

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. GALLERIE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA

NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA

LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA

LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

SCALA:

-

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

RC2A B1 R 07 RH GN0000 001 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	S. Saviani	Dic. 2021	F. Iannotta	Dic. 2021	I. D'Amore	Dic. 2021	A. Sciotti Settembre 2023
B	Emissione esecutiva	A. Coluccio F. Bergamo	Lug. 2023	F. Iannotta	Lug. 2023	I. D'Amore	Lug. 2023	ITALFERR S.p.A. U.O. GALLERIE Dott. Ing. Alessandra Sciotti Cofine degli Ingegneri di Roma n° 13846
C	Emissione esecutiva	A. Coluccio F. Bergamo	Ago 2023	F. Iannotta	Sett. 2023	I. D'Amore	Sett. 2023	

File: RC2AB1R07RHGN0000001C.DOCX

## SOMMARIO

1	PREMESSA.....	4
2	NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO .....	10
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	10
4	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....	11
5	ALLEGATI.....	13
6	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	14
6.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO .....	14
6.2	SEZIONI TIPO DI INTRADOSSO .....	25
6.3	LE GALLERIE DI INTERCONNESSIONE CON POTENZA E LE FASI REALIZZATIVE DEI LOTTI .....	27
6.4	OPERE DI IMBOCCO .....	28
6.5	OPERE PER LA SICUREZZA IN GALLERIA.....	29
6.6	OPERE TECNOLOGICHE.....	33
6.7	INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO.....	33
7	METODOLOGIA DI LAVORO.....	34
8	FASE CONOSCITIVA .....	34
8.1	IL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....	34
8.2	INDAGINI GEOTECNICHE .....	39
8.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	43
9	FASE DI DIAGNOSI.....	149

9.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO .....	149
9.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO .....	150
9.3	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO.....	157
9.4	RISCHI POTENZIALI CONNESSI ALLO SCAVO DELLA GALLERIA .....	158
10	FASE DI TERAPIA .....	163
10.1	DEFINIZIONE DEL METODO DI SCAVO .....	163
10.2	METODO DI SCAVO MECCANIZZATO .....	164
10.3	METODO DI SCAVO TRADIZIONALE .....	190
10.4	INTERVENTI DI PROTESI.....	195
10.5	VALUTAZIONE DEI RISCHI E RELATIVE AZIONI DI MITIGAZIONE .....	198
10.6	OPERE DI IMBOCCO .....	210
11	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	211
11.1	SCAVO MECCANIZZATO.....	211
11.2	SCAVO TRADIZIONALE .....	211
11.3	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	212
12	PROPOSTA DI INDAGINI PER LA SUCCESSIVA FASE DI PROGETTAZIONE .....	213
13	CONCLUSIONI.....	214

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

## 1 PREMESSA

La presente progettazione di fattibilità tecnica ed economica riguarda il **lotto 1b Romagnano – Buonabitacolo**, della nuova linea AV Salerno-Reggio Calabria.

Scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali individuate per la realizzazione delle gallerie naturali.

La relazione è la revisione (rev C) del documento già emesso e sottoposto all'esame del Comitato Speciale del CSLPP in prima emissione il 08/09/2022 (rev.A) e in seconda emissione il 21/07/2023 (rev.B). Essa comprende i riscontri alle richieste di ulteriori approfondimenti ed integrazioni che la commissione speciale ha trasmesso il 07/08/2023 riguardanti lo “*scavo in galleria*”.

Nella tabella seguente sono esposti sinteticamente gli esiti delle suddette richieste, prevalentemente sottoforma di chiarimenti. In terza colonna è riportato il riferimento al paragrafo della relazione dove è contenuto il chiarimento/integrazione, talvolta in forma più estesa. Nel testo della relazione il recepimento/chiarimento alle osservazioni è identificato da un riquadro posto in coda al paragrafo di attinenza.

Sono confermate le scelte progettuali già illustrate nelle revisioni precedenti.

RICHIESTA DELLA COMMISSIONE	RECEPIMENTO	RIFERIMENTO
<p><b>N.1</b></p> <p><i>È previsto che nei tratti interferenti con le falde e le opere di presa le gallerie siano interamente impermeabili. Per ottenere questo risultato, nel caso di gallerie scavate con TBM, è necessario che non solo i calcestruzzi siano di caratteristiche adeguate ma anche i gasket siano adeguatamente dimensionati. È necessario verificare la tipologia e la struttura anche nel caso di non perfetto montaggio e di durabilità a lungo termine. È necessario verificare la fattibilità con doppio gasket e tubo di post iniezione.</i></p> <p><i>Se in questo tratti le gallerie sono scavate in convenzionale è necessario prevedere adeguati water-stop nei giunti di getto. Questa indicazione va riportata tra le misure di mitigazione.</i></p>	<p>Piuttosto che ricorrere al doppio gasket si preferisce l'utilizzo di guarnizioni singole con cordolino idrofilico incorporato.</p> <p>La fattibilità è confermata dai produttori delle suddette guarnizioni. Si cita ad esempio la guarnizione ancorata FAMA U.G.037A di larghezza 29mm ed altezza 14mm equipaggiata con cordino idroespansivo. Le prove di tenuta idraulica condotte presso il Laboratorio FAMA a condizioni di gap 4mm ed offset 10mm hanno permesso di verificarne la tenuta idraulica fino a 40bar di pressione.</p> <p>Le guarnizioni saranno abbinare a connettori di elevate prestazioni per assicurare le tolleranze sul gap</p> <p>L'indicazione dei water-stop è recepita in questa relazione e sarà rappresentata nelle successive fasi progettuali.</p>	<p><a href="#">10.5 Valutazione dei rischi e relative azioni di mitigazione – interferenze sulle risorse idriche.</a></p>
<p><b>N.2</b></p> <p><i>Nei tratti dove si prevede gallerie drenanti è necessario una verifica della durabilità sul lungo termine dei drenaggi e della loro tecnologia e che queste indicazioni siano chiaramente espresse nel progetto anche come indicazione per le fasi successive di progettazione.</i></p>	<p>Nella relazione è esplicitata la necessità di pozzetti di ispezione per la manutenzione dei dreni. La gestione dei dreni in esercizio troverà adeguato sviluppo di dettaglio nel progetto esecutivo e nel piano di manutenzione.</p>	<p><a href="#">10.5 Valutazione dei rischi e relative azioni di mitigazione – venute d'acqua e carichi idraulici elevati</a></p>

<p><b>N. 3</b></p> <p><i>Le verifiche delle contropressioni a grande profondità sono state sviluppate con l'uso delle curve caratteristiche al fronte. Non ci sono verifiche che tengano conto del carico d'acqua oltre che la pressione dei terreni per fornire un dimensionamento della TBM e della spinta massima agente. Data la criticità di questo punto, in relazione alla fattibilità delle gallerie, anche nel livello di progettazione oggetto di valutazione sarebbe opportuna una valutazione più accurata.</i></p>	<p>Si chiarisce che la pressione dell'acqua a grande profondità non è stata considerata perché non si intende controbilanciarla con la TBM. Si accetta, come prassi, l'instaurazione di condizioni idrodinamiche nell'intorno del fronte sia che si avanzi con fronte chiuso, sia con fronte aperto. Le portate al fronte sono gestibili data la bassa permeabilità degli ammassi.</p> <p>Pertanto, le analisi a grande profondità sono state effettuate nelle condizioni di avanzamento a camera chiusa con una spinta massima corrispondente ad una pressione al fronte non superiore a 5 bar. Ciò premesso si confermano le analisi svolte.</p>	<p><a href="#">10.2 Metodo di scavo meccanizzato - valutazioni delle contropressioni da applicare al fronte</a></p>
<p><b>N.4</b></p> <p><i>La riduzione dei carichi idraulici viene affidata ai drenaggi o alla bassa permeabilità dei terreni. Queste verifiche vanno adeguatamente e dettagliatamente approfondite nelle fasi di progettazione successive con particolare attenzione alle zone con permeabilità maggiore, per esempio nei sovrascorrimenti.</i></p>	<p>Il carico idraulico si abbatte lasciando che si instauri il moto di filtrazione al fronte. Nelle tratte a bassa permeabilità che, secondo lo studio geologico sono prevalenti lungo il percorso, ciò comporta l'afflusso di basse portate facilmente gestibili. Per affrontare zone a permeabilità maggiore, attese solo in situazioni singolari, si prevede che le TBM siano predisposte e dotate di scudi muniti di attrezzature per l'esecuzione delle perforazioni e dei drenaggi su tutto il contorno dello scavo.</p> <p>Per lo scavo in tradizionale sono previsti i consueti drenaggi dal fronte.</p> <p>La progettazione esecutiva comprenderà procedure in corso d'opera di avanzamento con drenaggi.</p>	<p>--</p>

## N.5

*Permangono dubbi in relazione all'iniettabilità di alcune formazioni a bassa permeabilità (per la mitigazione dei rischi nello scavo dei by-pass e per l'impatto sul corpo idrico sotterraneo). Argomento che deve essere approfondito in particolare se i by-pass vengano a posizionarsi in condizioni in cui siano presenti interferenze significative con l'idrogeologica sotterranea.*

*La realizzazione dei by-pass che entra nel percorso critico richiede un approfondimento specifico in relazione alle condizioni idrogeologiche.*

Si chiarisce che, come per le gallerie, l'interferenza dei by-pass con le risorse idriche non riguarda la fase esecutiva di scavo perché limitata nel tempo e nello spazio. La inter-distanza tra due by-pass di 500m attenua ulteriormente l'intensità dell'interazione con i bacini idrici.

Analogamente alle gallerie di linea, l'intasamento al contorno dei by-pass mediante iniezione di permeazione si rende necessario solo se il terreno o la roccia possono dar luogo a portate elevate in caso di elevata permeabilità. Come si evince dallo studio geologico e dalle prove eseguite nei fori di sondaggio, i terreni e le rocce attraversati presentano prevalentemente basse permeabilità (minori di  $10^{-6}$  m/s)

Se localmente le permeabilità sono più alte, appare evidente che l'iniezione per mezzo di tubi a valvola è realizzabile ed efficace. In ogni caso in presenza di terreni permeabili, l'intervento principale per contrastare le pressioni e le venute d'acqua, durante lo scavo dei by-pass è, come per le gallerie, il drenaggio.

Se si dovessero affrontare situazioni di terreno poco permeabile e di scarse caratteristiche meccaniche (coesione bassa) per le quali il rinforzo con elementi strutturali in VTR non fosse sufficiente, sarà sempre possibile ricorrere (a scopo di consolidamento) al claquage mediante iniezioni selettive con tubi a valvole con miscele cementizie, oppure ricorrere a miscele chimiche più permeanti.

[10.3 Metodo di scavo tradizionale](#)

	<p>Per la fase di esercizio, si conferma che i rivestimenti definitivi dei by-pass verranno impermeabilizzati con membrana full round e con water stop nei giunti.</p>	
<p><b>N.6</b>  <i>Rischio degli ammassi spingenti. Viene indicato negli elaborati delle gallerie tratte moderatamente spingenti (nella "Relazione tecnica delle opere in sotterraneo" per entrambi i lotti). Vengono anche indicati, per entrambi i lotti, tratte per le quali è presente il rischio di bloccaggio delle macchine con valori calcolati di spinta superiori a quelli massimi previsti per le macchine delle indicazioni sulle tecniche per la mitigazione di questo rischio. Data la criticità di questo punto sarebbe opportuno un approfondimento in relazione all'efficacia delle varie tecniche dandone le priorità.</i></p>	<p>Si chiarisce che l'indicazione di "bloccaggio" si riferisce, alla possibilità che esso accada in assenza di provvedimenti specifici.</p> <p>Il superamento di 150MN di spinta di sbloccaggio si verifica solo in tre sezioni di calcolo. 2 per il lotto 1B e 1 per il lotto 1C. In due sezioni i calcoli preliminari indicano una spinta di sblocco di 160 e in un'altra di 200 MN.</p> <p>Recenti esperienze dimostrano che le TBM posso essere prodotte con spinte di sbloccaggio anche superiori a 150MN. Quindi, qualora nell'approfondimento di calcolo delle successive fasi di progetto sia confermato il rischio di intrappolamento, sarà possibile ricorrere per le gallerie che attraversano queste sezioni a TBM con prestazione maggiore di 150 MN. Possono essere adottati, in aggiunta o in combinazione, altri provvedimenti elencati in progetto (sovrascavi maggiori, conicità di scudo, iniezioni di bentonite tra scudo e superficie di scavo) <u>Il rischio è quindi gestibile.</u></p> <p>A supporto della fattibilità, in relazione si riportano le caratteristiche della TBM della galleria Orsara e Hirpinia sulla Napoli-Bari in via di esecuzione che presentano alti valori di spinta di sbloccaggio, di sovrascavi e conicità.</p>	<p><a href="#">10.2 Metodo di scavo meccanizzato - Spinte di avanzamento TBM e predimensionamento conci</a></p>

<p><b>N.7</b></p> <p><i>Non è chiaro come venga determinata la spinta massima della macchina (150.000 kN) in relazione alla pressione in camera (che deve essere indicata sia per le basse coperture che per le alte coperture). Analogamente non è chiaro come si determini la pressione dovuto all'azione quando vengono utilizzati utensili da terreno come, per esempio, i ripper.</i></p>	<p>Si chiarisce che il valore di 150 MN rappresenta un dato adottato come prestazione massima della TBM a cui attingere nell'evenienza di "blocco" dello scudo. È un dato che fa riferimento alle prestazioni medie di TBM attualmente operative o in fase di progettazione di appalti di gallerie ferroviarie a singolo binario.</p> <p>Tale dato è stato confrontato con i valori di spinta necessari all'avanzamento della macchina derivanti dal calcolo che tiene conto dei seguenti contributi: pressione al fronte, attrito tra lo scudo e l'ammasso a tergo, forza da esercitare per utensili di scavo, forza di attrito delle spazzole.</p> <p>Si chiarisce, inoltre, che nel calcolo della spinta massima è stata considerata la pressione in camera derivante dalle verifiche di stabilità del fronte per gallerie superficiali e quella derivante dalle verifiche di deformabilità per le gallerie profonde. Tale pressione è per lunghi tratti nulla, avendo le gallerie comportamento di tipo stabile.</p>	<p><a href="#">10.2 Metodo di scavo meccanizzato - Spinte di avanzamento TBM e predimensionamento conci</a></p>
<p><b>N.8</b></p> <p><i>Condizionamento dei terreni l'approfondimento degli studi porta a concludere che "E" confermato, quindi, l'uso dei polimeri con funzione anticlogging o addensante per alcune formazioni." La soluzione a questo problema viene demandato a studi specifici su altre formazioni sviluppati da CNR/POLITO che non sono allegati al progetto. Il rischio di stickness è anche confermato dai diagrammi tratti dal DAUB, in cui sono riportate le granulometrie</i></p>	<p>Si conferma che sono già state eseguite prove di condizionamento e di tipo tossicologico con agenti contenenti polimeri su terreni simili. Si citano:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• i lotti Hirpinia - Orsara e Orsara-Bovino della linea ferroviaria Napoli Bari,</li> <li>• i lotti 1-2, 3 e 4a-4b della linea ferroviaria Palermo Catania</li> <li>• la linea Avigliana Orbassano della linea ferroviaria Torino-Lione.</li> </ul>	<p><a href="#">10.2 Metodo di scavo meccanizzato - Cenni sul condizionamento per lo scavo con EPB</a></p>

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

<i>misurate. L'uso di polimeri deve essere studiato e ben approfondito nelle fasi successive di progettazione. Nel caso si operi a camera piena nei calcari il condizionamento dei chip è garantito in relazione alla capacità di contrasto della contropressione dell'acqua.</i>	Si conferma che lo studio dell'uso dei polimeri sarà approfondito nelle fasi successive di progettazione.	
---	---	--

Per effetto delle osservazioni della Commissione Speciale è stata aggiornata solo la presente relazione. I restanti elaborati restano invariati.

## 2 NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018, “Aggiornamento delle Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°7 del 21/01/2019, “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al DM 14/01/2018”.
- Rif. [3] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- Rif. [4] Regolamento (UE) N° 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del sistema ferroviario dell’Unione europea, rettificato dal Regolamento (UE) 2016/912 del 9 giugno 2016 e modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Rif. [5] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;
- Rif. [6] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 D “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili” (20/12/2019);
- Rif. [7] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 E “Manuale di Progettazione delle opere civili” (31/12/2020);
- Rif. [8] Italferr, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” (Dicembre 2015).

## 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Rif. [9] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).
- Rif. [10] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche - Elaborati Specialistici, Luglio 2023;
- Rif. [11] U.O. Impianti - Elaborati Specialistici, Luglio 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] 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. [15] Bolton M.D. (1986) "The strength and dilatancy of sands" *Geotechnique*, 36(1), 65-78;
- Rif. [16] 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. [17] 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. [18] 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. [19] Ohta, Y., Goto, N. (1978): "Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristic Soil Indexes," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 6;
- Rif. [20] 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. [21] 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. [22] Marinos P., Hoek E. (2000). GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proc. GeoEng 2000 Conference, Melbourne.
- Rif. [23] Bieniawski Z.T. (1989). Engineering rock mass classification. John Wiley and Sons, New York.
- Rif. [24] 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. [25] 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.
- Rif. [26] Bruschi A. (2004). *Meccanica delle rocce nella pratica geologica ed ingegneristica*, (ed. D. Flaccovio), 76-81.
- Rif. [27] Maidl B, Herrenknecht M., Maidl U., Wehrmeyer G. (2012). *Mechanised Shield Tunnelling*. Ernst and Sons, Berlino.
- Rif. [28] Jethwa J.L., Sing B. (1984). Estimation of ultimate rock pressure for tunnel linings under squeezing rock conditions – a new approach. Brown E.T., Hudson J.A. (Eds.), *Design and performance of underground excavations*, ISRM Symposium, Cambridge, London.

#### 4 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO



LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA  
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA  
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA  
LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO  
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	12 di 214

- Rif. [29] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07PZGA0100001B “Galleria Caterina binario pari GN01 – Imbocco lato Reggio Calabria – Planimetria, profilo longitudinale e sezione galleria artificiale” (Luglio 2023).
- Rif. [30] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07PZGA0200001A “Galleria Sicignano GN02 – Imbocco lato Reggio Calabria – Planimetria, profilo longitudinale e sezione galleria artificiale” (Dicembre 2021).
- Rif. [31] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07PZGA0300001B “Interconnessione pari Romagnano 2 GN03 – Imbocco lato Potenza – Planimetria, profilo longitudinale e sezione galleria artificiale” (Luglio 2023).
- Rif. [32] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07PZGA0400001A “Galleria Auletta GN04 – Imbocco lato Salerno – Planimetria, profilo longitudinale e sezione galleria artificiale” (Dicembre 2021).
- Rif. [33] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07PZGA0500001B “Galleria Auletta GN04 – Imbocco lato Reggio Calabria – Planimetria, profilo longitudinale e sezione galleria artificiale” (Luglio 2023).
- Rif. [34] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07F4GN0000001B “Profilo geotecnico – Tav. 1 di 5” (Luglio 2023).
- Rif. [35] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07F4GN0000002B “Profilo geotecnico – Tav. 2 di 5” (Luglio 2023).
- Rif. [36] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07F4GN0000003B “Profilo geotecnico – Tav. 3 di 5” (Luglio 2023).
- Rif. [37] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07F4GN0000004B “Profilo geotecnico – Tav. 4 di 5” (Luglio 2023).
- Rif. [38] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07F4GN0000005B “Profilo geotecnico – Tav. 5 di 5” (Luglio 2023).
- Rif. [39] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07WBG0000001A “Scavo meccanizzato – Sezioni tipo di intradosso” (Dicembre 2021).
- Rif. [40] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07PZGN0200001A “Scavo tradizionale – Sezioni tipo di intradosso” (Dicembre 2021).
- Rif. [41] U.O. Gallerie, documento n° RC2AC1R07PZGN0300001A “Camerone di interconnessione dispari – Pianta e sezioni tipo di intradosso” (Dicembre 2021).
- Rif. [42] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07WBG0000003B “Scavo meccanizzato – Sezioni tipo di avanzamento e carpenteria anello” (Luglio 2023).
- Rif. [43] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07WBG0000004A “Scavo tradizionale - Carpenteria, scavo e consolidamenti” (Dicembre 2021).
- Rif. [44] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07WBG0200001A “Camerone di interconnessione – Scavo e consolidamenti” (Dicembre 2021).
- Rif. [45] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07WBG0200002A “Camerone di interconnessione – Carpenteria” (Dicembre 2021).

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>	<b>COMMESSA</b> RC2A	<b>LOTTO</b> B1	<b>CODIFICA</b> R07RH	<b>DOCUMENTO</b> GN000001	<b>REV.</b> C

- Rif. [46] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07PZGN0000001B “Consolidamento con protesi - Planimetrie, profili longitudinali e sezioni” (Luglio 2023).
- Rif. [47] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07WBG0000005A “Uscite/accessi pedonale di emergenza e collegamenti trasversali – Carpenteria, scavo e consolidamenti” (Dicembre 2021).
- Rif. [48] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07LZGN1000001A “Interconnessione pari Romagnano 2- Piante e sezioni” (Dicembre 2021).
- Rif. [49] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07L5GN1100001B “Interconnessione pari Romagnano 2- Uscita/accesso pedonale GN10- Planimetria e profilo di tracciato” (Luglio 2023).
- Rif. [50] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07L5GN0300001B “Interconnessione pari Romagnano 2- Uscita/accesso pedonale GN11- Planimetria e profilo di tracciato” (Luglio 2023).
- Rif. [51] U.O. Gallerie, documento n° RC2AB1R07WBG0000006A “Collegamenti trasversali di esodo - Piante e sezioni” (Dicembre 2021).

## 5 ALLEGATI

Non presenti.

