo comportamento e delle sue caratteristiche di resistenza e deformabilità.

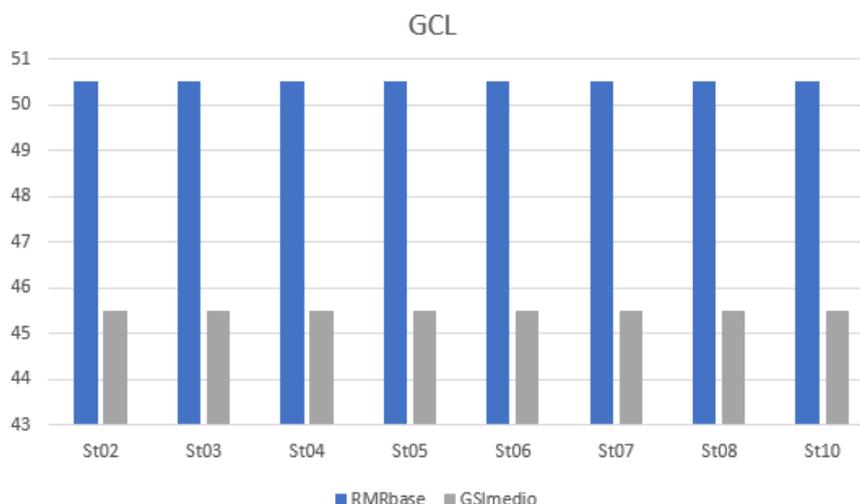


Figura 72 Indici RMRb e GSI

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

La formazione è caratterizzata da un indice di qualità GSI compreso tra 43 e 48 e da un indice di Bieniawski RMR di base compreso tra 48 e 53 (Tabella 37). La qualità dell'ammasso risulta quindi mediocre. La resistenza a compressione della roccia intatta determinata tramite battute sclerometriche varia da 69 a 127 MPa (Rif. [12]).

Tabella 37 Valori numerici RMR_b e GSI

Formazione	Stop geologico	RMR _{base}	GSI _{medio}
GCL	St02	50,5	45,5
	St03	50,5	45,5
	St04	50,5	45,5
	St05	50,5	45,5
	St06	50,5	45,5
	St07	50,5	45,5
	St08	50,5	45,5
	St10	50,5	45,5

Per la caratterizzazione delle discontinuità, i rilievi geostrutturali eseguiti hanno portato alla definizione dei principali sistemi di discontinuità e spaziatura (Tabella 38). Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato di riferimento (Rif. [12]).

Tabella 38 Famiglie di discontinuità e classi di spaziatura

Formazione	Stop geologico	Sistemi di discontinuità	Spaziatura	
GCL	St02	3 sistemi principali + 1 sistema di giunti dovuto a scistosità	Stretta/moderata	60-600 mm
	St03	3 sistemi principali + 1 sistema di giunti dovuto a scistosità	Stretta/moderata	60-600 mm
	St04	3 sistemi principali + 1 sistema di giunti dovuto a scistosità	Stretta/moderata	60-600 mm
	St05	4 sistemi principali + 1 sistema di giunti dovuto a scistosità	Molto stretta/larga	20-2000 mm
	St06	4 sistemi principali + 1 sistema di giunti dovuto a scistosità	Moderata/larga	200-2000 mm
	St07	3 sistemi principali + 1 sistema di giunti dovuto a scistosità	Stretta/moderata	60-600 mm
	St08	3 sistemi principali + 1 sistema di giunti dovuto a scistosità+ 1 faglia	Stretta/moderata	60-600 mm
	St10	3 sistemi principali + 1 sistema di giunti dovuto a scistosità	Stretta/moderata	60-600 mm

- Rilievi geomeccanici da cassetta



LINEA COSENZA-PAOLA

**NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S.
LUCIDO/PAOLA**

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03	R07RH	GN0000 001	B	89 di 150

Nei sondaggi che intercettano la formazione in esame sono stati inoltre eseguiti rilievi geomeccanici da cassetta che hanno consentito di definire un intervallo di GSI compreso tra 20 e 25, valori che possono essere considerati rappresentativi per le zone intensamente fratturate (Rif. [12]).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove attualmente disponibili ha consentito di definire per la formazione GCL i range di variazione dei parametri riassunti nella Tabella 39:

Tabella 39 Sintesi parametri geotecnici GCL

	Min	Max	
γ	26,7	28,6	(kN/m ³)
σ_{ci}	64	96	(MPa)
E_i	42	69	(GPa)
$E_{load, pressio}$	412	416	(MPa)
$E_{unload, pressio}$	564	1402	(MPa)
$E_{load, dilato}$	15	306	(MPa)
$E_{unload, dilato}$	38	1097	(MPa)
k	4,00E-08	5,50E-05	(m/s)
GSI_{parete}	43	48	(-)
$GSI_{cassetta}$	20	25	(-)

8.3.9 Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti (EBG)

La formazione è definita come scisti con epidoto di colore verde, grigio e grigio-verdastro, a tessitura scistosa, con locali intercalazioni di scisti violetti e frequenti vene di quarzo parallele alla scistosità (da Rif. [11]).

Su questa unità sono stati realizzati n. 2 sondaggi geognostici, di cui uno all'interno della galleria esistente (SGN12_gall) e uno in superficie (SGN12) (Figura 67).



Figura 73 EBG nel foro di sondaggio SGN12 tra 25 e 30 m da p.c. e nel foro di sondaggio SGN12gall tra 10 e 15 m

Caratterizzazione della roccia intatta

Sono stati prelevati all'interno della formazione 10 campioni litoidi sottoposti a prove di laboratorio, 4 tra 18 e 32,2 m di profondità da piano campagna e 6 tra 6 e 16 m di distanza dalla galleria esistente Santomarco.

Il peso di volume dei campioni analizzati varia tra 28,4 e 28,7 kN/m³.

Per determinare le caratteristiche di resistenza e deformabilità della roccia intatta sono state eseguite 2 prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni, 4 point load test e 2 prove di velocità ultrasonica. In Figura 68 si riporta l'andamento della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta con la profondità. I valori ottenuti risultano compresi tra 31 e 69 MPa.

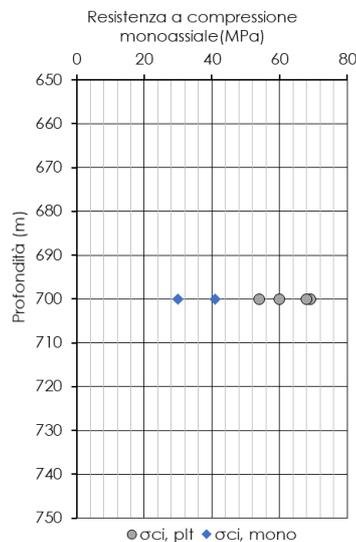


Figura 74 Resistenza a compressione monoassiale

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti (Tabella 34).

Tabella 40 Prove sui campioni litoidi

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\sigma_{ci, mono}$	$\sigma_{ci, plt}$	$E_{i, CM}$	$E_{i, vel}$
(-)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
SGN12gall	SC1	700	30		39	39
SGN12gall	SC2	700		54		
SGN12gall	SC3	700		60		
SGN12gall	SC4	700	41		49	59
SGN12gall	SC5	700		69		
SGN12gall	SC6	700		68		

Caratterizzazione dell'ammasso roccioso e delle discontinuità

Al fine di valutare le caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso sono stati considerati i risultati delle prove eseguite in foro ed i risultati ottenuti dai rilievi geomeccanici da sondaggio, durante la campagna di indagini Italferr 2021/2022.

- Prove in sito

Per determinare le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso sono stati elaborati i risultati di 6 prove dilatometriche, 3 eseguite tra 30 e 40 m di profondità e 3 a partire dalla galleria esistente Santomarco.

L'interpretazione delle prove e dilatometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente alla fase di scarico e di carico. Si è considerato per la fase di scarico il modulo determinato per il terzo ciclo di scarico. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo 345 ÷ 3121 MPa mentre quello di carico nell'intervallo 64÷ 1164 MPa.

La Figura 70 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove dilatometriche con la profondità.

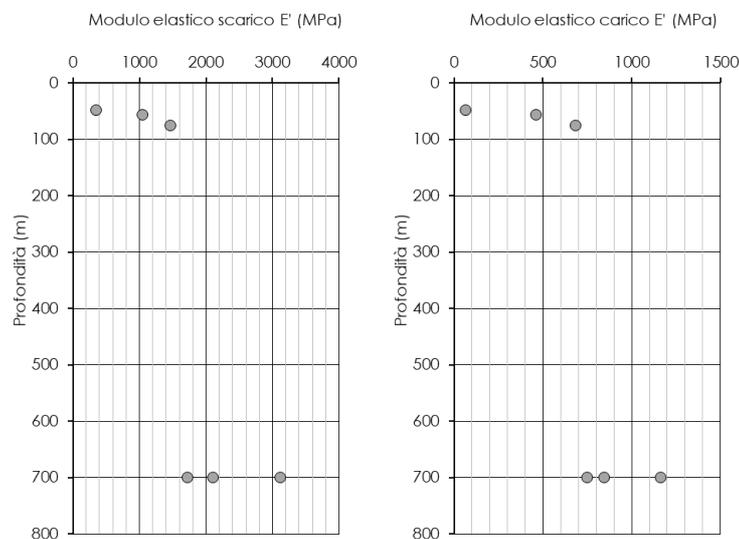


Figura 75 Moduli di deformabilità da prove dilatometriche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove pressiometriche e dilatometriche relative ad ogni sondaggio (Tabella 35).

Tabella 41 Prova pressiometriche e dilatometriche

Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	E unload	E load
(-)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)
SGN12	Dilatometrica	48	345	64
SGN12	Dilatometrica	56	1048	461
SGN12	Dilatometrica	75	1464	685
SGN12gall	Dilatometrica	700	3121	1164
SGN12gall	Dilatometrica	700	1718	751
SGN12gall	Dilatometrica	700	2107	846

Figura 76 Coefficiente di permeabilità k da prove Lefranc

- Rilievi geomeccanici da cassetta

Nei sondaggi che intercettano la formazione in esame sono stati eseguiti rilievi geomeccanici da cassetta. Tali rilievi hanno consentito di definire un GSI pari a 12 (SGN12) e 49 (SGN12gall) (Rif. [12]).

Il valore inferiore può essere considerato rappresentativo delle zone intensamente fratturate mentre il superiore, relativo al sondaggio da gallerie, può essere considerato rappresentativo delle condizioni medie dell'ammasso.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove attualmente disponibili ha consentito di definire per la formazione EBG i range di variazione dei parametri riassunti nella Tabella 39:

Tabella 42 Sintesi parametri geotecnici EBG

	Min	Max	
γ	28,4	28,7	(kN/m ³)
σ_{ci}	30	69	(MPa)
E_i	39	59	(GPa)
$E_{load, dilato}$	64	1164	(MPa)
$E_{unload, dilato}$	345	3121	(MPa)
$GSI_{cassetta}$	12	49	(-)

8.3.10 Scisti muscovitivi di Greco (MGR)

La formazione è definita come scisti e scisti muscovitici di colore grigio, marrone e grigio-verdastro, spesso a composizione granitica, a tessitura scistosa e fortemente orientata; sono presenti frequenti vene di quarzo parallele alla scistosità (da Rif. [11]).

Su questa unità sono stati realizzati n. 2 sondaggi geognostici in superficie (SGN10 e SGN11).



Figura 77 EBG nel foro di sondaggio SGN10 tra 20 e 25 m da p.c. e nel foro di sondaggio SGN11 tra 15 e 20 m da p.c.

Caratterizzazione della roccia intatta

Sono stati prelevati all'interno della formazione 9 campioni litoidi tra 6 e 34 m di profondità da piano campagna, i quali sono stati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di volume dei campioni analizzati varia tra 25,4 e 27,3 kN/m³.

Per determinare le caratteristiche di resistenza e deformabilità della roccia intatta sono state eseguite 2 prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni, 7 point load test e 2 prove di velocità ultrasonica. In Figura 68 si riporta l'andamento della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta con la profondità. I valori ottenuti risultano compresi tra 22 e 68 MPa.

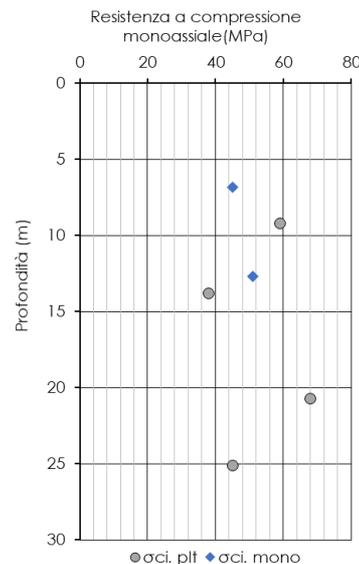


Figura 78 Resistenza a compressione monoassiale

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti (Tabella 34).

Tabella 43 Prove sui campioni litoidi

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\sigma_{ci, mono}$	$\sigma_{ci, plt}$	$E_{i, CM}$	$E_{i, vel}$
(-)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
SGN10	CR1	9,2		59		
SGN10	CR2	13,8		38		
SGN10	CR3	20,7		68		
SGN10	CR4	25,1		45		
SGN11	CR1	6,8	45		31	40
SGN11	CR2	12,7	51		36	44
SGN11	CR3	19,2		22		
SGN11	CR4	29,6		55		
SGN11	CR5	34,4		26		

Caratterizzazione dell'ammasso roccioso e delle discontinuità

Al fine di valutare le caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso sono stati considerati i risultati delle prove eseguite in foro ed i risultati ottenuti dai rilievi eseguiti negli stop geologici sulla formazione litoide, affiorante o da sondaggio, durante la campagna di indagini Italferr 2021/2022.

o Prove in sito

Per determinare le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso sono stati elaborati i risultati di 7 prove dilatometriche eseguite tra 6 e 32 m di profondità.

L'interpretazione delle prove e dilatometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente alla fase di scarico e di carico. Si è considerato per la fase di scarico il modulo determinato per il terzo ciclo di scarico. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo $823 \div 1538$ MPa mentre quello di carico nell'intervallo $513 \div 1045$ MPa.

La Figura 70 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove dilatometriche con la profondità.

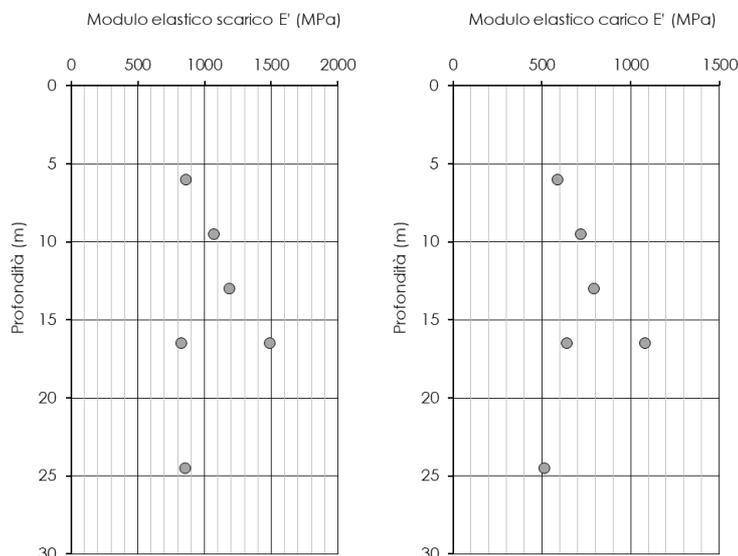


Figura 79 Moduli di deformabilità da prove dilatometriche

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove pressiometriche e dilatometriche relative ad ogni sondaggio (Tabella 35).

Tabella 44 Prova pressiometriche e dilatometriche

Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	E unload	E load
(-)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)
SGN10	Dilatometrica	9,5	1072	720
SGN10	Dilatometrica	16,5	823	638
SGN11	Dilatometrica	6	859	586
SGN11	Dilatometrica	13	1184	793
SGN11	Dilatometrica	16,5	1490	1082
SGN11	Dilatometrica	24,5	857	513
SGN11	Dilatometrica	32	1538	1045

Figura 80 Coefficiente di permeabilità k da prove Lefranc

- Stop geologici

È stato eseguito sull'affioramento della formazione uno stop geologico. Da cui sono stati ricavati i seguenti dati:

- dati rilevati lungo la linea di scansione tramite rilievo geomeccanico (distanza della frattura dallo zero del nastro, tipo di terminazione, giacitura, apertura, ondulazione, persistenza, alterazione, tipo di giunto, ecc.) secondo ISRM (1978),
- spaziature delle discontinuità.

È stato quindi possibile definire le caratteristiche generali dell'affioramento (descrizione geometrica, geologica e geomorfologica), i dati litologici (litologia, grado di alterazione) e i dati strutturali (giaciture, famiglie di giunti

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

e discontinuità, riempimenti delle fratture ed eventuali disturbi tettonici). I dati così ricavati hanno inoltre permesso di caratterizzare le discontinuità presenti.

L'interpretazione dei dati ricavati dallo stop geologico ha consentito di definire le caratteristiche geotecniche dell'ammasso a partire dagli indici di qualità RMR e GSI. Tali indici, derivanti rispettivamente dalle classificazioni geomeccaniche di Bieniawski e Hoek (Rif. [48] e Rif. [47]), forniscono indicazioni sulla qualità complessiva dell'ammasso roccioso e permettono una stima approssimata del suo comportamento e delle sue caratteristiche di resistenza e deformabilità.

La formazione è caratterizzata da un indice di qualità GSI compreso tra 43 e 48 e da un indice di Bieniawski RMR di base compreso tra 48 e 53 (Tabella 37). La qualità dell'ammasso risulta quindi mediocre. La resistenza a compressione della roccia intatta determinata tramite battute sclerometriche varia da 69 a 127 MPa (Rif. [12]).

Tabella 45 Valori numerici RMRb e GSI

RQD %	RMR ₈₉	GSI
71	47÷52	42÷47

- Rilievi geomeccanici da cassetta

Nei sondaggi che intercettano la formazione in esame sono stati inoltre eseguiti rilievi geomeccanici da cassetta. Tali rilievi hanno consentito di definire un GSI pari a 32 (SGN10) e 39 (SGN11) (Rif. [12]).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove attualmente disponibili ha consentito di definire per la formazione EBG i range di variazione dei parametri riassunti nella Tabella 39:

Tabella 46 Sintesi parametri geotecnici EBG

	Min	Max	
γ	25,4	27,3	(kN/m ³)
σ_{ci}	22	68	(MPa)
E_i	31	44	(GPa)
$E_{load, dilato}$	513	1045	(MPa)
$E_{unload, dilato}$	823	1538	(MPa)
$GSI_{rilievo}$	42	47	(-)
$GSI_{cassetta}$	32	39	(-)

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

8.3.11 Filladi di San Giovanni (FSG)

La formazione è definita come filladi e scisti filladici di colore grigio e nerastro, a tessitura finemente scistosa, con locali intercalazioni di metarenarie e metacalcari cristallini; sono presenti frequenti vene di quarzo parallele alla scistosità (da Rif. [11]).

