

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J84E21002910001

## S.O. GALLERIE

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

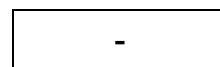
## ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO

## LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA – MOLTENO

### GENERALI

### RELAZIONE TECNICA

SCALA:



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

LC00 01 R 07 RH GN0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	M.N. Pascariello A. Biondi	28 Giugno 2023	M. Ricci	28 Giugno 2023	M. Berlingieri	28 Giugno 2023	A. Sciotto 28 Giugno 2023

ITALFERR S.p.A.  
U.O. GALLERIE  
Dott. Ing. Alessandra Sciotto  
Oliviero degli Ingegneri e Architetti  
n° 19446

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO .....	5
3	NORMATIVE E DOCUMENTI REFERENZIATI .....	5
3.1	NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO .....	5
3.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
3.3	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....	6
3.4	ALLEGATI.....	7
4	DESCRIZIONE DELLA LINEA .....	8
4.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO.....	8
5	METODOLOGIA DI LAVORO .....	10
6	FASE CONOSCITIVA .....	11
6.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO .....	11
6.1.1	<i>Assetto geologico lungo il tracciato .....</i>	<i>13</i>
6.2	INDAGINI GEOTECNICHE .....	13
6.3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	14
6.3.1	<i>Depositi fluvio-glaciali (Formazioni LCN, LCN<sub>1</sub>, LCN<sub>2</sub>, LCN<sub>3</sub>) .....</i>	<i>16</i>
6.3.2	<i>Sintema di Cascina Fontana (Formazione BOF).....</i>	<i>28</i>
6.3.3	<i>Unità litostratigrafica Peliti di Prestino (RSI) .....</i>	<i>36</i>
6.3.4	<i>Unità geotecniche.....</i>	<i>44</i>
6.3.5	<i>Le condizioni idrauliche .....</i>	<i>44</i>
6.4	INDAGINI E RILIEVI IN GALLERIA .....	46
6.4.1	<i>Stato di fatto delle gallerie .....</i>	<i>47</i>
7	FASE DI DIAGNOSI.....	53
7.1	PROFILO DI TRANSITO.....	53
7.2	IMPIANTISTICA TE.....	53

7.3	ARMAMENTO FERROVIARIO.....	53
7.4	VERIFICHE DI SAGOMA .....	54
8	FASE DI TERAPIA .....	56
8.1	DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI TIPO.....	56
8.1.1	<i>Intervento tipo 1 – Modifica di tracciato.....</i>	57
8.1.2	<i>Intervento tipo 2 – Modifica di tracciato con rifacimento/realizzazione arco rovescio.....</i>	58
8.1.3	<i>Intervento tipo 3 – Snicchiatura.....</i>	61
8.1.4	<i>Intervento tipo 4 – Protezione della TE dalle venute d’acqua .....</i>	62
8.2	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	63
9	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	65
9.1	PROGRAMMA DI INDAGINI INTEGRATIVE .....	65
10	CONCLUSIONI .....	66
11	APPENDICE 1 .....	67
11.1	METODI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA ATTRAVERSO PROVE PENETROMETRICHE.....	67

## 1 PREMESSA

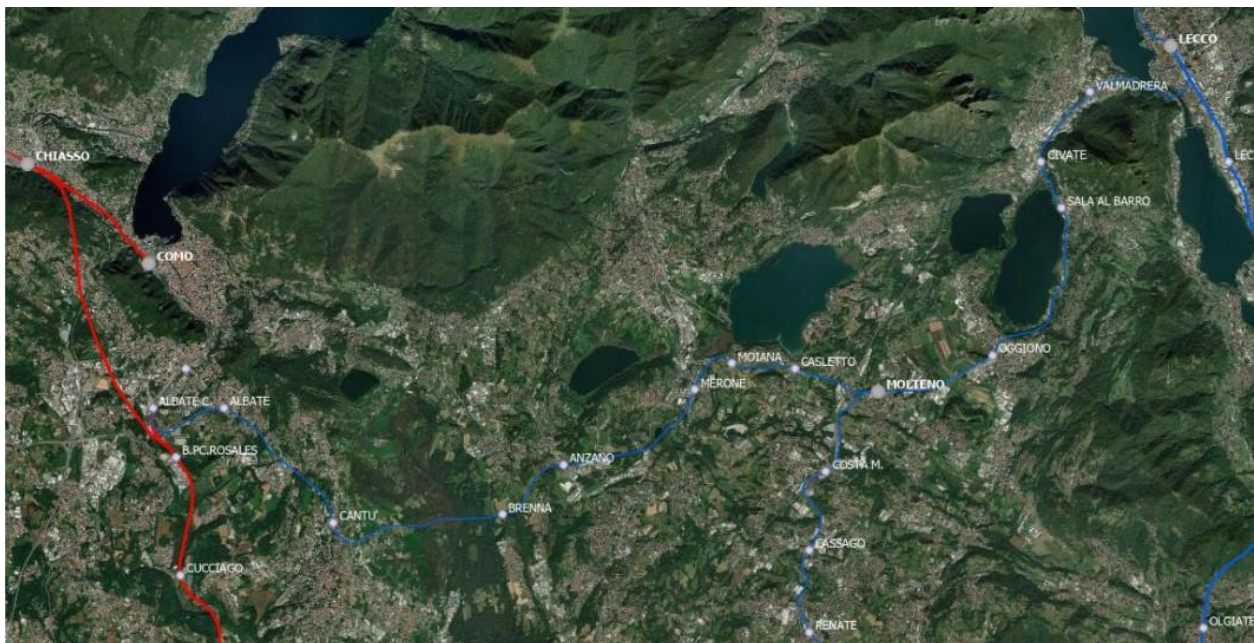
Il progetto dell'elettificazione della Linea Albate – Molteno – Lecco si configura come un progetto di investimenti di RFI per migliorare le prestazioni della linea esistente in termini di miglioramento della regolarità della circolazione ferroviaria e di potenziamento tecnologico, che consentirà la circolazione dei treni con locomotori elettrici alimentati a 3 kV cc, nonché in termini di sostenibilità ambientale per l'eliminazione appunto della circolazione di locomotori diesel attualmente in servizio sulla linea.

La linea esistente è a binario unico, senza elettificazione, ed è percorsa da Treni Regionali Trenord sulle relazioni Como-Molteno e Como-Lecco, e dai Treni suburbani S7 tra Molteno e Lecco.


L'esercizio della linea è con Dirigente Locale e la circolazione regolata con Blocco Conta Assi.

Il tratto tra Como San Giovanni e Albate Camerlata (5 km) risulta già elettrificato a 3 kV c.c. ed è a doppio binario; l'intervento di elettificazione riguarda, dunque, il tratto tra Albate C. e Lecco, di estesa pari a 37 km a semplice binario.

L'intervento è inserito nell'elenco degli interventi di cui all'Appendice 9 "Elenco opere inserite nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza - PNRR" del Contratto di Programma 2017 – 2021 parte Investimenti Aggiornamento 2020/2021. Lo sviluppo del progetto è orientato ad implementare ogni soluzione tecnica e ottimizzazione del Programma Lavori per riguardare l'attivazione al 2026.



**Figura 1 –Inquadramento territoriale**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>

## 2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali propedeutiche all'eletttrificazione e adeguamento a sagoma P.M.O. 2 delle gallerie esistenti sul Lotto 1 della linea ferroviaria Como – Lecco, tratta Albate – Molteno – Lecco.


## 3 NORMATIVE E DOCUMENTI REFERENZIATI

### 3.1 Normative e specifiche tecniche di riferimento

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018, “Aggiornamento delle Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°7 del 21/01/2019, “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al DM 14/01/2018”;
- Rif. [3] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 F “Manuale di Progettazione delle opere civili” (31/12/2022);

### 3.2 Documenti di riferimento

- Rif. [4] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- Rif. [5] S.O. Geologia Tecnica, dell’Ambiente e del Territorio, documento n° LC0000R69RGGE0001001A “Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica” datato Marzo 2023;
- Rif. [6] S.O. Geologia Tecnica, dell’Ambiente e del Territorio, documento n° LC0000R69SGGE0001001A “Sondaggi e stratigrafie” datato Marzo 2023;
- Rif. [7] S.O. Geologia Tecnica, dell’Ambiente e del Territorio, documento n° LC0000R69IGGE0001001A “Geofisica” datato Marzo 2023;
- Rif. [8] S.O. Geologia Tecnica, dell’Ambiente e del Territorio, documento n° LC0000R69PRGE0001001A “Prove di laboratorio” datato Marzo 2023;
- Rif. [9] S.O. Geologia Tecnica, dell’Ambiente e del Territorio, documento n° LC0000R69RHGE0005001A “Indagini pregresse” datato Marzo 2023;
- Rif. [10] S.O. Energia e Trazione Elettrica, elaborati specialistici di progetto, datati Aprile 2023;
- Rif. [11] S.O. Progettazione Integrata Nord, elaborati specialistici di progetto, datati Aprile 2023;
- Rif. [12] 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. [13] 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. [14] Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1948) Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons, Hoboken.


 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>

- Rif. [15] Bazaraa, A.R., 1967. "Use of the Standard Penetration Test For Estimating Settlement of Shallow Foundations on Sand." Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana, Ill.
- Rif. [16] 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. [17] Bolton M.D. (1986) "The strength and dilatancy of sands" Geotechnique, 36(1), 65-78;
- Rif. [18] 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. [19] 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. [20] 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. [21] Ohta, Y., Goto, N. (1978): "Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristic Soil Indexes," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 6;
- Rif. [22] 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. [23] 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. [24] Marinos P., Hoek E. (2000). GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proc. GeoEng 2000 Conference, Melbourne.
- Rif. [25] Bieniawski Z.T. (1989). Engineering rock mass classification. John Wiley and Sons, New York.
- Rif. [26] Barton N. (2002). Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences, 39, 185-216.
- Rif. [27] 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.

### 3.3 Documenti prodotti a supporto

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


- Rif. [28] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07F5GN0000001A "Profilo geotecnico", datato Giugno 2023;
- Rif. [29] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07RHGN0000002A "Relazione indagini in galleria", datato Giugno 2023;
- Rif. [30] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WZGN0000001A "Intervento tipo 1 - Modifica di tracciato", datato Giugno 2023;
- Rif. [31] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WZGN0000002A "Intervento tipo 2 - Modifica di tracciato con rifacimento/realizzazione arco rovescio", datato Giugno 2023;
- Rif. [32] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WZGN0000003A "Intervento tipo 3 – Snicchiatura", datato Giugno 2023;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>

- Rif. [33] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WZGN0000004A “Intervento tipo 4 - Protezione della TE dalle venute d'acqua”, datato Giugno 2023;
- Rif. [34] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WAGN0100001A “Studio interferenze - Galleria Colle di Fabbrica”, datato Giugno 2023;
- Rif. [35] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WAGN0200001A “Studio interferenze - Galleria Colle di Terrò”, datato Giugno 2023;
- Rif. [36] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WAGN0300001A “Studio interferenze - Galleria Montressone”, datato Giugno 2023;
- Rif. [37] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WAGN0400001A “Studio interferenze - Galleria Montecastello”, datato Giugno 2023;
- Rif. [38] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WAGN0500001A “Studio interferenze - Galleria Trecallo”, datato Giugno 2023;
- Rif. [39] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WAGN0100002A “Applicazione interventi tipo - Galleria Colle di Fabbrica”, datato Giugno 2023;
- Rif. [40] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WAGN0200002A “Applicazione interventi tipo - Galleria Colle di Terrò”, datato Giugno 2023;
- Rif. [41] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WAGN0300002A “Applicazione interventi tipo - Galleria Montressone”, datato Giugno 2023;
- Rif. [42] S.O. Gallerie, documento n° LC0001R07WAGN0400002A “Applicazione interventi tipo - Galleria Montecastello”, datato Giugno 2023;

### **3.4 Allegati**

Il documento non è corredato da allegati.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>

## 4 DESCRIZIONE DELLA LINEA

### 4.1 *Il tracciato e le opere in sotterraneo*

L'Italia postunitaria era in fermento per realizzare un sistema infrastrutturale degno di una importante nazione moderna che si avviava verso l'industrializzazione del suo territorio; nacquero pertanto in tutto il Regno comitati e associazioni che sponsorizzavano diversi nuovi collegamenti proposti da diverse cordate di progettisti con tanto di partecipazione della popolazione che caldeggiava l'una o l'altra soluzione che veniva avanzata.

Anche per il nuovo collegamento, sebbene in linea d'aria tra i due capoluoghi del lago Lario ci siano pochi chilometri, erano in competizione tre differenti alternative. Dopo accese discussioni con la legge n° 5002 del 27 Luglio 1879 s'incluse la linea Lecco-Como nell'elenco delle ferrovie complementari da costruire, ma solo con la legge delle Convenzioni ferroviarie del 1885 fu assegnata la costruzione della linea alla Società delle Ferrovie Meridionali - Esercizio della Rete Adriatica.

La costruzione della linea attraverso la Brianza fu completata sostanzialmente sull'attuale sedime con l'inaugurazione risalente al 20 Novembre del 1888 con un collegamento che univa Lecco a Como passando per Oggiono, Molteno, Merone, Cantù e Camerlata. La distanza delle stazioni da alcuni rispettivi centri abitati non favorì però lo sviluppo di un traffico passeggeri, penalizzato anche dalla tortuosità del tracciato nonché dall'armamento da linea secondaria prescelto, di 28 Kg/m seppur con scartamento standard, che imponeva comunque delle basse velocità.

L'unica tratta che mostrò sin dall'inizio un discreto traffico pendolare è quella che da Lecco, passando per Molteno raggiunge Milano. In realtà la linea fu presto veicolo di un traffico merci notevole che coinvolgeva i distretti tessili e che ad Albate Camerlata disbrigava, già sul finire degli Anni Venti del Novecento, un intenso traffico di materiali destinati a cementerie e ferriere. La linea conobbe l'oblio industriale dell'ultimo quarto del secolo scorso ed è stata anche più volte in predicato per la sua chiusura. Con il rilancio del traffico pendolare si ripropone la prospettiva di una elettrificazione la cui idea, risalente già a molti anni fa, sembra ora concretizzarsi.

La lunghezza totale della linea tra Como S. Giovanni e Lecco è pari a 46,6 chilometri mentre la lunghezza della tratta oggetto dell'elettrificazione tra P.M di Albate Camerlata (ex stazione di Albate) e Lecco, è di 36,8 km.

Nella tratta in oggetto sono presenti 9 gallerie che si sviluppano lungo la linea per una lunghezza complessiva di circa 3,4 km e rappresentano circa il 9% dell'intero tracciato.

In Figura 2 e in Tabella 1 sono indicate le 5 gallerie rientranti nel Lotto 1, tratta tra Molteno e Albate, con una lunghezza complessiva di circa 2,7 km. Le progressive ferroviarie indicate sono da considerarsi "storiche", risalenti cioè alla documentazione ufficiale di costruzione e manutenzione della linea.





**Figura 2 - Inquadramento geografico della tratta ferroviaria Albate – Molteno – Lecco con indicazione dell'ubicazione delle gallerie del Lotto 1 (Google Earth)**

Nella tratta Albate – Molteno (Lotto 1) la galleria Montecastello, con il suo sviluppo di circa 700 m, è la più lunga delle opere in sotterraneo. Le gallerie Colle di Fabbrica e Colle di Terrò hanno una lunghezza superiore ai 500 m, mentre le gallerie Montressone e Trecallo di poco inferiore ai 500 m.

Infine, le opere in sotterraneo sono tutte a singolo binario con sezione policentrica.

**Tabella 1 – Elenco delle gallerie esistenti – Lotto 1**

Lotto	N. galleria	Galleria / Stazione	Progressive		Lunghezza (m)
1		Stazione Molteno	14+715		
		Stazione Casletto-Rogeno	16+902		
		Stazione Mojana	18+489		
		Stazione Merone	20+013		
		Stazione Anzano	23+865		
	5	Colle di Fabbrica	24+276	24+887	611
		Stazione Brenna-Alzate			
	6	Colle di Terrò	26+480	27+029	549
	7	Montressone	29+806	30+239	433
		Stazione di Cantù	30+739		
	8	Montecastello	31+489	32+193	704
	9	Trecallo	33+635	33+998	363
		Stazione di Albate	34+475		
	P.M. Albate	36+778			

## 5 METODOLOGIA DI LAVORO


La progettazione degli interventi per le gallerie in oggetto è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [4]) e si è articolata nelle seguenti fasi:

1. Fase conoscitiva (cap. 6): è finalizzata allo studio e all'analisi dello stato di fatto delle gallerie con riferimento alle caratteristiche geometriche delle sezioni di intradosso, agli spessori dei rivestimenti esistenti, alle condizioni delle murature, al contesto geologico e geotecnico di inserimento.

2. Fase di diagnosi (cap. 7): definita la sagoma di transito di progetto e gli ingombri minimi da garantire per l'installazione dell'impiantistica TE, si eseguono le verifiche di sagoma sulle sezioni di intradosso per individuare le eventuali interferenze da risolvere.

3. Fase di terapia (cap. 8): in funzione della tipologia di interferenza individuata e delle locali condizioni del rivestimento esistente, si definiscono le modalità di intervento necessarie per risolvere l'interferenza (interventi tipo) e garantire l'inserimento dell'impiantistica TE in condizioni di sicurezza.

4. Fase di verifica e messa a punto del progetto (cap. 9): il progetto è completato da un piano di indagini integrative da predisporre ed attuare nell'ambito della successiva fase progettuale, per confermare o eventualmente ritardare la distribuzione degli interventi tipo ipotizzata in questa fase.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>

## 6 FASE CONOSCITIVA

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

A tale scopo, nell'ambito di questa fase progettuale, è stata condotta una campagna di indagini e rilievi in galleria.

### 6.1 *Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico*

Si riporta di seguito una sintesi dello studio geologico, geomorfologico e idrogeologico condotto nell'ambito del presente progetto e riferito all'intera tratta Albate – Molteno – Lecco (cfr. elaborati specialistici, Rif. [5]).

Il territorio di interesse è localizzato al margine meridionale delle Prealpi lombarde interessate, tra l'Oligocene e il Messiniano, da attività deformativa che ha determinato un sistema di pieghe, faglie e sovrascorrimenti.

Il territorio dell'area oggetto di questo studio è suddivisibile in due settori distinti dal punto di vista geologico e geomorfologico: la zona pedecollinare e pianura e la zona collinare delle prealpi Lombarde. La prima è costituita da ampie falde di depositi neogenici-quadernari originati dallo smantellamento delle rocce del substrato roccioso. La zona collinare, invece, appartiene alla porzione più meridionale delle Prealpi Lombarde ed è formata da rocce di età cretacea, fagliate e piegate. La maggior parte del tracciato ferroviario ricade al di sopra dei depositi morenici caratteristici di quest'area e solamente nei chilometri finali interseca formazioni cretache affioranti.