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

## 6 DESCRIZIONE DELL'OPERA

### 6.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

Il tracciato del lotto 1B si estende complessivamente per circa 50 km tra Romagnano a Buonabitacolo.

In questa tratta sono presenti 5 gallerie naturali ferroviarie, di cui 3 appartengono alla nuova linea AV Salerno - Reggio Calabria e 2 ai rami di interconnessione per Potenza. I deviatori di bivio di interconnessione sono posti in galleria naturale dando luogo a due cameroni di diramazione.

Il lotto 1B comprende il completamento delle opere di interconnessione con Potenza e il proseguimento della linea SA-RC fino a Buonabitacolo. Esso prende inizio nella zona di Romagnano dove il lotto 1A termina con l'interconnessione della linea diretta a Potenza. Come meglio specificato nel §6.3, le fasi funzionali dei lotti 1A e 1B prevedono:

- 1A: Collegamento da Battipaglia a Romagnano con interconnessione del solo binario dispari alla linea verso Potenza,
- 1B: Interconnessione del binario pari con Potenza e prosecuzione fino a Buonabitacolo della linea AV SA-RC.

Pertanto, nella parte iniziale, il lotto 1B prevede il completamento delle opere di interconnessione verso Potenza mediante la realizzazione di un camerone (sul binario dispari) e di un ramo di interconnessione (binario pari). Ciò premesso, il numero di gallerie naturali da realizzare nel lotto 1B è 4 (3 gallerie di linea e 1 ramo di interconnessione).

Le gallerie di linea AV sono tutte a doppia canna singolo binario. Nella zona di Romagnano, si tratta di 2 gallerie da completare (come illustrato nel seguito nel §6.3 perché già, in parte, eseguite nel lotto 1A. Dopo Romagnano, fino al vallo di Diano, è prevista una lunga galleria (a doppia canna) di circa 15.5 km.

Le gallerie si estendono per circa 20 km, che corrispondono a circa il 40% della lunghezza del tracciato.



Figura 1 Tracciato lotto 1B

Il tracciato delle gallerie ha velocità di progetto di 300 km/h, eccetto i rami di interconnessione le cui deviate hanno velocità di 100 km/h.

L'andamento altimetrico del tracciato è tale da evitare punti di minimo ("corde molli") in galleria. L'allontanamento delle acque in fase di esercizio è assicurato, quindi, in tutte le gallerie, naturalmente verso gli imbocchi. L'inclinazione massima non è superiore allo 1,8%. Il raggio di curvatura del tracciato in galleria è generalmente di 5500 e 6000 m, ad eccezione del tratto di interconnessione per Potenza dove si riduce a 800 m.

Le gallerie sono tutte a singolo binario in configurazione doppia canna, eccetto il ramo di interconnessione. L'interasse tra le canne varia tra 15 m in corrispondenza degli imbocchi fino ad un massimo di circa 46 m. La galleria più lunga misura circa 15,5 km.



**Figura 2 Profilo altimetrico delle gallerie naturali di linea (b.p.)**

Nella Tabella 1 sono elencate le gallerie previste nel lotto 1B con rispettivo codice di WBS. Progressive e lunghezze sono riferite al tratto in naturale al netto delle gallerie artificiali d'imbocco.

**Tabella 1 Elenco delle gallerie naturali del Lotto 1B**

WBS	Gallerie di linea	PK iniziale	PK finale	Lunghezza (m)	Copertura massima (m)	Configurazione
GN01	Galleria naturale Caterina completamento b.p.	1+739	2+715	976	80	Galleria a semplice binario – scavo tradizionale
GN02-A	Galleria naturale Sicignano completamento b.p.	3+752	4+963	1.211	90	Galleria doppia canna – scavo meccanizzato
GN02-B	Galleria naturale Sicignano completamento b.d.	0+294	1+197	903	78	Galleria doppia canna – scavo meccanizzato
GN02-C	Camerone di interconnessione dispari	0+000	0+294	294	68	Camerone
GN03	interconnessione pari Romagnano 2	0+234	2+247	2.013	80	Galleria a semplice binario – scavo meccanizzato
GN04-A	Galleria naturale Auletta (b.p.)	6+307	21+787	15.480	515	Galleria doppia canna – scavo meccanizzato



LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA  
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA  
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA  
LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO  
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	17 di 214

GN04-B	Galleria naturale Auletta (b.d.)	2+642	18+06 7	15.425	521	Galleria doppia cana – scavo meccanizzato
--------	-------------------------------------	-------	------------	--------	-----	---

In totale lungo linea sono previsti circa 36 km di gallerie ferroviarie a semplice binario (di cui circa 31 km appartengono alle due canne della galleria Auletta e i restanti 5 km al completamento delle gallerie in zona Romagnano) e un camerone di diramazione di 267 m. Per il 97% della lunghezza delle gallerie è previsto il ricorso allo scavo meccanizzato.

Alle gallerie di linea si aggiungono le gallerie di uscita di emergenza pedonali (§6.5) per una lunghezza complessiva di 465 m circa, eseguite in scavo tradizionale.

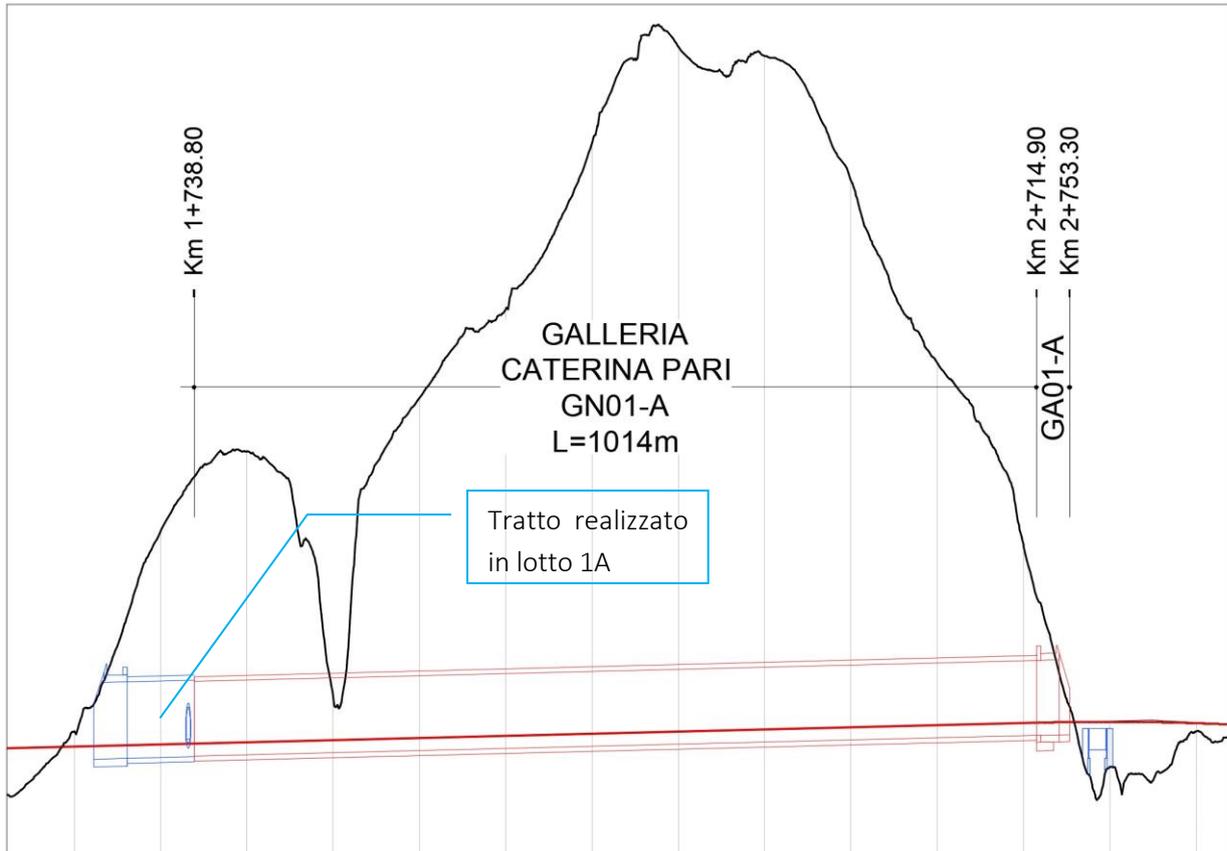
Nel seguito si riportano brevemente per ciascuna galleria, a partire dal lato Salerno, i principali dati di posizionamento plano-altimetrico sul tracciato e le lunghezze delle gallerie artificiali di imbocco. Segue poi una breve descrizione delle sezioni tipo di intradosso.

#### **Galleria Caterina (GN01)**

La galleria ha configurazione doppia canna. Lo scavo della canna dispari e di un tratto della canna pari è previsto nel lotto 1A. Pertanto, in questo lotto ricade il completamento della canna pari, come descritto in dettaglio al §6.2.

La galleria del binario pari si sviluppa tra le progressive km 1+739 e km 2+753 (imbocco lato Reggio Calabria) per una lunghezza complessiva in sotterraneo (comprensiva della galleria artificiale di imbocco) pari a 1014 m, in quanto, circa 100m, a partire dall'imbocco lato Battipaglia, sono previsti nel lotto 1A.

Partendo dall'imbocco lato Salerno, posto ad una quota di 194 m s.l.m., il tracciato procede in salita con pendenza del 2,5 %. La copertura massima è di circa 80 metri (Figura 3).


**Figura 3 Profilo galleria Caterina (b.p.)**

La porzione di binario pari della galleria Caterina da realizzare nel lotto 1B è costituita da un tratto in naturale di 976 m e da un tratto in artificiale, in corrispondenza dell'imbocco lato Reggio Calabria, di lunghezza pari a 38 m.

**Tabella 2 Progressive della galleria Caterina (b.p.)**

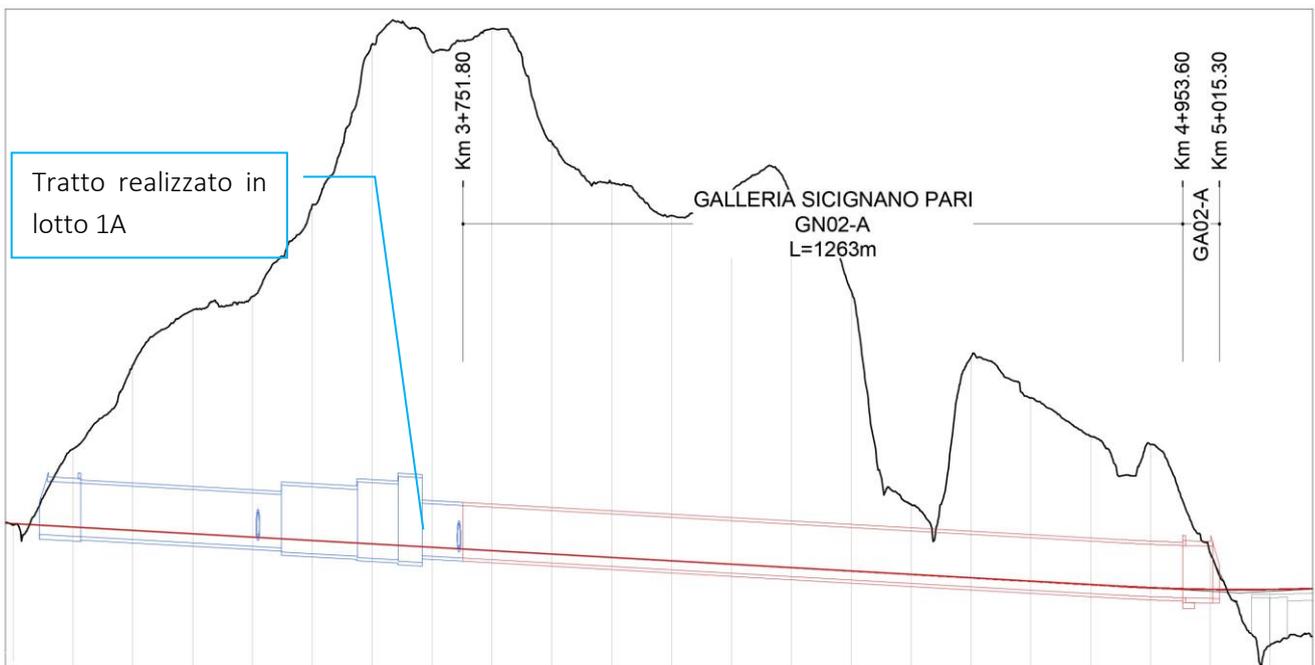
Opera	pk <sub>inizio</sub>	pk <sub>fine</sub>	L <sub>parziale</sub>	LTOT
	[m]	[m]	[m]	[m]
Galleria artificiale lato Salerno	Realizzata nel lotto 1A			1014
Galleria Naturale (porzione di GN01-A)	1+739	2+715	976	
Galleria artificiale lato Reggio Calabria (GA01-A)	2+715	2+753	38	

### Galleria Sicignano (GN02)

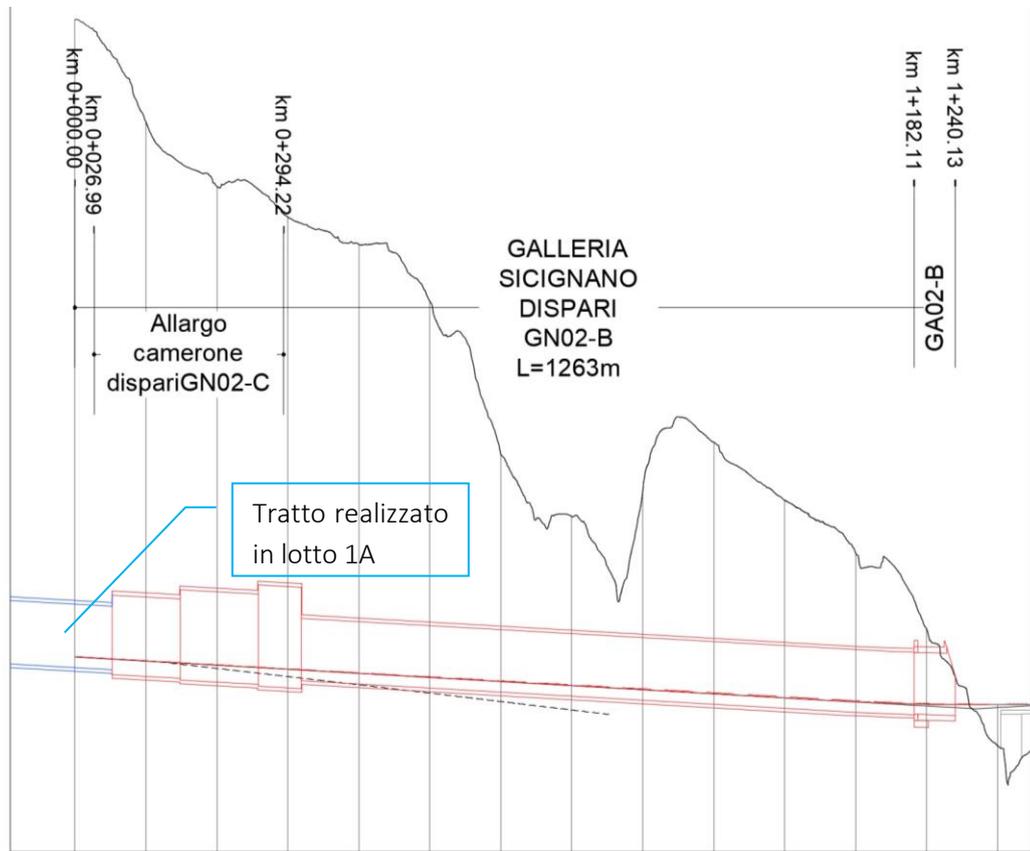
La galleria ha configurazione doppia canna. Entrambe le canne sono già parzialmente realizzate nel lotto 1A (a partire dall'imbocco lato Salerno fino ai bivi di interconnessione), come descritto in dettaglio al §6.2.

Per il binario pari, il tratto di galleria da completare si sviluppa tra le progressive di tracciato km 3+752 e km 5+015 (imbocco lato Reggio Calabria) per una lunghezza complessiva in sotterraneo pari a 1264 m. Per il binario dispari, la galleria da completare si sviluppa tra le progressive di tracciato km 0+294 e km 1+240 (imbocco lato Reggio Calabria), per una lunghezza complessiva in sotterraneo pari a 946 m.

Partendo dall'imbocco lato Salerno, già realizzato, posto ad una quota di 199 m s.l.m. sul b.p., il tracciato procede in discesa con pendenza del 5,69 ‰. La copertura massima è di circa 90 metri (Figura 4 e Figura 5).



**Figura 4 Profilo galleria Sicignano (b.p.)**


**Figura 5 Profilo galleria Sicignano (b.d.)**

La tratta della galleria lungo il binario pari è composta da un tratto in naturale di 1211 m e da un tratto in artificiale, in corrispondenza dell'imbocco lato Reggio Calabria, di lunghezza pari a 53 m. Lungo il binario dispari è costituita da un tratto in naturale di 903 m e da un tratto in artificiale, in corrispondenza dell'imbocco lato Reggio Calabria, di lunghezza pari a 43 m.

**Tabella 3 Progressive della galleria Sicignano (b.p.)**

Opera	pk <sub>inizio</sub>	pk <sub>fine</sub>	L <sub>parziale</sub>	L <sub>TOT</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m]
Galleria artificiale lato Salerno	Realizzata nel lotto 1A			1264
Galleria Naturale (porzione di GN02-A)	3+752	4+963	1211	
Galleria artificiale lato Reggio Calabria (GA02-A)	4+963	5+015	53	

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

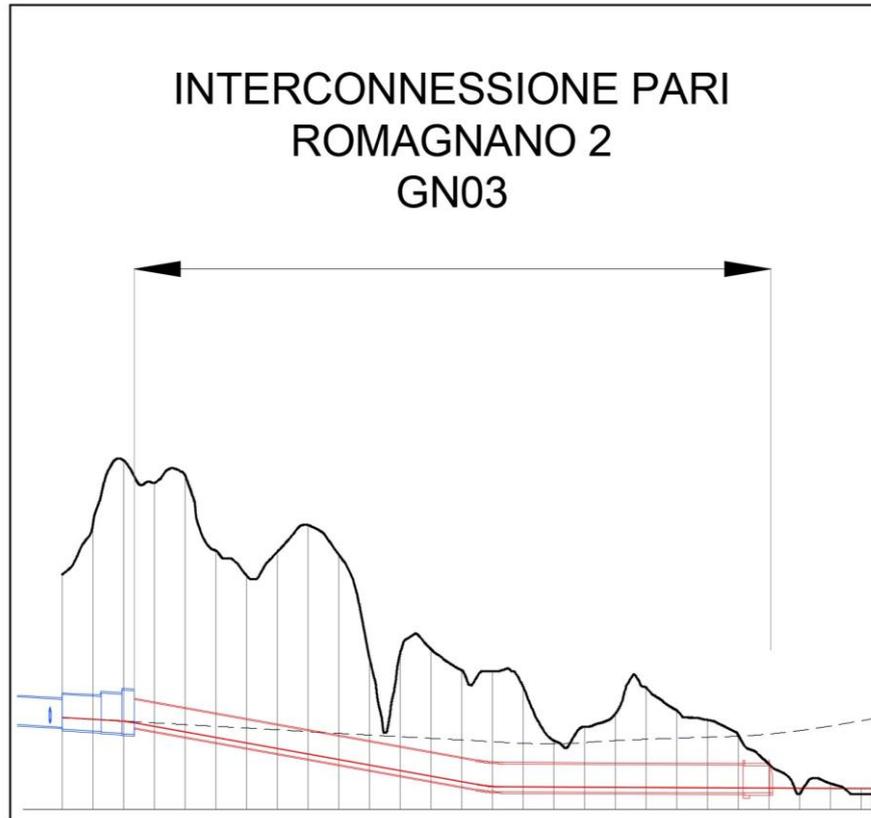
**Tabella 4 Progressive della galleria Sicignano (b.d.)**

Opera	$pk_{inizio}$	$pk_{fine}$	$L_{parziale}$	$L_{TOT}$
	[m]	[m]	[m]	[m]
Galleria artificiale lato Salerno	Realizzata nel lotto 1A			946
Galleria Naturale (porzione di GN02-B)	0+294	1+197	903	
Galleria artificiale lato Reggio Calabria (GA02-B)	1+197	1+240	43	

#### **Interconnessione pari – Romagnano 2 (GN03)**

La galleria di interconnessione pari verso Potenza si sviluppa tra le progressive di tracciato km 0+234 (partendo dal camerone di interconnessione pari realizzato nel lotto 1A) e km 2+294, per una lunghezza complessiva pari a 2060 m.

Partendo dalla galleria Sicignano b.p., il tracciato procede in discesa con pendenza del 18 % per circa 1155 m per poi proseguire sempre in discesa con pendenza dello 0,50 % per il restante tratto. La copertura massima è di circa 80 metri (Figura 6).



**Figura 6 Profilo galleria di interconnessione pari (Romagnano 2)**

La galleria di interconnessione pari Romagnano 2 è costituita da un tratto in naturale di 2013 m e da un tratto in artificiale, in corrispondenza dell'imbocco lato Potenza, di lunghezza pari a 47 m.

**Tabella 5 Progressive della galleria di interconnessione Romagnano 2**

Opera	$pk_{inizio}$	$pk_{fine}$	$L_{parziale}$	$L_{TOT}$
	[m]	[m]	[m]	[m]
Galleria Naturale (GN03)	0+234	2+247	2013	2060
Galleria artificiale lato Potenza (GA03)	2+247	2+294	47	

### Camerone di interconnessione (GN02-C)

Entrambi i deviatori di interconnessione per Potenza sono collocati in galleria (GN02 Sicignano) dando luogo a camerone di diramazione, di cui solo quello posizionato sul binario dispari sarà realizzato nel presente lotto 1B, (§6.2).