Su questa unità è stato realizzato un sondaggio geognostico dalla galleria ferroviaria esistente (SGN10_gall)



Figura 81 EBG nel foro di sondaggio SGN10 tra 5 e 10 m e tra 10 e 15 m

Caratterizzazione della roccia intatta

Sono stati prelevati all'interno della formazione 8 campioni litoidi sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di volume dei campioni analizzati varia tra 26,9 e 27,6 kN/m³.

Per determinare le caratteristiche di resistenza e deformabilità della roccia intatta sono state eseguite 6 prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni, 2 point load test e 6 prove di velocità ultrasonica. In Figura 68 si riporta l'andamento della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta con la profondità. I valori ottenuti risultano compresi tra 12 e 59 MPa.

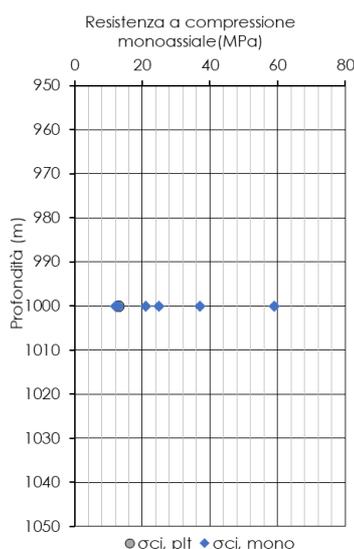


Figura 82 Resistenza a compressione monoassiale

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti (Tabella 34).

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Tabella 47 Prove sui campioni litoidi

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\sigma_{ci, mono}$	$\sigma_{ci, plt}$	$E_{i, CM}$	$E_{i, vel}$
(-)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
SGN10gall	CS1	1000	59		35	37
SGN10gall	CS2	1000		13		
SGN10gall	CS3	1000		13		
SGN10gall	CS4	1000	12		8	18
SGN10gall	CS5	1000	37		25	47
SGN10gall	CS6	1000	21		16	36
SGN10gall	CS7	1000	25		18	41
SGN10gall	CS8	1000	13		9	23

Caratterizzazione dell'ammasso roccioso e delle discontinuità

Al fine di valutare le caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso sono stati considerati i risultati delle prove eseguite in foro ed i risultati ottenuti dai rilievi eseguiti negli stop geologici sulla formazione litoide, affiorante o da sondaggio, durante la campagna di indagini Italferr 2021/2022.

o Prove in sito

Per determinare le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso sono stati elaborati i risultati di 3 prove dilatometriche.

L'interpretazione delle prove e dilatometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente alla fase di scarico e di carico. Si è considerato per la fase di scarico il modulo determinato per il terzo ciclo di scarico. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo 814 ÷ 1562 MPa mentre quello di carico nell'intervallo 518 ÷ 1170 MPa.

La Figura 70 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove dilatometriche con la profondità.

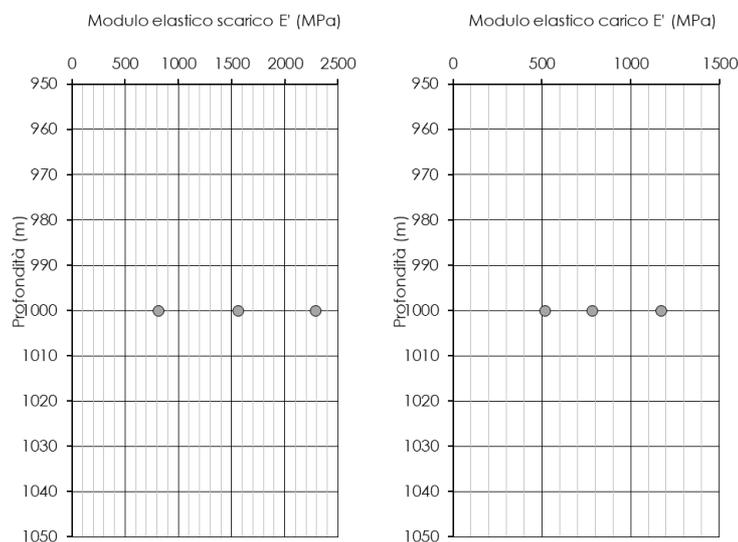


Figura 83 Moduli di deformabilità da prove dilatometriche

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove pressiometriche e dilatometriche relative ad ogni sondaggio (Tabella 35).

Tabella 48 Prova pressiometriche e dilatometriche

Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	E unload	E load
(-)	(-)	(m)	(MPa)	(MPa)
SGN10gall	Dilatometrica	1000	814	518
SGN10gall	Dilatometrica	1000	2287	784
SGN10gall	Dilatometrica	1000	1562	1170

Figura 84 Coefficiente di permeabilità k da prove Lefranc

- Stop geologici

È stato eseguito sull'affioramento della formazione uno stop geologico. Da cui sono stati ricavati i seguenti dati:

- dati rilevati lungo la linea di scansione tramite rilievo geomeccanico (distanza della frattura dallo zero del nastro, tipo di terminazione, giacitura, apertura, ondulazione, persistenza, alterazione, tipo di giunto, ecc.) secondo ISRM (1978),
- spazature delle discontinuità,
- dati ottenuti da battute sclerometriche con martello di Schmidt.

È stato quindi possibile definire le caratteristiche generali dell'affioramento (descrizione geometrica, geologica e geomorfologica), i dati litologici (litologia, grado di alterazione) e i dati strutturali (giaciture, famiglie di giunti e discontinuità, riempimenti delle fratture ed eventuali disturbi tettonici). I dati così ricavati hanno inoltre permesso di caratterizzare le discontinuità presenti.

L'interpretazione dei dati ricavati dallo stop geologico ha consentito di definire le caratteristiche geotecniche dell'ammasso a partire dagli indici di qualità RMR e GSI. Tali indici, derivanti rispettivamente dalle classificazioni geomeccaniche di Bieniawski e Hoek (Rif. [48] e Rif. [47]), forniscono indicazioni sulla qualità complessiva dell'ammasso roccioso e permettono una stima approssimata del suo comportamento e delle sue caratteristiche di resistenza e deformabilità.

La formazione è caratterizzata da un indice di qualità GSI compreso tra 43 e 48 e da un indice di Bieniawski RMR di base compreso tra 48 e 53 (Tabella 37). La qualità dell'ammasso risulta quindi mediocre. La resistenza a compressione della roccia intatta determinata tramite battute sclerometriche varia da 69 a 127 MPa (Rif. [12]).

Tabella 49 Valori numerici RMR_b e GSI

RQD %	RMR ₈₉	GSI
18	37-41	32-36

- Rilievi geomeccanici da cassetta

Nel sondaggio che intercetta la formazione in esame è stato eseguito il rilievo geomeccanico da cassetta per il sondaggio di interesse che ha consentito di definire un valore di GSI pari a 37 (Rif. [12]).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove attualmente disponibili ha consentito di definire per la formazione EBG i range di variazione dei parametri riassunti nella Tabella 39:

Tabella 50 Sintesi parametri geotecnici EBG

	Min	Max	
γ	26,9	27,6	(kN/m ³)
σ_{ci}	12	59	(MPa)
E_i	9	47	(GPa)
$E_{load, dilato}$	518	1170	(MPa)
$E_{unload, dilato}$	814	1562	(MPa)
$GSI_{rilievo}$	32	36	(-)
$GSI_{cassetta}$	37		(-)

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

8.3.12 Arenarie di Paola (RPL) e Graniti di Varco Ceraso (GVC)

Per le Arenarie di Paola, RPL e i Graniti di Varco Ceraso, GVC, non sono al momento disponibili dati utili per la caratterizzazione geotecnica. Sondaggi e indagini dirette all'interno di tali formazioni sono previsti nella seconda fase della campagna integrativa attualmente in corso le cui risultanze saranno integrate per il PFTE per gara (cfr. Rif. [11]).

La Nuova Santomarco attraversa le Arenarie di Paola per circa 470m (da p.k. 7+960 a p.k. 8+430 b.p.) con coperture comprese tra 190 e 230 metri e i Graniti di Varco Ceraso per circa 70m (da p.k. 9+450 a p.k. 9+520 b.p.) con coperture di circa 370 metri.

Di seguito si riportano la descrizione e le informazioni al momento disponibili per queste formazioni.

Arenarie di Paola (RPL)

La formazione è definita come composta da arenarie da fini a grossolane di colore bruno chiaro, grigio e giallastro, generalmente ben stratificate e intensamente fratturate, a cemento prevalentemente calcareo; sono presenti frequenti livelli di conglomerati poligenici a clasti eterometrici e poco arrotondati, più abbondanti verso il basso; a luoghi si rinvencono intercalazioni di calcari arenacei, sabbie poco cementate e argille marnose grigie e verdastre (da Rif. [11]).

La Figura 85 mostra come la formazione si presenta in affioramento.



Figura 85 RPL in affioramento (Rif. [12])

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Graniti di Varco Ceraso (GVC)

La formazione è definita come composta da graniti muscovitico-biotitici di colore grigio chiaro, giallastro per alterazione, spesso laminati e a grana grossolana. L'ammasso si presenta da mediamente a molto fratturato, con locali porzioni completamente arenitizzate o fortemente brecciate/cataclasate (da Rif. [11]).

La Figura 86 mostra come la formazione si presenta in affioramento, in una porzione arenitizzata.



Figura 86 GVC in affioramento (Rif. [12])

8.3.13 Unità geotecniche

Nelle seguenti tabelle è riportata una sintesi degli intervalli dei principali parametri geomeccanici per gli ammassi rocciosi (Tabella 51) e per i terreni (Tabella 52) interessati dallo scavo delle opere in sotterraneo di progetto.

Tabella 51 Sintesi dei parametri fisici e meccanici per gli ammassi rocciosi

Formazioni geologiche	Unità geotecnica e descrizione sintetica	σ_{ci} [MPa]	GSI	mi	E_i [GPa]	γ [kN/m ³]	k [m/s]
Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti EBG	EBG Scisti	30-69	12-49	10	39-59	28,4-28,7	5E-5 – 5E-9 (2)
Scisti muscovitici di Greco MGR	MGR Scisti	22-68	32-47	10	31-44	25,4-27,3	5E-5 – 5E-9 (2)
Filladi di San Giovanni FSG	FSG Scisti filladici e filladi	12-59	32-37	7	9-47	26,9-27,6	5E-5 – 5E-9 (2)
Gneiss di Cozzo Luparello GCL	GCL Gneiss	64-96	20-48	28	42-69	26,7-28,6	5,5E-5- 4E-8
Arenarie di Paola RPL (1)	RPL Arenarie	-	-	17	-	-	1E-4- 1E-7 (2)
Conglomerati di San Fili CFL (1)	CFL Conglomerati	8,4 - 49	-	21	-	22,1 – 26,8	1,4 E-8
Graniti di Varco Ceraso GVC (1)	GVC Graniti	-	-	32	-	-	1E-5- 1E-8 (2)
Argille marnose del T. Lavandaio ALD (lapideo)	ALD Argille marnose e marne argillose	1 – 17	-	7	-	22,1 – 24,3	5,7E-6- 4,9E-9

Tabella 52 Sintesi dei parametri fisici meccanici per i terreni

Formazioni geologiche	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E [MPa]	k [m/s]
Argille marnose del T. Lavandaio ALD (3) (terrigeno)	ALD Argille marnose e marne argillose	19 – 22	34	26	36-452	5,7E-6-4,9E-9
Argille marnose del T. Scumalatte ASM	ASM Argille limose e argille marnose	19-20	23-54	27-32	95-126	9,5E-9-2,9E-9
Argille limose del T. Settimo (litofacies ATS)	ATS Argille limo-sabbiose	19-21	0-41	26-30	37-424	6E-7 – 4,5E-9

Argille limose del T. Settimo (litofacies ATSa)	ATSa Argilliti e scisti argillitici	-	-	-	-	5E-7 – 1E-10
Sabbie di Mandrigli SMD ⁽¹⁾	SMD Sabbie	-	-	-	-	1E-3 – 1E-7 ⁽³⁾
Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola SCM ⁽¹⁾	SCM Sabbie e conglomerati	-	0	33-42	16-52	1E-3 – 1E-7 ⁽³⁾
Depositi marini terrazzati (gn) ed attuali e recenti (g2)	G Ghiaie in matrice sabbiosa e limosa	18-21	0-25	30-42	16-100	1E-2 – 1E-7 ⁽³⁾

⁽¹⁾ In assenza di indagini specifiche per tali unità non sono attualmente disponibili dati che consentano di caratterizzare la formazione in modo completo dal punto di vista meccanico. Per tali formazioni sono in corso indagini integrativa le cui risultanze saranno recepite nella fase di PFTE per gara.

⁽²⁾ Da Rif. [11].

⁽³⁾ I parametri indicati sono stati determinati sulla formazione a profondità inferiore a 50 m.

Nelle analisi di diagnosi e nei calcoli di predimensionamento del rivestimento della galleria riportati nei successivi paragrafi (cfr. §9 e §10), per gli ammassi rocciosi è stato adottato il modello di mezzo continuo equivalente.

La determinazione dei parametri di resistenza è stata eseguita a partire dalle caratteristiche della matrice rocciosa intatta adottando il criterio di resistenza di Hoek & Brown (1988). In questo modello, la curva intrinseca che fornisce le condizioni di rottura dell'ammasso è data dalla seguente espressione:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma'_{ci} \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma'_3}{\sigma'_{ci}} + s \right)^a$$

dove:

- σ'_1 : tensione principale efficace maggiore a rottura;
- σ'_3 : tensione principale efficace minore a rottura;
- σ'_{ci} : resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;
- m_b : funzione del valore della costante m_i della roccia intatta secondo la relazione:

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14 \cdot D}\right)$$

- s : costante data dalla seguente relazione: $s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 2D}\right) s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 2D}\right)$;
- a : costante data dalla seguente relazione: $a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{15}} \right) a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{15}} \right)$;
- D : fattore che dipende dal grado di disturbo dell'ammasso roccioso, calibrato in funzione delle metodologie realizzative dell'opera.
- GSI: Geological Strength Index - indice di qualità per valutare le caratteristiche geotecniche intrinseche dell'ammasso roccioso.

La resistenza al taglio è stata espressa con il criterio di resistenza di Mohr-Coulomb, interpolando con una retta la curva intrinseca di Hoek-Brown, ridefinita nel piano tensione tangenziale (τ) - tensione normale (σ'_n). In questo modo sono stati definiti i parametri di coesione c e angolo di resistenza al taglio ϕ (Figura 87).

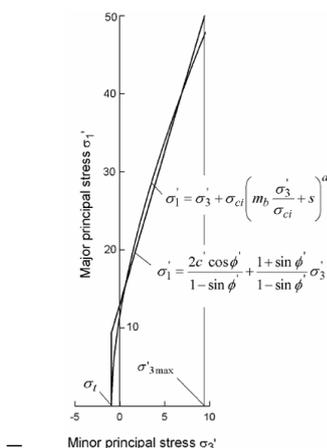


Figura 87. Interpolazione della curva intrinseca di Hoek e Brown: retta di rottura di Mohr-Coulomb

Nella tabella seguente si riporta, in sintesi, la definizione del criterio di resistenza per l'ammasso roccioso sulla base delle indagini e delle prove descritte nei paragrafi precedenti:

Tabella 53 Parametri per la definizione del criterio di Hoek & Brown

formazioni	Unità geotecnica	γ	σ_{ci}	GSI	m_i	E_i
-	-	kN/m^3	MPa	-	-	GPa
GCL	Gneiss	28	90	40	28	55
GCL (faglia)	Gneiss	28	90	20	28	55
FSG	Filladi e scisti filladici	27	30	35	7	30
FSG (faglia)	Filladi e scisti filladici	27	30	25	7	30
ALD	Marne argillose	23	20 ⁽¹⁾	35	7	4 ⁽²⁾
EBG	Scisti	28	35	50	10	45
EBG (faglia)	Filladi e scisti filladici	28	35	15	10	45
MGR	Scisti	27	45	40	10	40
(1) Valutato alla profondità di interesse						
(2) Ipotesi cautelativa da prove geofisiche Down-Hole						

Quanto riguarda i valori di GSI nelle zone di faglia si è fatto riferimento ai rilievi geomeccanici da cassetta per i sondaggi che intercettano zone fortemente fratturate, altrimenti sono state fatte ipotesi cautelative.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

8.3.14 Risultanze derivanti dalla galleria Santomarco esistente

L'analisi delle risultanze derivanti dallo scavo della galleria Santomarco esistente, dello stato di fatto dell'opera e degli interventi che la stessa ha subito durante l'intero periodo di esercizio costituisce un utile strumento per arricchire il quadro conoscitivo del contesto in cui sarà realizzata la Nuova Santomarco, prevista in affiancamento alla galleria esistente a circa 100 m a Sud.

In accordo con quanto richiesto nel Parere n°5/2022 del CSLLPP del 22 marzo 2022 il progetto è stato integrato con una specifica relazione tecnica relativa alla galleria naturale esistente (Rif. [67]) dedicata all'esame dei suddetti aspetti. Rimandando a detto documento per maggiori dettagli di seguito se ne riepilogano i principali contenuti.

Problematiche riscontrate in fase di scavo

Come noto, lo scavo della galleria esistente è stato caratterizzato da numerose problematiche legate sia a problemi costruttivi che a problemi legati alle scarse conoscenze geologiche. La discrepanza riscontrata tra condizioni geologiche attese e condizioni geologiche incontrate ha avuto infatti notevoli ripercussioni in fase di scavo sia perché i costruttori non erano attrezzati per poter gestire e reagire prontamente all'insorgere di condizioni impreviste, sia perché alcune problematiche geotecniche legate a condizioni di scavo in ammassi difficili non erano state identificate in modo opportuno.

Le principali problematiche incontrate sono state le seguenti:

- venute d'acqua;
- comportamento spingente dell'ammasso;
- instabilità del fronte e del cavo in zone tettonizzate e cataclasate;
- difficoltà di avanzamento per lo scavo in ammassi rocciosi molto duri (scisti epidotici).

Per quanto riguarda le venute d'acqua che furono incontrate, esse si localizzarono:

- lato Cosenza nei depositi sedimentari, in cui si ebbero venute d'acqua fino a 50 l/s con moti di filtrazione e conseguente formazione di fornelli. Lo scavo di questo tratto avveniva da due fronti in direzioni opposte, in scavo tradizionale e meccanizzato. Furono eseguiti interventi di pompaggio, un cunicolo drenante e un intervento di congelamento per poter avanzare con lo scavo;
- lato Paola nella tratta composta da terreni di copertura e ammassi rocciosi alterati e fratturati, in cui si ebbero venute d'acqua fino a 10 l/s; lo scavo di questo tratto avveniva in metodo tradizionale e fu eseguito anche un consolidamento con jet-grouting per poter avanzare;
- nella zona tettonizzata al contatto tra le filladi e gli scisti (intorno alla pk 2+000), in cui si avanzava in scavo tradizionale;
- nella zona tettonizzata e cataclasata individuata negli scisti epidotici (pk 6+730-8+195, a partire dal pozzo in corrispondenza del passaggio tra lotto 2 e lotto 3) in cui si avanzava in scavo tradizionale.