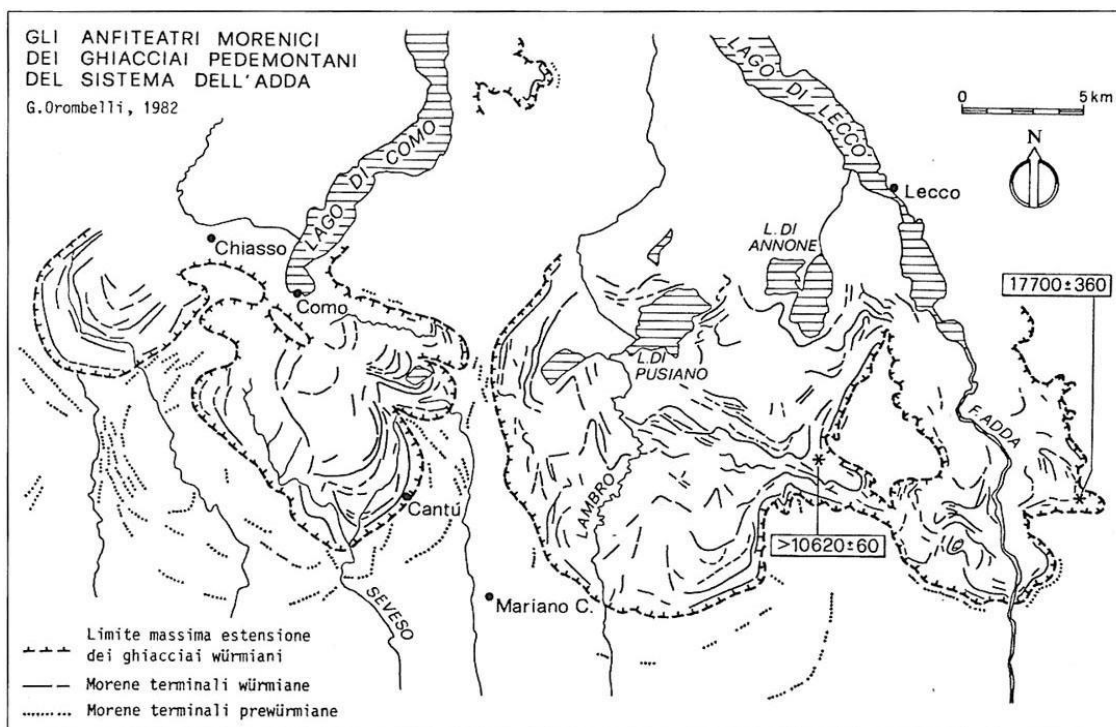
Le opere in progetto risultano interessate in prevalenza da:

- Coltre detritica costituita principalmente da materiale incoerente distinto sulla base dell'età nonché dei meccanismi di deposizione ed è formata prevalentemente da terreni di origine fluvioglaciale.
- Substrato (generalmente concentrato nel settore nord-occidentale oppure non riconoscibile a causa dell'estesa copertura detritica principalmente depositatesi durante le glaciazioni plioquadernarie) costituito da:
  - Calcari e calcari marnosi grigio-scuri ben suddivisi da marne e argilliti;
  - Argille marnoso-siltose di colore grigio-verde ad alterazione grigio-nocciola con intercalazioni di areniti fini in strati da fini a medi;

L'influenza che l'assetto strutturale del substrato ha sui caratteri geomorfologici del territorio si manifesta solo nella parte più settentrionale perché più prossima al margine prealpino; nel resto del territorio i caratteri morfologici predominanti sono legati invece ai depositi glaciali.


Lo sguardo d'insieme dell'ambito in studio permette di distinguere quattro aree principali, con riferimento alla Figura 3: due aree (ad est e ovest) con presenza di morene disposte a formare ampi semicerchi denominati Lobo

di Como e Lobo della Brianza, un'area meridionale caratterizzata dalla presenza di ampie piane fluvioglaciali e un'area centrale con morene allungate N-S e piane fluvioglaciali.



**Figura 3 - "I depositi wurmiani del Comasco" – Orombelli 1982.**

Dal punto di vista idrografico le aree di studio intersecano o vengono lambite da corsi d'acqua, maggiori e minori, appartenenti al bacino dell'Adda. Il reticolo idrografico naturale dell'area di studio è formato, data la sua vasta area, da numerosi torrenti che scendono dai rilievi collinari, oltre che da una rete di canali e rogge piuttosto fitta. Il tracciato ferroviario interseca il Rio Acquanegra e il torrente Trecallo tra Albate e Senna Comasco, la Roggia di Brenna, la Roggia di S. Antonio, il Torrente Serenza nella zona di Cantù. Proseguendo si ritrova la Roggia detta Ca Nova, il Torrente Pobbia, il Torrente Terrò e il Torrente Brenna (o Roggia Vecchia o Roggia Lubiana) fino ad Agrate Brianza. Successivamente, dirigendosi verso il Lago di Pusiano si incontra la Roggia Fabbrica Durini e il Lambro. Nel tratto tra Rogeno e Oggiono, l'idrografia è costituita dai torrenti Bevera di Brianza e Gandaloglio. Il tratto finale della linea ferroviaria costeggia dapprima il Lago di Anone e poi quello di Como, incontrando il Torrente Bomboldo (o Bagnolo), il Torrente Molinetto (o Laghetto), il Torrente Valle Grossa, il Fiume Riotorto ed infine, presso la stazione di Lecco, il Torrente Caldone.

	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTEÑO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>

### 6.1.1 *Assetto geologico lungo il tracciato*

Il tracciato ferroviario si sviluppa sia nella classica successione flyshoide della bergamasca che comprende successioni ritmiche arenaceo-marnose, sia nel substrato generalmente composto da argilliti.

In dettaglio per quanto concerne le gallerie, procedendo da nord verso sud:

- La galleria Colle di Fabbrica, lunga oltre 600 metri, attraversa anch'essa la formazione LCN caratterizzata, in questo caso, da una facies limosa più presente. Le coperture massime risultano pari a 25 metri.
- La galleria Colle del Terrò si sviluppa per circa mezzo chilometro nella formazione del BOF costituita principalmente da un deposito sciolto non selezionato di ghiaie e sabbie con clasti. La copertura massima è di circa 30 metri. Il tracciato ferroviario è caratterizzato da elevate pendenze.
- La galleria Monstressone, lunga oltre 400 m, si sviluppa attraverso le sabbie con ghiaia della formazione LCN. Alle quote di arco rovescio della galleria, questa formazione presenta frequenti intercalazioni limose. La copertura massima si aggira intorno ai 25 metri.
- La galleria Montecastello, con i suoi 704 metri risulta essere la più lunga di tutto il tracciato. Dopo aver attraversato, per un breve tratto in prossimità dei due imbocchi, le sabbie ghiaiose della formazione LCN, incontra le rocce sedimentarie con graluni di quarzo (arenarie) della formazione RSI. La copertura massima è di circa 45 metri.
- La galleria Tercallo si sviluppa in un ammasso costituito da rocce sedimentarie detritiche (argilliti) della formazione RSI. Tale substrato, tuttavia, cede il posto alle sabbie ghiaiose della formazione LCN in prossimità dei due imbocchi. Le coperture massime sono pari a circa 35 metri.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati specialistici (Rif. [5])

### 6.2 *Indagini geotecniche*


Ai fini della caratterizzazione geotecnica delle unità che interessano le opere in sotterraneo di oggetto, si è fatto riferimento ai dati derivanti dalla campagna geotecnica eseguita sull'intera tratta oggetto dell'elettrificazione, Albate – Molteno – Lecco:

1. *Campagna di indagini Italferr 2022 eseguite per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dal progetto di elettrificazione della linea ferroviaria nella tratta Albate (CO)-Molteno-Lecco.*

Per quanto riguarda le indagini d'archivio, sono state consultate dieci stratigrafie disponibili nell'area di interesse.

Nella campagna di indagini Italferr 2022 sono stati eseguiti:

- n. 10 sondaggi a carotaggio continuo di profondità da 25 a 40 m dal piano campagna attrezzati entrambi con piezometro;
- n. 90 prove SPT;
- n. 20 prove di permeabilità di tipo Lefranc;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTEÑO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>

- n. 3 prove di permeabilità di tipo Lugeon;
- n. 6 prove dilatometriche;
- n. 18 prospezioni sismiche di tipo MASW;
- n. 18 prove HVSr.

Il numero totale di campioni prelevati in questi sondaggi è di 64, di cui 1 indisturbato, 41 rimeggiati e 21 lapidei; le prove meccaniche eseguite su tali campioni ed utilizzate per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche di terreni e rocce sono riepilogate di seguito:

- n. 1 prove di taglio diretto (TD) su campioni indisturbati;
- n. 3 prove di carico puntuale con definizione dell'indice  $I_s$  (50);
- n. 14 prove di compressione uniassiale con rilievo delle deformazioni su campioni lapidei;
- n. 13 misure della velocità sonica  $V_p$  e  $V_s$  su campioni lapidei;
- n. 3 prove di trazione indiretta "brasiliiana"

Per ulteriori dettagli relativi alle campagne di indagini si rimanda agli specifici elaborati di progetto (da Rif. [6] a Rif. [9]). I risultati delle indagini geotecniche hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce presenti in corrispondenza delle gallerie.

L'ubicazione dei sondaggi ed il modello geotecnico sono rappresentati nel profilo geotecnico (Rif. [28] e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

### 6.3 Caratterizzazione geotecnica

Sono illustrate nel seguito le caratteristiche fisiche e meccaniche, ricavate dalle prove eseguite in sito ed in laboratorio di ciascuna formazione attraversata dalle gallerie della tratta in esame. La caratterizzazione geotecnica delle singole formazioni è stata sviluppata considerando le informazioni derivanti dalla campagna di indagine geognostica dell'intera tratta Albate – Molteno – Lecco.

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

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

$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	Peso dell'unità di volume
$\gamma_d$	kN/m <sup>3</sup>	Peso dell'unità di volume secco
$\gamma_s$	kN/m <sup>3</sup>	Peso specifico
w	%	Umidità naturale
w <sub>L</sub>	%	Limite liquido
w <sub>P</sub>	%	Limite plastico
I <sub>P</sub>	%	Indice di plasticità
I <sub>C</sub>	-	Indice di consistenza
D <sub>r</sub>	-	Densità relativa
c' <sub>TD</sub>	kPa	Coesione efficace da prove di taglio diretto
$\phi'$ <sub>TD</sub>	°	Angolo di attrito efficace da prove di taglio diretto
c' <sub>TX</sub>	kPa	Coesione efficace da prove triassiali
$\phi'$ <sub>TX</sub>	°	Angolo di attrito da prove triassiali
$\phi'$ <sub>SPT</sub>	°	Angolo di attrito efficace da prove SPT
E' <sub>ed</sub>	MPa	Modulo edometrico
E'	MPa	Modulo di Young da prove edometriche
E <sub>unload</sub>	MPa	Modulo elastico di scarico da prove dilatometriche
E <sub>load</sub>	MPa	Modulo elastico di carico da prove dilatometriche
E' <sub>pr</sub>	MPa	Modulo di Young da prove pressiometriche
E' <sub>SPT</sub>	MPa	Modulo elastico da prove SPT
G <sub>0,SPT</sub>	MPa	Modulo di taglio iniziale da prove SPT
$\sigma_{ci}$	MPa	Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta
E <sub>i</sub>	GPa	Modulo elastico della matrice rocciosa
E <sub>i,MX</sub>	GPa	Modulo elastico della matrice rocciosa da prove di compressione monoassiale
E <sub>i,TXT</sub>	GPa	Modulo elastico della matrice rocciosa da prove di compressione triassiali
E <sub>i,vel</sub>	GPa	Modulo elastico della matrice rocciosa da velocità sonica
k	m/s	Coefficiente di permeabilità
RQD	%	Rock Quality Designation index
RMR	-	Rock Mass Rating system di Bieniawski
GSI	-	Geological Strength Index di Hoek e al.
Q	-	Indice di classificazione degli ammassi rocciosi di Barton



### 6.3.1 Depositi fluvioglaciali (Formazioni LCN, LCN<sub>1</sub>, LCN<sub>2</sub>, LCN<sub>3</sub>)

La formazione del Sistema Glaciale di Cantù (LCN) analizzata in questo paragrafo è costituita da depositi fluvioglaciali, glaciali e di contatto glaciale, deltizi e lacustri; principalmente composto da ghiaie grossolane sciolte o cementate massive e stratificate a supporto sia di matrice limoso-sabbiosa, sia clastica, è distinguibile nei seguenti subsistemi geologici:

- Subsistema di Fino Mornasco (LCN1);
- Subsistema di Cucciago (LCN2);
- Subsistema della Cà Morta (LCN3).



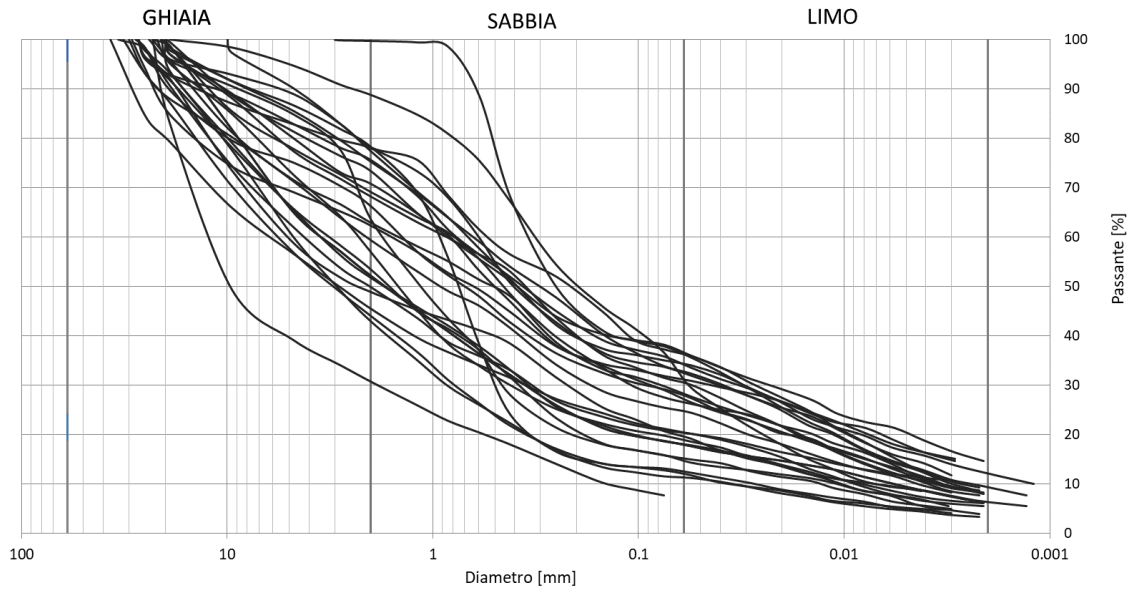
**Figura 4: Ghiaia in matrice sabbiosa-limosa poggiante sul substrato roccioso nei fori dei sondaggi (a sinistra) S6 GA (in corrispondenza della galleria Montecastello) e (a destra) S12 GA (in corrispondenza della galleria Colle del Terrò)**



**Figura 5: Intercalazione di ghiaia con limo sabbiosa e argillosa di colore grigio scuro nel foro di sondaggio S8 GA (in corrispondenza della galleria Montressone)**

Le analisi granulometriche eseguite sui 41 campioni rimaneggiati mettono in evidenza l'eterogeneità della formazione, coerente con la sua natura e origine. I campioni sono classificabili come sabbia ghiaiosa-limosa (Figura 6 AGI 1977).

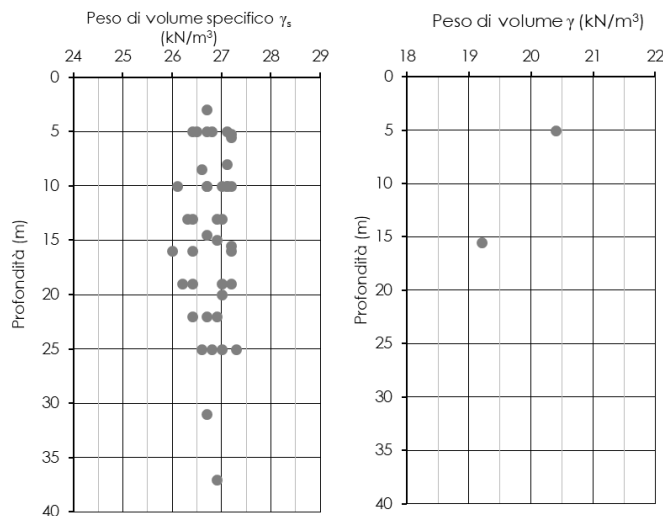




**Figura 6: Analisi granulometrica**

Sono stati analizzati 41 campioni prelevati tra 3 e 37 m di profondità. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un primo quadro delle principali grandezze fisiche e meccaniche dell'unità indagata.

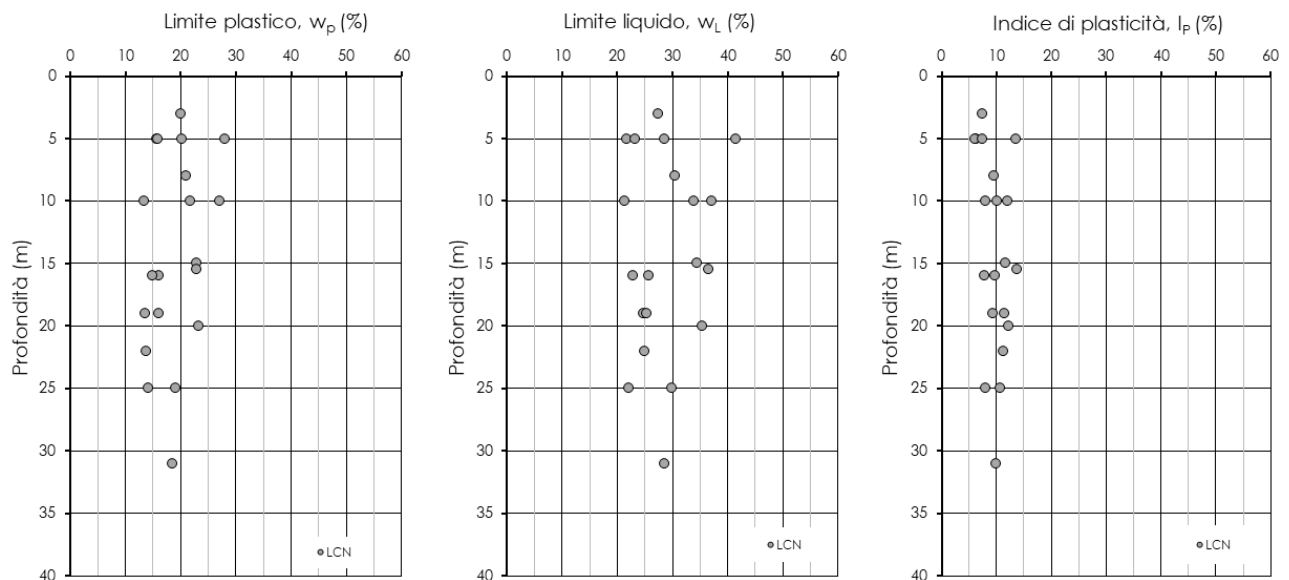
Il peso specifico dei grani risulta compreso tra 26,1 e 27,3 kN/m<sup>3</sup> (Figura 7 sinistra). Per quanto riguarda il peso specifico di volume, il range appare piuttosto limitato ed in linea con i valori di letteratura relativi ad un terreno con queste caratteristiche (Figura 7 destra).



**Figura 7: Peso specifico  $\gamma_s$  (sinistra); Peso di volume  $\gamma$  (destra)**

I limiti di Atterberg, valutati sulla frazione fine dei campioni, sono compresi negli intervalli di seguito riportati (Figura 8):

- Limite plastico,  $w_p$ : 13% ÷ 28%;
- Limite liquido,  $w_L$ : 21% ÷ 41%;
- Indice di Plasticità,  $I_p$ : 6% ÷ 14%.



**Figura 8. Limiti di Atterberg e indice di plasticità**

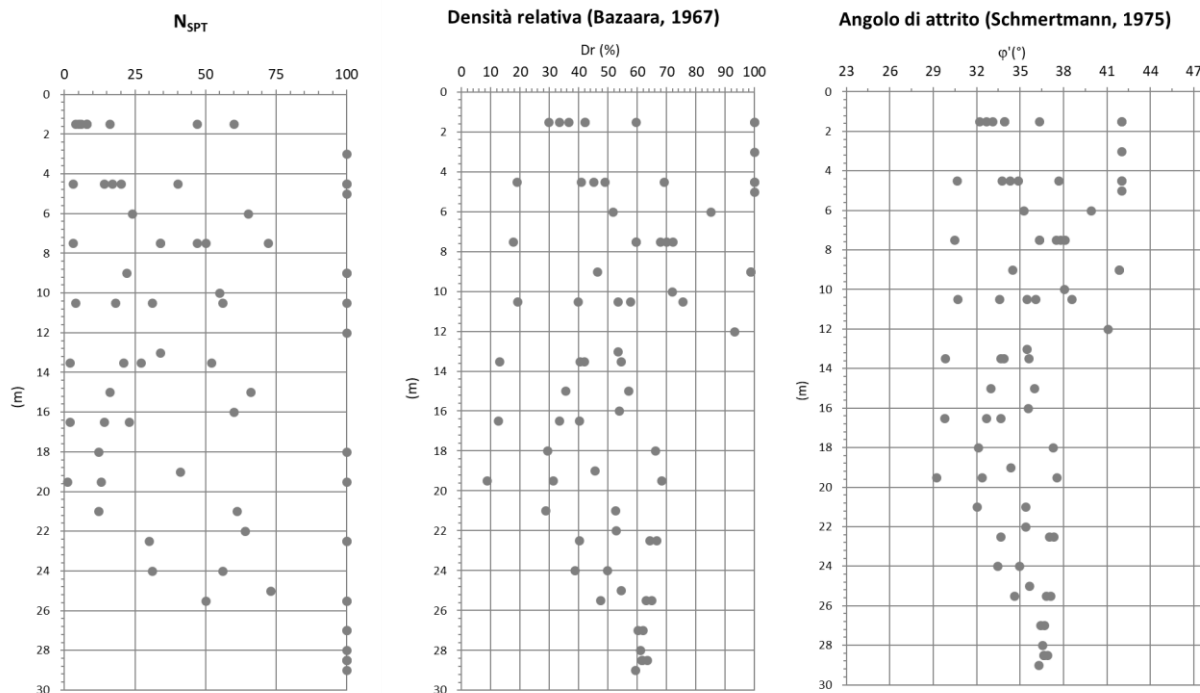
Si riportano, nella tabella di seguito, i valori numerici delle caratteristiche fisiche della formazione in esame, relativi ai vari campioni prelevati.