Il camerone dispari si sviluppa dal deviatoio fino alla progressiva in cui i binari raggiungono l'interasse di 13 m. Sono previste tre sezioni di intradosso di ampiezza crescente, rispettivamente della lunghezza di 123 m, 91 m e 53,5 m. La copertura massima è di circa 68 m. Il camerone sarà realizzato demolendo il tratto di galleria dispari in esso compreso, realizzato per la prima fase funzionale del lotto 1A, dopo aver spostato l'esercizio sul binario pari.

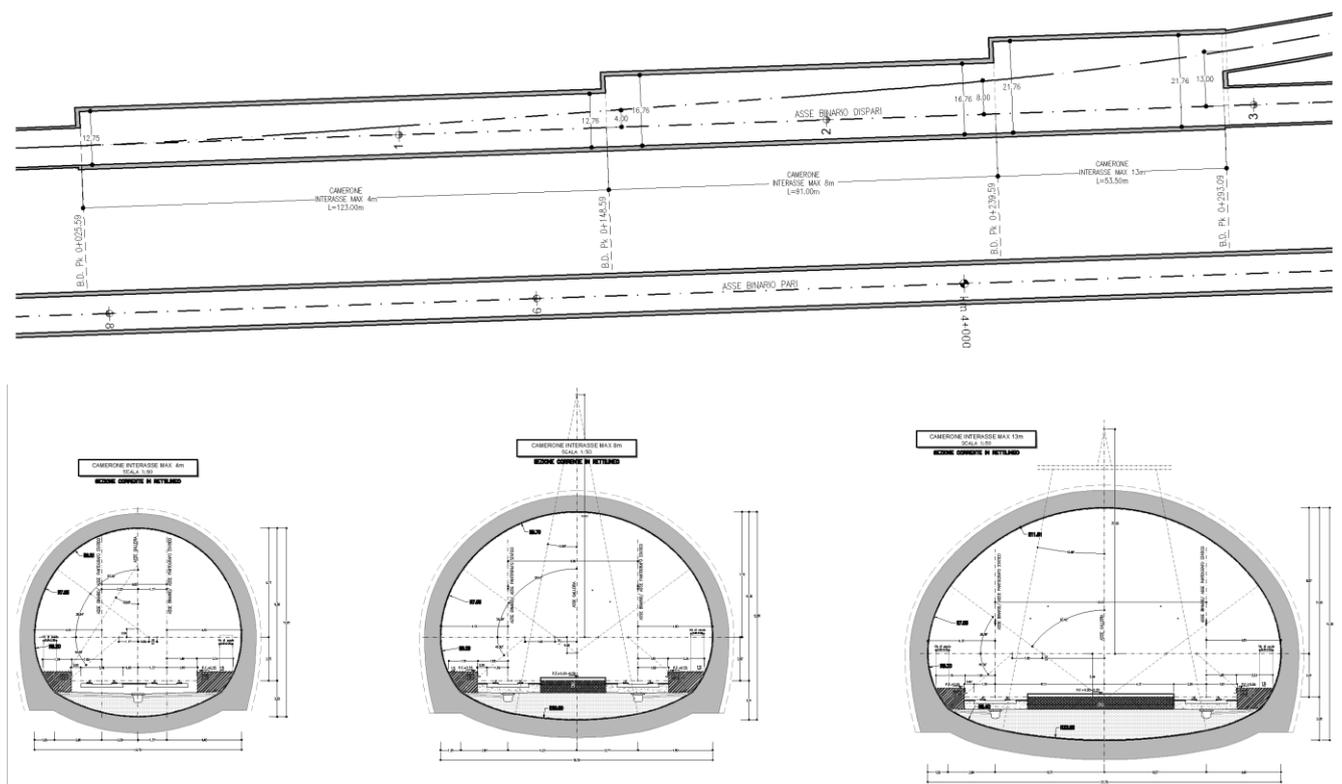


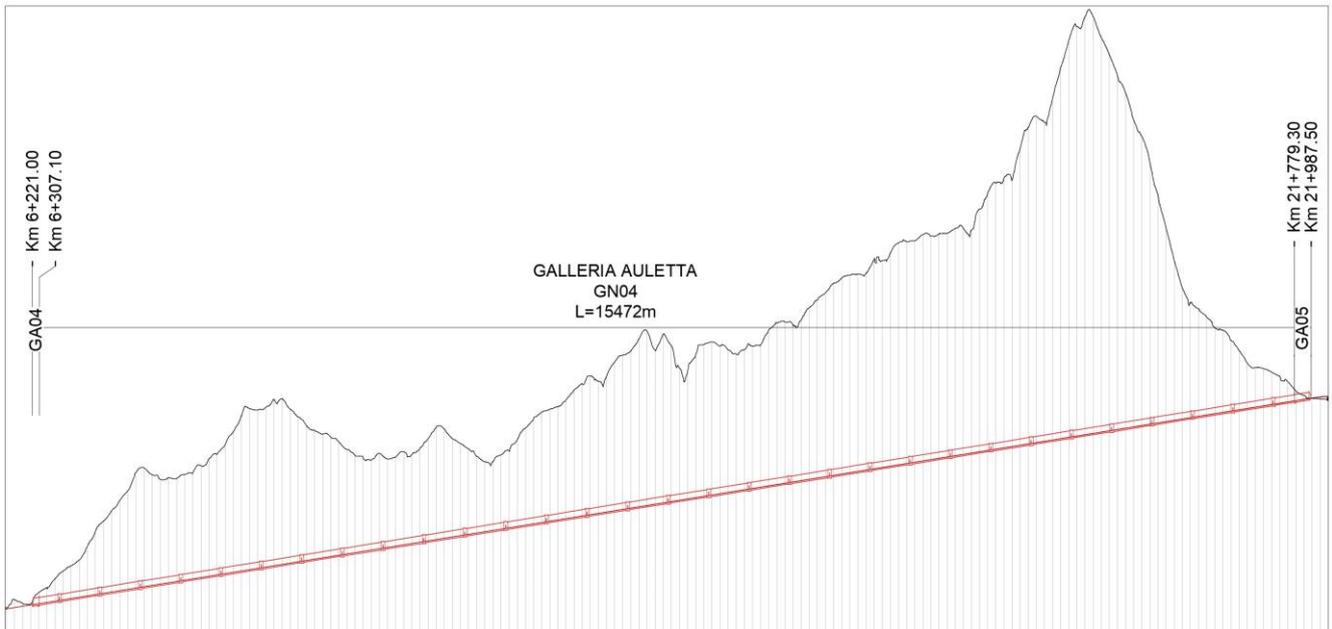
Figura 7 Camerone di interconnessione

### Galleria Auletta (GN04)

La galleria, a doppia canna, è la più lunga del lotto. Si sviluppa tra le progressive di tracciato km 6+188 (imbocco lato Salerno) e km 21+927 (imbocco lato Reggio Calabria) sul binario pari e tra le progressive di

tracciato km 2+462 (imbocco lato Salerno) e km 18+067 (imbocco lato Reggio Calabria) sul binario dispari, per una lunghezza complessiva in sotterraneo (comprensiva dei tratti artificiali di imbocco) pari rispettivamente a 15739 m e 15781 m.

Partendo dall'imbocco lato Salerno, posto ad una quota di 193 m s.l.m., il tracciato procede in salita con pendenza del 16,12 ‰. La copertura massima è di circa 521 metri (Figura 8).



**Figura 8 Profilo galleria Auletta b.p.**

Lungo il binario pari la galleria è costituita da un tratto in naturale di 15480 m e da due tratti in artificiale, in corrispondenza degli imbocchi, di lunghezza pari a 119 m per l'imbocco lato Salerno e pari a 140 m per l'imbocco lato Reggio Calabria (Tabella 6). Lungo il binario dispari la galleria è costituita da un tratto in naturale di 15425 m e da due tratti in artificiale, in corrispondenza degli imbocchi, di lunghezza pari a 216 m per l'imbocco lato Salerno e pari a 141 m per l'imbocco lato Reggio Calabria (Tabella 6 e Tabella 7).

**Tabella 6 Progressive della galleria Auletta b.p.**

Opera	$pk_{\text{inizio}}$	$pk_{\text{fine}}$	$L_{\text{parziale}}$	$L_{\text{TOT}}$
	[m]	[m]	[m]	[m]
Galleria artificiale lato Salerno (GA04-A)	6+188	6+307	119	15739
Galleria Naturale (GN04-A)	6+307	21+787	15426	
Galleria artificiale lato Reggio Calabria (GA05-A)	21+787	21+927	140	

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

**Tabella 7 Progressive della galleria Auletta b.d.**

Opera	pk <sub>inizio</sub>	pk <sub>fine</sub>	L <sub>parziale</sub>	L <sub>TOT</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m]
Galleria artificiale lato Salerno (GA04-B)	2+426	2+642	216	15781
Galleria Naturale (GN04-B)	2+642	18+067	15425	
Galleria artificiale lato Reggio Calabria (GA05-B)	18+067	18+207	141	

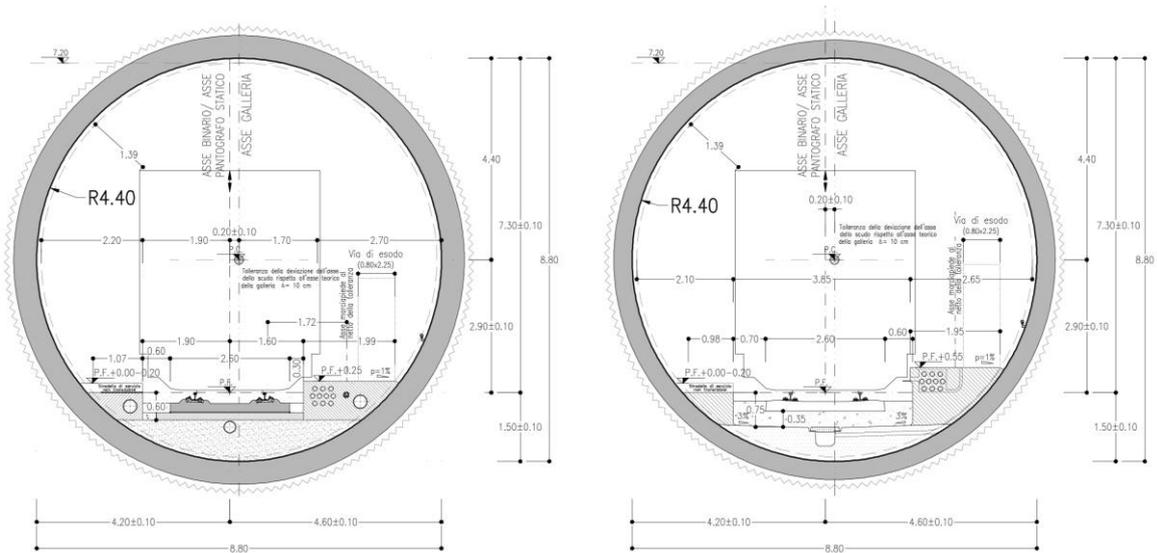
## 6.2 Sezioni tipo di intradosso

Le gallerie sono progettate per consentire il transito del Gabarit di tipo C con Profilo Minimo degli Ostacoli P.M.O.5. Le sezioni geometrico-funzionali idonee al transito del Gabarit di tipo C con velocità di progetto sino a 300 km/h sono state definite in accordo agli standard RFI per velocità  $250 < v \leq 300$  km/h (Manuale di Progettazione RFI, (Rif. [7])). Tutte le sezioni consentono l'alimentazione sia 3kV, sia a 25 kV. L'armamento è su piastra per la galleria lunga Auletta e di tipo tradizionale per tutte le altre.

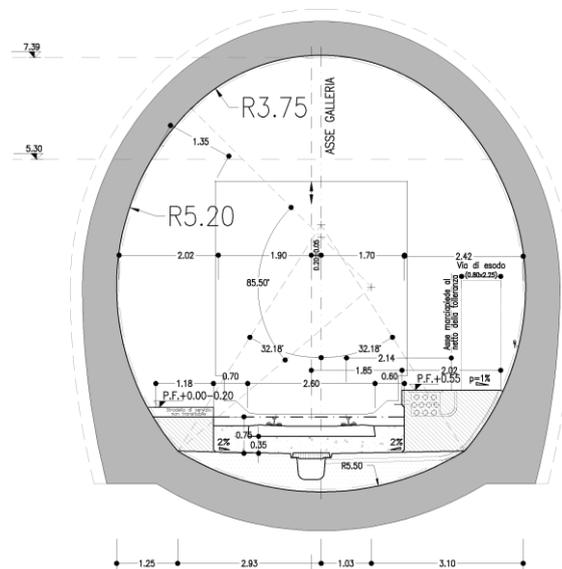
Per l'interconnessione pari, sebbene sia prevista una velocità di tracciato inferiore a 250 km/h, è stata adottata la medesima sezione di linea per continuità costruttiva con la galleria Sicignano da cui si dirama. Lo scavo verrà, infatti, effettuato con la stessa TBM.

Le sezioni di intradosso per le gallerie presentano un marciapiede d'esodo con andamento del ciglio variabile in funzione della geometria del binario attiguo sia nel caso di armamento tradizionale, sia non convenzionale. Nello specifico, nel caso di armamento tradizionale, l'altezza del ciglio risulta pari a +55 cm sul piano del ferro, misurata perpendicolarmente al piano di rotolamento del binario attiguo, mentre la distanza del ciglio dal bordo interno della più vicina rotaia, misurata parallelamente al piano di rotolamento, è pari a 113 cm (Rif. [7]). Nel caso di armamento su piastra, il ciglio del marciapiede si modica in relazione all'andamento del binario in modo da tenere costante la distanza di 90 cm dal bordo interno della rotaia più vicina.

Si riportano in Figura 9 e Figura 10 le sezioni di intradosso adottate per le gallerie di linea (Rif. [7]).



**Figura 9 Sezione di intradosso per gallerie a singolo binario in scavo meccanizzato (armamento su piastra e convenzionale)**



**Figura 10 Sezione di intradosso per gallerie a singolo binario in scavo tradizionale**

### 6.3 Le gallerie di interconnessione con Potenza e le fasi realizzative dei lotti

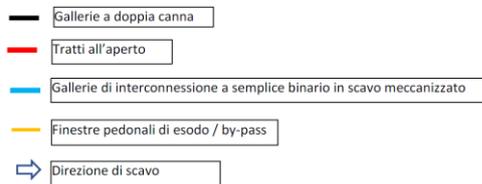
Le gallerie di interconnessione per Potenza si diramano dalla galleria Sicignano (GN02) attraverso due cameroni.

È prevista una prima fase di esercizio, a completamento delle opere del lotto 1A, in cui, a partire dalla galleria Caterina, i treni per Potenza percorrono solo il binario dispari. Pertanto, nell'ambito del lotto 1A, si realizzano solo le opere strettamente necessarie a questo scopo. Tra queste rientrano i due tratti iniziali delle gallerie pari Caterina e Sicignano anticipati per svolgere funzione di uscite di emergenza delle rispettive gallerie dispari. Il camerone di diramazione sul binario pari è anticipato nel lotto 1A perché ricadente nel percorso di esodo di emergenza.

Ciò premesso, il lotto 1B, nella zona di interconnessione Potenza, comprende la realizzazione del camerone dispari (dopo che l'esercizio sarà deviato temporaneamente sul binario pari), la realizzazione dell'interconnessione pari, il completamento delle gallerie Caterina (GN01) sul binario pari e della galleria Sicignano (GN02) sia sul binario pari, sia sul dispari. Nello schema di Figura 11 sono mostrate le fasi esecutive.

#### FASE 2: esecuzione opere lotto 1B

SCHEMA INTERCONNESSIONE ROMAGNANO



FASI:

##### Esercizio su binario dispari

1. scavo con TBM interconnessione pari e completamento scavo GN02 da imbocco lato Praja
2. in parallelo alla fase 1 scavo in tradizionale della GN01-B (canna pari)
3. Attrezzaggio

##### Esercizio su binario pari

4. Camerone dispari per allargo interconnessione dispari

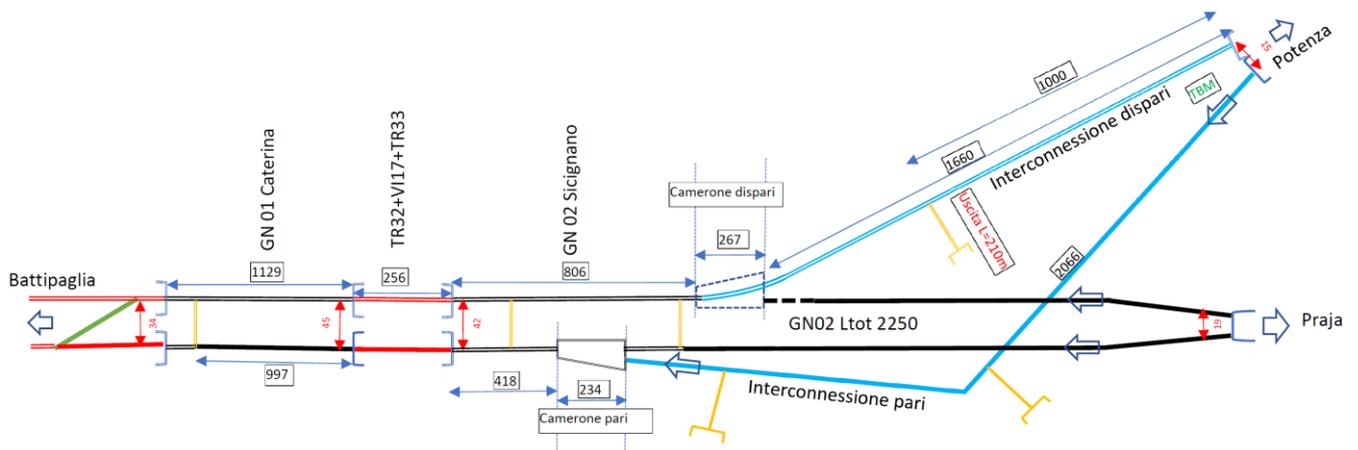
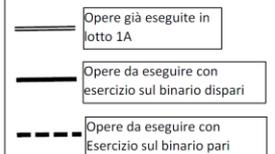


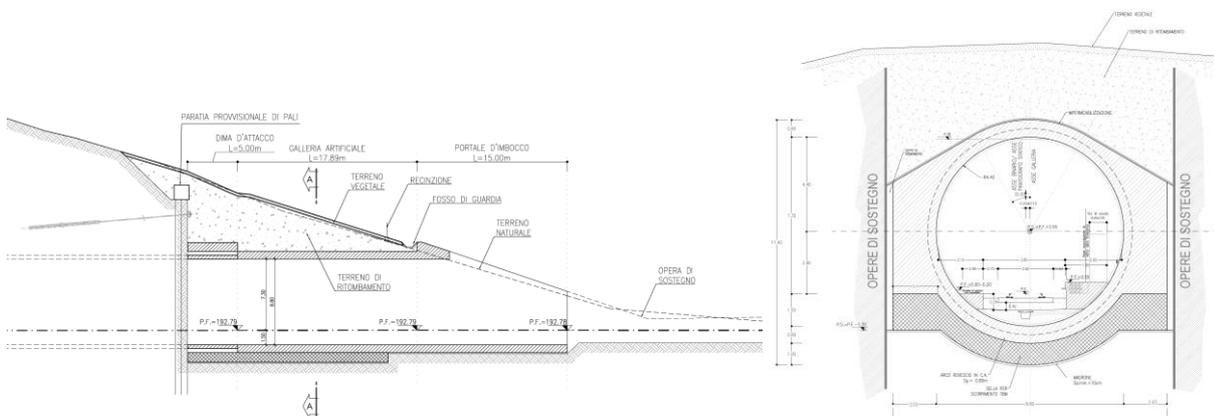
Figura 11 Schema gallerie di interconnessione -fase 2 Lotto 1B

## 6.4 Opere di imbocco

Le gallerie imboccano generalmente con una copertura di 5-6 m. Dalla sezione di imbocco la galleria prosegue in artificiale con il medesimo profilo di intradosso della galleria naturale fino a che la struttura si trova sotto la quota originaria della superficie. Le gallerie artificiali sono tutte previste a cielo aperto in scavi realizzati tra opere di sostegno. Il terreno di riporto tenderà a rimodellare la superficie con lo stesso andamento precedente agli scavi. Sono previsti portali di imbocco a becco di flauto per restituire, quanto più possibile, l'iniziale profilo della collina.

L'ampiezza degli scavi in senso trasversale al tracciato tiene conto anche degli ingombri necessari al montaggio delle TBM o alla loro traslazione/smontaggio in fase di uscita. Eccetto la dima di attacco, le gallerie artificiali saranno eseguite dopo la partenza o l'uscita delle TBM; per lo scavo tradizionale, dopo l'esecuzione della galleria naturale.

Per gli imbocchi con TBM, l'arco rovescio sarà modellato per permettere il montaggio e l'uscita degli scudi. Allo stesso scopo, nelle successive fasi progettuali verranno definite in dettaglio le opere di sostegno, in modo da non intralciare le suddette operazioni, preferendo il ricorso a tiranti e/o sostegni rigidi a sbalzo per evitare strutture con funzione di puntone.



**Figura 12 Profilo e sezioni di un imbocco per TBM**

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

## 6.5 Opere per la sicurezza in galleria

Nel rispetto della normativa vigente in tema di sicurezza passeggeri in galleria, lungo le gallerie a doppia canna è prevista la realizzazione di collegamenti trasversali (by-pass) ogni 500 m e lungo la galleria di interconnessione a semplice binario sono previste uscite di sicurezza pedonali a distanza minore di 1000 m.

Sono previsti dunque 35 bypass trasversali e 2 finestre di uscita di sicurezza pedonali.