Per quanto riguarda gli ammassi spingenti, le principali problematiche si ebbero principalmente nelle filladi, in zone di faglia e, in misura inferiore, nelle marne argillose, in particolare:

- nella zona tettonizzata dalla pk 8+195 fino al pozzo realizzato tra lotto 2 e lotto 3, in zona di faglia dove le forti spinte causarono lesioni alle pareti del pozzo. Furono realizzati vari cunicoli esplorativi per studiare il fenomeno e, dopo aver adottato per la galleria in scavo tradizionale diverse sezioni di

avanzamento, si decise per un tratto di 53 m di utilizzare una doppia blindatura con anelli cavi in acciaio posti sul rivestimento della galleria precedentemente realizzata;

- nella zona di attraversamento delle filladi tra le pk 4+850 e 6+020 del tracciato in cui si avanzava in scavo meccanizzato. Dato che la macchina si era bloccata per guasti, fu decisa la costruzione di un cunicolo di ispezione. Alla ripresa dello scavo la macchina si bloccò due volte a causa delle forti spinte e furono necessarie modifiche al rivestimento con adozione di rivestimento deformabile per ridurre la pressione sullo stesso da 270 a 150 t/m².
- Nel tratto di attraversamento di marne argillose parzialmente spingenti tra le pk 8+280-9+500 del tracciato esistente (ALD), in cui lo scavo avvenne con metodo meccanizzato ma senza problemi maggiori.

Per quanto riguarda l'attraversamento delle zone tettonizzate e cataclasate, i principali problemi furono legati alla mancata identificazione e posizionamento delle stesse e alla conseguente necessità di dover gestire venute d'acqua improvvise ed eseguire interventi di consolidamento per poter adattare e/o modificare il metodo di scavo e le sezioni di avanzamento per far fronte alle condizioni incontrate. Ad esempio, tra le pk 6+625 e 6+730 del tracciato esistente, mentre si avanzava in scavo tradizionale furono intercettati scisti molto degradati ed argillificati, e a seguito di lesioni al prerinvestimento, fu eseguito un consolidamento al contorno tramite tubi in acciaio valvolati.

Infine, le problematiche che si ebbero a causa dello scavo in ammassi rocciosi molto duri furono soprattutto di tipo tecnologico, in quanto gli utensili di scavo non erano adeguati alle formazioni attraversate (ricorso all'uso di esplosivi contestuale all'avanzamento meccanizzato con conseguenti danneggiamenti della macchina).

Ulteriori informazioni sulla galleria Santomarco esistente, recuperate nell'ambito della presente fase progettuale e ritenute utili ai fini della fase conoscitiva e delle scelte progettuali adottate per la nuova galleria, sono state riportate in formato grafico nell'elaborato "Risultanze derivanti dalla galleria Santomarco esistente " (Rif. [54]).

Stato di fatto della galleria e interventi eseguiti all'interno della stessa nel periodo di esercizio

L'esame dello stato di fatto della galleria Santomarco esistente evidenzia come l'opera si presenti in condizioni globalmente buone con ammaloramenti delle strutture di rivestimento tipici di gallerie realizzate 40-50 anni fa come quella in esame.

Tale dato risulta confermato anche dalle informazioni recuperate dalla Direzione Tecnica e dalla Direzione Operativa Infrastrutture Territoriale Reggio C. di RFI. Nel periodo di esercizio, la galleria Santomarco ha richiesto esclusivamente interventi di impermeabilizzazione e/o risanamento della superficie interna del rivestimento e non sono stati necessari interventi strutturali per il consolidamento o rinforzo degli elementi strutturali. Le ispezioni e i rilievi non hanno messo in evidenza quadri fessurativi o lesioni del rivestimento definitivo nelle zone che corrispondono all'attraversamento delle grandi discontinuità tettoniche come evidenziate nello studio geologico; verifiche ed ispezioni condotte a seguito di eventi sismici verificatesi nell'area (cfr. Rif. [11]) non hanno riscontrato danneggiamenti nelle tratte in cui la galleria potrebbe attraversare faglie capaci.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Riguardo il rilievo eseguito all'interno della galleria esistente, interessante risulta il dato relativo alle infiltrazioni d'acqua e macchie di umidità sul rivestimento anche in considerazione del fatto che l'opera è stata realizzata senza impermeabilizzazione sia per le tratte scavate con metodo tradizionale che per quelle scavate con TBM (i conci prefabbricati sono privi di guarnizioni idrauliche).

Come già evidenziato al paragrafo 8.1.1 le maggiori evidenze di infiltrazioni d'acqua si riscontra nella prima parte di galleria lato Paola, dall'imbocco fino alla progressiva assoluta della galleria esistente 4+500 circa, corrispondente al passaggio tra Filladi di S. Giovanni, FSG, e Scisti epidotici, EBG, con copertura di circa 800m.

Lato Cosenza le maggiori evidenze (comunque inferiori a quelle presenti lato Paola) risultano circoscritte a tratte limitate corrispondenti ai passaggio litologici tra le Arenarie di Paola, RPL, e le Argille marnose del Torrente Scumalatte, ASM, tra queste ultime e le Sabbie di Mandrigli, SMD, e all'interno delle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola, SCM, in prossimità dell'imbocco lato Cosenza.

Nella tratta centrale della galleria alle massime coperture all'interno delle formazioni del Basamento Metamorfico si riscontra, invece, una sostanziale assenza di aree umide sul rivestimento anche in corrispondenza delle zone di faglia. Tale evidenza, coerente con l'ubicazione degli interventi di impermeabilizzazione e risanamento sopra citati e con le risultanze dei sondaggi eseguiti dalla galleria esistente (cfr. Rif. [11]) lascia intendere l'assenza o, quanto meno, una circolazione idrica sotterranea estremamente ridotta in tali tratte.

Indicazioni in merito alle risultanze del rilievo eseguito all'interno della galleria e all'ubicazione degli interventi eseguiti nel tempo all'interno della stessa sono riportate in formato grafico anche nell'elaborato "Risultanze derivanti dalla galleria Santomarco esistente " (Rif. [54]).

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

9 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [9]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

9.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [9]) la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo d'avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

Sulla base di tali considerazioni, il comportamento del nucleo-fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie:

Categoria A: nucleo-fronte stabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità non supera le caratteristiche di resistenza dell'ammasso; in tal caso le deformazioni sono prevalentemente elastiche, di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente con la distanza dal fronte. Il fronte di scavo e il cavo sono stabili e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione, se non localizzati e in misura ridotta. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi tensioni sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano interventi, lo stato tensio-deformativo può evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Categoria C: nucleo-fronte instabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui, superata la resistenza del terreno, i fenomeni deformativi evolvono molto rapidamente in campo plastico, producendo la progressiva instabilità del fronte di scavo e un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa e plasticizzata al contorno della cavità, con rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale. L'espansione della fascia di materiale decompresso al contorno del cavo deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo, mediante interventi di preconsolidamento in avanzamento, che consentono di creare artificialmente l'effetto arco per far evolvere la risposta tensio-deformativa verso configurazioni di stabilità.

9.2 Determinazione delle categorie di comportamento

9.2.1 *Analisi con il metodo delle linee caratteristiche*

Per la determinazione delle categorie di comportamento e stato utilizzato il metodo delle linee caratteristiche (o convergenza-confinamento); tale metodo consente l'analisi 3D semplificata dello scavo di gallerie in relazione alle proprietà meccaniche dell'ammasso attraversato, alle caratteristiche geometriche dell'opera, agli interventi previsti di precontenimento e contenimento, e all'installazione dei rivestimenti provvisori e definitivi. Nella fase di diagnosi, poiché la finalità è la valutazione del comportamento deformativo dell'ammasso in assenza di interventi di stabilizzazione, le analisi consistono nella valutazione della sola curva caratteristica del fronte (e del cavo) senza considerare l'interazione con i sostegni.

Sezioni analizzate

Nelle tabelle seguenti sono riepilogate le sezioni analizzate con i relativi dati di input utilizzati per il calcolo. Sono state analizzate 14 sezioni, in corrispondenza delle massime coperture per ciascuna formazione attraversata.

Tabella 54 Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: dati di input

Sezione di calcolo	Unità	pk	H	h _w	σ _o	p _{w0}	p _{wR}	R _w	γ	c' _{k p}	φ' _{k p}	c _{u k}	E _k	Eu
		[km]]	[m]	[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[m]	[kN/m ³]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
D1	GCL	9+370	370	0	10.36	0.00	0.00	0.0	28.0	1.892	48.7	-	8781	-
D2	GCL (faglia)	9+370	370	0	10.36	0.00	0.00	0.0	28.0	1.251	42.0	-	2512	-
D3	FSG	16+750	700	0	18.90	0.00	0.00	0.0	27.0	1.067	22.8	-	3402	-
D4	FSG	16+300	800	0	21.60	0.00	0.00	0.0	27.0	1.156	21.9	-	3402	-
D5	FSG	13+433	1155	0	31.19	0.00	0.00	0.0	27.0	1.437	19.6	-	3402	-
D6	FSG (faglia)	13+300	1100	0	29.70	0.00	0.00	0.0	27.0	1.114	17.4	-	1796	-
D7	ALD	10+685	430	0	9.89	0.00	0.00	0.0	23.0	0.615	24.5	-	454	-
D8	ALD	10+100	400	0	9.20	0.00	0.00	0.0	23.0	0.589	25.0	-	454	-
D9	FSG (faglia)	12+425	900	0	24.30	0.00	0.00	0.0	27.0	0.988	18.6	-	1796	-
D10	FSG (faglia)	16+200	830	0	22.41	0.00	0.00	0.0	27.0	0.941	19.0	-	1796	-
D11	EBG	14+550	1090	0	30.52	0.00	0.00	0.0	28.0	2.248	27.3	-	13823	-

D12	MGR	17+100	620	0	16.74	0.00	0.00	0.0	27.0	1.452	30.9	-	6386	-
D13	FSG (faglia)	18+350	220	0	5.94	0.00	0.00	0.0	27.0	0.418	27.7	-	1796	-
D14	EBG (faglia)	11+100	500	0	14.00	0.00	0.00	0.0	28.0	0.633	22.2	-	1640	-

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria

s_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo

p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate

p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo

R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}

g = peso dell'unità di volume dell'ammasso

c'_{kp} = valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso

φ'_{kp} = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso

E_k = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Risultati delle analisi

Tabella 55 Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: risultati delle analisi

Sezione di analisi	Unità	σ_c	p_c	σ_c / p_c	u_F	u_F / R_{eq}	R_{PF}	R_{PF} / R_{eq}	u_{∞}	R_P	Criterio σ_c / p_c	Criterio u_F / R_{eq}	Criterio R_{PF} / R_{eq}
		[MPa]	[MPa]	[-]	[m]	[%]	[m]	[-]	[m]	[m]			
D1	GCL	10.03	0.73	13.72	0.004	0.08	5.05	1.03	0.008	5.40	A	A	A
D2	GCL (faglia)	5.62	1.79	3.14	0.018	0.36	5.43	1.11	0.036	6.32	A	B	B
D3	FSG	3.21	9.08	0.35	0.110	2.25	8.93	1.82	0.277	17.92	B/C	C	C
D4	FSG	3.42	10.76	0.32	0.147	3.00	9.41	1.92	0.381	19.96	B/C	C	C
D5	FSG	4.07	17.01	0.24	0.342	6.97	11.10	2.27	0.983	27.93	B/C	C	C
D6	FSG (faglia)	3.04	17.62	0.17	1.178	24.04	13.91	2.84	3.977	44.16	C	C	C
D7	ALD	1.91	4.43	0.43	0.335	6.83	8.19	1.67	0.803	15.01	B/C	C	C
D8	ALD	1.85	4.04	0.46	0.290	5.92	8.00	1.63	0.687	14.29	B/C	C	C
D9	FSG (faglia)	2.75	13.84	0.20	0.700	14.28	12.44	2.54	2.186	35.17	C	C	C
D10	FSG (faglia)	2.64	12.55	0.21	0.572	11.67	11.92	2.43	1.736	32.28	B/C	C	C
D11	EBG	7.38	12.01	0.61	0.023	0.48	7.24	1.48	0.053	11.63	B/C	B	B
D12	MGR	5.12	5.54	0.92	0.020	0.40	6.49	1.33	0.043	9.28	A/B	B	B
D13	FSG (faglia)	1.38	2.33	0.59	0.035	0.72	7.26	1.48	0.080	11.70	B/C	C	B
D14	EBG (faglia)	1.89	7.03	0.27	0.229	4.68	9.90	2.02	0.626	22.05	B/C	C	C

$\sigma_c = (2c \cos \varphi) / (1 - \sin \varphi)$ = resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso (parametri di picco)

$p_c = (3\sigma_0 - 2\sigma_c) / (1 + 2K_p)$ = pressione critica al fronte (con K_p coefficiente di spinta passiva)

u_F = convergenza al fronte (soluzione cavità sferica)

R_{PF} = raggio plastico al fronte

u_{∞} = convergenza finale del cavo

R_P = raggio plastico finale al contorno del cavo

R_{eq} = raggio di scavo equivalente della galleria

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

9.2.2 *Analisi del comportamento allo scavo in presenza di ammassi spingenti (fenomeni di squeezing)*

Durante le fasi di scavo della galleria Santomarco esistente (Rif. [33], Rif. [54]) in corrispondenza delle fasce maggiormente tettonizzate e delle coperture più elevate, si sono registrate importanti e rapide deformazioni dell'ammasso al contorno del cavo e al fronte. Tali deformazioni hanno pesantemente condizionato l'avanzamento degli scavi (si è arrivati in alcuni casi anche al bloccaggio della macchina) e reso necessarie modifiche tecniche e strutturali atte a contenere le elevate azioni spingenti.

Nell'ambito del presente progetto è stata pertanto condotta una valutazione del comportamento deformativo allo scavo attraversato per una stima preliminare dei fenomeni che si potrebbero sviluppare. In via preliminare si è fatto riferimento allo schema concettuale riportato in Figura 89 che mostra come, in funzione dello "squilibrio tensionale" indotto dallo scavo, il tipo di deformazione da attendersi è ovviamente condizionato dalla qualità dell'ammasso: a parità di condizioni tensionali, il comportamento deformativo riscontrabile può essere del tipo *rockbursting* o *squeezing* al diminuire della classe di ammasso.

Nello specifico, a partire dai valori GSI individuati per le formazioni d'interesse (cfr. § 8.3.13) è stato valutato il corrispondente valore dell'indice RMR di Bieniawski ed è stata determinata la classe di qualità dell'ammasso (Figura 88).

RMR _c	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	≤ 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

Figura 88 Classificazione dell'ammasso roccioso (Bieniawski)

Per le formazioni appartenenti al basamento metamorfico paleozoico della Catena Costiera (scisti e scisti filladici con GSI=40-50) l'ammasso può classificarsi da mediocre a scadente (RMR=35-45), fino a molto scadente nelle zone di faglia maggiormente tettonizzate (GSI=20-30 → RMR=15-25). Secondo lo schema di Figura 89, in tali condizioni di ammasso la risposta deformativa allo scavo può essere caratterizzata da fenomeni deformativi di *squeezing*

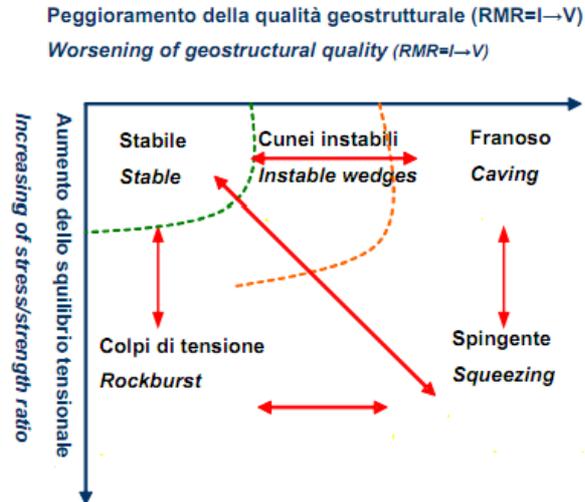


Figura 89 Schema concettuale per l'inquadramento generale del comportamento allo scavo (citare il riferimento bibliografico).

Al fine di valutare l'entità di tali fenomeni si è fatto riferimento al metodo semi-empirico proposto da Hoek (2000) (Rif. [35]) che esprime il potenziale di squeezing, sulla base dello stato tensionale in situ e delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso, mediante la seguente formulazione della deformazione attesa al contorno della galleria (definita come il rapporto percentuale tra lo spostamento radiale al controno e il raggio della galleria):

$$\varepsilon_t (\%) = 0.15 \left(1 - p_i / p_o \right) \frac{\sigma_{cm}^{-(3p_i / p_o + 1) / (3.8p_i / p_o + 0.54)}}{p_o}$$

dove:

σ_{cm} = resistenza a compressione dell'ammasso

(ottenuto a partire dalla resistenza della roccia intatta in funzione di GSI e m_i);

p_o = stato tensionale in situ = γH ;

H = copertura della galleria.

p_i = pressione sul rivestimento (assunta pari a 0 nell'ambito delle presenti valutazioni);

In funzione del valore assunto dalla deformazione ε_t , sono individuate le seguenti classi di comportamento spingente:

Tabella 56 Classificazione del comportamento spingente in accordo con Hoek (2000)

ε_t (%)	Livello di squeezing
> 5	fortemente spingente
2.5 - 5	moderatamente spingente

1 – 2.5	leggermente spingente
> 1	non spingente

In Tabella 60 è riportata la valutazione del livello di *squeezing* atteso per le formazioni interessate dalla Nuova Santomarco, in funzione delle coperture previste.

L'analisi dimostra che il rischio di un comportamento spingente dell'ammasso allo scavo è maggiore nelle zone in faglia dove risulta moderato fino a coperture di circa 500-600 m; oltre tali coperture è possibile un comportamento fortemente spingente oltre che nelle zone di faglia anche in corrispondenza delle massime coperture (oltre i 1000 m) all'interno delle Filladi di San Giovanni, FSG.

Tabella 57 Classificazione del livello di squeezing negli scisti, negli scisti filladici e nelle zone di faglia.