**Tabella 3. Caratteristiche fisiche h**

Sondaggio	Campione	Prof. da p.c.	$\gamma_s$	$\gamma$	$w_L$	$w_p$	$I_p$
(-)	(-)	(m)	( $\text{kN/m}^3$ )	( $\text{kN/m}^3$ )	(%)	(%)	(%)
S2 GA	CR1	5	27.20				
S2 GA	CR2	10	27.10				
S2 GA	CR3	13	27.00				
S5 GA	CR2	10	27.20				
S5 GA	CR4	20	27.00		35	23	12.2
S6 GA	CR1	5	26.40		29	20	6.3
S6 GA	CR2	10	26.10		37	27	10.1
S8 GA	CR1	5	27.10		22	16	6.20
S8 GA	CR2	10	26.70				
S8 GA	CR3	13	26.40				

S8 GA	CR4	16	26.00		26	16	9.70
S8 GA	CR5	19	27.00				
S8 GA	CR6	22	26.40				
S8 GA	CR7	25	26.60				
S9 GA	CR1	3	26.70		28	20	7.40
S9 GA	CR2	8	27.10		31	21	9.50
S9 GA	CR3	14.5	26.7				
S12 GA	CR1	5	26.5		41.5	28	13.5
S12 GA	CR2	10	27		33.8	22	12
S12 GA	CR3	15.0	26.9		34.5	23	11.7
S12 GA	CR5	25	27		29.8	19	10.7
S12 GA	CR7	31	26.7		28.6	19	10
S12 GA	CR9	37	26.9				
S15 GA	CR1	5	26.8	20.4	23.3	16	7.5
S15 GA	CR2	10	27.1				
S15 GA	CR3	13	26.3				
S15 GA	CR4	16	27.2				
S15 GA	CR5	19	27.2		24.7	14	11.5
S15 GA	CR6	22	26.7		25	14	11.2
S15 GA	CR7	25	26.8		22.1	14	8
S23 GA	CR1	5.5	27.2				
S23 GA	CR2	8.5	26.6				
S23 GA	CR3	15.5	27.2	19.2	36.6	23	13.8
S23 GA	CR4	19	26.2				
S29 GA	CR1	5	26.7				
S29 GA	CR2	10	26.7		21.4	13.3	8.1
S29 GA	CR3	13	26.9				
S29 GA	CR4	16	26.4		22.8	15	7.8
S29 GA	CR5	19	26.4		25.4	16	9.4
S29 GA	CR6	22	26.9				
S29 GA	CR7	25	27.3				

Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati principalmente elaborati i risultati di 86 prove penetrometriche dinamiche SPT in accordo con le relazioni empiriche dei terreni granulari (§11). In Figura 9 si riporta l'andamento, in funzione della profondità, del numero di colpi  $N_{SPT}$ , della densità relativa  $D_r$  e dell'angolo di attrito efficace  $\phi'$ , definito utilizzando le correlazioni empiriche riportate al §11.



**Figura 9. N<sub>SPT</sub>, densità relativa e angolo di attrito da prove SPT (LCN)**

L'elaborazione dei risultati delle prove in situ definisce un angolo di attrito compreso tra 29° e 38°. I valori di angolo di attrito superiori a 40° si riferiscono ai livelli in corrispondenza dei quali la prova è andata a “rifiuto”. La densità relativa risulta compresa tra 0,13 e 0,85.

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove relative ad ogni verticale di indagine (**Tabella 4**). Quando la prova SPT è andata a “rifiuto” è stato attribuito un valore pari a cento colpi.

**Tabella 4. Numero di colpi N<sub>SPT</sub>, valori Densità relativa e angolo di attrito**

Sondaggio	z (m)	N <sub>SPT</sub> (-)	Dr (%)	φ' <sub>p</sub> (°)
(-)	(m)	(-)	(%)	(°)
S2 GA	1.5	8	42	33.9
S2 GA	4.5	100	100	42.0
S2 GA	7.5	34	59	36.3
S2 GA	10.5	56	58	36.1
S2 GA	13.5	52	54	35.6
S5 GA	1.5	60	100	42.0
S5 GA	5	100	100	42.0
S5 GA	9	100	99	41.8
S6 GA	1.5	16	60	36.3
S6 GA	4.5	17	45	34.3

**RELAZIONE TECNICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LC00	01 R 07	RH	GN0000 001	A	21 di 70

S6 GA	7.5	72	68	37.5
S6 GA	10.5	100	75	38.6
S8 GA	1.5	47	100	42.0
S8 GA	4.5	100	100	42.0
S8 GA	6	65	85	39.9
S8 GA	9	100	99	41.8
S8 GA	12	100	93	41.0
S8 GA	15	66	57	36.0
S8 GA	18	100	66	37.3
S8 GA	21	61	53	35.4
S8 GA	24	56	50	35.0
S8 GA	27	100	62	36.7
S9 GA	1.5	8	42	33.9
S9 GA	4.5	40	69	37.7
S9 GA	7.5	47	70	37.8
S9 GA	10.5	31	53	35.5
S9 GA	13.5	27	42	33.9
S9 GA	16.5	14	33	32.7
S9 GA	19.5	13	31	32.4
S9 GA	22.5	100	64	37.0
S9 GA	25.5	100	63	36.8
S9 GA	28.5	100	61	36.6
S12 GA	1.5	9	45	34.3
S12 GA	4.5	14	41	33.7
S12 GA	7.5	100	100	42.0
S12 GA	10.5	27	50	35.0
S12 GA	13.5	53	66	37.3
S12 GA	16.5	57	65	37.1
S12 GA	19.5	63	66	37.2
S12 GA	22.5	57	60	36.4
S12 GA	25.5	100	76	38.7
S12 GA	28.5	68	61	36.5
S12 GA	31.5	33	41	33.7
S12 GA	34.5	39	43	34.0
S12 GA	37.5	38	35	32.9
S12 GA	40.5	35	33	32.7
S12 GA	43.5	27	30	32.2
S14 GA	1.5	4	30	32.2

**RELAZIONE TECNICA**

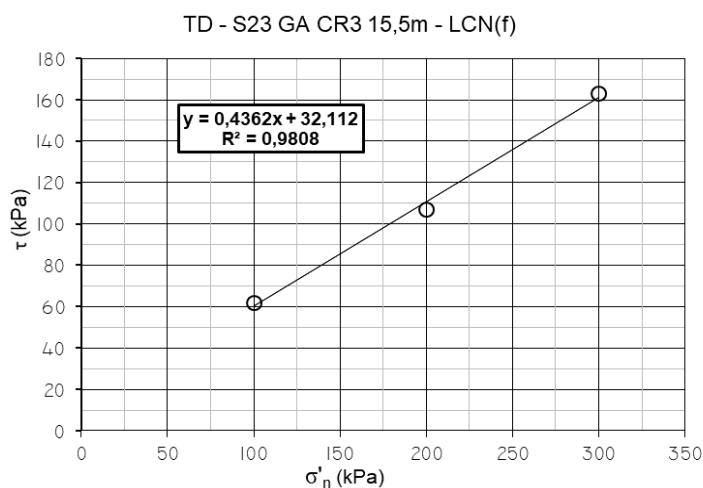
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LC00	01 R 07	RH	GN0000 001	A	22 di 70

S14 GA	4.5	20	49	34.8
S14 GA	7.5	50	72	38.1
S14 GA	10	55	72	38.0
S14 GA	13	34	53	35.5
S14 GA	16	60	54	35.5
S14 GA	19	41	45	34.4
S14 GA	22	64	53	35.4
S14 GA	25	73	54	35.6
S14 GA	28	100	61	36.5
S15 GA	1.5	6	36	33.1
S15 GA	4.5	14	41	33.7
S15 GA	7.5	34	59	36.3
S15 GA	10.5	18	40	33.6
S15 GA	13.5	21	40	33.6
S15 GA	16.5	23	40	33.6
S15 GA	19.5	100	68	37.5
S15 GA	22.5	100	66	37.3
S15 GA	25.5	100	65	37.1
S15 GA	28.5	100	63	36.9
S23 GA	3	100	100	42.0
S23 GA	6	24	52	35.2
S23 GA	9	22	46	34.5
S23 GA	15	16	35	33.0
S23 GA	18	12	29	32.1
S23 GA	21	12	29	32.0
S23 GA	24	31	39	33.4
S23 GA	27	100	60	36.4
S23 GA	29	100	59	36.3
S29 GA	1.5	5	33	32.7
S29 GA	4.5	3	19	30.6
S29 GA	7.5	3	18	30.5
S29 GA	10.5	4	19	30.7
S29 GA	13.5	2	13	29.8
S29 GA	16.5	2	13	29.8
S29 GA	19.5	1	9	29.2
S29 GA	22.5	30	40	33.6
S29 GA	25.5	50	47	34.6
S29 GA	28.5	100	62	36.6

Ad integrazione dei dati sopra riportati, si evidenziano anche le informazioni derivanti dall'unica prova di taglio diretta eseguita su uno dei campioni analizzati. L'involuppo di resistenza di tale prova di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb mostra valori dei parametri di resistenza con coesione  $c'$  pari a circa 10 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  pari a circa  $27^\circ$ . La profondità di prelievo del campione relativo è di 15,5 metri.

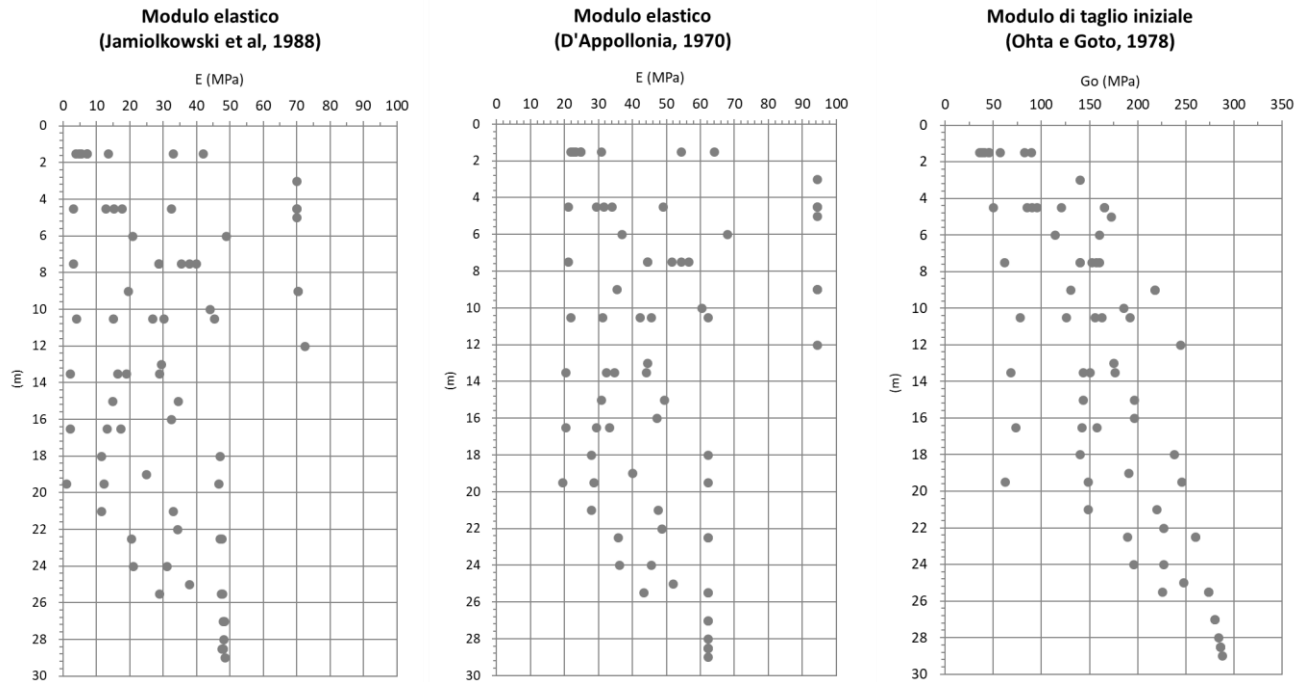
**Tabella 5: Regressione lineare Pressione verticale-Tensione a rottura**

Sondaggio e Campione	Prof. campione	$\sigma'_n$	t	Pend.	Interc.	$c'$	$\phi'$
(-)	(m da p.c.)	(kPa)	(kPa)			(kPa)	( $^\circ$ )
S23 GA CR3	15.5	100	62	0.505	9.667	9.7	26.8
		200	107				
		300	163				



**Figura 10 - Involuppo di resistenza della prova di taglio diretto (TD)**

Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche di deformabilità, la Figura 11 mostra gli andamenti con la profondità del modulo elastico  $E'$  e del modulo di taglio iniziale  $G_0$  ottenuti tramite correlazione dalle prove SPT. I valori di  $E'$  variano nell'intervallo tra 8 a 68 MPa mentre quelli di  $G_0$  tra 36 a 288 MPa.



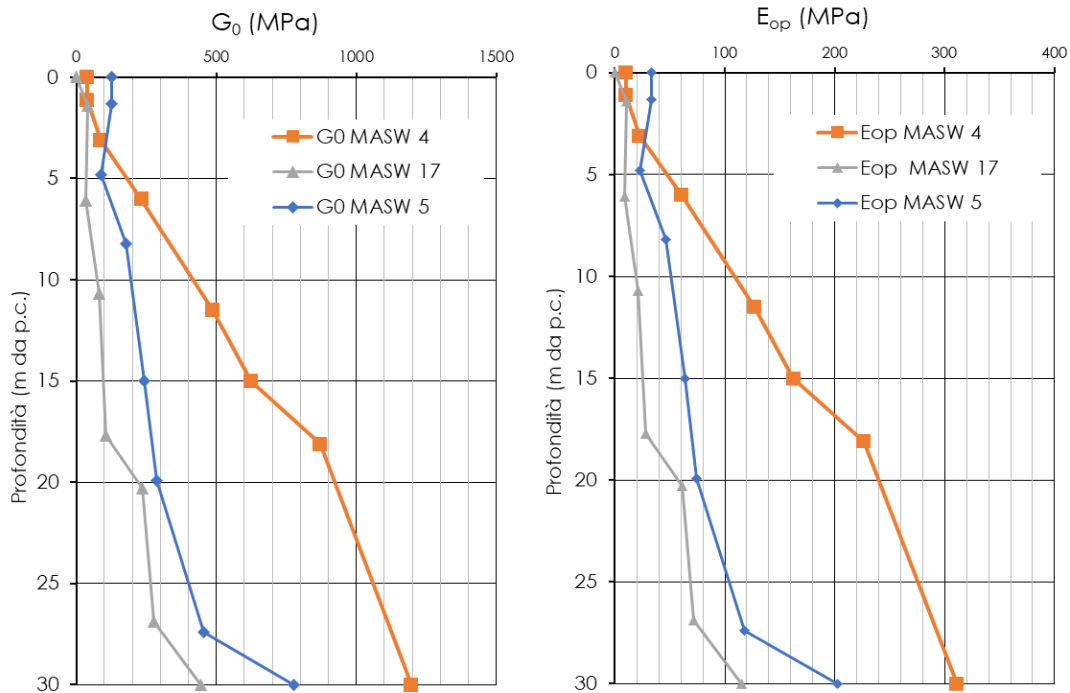
**Figura 11. Modulo elastico  $E'$  e modulo di taglio  $G_0$  da prove SPT**

Le informazioni appena riportate, sono state integrate con le risultanze derivanti dalle indagini geofisiche eseguite. A questo proposito, per la formazione in esame sono state prese in considerazione i seguenti stendimenti sismici:

- MASW 4;
- MASW 5;
- MASW 17.

Le cui risultanze, in termini di modulo di rigidità operativo, sono riportate di seguito.



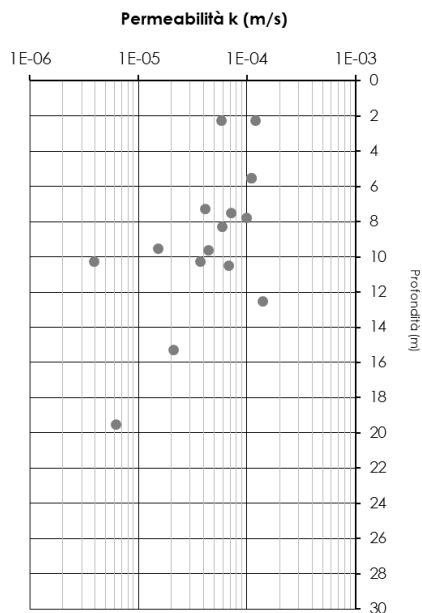


**Figura 12: Formazione LCN - Moduli di rigidità iniziali e modulo operativo da prove geofisiche**

I risultati ottenuti mostrano un incremento della rigidezza con la profondità. Inoltre, i valori più elevati sono da attribuire allo stendimento MASW 4 eseguito in corrispondenza del sondaggio S5 GA. Gli altri due stendimenti sono stati effettuati in corrispondenza dei sondaggi S8 GA ed S29 GA.

Il range di valori individuato dalle prove MASW risulta maggiore di quello individuato dalle prove SPT. Inoltre, nel sondaggio S5 GA, dalla profondità di circa 20 metri in poi, si incontra il substrato di rocce sedimentarie la cui caratterizzazione è oggetto dei successivi paragrafi. Pertanto, il valore misurato al di sotto di tale profondità è escluso dalla caratterizzazione.

Sono state eseguite un totale di 16 prove di permeabilità in foro di tipo Lefranc a profondità variabili tra 3 e 20 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  ottenuto è dell'ordine di  $10^{-5}$  -  $10^{-4}$  m/s.