Nella tabella seguente sono riportate per ogni galleria le lunghezze per le vie di esodo previste (Tabella 8).

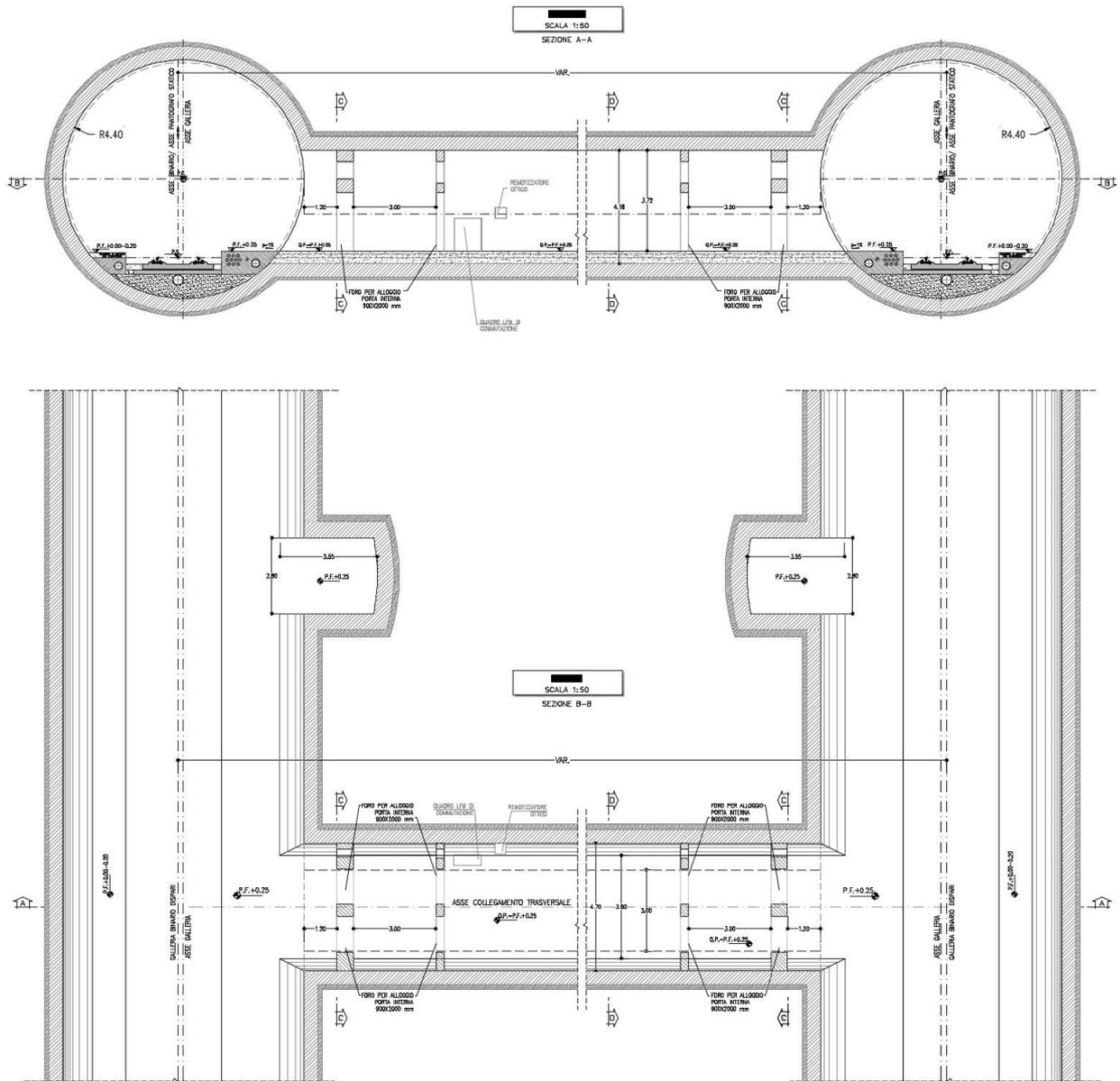
**Tabella 8 Uscite/accessi di emergenza pedonali**

<b>Vie di esodo</b>	<b>Lunghezza e numero</b>
Bypass – Galleria GN01 Caterina	(3 di cui 2 nel lotto 1B), L= 35m
Bypass – Galleria GN02 Sicignano	(4 di cui 2 nel lotto 1B), L= 30-17 m
Finestra di uscita di emergenza pedonale n° 1 della GN03 – Interconnessione pari Romagnano 2	271,3 m
Finestra di uscita di emergenza pedonale n° 2 della GN03 – Interconnessione pari Romagnano 2	192,4 m
Bypass – Galleria GN04 Auletta	31, L= 30 m

Sono previsti complessivamente circa 490 m di gallerie di emergenza pedonali e 1050 m circa di by-pass in scavo di tipo tradizionale. Gli innesti sono previsti sul lato del marciapiede.

In Figura 13 e Figura 14 sono rappresentate le uscite di sicurezza per il ramo di interconnessione pari Romagnano 2 ed i by-pass della galleria Caterina. I by-pass delle gallerie Sicignano ed Auletta sono simili, differenziandosi solo per l'armamento che condiziona l'altezza del marciapiede e per la sezione di intradosso che per alcuni tratti della galleria Caterina e Sicignano è policentrica (scavo tradizionale) (Rif. [49] e Rif. [50]).

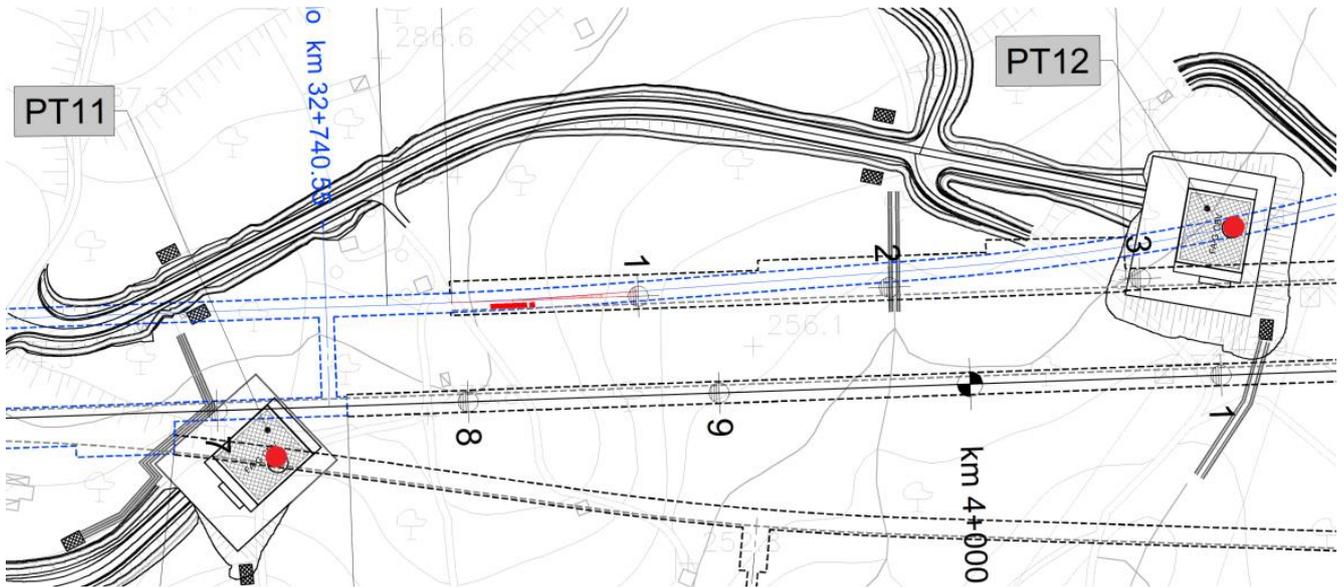




**Figura 14 By-pass tra le gallerie a doppia canna**

Rientrano tra le opere per la sicurezza in galleria i pozzi di sconnessione fumi previsti sui rami deviati di interconnessione subito dopo i cameroni di biforcazione (Figura 15). Saranno realizzati dall'alto con opere di sostegno e per sottomurazione. Sono profondi circa 70-75 m ed hanno una sezione minima di ventilazione di circa 40 m<sup>2</sup>.

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



Interconnessione Pari pk 0+275  
PT11

Interconnessione Dispari pk 0+315  
PT12

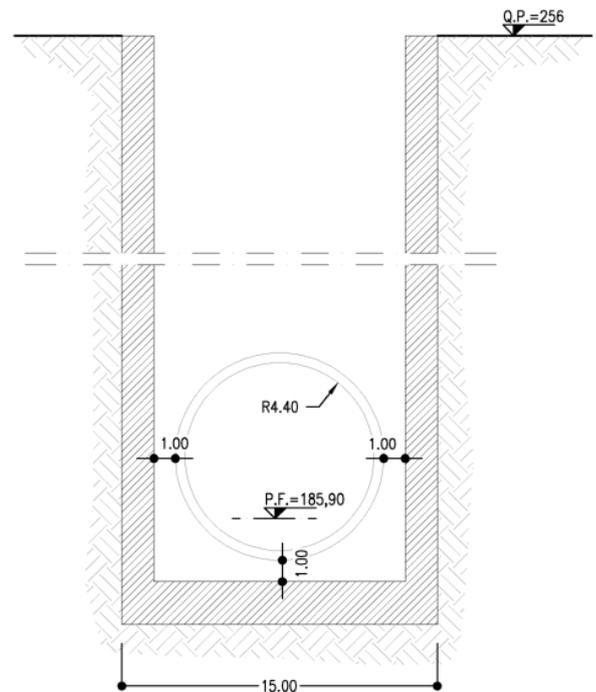
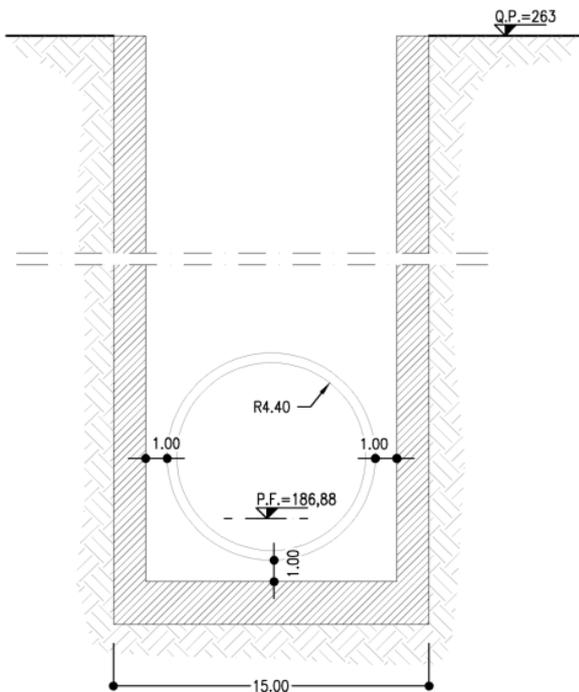


Figura 15 Pozzi disconnessione fumi

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

## 6.6 Opere tecnologiche

Le gallerie non sono dotate di nicchie di ricovero personale (Rif. [7]) ma esclusivamente di nicchie tecnologiche e per impianti, le cui dimensioni e collocazione saranno oggetto del successivo approfondimento progettuale.

## 6.7 Interferenze lungo il tracciato

Lungo il tracciato le gallerie attraversano un territorio scarsamente edificato. Non sono presenti edifici o strutture di interesse sopra la galleria nelle tratte con basse coperture.

Le uniche interferenze significative nel tratto iniziale sono rappresentate dal passaggio sotto l'autostrada E847 della galleria Sicignano con circa 11 m di ricoprimento intorno alla progressiva pk 4+850 b.p. (pk 1+110 b.d.) e della interconnessione pari Romagnano 2 con circa 25 m di ricoprimento alla pk 1+350.

Nel tratto finale la galleria Auletta intorno alla progressiva pk 21+650 (pk 17+930 b.d.) sotto-attraversa l'autostrada A2 con copertura di circa 20 m e nel tratto in artificiale alla pk 21+815 interferisce con la strada statale SS19.

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

## 7 METODOLOGIA DI LAVORO

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

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

## 8 FASE CONOSCITIVA

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

### 8.1 Il Modello geologico di riferimento

Metodi e risultati dello studio geologico sono illustrati e commentati negli elaborati specialistici di progetto (Rif. [10]). Si riporta di seguito una breve sintesi dei principali caratteri litologici e strutturali delle formazioni interessate dallo scavo della galleria.

Dal punto di vista geologico, le formazioni presenti nell'area interessata dal progetto possono essere distinte in 4 unità (l'unità tettonica della Valle del Sele, l'unità tettonica Alburno-Cervati-Pollino, l'unità tettonica dei Monti della Maddalena e l'unità sin- e post-orogene) e 3 depositi plio-quadernari del bacino del fiume Tanagro distinti in tre settori (settore di Bottiglieri, settore di Auletta e settore del Vallo di Diano), di seguito brevemente descritte.

- Unità tettonica della Valle del Sele:
  - Gruppo delle Argille Variegate (ALV, AVF, FMS):
    - Porzione inferiore prevalentemente argillosa: AVF Argille Varicolori Inferiori

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	35 di 214

- Porzione intermedia a dominante calcareo-marnosa: FMS Formazione di Monte S. Arcangelo
- Porzione superiore prevalentemente argillosa: ALV Argille Varicolori Superiori

Il Gruppo delle Argille Variegate è costituito da alternanze litologiche simili costituite da livelli marnosi-argillosi e da bancate di calcari e calcari marnosi. Generalmente in AVF ed ALV sono predominanti i livelli di marne, marne argillose e argille marnose mentre in FMS si riscontrano anche i calcari marnosi. Spesso non distinguibili tra loro, sono caratterizzati da struttura caotica e stratificazione indistinta. Potenza di varie centinaia di metri.

**AVF** (Cretacico superiore- Eocene medio superiore?, ambiente deposizionale di bacino marino profondo): argilliti grigio bruno, argilliti siltoso-marnose, argilliti quarzolitiche, argilliti scagliose solitamente molto tettonizzate con minori interstrati calcareo-marnosi. In sondaggio localmente caoticizzate. Possono presentarsi sotto 4 differenti litofacies, non distinte nell'ambito del progetto:

- Argilliti scagliose grigie, marne e calcari marnosi grigi, arenarie micacee laminate;
- Argille siltose e marnose grigio scuro con intercalazioni di calcari e calcari marnosi, torbiditiche;
- Argilliti siltoso-marnose bruno-rossastre e verdastre, alterate in piccole scaglie galestriformi;
- Argilliti silicee grigio-bruno, verdi e vinaccia, quarziti, diaspri e calcari siliciferi verdi e grigi.

**FMS** (Eocene superiore?, ambiente deposizionale marino bacinale): alternanze irregolari di bancate decimetrico-metriche di calcari marnosi avana, giallastri e grigiastri con sottili venature di calcite, argille marnose e argilliti; calcareniti avana, marne argillose bruno, marne siltose e areniti micacee.

Gli strati calcarei più massivi si intercalano alla frazione più fine costituita da livelli di argilliti e marne argillose, di spessore centimetrico a metrico. Questa alternanza si ritrova in tutta la formazione.

**ALV** (Aquitano, ambiente deposizionale di bacino marino profondo): argille bruno-rossastre con riflessi vinaccia cui si intercalano calcari e calcari marnosi bianco-giallastri in strati sottili. Stratificazione sottile e aspetto scagliettato. Presenti clasti, ciottoli e blocchi di calcari di dimensioni anche plurimetriche all'interno della frazione argillosa. Struttura caotica.

- Tufiti di Tusa TUT (non riconosciute in questo lotto).
- Unità tettonica Alburno-Cervati-Pollino:
  - Calcari Oolitici ed Oncolitici CDO (non riconosciuti in questo lotto)
  - Calcari con Cladocoropsis e Clypeina CCM (non riconosciuti in questo lotto)
  - Calcari con Requenie e Gasteropodi CRQ
  - Calcari a Radiolitidi RDT

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
		RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C

**CRQ** (Neocomiano-Cenomaniano): calcari grigi con numerosi gasteropodi tra cui requienie e radiolitidi generalmente ben stratificati. A seconda dell'area in cui affiorano si possono distinguere caratteri peculiari della formazione. Nell'area di Serra San Giacomo si ritrovano calcari più o meno dolomitici, micritici e pseudo-oolitici, in strati da 0,2 a 2 m di spessore. Nell'area del Vallo di Diano prevalgono calcari grigi in strati medi e spessi, con frequenti livelli ricchi di gasteropodi e requienidi, subordinati a calcari scuri in strati sottili, calcari dolomitici e dolomie da massive a laminate.

**RDT** (Turoniano-Senoniano): calcari fangosostenuti, calcareniti, calciruditi grigiastre, biancastre e avana, in strati da medi a spessi, talora sottili. Più raramente sono presenti calcari dolomitici.

- Unità tettonica dei Monti della Maddalena
  - Calcari biolitoclastici con rudiste CBI (non riconosciuti in questo lotto)
  - Calcari a Paleodasycladus CPL (non attraversati in questo lotto)
  - Dolomia Superiore DBS

**DBS** (Norico-Retico): dolomie grigie frequentemente tettonizzate che presentano caratteri diversi a seconda dell'area di affioramento. Nell'area che insiste sul Vallo di Diano sono costituite da dolomie cristalline grigie in strati e banchi tabulari, di frequente fratturate e/o cataclastiche.

- Unità sin e post-orogene del Tortoniano
  - Formazione di Monte Sierio SIE

**SIE** (Tortoniano sup.): argille marnoso-limose e limoso sabbiose grigio verdi e grigio scuro alternate a strati da sottili a medi di calcareniti e brecciole torbiditiche. Livelli metrici caotici, costituiti da conglomerati ed elementi poligenici in matrice argilloso-sabbiosa grigiastra.

- Depositi quaternari del bacino del fiume Tanagro
  - Settore di Bottiglieri:
    - Sintema di Bottiglieri BTL
    - Sintema di Palomonte PLM
    - Sintema di Bivio (Travertino di S. Maria di Sperlonga TSG (non riconosciuto in questo lotto) e Ghiaie di Cerreto RGC)
    - Sintema di S. Licandro LDC (non riconosciuto in questo lotto)

Unità clastiche plio-quaternarie distribuite in maniera discontinua.

**BTL-PLM** (Pliocene superiore-Pleistocene medio p.p, ambiente deposizionale da fluvio-lacustre a conoide torrentizio): nell'ambito del progetto i due sintemi sono stati raggruppati a causa dell'elevata similitudine compositiva e tessitura e dello scarso grado di affioramento. Sono distinte tre litofacies in funzione delle caratteristiche granulometriche:

- Facies più grossolana BTL-PLMa, visibile in affioramento, costituita da depositi conglomeratico-ghiaiosi con elementi eterometrici da cementati a sciolti, alternati a

sabbie giallastre e rare argille grigie. La matrice, ove presente, è limoso-sabbiosa mentre gli intervalli privi di matrice sono caratterizzati da clasti centimetrico-decimetrici in matrice ghiaiosa.

- Facies più fine BTL-PLMb, non affiorante, costituita da depositi limoso-sabbiosi e limoso-argillosi grigi, alternati a lenti sabbioso-ghiaiose prive di stratificazione.
- Facies BTL-PLMc, depositi caotici costituiti da clasti in abbondante matrice argillosa, molto compatti, interpretabili come generati da fenomeni di trasporto di massa tipo colate detritiche o debris-flow.

**RGC** (Pleistocene medio p.p, ambiente deposizionale di conoide torrentizio): ghiaie, breccie e conglomerati con clasti eterometrici e livelli fini limoso-sabbiosi o limoso-argillosi che si presentano sia in intervalli stratificati che passaggi caotici. Da sciolti a ben cementati, rapporto tra clasti e matrice variabile.

○ Settore di Auletta:

- Travertino di Tufariello TUF (non riconosciuto in questo lotto)
- Sintema di Auletta AUL

**AUL** (Pliocene sup.): argille grigio-azzurre con intercalazioni di orizzonti conglomeratico-ghiaiose di potenza metrica. I conglomerati sono poligenici a matrice arenacea prevalente e presentano livelli di sabbie e ghiaie.

○ Settore del Vallo di Diano:

- Sintema della Certosa di Padula PAD
- Sintema di Buonabitacolo BUO

**PAD** (Pleistocene medio-Olocene): sono distinte due litofacies in funzione delle caratteristiche granulometriche:

- Facies più grossolana PADb costituita da depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi fluviali e di conoide alluvionale sono caratterizzati da ghiaie e clasti centimetrico-decimetrici in matrice argillo-limosa.
- Facies più fine PADe2 costituita da argille grigie e nerastre, limi sabbiosi e sabbie limose marroni con livelli torbosi e lenti ghiaiose.

**BUO** (Pleistocene inf.-medio): sono distinte due litofacies in funzione delle caratteristiche granulometriche:

- Facies più fine BUOe2 costituita da argille grigie alternate a livelli sabbiosi e lenti di ghiaie.
- Facies più grossolana BUOb costituita da depositi di conoide alluvionale e fluviali composti da ghiaia, conglomerati e ghiaie in matrice sabbiosa e intercalazioni di lenti di sabbie e limi.



LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA  
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA  
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA  
LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO  
**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	38 di 214

Dal punto di vista geomorfologico, l'area è caratterizzata in gran parte da un paesaggio collinare e collinare-montuoso, con forme controllate dai processi tettonici, di erosione fluviale e dinamiche di versante. Nello specifico, le aree più basse corrispondono a depressioni vallive di origine fluviale, le aree più elevate corrispondono ai rilievi collinari e montuosi delle unità carbonatiche e sin-orogene.