	σ_{ci} [MPa]	GSI	mi	D	E_i [Gpa]	γ [kN/m ³]	copertura [m]	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E_{rm} [Gpa]	σ_{cm} [MPa]	$\sigma_{cm}/\gamma H$	ϵ_t ($\pi=0$) [%]	Livello di squeezing
Scisti muscovitici e scisti epidottici	45	40	10	0	45	28	600	1.46	31	7.18	6.29	0.37	0.93	non spingente
	35	50	10	0	45	28	600	1.57	32	13.82	6.10	0.36	0.98	non spingente
	35	50	10	0	45	28	800	1.87	30	13.82	6.10	0.27	1.67	leggermente spingente
	35	50	10	0	45	28	1100	2.26	27	13.82	6.10	0.20	3.01	moderatamente spingente
Filladi	30	35	7	0	30	27	700	1.07	23	3.40	3.12	0.16	4.22	moderatamente spingente
	30	35	7	0	30	27	750	1.11	22	3.40	3.12	0.15	4.80	moderatamente spingente
	30	35	7	0	30	27	900	1.24	21	3.40	3.12	0.13	6.73	fortemente spingente
	30	35	7	0	30	27	1100	1.40	20	3.40	3.12	0.10	9.75	fortemente spingente
zone di faglia	30	25	7	0	30	27	250	0.45	27	1.80	2.37	0.35	1.04	leggermente spingente
	30	25	7	0	30	27	300	0.51	26	1.80	2.37	0.29	1.46	leggermente spingente
	30	25	7	0	30	27	500	0.69	22	1.80	2.37	0.18	3.75	moderatamente spingente
	35	15	10	0	45	28	500	0.63	22	1.64	2.35	0.17	4.10	moderatamente spingente

	30	25	7	0	30	27	800	0.92	19	1.80	2.37	0.11	8.96	fortemente spingente
	30	25	7	0	30	27	900	0.99	19	1.80	2.37	0.10	11.15	fortemente spingente
	30	25	7	0	30	27	1100	1.11	17	0.00	2.37	0.08	16.17	fortemente spingente

9.3 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo

Il tracciato della galleria in progetto è stato suddiviso in tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo del nucleo-fronte di scavo sulla base dei risultati delle analisi sopra descritte, del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati e dell'esperienza derivante dalla realizzazione della galleria Santomarco esistente.

In particolare, sia nelle tratte a bassa copertura, che ricadono all'interno dei depositi quaternari di origine marina, lato Paola, e continentale, lato Cosenza, che in tutta la tratta centro-orientale, in cui la galleria intercetta le successioni marine mioceniche (argille del T. Lavandaio, ALD, Arenarie di Paola, RPL e Conglomerati di San Fili, CFL) e plio-pleistoceniche del graben del Crati (argille limose del T Settimo, ATS/ATSa, Sabbie e Conglomerati di Cozzo della Mola, SCM, sabbie di Mandrigli, SMD e argille marnose del T. Scumalatte, ASM) si prevede un comportamento dell'ammasso allo scavo instabile (comportamento "C").

Nella tratta centro-occidentale, in cui la galleria intercetta il basamento metamorfico paleozoico della Catena Costiera (Filladi di San Giovanni, FSG, Scisti muscovitici di Greco, MGR, Scisti epidotici, EBG e Gneiss di Cozzo Luparello (GCL), il comportamento dell'ammasso si prevede per lo più stabile (comportamento "A") o stabile a breve termine (comportamento "B") in funzione della copertura. Tuttavia, in presenza delle massime coperture per le filladi e in corrispondenza delle zone di faglia e delle zone cataclaste è previsto un comportamento deformativo allo scavo di categoria "C".

In sintesi, la Nuova Santomarco attraverserà formazioni rocciose e terreni consistenti con una previsione di comportamento prevalente stabile/stabile a breve termine (tipo A/B) per il 46% circa della sua lunghezza, terreni e ammassi rocciosi intensamente fratturati per circa il 47% della sua lunghezza, fasce cataclaste e zone in faglia sotto coperture elevate (400-1150 m) per circa il 7% della sua lunghezza. con una previsione di comportamento allo scavo instabile (tipo C).

La previsione di comportamento lungo il tracciato della galleria è illustrata in forma sintetica nell'elaborato di progetto "Profilo geotecnico" (da Rif. [51] a Rif. [53]).

9.4 Rischi potenziali connessi allo scavo della galleria

Il quadro conoscitivo descritto nei precedenti paragrafi ha consentito di individuare i principali elementi di potenziale criticità per le opere in sotterraneo di progetto.

Nella seguente Tabella 58, tali rischi sono riepilogati per tutte le formazioni interessate dallo scavo della Nuova Santomaro. Quanto riportato in tabella deve intendersi valido anche per le altre opere in sotterraneo nei medesimi contesti geotecnici.

Tabella 58 Rischi potenziali connessi allo scavo della galleria.

pk inizio	pk fine	Lunghezza tratto [m]	Coperture [m]	Formazione	Rischi potenziali
04+275	04+684	409	20-0	ATS - Argille limose del T. Settimo	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Subsidenza per basse coperture • Clogging • Rischio medio – basso di venute d'acqua
04+684	05+025	341	35-20	SCM - Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Subsidenza per basse coperture • Rischio medio-alto di venute d'acqua
05+025	06+040	1015	90-35	ATS - Argille limose del T. Settimo	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Subsidenza per basse coperture • Clogging • Rischio medio -basso di venute d'acqua
06+040	06+984	944	60-100	ATSa - Argille limose del T. Settimo - litofacies olistostromi argilloso-filladici	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Subsidenza per basse coperture • Clogging • Rischio medio -basso di venute d'acqua
06+984	07+252	268	90-110	SMD - Sabbie di Mandrigli	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Rischio medio-alto di venute d'acqua • Abrasività media/elevata
07+252	07+960	708	180-95	ASM - Argille marnose del T. Scumalatte	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Rischio medio -basso di venute d'acqua • Clogging
07+960	08+458	498	250-180	RPL - Arenarie di Paola	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo per ammasso fratturato • Rischio medio-alto di venute d'acqua • Abrasività media/ elevata
08+458	09+382	924	370-250	GCL - Gneiss di Cozzo Luparello	<ul style="list-style-type: none"> • Possibili locali instabilità per ammasso fratturato • Rischio medio di venute d'acqua • Abrasività media/ elevata
09+382	09+518	136	380	GVC - Graniti di Varco Ceraso	<ul style="list-style-type: none"> • Rischio medio di venute d'acqua • Abrasività media/ elevata
09+518	10+689	1171	360-440	ALD - Argille marnose del T. Lavandaio	<ul style="list-style-type: none"> • Ammasso moderatamente spingente (Squeezing medio) • Rischio basso di venute d'acqua • Clogging • Acque aggressive
10+689	11+100	411	440-520	EBG - Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti - ZONA DI FAGLIA	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Terreni fortemente spingenti (Squeezing elevato) • Rischio medio di venute d'acqua • Abrasività media/elevata • Acque aggressive
11+100	12+291	1191	520-840	EBG - Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti	<ul style="list-style-type: none"> • Alti valori di resistenza meccanica • Ammasso moderatamente spingente

					(Squeezing medio)
					<ul style="list-style-type: none"> • Abrasività media/elevata
12+291	12+427	136	840-900	FSG - Filladi di San Giovanni ZONA DI FAGLIA	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte • Ammasso fortemente spingente (Squeezing elevato) • Abrasività media/elevata • Possibili venute d'acqua
12+427	13+023	596	900-1070	FSG - Filladi di San Giovanni	<ul style="list-style-type: none"> • Alti valori di resistenza meccanica • Ammasso fortemente spingente (Squeezing elevato) • Abrasività media/elevata
13+023	13+335	312	1030-1120	FSG - Filladi di San Giovanni ZONA DI FAGLIA	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Ammasso fortemente spingente (Squeezing elevato) • Abrasività media/elevata • Possibili venute d'acqua
13+335	14+120	785	1000-1160	FSG - Filladi di San Giovanni	<ul style="list-style-type: none"> • Alti valori di resistenza meccanica • Ammasso fortemente spingente (Squeezing elevato) • Abrasività media/elevata
14+120	14+300	180	1030-1120	FSG - Filladi di San Giovanni ZONA DI FAGLIA	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Ammasso fortemente spingente (Squeezing elevato) • Abrasività media/elevata • Possibili venute d'acqua
14+300	16+196	1896	830-1090	EBG - Scisti epidotici di Bosco dei Gesuiti	<ul style="list-style-type: none"> • Abrasività media/elevata • Acque aggressive
16+196	17+051	855	650-830	FSG - Filladi di San Giovanni	<ul style="list-style-type: none"> • Ammasso da poco a moderatamente spingente (Squeezing medio-basso) • Abrasività media/elevata
17+051	18+350	1299	215-650	MGR - Scisti muscovitici di Greco	<ul style="list-style-type: none"> • Abrasività media/elevata • Rischio medio di venute d'acqua (nel tratto in faglia al contatto con le filladi)
18+350	18+672	322	120-215	FSG - Filladi di San Giovanni ZONA DI FAGLIA	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Abrasività media/elevata • Rischio medio-alto di venute d'acqua
18+672	18+752	80	95-120	ALD - Argille marnose del T. Lavandaio - ZONA DI FAGLIA	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Rischio medio-alto di venute d'acqua • Clogging
18+752	19+190	438	45-95	GCL - Gneiss di Cozzo Luparello - ZONA DI FAGLIA	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Rischio medio-alto di venute d'acqua
19+190	19+276	86	40-45	CFL - Conglomerati di San Filippo - ZONA DI FAGLIA	<ul style="list-style-type: none"> • Abrasività media/elevata
19+276	19+620	344	0-40	ALD - Argille marnose del T. Lavandaio	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilità del fronte di scavo • Subsidenza per basse coperture • Rischio medio di venute d'acqua (per eventuale contatto in calotta con depositi marini) • Clogging

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

10 FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti i metodi di scavo e gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi della risposta tensio-deformativa allo scavo (fase di diagnosi).

10.1 Definizione del metodo di scavo

Il metodo di scavo previsto per la realizzazione delle opere in sotterraneo in progetto è derivato dall'analisi contestuale dell'ambito geologico, idrogeologico e geotecnico, dalla configurazione geometrica del tracciato e dall'estensione longitudinale delle opere.

In particolare, considerando le condizioni geologiche e geotecniche del contesto emerse dalla fase conoscitiva e dall'esperienza realizzativa della galleria esistente, e la lunghezza della nuova galleria, è stato individuato il sistema meccanizzato come metodo di scavo per le gallerie, prevedendo 4 TBM: due TBM scavano le due canne della nuova galleria partendo dall'imbocco lato Cosenza, altre due TBM sono dedicate allo scavo delle gallerie di interconnessione e, successivamente, allo scavo delle due canne della galleria di corretto tracciato a partire dall'imbocco lato S. Lucido. Sulla base del programma lavori di progetto e in funzione del contesto geotecnico, l'incontro delle frese in scavo lato Cosenza e lato S. Lucido è previsto nell'intorno della progressiva km 12+000 di binario pari.

È invece prevista con metodo di scavo tradizionale la realizzazione dei collegamenti trasversali di esodo e del by-pass tecnologico, dei cameroni di interconnessione e delle uscite/accessi di emergenza delle gallerie di interconnessione.

10.2 Metodo di scavo meccanizzato

10.2.1 Scelta della macchina

Come emerso dalla fase conoscitiva e dalla fase di diagnosi, la Nuova Santomarco attraversa formazioni rocciose e terreni consistenti con una previsione di comportamento prevalente stabile/stabile a breve termine (tipo A/B) per il 46% circa della sua lunghezza, e per la restante parte del suo tracciato ammassi con una previsione di comportamento allo scavo instabile (tipo C), costituiti da terreni e ammassi rocciosi intensamente fratturati (circa il 47% della lunghezza) e fasce cataclasate sotto coperture elevate (circa il 7% della lunghezza).

Il contesto geotecnico in cui sarà realizzata la nuova galleria, che va da terreni a rocce intensamente fratturate, a rocce dure e compatte risulta, pertanto, molto eterogeneo. Ciò comporta la necessità di prevedere un metodo di scavo flessibile per quanto possibile, tale da poter adattare il metodo di scavo alle diverse condizioni che si presentano. Per affrontare le tratte in terreni o nelle fasce cataclasate degli ammassi rocciosi è necessario, infatti, l'impiego di macchine scudate che possano esercitare una pressione di supporto del fronte, in modo da garantire stabilità del fronte e continuità di avanzamento; d'altro canto l'attraversamento delle tratte con formazioni rocciose di buone caratteristiche meccaniche è più vantaggioso con macchine che possano scavare in modalità aperta con estrazione del materiale attraverso nastro trasportatore.

La tipologia di macchina individuata è la TBM di tipo Dual Mode, anche dette “convertibile”, che possano passare da una configurazione idonea a esercitare, quando necessario, una pressione di supporto del fronte con tecnologia di tipo EPB, ad una configurazione di scavo in roccia con nastro trasportatore ed idonee pale di carico del marino, prevedendo un’adeguata configurazione della testa di scavo e degli utensili di scavo (Figura 90 e Figura 91). Tale scelta è dettata dalla opportunità di rendere più efficace l’avanzamento nelle tratta centrale in cui sono presenti ammassi rocciosi con buone caratteristiche meccaniche.

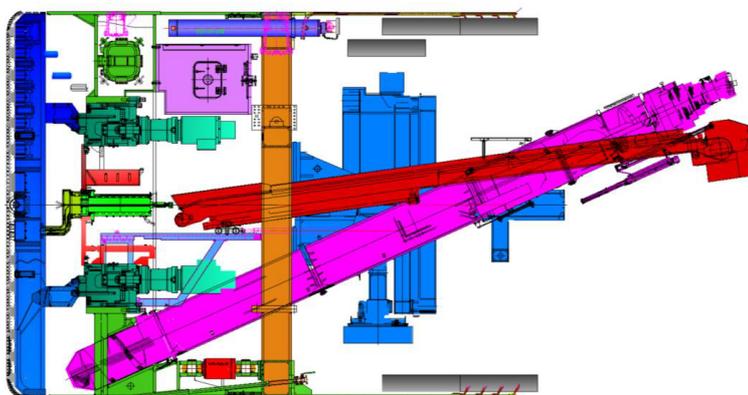


Figura 90 TBM “convertibile” in configurazione EPB



Figura 91 TBM “convertibile” in configurazione da roccia

Si prevede l’impiego di 4 TBM, due per ciascun imbocco. Le TBM che scaveranno le due canne della Nuova Santomarco a partire dall’imbocco lato S. Lucido sono preventivamente impiegate anche per lo scavo delle due gallerie di interconnessione. L’incontro delle frese è previsto nell’intorno della progressiva km 12+000 di binario pari, tuttavia l’adozione di TBM Dual Mode per ciascun imbocco consente una maggiore flessibilità in fase realizzativa in termini di estensione del tratto scavato da ciascun imbocco e quindi di modifica della progressiva di incontro delle frese.

Le TBM per lo scavo della Nuova Santomarco dovranno essere progettate per lo specifico contesto attraversato: la complessità delle condizioni geologiche e geotecniche rende necessaria una accurata valutazione dei rischi

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

che possono presentarsi in fase di scavo e la predisposizione di adeguate contromisure, che possono coinvolgere la configurazione della macchina, prevedere l'impiego di tecnologie specifiche e l'implementazione di sistemi di controllo e monitoraggio, anche con l'utilizzo di una piattaforma integrata di monitoraggio, elaborazione e trasmissione dati con segnalazione del superamento soglie dei parametri significativi in tempo reale.

Inoltre, l'impossibilità di realizzare indagini geognostiche per gran parte del tracciato a causa delle altissime coperture rende necessaria l'adozione di sistemi di indagini in avanzamento, mirate soprattutto a individuare in anticipo l'attraversamento delle zone di faglia e le condizioni idrauliche, tramite, ad esempio, sistema Full Beam Scan. A tale scopo la TBM dovrà prevedere un potenziamento dei sistemi di perforazione, per sondaggi e trattamenti in avanzamento, ad es. con: installazione di più perforatrici all'interno dello scudo per l'esecuzione di fori in avanzamento attraverso il mantello stesso predisposto allo scopo con aperture, aumento delle posizioni di perforazioni su tutta la circonferenza, con possibilità di registrare i parametri di perforazione. Le perforazioni saranno eseguite sia allo scopo di sondaggi a distruzione di nucleo o a carotaggio continuo, sia allo scopo di installare tubi di drenaggio.

Infine, una particolare attenzione dovrà essere posta nella fase realizzativa per garantire continuità di avanzamento con velocità il più possibile elevata. Tale obiettivo sarà raggiunto, ad esempio, con: utilizzo di tipologie di cutters che riducano i fermi ed i tempi di manutenzione, apprestamenti per consentire l'estensione dei servizi e la manutenzione più veloce della macchina, impianto di iniezione della malta efficiente che eviti blocchi durante la fase di iniezione, migliorie al sistema di drenaggio dell'acqua in galleria, potenziamento dei sistemi di perforazione, gestione dello smarino e pianificazione della cantierizzazione che non comporti fermi allo scavo.

Il dettaglio della modalità di avanzamento dello scavo meccanizzato lungo il tracciato della galleria (configurazione da roccia o EPB) sarà sviluppato nella successiva fase progettuale. In questa fase, sulla base del quadro conoscitivo e dei dati disponibili, il ricorso all'avanzamento in configurazione da roccia è previsto all'interno delle formazioni del basamento metamorfico della Catena Costiera (scisti Muscovitici di Greco, MGR, scisti epidotici, EBG, filladi di San Giovanni, FSG e Gneiss di Cozzo Luparello, GCL). Solo in corrispondenza delle zone di faglia presenti all'interno di tali formazioni si valuterà la necessità di procedere con l'applicazione di una contropressione al fronte. L'avanzamento in modalità chiusa con contropressione al fronte è previsto, invece, nella restante parte di tracciato costituita da terreni, rocce tenere e ammassi rocciosi intensamente fratturati e fasce cataclate.

Per l'individuazione della più idonea tipologia di fresa in grado di esercitare una contropressione al fronte è stata eseguita un'analisi comparativa tra TBM di tipo EPB e TBM di tipo Slurry/Hydroshield sulla base delle condizioni geotecniche ed idrauliche attese lungo il tracciato.

Nelle TBM tipo EPB (Earth Pressure Balance) (Figura 92) la pressione attiva è applicata al fronte dallo stesso materiale scavato che viene compresso nella camera di scavo e condizionato come necessario. La pressione viene controllata attraverso la velocità di rotazione della coclea tramite cui avviene l'estrazione del materiale dalla camera di scavo. Esistono limitazioni riguardo la distribuzione granulometrica e la permeabilità della litologia scavata al fine di assicurare che il materiale funzioni in maniera adeguata come mezzo di supporto del fronte, anche se ormai il condizionamento con additivi ha ampiamente esteso l'intervallo di applicazione in cui lo scavo con EPB risulta idoneo, rendendolo una delle più versatili tecnologie di scavo meccanizzato disponibili.