**Figura 13. 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	S2 GA	9.5	1.50E-05
Lefranc	S5 GA	19.5	6.20E-06
Lefranc	S8 GA	7.3	4.10E-05
Lefranc	S8 GA	10.3	3.70E-05
Lefranc	S9 GA	2.3	5.80E-05
Lefranc	S9 GA	7.5	7.10E-05
Lefranc	S14 GA	7.8	9.80E-05
Lefranc	S14 GA	12.5	1.40E-04
Lefranc	S15 GA	5.5	1.10E-04
Lefranc	S15 GA	9.6	4.40E-05
Lefranc	S23 GA	2.3	1.20E-04
Lefranc	S23 GA	8.3	5.90E-05
Lefranc	S25 GA	5.5	1.10E-04
Lefranc	S25 GA	10.5	6.80E-05
Lefranc	S29 GA	10.3	3.90E-06
Lefranc	S29 GA	15.3	2.10E-05

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 in oggetto. 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 formazione Depositi fluvoglaciali (LCN, LCN<sub>1</sub>, LCN<sub>2</sub>, LCN<sub>3</sub>)**

	Min	Max	
$\gamma$	19	21	(kN/m <sup>3</sup> )
<b>w<sub>L</sub></b>	21	41	(%)
<b>w<sub>P</sub></b>	13	28	(%)
<b>I<sub>P</sub></b>	6	14	(%)
<b>D<sub>r</sub></b>	0,13	0.85	(-)
<b>c'<sub>TD</sub></b>	10		(kPa)
<b>φ'<sub>TD</sub></b>	27		(°)
<b>φ'<sub>SPT</sub></b>	29	38	(°)
<b>E'<sub>SPT</sub></b>	8	68	(MPa)
<b>G<sub>0,SPT</sub></b>	36	288	(MPa)
<b>G<sub>0,geof</sub></b>	37	870	(MPa)
<b>E'<sub>geof</sub></b>	10	230	(MPa)
<b>k</b>	1.1E-04	6,2E-06	(m/s)

### 6.3.2 Sintema di Cascina Fontana (Formazione BOF)

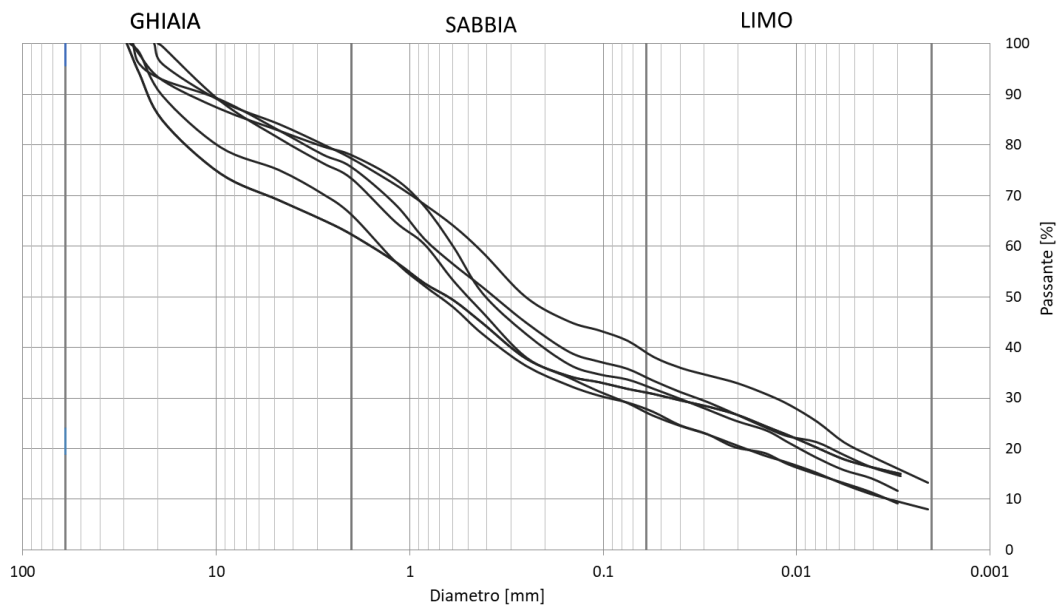
Questa formazione è composta da ghiaie massive grossolanamente stratificate a supporto di matrice costituita da limi sabbiosi con argilla, sabbie limose con argilla, sabbie medio-grossolane, sabbie grossolane con argille, sabbie. Solo raramente a supporto clastico i quali hanno dimensioni in genere di 3-4 centimetri.



**Figura 14: Formazione BOF - Immagine cassetta da Sondaggio S12 GA**

Questa formazione è stata intercettata dal sondaggio S12 GA eseguito in corrispondenza della galleria “Colle del Terrò”. Per l’analisi della formazione sono stati considerati 6 campioni prelevati tra 5 e 37 metri di profondità.

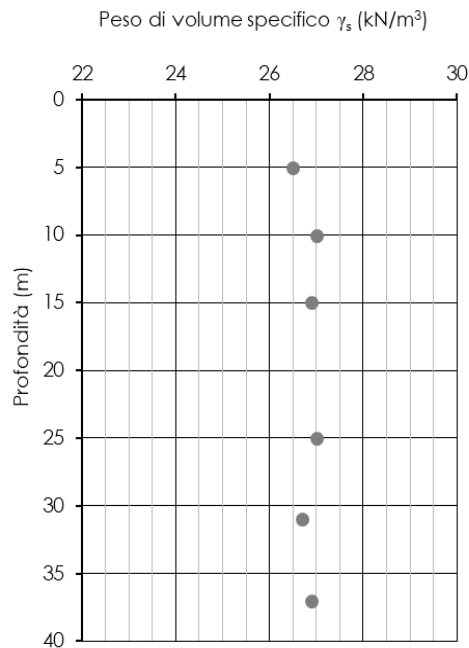
Le analisi granulometriche eseguite sui 6 campionamenti consentono di classificare il materiale come ghiaia con sabbia-limosa (Figura 15, AGI 1977).



**Figura 15: Analisi granulometrica**

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 BOF indagata.

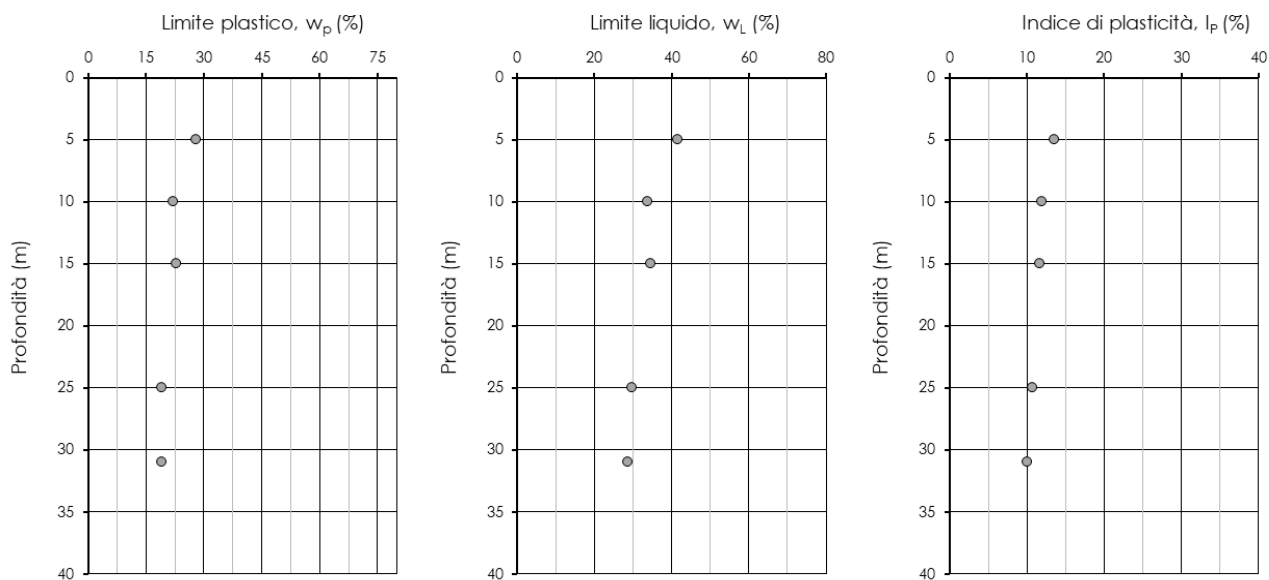
Come è possibile osservare nella figura seguente (Figura 16), il peso specifico dei granuli risulta compreso tra 26 e 27 kN/m<sup>3</sup>.



**Figura 16: Formazione BOF - Peso specifico**

I limiti di Atterberg, valutati sulla frazione fine dei campioni, sono compresi negli intervalli di seguito riportati (Figura 17).

- Limite plastico,  $w_p$ : 19% ÷ 28%;
- Limite liquido,  $w_L$ : 29% ÷ 42%;
- Indice di Plasticità,  $I_p$ : 10% ÷ 14%.



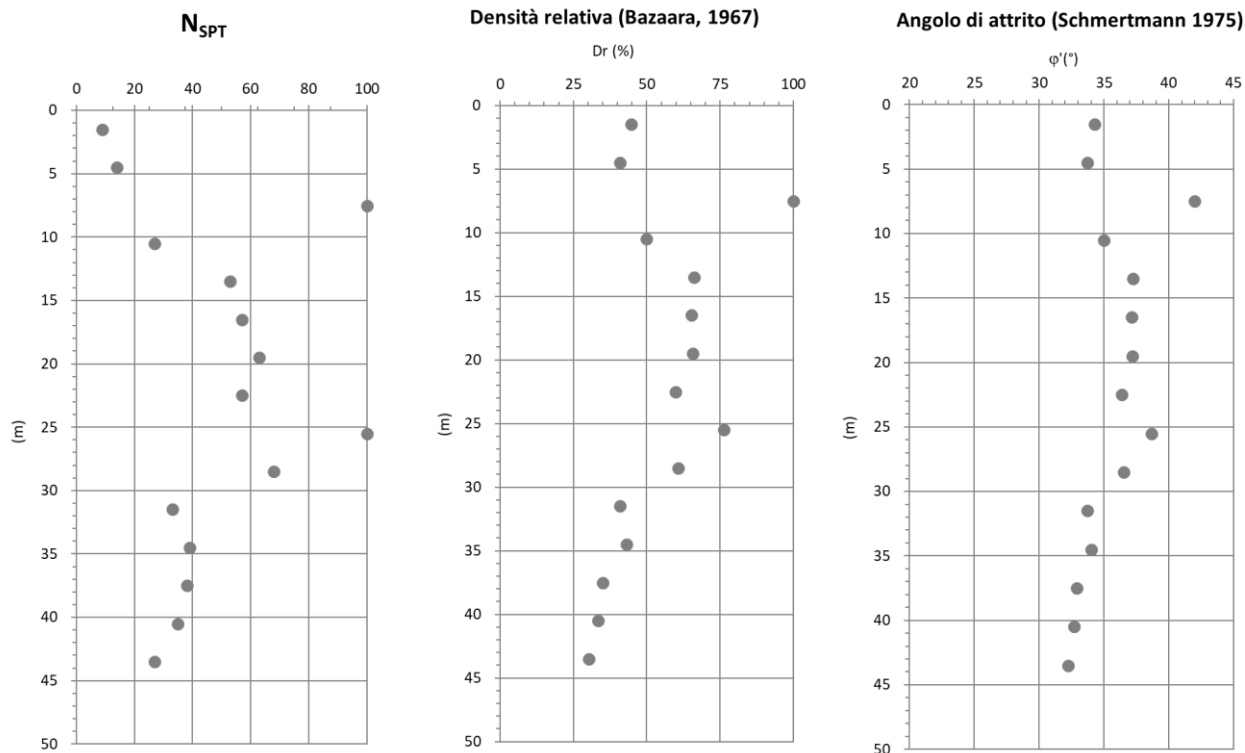
**Figura 17: Formazione BOF - Limite plastico, liquido e indice di plasticità**

Si riportano, nella tabella di seguito, i valori numerici delle caratteristiche fisiche della formazione in esame, relativi ai vari campioni prelevati.

**Tabella 8: Formazione BOF – Caratteristiche fisiche**

Sondaggio	Campione	Prof. da p.c.	$\gamma_s$	$w_L$	$w_P$	$I_P$
(-)	(-)	(m)	( $\text{kN/m}^3$ )	(%)	(%)	(%)
S12 GA	CR1	5	26.5	41.5	28	13.5
S12 GA	CR2	10	27	33.8	22	12
S12 GA	CR3	15.0	26.9	34.5	23	11.7
S12 GA	CR5	25	27	29.8	19	10.7
S12 GA	CR7	31	26.7	28.6	19	10
S12 GA	CR9	37	26.9	-	-	-

Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati principalmente elaborati i risultati di 15 prove penetrometriche dinamiche SPT in accordo con le relazioni empiriche dei terreni granulari (§11). 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  $\phi'$ , definito utilizzando le correlazioni empiriche riportate al §11.



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

L'elaborazione dei risultati delle prove in situ per la formazione in esame definisce un angolo di attrito compreso tra  $32^\circ$  e  $37^\circ$ . Il valore di angolo di attrito superiore a  $40^\circ$  si riferisce al livello in corrispondenza del qual la prova è andata a "rifiuto".

Per quanto riguarda il valore della densità relativa, le correlazioni forniscono un range compreso tra 0.35 e 0.65.

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove relative ad ogni verticale di indagine (Tabella 9). Quando la prova SPT ha dato come risultato "rifiuto" è stato attribuito un valore pari a cento colpi.

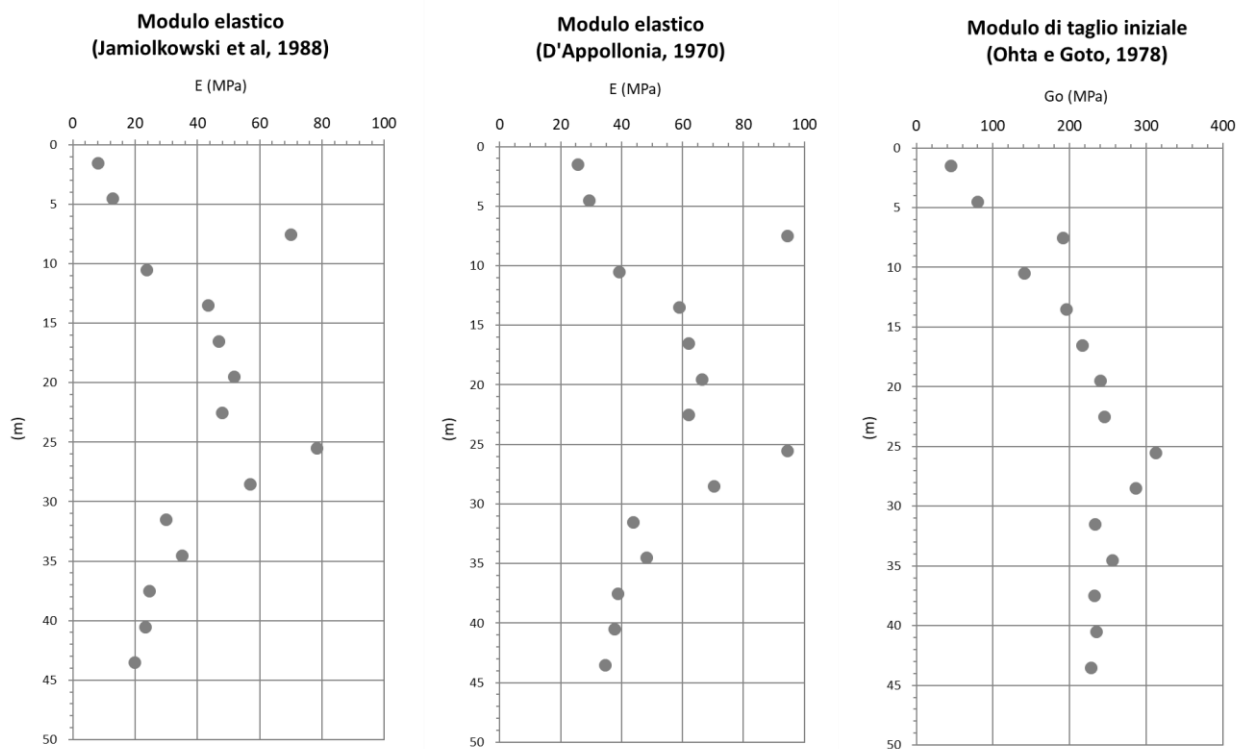
**Tabella 9: Formazione BOF - Numero di colpi  $N_{SPT}$  e valori Densità relativa e angolo di attrito secondo la correlazione proposta da Schmertmann (1975)**

Sondaggio	z (m)	$N_{SPT}$	Dr (%)	$\varphi'$ (°)
S12 GA	1.5	9	45	34.3
S12 GA	4.5	14	41	33.7
S12 GA	7.5	100	100	42.0
S12 GA	10.5	27	50	35.0
S12 GA	13.5	53	66	37.3
S12 GA	16.5	57	65	37.1
S12 GA	19.5	63	66	37.2
S12 GA	22.5	57	60	36.4
S12 GA	25.5	100	76	38.7
S12 GA	28.5	68	61	36.5
S12 GA	31.5	33	41	33.7
S12 GA	34.5	39	43	34.0
S12 GA	37.5	38	35	32.9
S12 GA	40.5	35	33	32.7
S12 GA	43.5	27	30	32.2

Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche di deformabilità, sono stati elaborati i risultati derivanti dalle prove SPT e dalla prova geofisica di tipo MASW. La Figura 19 mostra gli andamenti con la profondità del modulo elastico  $E'$  e del modulo di taglio iniziale  $G_0$  ottenuti tramite correlazione dalle prove SPT. I relativi valori rientrano nei seguenti range:

- Per quanto riguarda il Modulo elastico: 8 – 70 MPa;
- Per quanto riguarda il Modulo di taglio iniziale: 44-286 MPa.

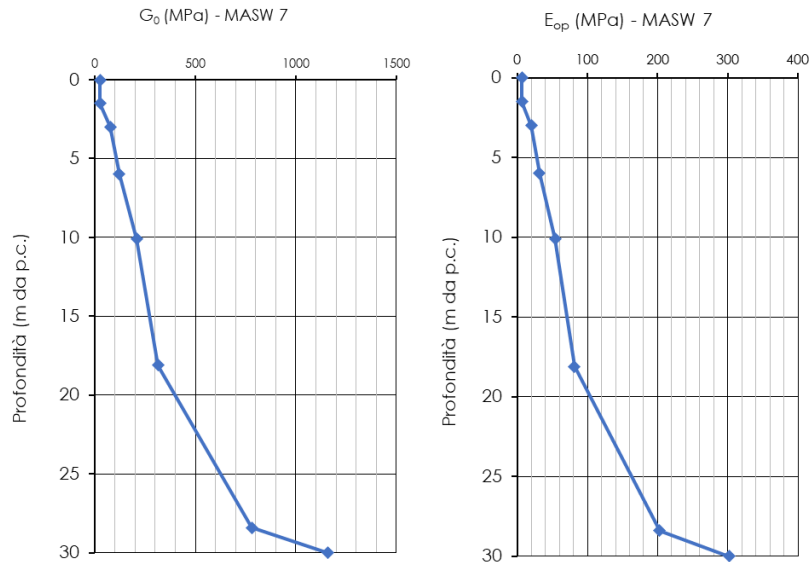




**Figura 19: Formazione BOF – Caratteristiche di deformabilità ricavate dalle prove SPT.**

Le informazioni appena riportate, sono state integrate con le risultanze derivanti dalle indagini geofisiche eseguite. A questo proposito, per la formazione in esame sono state prese in considerazione i seguenti stendimenti sismici:

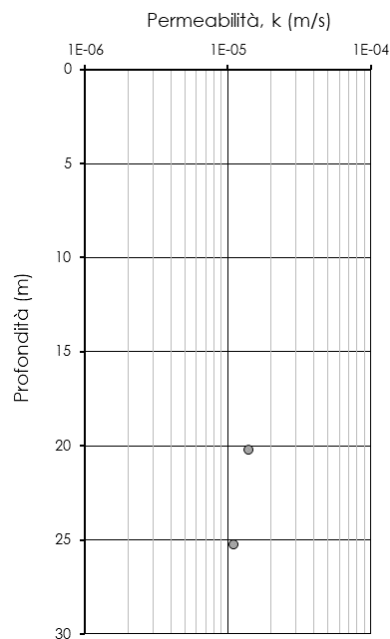
- MASW 7



**Figura 20: Formazione BOF – Grafico andamento Modulo Elastico operativo e Modulo di taglio iniziale ricavati dallo stendimento MASW eseguito in corrispondenza del sondaggio S12 GA**

I risultati ottenuti mostrano un incremento della rigidità con la profondità. Il range di valori individuato dalle prove MASW risulta maggiore di quello individuato dalle prove SPT.

Sono state eseguite un totale di 2 prove di permeabilità di tipo Lefranc nel foro di sondaggio a profondità variabili tra 3 e 20 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  ottenuto è dell'ordine di  $10^{-5}$  m/s.



**Figura 21: Valori di permeabilità di permeabilità k da prove Lefranc**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove Lefranc effettuate (Tabella 10).

**Tabella 10: Prove di permeabilità**


Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	S12 GA	20.3	1.4E-05
Lefranc	S12 GA	25.3	1.1E-05

### 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 in oggetto. La Tabella 11 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro; si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 11. Sintesi parametri geotecnici formazione BOF**

	Min	Max	
$\gamma$	-	-	(kN/m <sup>3</sup> )
w <sub>L</sub>	29	42	(%)
w <sub>P</sub>	19	28	(%)
I <sub>P</sub>	10	14	(%)
D <sub>r</sub>	0,35	0,65	(-)
$\phi'$ <sub>SPT</sub>	32	37	(°)
E' <sub>SPT</sub>	15	70	(MPa)
G <sub>0,SPT</sub>	80	286	(MPa)
G <sub>0,geof</sub>	26	1161	(MPa)
E' <sub>geof</sub>	7	302	(MPa)
k	1,1E-05	1,4E-05	(m/s)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>

### 6.3.3 Unità litostratigrafica Peliti di Prestino (RSI)

Questa formazione è costituita da marne argillose e argille marnoso-siltose di colore grigio-verde con intercalazioni di areniti (fini) in strati da fini a medi. Queste intercalazioni risultano più frequenti nella porzione inferiore. La stratificazione è generalmente sottile, e spesso vi sono intervalli amalgamati dove la stratificazione è mal distinguibile.