Lo studio geologico ed i rilievi di campo eseguiti hanno evidenziato la presenza di fenomeni franosi che interferiscono con il tracciato del progetto nella porzione iniziale in cui si realizzeranno le opere sotterranee di completamento del lotto 1A. Questi dissesti sono già stati studiati nell'ambito del lotto 1A.

Sono inoltre presenti evidenze di fenomeni carsici nelle Formazioni Cretiche dei Calcari con Requenie e Gasteropodi (CRQ) e dei Calcari a Radiolitidi (RDT), e in parte anche nella Formazione Giurassica dei Calcari con Cladocoropsis e Clypeina (CCM). (Rif. [10]).

Il settore in cui si sviluppa l'opera in progetto è caratterizzato da una intensa attività sismica e dalla presenza di strutture sismogenetiche. Per approfondimenti su questo tema si rimanda agli elaborati specialistici (Rif. [10]).

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

### *Il modello idrogeologico*

Nell'area di progetto è possibile riconoscere tre diversi tipi di acquiferi:

- acquiferi situati nei terreni quaternari, caratterizzati da permeabilità per porosità;
- acquiferi situati nelle formazioni carbonatiche, caratterizzati da permeabilità molto variabile e legata principalmente a fenomeni di carsismo;
- acquiferi situati nelle formazioni non carbonatiche, caratterizzati da permeabilità molto variabile per fratturazione.

Le formazioni attraversate sono state raggruppate in 5 complessi idrogeologici, distinti sulla base delle differenti caratteristiche di permeabilità e tipo di circolazione idrica che le caratterizza (Rif. [10]):

- Complesso argilloso-marnoso (ALV, AVF, SIE): caratterizzato da permeabilità per porosità da bassa a molto bassa;
- Complesso carbonatico (CRQ): caratterizzato da permeabilità per carsismo e secondariamente per fessurazione, da media a medio-alta;
- Complesso dolomitico e calcareo dolomitico (DBS): caratterizzato da permeabilità da medio-alta a bassa in funzione della fratturazione e della tettonizzazione;
- Complesso ghiaioso-sabbioso (BUOb, BTL-PLMa; PADb; RGC): caratterizzato da permeabilità per porosità da media ad alta.
- Complesso limoso-argilloso (BTL-PLMb, PADe2, AUL): caratterizzato da permeabilità per porosità da molto bassa a media.

Sono disponibili misure puntuali nei sondaggi attrezzati con piezometri relativi alle campagne di indagini Italferr 2021 e Italferr 2022/2023, che coprono il periodo che va da giugno 2021 a luglio 2023, sulla base delle quali è stato definito il livello di falda nei settori in cui sono localizzate le perforazioni (Rif. [10]). Combinando questi dati con l'analisi dell'idrogeologia locale è stato ricostruito per l'intero tracciato l'andamento del carico idraulico sulle opere in sotterraneo (Rif. [10]).

## **8.2 Indagini geotecniche**

I risultati delle indagini geotecniche, in situ e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dalle opere in sotterraneo, adeguato al livello di progettazione in oggetto.

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

1. *Campagna di indagini Italferr 2021 eseguita per il PFTE AV SA-RC Lotto 1A;*
2. *Campagna di indagini Italferr 2021 eseguita per il PFTE AV SA-RC Lotto 1B (presente progetto) e Lotto 1C.*

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>	<b>COMMESSA</b> RC2A	<b>LOTTO</b> B1	<b>CODIFICA</b> R07RH	<b>DOCUMENTO</b> GN0000001	<b>REV.</b> C

3. *Campagna di indagini Italferr 2022-2023 eseguita per il PFTE AV SA-RC Lotto 1B (presente progetto) e Lotto 1C.*

Per quanto riguarda la campagna di indagini Italferr 2021 eseguita per il lotto 1A, sono state considerate le prove in sito eseguite sulle formazioni di interesse per il lotto 1B, in particolare:

- n. 22 sondaggi a carotaggio continuo di profondità variabili tra 30 e 89 m dal piano campagna dei quali 15 attrezzati con piezometro e 7 con inclinometro;
- n. 211 prove SPT;
- n. 59 prove di permeabilità;
- n. 15 prove pressiometriche;
- n. 11 prove dilatometriche;
- n. 2 prospezioni sismiche di tipo MASW;
- n. 5 prove sismiche di tipo Down-Hole.

Per le prove di laboratorio, sono stati analizzati 36 campioni indisturbati sui quali sono state eseguite:

- n. 26 prove di taglio diretto (TD);
- n. 12 prove edometriche;
- n. 10 prove di compressione triassiale consolidata non drenata di tipo CIU;
- n. 18 prove di compressione triassiale consolidata non drenata di tipo UU.

Della campagna di indagini Italferr 2021 per i Lotti 1B ed 1C sono state considerate le seguenti prove in sito:

- n. 37 sondaggi a carotaggio continuo di profondità variabili tra 30 e 260 m dal piano campagna, 32 attrezzati con piezometro e 2 con inclinometro;
- n. 105 prove SPT;
- n. 80 prove di permeabilità di tipo Lefranc;
- n. 30 prove di permeabilità di tipo Lugeon;
- n. 18 prove pressiometriche;
- n. 57 prove dilatometriche;
- n. 5 prospezioni sismiche di tipo MASW;
- n. 5 prove sismiche di tipo Down-Hole.
- n. 6 stop geologici.

Il numero totale dei campioni indisturbati/litoidi analizzati nella tratta di interesse e sottoposti a prove di laboratorio è di 135. Sui campioni sono state eseguite le seguenti prove meccaniche:

- n. 19 prove di taglio diretto TD;



LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA  
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA  
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA  
LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO  
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	41 di 214

- n. 6 prove di compressione triassiale consolidata non drenata di tipo CIU;
- n. 9 prove di compressione triassiale consolidata non drenata di tipo UU;
- n. 6 prove di espansione laterale libera ELL;
- n. 20 prove di compressione monoassiale semplice;
- n. 2 prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni su campioni lapidei;
- n. 65 Point Load Test;
- n. 2 determinazioni della velocità sonica.

Della campagna di indagini Italferr 2022-2023 per i Lotti 1B ed 1C sono state considerate le seguenti prove in sito:

- n. 50 sondaggi a carotaggio continuo di profondità variabili tra 30 e 325 m dal piano campagna, 38 attrezzati con piezometro e 7 con inclinometro;
- n. 116 prove di permeabilità di tipo Lefranc;
- n. 60 prove di permeabilità di tipo Lugeon;
- n. 8 prove pressimetriche;
- n. 86 prove dilatometriche;
- n. 3 prospezioni sismiche di tipo MASW;
- n. 2 prove sismiche di tipo Down-Hole.
- n. 4 stop geologici.

Il numero totale dei campioni indisturbati/litoidi analizzati nella tratta di interesse e sottoposti a prove di laboratorio è di 102. Sui campioni sono state eseguite le seguenti prove meccaniche:

- n. 34 prove di taglio diretto (TD);
- n. 2 prove di compressione triassiale consolidata non drenata di tipo CIU;
- n. 12 prove di compressione triassiale consolidata non drenata di tipo UU;
- n. 1 prova di espansione laterale libera ELL;
- n. 28 prove di compressione monoassiale semplice;
- n. 6 prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni su campioni lapidei;
- n. 57 Point Load Test;
- n. 24 determinazioni della velocità sonica.

Per ulteriori dettagli relativi alle campagne di indagini si rimanda al documento “Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica” (Rif. [10]). L’ubicazione dei sondaggi ed il modello geotecnico sono rappresentati negli elaborati specifici “Profilo geotecnico” (da Rif. [34] a Rif. [38]).



**LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA**  
**NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA**  
**LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA**  
**LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO**  
**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	42 di 214

Nei paragrafi che seguono si riepilogano nel dettaglio i risultati della caratterizzazione e modellazione geotecnica eseguita per ciascuna delle formazioni interessate dallo scavo delle gallerie.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA <b>RC2A</b>	LOTTO <b>B1</b>	CODIFICA <b>R07RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000001</b>	REV. <b>C</b>

### 8.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

Nel seguito, dopo aver caratterizzato le varie formazioni presenti lungo il tracciato sulla base dei risultati delle indagini al momento disponibili, sono definiti il modello geotecnico di riferimento e le condizioni idrauliche.

#### *Argille Varicolori Superiori (ALV)*

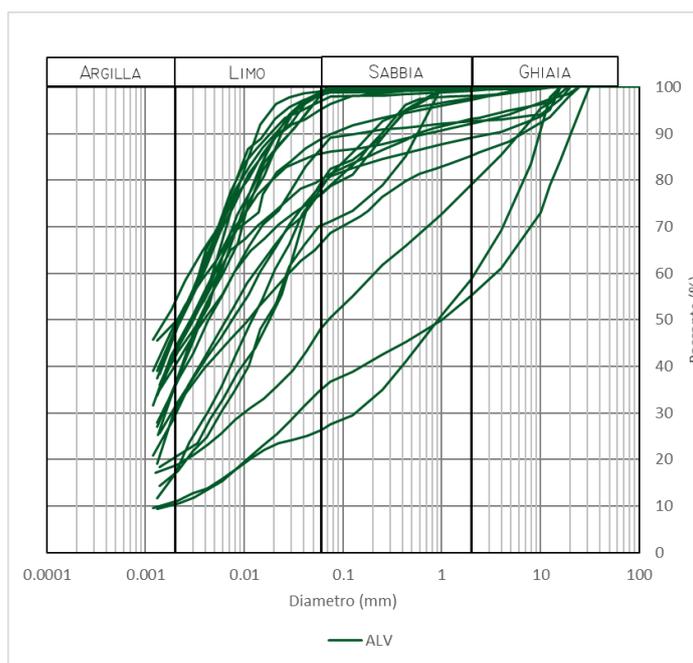
L'unità geotecnica delle Argille Varicolori Superiori è costituita da argille grigio-verdi e rosso vinaccia, calcari e calcari chiari in strati sottili.

Le indagini realizzate mostrano una prevalenza di argille scagliose con intercalazioni marnose di colore grigio scuro e marne argillose grigio-verdi (Figura 16). All'interno della formazione argillosa possono essere presenti livelli calcarei di spessore variabile.



**Figura 16 ALV nel foro di sondaggio S19 tra 30 e 40 m da p.c.**

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati permettono di classificare la formazione come limo con argilla debolmente sabbioso ghiaioso (Figura 17, AGI 1977).

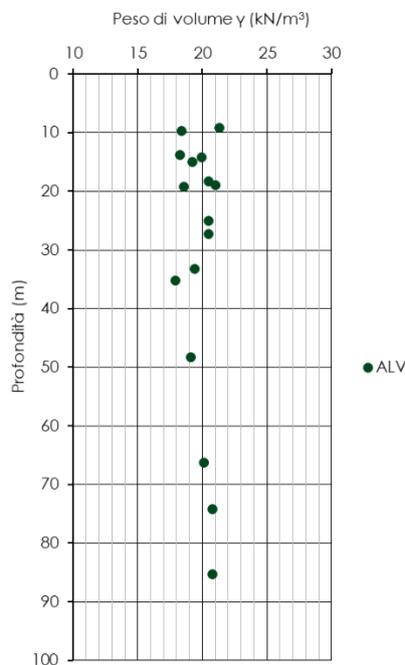


**Figura 17 Analisi granulometrica**

### Proprietà fisiche

Sono stati analizzati 14 campioni indisturbati e 10 campioni rimaneggiati prelevati tra 9,2 e 85,3 m di profondità da piano campagna. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un primo quadro delle principali grandezze fisiche e meccaniche dell'unità geotecnica indagata.

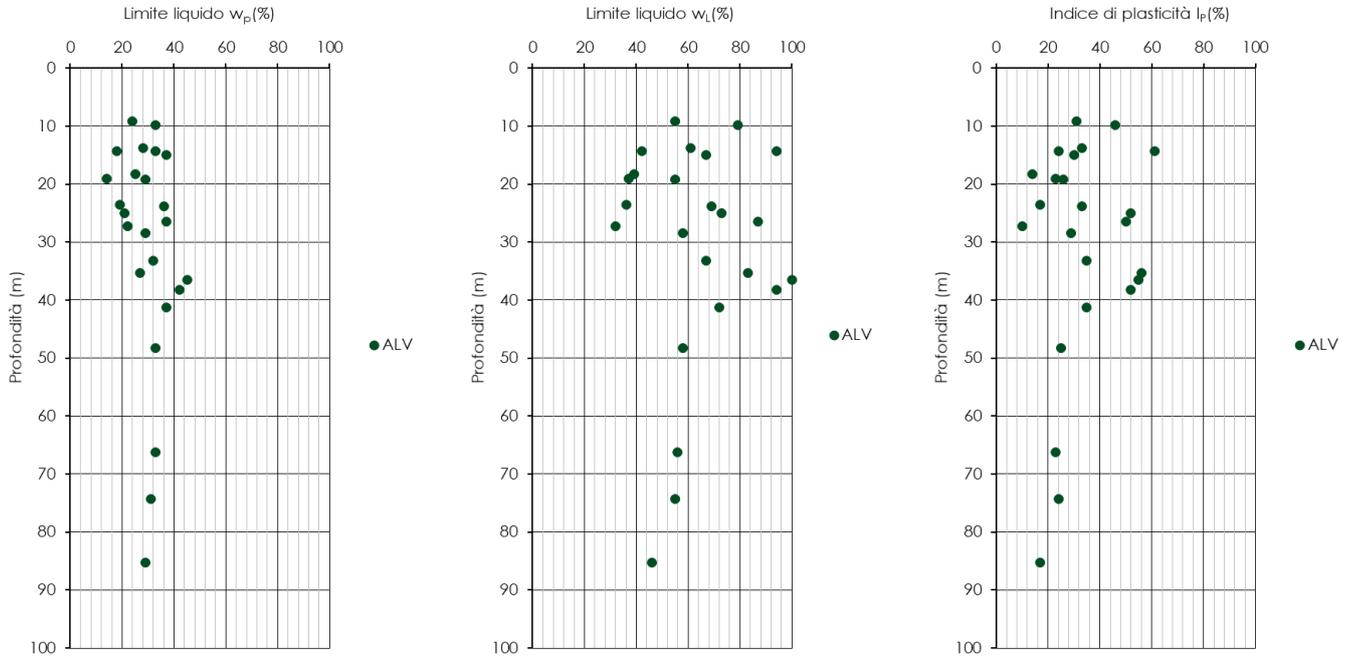
Il peso dell'unità di volume varia tra 17,9 kN/m<sup>3</sup> e 21,3 kN/m<sup>3</sup> ed il peso di volume del materiale secco tra 13,5 kN/m<sup>3</sup> e 18,6 kN/m<sup>3</sup>. Il peso specifico dei granuli valutato su tutti i campioni varia tra 24,6 kN/m<sup>3</sup> e 26,3 kN/m<sup>3</sup> (Figura 18).



**Figura 18** Peso dell'unità di volume  $\gamma$

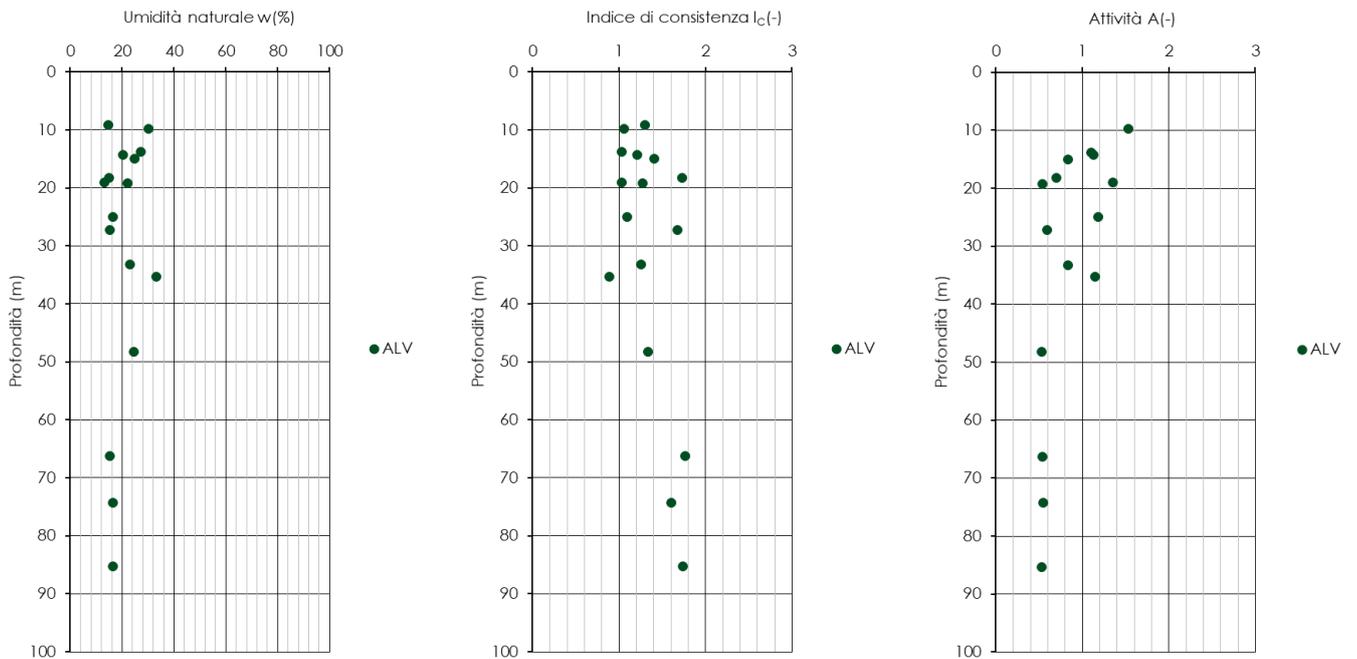
I limiti di Atterberg (Figura 19) sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

- Limite plastico,  $w_p$ : 14% ÷ 45%
- Limite liquido,  $w_L$ : 32% ÷ 100%
- Indice di plasticità,  $I_p$ : 10% ÷ 61%.



**Figura 19 Limiti di Atterberg e indice di plasticità**

Il contenuto d'acqua naturale  $w$  risulta compreso tra il 13,2% ed il 33,2%, con un indice di consistenza  $I_c$  variabile tra 0,9 e 1,8. L'indice di attività varia tra 0,5 e 3,1 (Figura 20).



**Figura 20 Umidità naturale  $w$ , indice di consistenza  $I_c$  ed attività  $A$**

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche dell'unità geotecnica ALV (Tabella 9).

**Tabella 9 Caratteristiche fisiche**

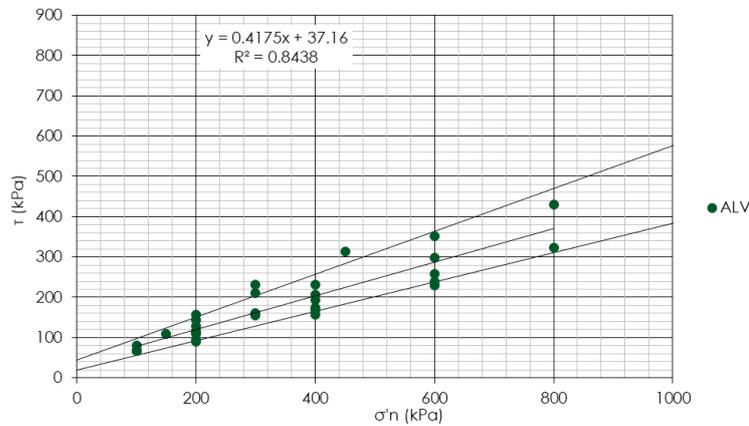
Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	w	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
S17	CR1	14.3			42.00	18.00	24.00		
S17	CR2	23.6			36.00	19.00	17.00		
S17	CI3	33.3	19.42	23.10	67.00	32.00	35.00	1.25	0.83
S18	CI1	19.3	18.54	22.00	55.00	29.00	26.00	1.27	0.54
S18	CR2	23.8			69.00	36.00	33.00		
S18	CR3	26.5			87.00	37.00	50.00		
S18	CR4	28.5			58.00	29.00	29.00		
S18	CR5	38.2			94.00	42.00	52.00		
S18bis	CI2	9.2	21.29	14.70	55.00	24.00	31.00	1.30	3.10
S18bis	CI3	15.0	19.23	24.70	67.00	37.00	30.00	1.41	0.83
S19	CR3	36.5			100.00	45.00	55.00		
S19	CR4	41.2			72.00	37.00	35.00		
S46	CI1	48.3	19.13	24.60	58.00	33.00	25.00	1.34	0.53
S46	CI2	66.3	20.11	15.30	56.00	33.00	23.00	1.77	0.53
S46	CI3	74.3	20.80	16.50	55.00	31.00	24.00	1.60	0.55
S46	CI4	85.3	20.80	16.50	46.00	29.00	17.00	1.74	0.53
S47	CI4	18.3	20.50	14.80	39.00	25.00	14.00	1.73	0.70
S47	CI5	27.3	20.50	15.20	32.00	22.00	10.00	1.68	0.59
S57	CI1	19.0	21.04	13.20	37.00	14.00	23.00	1.03	1.35
S57	CI2	25.0	20.50	16.32	73.00	21.00	52.00	1.09	1.18
S81	CI1	13.8	18.25	27.06	61.00	28.00	33.00	1.03	1.10
S81	CI2	35.3	17.93	33.18	83.00	27.00	56.00	0.89	1.14
S82	CR2	9.8	18.39	30.31	79.00	33.00	46.00	1.06	1.53
S82	CR3	14.3	19.96	20.28	94.00	33.00	61.00	1.21	1.13

### Proprietà meccaniche

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

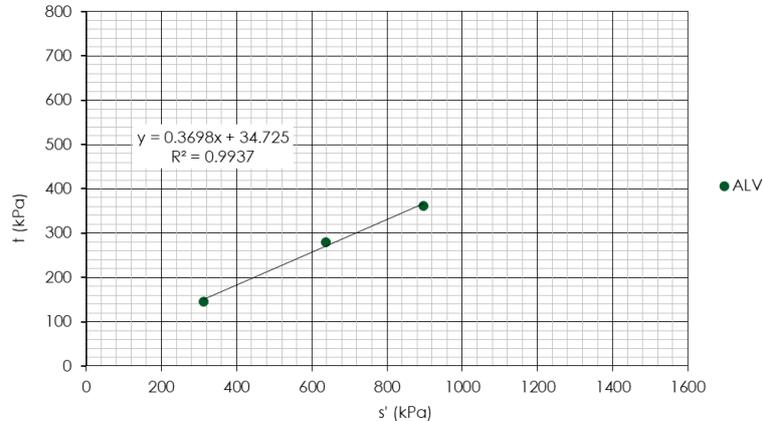
Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati elaborati i risultati di 11 prove di taglio diretto, 1 prova di compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) e 6 prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU).