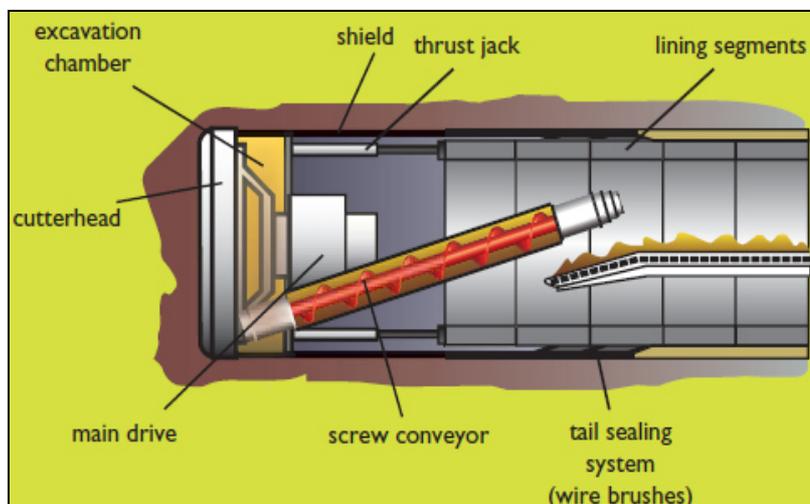


Figura 92. Schema di funzionamento di una TBM di tipo EPB

Nelle TBM tipo Slurry (Figura 93) il supporto del fronte è offerto da un fango usualmente bentonitico (slurry); nel caso di una TBM tipo Hydroshield, il plenum è suddiviso in due compartimenti: la parte superiore contiene una bolla d'aria compressa che applica una pressione sul fango bentonitico che occupa la sezione inferiore, verso la camera di scavo; la bolla d'aria è controllata attraverso un sistema automatico di regolazione che rende possibile controllare in maniera precisa la pressione del fango.

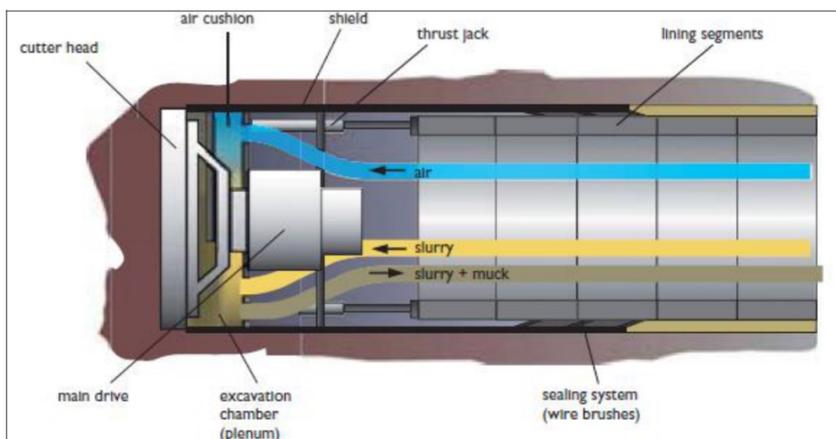


Figura 93. Schema di funzionamento di una TBM di tipo Hydroshield

Attraverso l'applicazione della pressione al fronte entrambe le tipologie di macchina (EPB e Slurry/Hydroshield) consentono il superamento di condizioni complesse dal punto di vista geologico e geotecnico permettendo, nel caso in esame, di:

- fronteggiare comportamenti allo scavo di tipo B e C e quindi abbattere il rischio più temuto di instabilità del fronte e del cavo;

- assicurare il massimo controllo delle deformazioni del terreno e quindi limitare i cedimenti in superficie nelle tratte a bassa copertura;
- limitare le variazioni di pressione interstiziali nei terreni e i conseguenti moti di filtrazione con possibile trascinarsi della frazione fina nei terreni più permeabili.

In genere, le macchine di tipo EPB sono adatte per realizzare gallerie in materiali di bassa permeabilità e con un contenuto di particelle fini (diametro < 0.075 mm) minimo pari al 15-20%, e nei contesti in cui è necessario applicare una pressione di equilibrio del carico litostatico inferiore ai 4 bar e/o con pressioni idrostatiche nulle o basse (minori di 4-5 bar).

Le macchine EPB richiedono acqua e/o agenti condizionanti per dotare il materiale scavato di una consistenza adeguata al fine di poter trasmettere in maniera efficace la pressione necessaria al fronte di scavo. In una situazione in cui la pressione necessaria al fronte è alta - molto alta (oltre i 4 bar), diventa più difficile mantenere il controllo della pressione, specialmente la distribuzione di questa lungo il fronte di scavo (tramite un valore di densità apparente costante del materiale nella camera di scavo); inoltre, la dissipazione di una pressione elevata attraverso la coclea potrebbe essere complicata, richiedendo una coclea molto lunga o una doppia coclea con pompa a pistoncini.

Inoltre, l'adozione di una macchina tipo EPB può adattarsi con più facilità a cambi litologici e/o di maggiore fratturazione, nel caso di scavo in rocce tenere.

Le macchine Slurry/Hydroshield sono specialmente adatte per gallerie con pressioni idrostatiche alte-molto alte (> 4 bar), che riescono ad essere equilibrate in maniera efficace dal fango bentonitico (slurry). All'opposto delle EPB, le Slurry/Hydroshield tendono a lavorare meglio in materiale sciolto e permeabile attraverso il quale il fango bentonitico può circolare facilmente e formare il cake al fronte, necessario per mantenere la pressione di supporto.

D'altro canto, improvvise venute d'acqua che potrebbero verificarsi nella transizione con materiali a differente permeabilità sotto falda, possono alterare le caratteristiche del fango bentonitico nella camera di scavo, producendo modifiche non controllate della pressione applicata al fronte. Pertanto, nelle zone di contatto e/o transizioni tra diverse litologie, sono necessari frequenti controlli e adattamenti alle caratteristiche dello slurry.

I materiali coesivi sono intrinsecamente difficili da trattare negli impianti di trattamento dei fanghi e costituiscono uno svantaggio per lo scavo meccanizzato mediante Hydroshield.

La TBM Slurry non si presta con agilità, diversamente dalla EPB, ai cambi da modalità chiusa (con pressione di supporto del fronte) a modalità aperta (senza contropressione del fronte) e viceversa, per l'attraversamento di condizioni geotecniche caratterizzate da comportamento di tipo stabile/stabile a breve termine (A/B).

Il controllo del peso del materiale scavato è più complicato nel caso dell'impiego di una TBM di tipo slurry si in cui la misura si basa sulla differenza di densità del fango in uscita rispetto a quello di entrata piuttosto che di una TBM di tipo EPB dotata di bilance di misurazione sul nastro trasportatore all'uscita della coclea. Un'informazione immediata circa il peso del materiale scavato consente di individuare tempestivamente sovrascavi e/o collassi in corso e di modificare conseguentemente i parametri di scavo fornendo un maggior controllo dei cedimenti nelle tratte a bassa copertura.

Per lo scavo della Nuova Santomarco, con riferimento alle tratte nelle quali potrebbe essere necessario applicare la pressione di sostegno del fronte, una TBM di tipo EPB appare vantaggiosa rispetto ad una TBM di tipo Slurry per l'attraversamento delle formazioni di composizione argillosa (le argille limose del Torrente settimo (ATS), le argille marnose del Torrente Scumalatte (ASM) e le argille marnose del torrente Lavandaio (ALD)), che interessano circa il 30% della lunghezza totale della galleria, come dimostrato di seguito.

Argille limose del Torrente Settimo (ATS): la formazione è composta da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio e grigio-azzurro, con intercalazioni millimetriche e centimetriche di sabbie e sabbie limose. Al suo interno possono essere presenti ghiaie e locali lenti di argilliti fogliettate e scisti argillitici.

Argille limose del Torrente Settimo (ATS)

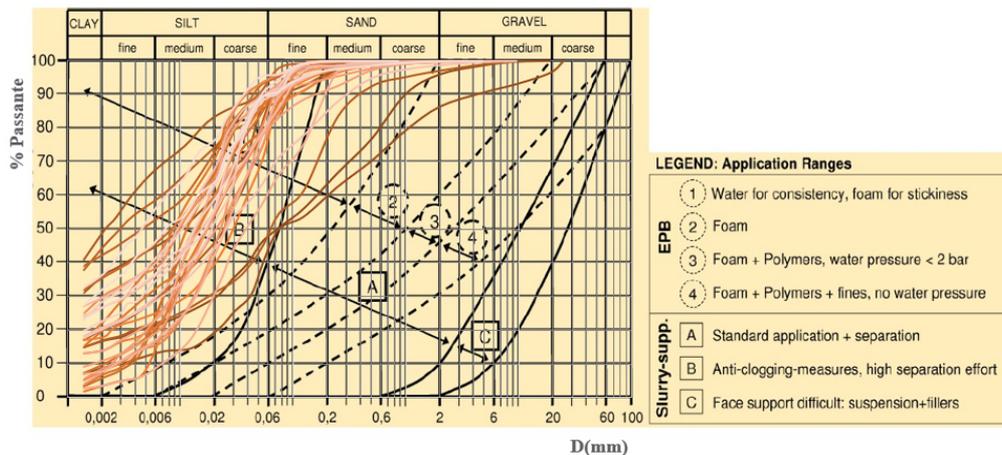


Figura 94. ATS: Campo di applicazione TBM Slurry vs EPB in termini di granulometria (Thewes 2007)

Come si osserva dal grafico di Figura 94, per questa formazione una TBM di tipo EPB trova un campo di applicazione ottimale con l'impiego di schiume anticlogging e l'aggiunta di acqua libera per ridurre la consistenza, mentre una TBM di tipo slurry richiederebbe misure anti-clogging ed elevati sforzi per il dimensionamento e la cantierizzazione di adeguati impianti di separazione.

Argille marnose del Torrente Scumalatte (ASM): la formazione è composta da argille limose, limi argillosi e argille marnose, con intercalazioni millimetriche e centimetriche di sabbie limose e limi sabbiosi. Come si osserva dal grafico di Figura 95 anche per questa formazione una TBM di tipo EPB trova un campo di applicazione ottimale con l'impiego di schiume anticlogging e l'aggiunta di acqua libera per ridurre la consistenza, mentre una TBM di tipo slurry richiederebbe misure anti-clogging ed elevati sforzi per il dimensionamento e la cantierizzazione di adeguati impianti di separazione.

Argille marnose del Torrente Scumalatte (ASM)

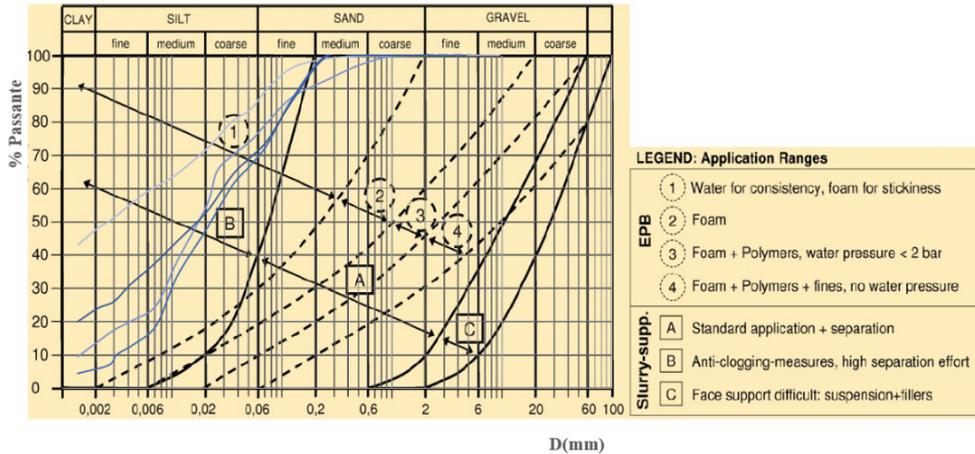


Figura 95. ASM: Campo di applicazione TBM Slurry vs EPB in termini di granulometria (Thewes 2007)

Argille marnose del Torrente Lavandaio (ALD): la formazione è composta da argille limose, argille sabbiose e argille marnose, con intercalazioni millimetriche e centimetriche di sabbie limose e limi sabbiosi; possono essere presenti passaggi di argille fogliettate, intercalazioni centimetriche di sabbie e ghiaie e livelli di arenarie, calcari e marne. Come si osserva dal grafico di Figura 96 anche per questa formazione una TBM di tipo EPB trova un campo di applicazione ottimale con l'impiego di schiume anticlogging e l'aggiunta di acqua libera per ridurne la consistenza, mentre una TBM di tipo slurry richiederebbe misure anti-clogging ed elevati sforzi per il dimensionamento e la cantierizzazione di adeguati impianti di separazione.

Argille marnose del Torrente Lavandaio (ALD)

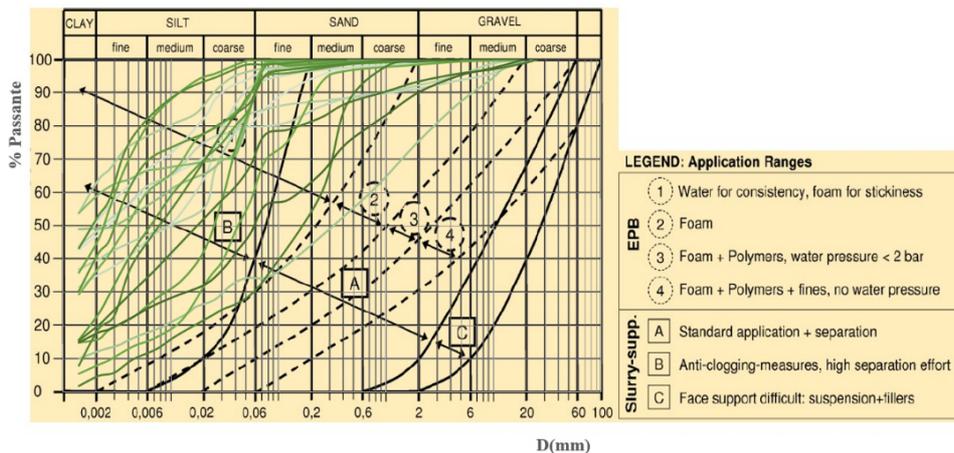


Figura 96. ALD: Campo di applicazione TBM Slurry vs EPB in termini di granulometria (Thewes 2007)

Per lo scavo nelle Sabbie e conglomerati di Cozzo della Mola (SCM) e nelle Sabbie di Mandrigli (SMD) presenti a partire dall'imbocco di Cosenza, si ritiene che queste formazioni possano ricadere in un campo di applicazione standard per una TBM di tipo Slurry e nel campo di applicazione di una TBM di tipo EPB con l'utilizzo di schiume e polimeri addensanti se necessario.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

Sulla base delle considerazioni sopra riportate, nella seguente Tabella 59 è illustrato il riepilogo dei principali criteri considerati per il confronto delle due tipologie di TBM, da cui si evince che, nei tratti di galleria in progetto in cui si prevede un avanzamento con contropressione del fronte, una TBM di tipo EPB risulta preferibile rispetto ad una TBM di tipo Slurry.

Tabella 59 Analisi comparativa TBM di tipo EPB vs Hydroschild

Criterio	TBM EPB	TBM Hydroschild
Scavo in formazioni argillose	Idoneo	Non idoneo
Permeabilità	Idoneo con opportuno condizionamento con additivi nelle formazioni con permeabilità più elevata	Idoneo
Possibilità di adattare rapidamente la modalità di scavo da aperta (senza contropressione) a chiusa (con pressione del supporto del fronte)	Idoneo	Non idoneo
Capacità di controllo cedimenti	Preferibile per misura rapida del peso dello smarino	Non preferibile per complessità della misura del peso dello smarino
Aspetti relativi alla cantierizzazione	Preferibile	Più complessa per necessità di impianto separazione fanghi

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

10.2.2 Valutazione dei rischi e relative azioni di mitigazione

Sulla base delle problematiche geologiche e geotecniche evidenziate dalla fase conoscitiva e di diagnosi (vedi paragrafi 8 e 9), sono stati individuati i rischi che possono presentarsi durante lo scavo della Nuova Santomarco, anche con specifico riferimento all'utilizzo di TBM di tipo Dual Mode (TBM EPB/Roccia). Si evidenzia che tale analisi non comprende i rischi legati agli aspetti geologico-ambientali, di cantierizzazione e di sicurezza, per i quali si rimanda agli elaborati specifici.

Di seguito sono illustrate le misure ritenute più idonee per la mitigazione dei rischi sopra analizzati.

Instabilità del fronte e del cavo

Fenomeni di instabilità possono interessare l'attraversamento delle formazioni con caratteristiche meccaniche scadenti, anche con copertura ridotta, e di ammassi fratturati e/o di zone tettonizzate. Tale rischio può comportare, ad esempio, il franamento del fronte, sovrascavi e difficoltà di riempimento della malta cementizia a tergo dei conci per le opere realizzate con TBM.

L'adozione della modalità di avanzamento con fronte in pressione mitiga tale rischio. A tale scopo, dovrà essere adottato uno specifico protocollo di avanzamento in fase realizzativa che garantisca il controllo delle pressioni applicate e la massima continuità possibile delle operazioni di scavo (programmazione dei fermi macchina per interventi di manutenzione al di fuori di tali tratte).

In corso d'opera dovrà essere adottato un sistema di monitoraggio dei principali parametri di controllo dello scavo meccanizzato, associato a definiti livelli di soglia che permettono di prevenire fenomeni di instabilità, adottando al loro superamento specifiche azioni correttive.

Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti

Date le alte coperture, tale rischio è limitato alle brevi tratte a partire dagli imbocchi dove sono presenti manufatti in superficie. Le misure di mitigazione sono analoghe a quelle previste per l'instabilità del fronte: l'avanzamento con fronte in pressione consente di limitare gli effetti indotti dallo scavo al contorno della galleria e di ridurre significativamente i cedimenti in superficie consentendo il sottoattraversamento in sicurezza di edifici anche con coperture ridotte come nel caso dei fabbricati presenti in prossimità degli imbocchi della galleria lato Cosenza e lato S. Lucido. Nella successiva fase di progettazione sarà comunque sviluppato un apposito piano di monitoraggio delle interferenze in superficie e un monitoraggio geotecnico con la definizione del valore di volume perso atteso e la definizione di soglie limite al superamento delle quali dovranno essere adottate specifiche azioni correttive.

Fenomeni di squeezing/comportamento spingente (convergenze/estrusioni)

Il fenomeno di *squeezing* in fase di scavo potrebbe evolvere al punto tale da produrre il blocco della macchina ed il collasso del fronte. Tale criticità può essere mitigata garantendo velocità di avanzamento elevata e costante, limitando le interruzioni e i fermi macchina, e inoltre:

- consentendo opportuni sovrascavi (attraverso l'adozione di gauge cutters di idoneo diametro e copycutters),
- aumentando la conicità dello scudo e diminuendo per quanto possibile la sua lunghezza (impiegando una fresa monoscudata),

- incrementando la forza di spinta della macchina per consentirne lo sblocco in condizioni eccezionali,
- predisponendo ugelli di bentonite intorno allo scudo per diminuirne l'attrito,
- adottando un sistema di monitoraggio per misurare lo spessore dell'intercapedine tra perimetro dello scudo ed estradosso dello scudo e l'eventuale pressione del terreno nella parte anteriore dello scudo,
- impostando una procedura in caso di fermo anche prolungato.