L'unità stratigrafica in esame è stata riscontrata nei seguenti sondaggi:

- S2 GA in corrispondenza della galleria Tercallo;
- S5 GA e S6 GA in corrispondenza della galleria Montecastello.

In entrambi i casi il substrato risulta ricoperto da depositi fluvoglaciali appartenenti alla formazione LCN la cui caratterizzazione è contenuta nei paragrafi precedenti.

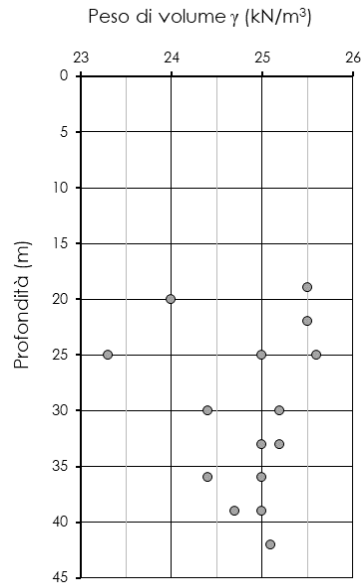


**Figura 22: Formazione Peliti di Prestino (RSI) sondaggio S2 GA (sopra) e Sondaggi S5 e S6 GA (sotto)**

#### Caratterizzazione della roccia intatta

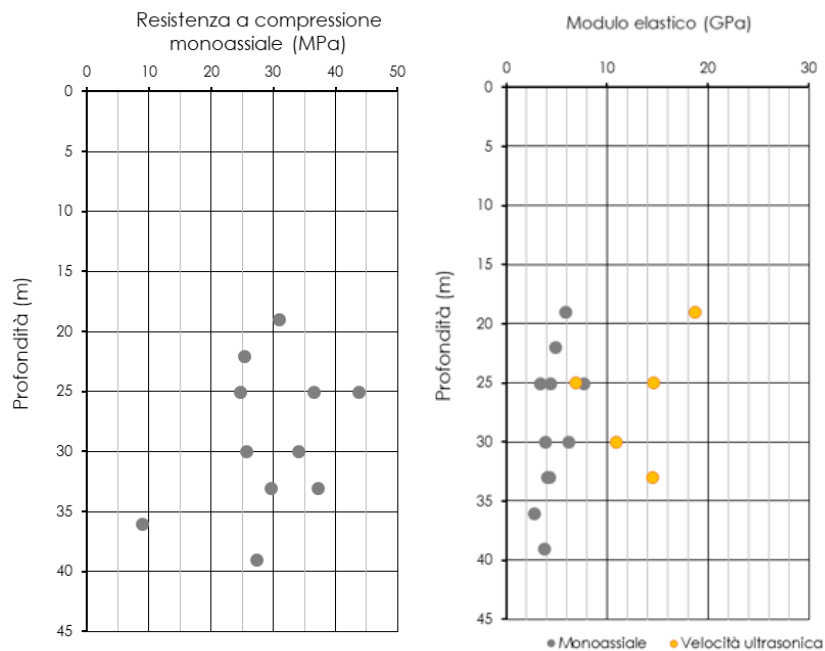
Al fine di valutare le caratteristiche fisiche e meccaniche della roccia intatta, 16 campioni lapidei sono stati prelevati tra 15 e 42 m di profondità da p.c. e sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume ottenuto varia tra 23,3 e 25,6 kN/m<sup>3</sup> (Figura 23).



**Figura 23: Peso dell'unità di volume  $\gamma$**

Sono state eseguite 11 prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni e 5 misure di velocità sonica (Figura 24).



**Figura 24: Resistenza a compressione monoassiale e modulo elastico della matrice rocciosa**

I valori ottenuti sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

- Resistenza a compressione della roccia intatta  $\sigma_{ci}$ :  $9 \div 44$  MPa;
- Modulo elastico della roccia intatta  $E_i$ :  $2,7 \div 18,7$  GPa.

In Tabella 12 si riportano i risultati delle prove realizzate.

**Tabella 12: Prove di resistenza a compressione monoassiale e misure da velocità sonica**

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\sigma_{ci}$	$E_{i,mon}$	$E_{i,vel}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(MPa)	(GPa)	(GPa)
S2 GA	CR5	19	25.50	30.96	5.862	18.725
S2 GA	CR6	22	25.50	25.3	4.888	
S2 GA	CR7	25	25.6	43.7	7.627	14.573
S5 GA	CR5	25	25.0	36.5	4.315	
S5 GA	CR6	30	25.2	25.7	3.857	
S5 GA	CR7	33	25.2	37.2	4.272	
S5 GA	CR8	36	25.0	8.9	2.741	
S5 GA	CR9	39	24.7	27.23	3.75	
S6 GA	CR3	15	19.4			
S6 GA	CR4	20	24.0			
S6 GA	CR5	25	23.3	24.6	3.343	6.894
S6 GA	CR6	30	24.40	34.0	6.19	10.893
S6 GA	CR7	33	25.00	29.6	4.075	14.494
S6 GA	CR8	36	24.40			
S6 GA	CR9	39	25.00			
S6 GA	CR10	42	25.10	30.96	5.862	18.725

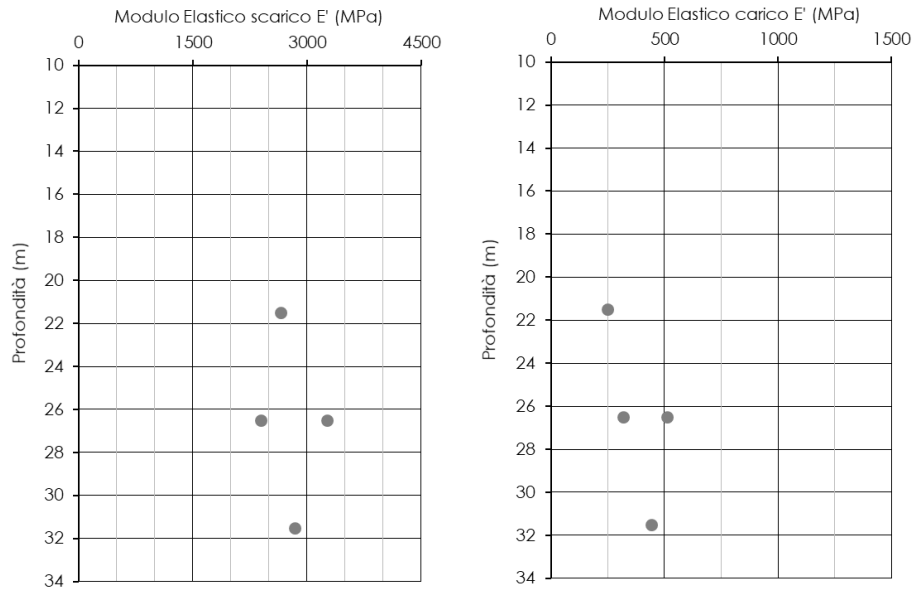
#### Caratterizzazione dell'ammasso roccioso e delle discontinuità

Al fine di valutare le caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso sono stati considerati i risultati delle prove eseguite in foro e dei rilievi geomeccanici eseguiti da cassetta durante la campagna di indagine di cui al §6.2.

##### ○ Prove in sito

Per determinare le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso sono stati elaborati i risultati di quattro prove dilatometriche. La loro interpretazione è stata condotta determinando i moduli di deformabilità relativi, rispettivamente, al terzo ciclo di scarico ed al primo ciclo di carico. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo  $2,4 \div 3,3$  GPa mentre quello di carico nell'intervallo  $0,25 \div 0,51$  GPa.

La Figura 25 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità con la profondità:



**Figura 25: Moduli di deformabilità da prove dilatometriche**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove dilatometriche relative al sondaggio (Tabella 13).

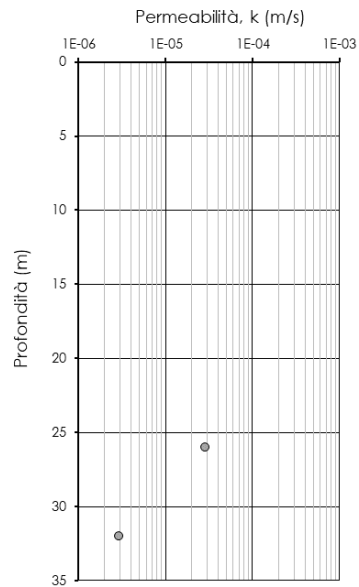
**Tabella 13: Prove dilatometriche**

sondaggio	profondità da p.c.	E unload	E load
(-)	(m)	(GPa)	(GPa)
S5 GA	21.5	2.66	0.25
S5 GA	26.5	2.39	0.32
S6 GA	26.5	3.26	0.51
S6 GA	31.5	2.84	0.44

Sono state eseguite un totale di 2 prove di permeabilità di tipo Lugeon a profondità variabili tra 26,0 e 32,0 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  varia tra  $10^{-6}$  m/s e  $10^{-5}$  m/s (Figura 26).

**Tabella 14: Prove di permeabilità**

Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lugeon	S2 GA	32.0	2.9E-06
Lugeon	S6 GA	26.0	2.9E-05

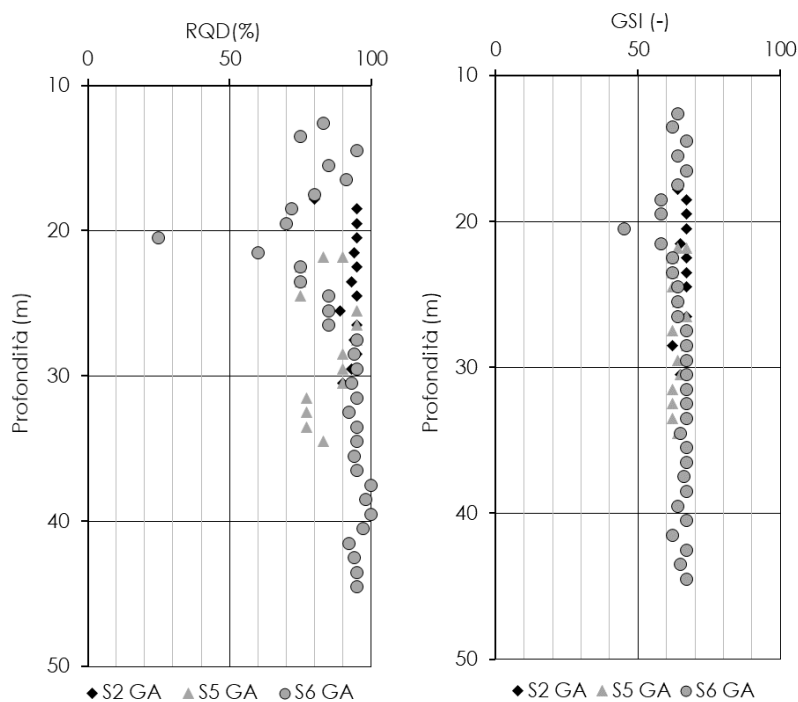


**Figura 26: Coefficiente di permeabilità k da prove Lugeon**

○ Rilievi geomeccanici da cassetta

I risultati della campagna di indagini sono stati elaborati valutando l'indice GSI a partire dall'RQD secondo la formulazione di Truzman e al. (2011). La Figura 27 mostra l'andamento con la profondità dell'indice di qualità e dell'RQD; per ulteriori dettagli in merito si rimanda all'elaborato specifico di progetto (Rif. [6]).





**Figura 27: RQD e GSI per i sondaggi S5 GA, S6 GA e S2 GA**

Di seguito la Tabella 15 riassuntiva con i valori.

**Tabella 15: Valori di RQD e GSI**

Sondaggio	Profondità da p.c.	RQD	GSI
(-)	(m)	(%)	(-)
S2 GA	17.8	80	64
S2 GA	18.5	95	67
S2 GA	19.5	95	67
S2 GA	20.5	95	67
S2 GA	21.5	94	65
S2 GA	22.5	95	67
S2 GA	23.5	93	67
S2 GA	24.5	95	67
S2 GA	25.5	89	64
S2 GA	26.5	95	67
S2 GA	27.5	94	67
S2 GA	28.5	95	62
S2 GA	29.5	93	67
S2 GA	30.5	90	65
S5 GA	21.8	90	67
S5 GA	22.5	75	62
S5 GA	23.5	75	62

S5 GA	24.5	75	62
S5 GA	25.5	95	64
S5 GA	26.5	95	67
S5 GA	27.5	95	62
S5 GA	28.5	90	67
S5 GA	29.5	90	64
S5 GA	30.5	90	65
S5 GA	31.5	77	62
S5 GA	32.5	77	62
S5 GA	33.5	77	62
S5 GA	34.5	83	64
S5 GA	21.8	83	64
S6 GA	12.6	83	64
S6 GA	13.5	75	62
S6 GA	14.5	95	67
S6 GA	15.5	85	64
S6 GA	16.5	91	67
S6 GA	17.5	80	64
S6 GA	18.5	72	58
S6 GA	19.5	70	58
S6 GA	20.5	25	45
S6 GA	21.5	60	58
S6 GA	22.5	75	62
S6 GA	23.5	75	62
S6 GA	24.5	85	64
S6 GA	25.5	85	64
S6 GA	26.5	85	64
S6 GA	27.5	95	67
S6 GA	28.5	94	67
S6 GA	29.5	95	67
S6 GA	30.5	93	67
S6 GA	31.5	95	67
S6 GA	32.5	92	67
S6 GA	33.5	95	67
S6 GA	34.5	95	65
S6 GA	35.5	94	67
S6 GA	36.5	95	67
S6 GA	37.5	100	66
S6 GA	38.5	98	67
S6 GA	39.5	100	64
S6 GA	40.5	97	67
S6 GA	41.5	92	62
S6 GA	42.5	94	67
S6 GA	43.5	95	65
S6 GA	44.5	95	67

Le indicazioni in merito a spaziatura, profili di rugosità, densità e persistenze delle giaciture sono state definite sulla base dell'analisi delle stratigrafie (Rif. [6]) e sulla base delle indicazioni presenti in letteratura. Gli indici derivanti rispettivamente dalle classificazioni geomeccaniche di Bieniawski, Hoek e Barton (Rif. [24], Rif. [25] e Rif. [26]) 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 GSI compreso tra 45 e 67 e da un indice di Bieniawski RMR di base compreso tra 40 e 62. La qualità dell'ammasso risulta buona. La resistenza a compressione della roccia intatta è stata determinata sulla base delle prove di compressione monoassiale di cui nella Tabella 12. Tale valore è contenuto nell'intervallo 25 – 45 MPa.

#### 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 RSI. La Tabella 16 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro. Si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 16: Sintesi parametri geotecnici RSI**

	Min	Max	
$\gamma$	23,3	25,6	( <i>kN/m<sup>3</sup></i> )
$\sigma_{ci}$	9	44	( <i>MPa</i> )
$E_i$	2,7	18,7	( <i>GPa</i> )
$E'_{unload}$	2,4	3,3	( <i>GPa</i> )
$E'_{load}$	0,25	0,51	( <i>GPa</i> )
<b>RQD</b>	25	100	(%)
<b>GSI<sub>cassetta</sub></b>	45	67	(-)
<b>k</b>	2,9E-06	2,9E-05	( <i>m/s</i> )

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>

#### 6.3.4 Unità geotecniche

A partire dal modello geologico di riferimento, l'analisi e l'interpretazione dei risultati delle indagini geotecniche hanno consentito di individuare nell'area interessata dall'intervento in progetto le Unità geotecniche riportate in Tabella 17.

**Tabella 17. Unità geotecniche rilevate**

Formazioni geologiche	Unità geotecniche	Descrizione
Depositi fluvoglaciali (LCN, LCN1, LCN2, LCN3, BOF, PEO)	1	sabbie ghiaioso-limose
Peliti di Prestino (RSI)	2	Siltiti argillitiche/arenacee

La formazione del Sintema dello Specola (PEO) non è stata indagata in questa fase progettuale, ma è stata assimilata all'unità geotecnica dei depositi fluvioglaciali; l'unità, infatti, è composta da diaminton massivi e ghiaie massime a supporto di matrice con alterazione media dell'80% dei clasti.

La caratterizzazione geotecnica è stata condotta sulla base dei dati forniti dalle campagne di indagine indicate nel paragrafo precedente. Si rimanda agli elaborati di Profilo geotecnico (Rif. [28]) per la rappresentazione delle caratteristiche geometriche (spessori ed estensione) di tali Unità Geotecniche. Nella Tabella 18 è fornita, per l'Unità Geotecnica 2, l'indicazione del range di variabilità dell'indice GSI, del valore di resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta ricavati dalle prove di laboratorio e dalle stazioni geomeccaniche.

**Tabella 18. Definizione parametri per gruppo omogeneo**

Formazioni geologiche	Unità geotecnica	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	GSI	E <sub>i</sub> (GPa)	$\sigma_{ci}$ (MPa)
Peliti di Prestino (RSI)	2	23 - 26	45 - 67	3 - 19	9 - 44

I principali parametri fisici e meccanici dell'Unità Geotecnica 1 sono riportati nella Tabella 19.

**Tabella 19. Sintesi dei parametri fisici e meccanici per i terreni**

Formazioni geologiche	Unità geotecnica	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\varphi'$ (°)	E (MPa)
Depositi fluvoglaciali (LCN, LCN1, LCN2, LCN3, BOF e PEO)	1	19 - 21	0 - 10	27 - 38	10 - 300

#### 6.3.5 Le condizioni idrauliche


Per la descrizione dettagliata dei complessi idrogeologici si rimanda agli elaborati dedicati (Rif. [5]). Di seguito si riporta una breve descrizione delle condizioni idrauliche dell'area di interesse.

Gli acquiferi collocati nell'area di interesse, ovvero nella porzione di transizione tra la zona collinare e di pianura, costituiscono zone preferenziali per la ricarica ad opera delle acque di infiltrazione e consentono il trasferimento delle acque sotterranee dalle zone pedemontale a quelle di alta e media pianura.

Per quanto riguarda la permeabilità, il tracciato si imposta principalmente su terreni composti da depositi fluvioglaciali e glaciali con permeabilità tra  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$ .

Per ogni sondaggio eseguito, sono state effettuate (a fine perforazione) le misurazioni del livello di falda. Questi si attestano sul valore medio di 4 – 15 metri da p.c. con valori massimi di 35 metri da p.c. in corrispondenza del sondaggio S12 GA. Inoltre, nei fori di sondaggio eseguiti, sono stati installati complessivamente 8 piezometri.

Le gallerie che sono interessate dalla presenza della falda sono la galleria Tercallo, la Montecastello, la Montressone e la Colle di Fabbrica. Ad ogni modo, l'andamento del livello piezometrico in corrispondenza dei piezometri installati sarà dettagliato nella successiva fase progettuale avvalendosi dei dati di monitoraggio in corso.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>46 di 70</b>

#### **6.4 Indagini e rilievi in galleria**

Nell'ambito della presente fase progettuale è stata condotta una campagna di indagini nelle gallerie nei mesi di maggio e giugno 2022.

Sono stati eseguiti rilievi visivi speditivi che hanno fornito informazioni riguardo la tipologia dei rivestimenti esistenti ed il relativo stato di conservazione, consentendo di individuare aree di possibile degrado, zone umide o con venute d'acqua, eventuali lesioni o stati fessurativi ecc.

Sui rivestimenti esistenti delle gallerie sono state eseguite perforazioni a distruzione di nucleo con videoispezione in foro, carotaggi continui con prelievo di campioni di rivestimento, misure di stato tensionale mediante prove di martinetto piatto al piedritto. Più in dettaglio, sono stati effettuati carotaggi continui sub-orizzontali nei piedritti con prelievo di campioni nel rivestimento per indagare gli spessori dei rivestimenti esistenti e le caratteristiche dei materiali costituenti. Inoltre, sono state realizzate perforazioni a distruzione inclinate alle reni per indagare lo spessore del rivestimento ed ulteriori, corredate da ispezioni con sonda televisiva in foro, alla base della muretta per valutare l'approfondimento del piano di posa dei piedritti. Infine, sono stati eseguiti saggi ispettivi tra le traverse per la valutazione dello spessore di ballast esistente ed una successiva perforazione a distruzione per verificare l'eventuale presenza dell'arco rovescio.