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 21) restituisce un valore di coesione  $c'$  pari a circa 37 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\varphi'$  pari a circa 23°. L'elaborazione dell'insieme di tutte le prove di taglio diretto fornisce un intervallo di coesione  $c'$  pari a 20÷45 kPa e di angolo di attrito  $\varphi'$  pari a 20÷28°. Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 9,2 e 85,3 m dal piano campagna.



**Figura 21 Involuppo di resistenza della prova di taglio diretto (TD)**

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti  $t'$  ed  $s'$  (Figura 22) derivante dall'elaborazione delle prove triassiali CIU restituisce valori di intercetta di coesione  $c'$  pari a circa 37 kPa e di angolo di attrito  $\varphi'$  pari a  $22^\circ$ . I risultati si riferiscono al campione prelevato a 66,3 m dal piano campagna.



**Figura 22 Involuppo di resistenza delle prove triassiali**

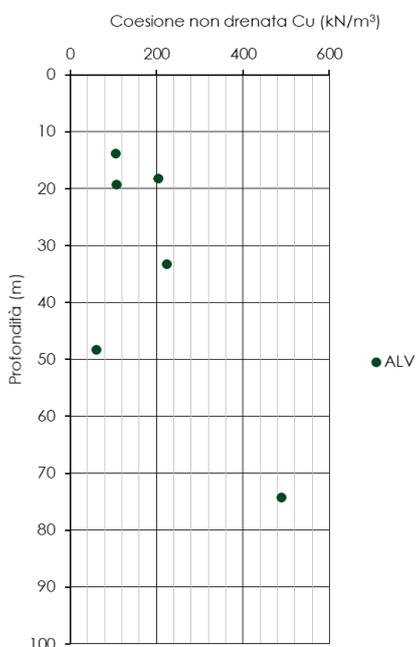
Di seguito le tabelle riassuntive delle prove di taglio diretto e della prova di compressione triassiale (Tabella 10).

**Tabella 10 Valori a rottura delle prove TD e TXT - CIU**

Prove di taglio diretto					
Sondaggio e Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_n$	$\tau$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
S17 - CI3	33.3	200	144	21.2	61.9
		400	207		
		600	299		
S46 - CI1	48.3	200	94	19.9	23.7
		400	174		
		600	239		
S46 - CI3	74.3	400	168	21.2	16.6
		600	259		
		800	323		
S46 - CI4	85.3	400	232	26.4	40.4
		600	353		
		800	430		
S47 - CI4	18.3	150	109	34.3	6.6
		300	210		
		450	314		
S47 - CI5	27.3	100	81	36.9	5.8
		200	157		
		300	231		
S18bis - CI2	9.2	200	91	19.1	20.2
		400	156		
		600	230		
S57 - CI1	19.0	100	67	24.2	23.4
		200	115		
		300	157		
S57 - CI2	25.0	100	68	23.3	30.6
		200	128		
		300	154		
S81 - CI1	13.8	100	68	25.0	18.9
		200	108		
		300	161		
S81 - CI2	35.3	100	68	22.4	29.2
		200	115		
		400	193		

Prove di compressione triassiale								
Prova	Sondaggio / Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_1$	$\sigma'_3$	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
CIU	S46 - CI2	66.3	457	166	146	312	21.7	34.7
			917	357	280	637		
			1259	537	361	898		

I valori della resistenza non drenata  $C_U$  ricavati dalle prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU) sono diagrammati in funzione della profondità in Figura 23. I valori risultano compresi tra 60 e 489 kPa.



sondaggio	Campione	Profondità da p.c. (m)	Cu (kPa)
(-)	(-)	(m)	(kPa)
S17	CI3	33.25	223
S18	CI1	19.25	107
S46	CI1	48.25	60
S46	CI3	74.25	489
S47	CI4	18.28	204
S81	CI1	13.80	106

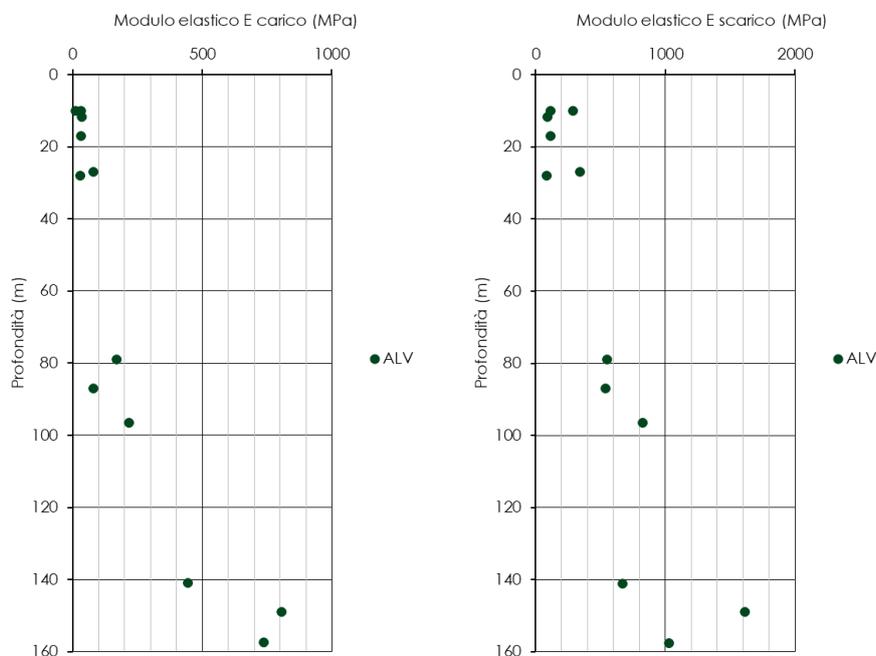
**Figura 23 Valori a rottura prove TXT -UU**

Per determinare le caratteristiche di deformabilità e compressibilità sono stati elaborati i risultati di 9 prove pressiometriche, 1 prova geofisica di tipo MASW e 2 prove down-hole. Per completezza si riportano anche i risultati ottenuti dalle 2 prove di compressione edometrica, sebbene le caratteristiche di deformabilità per le opere in sotterraneo siano state definite a partire dai risultati delle prove in sito.

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

Per quanto riguarda le prove dilatometriche, si è considerato per la fase di scarico il modulo determinato per il terzo ciclo di scarico.

Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo 82 ÷ 828 MPa mentre quello di carico nell'intervallo 11 ÷ 219 MPa. La Figura 24 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove pressiometriche e dilatometriche con la profondità.



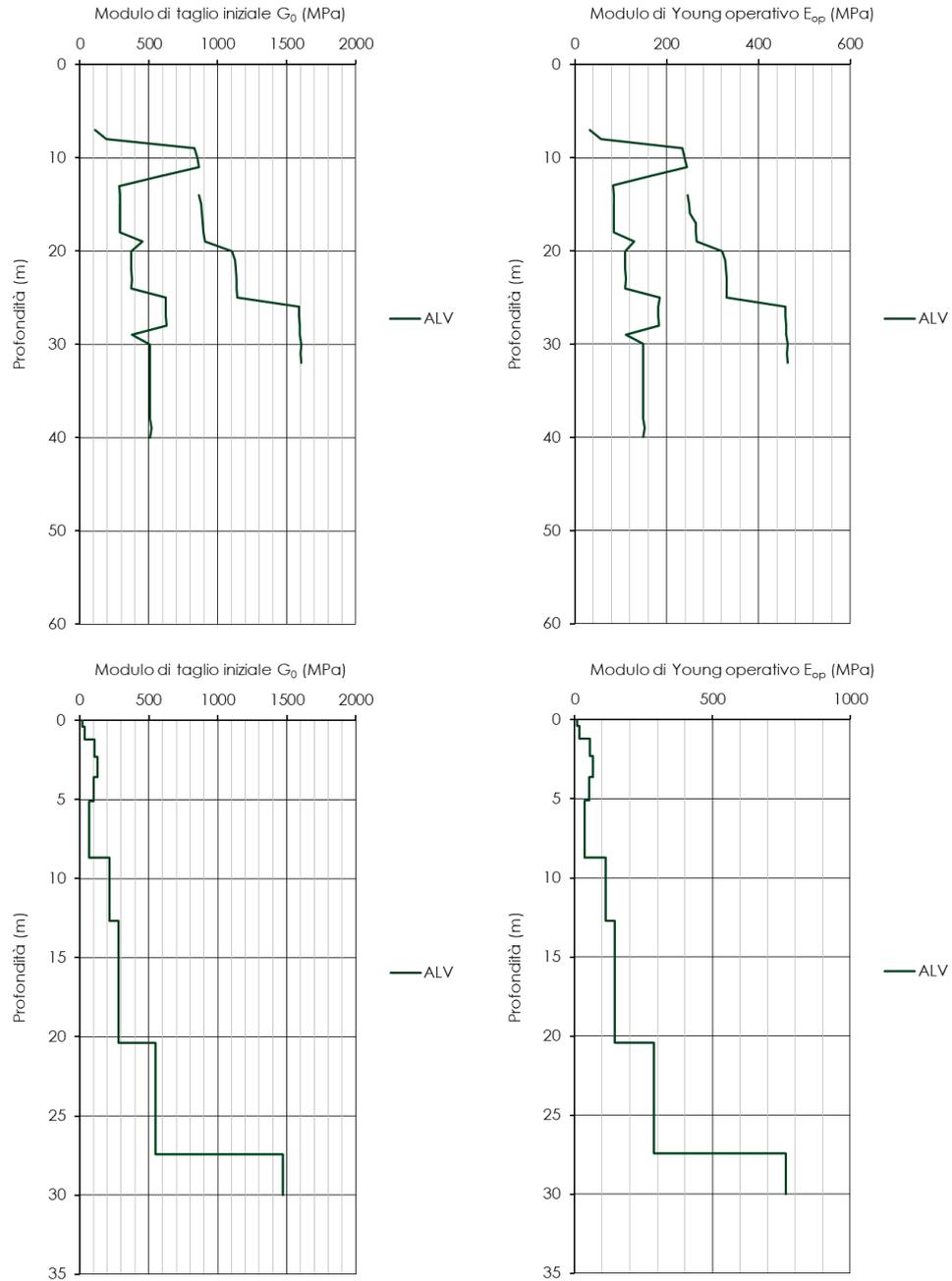
**Figura 24. Moduli di deformabilità da prove pressiometriche e dilatometriche**

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

**Tabella 11 Prove pressiometriche e dilatometriche**

sondaggio	Profondità da p.c. (m)	$E_{carico}$ (MPa)	$E_{scarico}$ (MPa)
(-)	(m)	(MPa)	(MPa)
S47	11.7	37	90
S53	17.0	32	114
S53	27.0	81	342
S53	10.0	32	117
S17	10.0	11	287
S17	28.0	30	82
S77	79.0	171	552
S77	87.0	81	541
S77	96.5	219	828
L1B-S3	141.0	443	669
L1B-S3	149.0	805	1615
L1B-S3	157.5	737	1026

La Figura 25 mostra gli andamenti con la profondità del modulo di taglio iniziale  $G_0$  e del modulo elastico  $E_{op}$  (assunto pari al 20% del modulo elastico iniziale) ottenuti alle prove geofisiche MASW e down-Hole.



**Figura 25 Modulo di taglio  $G_0$  e modulo elastico  $E_{op}$  da prove geofisiche**

I parametri ottenuti dall'elaborazione delle 2 prove di compressione edometrica sono compresi nei seguenti intervalli di variabilità:

- Indice di compressibilità  $C_C$ : 0,12 ÷ 0,14 (-)
- Indice di rigonfiamento  $C_S$ : 0,06 ÷ 0,07 (-)

- Grado di sovraconsolidazione OCR:  $0,3 \div 0,4$  (-)
- Modulo edometrico  $E_{ed}$ :  $48 \div 69$  MPa
- Modulo di Young  $E'$ :  $36 \div 51$  MPa.

Di seguito la tabella riassuntiva (Tabella 12).

**Tabella 12 Prove edometriche**

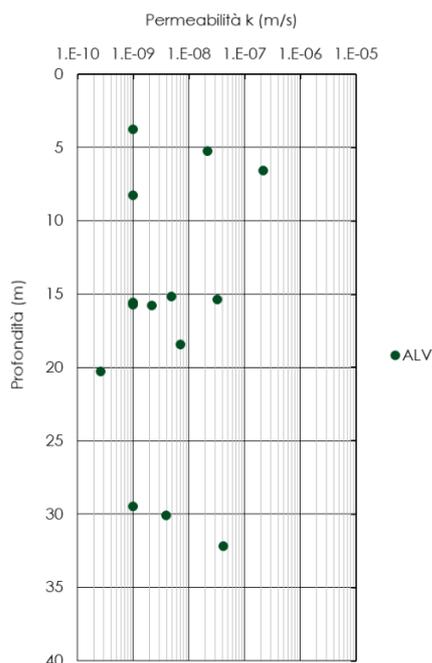
sondaggio	campione	Profondità da p.c.	$C_c$	$C_s$	OCR	$e_0$	$E'_{ed}$
(-)	(-)	(m)	(-)	(-)	(-)	(-)	(MPa)
S46	CI2	66.25	0.12	0.07	0.3	0.47	48.23
S46	CI4	85.3	0.14	0.06	0.4	0.45	68.80

Sono state eseguite 2 prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg su campioni indisturbati. In Tabella 13 sono riportati i valori del coefficiente  $k_{100 \text{ H-A}}$ .

**Tabella 13: prova Huder-Amberg**

sondaggio	campione	Profondità da p.c.	$k_{100 \text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(%)
S57	CI1	18.75	1.95
S57	CI2	24.75	4.30

Sono state eseguite 16 prove di permeabilità di tipo Lefranc nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 3.8 e 32.2 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $3 \times 10^{-10}$  e  $2 \times 10^{-7}$  m/s (Figura 26). Per le prove di permeabilità che hanno fornito un assorbimento nullo è stato assunto un valore pari a  $10^{-9}$  m/s.



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	$k$
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	S53	8.3	1.0E-09
Lefranc	S53	20.3	2.7E-10
Lefranc	S18	30.1	4.0E-09
Lefranc	S19	32.2	4.1E-08
Lefranc	S47	15.4	3.3E-08
Lefranc	S47	29.5	1.0E-09
Lefranc	S50	6.6	2.2E-07
Lefranc	S50	18.4	7.0E-09
Lefranc	S18bis	3.8	1.0E-09
Lefranc	S18bis	15.6	1.0E-09
Lefranc	S57	15.6	1.0E-09
Lefranc	S66	5.3	2.2E-08
Lefranc	S66	15.8	2.2E-09
Lefranc	S81	15.7	1.0E-09
Lefranc	S82	15.1	4.8E-09
Lefranc	S97	15.6	7.2E-09

**Figura 26 Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito**

### Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica *ALV*. La Tabella 14 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 14 Sintesi parametri geotecnici**

	min	max	
$\gamma$	17.9	21.3	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_s$	24.6	26.3	(kN/m <sup>3</sup> )
w	13.2	33.2	(%)
w <sub>L</sub>	32.0	100.0	(%)
w <sub>P</sub>	14.0	45.0	(%)
I <sub>P</sub>	10.0	61.0	(%)
c' <sub>TD</sub>	6	61.9	(kPa)
$\phi'$ <sub>TD</sub>	19	36.9	(°)
c' <sub>TX</sub>	35	34.7	(kPa)
$\phi'$ <sub>TX</sub>	22	21.7	(°)
E' <sub>carico</sub>	11.2	805.0	(MPa)
E' <sub>carico</sub>	82.1	1615.0	(MPa)
k	2.7E-10	2.2E-07	(m/s)

	involuppo di rottura			
	medio	min	max	
c' <sub>TD</sub>	37	20	45	(kPa)
$\phi'$ <sub>TD</sub>	23	20	28	(°)
c' <sub>TX</sub>	37			(kPa)
$\phi'$ <sub>TX</sub>	22			(°)

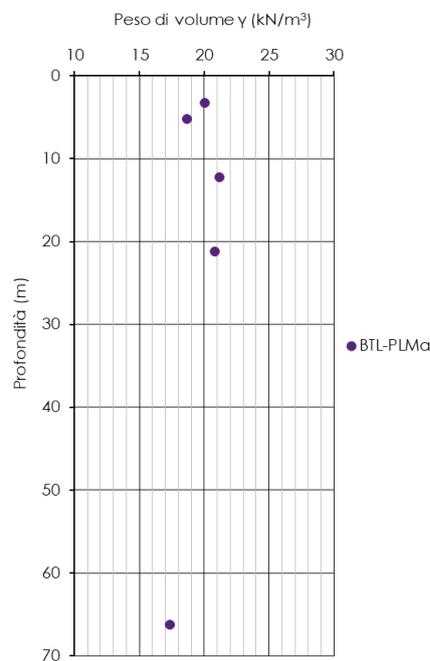


 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>	<b>COMMESSA</b> RC2A	<b>LOTTO</b> B1	<b>CODIFICA</b> R07RH	<b>DOCUMENTO</b> GN0000001	<b>REV.</b> C

### Proprietà fisiche

Sono stati analizzati 9 campioni rimaneggiati e 5 campioni indisturbati prelevati tra 3,3 e 66,3 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 della formazione indagata.

Il peso dell'unità di volume varia tra  $17,4 \text{ kN/m}^3$  e  $21,2 \text{ kN/m}^3$  ed il peso di volume del materiale secco tra  $14,7 \text{ kN/m}^3$  e  $18,3 \text{ kN/m}^3$ . Il peso specifico dei granuli valutato su tutti i campioni varia tra  $25,4 \text{ kN/m}^3$  e  $27,1 \text{ kN/m}^3$  (Figura 29).

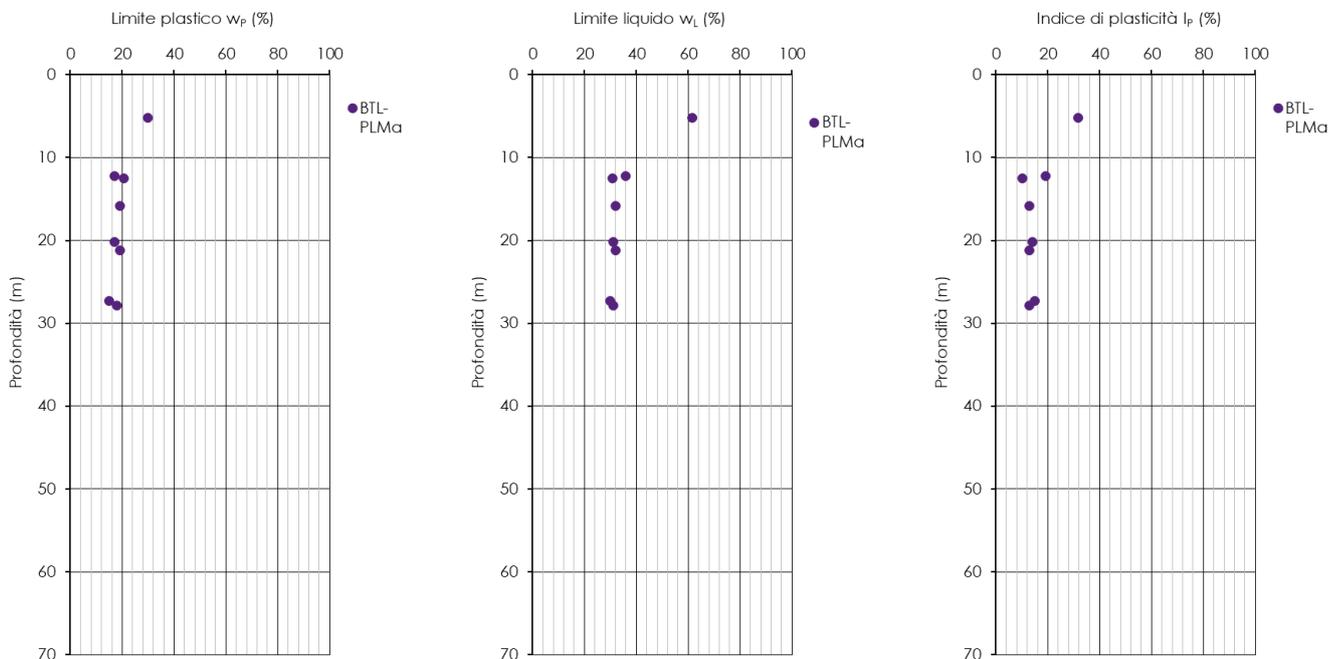


**Figura 29** Peso dell'unità di volume  $\gamma$

I limiti di Atterberg, valutati sulla frazione fine dei campioni, sono compresi negli intervalli di seguito riportati (Figura 30):

- Limite plastico,  $w_p$ : 15% ÷ 30%
- Limite liquido,  $w_L$ : 30% ÷ 62%
- Indice di Plasticità,  $I_p$ : 10% ÷ 32%.

Il contenuto d'acqua naturale  $w$  risulta compreso tra il 13,7% ed il 40,0%.