Le analisi riportate nel paragrafo 10.2.3, cui si rimanda per maggiori dettagli, mostrano che nelle zone in faglia della tratta centrale della galleria in corrispondenza delle massime copertura sono necessarie spinte di avanzamento di circa 150'000 kN e sovrascavi almeno di 15cm (superiori se si vuole ridurre la pressione su scudo e conci) per evitare il bloccaggio delle frese. Particolare attenzione dovrà, pertanto, essere posta su tali aspetti (modulazione diametro di scavo e aumento gap tra ammasso e scudo/conci e performance della macchina in termini di spinta) in fase di progettazione delle TBM.

Venute d'acqua e carichi idraulici elevati

Il rischio connesso alle venute d'acqua si manifesta con più pericolosità in combinazione di falde con carichi idraulici elevati e permeabilità medio-alte. Le venute d'acqua in galleria possono comportare difficoltà di avanzamento della macchina, difficoltà di riempimento con malta cementizia a tergo dei conci, difficoltà di eseguire interventi in camera di scavo in condizioni iperbariche, difficoltà di montaggio degli anelli, deterioramento delle spazzole di coda.

Le misure di mitigazione del rischio da adottare prevedono le misure già previste per garantire la stabilità del fronte (avanzamento con fronte in pressione), l'implementazione di un sistema di drenaggio dell'acqua al fronte (in caso di venute d'acqua significative e/o di necessità di ridurre il carico idraulico in avanzamento) con predisposizione di un sistema di perforazione nel back-up, migliorie per garantire l'intasamento a tergo dei conci (ad es. impostazione sistematica iniezioni secondarie), una specifica progettazione della macchina di scavo (ad esempio, adeguata lunghezza della coclea, adeguato condizionamento, adozione di più file di spazzole, rilievo pressioni idrauliche, ecc.).

Riguardo il rischio di carico idraulico elevato, considerato che le alte coperture non consentono di acquisire dati da indagini precedenti la fase di progettazione per definire in modo certo i valori del carico idraulico lungo il tracciato della galleria, è necessario implementare nella fase di scavo un sistema per la misura e il controllo dei carichi idraulici, secondo l'approccio del metodo osservazionale.

Nelle tratte in cui i carichi idraulici sono tali da non garantire il soddisfacimento delle prestazioni del rivestimento definitivo della sezione tipo di avanzamento, si prevede l'installazione di un sistema drenante al contorno della galleria allo scopo di ridurre tale carico per l'intera vita dell'opera. Si rimanda al paragrafo 10.2.3 per ulteriori dettagli in merito.

Interferenza con punti d'acqua

In merito alla possibile interferenza con punti d'acqua (sorgenti e pozzi), si rimanda allo specifico documento (Rif. [11]).

Riguardo le modalità di realizzazione delle gallerie in progetto, come evidenziato nel precedente paragrafo, non si esclude il ricorso ad interventi di drenaggio in avanzamento per limitare le venute d'acqua in fase di scavo o il

ricorso a tratte di galleria con configurazione “drenante” per ridurre il carico idraulico sui rivestimenti nel lungo termine.

A riguardo è opportuno evidenziare che l’eventuale interferenza con i punti d’acqua presenti lungo il tracciato si è già prodotta dalla galleria esistente, realizzata in parte in tradizionale e in parte in meccanizzato con conci privi di guarnizioni idrauliche, che è posta ad una distanza di soli 100 m dalla Nuova Santomarco.

Per approfondire tale aspetto, nella successiva fase progettuale si procederà ad una verifica delle portate drenate dalla galleria esistente e ad un contestuale monitoraggio dei punti d’acqua potenzialmente interferiti.

Clogging

Lo studio geologico e la caratterizzazione geotecnica condotti hanno evidenziato la presenza di numerose formazioni di natura argillosa, nelle quali il fenomeno di *clogging* in fase di scavo è probabile: il materiale argilloso può aderire agli utensili di taglio, rendendoli inefficaci, e/o può ostruire le aperture della testa fresante verso la camera di scavo, bloccare la testa fresante o anche la coclea. Per stimare il rischio di adesione delle particelle di argille si può utilizzare il criterio proposto da Thewes (2005): il grafico di Figura 97 mostra tre categorie di potenziale di adesione (basso-intermedio-alto), in funzione delle seguenti caratteristiche del materiale argilloso: Indice di Plasticità: $IP = W_L - W_P$ e Indice di Consistenza: $I_c = (W_L - w_n)/IP$, in cui W_L = limite liquido, W_P = limite plastico e w_n = contenuto naturale d’acqua. Per le formazioni argillose presenti lungo il tracciato (Argille limose del Torrente Settimo (ATS), Argille marnose del Torrente Scumalatte (ASM), Argille marnose del Torrente Lavandaio (ALD)) è stato individuato un rischio *clogging* medio-alto.

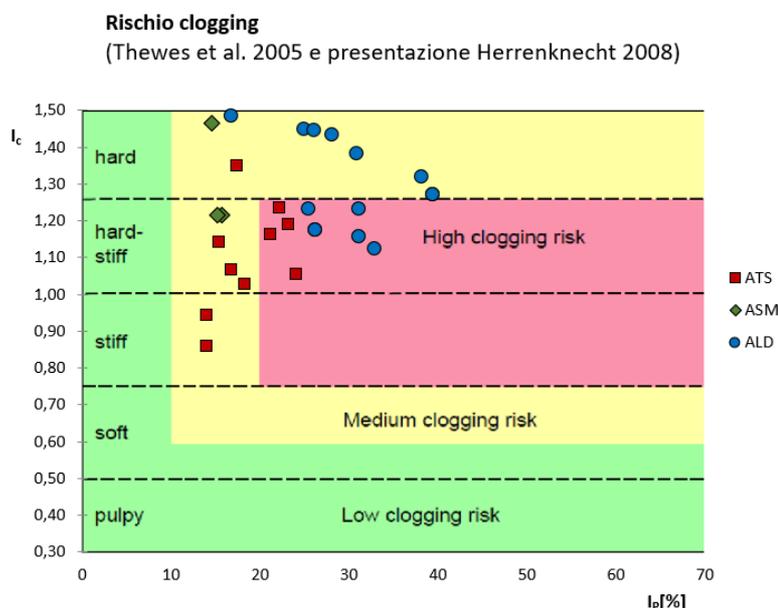


Figura 97 Rischio clogging

Questa condizione rappresenta una criticità ben più severa per una TBM Slurry, ma può comunque rallentare anche una TBM EPB, e deve essere mitigata con soluzioni mirate ad evitare che le particelle di argille si accumulino in testa ed in camera di scavo e riducendo la capacità delle stesse di aderire le une alle altre tramite,

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

ad esempio: una opportuna scelta degli additivi per il condizionamento e la progettazione di un adeguato impianto di condizionamento in fase di configurazione della macchina una specifica configurazione della testa di scavo e della camera di scavo, impiego di getti d'acqua ad alta pressione all'interno della camera di scavo e sulla testa.

Abrasività

Visto il contesto geologico e geotecnico, il rischio di interessare materiali abrasivi e molto abrasivi è alto. Tale rischio interessa infatti le Sabbie di Mandrigli, SMD, le Arenarie di Paola, RPL, gli Gneiss di Cozzo Luparello, GCL, i graniti di Varco Ceraso, GVC, gli scisti epidotici, EBG, le filladi di san Giovanni, FSG e gli scisti muscovitici di greco, MGR, ad esclusione, quindi, delle formazioni coesive. L'abrasività comporta l'elevata usura dei cutters e la necessità di frequenti ingressi in camera di scavo per la loro manutenzione/sostituzione, con fermi anche prolungati, e può determinare l'usura della testa di scavo e della coclea: tutti fattori che concorrono alla diminuzione della velocità media di avanzamento della macchina.

Per mitigare tale rischio dovrà essere effettuata un'attenta progettazione della testa di scavo e degli utensili di scavo, per tipologia, distribuzione e materiali e dovrà essere previsto un corretto approvvigionamento degli stessi. Inoltre, si dovrà, ad esempio: prevedere un sistema di protezione all'usura della testa di scavo e per la coclea, pianificare correttamente i fermi macchina per le ispezioni e la manutenzione, nonché impostare un monitoraggio per misurare il grado di usura attraverso sensori appositamente predisposti.

Scavo in materiali asbestiformi

La gestione del rischio connesso allo scavo in formazioni amiantifere è collegata principalmente ad aspetti di sicurezza, cantierizzazione e monitoraggio ambientale. La finalità è quella di salvaguardare la salute dei lavoratori sia lungo la galleria che all'esterno, evitando che, a partire dal materiale scavato, le fibre si disperdano in aria e che quelle eventualmente liberate vengano in contatto con il personale.

L'utilizzo di TBM di tipo Dual Mode prevista per lo scavo della galleria Santomarco e delle gallerie di interconnessione di Paola costituisce di per sé un primario intervento di "protezione collettiva" in quanto il materiale di scavo eventualmente contaminato rimane "confinato" all'interno della camera di scavo e isolato dall'ambiente retrostante in cui operano le maestranze. Il sistema di allontanamento dello smarino dal fronte attraverso coclea e nastri trasportatori sarà isolato dal resto del tunnel per mezzo di una opportuna cofanatura (carter) allo scopo di minimizzare il rischio di fuoriuscita di fibre verso l'ambiente galleria durante il tragitto dal fronte fino all'imbocco.

A tali attrezzaggi della macchina sono affiancati apprestamenti e procedure operative per la sicurezza in galleria che saranno definiti nell'ambito del Piano di Sicurezza e Coordinamento. Tra questi, ad esempio, la bagnatura e/o la depressurizzazione del materiale di scavo in corrispondenza di tutti i punti "sensibili" del circuito terre e rocce, un sistema integrato di ventilazione aspirante con contestuale filtraggio con polveri, una serie di unità di decontaminazione sia per il personale che per i materiali contaminati (UDP/M) opportunamente dislocate lungo la macchina in corrispondenza dei punti "sensibili".

Per lo scavo tradizionale il ricorso ad apprestamenti e procedure di sicurezza analoghi a quelli appena descritti è subordinato agli esiti di sondaggi in avanzamento appositamente previsti allo scopo di accertare preventivamente la presenza di amianto nelle formazioni in scavo.

Acque aggressive

Il rischio legato alla presenza di acque aggressive verrà mitigato attraverso la definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche del calcestruzzo per la realizzazione dei conci prefabbricati del rivestimento definitivo.

E' tuttora in corso una campagna di prelievi di acque finalizzata alla determinazione della concentrazione degli eventuali agenti aggressivi presenti nel sottosuolo in accordo alla UNI-EN 206 che definisce gli intervalli di concentrazione dei composti aggressivi (ad es. ione solfato SO_4^- nei terreni e nelle acque, ione ammonio NH_4^+ e ione magnesio Mg^{++} nelle acque, presenza di CO_2 aggressiva nelle acque e ambiente acido ($pH \leq 6.5$)) ai quali riferirsi per la determinazione della classe di esposizione (vedi prospetto seguente). Le risultanze di tale studio saranno recepite per il PFTE per gara.

Table 2 — Limiting values for exposure classes for chemical attack from natural soil and ground water

Chemical characteristic	Reference test method	XA1	XA2	XA3
Ground water				
SO_4^{2-} mg/l	EN 196-2	≥ 200 and ≤ 600	> 600 and $\leq 3\,000$	$> 3\,000$ and $\leq 6\,000$
pH	ISO 4316	$\leq 6,5$ and $\geq 5,5$	$< 5,5$ and $\geq 4,5$	$< 4,5$ and $\geq 4,0$
CO_2 mg/l aggressive	EN 13577	≥ 15 and ≤ 40	> 40 and ≤ 100	> 100 up to saturation
NH_4^+ mg/l	ISO 7150-1	≥ 15 and ≤ 30	> 30 and ≤ 60	> 60 and ≤ 100
Mg^{2+} mg/l	EN ISO 7980	> 300 and $\leq 1\,000$	$> 1\,000$ and $\leq 3\,000$	$> 3\,000$ up to saturation
Soil				
SO_4^{2-} mg/kg ^a total	EN 196-2 ^b	$\geq 2\,000$ and $\leq 3\,000^c$	$> 3\,000^c$ and $\leq 12\,000$	$> 12\,000$ and $\leq 24\,000$
Acidity according to Baumann Gully ml/kg	prEN 16502	> 200	Not encountered in practice	
^a Clay soils with a permeability below 10^{-5} m/s may be moved into a lower class. ^b The test method prescribes the extraction of SO_4^{2-} by hydrochloric acid; alternatively, water extraction may be used, if experience is available in the place of use of the concrete. ^c The 3 000 mg/kg limit shall be reduced to 2 000 mg/kg, where there is a risk of accumulation of sulfate ions in the concrete due to drying and wetting cycles or capillary suction.				

Nella tabella a seguire si riepilogano per ciascun rischio individuato le relative azioni di mitigazione da intraprendere.

Rischi	Effetti	Esempi di misure da adottare per la mitigazione dei rischi
Instabilità del fronte di scavo /condizioni geomeccaniche sfavorevoli	<ul style="list-style-type: none"> – Subsidenza – Franamento del fronte – Difficoltà realizzazione riempimento a tergo dei conci 	Adozione TBM con supporto del fronte di scavo, posa in continuo del rivestimento definitivo con iniezione della malta di intasamento a tergo dei conci
		Definizione adeguata pressione di supporto del fronte e dei parametri di scavo da ricalibrare e verificare attraverso un processo di back analysis dello scavo (ad es., PAT) che tenga conto del controllo dei parametri di scavo (ad es., pressione al fronte, peso del materiale scavato, pressione e volumi di iniezione della malta) e dei risultati del monitoraggio di superficie e monitoraggio geotecnico
		Maggiori velocità di avanzamento ottenute ad esempio: con

		<p>apprestamenti per consentire l'estensione dei servizi e la manutenzione più veloce della macchina, con un impianto di iniezione della malta più efficiente che eviti blocchi durante la fase di iniezione, con migliorie al sistema di drenaggio dell'acqua in galleria, con l'utilizzo di tipologie di cutters che riducano i fermi ed i tempi di manutenzione, con la realizzazione di</p> <p>drenaggi/impermeabilizzazioni/consolidamenti, con un potenziamento dei sistemi di perforazione*, con un sistema di manutenzione programmata TBM integrato nel software PC, con una gestione dello smarino che non comporti fermi, con una pianificazione della cantierizzazione che non comporti fermi, con una piattaforma integrata di monitoraggio, elaborazione e trasmissione dati con segnalazione allarmi in tempo reale.</p> <p>Indagini volte a definire meglio le caratteristiche geotecniche in fase realizzativa (ad esempio, indagini Georadar, prospezioni in avanzamento, anche con sistema Full Beam Scan con visualizzazione 2D e 3D della geologia davanti alla TBM)</p> <p>Eventuali consolidamenti/impermeabilizzazioni/drenaggi al fronte</p> <p>*Potenziamento dei sistemi di perforazione per sondaggi e trattamenti in avanzamento (anche per perforazione in roccia) ad es. con: installazione n. 2 perforatrici all'interno dello scudo per l'esecuzione di perforazioni orizzontali nella sezione da scavare, aumento posizioni di perforazioni e su tutta la circonferenza, possibilità di registrare i parametri di perforazione (penetrazione, coppia, pressione, velocità di rotazione, ecc.)</p>
Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti	Danni a strutture	Oltre a quanto indicato per il fenomeno di instabilità, predisposizione di monitoraggio strutturale delle interferenze in superficie e monitoraggio geotecnico con la definizione del valore di volume perso atteso e la definizione di soglie limite al superamento delle quali adottare specifiche azioni correttive
Venute d'acqua	<ul style="list-style-type: none"> – Difficoltà di avanzamento – Ingresso di fine in galleria – Difficili interventi in testa in condizioni iperbariche – Difficoltà realizzazione riempimento a tergo dei conci – Difficoltà montaggio anelli – Deterioramento delle 	<p>Analoghe misure che nel caso di instabilità e la predisposizione di un sistema di perforazione nel back-up per l'esecuzione di drenaggi</p> <p>specifica progettazione della macchina di scavo (ad esempio, adeguata lunghezza della coclea, adeguato condizionamento, adozione di più file di spazzole con adeguato ingrassaggio e rilievo pressioni idrauliche, ecc.)</p> <p>Migliorie al sistema di drenaggio dell'acqua al fronte (ad esempio con drenaggi)</p> <p>Predisposizione di un adeguato piano di manutenzione ordinaria e straordinaria che tenga conto delle tratte a pressione di supporto elevata al fine di evitare fermi ed operazioni in camera di scavo</p> <p>Migliorie per superare difficoltà nelle eventuali operazioni di</p>

	spazzole di coda	manutenzione straordinaria in testa in condizioni iperbariche (ad es., presenza di camere iperbariche per uomini e camera iperbarica per attrezzi) Migliorie per garantire l'intasamento a tergo dei conci (ad es. impostazione sistematica iniezioni secondarie) Migliorie mirate a conoscere lo stato delle pressioni effettive a tergo dei conci ed in testa (ad es. piezometri in anelli in coda allo scudo, ecc.) Migliorie per consentire il corretto montaggio degli anelli (ad es. con sensori di allarme) Predisposizione procedura di fermo
Squeezing	<ul style="list-style-type: none"> – Blocco della macchina – Collasso del fronte 	Migliorie per incrementare la velocità di avanzamento TBM scudata con sovrascavo per diametro gauge cutters e copycutters Aumento conicità scudo Lunghezza ridotta scudi Impiego TBM monoscudata Dimensionamento adeguato della spinta eccezionale Ugelli bentonite sullo scudo Sensori per misurare il gioco tra perimetro di scavo ed estradosso scudo, Sensori nella parte anteriore dello scudo che misurano l'eventuale pressione del terreno Procedura in caso di fermo anche prolungato
Clogging	<ul style="list-style-type: none"> – Blocco della testa – Danneggiamenti utensili di scavo – Ostruzione coclea 	Migliorie per favorire lo smarino ed impedire l'accumulo di argilla sulla testa od in camera di scavo (ad es., configurando efficacemente la testa di scavo e gli utensili, prevedendo la possibilità di getti acqua ad alta pressione (300bar) all'interno della camera di scavo ed in testa, al centro e nella zona periferica, ecc.) Impianto adeguato di condizionamento (ad es. con linee e pompe indipendenti di iniezione acqua e schiuma, ecc.) e sistema di controllo dei volumi e della distribuzione degli additivi Definizione idoneo condizionamento Monitoraggio ad hoc (ad es. con telecamera in camera di scavo o sensori)
Abrasività medio-elevata	<ul style="list-style-type: none"> – Usura dei cutter – Frequenti fermi per ispezioni e sostituzioni – Usura testa di scavo – Usura della coclea – Diminuzione velocità di avanzamento 	Adeguata configurazione della testa di scavo Accurata selezione utensili di scavo, per tipologia, distribuzione, durata degli stessi (materiali) Adeguato approvvigionamento utensili di scavo Protezione antiusura di tutta la testa di scavo ed in particolare della zona periferica Protezione antiusura per la coclea: vite e albero della vite Pianificazione fermi ed ispezioni Sensori in testa per misura usura utensili di scavo
Acque aggressive	<ul style="list-style-type: none"> – Danneggiamento rivestimenti in calcestruzzo 	Composizione adeguata calcestruzzo

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

10.2.3 Sezioni di avanzamento

La sezione tipo di avanzamento in scavo meccanizzato fa riferimento ad una configurazione standard per comportamenti d'ammasso tipo B/C. Per una rappresentazione completa della sezione in scavo meccanizzato e del rivestimento in conci prefabbricati si rimanda agli specifici elaborati grafici di progetto. Si riportano di seguito le principali caratteristiche della sezione tipo di avanzamento:

- raggio interno: 4,20 m
- tipologia anello: universale
- numero conci: 6+1
- spessore conci: 0,5 m
- lunghezza conci: 1,50 m

Si è scelto di adottare un anello di tipo universale, che consente, mediante la semplice rotazione attorno al proprio asse di un anello rispetto al precedente, di sfalsare i giunti longitudinali e di seguire l'andamento plano-altimetrico del tracciato e di apportare le eventuali necessarie correzioni in corso d'opera, senza ricorrere ad elementi speciali.