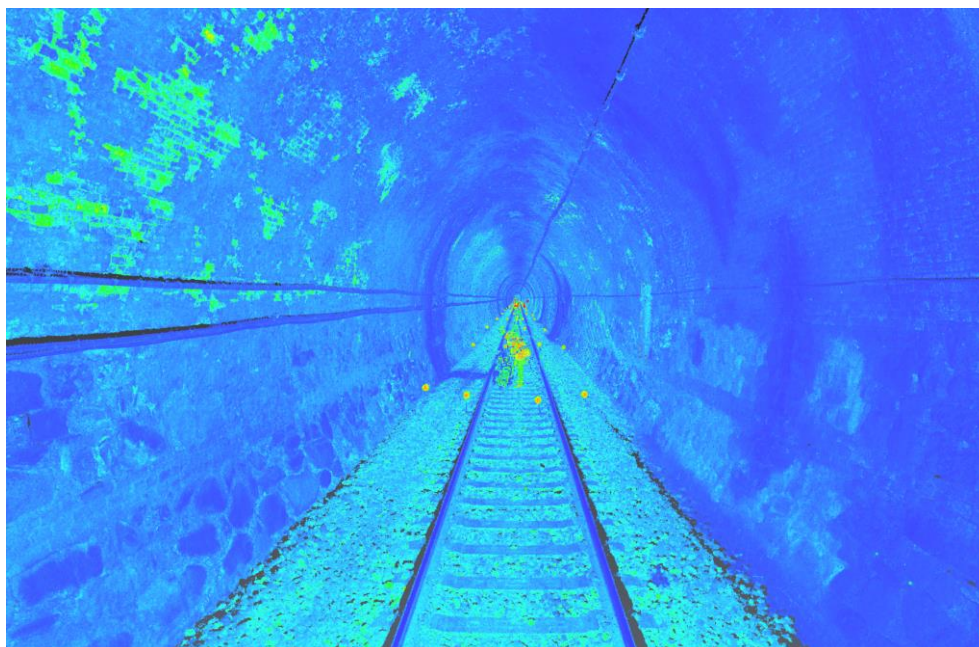
Sono state indagate tutte le gallerie ad eccezione della galleria Trecallo; per ogni galleria è stata realizzata una sezione di indagine completa di carotaggi, martinetto piatto e perforazioni a distruzione ed ulteriori sezioni di indagine, in numero variabile in base all'estensione dell'opera in sotterraneo, con saggi/perforazioni a distruzione nel ballast. Complessivamente sono state eseguite 3 prove di martinetto piatto ai piedritti, 4 carotaggi continui ai piedritti, 4 perforazioni a distruzione in calotta e 4 alla base del piedritto corredate di ispezioni visive, 10 perforazioni a distruzione e 12 saggi ispettivi in arco rovescio. Sono stati prelevati in totale 4 campioni di rivestimento in muratura di mattoni/pietra naturale sui quali sono state eseguite prove di compressione uniassiale.

Nell'ambito della stessa campagna di indagini, sono stati eseguiti anche i rilievi topografici al continuo delle superfici di intradosso delle gallerie con la tecnica del laser scanner.

#### 6.4.1 Stato di fatto delle gallerie

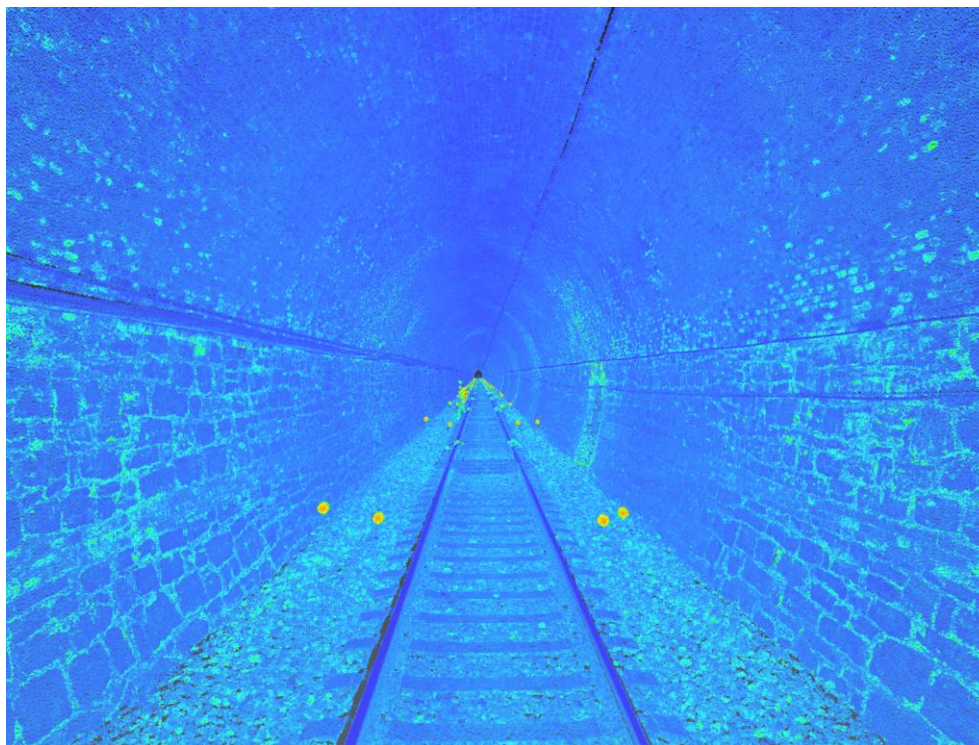
A seguire sono sintetizzati i principali aspetti emersi dai rilievi visivi analizzati e dalle indagini eseguite; per ulteriori dettagli al riguardo si rimanda allo specifico elaborato di progetto (Rif. [29]).

La galleria Colle di Fabbrica ha una lunghezza di 611 metri. Il rivestimento è costituito da muratura di mattoni rossi e malta cementizia in calotta, mentre ai piedritti si alternano tratte di muratura di pietrame pseudo-squadrato con strati di mattoni rossi e tratte di muratura di bolognini. La galleria presenta limitate difettosità dovute all'umidità sia in calotta che sui piedritti e locali concrezioni sul rivestimento. Si rileva la presenza di alcune fessure in corrispondenza dell'imbocco lato Albate. Il rilievo visivo non ha evidenziato ulteriori aspetti significativi.



**Figura 28: Galleria Colle di Fabbrica – Rivestimento in muratura e macchie d'umidità (laser scanner)**

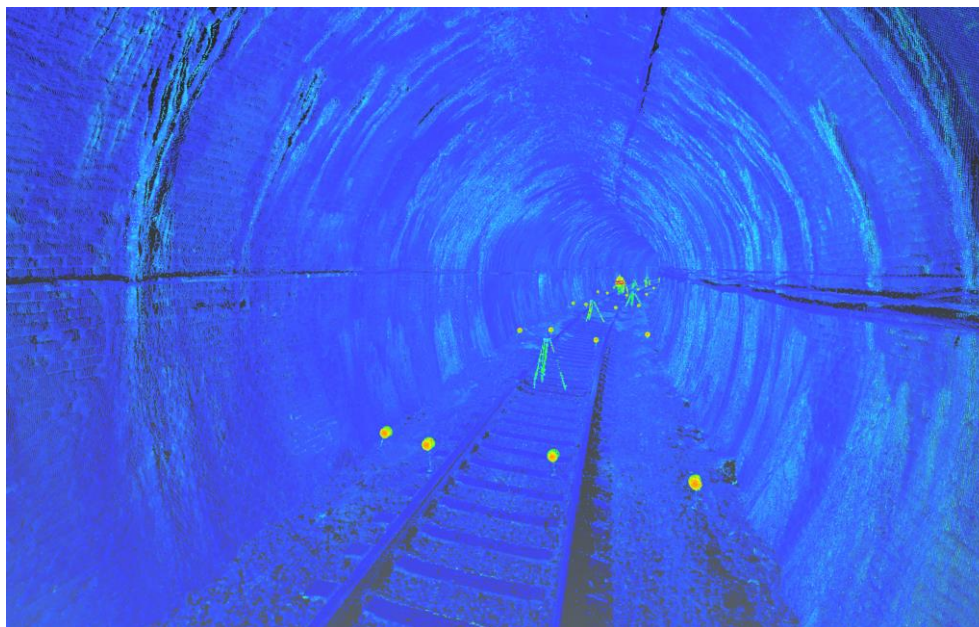
La galleria Colle di Terrò si estende per 550 metri circa. Il rivestimento risulta eterogeneo prevalentemente costituito da muratura con alternanza di tratte costituite da mattoni rossi e tratte con muratura di pietrame pseudo-squadrato. La galleria presenta limitate difettosità dovute all'umidità sia in calotta che sui piedritti e locali concrezioni sul rivestimento; sono state riscontrate, inoltre, lesioni di lieve entità ed aree in cui il rivestimento risulta deteriorato con locale perdita di materiale. Il rilievo visivo non ha evidenziato ulteriori aspetti significativi.



**Figura 29: Galleria Colle di Terrò – Rivestimento in muratura (laser scanner)**

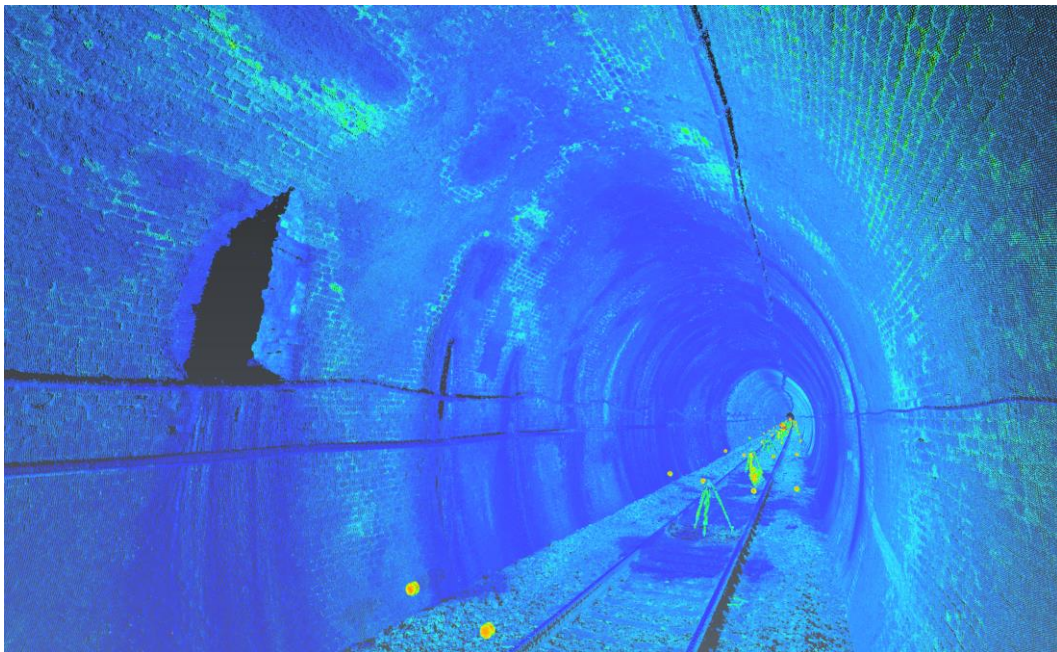
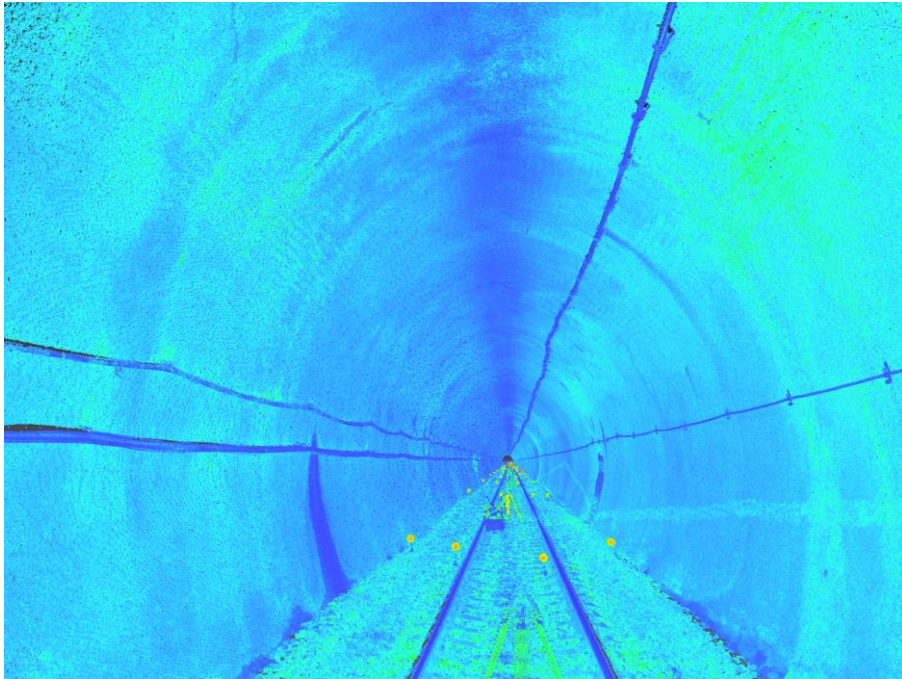
La galleria Montressone si estende per circa 440 metri e presenta un rivestimento in muratura di mattoni. La difettosità principale riscontrata è la presenza di venute d'acqua con concrezioni sul rivestimento; a tal proposito, sono stati eseguiti in passato fori di drenaggio in tre sezioni della tratta centrale dell'opera con passo pari a circa 100 m. In prossimità degli imbocchi sono state riscontrate alcune lesioni nel rivestimento di lieve entità. Il rilievo visivo non ha evidenziato ulteriori aspetti significativi.





**Figura 30: Galleria Montecastello – Concrezioni e venute d’acqua (laser scanner)**

La galleria Montecastello si estende per circa 700 metri ed è caratterizzata da un rivestimento piuttosto eterogeneo: i piedritti risultano costituiti da muratura in bolognini con malta cementizia discontinua cui si alternano tratte in pietrame con malta continua. La prima metà della galleria in direzione Lecco presenta, in calotta, un rivestimento in laterizi; mentre nella seconda metà dell’opera il rivestimento risulta ricoperto da uno strato superficiale di spritz-beton. Le principali difettosità sono riconducibili ad aree umide e venute d’acqua con tratte in cui si riscontrano concrezioni sul rivestimento; a tal proposito, si evidenzia la presenza di un cunicolo drenante sul paramento sinistro (in direzione Albate) alla pk 31+814. Il rilievo visivo non ha evidenziato ulteriori aspetti significativi.



**Figura 31: Galleria Montecastello – (a) Tratta con rivestimento superficiale in spritz-beton; (b) Cunicolo drenante presente al piedritto (laser scanner)**

La galleria Trecallo si estende per 360 metri circa e presenta un rivestimento in muratura di mattoni e malta cementizia. Il primo tratto della galleria presenta difettosità dovute a disgregazioni e sfaldature dei laterizi sia in

calotta che sui piedritti. Nello stesso settore, si riscontra anche la presenza di umidità e di fessure sul rivestimento. Il rilievo visivo non ha evidenziato ulteriori aspetti significativi.

I rivestimenti investigati con carotaggi continui e perforazioni a distruzione presentano spessori al piedritto variabili tra 0,60 m e 0,83 m con un valore medio pari a 0,75 m circa, mentre in calotta gli spessori risultano variabili tra 0,60 m e 0,80 m con un valore medio di circa 0,73 m circa.

I valori di resistenza a compressione desunti dalle 4 prove a compressione uniassiale sulle carote composte da elementi di pietra naturale e malta prelevati ai piedritti delle gallerie risultano variabili nell'intervallo tra 9 e 19,6 MPa; il valore medio di resistenza per la muratura di laterizi e malta analizzata è pari a circa 15 MPa circa.

L'ubicazione di prelievo dei campioni e i rispettivi risultati delle prove in termini di resistenza a compressione sono riepilogati in tabella.

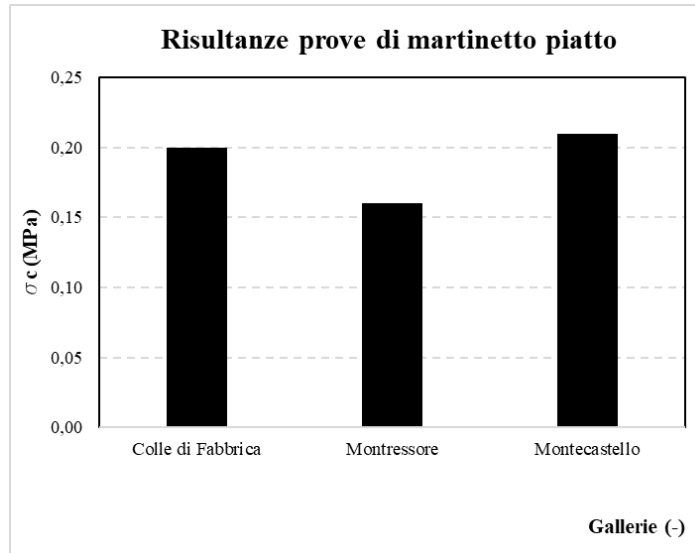
**Tabella 20. Valori di resistenza da prove di compressione uniassiale**

Valori di resistenza a compressione			
Galleria	Ubicazione	pk	$\sigma_c$
(-)	(-)	(km)	(MPa)
Colle di Fabbrica	Piedritto	24+700	16,4
Colle di Terrò	Piedritto	26+720	9
Montressone	Piedritto	30+100	19,6
Montecastello	Piedritto	32+110	14,5

Infine, le 3 prove di martinetto piatto eseguite ai piedritti hanno restituito valori di compressione modesti, variabili tra 0,16 MPa e 0,21 MPa. L'ubicazione e i rispettivi risultati delle prove sono riepilogati in tabella e mostrati nell'istogramma.


**Tabella 21. Ubicazione e risultati prove di martinetto piatto**

Prova di martinetto piatto			
Galleria	pk	Ubicazione	$\sigma_c$
(-)	(km)	(-)	(MPa)
Colle di Fabbrica	24+700	Piedritto dx	0,20
Montressone	30+100	Piedritto dx	0,16
Montecastello	32+110	Piedritto dx	0,21



**Figura 32. Risultanze prove di martinetto piatto**

Per le risultanze delle indagini in dettaglio si rimanda all'elaborato dedicato (Rif. [29]).

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center"><b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b></p> <p align="center"><b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b></p>					
<p><b>RELAZIONE TECNICA</b></p>	<p>COMMESSA LC00</p>	<p>LOTTO 01 R 07</p>	<p>CODIFICA RH</p>	<p>DOCUMENTO GN0000 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 53 di 70</p>

## 7 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, nota la sagoma di transito di progetto e definiti gli ingombri minimi da garantire alle varie componenti dell’impiantistica TE, sono state condotte le verifiche di interferenza, sulla base del rilievo laser scanner, eseguito per tutto lo sviluppo delle gallerie, e con riferimento all’attuale posizione delle rotaie rilevate.

### 7.1 *Profilo di transito*

Il profilo di transito di progetto è rappresentato dal Profilo Minimo degli Ostacoli n° 2 che ammette le sagome di riferimento alla Sagoma cinematica GB (secondo la EN 15273/2017), nonché i trasporti combinati alle velocità di rango B associati al P.M.O.2 e riportati nel Manuale di Progettazione di RFI (Rif. [3]).

### 7.2 *Impiantistica TE*

I rilievi eseguiti nell’ambito della presente progettazione hanno evidenziato come nella maggior parte delle opere in sotterraneo la sezione di intradosso risulti non compatibile con l’inserimento di un’impiantistica TE di tipo tradizionale. Per minimizzare gli ingombri e ridurre gli impatti sulle strutture di rivestimento esistente delle gallerie, si è scelto, pertanto, di adottare una soluzione di elettrificazione con catenaria rigida e linea di contatto a +4,80 m sul piano del ferro. Questo ha consentito di ottimizzare gli ingombri anche in termini di franchi elettrici, eliminando ad esempio il sollevamento della sagoma meccanica cinematica del pantografo.

Per una definizione di dettaglio dell’impiantistica relativa alla trazione elettrica si rimanda agli elaborati specialistici (Rif. [10]).