**Figura 30 Limiti di Atterberg e indice di plasticità**

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche della formazione (Tabella 15).

**Tabella 15 Caratteristiche fisiche**

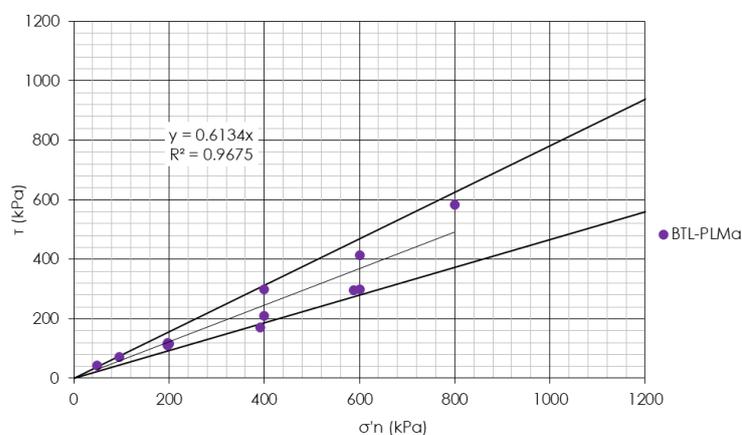
Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\gamma_d$	w	$w_L$	$w_P$	$I_p$	$\gamma_s$
(-)	(-)	(m)	( $\text{kN/m}^3$ )	( $\text{kN/m}^3$ )	(%)	(%)	(%)	(%)	( $\text{kN/m}^3$ )
L1B-S1	CI1	5.15	18.68	14.69	27.20	61.50	29.80	31.70	27.14
L1B-S1	CI2	21.2	20.80	18.29	13.70				26.85
L1B-S1	CR1	12.5				30.90	20.70	10.20	27.06
L1B-S1	CR2	30.85							26.68
L1B-S1	CR3	39.85							26.74
S30	CI4	66.25	17.36		40.00				26.09
S32	CI2	12.25	21.19		15.30	36.00	17.00	19.00	26.09
S32	CR3	21.2				32.00	19.00	13.00	25.90
S41	CR3	20.2				31.00	17.00	14.00	26.09
S41	CR4	27.85				31.00	18.00	13.00	25.90
S44	CR3	18.4							26.36
S44	CR4	27.3				30.00	15.00	15.00	26.46
S88	CR1	3.25	20.02	17.54					25.44
S88	CI4	15.8			17.16	32.00	19.00	13.00	25.79

### Proprietà meccaniche

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

Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati elaborati i risultati di 4 prove di taglio diretto e 32 prove penetrometriche dinamiche SPT in accordo alle relazioni empiriche dei terreni granulari (da Rif. [12] a Rif. [20]).

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 31) restituisce un valore di coesione  $c'$  pari a 0 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\varphi'$  pari a circa  $32^\circ$ . L'elaborazione dell'insieme di tutte le prove di taglio diretto fornisce un intervallo di angolo di attrito  $\varphi'$  pari a  $25 \div 38^\circ$ . Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 5,2 e 66,3 m dal piano campagna.



**Figura 31 Involuppo di resistenza della prova di taglio diretto (TD)**

Di seguito le tabelle riassuntive delle prove di taglio diretto (Tabella 16).

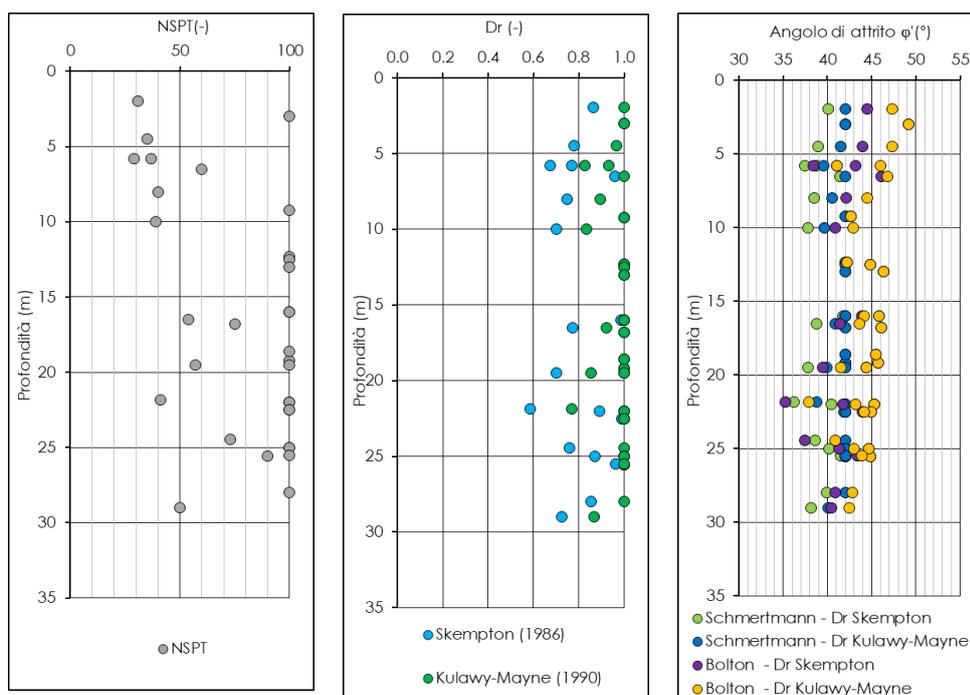
**Tabella 16 Valori a rottura delle prove TD e TXT - CIU**

Prove di taglio diretto					
Sondaggio e Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_n$	$\tau$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	( $^\circ$ )	(kPa)
L1B-S1 - CI1	5.2	4.9E+01	4.3E+01	24.5	24.3
		9.6E+01	7.3E+01		
		2.0E+02	1.1E+02		
L1B-S1 - CI2	21.2	2.0E+02	1.2E+02	24.3	18.2
		3.9E+02	1.7E+02		
		5.9E+02	3.0E+02		
S32 - CI2	12.3	2.0E+02	1.2E+02	24.5	26.1
		4.0E+02	2.1E+02		
		6.0E+02	3.0E+02		
S30 - CI4	66.3	4.0E+02	3.0E+02	35.5	4.2
		6.0E+02	4.1E+02		
		8.0E+02	5.8E+02		

In Figura 32 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  $\varphi'$ , definito utilizzando le correlazioni empiriche.

L'elaborazione dei risultati delle prove in situ definisce un angolo di attrito compreso tra  $35^\circ$  e  $49^\circ$ . La densità relativa risulta compresa tra 0,58 e 1,0. Di seguito la tabella riassuntiva delle prove relative ad ogni verticale di

indagine (Tabella 17). Quando la prova SPT ha dato come risultato “rifiuto” è stato attribuito un valore pari a 100 colpi.



**Figura 32**  $N_{SPT}$ , densità relativa e angolo di attrito da prove SPT

Sondaggio	z	$N_{SPT}$	Sondaggio	z	$N_{SPT}$
(-)	(m)	(-)	(-)	(m)	(-)
LIB-S1	2.0	31	S33	29.0	50
LIB-S1	5.8	29	S41	3.0	100
LIB-S1	9.2	100	S41	4.5	35
LIB-S1	12.3	100	S41	6.5	60
LIB-S1	21.9	41	S41	22.0	100
LIB-S1	24.5	73	S41	25.0	100
S32	5.8	37	S41	28.0	100
S32	8.0	40	S44	13.0	100
S32	10.0	39	S44	16.0	100
S32	12.5	100	S44	18.6	100
S32	16.0	100	S44	22.5	100
S32	19.5	57	S44	25.0	100
S33	16.8	75	S93	16.5	54
S33	19.2	100	S93	19.5	100
S33	22.0	100	S93	22.5	100
S33	25.6	90	S93	25.5	100

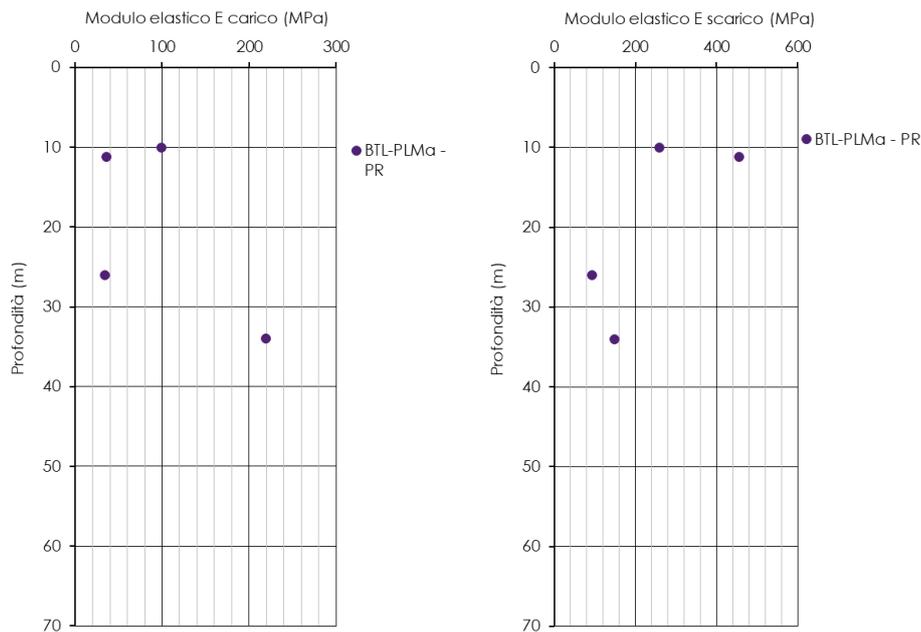
**Tabella 17** Numero di colpi  $N_{SPT}$

Per determinare le caratteristiche di deformabilità sono stati elaborati i risultati di 4 prove pressiometriche, 32 prove SPT, 2 prove geofisiche di tipo MASW e 2 prove Down-Hole.

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

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

Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo  $92 \div 455$  MPa mentre quello di carico nell'intervallo  $34 \div 219$  MPa. La Figura 33 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove con la profondità.



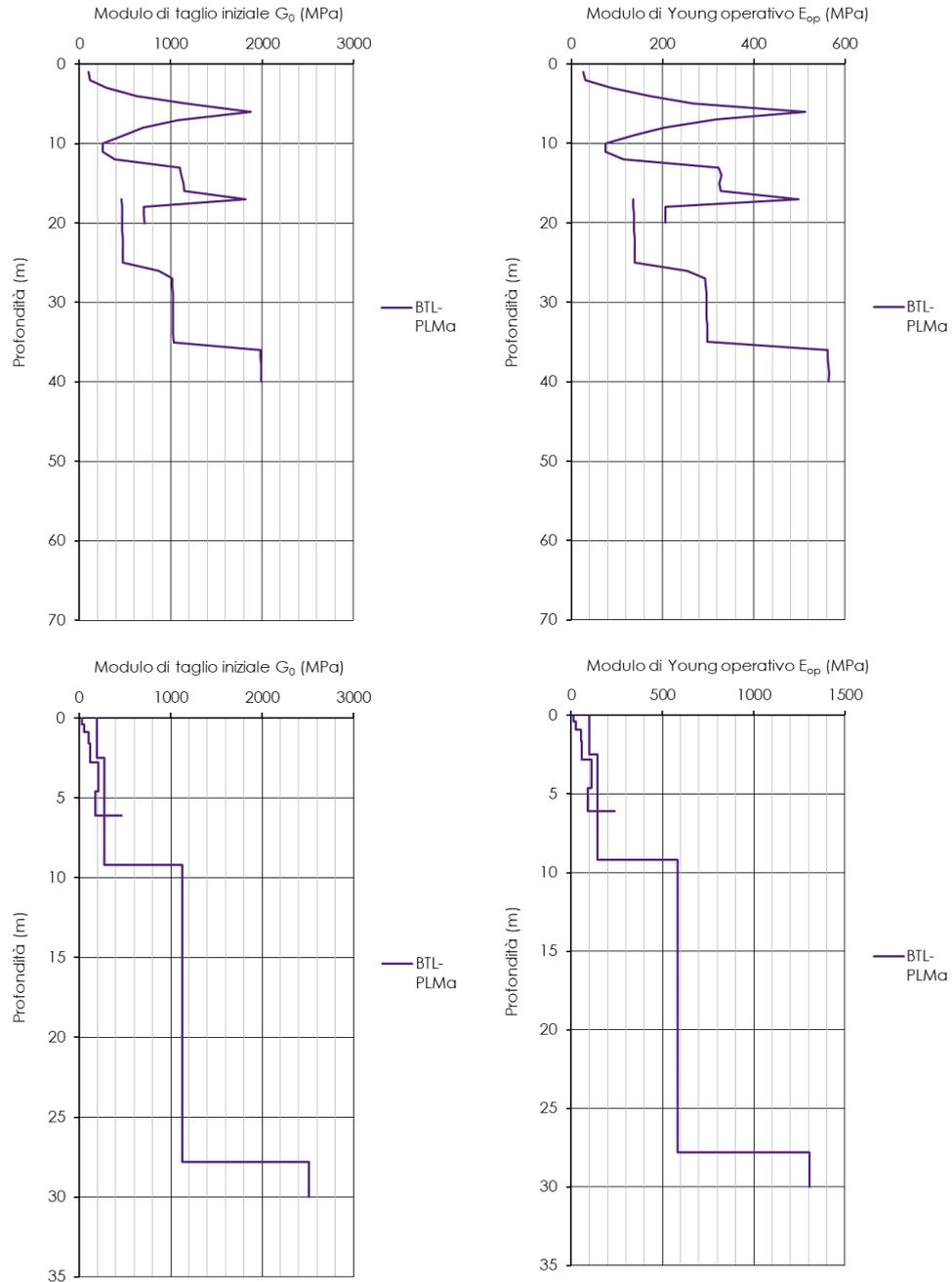
**Figura 33. Moduli di deformabilità da prove pressiometriche**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove pressiometriche relative ad ogni sondaggio (Tabella 18).

**Tabella 18 Prove pressiometriche**

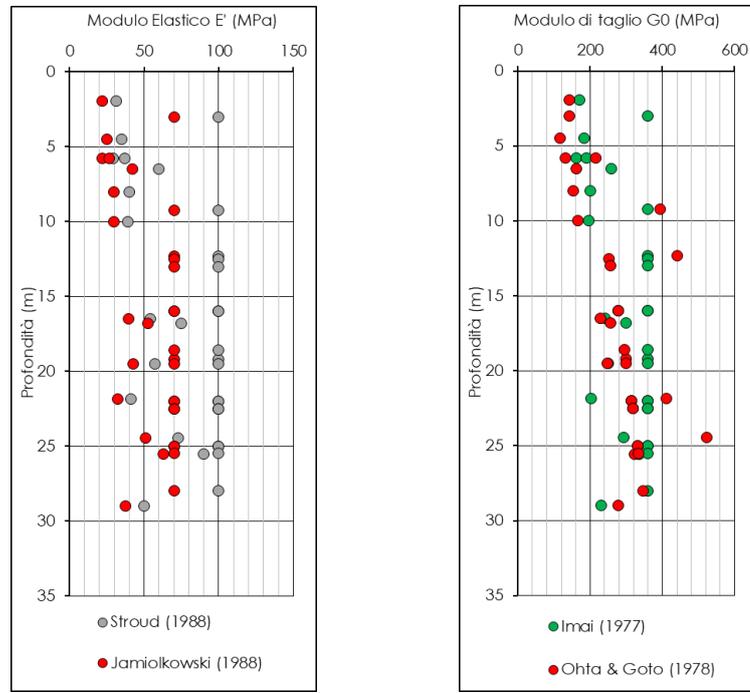
sondaggio	Profondità da p.c.	Prova	$E_{\text{carico}}$	$E_{\text{scarico}}$
(-)	(m)	(-)	(MPa)	(MPa)
L1B-S1	10.0	Pressiometrica	99.4	258.8
L1B-S1	26.0	Pressiometrica	34.3	92.2
S32	11.2	Pressiometrica	36.0	455.0
S41	34.0	Pressiometrica	219.0	148.0

La Figura 34 mostra gli andamenti con la profondità del modulo di taglio iniziale  $G_0$  e del modulo elastico  $E_{op}$  (assunto pari al 20% del modulo elastico iniziale) ottenuti alle prove geofisiche MASW e Down-Hole.

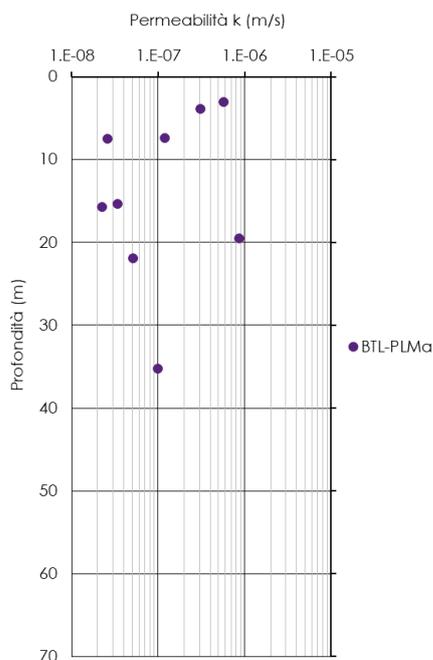


**Figura 34 Modulo di taglio  $G_0$  e modulo elastico  $E_{op}$  da prove geofisiche**

La Figura 35 mostra gli andamenti con la profondità del modulo elastico  $E'$  e del modulo di taglio iniziale  $G_0$  ottenuti da prove SPT. I parametri, che mostrano un aumento con la profondità, risultano rispettivamente compresi negli intervalli 23÷100 MPa e 117÷522 MPa.


**Figura 35 Modulo elastico E' e modulo di taglio G<sub>0</sub> da prove SPT**

Sono state eseguite 9 prove di permeabilità di tipo Lefranc nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 3,0 e 35,3 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $2 \times 10^{-8}$  e  $9 \times 10^{-7}$  m/s (Figura 36).



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
L1-S44	Lefranc	22,0	5,1E-08
L1B-S1	Lefranc	3,0	5,7E-07
L1B-S1	Lefranc	7,5	2,6E-08
L1B-S1	Lefranc	19,5	8,6E-07
L1-S93	Lefranc	15,7	2,2E-08
S32	Lefranc	7,4	1,2E-07
S32	Lefranc	15,4	3,4E-08
S41	Lefranc	35,3	9,8E-08
S87	Lefranc	3,9	3,1E-07

**Figura 36 Coefficiente di permeabilità k da prove in sito**

### 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 *BTL-PLMa*. La Tabella 19 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro; si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 19 Sintesi parametri geotecnici**

	min	max		involuppo di rottura			
				medio	min	max	
$\gamma$	17.4	21.2	(kN/m <sup>3</sup> )				
$\gamma_s$	25.4	27.1	(kN/m <sup>3</sup> )				
w	13.7	40.0	(%)				
w <sub>L</sub>	30.0	61.5	(%)				
w <sub>P</sub>	15.0	29.8	(%)				
I <sub>P</sub>	10.2	31.7	(%)				
D <sub>r</sub>	0.6	1.0	(-)				
$\phi'_{SPT}$	35.2	49.1	(°)				
E' <sub>SPT</sub>	23.2	100.0	(MPa)				
G <sub>0,SPT</sub>	116.8	522.4	(MPa)				
c' <sub>m</sub>	4	26.1	(kPa)	0	0	0	(kPa)
$\phi'_{mD}$	24	35.5	(°)	32	38	25	(°)
c' <sub>TX</sub>	0	0.0	(kPa)				
$\phi'_{TX}$	0	0.0	(°)				
E' <sub>carico</sub>	34.3	219.0	(MPa)				
E' <sub>carico</sub>	92.2	455.0	(MPa)				
k	2.2E-08	8.6E-07	(m/s)				

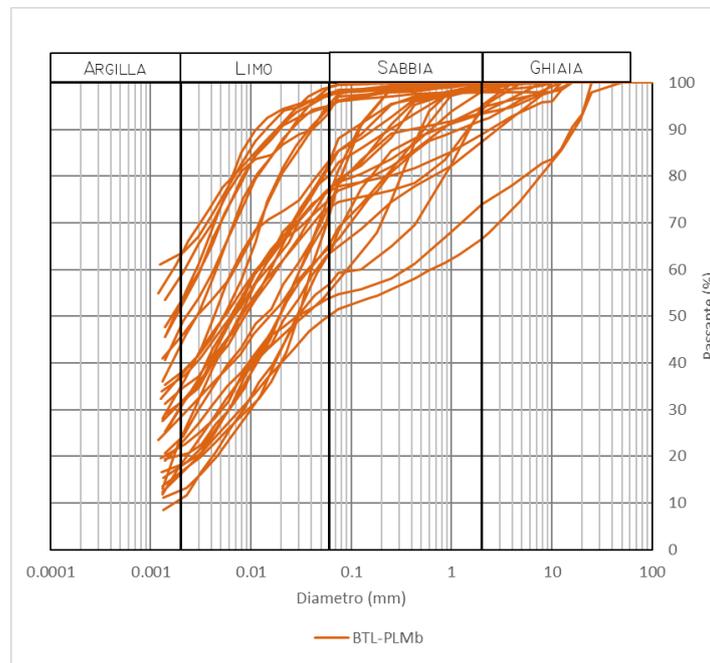
### Sintemi di Bottiglieri e Palomonte (facies BTL-PLMb)

Questa unità geotecnica è composta da depositi limo-sabbiosi e limo-argillosi grigi, alternati a lenti sabbiose e ghiaiose prive di stratificazione e comprende anche la facies BTL-PLMc della formazione geologica (Figura 37).