I giunti dei conci sono dotati di smussi che rendono tali zone meno soggette a fratture e lesioni locali durante le fasi di movimentazione e montaggio, che facilitano inoltre la scasseratura dei conci stessi e consentono in fase di montaggio ed esercizio leggere rotazioni in corrispondenza dei giunti evitando il danneggiamento del concio stesso.

Per la connessione dei conci, sia in senso circonferenziale che longitudinale, è previsto l'assemblaggio mediante bulloni d'acciaio zincato, connettori longitudinali e barre guida posizionate sulle facce di contatto dello stesso anello montati prima del posizionamento del concio.

Per garantire la tenuta idraulica tra i giunti (sia longitudinali che radiali) su ciascun concio sono integrate guarnizioni in EPDM precaricate dal serraggio dei connettori/bulloni.

Nelle tratte in cui i carichi idraulici sono tali da non garantire il soddisfacimento delle prestazioni del rivestimento definitivo della sezione tipo di avanzamento sopra descritta, si ricorrerà ad una configurazione di galleria di tipo "drenante" realizzata mediante un riempimento a tergo del rivestimento eseguito con materiale drenante (tipo pea gravel) e con l'esecuzione di un sistema di dreni che consentono di ridurre le pressioni dell'acqua al contorno del cavo (Figura 98). Si rimanda agli esiti delle analisi di predimensionamento riportati nel proseguo del presente paragrafo per ulteriori considerazioni in merito.

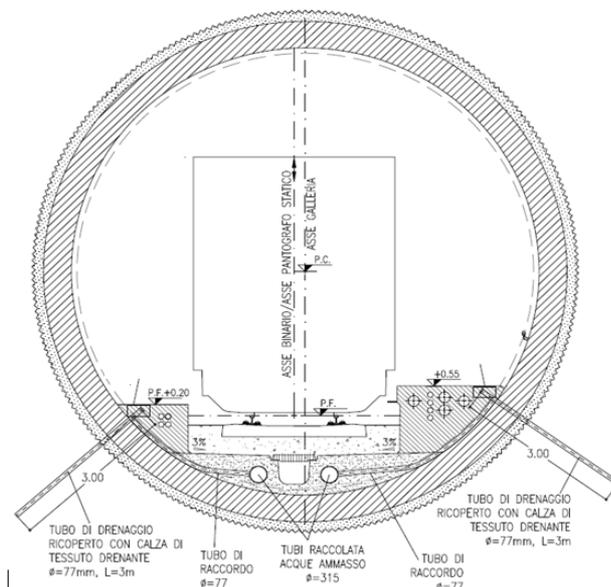


Figura 98. Intervento di drenaggio radiale di lungo termine

Per un predimensionamento del rivestimento definitivo sono state condotte apposite analisi di interazione terreno-struttura nelle condizioni ritenute più critiche lungo il tracciato. In particolare, è stata presa in esame la tratta centrale della galleria in corrispondenza delle coperture più elevate all'interno di formazioni che, come già evidenziato, possono presentare importanti deformazioni in fase di avanzamento generando pressioni significative sull'intero sistema di scavo meccanizzato (testa fresante, scudo e concii), anche con possibile rischio di bloccaggio della macchina.

Le analisi sono state svolte con il metodo delle linee caratteristiche mediante il codice di calcolo GV4 (versione 4s, 2013), simulando la presenza dello scudo e del rivestimento in concii prefabbricati. Le analisi sono condotte con i valori caratteristici dei parametri geotecnici e le verifiche del rivestimento definitivo sono state eseguite allo stato limite ultimo STR applicando il coefficiente parziale amplificativo $\gamma_E = 1,3$ alle tensioni da calcolo (Combinazione 1 dell'Approccio 1 (A1+M1+R1)).

Sulla base dei carichi agenti sullo scudo, valutati tenendo conto del sovrascavo δ applicato, è stata determinata la spinta necessaria a garantire l'avanzamento della macchina. Nel dettaglio la spinta complessiva è stata calcolata tenendo conto di quattro singoli termini. (Rif. [49]):

$$\Sigma W = W_{sh} + W_{sk} + W_{exc} + W_{sup}$$

W_{sh} = forza dovuta alla presenza delle spazzole e del cutting edge

W_{sk} = forza dovuta all'attrito macchina-terreno

W_{sup} = forza da applicare al fronte

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

W_{exc} = forza necessaria allo scavo

I quattro contributi sono di seguito esplicitati:

- Forza attrito macchina/terreno:

$$W_{sk} = \mu [2\pi \cdot R \cdot L (\sigma_{media}) + F_{sh}]$$

dove:

μ è il coefficiente di attrito metallo/terreno

R è il raggio di scavo

L è la lunghezza dello scudo

σ_{media} è la pressione del terreno sul rivestimento

F_{sh} è il peso della macchina

La forza attrito macchina/terreno è stata determinata a partire dalla pressione agente sullo scudo derivante dalle analisi condotte con il metodo delle curve caratteristiche. Tale forza è funzione del coefficiente di attrito μ , per il quale, in funzione della litologia attraversata, possono assumersi valori in un range compreso tra 0,25 e 0,35. Scavi in contesti simili hanno evidenziato la possibilità di ridurre tale valore adottando speciali lubrificanti in bentonite al contorno dello scudo metallico finalizzati a ridurre l'attrito rispetto al profilo di scavo arrivando fino a valori pari a 0,15.

Nella valutazione della forza di attrito è stato assunto un valore pari a 0,20 in tutte le analisi ad eccezione delle massime coperture (1100m/1150m) nelle quali si è assunto il valore di 0,15 considerando in entrambi i casi il ricorso a lubrificanti bentonitici.

- Forza da applicare al fronte:

$$W_{sup} = A_{exc} \cdot P_{fronte}$$

dove:

P_{fronte} è la pressione applicata al fronte

A_{ex} è l'area di scavo.

Il valore della pressione al fronte è stato assunto nullo per tutte le analisi ad eccezione della sezione 9 in cui è stata considerata una pressione di 5 bar assunta come valore massimo esercitabile dalla macchina.

- Forza necessaria allo scavo:

$$W_{exc} = n^{\circ}Cutter \cdot P_{cutter}$$

dove:

$n^{\circ}Cutter$ rappresenta il numero complessivo di cutter

P_{cutter} = è la forza sviluppata da ciascun cutter

Sono stati considerati 100 utensili di scavo (disc cutters) installati al fronte e una forza di scavo agente sul singolo disco pari a 200 kN.

- Forza data dalla presenza delle spazzole e del cutting edge:

$$W_{sh} = 2\pi \cdot R \cdot (p_{sh} \cdot t + p_{sp})$$

dove:

p_{sh} è la forza sul cutting edge, pari a 10 kN/m²

t è lo spessore del cutting edge, ipotizzato pari a 1,2 m

p_{sp} è la forza dovuta alle spazzole, pari a 1 kN/m

Il contributo indotto dalle resistenze offerte dal cutting edge e dalle spazzole di coda è assunto costante per l'intera tratta, considerando peraltro il modesto peso nel bilancio totale della spinta richiesta (circa 400 kN).

La somma delle suddette componenti di forza di spinta conduce al valore di spinta complessiva necessaria a garantire l'avanzamento della macchina.

Nella tabella seguente sono riepilogati i risultati delle analisi svolte in termini di spinta massima necessaria per l'avanzamento delle frese e di resistenza minima del calcestruzzo dei conci per il soddisfacimento delle verifiche tensionali allo SLU.

Tabella 60 Risultati analisi per valutazione forza di sbloccaggio e tensione sui conci prefabbricati

Sezione	Formazione	Copertura	P _{fronte}	Sovrascavo (oltre gap nominale testa/scudo)	Pressione sullo scudo (da calcolo)	ΣW Spina massima avanzamento	σ _{cls} (da calcolo)	Carico idraulico LT	σ _{tot}	Tensione massima cls 1.3* σ _{tot}	Classe resistenza min. conci
-	-	m	bar	m	MPa	ton	MPa	m	MPa	MPa	-
Sezione 1	GCL	370	0	0.00	0.000	2 640	0.00	100	9.80	12.74	C28/35
Sezione 1bis	GCL (faglia)	370	5	0.00	0.000	6 412	4.53	100	14.33	18.63	C35/45
sezione 2bis	FSG	700	5	0.10	0.592	10 056	5.93	100	15.73	20.45	C50/60
sezione 2	FSG	800	5	0.10	1.080	13 059	10.81	100	20.61	26.79	C50/60
Sezione 3	FSG	1155	0	0.10	2.126	12 309	21.56	0	21.56	28.03	C50/60
Sezione 7	EBG	1090	0	0.00	0.365	4 887	3.41	100	13.21	17.18	C35/45
Sezione 8	MGR	620	0	0.00	0.000	2 640	0.00	100	9.80	12.74	C28/35
Sezione 4	FSG (faglia)	1100	0	0.15	2.777	15 316	28.71	0	28.71	37.32	C70/85
				0.23	2.579	14 398	26.11	0	26.11	33.95	C60/75

Sezione 6	FSG (faglia)	900	0	0.15	1.986	14 869	20.03	0	20.03	26.04	C50/60
Sezione 6bis	FSG (faglia)	830	0	0.15	1.788	13 651	18.04	0	18.04	23.45	C50/60
Sezione 10	EBG (faglia)	500	5	0.10	1.135	13 397	11.41	100	21.21	27.58	C50/60
Sezione 9	FSG (faglia)	220	5	0.00	0.000	6 412	4.85	100	14.65	19.04	C35/45
Sezione 5	ALD	430	0	0.10	0.839	7 808	8.47	100	18.27	23.75	C50/60

I risultati ottenuti mostrano che le condizioni più critiche per l'avanzamento della TBM si riscontrano nelle zone di faglia nelle Filladi di San Giovanni, FSG, in corrispondenza delle massime coperture (sezione 4, sezione 6 e sezione 6bis). In queste tratte risultano necessarie spinte di avanzamento di circa 15'000 ton e sovrascavi di 15cm (o superiori, come evidenziato in tabella, se si vuole ridurre la pressione su scudo e conci) per evitare il bloccaggio delle frese. Particolare attenzione dovrà, pertanto, essere posta in fase di progettazione delle TBM su entrambi tali aspetti. In particolare, per garantire valori di sovrascavo così elevati, è necessario ricorrere non solo all'utilizzo di specifici utensili (copy-cutters, rippers,..) che consentono di modulare il diametro di scavo in funzione delle esigenze, ma anche a scudi con geometria conica accentuata in modo da incrementare quanto più possibile il gap con l'ammasso tra la sezione della testa della fresa e la sezione di fine scudo/installazione conci (cfr. § 10.2.2 Fenomeni di squeezing /comportamento spingente).

Sovrascavi inferiori, dell'ordine dei 5-10 cm, risultano necessari anche all'interno delle Filladi di S. Giovanni, FSG, nei tratti fuori faglia (con coperture sempre superiori ai 700m), nel tratto in faglia tra Scisti Epidotici, EBG, e Argille marnose del Torrente Lavandaio, ALD, con coperture di 500m e nella successiva tratta lato Cosenza all'interno delle Argille marnose del Torrente Lavandaio, ALD.

Non risultano, invece, necessari sovrascavi all'interno delle altre formazioni neanche in corrispondenza delle massime coperture (sezione 7 e sezione 8) o delle zone di faglia sotto i 400m (sezione 1bis e sezione 9).

È opportuno evidenziare che l'aumento del gap tra ammasso e scudo/conci che è possibile ottenere con il ricorso a scudi di forma conica potrebbe essere sufficiente a garantire l'avanzamento delle TBM nelle tratte dove risultano necessari sovrascavi di 5-10cm, senza necessità di ricorrere a sovrascavi addizionali ottenuti con specifici utensili di scavo. Per le stesse considerazioni, con il ricorso a scudi di forma conica, nelle tratte in cui dalle analisi non risultano necessari sovrascavi, le condizioni in termini di spinte massime di avanzamento e pressioni sui conci saranno migliori rispetto a quanto considerato nei calcoli (riduzione di pressione su scudo e conci).

Riguardo le verifiche del rivestimento definitivo, anche in questo caso le condizioni più critiche sono rappresentate dalle zone in faglia alle massime coperture. In particolare, nelle zone in faglia con coperture di 1000m/1100m (sezione 4) risultano necessari conci con classe di resistenza elevata, pari ad almeno C60/75 e fino a C70/85 MPa in funzione del sovrascavo che si riuscirà a garantire. Nelle successive fasi di progettazione saranno sviluppate analisi più accurate per verificare l'effettiva necessità di tali classi di resistenza. In caso di

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

conferma, particolare attenzione dovrà essere posta in fase di progettazione del mix-design del calcestruzzo al fine di garantire le necessarie prestazioni sia in termini di resistenza che di durabilità.

Nelle zone in faglia a coperture inferiori (da 900m a 500m – sezione 6, sezione 6bis e sezione 10) si prevedono, invece, conci con classe di resistenza C50/60MPa.

La stessa tipologia di concio (classe di resistenza C50/60MPa) è prevista anche all'interno delle Filladi di S. Giovanni, FSG, nelle tratte non in faglia (sezioni 2bis, sezione 2 e sezione 3) e all'interno delle argille del Torrente Lavandaio, ALD, (sezione 5).

Per tutto il resto del tracciato, compreso le tratte alle massime coperture all'interno di Scisti Epidotici, EBG, e Muscovitici, MGR (sezione 7 e sezione 8) e le zone in faglia a 370m negli Gneiss di Cozzo Luparello, GCL (Sezione 1bis) e 220m nelle Filladi di San Giovanni, FSG (sezione 9), è possibile utilizzare calcestruzzi di classe di resistenza C35/45 MPa (minima prescritta da Capitolato RFI).

Ad eccezione della tratta centrale della galleria in corrispondenza delle massime coperture (tra 900m e 1100m) in cui le risultanze derivanti dalle fasi di scavo della galleria esistente e il rilievo all'interno della stessa non hanno evidenziato venute di acqua al fronte o macchie di umidità sui rivestimenti, il dimensionamento dei rivestimenti è stato condotto considerando nel lungo termine un carico idraulico sui rivestimenti di 100m (valore assunto come limite per la tenuta delle guarnizioni).

Le informazioni al momento a disposizione non sono tali da potere definire l'entità del carico idraulico lungo l'intero tracciato della galleria (in particolare nella tratta centrale). Pertanto, come già evidenziato (cfr. § § 10.2.2 Venute d'acqua e carichi idraulici elevati), è necessario implementare nella fase di scavo un sistema per la misura e il controllo dei carichi idraulici, secondo l'approccio del metodo osservazionale ricorrendo a configurazioni di galleria di tipo "drenante" (Figura 98) in caso di carichi idraulici superiori al suddetto valore limite di 100m. Nell'elaborato di progetto "Profilo geotecnico" (da Rif. [48] a Rif. [50]) è comunque riportata una previsione di applicazione lungo il tracciato della galleria dell'intervento di drenaggio di lungo termine, basata sulle informazioni al momento disponibili.

10.3 Metodo di scavo tradizionale

La tecnica dello scavo tradizionale è prevista per i camerone di diramazione delle interconnessioni di Paola, per le uscite/accessi di emergenza pedonali previste sui rami di interconnessione e per la realizzazione dei by-pass di esodo e del by-pass tecnologico.

In funzione delle caratteristiche geotecniche delle formazioni attraversate e del loro comportamento allo scavo, sono previste diverse sezioni tipo, intese come complesso inscindibile di modalità operative, fasi di lavoro, interventi di stabilizzazione, confinamento, contenimento, drenaggio e delle relative tecnologie esecutive.

Per ciascuna sezione tipo è prevista l'installazione a ridosso del fronte di scavo di un rivestimento provvisorio costituito da spritz-beton fibrorinforzato e centine metalliche ed infine il getto dei rivestimenti definitivi di arco rovescio e calotta. La gestione delle acque in sotterraneo è garantita dall'installazione di drenaggi in avanzamento, dall'impermeabilizzazione a tergo dei rivestimenti definitivi di calotta e da un tubo microfessurato, al piede dell'impermeabilizzazione.

Per le opere in scavo tradizionale sono indicate di seguito le sezioni tipo previste. Per una più dettagliata rappresentazione si rimanda agli elaborati grafici di progetto (Rif. [58], Rif. [59] e Rif. [65]).

Camerone di diramazione di Paola

Tra le progressive 17+265,00 e 17+500,00 del binario pari e tra le progressive 16+765,00 e 16+990,00 del binario dispari sono presenti i camerone di interconnessione tra la nuova galleria Santomarco e le diramazioni verso Paola.

Tali opere di lunghezza pari a circa 230 metri e con sezioni di intradosso a geometria variabile ricadono interamente all'interno della formazione degli Scisti Muscovitici di Greco (MGR) in cui è atteso un comportamento allo scavo di tipo A. Si prevedono, pertanto, sezioni tipo con interventi di contenimento al contorno tramite centine, spritz-beton e bullonatura radiale senza interventi di precontenimento e preconsolidamento in avanzamento (Figura 99).