### 7.3 *Armamento ferroviario*

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

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

L’utilizzo della traversa tipo “galleria” è previsto nelle sole gallerie in cui sono da eseguire interventi di spostamento o rinnovo dell’armamento, come verrà descritto in dettaglio nei paragrafi a seguire.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati specialistici (Rif. [11]).



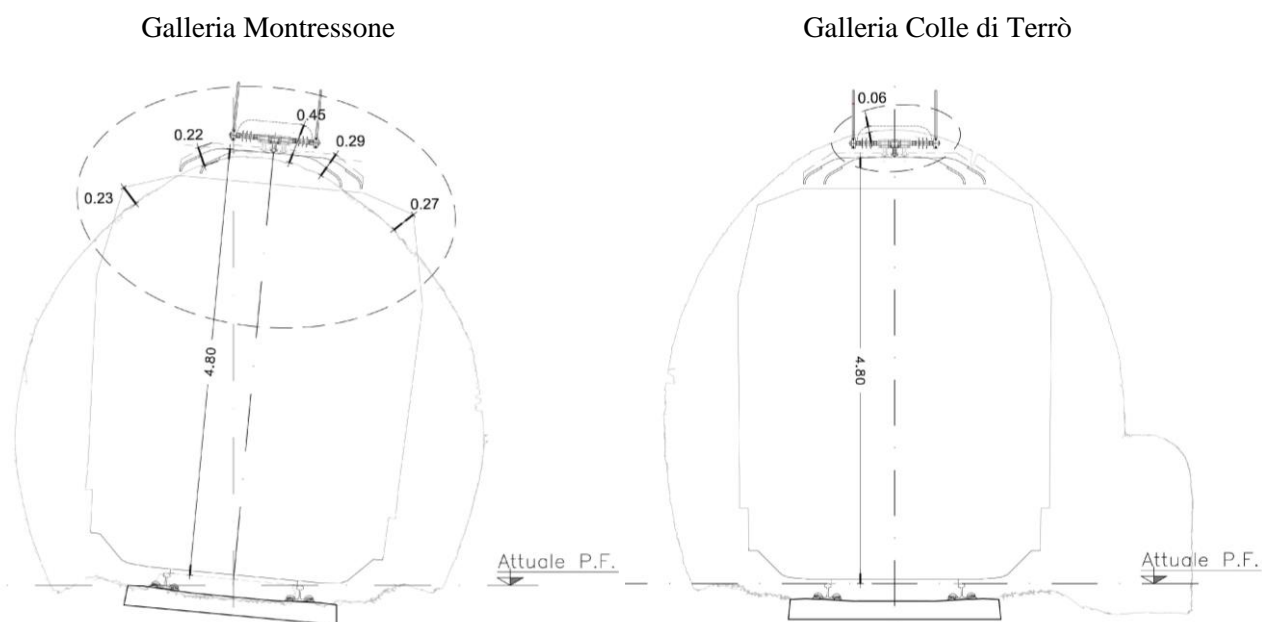
#### 7.4 Verifiche di sagoma

Le verifiche di sagoma sono state condotte sulla base del modello tridimensionale delle gallerie ottenuto dal rilievo laser scanner. Le verifiche sono restituite in termini di sezioni trasversali estratte dai suddetti modelli 3D, secondo un passo significativo rispetto al posizionamento dell'impiantistica TE e comunque tale da rappresentare tutte le possibili interferenze e le situazioni di criticità.


Il profilo minimo degli ostacoli di progetto, il pantografo e l'impiantistica TE con i relativi franchi elettrici e cinematici, sono stati posizionati manualmente all'interno delle sezioni di intradosso disponibili, sulla base della posizione rilevata delle rotaie e per confronto con la sopraelevazione desunta dai tabellini delle curve.

Tutte le gallerie della tratta presentano interferenze di sagoma. La maggior parte delle interferenze riscontrate sono sia di sospensione TE, che di sagoma P.M.O. e di pantografo; pertanto, ne conseguono interferenze longitudinali, di estensione variabile caso per caso. In numero inferiore sono state riscontrate interferenze legate alle sole sospensioni TE e ai relativi franchi elettrici; si tratta pertanto di interferenze che possono considerarsi puntuali rispetto allo sviluppo longitudinale della galleria.

In Figura 33 sono rappresentate in dettaglio due sezioni rappresentative delle diverse tipologie di interferenze appena descritte.



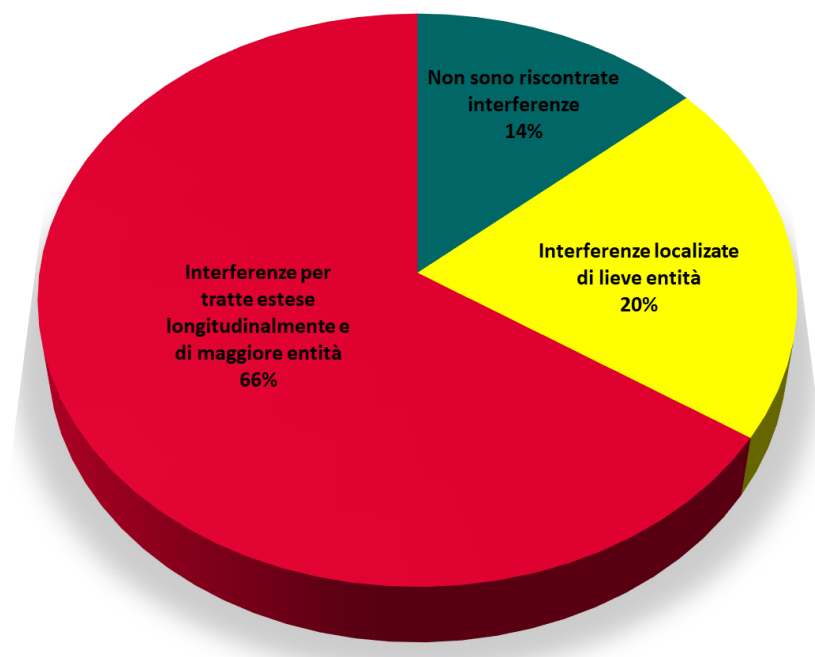
**Figura 33 – Tipologia di interferenze riscontrate – Sezioni rappresentative (sospensioni TE, pantografo e PMO a sinistra, solo sospensioni TE a destra)**

	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA LC00	LOTTO 01 R 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. A

Il censimento delle interferenze nello stato di fatto ha evidenziato che:


- 1 galleria (Trecallo) non presenta alcuna interferenza e rappresenta circa l'14% dell'estensione totale delle opere in sotterraneo;
- 1 galleria (Colle di Terrò) presenta interferenze trasversali di sospensioni TE o longitudinali di P.M.O. di limitata estensione e di entità contenuta (spessore massimo inferiore ai 10 cm) e rappresenta circa il 20% dell'estensione totale delle opere in sotterraneo;
- Le restanti 3 gallerie presentano interferenze di sagoma in numero, estensione ed entità maggiori (spessore massimo anche oltre 40 cm) e rappresentano circa il 66% dell'estensione totale delle opere in sotterraneo.

Nella seguente Figura 34 è rappresentato un quadro di sintesi sull'esito del censimento delle interferenze riscontrate nello stato di fatto.



**Figura 34 - Censimento delle interferenze allo stato di fatto**

Tutte le verifiche di sagoma effettuate per il censimento delle interferenze sono rappresentate negli elaborati grafici di progetto per ciascuna galleria (da Rif. [34] a Rif. [38]).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA LC00	LOTTO 01 R 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000 001	REV. A

## 8 FASE DI TERAPIA

Individuate e censite tutte le interferenze di sagoma, sono state quindi definite le modalità di intervento necessarie per risolverle e garantire l'inserimento dell'impiantistica TE per l'elettrificazione delle gallerie.

### 8.1 Definizione degli interventi tipo

Sono stati definiti interventi tipologici di cui si riporta una sintetica descrizione nei paragrafi a seguire. Gli interventi tipo trovano completa rappresentazione negli elaborati grafici di progetto cui si rimanda per gli approfondimenti del caso (da Rif. [30] a Rif. [33]).

Le verifiche di sagoma effettuate nella fase di diagnosi hanno evidenziato gallerie o tratte delle stesse in cui per numerosità, entità e sviluppo, le interferenze evidenziate risultano non risolvibili con interventi puntuali. In queste tratte, si è visto però che le interferenze potevano essere completamente risolte, o comunque mitigate, definendo opportune varianti di tracciato, con le quali operare utili spostamenti del binario rispetto agli spazi disponibili e agli ingombri TE da garantire.

Nello specifico, d'intesa con la S.O. Progettazione Integrata Nord (Rif. [11]), sono state definite 4 varianti di tracciato: due varianti plano-altimetriche per le gallerie Montressone e Colle di Fabbrica e due varianti altimetriche per le gallerie Colle di Terrò e Montecastello. Anche dove non è stata richiesta una variante planimetrica di tracciato, si possono comunque osservare scostamenti tra il binario rilevato e quello di progetto, dovuti alla geometrizzazione del tracciato esistente.

Per la galleria Colle di Fabbrica è stata prevista una modifica di tracciato plano-altimetrica che comporta una modifica del p.f. per quasi tutta l'estesa dell'opera, ovvero per 606 m circa, senza alcun impatto sul p.f. esistente all'esterno della galleria. La variante altimetrica prevede un'abbassamento massimo del p.f. pari a 0,25 m circa nella tratta tra le p.k. 24+525 e 24+605 ed uno spostamento esterno curva pari a 0,24 m circa nella tratta tra le p.k. 24+620 e 24+705.

Per la galleria Colle di Terrò è stata prevista una modifica di tracciato altimetrica che comporta un abbassamento del p.f. per quasi tutta l'estesa dell'opera con abbassamento costante pari a 0,11 m circa dalla p.k. 26+585 allo sbocco lato Albate. Considerando anche le tratte in cui il tracciato si ricollega all'esistente, l'estensione totale della variante è di circa 611 m, di cui 520 m in galleria ed i restanti 91 m circa nella tratta in uscita dopo l'imbocco lato Albate.

Per la galleria Montressone è stata prevista una modifica di tracciato plano-altimetrica che comporta una modifica del p.f. per tutta l'estesa dell'opera, ovvero per 434 m circa. La variante altimetrica prevede un'abbassamento del p.f. superiore ai 0,40 m tra le p.k. 30+025 e 30+205 con valore massimo pari a 0,48 m circa ed uno spostamento esterno curva pari a 0,09 m circa nella tratta iniziale e costante di circa 0,05 dalla p.k. 29+850 alla 30+185. Considerando anche le tratte in cui il tracciato si ricollega all'esistente, l'estensione totale della variante è di circa 578 m, di cui 69 m circa nella tratta antecedente l'imbocco lato Lecco e 75 m circa dopo l'imbocco lato Albate.

Per la galleria Montecastello sono state previste due modifiche altimetriche di tracciato che comportano un abbassamento del p.f. per quasi tutta l'estesa dell'opera. La prima modifica si estende per 168 m in galleria tra le



p.k. 31+535 e 31+703 con un abbassamento massimo pari a 0,11 m circa nella tratta tra le p.k. 31+610 e 31+640; la seconda modifica si estende per circa 419 m in galleria tra la p.k. 31+773 e l'imbocco lato Albate con abbassamento massimo pari a circa 0,23 m tra le p.k. 32+060 e 32+100. La modifica di tracciato prosegue per una tratta esterna all'opera per ulteriori 197 m circa per un successivo abbassamento riguardante il cavalcaferrovia alla p.k. 32+276.

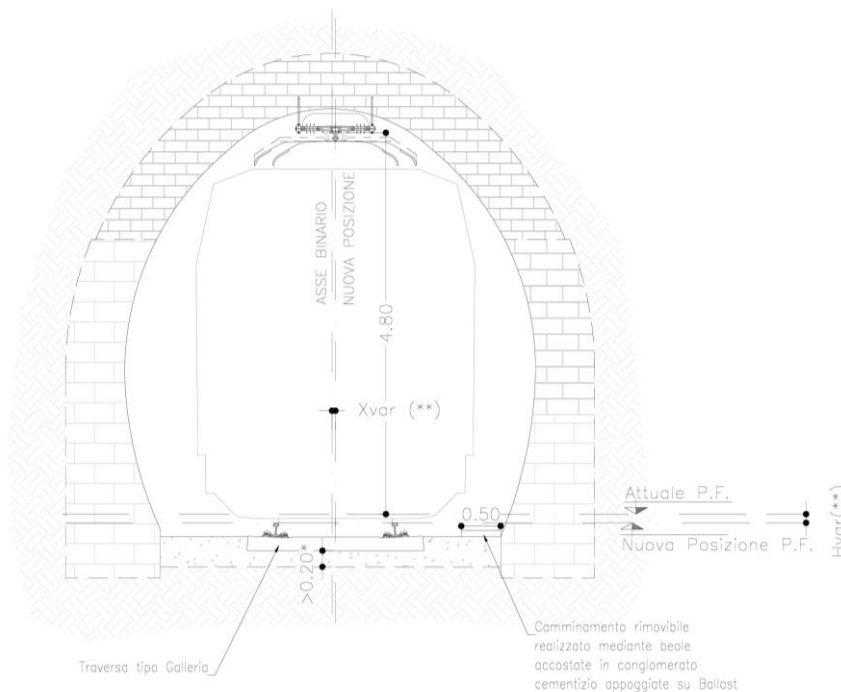
Oltre all'entità delle interferenze dell'impiantistica TE da risolvere in calotta, un aspetto di primaria importanza per la definizione delle varianti progettate, in particolare quelle altimetriche, è stata l'analisi dei dati a disposizione relativamente alla presenza o meno di arco rovescio, agli spessori di ballast presenti sotto traversa e alla profondità del piano di posa dei piedritti esistenti.

### **8.1.1 Intervento tipo 1 – Modifica di tracciato**

In alcune tratte di intervento, considerata l'entità degli abbassamenti del piano ferro previsti e gli spessori di ballast esistenti rilevati con saggi ispettivi e perforazioni a distruzione, risulta garantito il rispetto dei 20 cm di spessore di ballast senza necessità di eseguire alcun intervento. In particolare, per la galleria Colle di Terrò, in funzione dell'entità dell'abbassamento e dello spessore di ballast presente, può essere sufficiente localmente il totale svuotamento della vasca dell'armamento ed una eventuale regolarizzazione del piano di regolamento.

L'intervento tipo 1 è applicato, quindi, alla galleria Colle di Terrò e prevede le seguenti fasi realizzative:

- rimozione dell'armamento esistente sull'intera tratta di galleria interessata dall'intervento e svuotamento parziale o totale della vasca dell'armamento;
- eventuale regolarizzazione del piano di regolamento;
- posa in opera del nuovo armamento con traverse "tipo galleria" alla nuova quota di progetto e realizzazione/ripristino del camminamento di servizio.



**Figura 35 – Intervento tipo 1 – Modifica del piano ferro esistente**

La posa del nuovo camminamento è prevista sull'intero sviluppo delle gallerie; esso sarà composto da beole accostate di larghezza pari a 50 cm in calcestruzzo armato semplicemente appoggiate sulla superficie del ballast, ricalcando lo stato attuale di alcune delle altre gallerie della tratta in progetto. Nelle gallerie in oggetto la distanza tra testa traversa e nuovo camminamento potrà essere inferiore a 60 cm e per questo si è scelta una soluzione con camminamento rimovibile.

Qualora presente, sarà ripristinata la canaletta laterale esistente di raccolta delle acque che avrà, nella sistemazione definitiva, anche funzione di stradello laterale.


Per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato di progetto (Rif. [30]).

### **8.1.2 Intervento tipo 2 – Modifica di tracciato con rifacimento/realizzazione arco rovescio**

L'intervento tipo 2 è associato alle modifiche planimetriche e/o altimetriche di tracciato descritte al paragrafo 8.1.1 ed è previsto per le gallerie Colle di Terrò, Colle di Fabbrica, Montressone e Montecastello.

Nelle diverse tratte di intervento, considerata l'entità degli abbassamenti del piano ferro previsti e gli spessori di ballast esistenti rilevati con saggi ispettivi e perforazioni a distruzione, risulta quasi sempre necessario intervenire sull'attuale piano di regolamento delle gallerie per garantire il rispetto dei 20 cm di spessore di ballast sotto traversa (minimo da garantire con l'impiego della traversa tipo galleria).

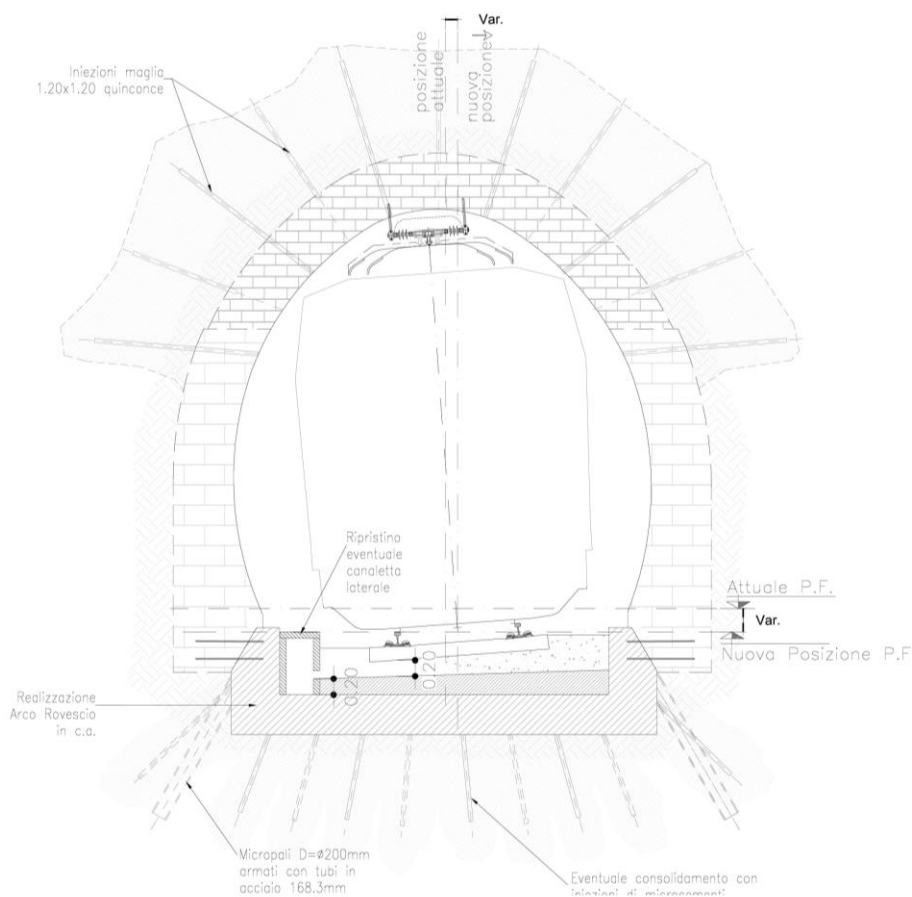
In particolare, pur con l'introduzione dell'armamento tipo galleria, per consentire la modifica altimetrica del piano del ferro, è necessario prevedere un significativo scavo di ribasso per la realizzazione di un nuovo arco rovescio in calcestruzzo armato, per tutta l'estensione delle opere in sotterraneo. Preliminarmente alle attività di

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>

scavo sono previsti opportuni interventi di consolidamento al contorno e di sottofondazione dei piedritti esistenti.