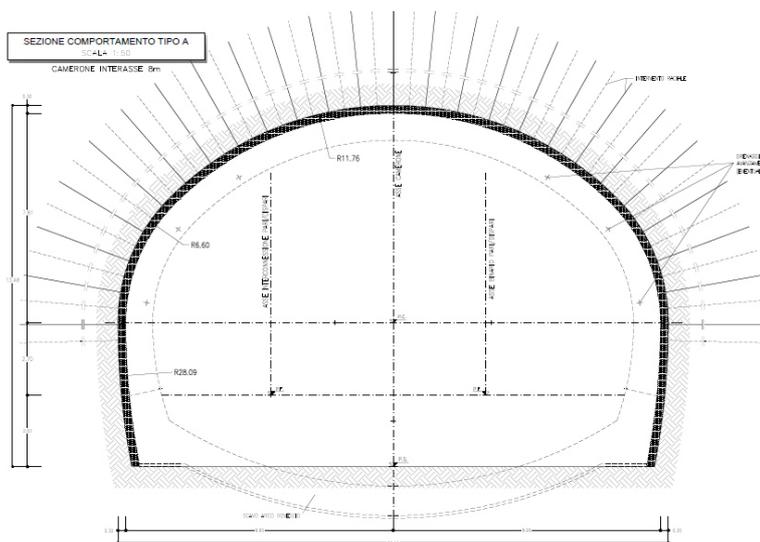


Figura 99. Sezione tipo di avanzamento per i camerone di interconnessione (esempio sezione interasse binari 8m)

Lo scavo, previsto a piena sezione anche per le sezioni di camerone di dimensioni trasversali maggiori, sarà realizzato in allargò a partire delle gallerie di interconnessione di Paola preventivamente realizzate in meccanizzato per l'intera lunghezza dei camerone fino alla sezione finale degli stessi lato Cosenza.

In funzione dei riscontri in fase di scavo delle gallerie di interconnessione in corrispondenza dei camerone, si valuterà l'esecuzione di un consolidamento radiale al contorno della galleria in meccanizzato preventivamente allo scavo in allargò (Figura 100).

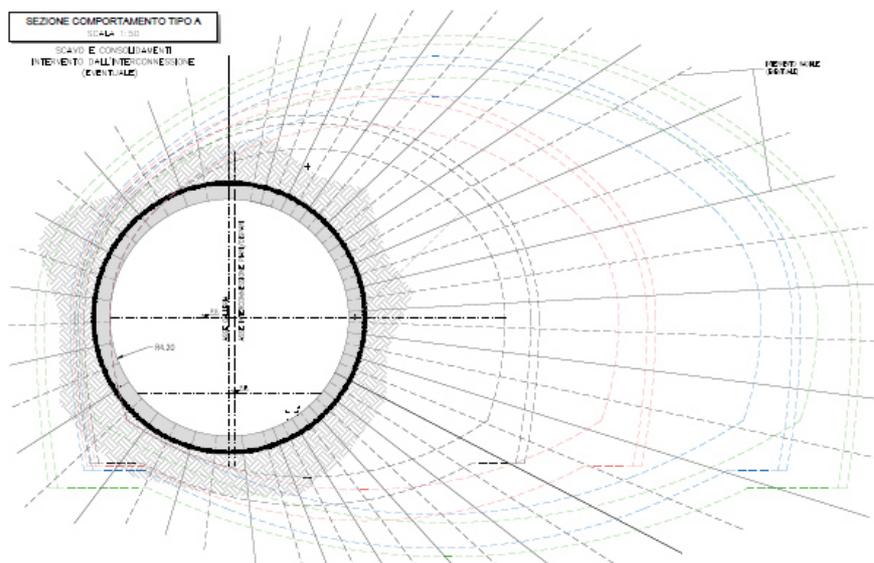


Figura 100. Eventuale consolidamento radiale eseguito dalla sezione in meccanizzato

Uscite/accessi di emergenza pedonali

Le gallerie di interconnessione di Paola si configurano come gallerie a singola canna a singolo binario. Presentando entrambe una lunghezza in sotterraneo di poco inferiore a 2km, per ciascuna galleria di interconnessione è prevista la realizzazione di un'uscita/accesso di emergenza laterale di tipo pedonale.

Tali uscite si sviluppano in affiancamento alle rispettive gallerie di interconnessione andando ad interessare le medesime formazioni attraversate da quest'ultime nel primo tratto lato Paola. A partire dall'imbocco e su gran parte del tracciato (all'interno dei Depositi marini, delle Argille marnose del T. Lavandaio e della tratta tettonizzata degli Gneiss di cozzo Luparello e delle Filladi di S. Giovanni) per le uscite di emergenza è atteso, pertanto, un comportamento allo scavo di tipo instabile o al più stabile a breve termine. Solo nell'ultimo tratto, in prossimità dell'innesto sulle rispettive gallerie di interconnessione, entrambe le uscite entrano nella formazione degli Scisti Muscovitici di Greco (MGR) in cui è atteso un comportamento allo scavo di tipo stabile.

Per le 2 uscite/accessi di emergenza pedonali, sono quindi previste sia sezioni di tipo B e C con interventi di precontenimento del contorno e/o del fronte (Figura 101), sia sezioni di tipo A.

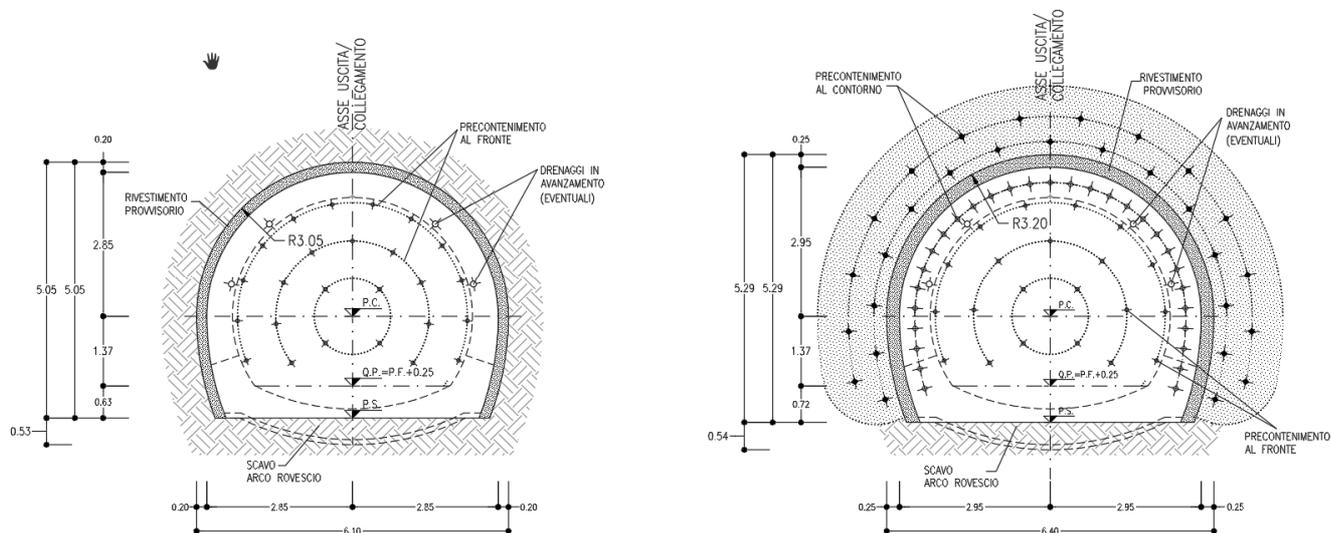


Figura 101 Uscite/accessi di emergenza pedonali - Sezione tipo di scavo tipo B (sx) e C (dx)

By-pass di esodo

La configurazione a doppia canna a singolo binario della nuova galleria Santomarco prevede la realizzazione di 31 collegamenti trasversali per l'esodo posti ad interasse non superiore a 500 m dall'imbocco lato Cosenza all'imbocco lato S. Lucido.

Come osservato lungo l'intero sviluppo della galleria di linea, in funzione del contesto in cui vengono realizzate per tali opere sono attesi comportamenti allo scavo sia instabili che stabili o stabili a breve termine. Analogamente a quanto fatto per le uscite/accessi di emergenza pedonali, anche per i by-pass sono previste sia sezioni di tipo B e C con interventi di precontenimento del contorno e/o del fronte, sia sezioni di tipo A

All'interno delle formazioni più permeabili, in particolare in prossimità dell'imbocco lato Cosenza della galleria, potranno essere adottati interventi di consolidamento mediante jet-grouting. In alternativa, si potrà valutare il ricorso alla tecnica del congelamento artificiale dei terreni. Tale intervento, realizzato preventivamente dalle gallerie di linea, ha lo scopo di realizzare condizioni di impermeabilità al contorno e migliorare al contempo le caratteristiche dei terreni nella fase transitoria di scavo dei collegamenti trasversali (Figura 102).

SEZIONE LONGITUDINALE DEL COLLEGAMENTO

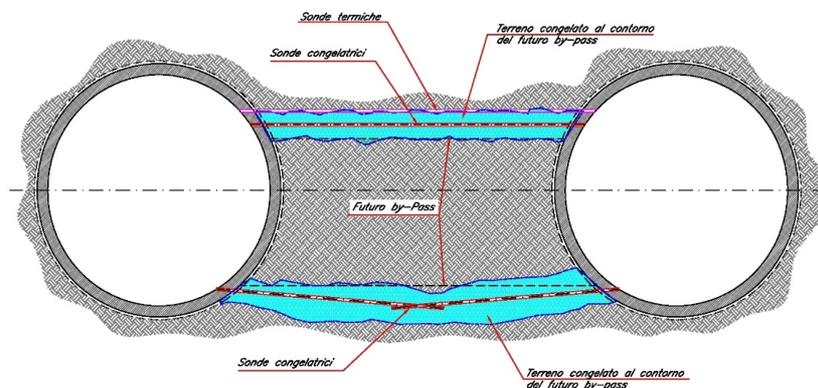


Figura 102 Schema dell'intervento di congelamento artificiale per i by-pass.

La realizzazione dei by-pass è preceduta da un preventivo intervento di blindaggio del rivestimento in conci prefabbricati delle gallerie di linea (Figura 103), volto a garantire la stabilità del rivestimento a seguito dell'apertura necessaria per la realizzazione dell'innesto.

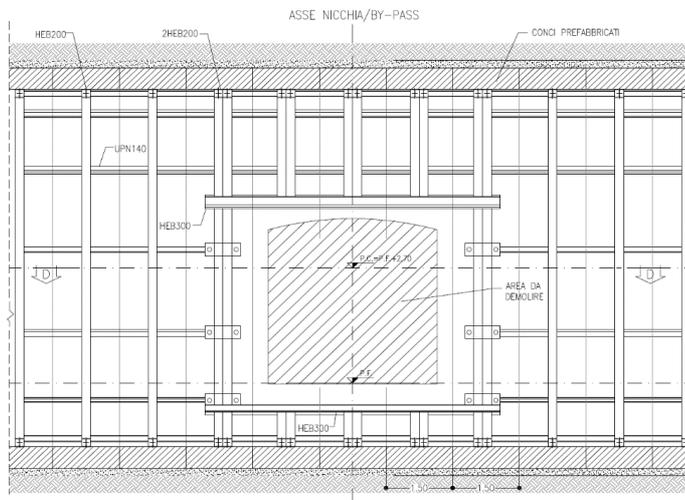


Figura 103 Tipologico intervento di blindaggio innesto by-pass su galleria di linea in scavo meccanizzato

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

11 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

La complessità delle condizioni geologiche e geotecniche associata all'impossibilità di realizzare un maggior numero di indagini geognostiche nella parte centrale del tracciato a causa delle altissime coperture ha reso necessario, oltre ad una accurata valutazione dei rischi che possono presentarsi in fase di scavo e alla predisposizione di adeguate contromisure che possono coinvolgere la configurazione della macchina, anche il ricorso all'approccio osservazionale mediante l'adozione di sistemi di indagini in avanzamento, l'impiego di tecnologie specifiche e l'implementazione di sistemi di controllo e monitoraggio, anche con l'utilizzo di una piattaforma integrata di monitoraggio, elaborazione e trasmissione dati con segnalazione del superamento soglie dei parametri significativi in tempo reale.

11.1 Scavo meccanizzato

Nel caso di scavo meccanizzato, la flessibilità in fase di avanzamento, in risposta alle condizioni riscontrate, è garantita dalla variabilità dei parametri operativi di controllo della TBM.

Pertanto, sulla base dei dati macchina raccolti durante l'avanzamento e le risultanze del monitoraggio geotecnico e topografico in superficie e in galleria, i parametri macchina (ad es.: contropressione al fronte) saranno modificati operando all'interno della variabilità prevista in fase progettuale.

In merito ai valori di contropressione al fronte da applicare durante l'avanzamento della TBM, nella successiva fase progettuale saranno definiti dei range ricavati mediante verifiche di stabilità puntuali lungo il tracciato per sezioni rappresentative.

11.2 Scavo tradizionale

Sono di seguito illustrati i criteri che dovranno essere adottati in corso d'opera per l'applicazione delle sezioni tipo e la gestione delle variabilità, nell'ambito delle previsioni del progetto, che sono sintetizzate nei valori attesi delle grandezze caratteristiche. I valori attesi e i valori soglia dei fenomeni deformativi al fronte e al contorno del cavo saranno definiti nella successiva fase progettuale.

In corso d'opera, i rilievi del fronte e i dati di monitoraggio della risposta deformativa del fronte e del cavo, correlati alle fasi di avanzamento, sono confrontati con le previsioni progettuali (i valori attesi) per consentire la verifica e la messa a punto del progetto con i criteri di seguito descritti:

1. Le condizioni geologiche e geotecniche rilevabili al fronte corrispondono con lo scenario prevalente previsto in progetto e la risposta deformativa rientra nel campo dei valori attesi: la previsione progettuale è confermata, si procede con la sezione tipo prevalente prevista per la tratta.
2. La risposta deformativa non rientra nel campo di accettabilità dei valori soglia, rispetto ai valori attesi, definito in progetto: la sezione tipo prevalente prevista per la tratta è ottimizzata secondo le definite variabilità, che consistono in: aumento/diminuzione ($\pm 20\%$) degli interventi di preconsolidamento, diminuzione/aumento dell'interasse delle centine ($\pm 20\%$ del passo medio), diminuzione/aumento delle distanze del rivestimento definitivo dal fronte di scavo.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

3. Le condizioni geologiche e geotecniche osservate sono differenti da quelle ipotizzate come scenario prevalente e la risposta deformativa non rientra nel campo di accettabilità definito in progetto: si passa ad una diversa sezione tipo, tra quelle definite in progetto come “sezioni eventuali” per quella tratta.

11.3 Monitoraggio in corso d’opera

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio, volto a verificare gli effetti indotti dalla realizzazione degli imbocchi ed in particolare delle gallerie naturali, in considerazione delle sezioni di scavo e consolidamento previste, ottimizzandole nell’ambito delle variabilità indicata in progetto.

Con riferimento alle tratte realizzate con metodo di scavo meccanizzato il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il controllo dei principali parametri macchina desunti direttamente in fase di scavo dalla fresa tra cui: pressione di supporto del fronte di scavo, densità del materiale nella camera di scavo, pressione e volume del materiale di intasamento iniettato a tergo dei conci, peso e volume del materiale scavato, condizionamento del terreno;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche saldate sui ferri di armatura dei conci e celle di carico tra i giunti longitudinali degli stessi.

Con riferimento alle tratte realizzate con metodo di scavo tradizionale il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il rilievo analitico e speditivo del fronte di scavo;
- il controllo della convergenza del cavo, mediante installazione di stazioni di convergenza con mire ottiche;
- il controllo dell’estrusione del fronte, mediante installazione di estrusometri in avanzamento, dove previsto;
- il controllo delle deformazioni al contorno del cavo attraverso gli estensimetri multibase;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento di prima fase mediante celle di carico, celle di pressione e strain-gauges;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche.

Con riferimento alla realizzazione degli imbocchi il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda nelle aree prospicienti alle paratie di imbocco;
- monitoraggio inclinometrico per la misura degli spostamenti orizzontali delle paratie e del terreno limitrofo;
- monitoraggio degli spostamenti delle paratie mediante mire ottiche disposte sull’opera di sostegno;
- monitoraggio delle sollecitazioni indotte dallo scavo sui tiranti mediante celle di carico.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

12 INDAGINI COMPLEMENTARI

Al fine di approfondire il quadro conoscitivo del contesto geologico, idrogeologico e geotecnico di interesse per le opere in sotterraneo e confermare le scelte progettuali effettuate relativamente alle opere ed alle tecniche realizzative è stata pianificata una nuova campagna di indagini, tenendo conto anche delle indicazioni fornite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLLPP) con il parere n° 5/2022 del 22 marzo 2022.

Tale campagna di indagini integrative è stata articolata in due fasi: una prima fase, già eseguita, di cui si è tenuto conto nell'ambito della presente rielaborazione del PFTE e una seconda fase attualmente in corso che sarà ultimata e recepita per il PFTE per gara. Per dettagli in merito si rimanda alla documentazione di progetto della S.O. Geologia e alla documentazione prodotta dalla stessa struttura in sede di riscontro preliminare al suddetto parere del CSLLPP.

L'obiettivo delle indagini integrative, che consistono in:

- Indagini dirette eseguite dall'interno della galleria esistente "Santomarco"
- Indagini dirette eseguite da superficie
- Indagini indirette – geofisiche di sismica a riflessione e a rifrazione

è quello di migliorare il quadro conoscitivo delle unità attraversate, con attenzione particolare a quelle che interessano lo scavo della galleria per le maggiori lunghezze in corrispondenza delle coperture più elevate.

La fase di indagini di arricchimento prevederà anche il monitoraggio delle portate drenate dalla galleria esistente.

In merito alle indagini da eseguire nella successiva fase progettuale, a valle degli esiti della campagna integrativa di cui sopra, saranno evidenziati gli aspetti geologici idrogeologici e geotecnici da approfondire che dovranno essere oggetto di studio e analisi di dettaglio da parte dell'Appaltatore.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. B

13 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione delle gallerie del raddoppio della linea Cosenza-Paola/S.Lucido.

La progettazione dell'opera in sotterraneo è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS, articolandosi nelle seguenti fasi:

- fase conoscitiva (cap. 8): lo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico di inserimento in cui saranno realizzate le gallerie hanno condotto alla definizione del modello geotecnico di sottosuolo, da affinare nelle successive fasi del progetto, e all'individuazione dei potenziali rischi connessi alla realizzazione dell'opera in sotterraneo;
- fase di diagnosi (cap. 9): la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione ha consentito di determinare le categorie di comportamento per la previsione e l'individuazione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo;
- fase di terapia (cap. 10): si prevede di realizzare lo scavo prevalentemente con metodo meccanizzato. Sono state individuate le soluzioni progettuali che consentono l'avanzamento in condizioni di sicurezza e la mitigazione dei rischi potenziali.

Il progetto è completato dalle prime indicazioni per il piano di monitoraggio (cap. 11) da predisporre ed attuare nella fase realizzativa, nel quale sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso e della galleria al procedere dello scavo e verificarne la rispondenza con le previsioni progettuali.

Sono inoltre fornite indicazioni (cap. 12) sulle indagini complementari da attuare nella successiva fase progettuale al fine di approfondire il quadro conoscitivo del contesto geologico e le condizioni idrogeologiche di interesse per le opere in sotterraneo e confermare le scelte progettuali effettuate.