Più in dettaglio, l'intervento tipo 2 prevede le seguenti fasi realizzative:

1. Iniezioni di intasamento in calotta: preliminarmente all'intervento in arco rovescio dovranno essere eseguite delle iniezioni cementizie a bassa pressione per il riempimento di eventuali vuoti a tergo del rivestimento in calotta. Le iniezioni saranno disposte a quinconce con maglia 1.2 m x 1.2 m e avranno una lunghezza di circa 2 m. L'intervento si intende da eseguirsi sull'arco di calotta per l'intera tratta oggetto di rifacimento dell'arco rovescio.
2. Svuotamento della vasca e rimozione dell'armamento ferroviario esistente sull'intera galleria.
3. Realizzazione dei micropali e cordolo in c.a.: esecuzione di micropali inclinati alla base dei piedritti  $d=\varnothing 200$  mm armati con tubi in acciaio  $\varnothing 168.3$  mm spessore 10 mm, di lunghezza pari a 3 m ed interasse 0.8 m. Si procede con la realizzazione di cordoli in c.a. (C25/30) di dimensioni pari a 0.4x0.4 m.
4. Consolidamento in arco rovescio: eventuale consolidamento mediante iniezioni di microcementi a pressione e volumi controllati mediante tubi in VTR valvolati disposti con maglia 1,00 m x 0,50 m, lunghi circa 2,00 m.
5. Demolizione e realizzazione nuovo arco rovescio: demolizione del rivestimento esistente alla base dei piedritti e dell'arco rovescio esistente; successiva esecuzione dello scavo di ribasso fino alla quota di progetto per la realizzazione del nuovo arco rovescio; posa dell'armatura e getto dell'arco rovescio (C30/37). Il nuovo arco rovescio sarà collegato al rivestimento esistente mediante n° 2 barre per lato. Lo scavo avverrà per campi di lunghezza da dettagliare nelle successive fasi progettuali.
6. Sistemazione definitiva: posa in opera del nuovo armamento con traverse "tipo galleria" alla nuova quota di progetto, eventuale ripristino della canaletta laterale o del camminamento di servizio alla quota del nuovo p.f.




**Figura 36 - Intervento tipo 2 –Interventi di consolidamento e sistemazione definitiva**

L'eventualità dei consolidamenti previsti in arco rovescio, in termini di numerosità, posizione ed assorbimenti delle iniezioni di microcementi, dipende dalle caratteristiche geotecniche del materiale interessato con particolare riferimento alla granulometria e alla permeabilità. Per la galleria Montecastello, ad esempio, considerata la formazione attraversata, non è previsto alcun consolidamento in arco rovescio.

La posa del nuovo camminamento è prevista sull'intero sviluppo delle gallerie; esso sarà composto da beole accostate di larghezza pari a 50 cm in calcestruzzo armato semplicemente appoggiate sulla superficie del ballast, ricalcando lo stato attuale di alcune delle altre gallerie della tratta in progetto. Il nuovo camminamento di servizio è realizzato anche nelle gallerie in cui non risulta presente allo stato attuale sulla base delle indagini eseguite. Nelle gallerie in oggetto la distanza tra testa traversa e nuovo camminamento potrà essere inferiore a 60 cm e per questo si è scelta una soluzione con camminamento rimovibile.

Nelle gallerie in cui è presente allo stato attuale la canaletta laterale di raccolta delle acque (ad esempio Montecastello) la stessa verrà ripristinata a seguito dell'intervento e avrà, nella sistemazione definitiva, anche funzione di stradello laterale.

Per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato di progetto (Rif. [31]).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>

### 8.1.3 Intervento tipo 3 – Snicchiatura

L'intervento tipo 3 è stato definito per risolvere interferenze trasversali delle sospensioni per la TE o longitudinali di P.M.O. e pantografo con il profilo di intradosso, per spessori (radiali) massimi fino a 10 cm.

Per risolvere le interferenze con spessore massimo pari a 5 cm (intervento tipo 3A) è prevista una semplice snicchiatura in calotta nella muratura esistente, senza necessità di interventi propedeutici. Infatti, rispetto all'intero anello di rivestimento esistente (di spessore in calotta mediamente pari a circa 70 cm in calotta) e al suo sviluppo longitudinale, un simile intervento può considerarsi puntuale e con effetti indotti sulla muratura esistente trascurabili.

Al netto delle varianti di tracciato, sulla tratta in esame sono state individuati in totale 5 interventi tipo 3A, distribuiti su 2 gallerie; in Tabella 22 è mostrato un quadro riassuntivo degli interventi previsti in progetto: per ogni galleria sono riportate le sezioni di rilievo risultate interferenti e le dimensioni delle snicchiature da realizzare (larghezza, spessore massimo e lunghezza). La lunghezza delle snicchiature in direzione longitudinale all'asse della galleria è sempre pari a 30 cm per le interferenze puntuali di sospensione TE, mentre per le interferenze di P.M.O. e di pantografo è definita di volta in volta per ciascuna interferenza.

**Tabella 22. Dettaglio interventi tipo 3A – spessore massimo di 5 cm**

Galleria	Sezione (n.)	Pk (km)	largh. (cm)	sp.max (cm)	lungh. (cm)
Colle di Fabbrica	25	24+509	17	2	30
	45	24+709	11	3	1100
Montressone	9	29+879	19	3	30
			15	4	1200

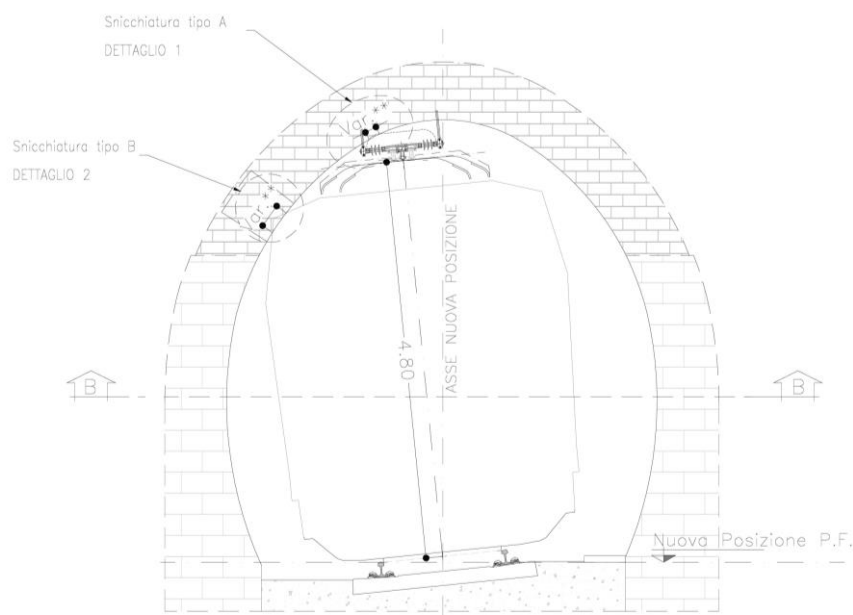
Per risolvere le interferenze con spessore compreso tra i 5 cm e i 10 cm (intervento tipo 3B), in considerazione delle maggiori dimensioni della snicchiatura da realizzare, è previsto un eventuale preventivo consolidamento della muratura esistente mediante iniezioni con resine epossidiche, da realizzare nel caso in cui nell'intorno dell'area di intervento il rivestimento presenti segnali di degrado (presenza di fessure o discontinuità, muratura povera di malta con irregolarità o sporgenze, aree umide, concrezionate o alterate ecc.).

Realizzato l'eventuale consolidamento della muratura, si potrà procedere alla snicchiatura con le stesse modalità descritte per gli spessori inferiori.

Al netto delle varianti di tracciato, sono stati individuati in totale 2 interventi tipo 3B distribuiti su 2 gallerie; in tabella è mostrato un quadro riassuntivo degli interventi previsti analogamente a quanto fatto per gli interventi tipo 3A.

**Tabella 23. Dettaglio interventi tipo 3B – spessore compreso tra i 5 cm e i 10 cm**

Galleria	Sezione (n.)	Pk (km)	largh. (cm)	sp.max (cm)	lungh. (cm)
Colle di Fabbrica	23	24+489	20	6	2000
Montressone	16	29+949	31	6	30



**Figura 37 – Intervento tipo 3 – Sezione di intervento con snicchiatura trasversale e longitudinale**

Per ulteriori dettagli si rimanda all’elaborato di progetto (Rif. [32]).

#### **8.1.4 Intervento tipo 4 – Protezione della TE dalle venute d’acqua**

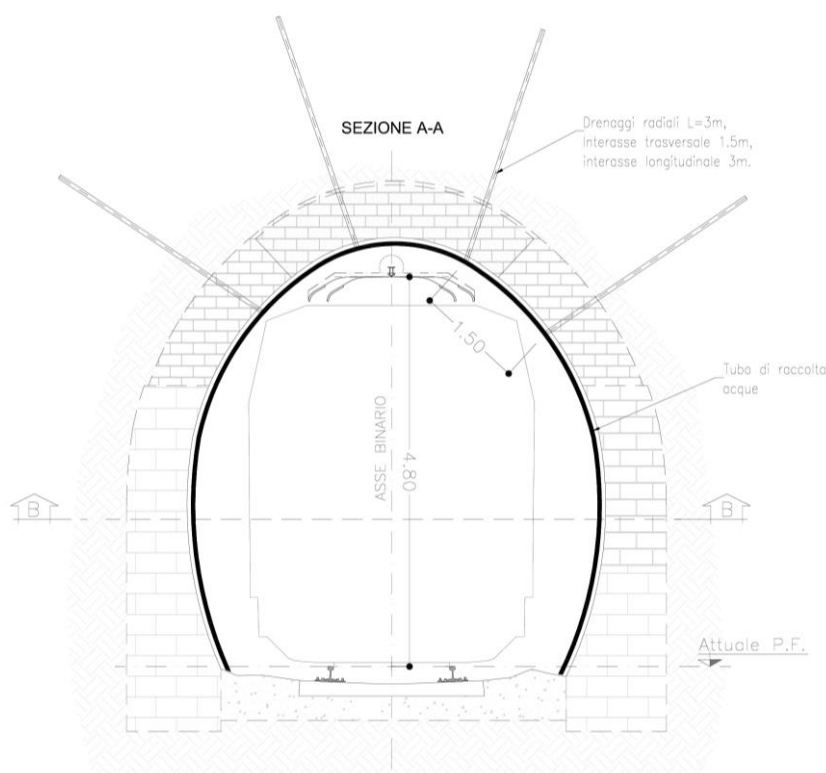
Il rilievo visivo condotto nell’ambito della presente fase progettuale (Rif. [29]) ha mostrato che in specifiche tratte delle gallerie sono presenti difettosità del rivestimento riconducibili a venute d’acqua significative. Lungo alcune opere si osservano anche precedenti interventi (realizzati mediante gusci in spritz-beton e drenaggi), finalizzati all’impermeabilizzazione e al drenaggio delle tratte soggette a venute d’acqua.

L’intervento tipo 4 è stato definito per risolvere questa problematica in particolare nella zona di calotta e alle reni, al fine di proteggere la linea di contatto e garantire il corretto funzionamento del sistema di trazione elettrica e la sua durabilità.

L’intervento prevede raggieri di drenaggi corti (di lunghezza pari a 3 m), ad interasse trasversale pari a 1,5 m e interasse longitudinale pari a 3 m. L’acqua intercettata dai drenaggi radiali è convogliata all’interno di un tubo di raccolta in PVC trasversale che corre a ridosso della superficie di intradosso della galleria e viene scaricata alla base dei piedritti nella vasca dell’armamento esistente.

L'intervento prevede inoltre eventuali iniezioni di resina poliuretanicca bicomponente per il ripristino del rivestimento esistente in muratura su un arco di calotta di circa 90° per un'estensione longitudinale di 3 m a cavallo della raggiera di dreni. I dreni radiali previsti dall'intervento tipo devono essere realizzati adattando numero e posizione degli stessi allo specifico contesto di applicazione.

L'applicazione di tale intervento è prevista sulle gallerie Colle di Fabbrica, Montressone e Montecastello per complessivi 495 m.




**Figura 38 – Intervento tipo 4 – Sezione di intervento con consolidamento della muratura e drenaggi**

In particolare, per la galleria Colle di Fabbrica è previsto dalla pk 24+390 alla pk 24+455, dalla pk 24+480 alla pk 24+595 e dalla pk 24+665 alla pk 24+705, per un totale di 220 m. Per la galleria Montressone è previsto dalla pk 29+840 alla 30+020, dalla pk 30+065 alla 30+095, dalla pk 30+115 alla 30+130 e dalla pk 30+185 alla 30+205, per un totale di 245 m. Infine, per la galleria Montecastello si applica nella tratta di estensione pari a 30 m dalla pk 31+820 alla pk 31+850.

Per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato di progetto (Rif. [33]). Per l'applicazione e la distribuzione dell'intervento si rimanda invece al profilo geotecnico delle gallerie (Rif. [28]).

## 8.2 Considerazioni conclusive

Le verifiche di sagoma condotte nella fase di diagnosi hanno consentito l'individuazione ed il censimento delle interferenze con gli attuali profili di intradosso, da risolvere per consentire l'elettificazione delle gallerie.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ELETTRIFICAZIONE LINEA COMO – LECCO</b> <b>LOTTO 1 - TRATTA ALBATE CAMERLATA - MOLTENO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	COMMESSA <b>LC00</b>	LOTTO <b>01 R 07</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>A</b>

In fase di terapia si è cercato innanzi tutto di definire opportune varianti di tracciato finalizzate alla mitigazione delle interferenze rilevate.

Associato alle varianti planimetriche e/o altimetriche è stato definito l'intervento tipo 1 (Rif. [30]) che prevede lo spostamento planimetrico o l'abbassamento del p.f. con sostituzione dell'armamento esistente ed adozione della traversa tipo "galleria", senza alcun intervento sull'opera civile; l'intervento tipo 1 è previsto applicato per la galleria Colle di Terrò.

L'intervento tipo 2 (Rif. [31]) è previsto per l'intera estesa delle gallerie Colle di Fabbrica, Montressone e Montecastello e in parte sulla galleria Colle di Terrò, dove risulta necessario il rifacimento/realizzazione dell'arco rovescio per permettere l'abbassamento del p.f. previsto dalla variante di tracciato.

Al netto delle varianti di tracciato, per le interferenze residue, sia trasversali, legate cioè all'installazione delle singole sospensioni per la TE, che longitudinali, legate al transito del P.M.O., è stato definito l'intervento tipo 3 (Rif. [32]), costituito da snicchiature nel rivestimento esistente della galleria nella zona interferente.

Infine, per garantire il corretto funzionamento del sistema di trazione elettrica e la sua durabilità, in relazione alle problematiche più rilevanti associate alle venute d'acqua in galleria, è stato previsto l'intervento tipo 4 che prevede l'applicazione di dreni radiali per la captazione ed il convogliamento delle acque (Rif. [33]) e il consolidamento eventuale delle murature ammalorate di rivestimento. L'intervento tipo 4 è previsto per le gallerie Colle di Fabbrica, Montressone e Montecastello.

Per l'applicazione degli interventi tipo descritti alle singole gallerie si rimanda agli elaborati di progetto (da Rif. [39] a Rif. [42]).

In Tabella 24 è mostrato un quadro riassuntivo della distribuzione degli interventi tipo previsti in progetto. Per gli interventi tipo 1, 2 e 4 sono indicati i metri di applicazione, mentre per l'intervento tipo 3 di snicchiature è indicato il numero di interventi.

**Tabella 24. Quadro di sintesi della distribuzione degli interventi previsti**

GALLERIA	L (m)	Nessun intervento	Intervento tipo 1 (m)	Intervento tipo 2 (m)	Intervento tipo 3 (n°)	Intervento tipo 4 (m)
Colle del Fabbrica	611			611	4	220
Colle del Terrò	549		165	384		
Montressone	434			434	3	245
Montecastello	704			704		30
Trecallo	363	X				
Totale		-	165	2133	7	495



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

### ***9.1 Programma di indagini integrative***

Nell'ambito della successiva fase progettuale potranno essere condotti gli opportuni approfondimenti di indagine, in relazione agli interventi tipo e alla relativa distribuzione, definiti in questa fase, ad esempio, tenendo conto dell'effettiva posizione di ciascuna sospensione per l'attrezzaggio TE.

Nelle gallerie della tratta in oggetto, ed in particolare nella galleria Colle di Terrò, dovranno essere eseguite ulteriori indagini per verificare lo spessore disponibile sotto-traversa e verificare la presenza dell'arco rovescio, al fine di confermare l'estensione della tratta oggetto di demolizione e rifacimento dell'arco rovescio (intervento tipo 2).

Più in generale si dovranno realizzare tutti i necessari approfondimenti di indagine per definire in dettaglio le condizioni delle opere nelle diverse tratte di intervento. Tali approfondimenti di indagine consentiranno di confermare o eventualmente ritardare la distribuzione degli interventi tipo definita in questa sede.

## 10 CONCLUSIONI

Il presente documento riguarda la progettazione di fattibilità tecnica ed economica degli interventi civili propedeutici all'elettrificazione delle gallerie esistenti della linea Ionica, tratta Catanzaro Lido – Melito P.S.

La progettazione è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [4]) e si è articolata nelle seguenti fasi:

- Fase conoscitiva (cap. 6): è stato condotto lo studio delle gallerie esistenti con riferimento alle caratteristiche geometriche delle sezioni di intradosso, agli spessori dei rivestimenti esistenti, alle condizioni delle murature, al contesto geologico e geotecnico di inserimento.
- Fase di diagnosi (cap. 7): definita la sagoma di transito di progetto e gli ingombri minimi da garantire per l'installazione dell'impiantistica TE, sono state condotte le verifiche di sagoma sulle sezioni di intradosso per individuare le eventuali interferenze da risolvere.
- Fase di terapia (cap. 8): in funzione della tipologia di interferenza individuata, sono state definite le modalità di intervento necessarie per risolvere l'interferenza (interventi tipo) e garantire l'inserimento dell'impiantistica TE in condizioni di sicurezza.
- Fase di verifica e messa a punto del progetto (cap. 9): il progetto è completato da un piano di indagini da predisporre ed attuare nell'ambito della successiva fase progettuale, per poter dettagliare, ritarare o eventualmente modificare la distribuzione degli interventi tipo ipotizzata in questa fase.

## 11 APPENDICE 1

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

#### Prove penetrometriche dinamiche

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

#### Densità relativa da correlazione di Skempton (1986):

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

essendo:

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

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

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

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

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

essendo:

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

#### Densità relativa da correlazione di Bazaraa (1967):

Questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo, l'espressione per esprimere la densità relativa varia a seconda del valore della tensione verticale efficace  $\sigma'_v$  espressa in  $\text{kg/cm}^2$

**RELAZIONE TECNICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LC00	01 R 07	RH	GN0000 001	A	68 di 70

$$\text{Per } \sigma'_v \leq 0,732 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow D_r^2 = \frac{N_{spt}}{20 \cdot (1 + 4,1 \cdot \sigma'_{vo})}$$

$$\text{Per } \sigma'_v > 0,732 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow D_r^2 = \frac{N_{spt}}{20 \cdot (3,24 + 1,024 \cdot \sigma'_{vo})}$$

Angolo di attrito da correlazione di Schmertmann (1977):

$$\varphi' (\text{°}) = 28 + 0.14 \times D_r \quad \text{per Sabbia fine uniforme}$$

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

$$\varphi' (\text{°}) = 34.5 + 0.10 \times D_r \quad \text{per Sabbia grossa uniforme e sabbia ben gradata}$$

$$\varphi' (\text{°}) = 38 + 0.08 \times D_r \quad \text{per Ghiaia media e fine e sabbia e ghiaia poco limosa}$$

Angolo di attrito da correlazione di Bolton (1989):

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

con:

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

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

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

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

$$\varphi' (\text{°}) = 19 - 0.38 \sigma'_v / 100 + 8.73 \log (N_{SPT})$$

Modulo di Young da correlazione di Stroud (1988):

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

essendo:

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

Modulo di Young da correlazione di Jamiolkowski (1988):

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

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

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

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

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

essendo:

z = profondità dal p.c. in metri

f<sub>A</sub> = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito

f<sub>B</sub> = coefficiente funzione della composizione granulometrica

**Tabella 25: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f<sub>A</sub>**

(funzione dell'epoca geologica del deposito)

f <sub>A</sub>	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

**Tabella 26 - Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f<sub>B</sub>**

(funzione della composizione granulometrica del deposito)

f <sub>B</sub>	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

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

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

$$V_s = aN^b$$

essendo:

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

**Tabella 27 - Relazione Imai, 1977 - Coefficienti a e b**

a	b	Terreno/età
102	0.29	Argille – Olocene
81	0.33	Sabbie -Olocene

**RELAZIONE TECNICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LC00	01 R 07	RH	GN0000 001	A	70 di 70

114	0.29	Argille – Pleistocene
97	0.32	Sabbie pleistocene

Correlazione del numero dei colpi:

Correlazione proposta da Terzaghi-Peck (1948):

$$(N_1)_{60(CORR)} = 15 + 0.5 \cdot [(N_1)_{60} - 15]$$

Modulo di taglio iniziale da correlazione di Terzaghi-Peck (1948):

$$cu(kPa) = (N_1)_{60(CORR)} * 98.1/15$$