**Figura 37 BTL-PLMb nel foro di sondaggio S34 tra 40 e 45 m ed S32 tra 35 e 40 m da p.c.**

Le analisi granulometriche eseguite su 36 campioni indisturbati e rimaneggiati mettono in evidenza l'eterogeneità della formazione, coerente con la sua natura e origine. I campioni sono classificabili come limo con argilla sabbioso debolmente ghiaioso (Figura 38, AGI 1977).

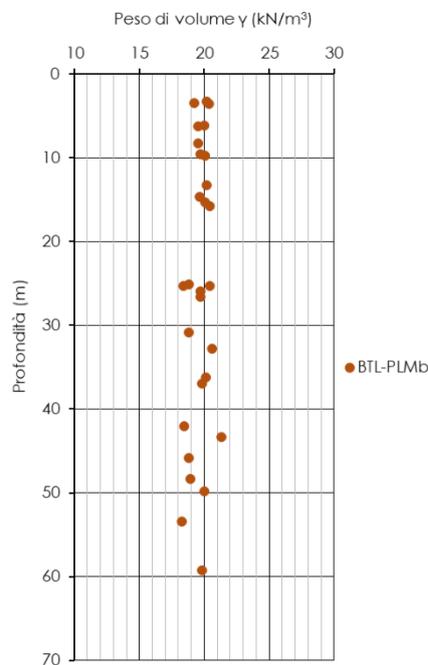


**Figura 38 Analisi granulometrica**

### Proprietà fisiche

Sono stati analizzati 27 campioni indisturbati e 9 campioni rimaneggiati prelevati a profondità comprese tra 3,3 e 59,2 m da piano campagna. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un primo quadro delle principali grandezze fisiche e meccaniche della formazione indagata.

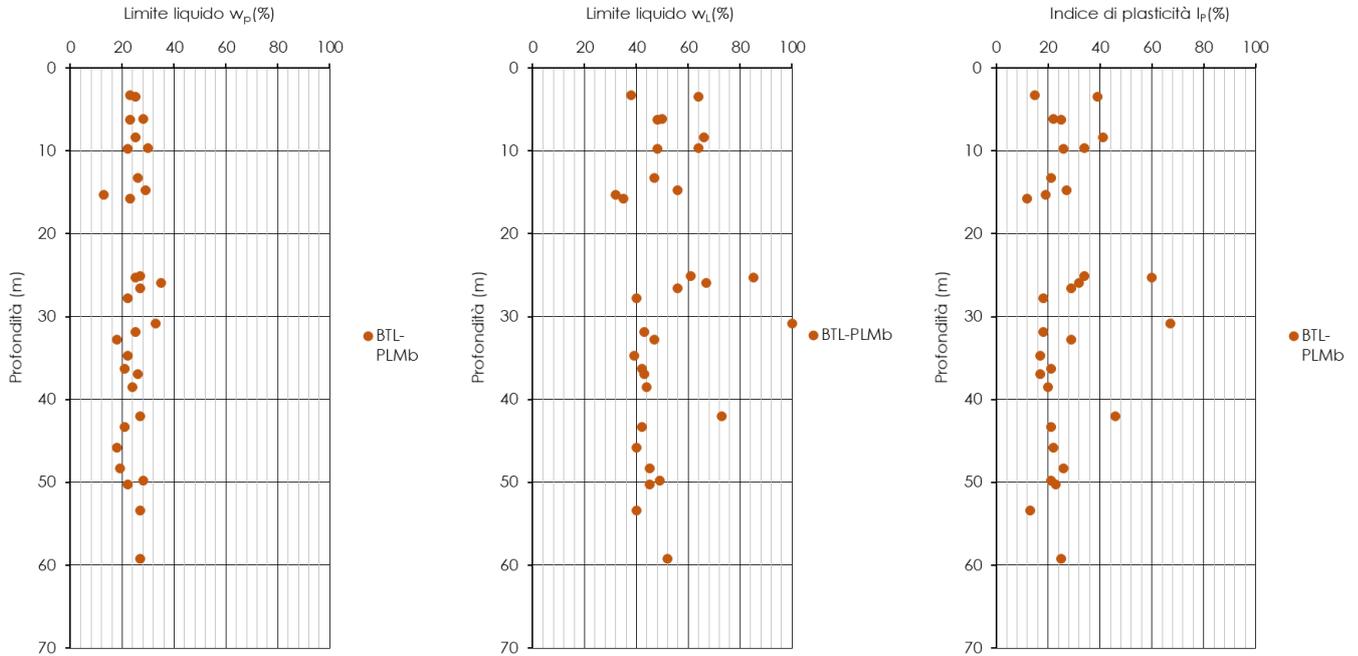
Il peso dell'unità di volume varia tra 18,2 kN/m<sup>3</sup> e 21,3 kN/m<sup>3</sup> ed il peso di volume del materiale secco tra 14,1 kN/m<sup>3</sup> e 18,1 kN/m<sup>3</sup>. Il peso specifico dei granuli valutato su tutti i campioni varia tra 20,4 e 26,4 kN/m<sup>3</sup> (Figura 39).



**Figura 39** Peso dell'unità di volume

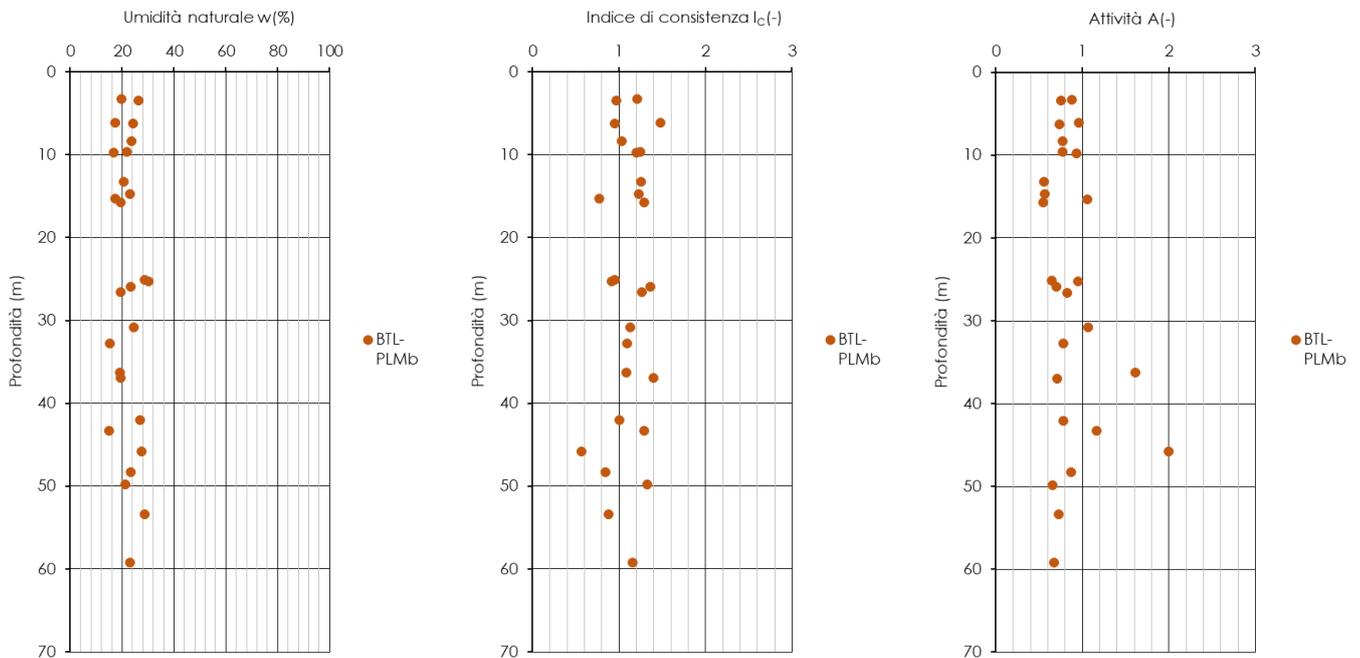
I limiti di Atterberg (Figura 40) sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

- Limite plastico,  $w_p$ : 13% ÷ 35%
- Limite liquido,  $w_L$ : 32% ÷ 100%
- Indice di Plasticità,  $I_p$ : 12% ÷ 67%.



**Figura 40 Limiti di Atterberg e indice di plasticità**

Il contenuto d'acqua naturale  $w$  risulta compreso tra il 14,9% ed il 30,3%, con un indice di consistenza  $I_c$  variabile tra 0,6 e 1,5. L'indice di attività varia tra 0,5 e 2,0 (Figura 41).



**Figura 41 Umidità naturale  $w$ , indice di consistenza  $I_c$  ed attività  $A$**

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche della formazione (Tabella 20).

**Tabella 20 Caratteristiche fisiche**

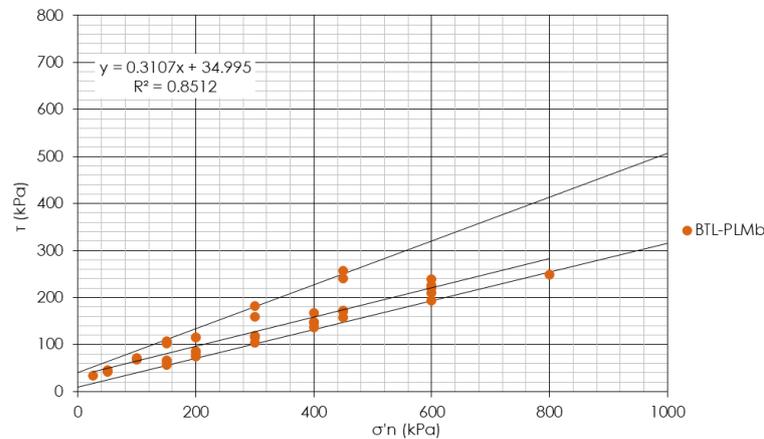
Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	w	w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	I <sub>C</sub>	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
S30	CI2	53.4	18.25	28.60	40.00	27.00	13.00	0.88	0.72
S30	CI3	59.2	19.82	23.00	52.00	27.00	25.00	1.16	0.68
S32	CR4	27.8			40.00	22.00	18.00		
S32	CR5	34.8			39.00	22.00	17.00		
S33	CI2	32.8	20.60	15.30	47.00	18.00	29.00	1.09	0.78
S33	CI3	36.3	20.11	19.20	42.00	21.00	21.00	1.09	1.62
S33	CI4	43.3	21.29	14.90	42.00	21.00	21.00	1.29	1.17
S33	CS5	50.3			45.00	22.00	23.00		
S34	CI3	37.0	19.82	19.30	43.00	26.00	17.00	1.39	0.71
S34	CI4	42.1	18.44	26.80	73.00	27.00	46.00	1.00	0.78
S35	CI5	45.8	18.84	27.50	40.00	18.00	22.00	0.57	2.00
S36	CI5	30.8	18.84	24.40	100.00	33.00	67.00	1.13	1.06
S36	CI6	26.6	19.72	19.30	56.00	27.00	29.00	1.27	0.83
S36	CI7	49.8	20.01	21.20	49.00	28.00	21.00	1.32	0.66
S39	CI6	48.3	18.93	23.20	45.00	19.00	26.00	0.84	0.87
S41	CI1	6.3	19.52	24.20	48.00	23.00	25.00	0.95	0.74
S41	CI2	13.3	20.21	20.70	47.00	26.00	21.00	1.25	0.55
S41	CR5	31.8			43.00	25.00	18.00		
S41	CR6	38.5			44.00	24.00	20.00		
S43	CI1	3.4	19.23	26.20	64.00	25.00	39.00	0.97	0.75
S43	CI2	8.3	19.52	23.60	66.00	25.00	41.00	1.03	0.77
S43	CI3	14.7	19.62	22.90	56.00	29.00	27.00	1.23	0.56
S43	CI4	25.1	18.84	28.60	61.00	27.00	34.00	0.95	0.64
S43bis	CI1	3.3	20.21	19.80	38.00	23.00	15.00	1.21	0.88
S43bis	CI2	9.6	19.72	21.70	64.00	30.00	34.00	1.24	0.77
S43bis	CI3	15.8	20.40	19.50	35.00	23.00	12.00	1.29	0.55
S43bis	CI4	25.9	19.72	23.40	67.00	35.00	32.00	1.36	0.70
S88	CI2	6.1	19.99	17.45	50.00	28.00	22.00	1.48	0.96
S88	CI5	25.3	18.40	30.29	85.00	25.00	60.00	0.91	0.95
S89	CR1	3.6	20.37						
S89	CI2	9.8	20.04	16.82	48.00	22.00	26.00	1.20	0.93
S89	CI3	15.3	20.07	17.39	32.00	13.00	19.00	0.77	1.06
S89	CR4	25.3	20.39						

### Proprietà meccaniche

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

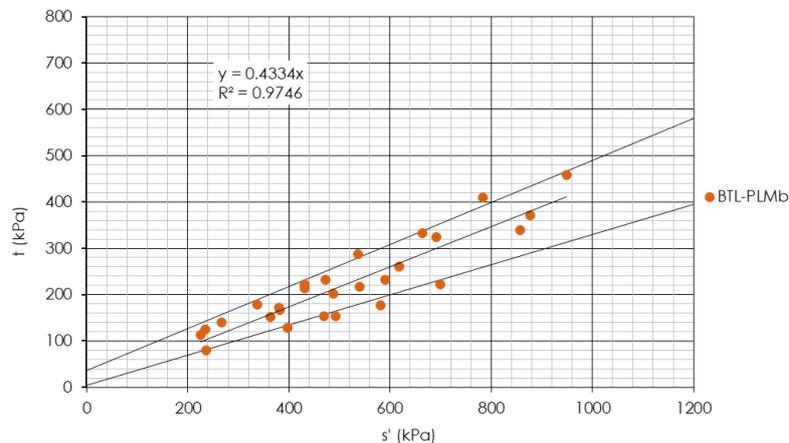
Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati elaborati i risultati di 13 prove di taglio diretto, 9 prove di compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) e 11 prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU).

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 42) restituisce un valore di coesione  $c'$  pari a circa 35 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  pari a circa 17°. L'elaborazione dell'insieme di tutte le prove di taglio diretto fornisce un intervallo di coesione  $c'$  pari a 10÷40 kPa e di angolo di attrito  $\phi'$  pari a 17÷25°. Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 3,5 e 49,8 m dal piano campagna.



**Figura 42 Involuppo di resistenza della prova di taglio diretto (TD)**

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti  $t'$  ed  $s'$  (Figura 43) derivante dall'elaborazione delle prove triassiali CIU restituisce valori di intercetta di coesione  $c'$  pari a 0 kPa e di angolo di attrito  $\varphi'$  pari a  $26^\circ$ . L'elaborazione dell'insieme di tutte le prove triassiali CIU fornisce un intervallo di coesione  $c'$  pari a  $5 \div 40$  kPa e di angolo di attrito  $\varphi'$  pari a  $19 \div 27^\circ$ . I risultati si riferiscono a campioni prelevati a profondità comprese tra 6,3 e 53,4 m dal piano campagna.



**Figura 43 Involuppo di resistenza delle prove triassiali**

Di seguito le tabelle riassuntive delle prove di taglio diretto e delle prova di compressione triassiale CIU (Tabella 21).

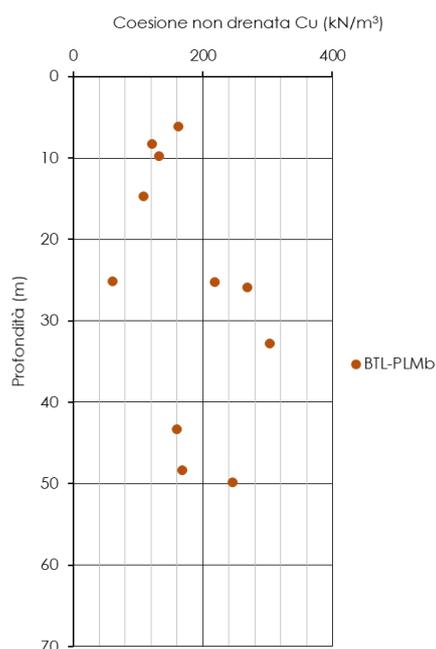
**Tabella 21 Valori a rottura delle prove TD e TXT-CIU**

Prove di taglio diretto					
Sondaggio e Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_n$	$\tau$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
S41 - CI2	13.3	200	85	21.0	10.1
		400	167		
		600	238		
S39 - CI6	48.3	150	103	27.1	26.9
		300	182		
		450	257		
S43 - CI1	3.4	150	56	18.7	4.5
		300	104		
		450	158		
S43 - CI2	8.3	150	66	19.6	11.9
		300	118		
		450	173		
S43 - CI3	14.7	200	75	18.6	9.2
		400	148		
		600	210		
S33 - CI2	32.8	150	108	24.0	36.0
		300	159		
		450	241		
S33 - CI4	43.3	200	77	20.5	0.2
		400	146		
		600	226		
S36 - CI6	26.6	200	85	18.5	16.8
		400	147		
		600	219		
S36 - CI7	49.8	150	65	19.5	11.0
		300	115		
		450	171		
S43bis - CI2	9.6	400	137	15.7	24.6
		600	194		
		800	249		
S88 - CI2	6.1	25	34	24.6	22.9
		50	46		
		100	69		
S89 - CI2	9.8	50	45	25.1	22.3
		100	71		
		200	116		
S89 - CI3	15.3	50	42	26.1	18.7
		100	70		
		200	116		

Prove di compressione triassiale								
Prova	Sondaggio / Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_1$	$\sigma'_3$	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
CIU	S41 - CI1	6.3	339	112	114	225	26.9	13.9
			704	240	232	472		
			1017	367	325	692		
CIU	S43 - CI4	25.1	552	209	172	381	21.0	30.5
			757	323	217	540		
			1198	517	340	857		
CIU	S34 - CI3	37.0	644	218	213	431	28.1	13.6
			997	332	333	665		
			1407	491	458	949		
CIU	S33 - CI3	36.3	549	216	167	383	24.5	6.8
			878	357	261	618		
			1248	505	372	877		
CIU	S35 - CI5	45.8	407	127	140	267	30.1	7.8
			516	158	179	337		
			654	208	223	431		

Prove di compressione triassiale								
Prova	Sondaggio / Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_1$	$\sigma'_3$	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	$\phi'$	$c'$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
CIU	S30 - CI2	53.4	360	111	125	235	31.4	3.7
			824	250	287	537		
			1194	374	410	784		
CIU	S30 - CI3	59.2	516	211	153	364	20.4	27.7
			690	285	202	488		
			823	360	231	591		
CIU	S36 - CI5	30.8	526	268	129	397	15.1	25.3
			645	340	153	492		
			759	405	177	582		
CIU	S34 - CI4	42.1	317	157	80	237	17.9	8.3
			623	316	154	470		
			921	477	222	699		

I valori della resistenza non drenata  $C_u$  ricavati dalle prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU) sono diagrammati in funzione della profondità in Figura 44. I valori risultano compresi tra 60 e 303 kPa.



sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$C_u$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
S33	CI2	32.75	303
S33	CI4	43.30	161
S36	CI7	49.80	246
S39	CI6	48.30	168
S43	CI2	8.30	122
S43	CI3	14.70	109
S43	CI4	25.10	60
S43bis	CI4	25.90	269
S88	CI2	6.10	162
S88	CI5	25.25	219
S89	CI2	9.75	133

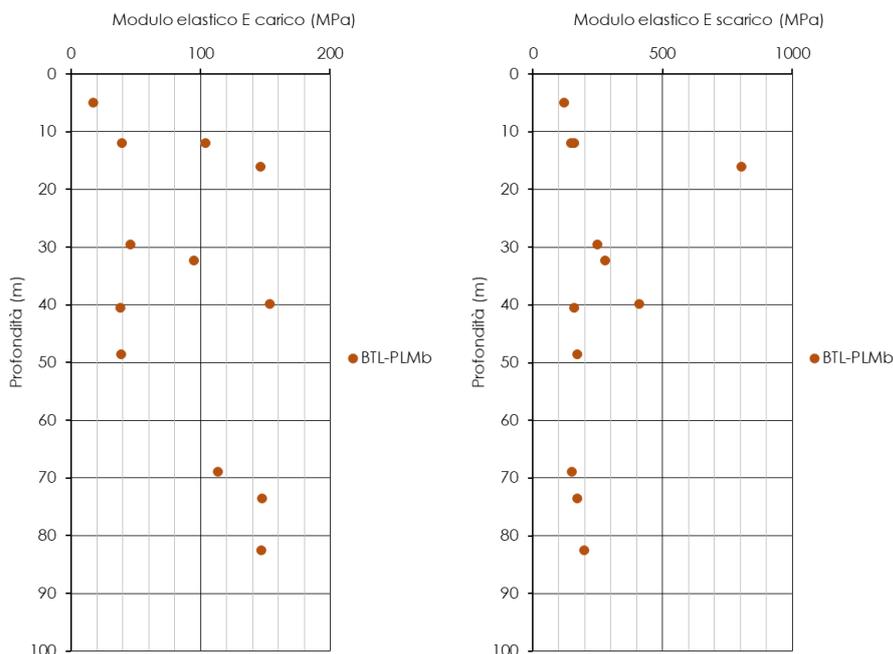
**Figura 44 Valori a rottura prove TXT -UU**

Per determinare le caratteristiche di deformabilità e compressibilità sono stati elaborati i risultati di 4 prove pressiometriche, 8 prove dilatometriche, 1 prova geofisica di tipo MASW e 3 prova down-hole. Per completezza si riportano anche i risultati ottenuti dalle 10 prove di compressione, sebbene le caratteristiche di deformabilità per le opere in sotterraneo siano state definite a partire dai risultati delle prove in sito.

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

Per quanto riguarda le prove dilatometriche, si è considerato per la fase di scarico il modulo determinato per il terzo ciclo di scarico.

Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo  $118 \div 805$  MPa mentre quello di carico nell'intervallo  $17 \div 154$  MPa. La Figura 45 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove pressiometriche e dilatometriche con la profondità.



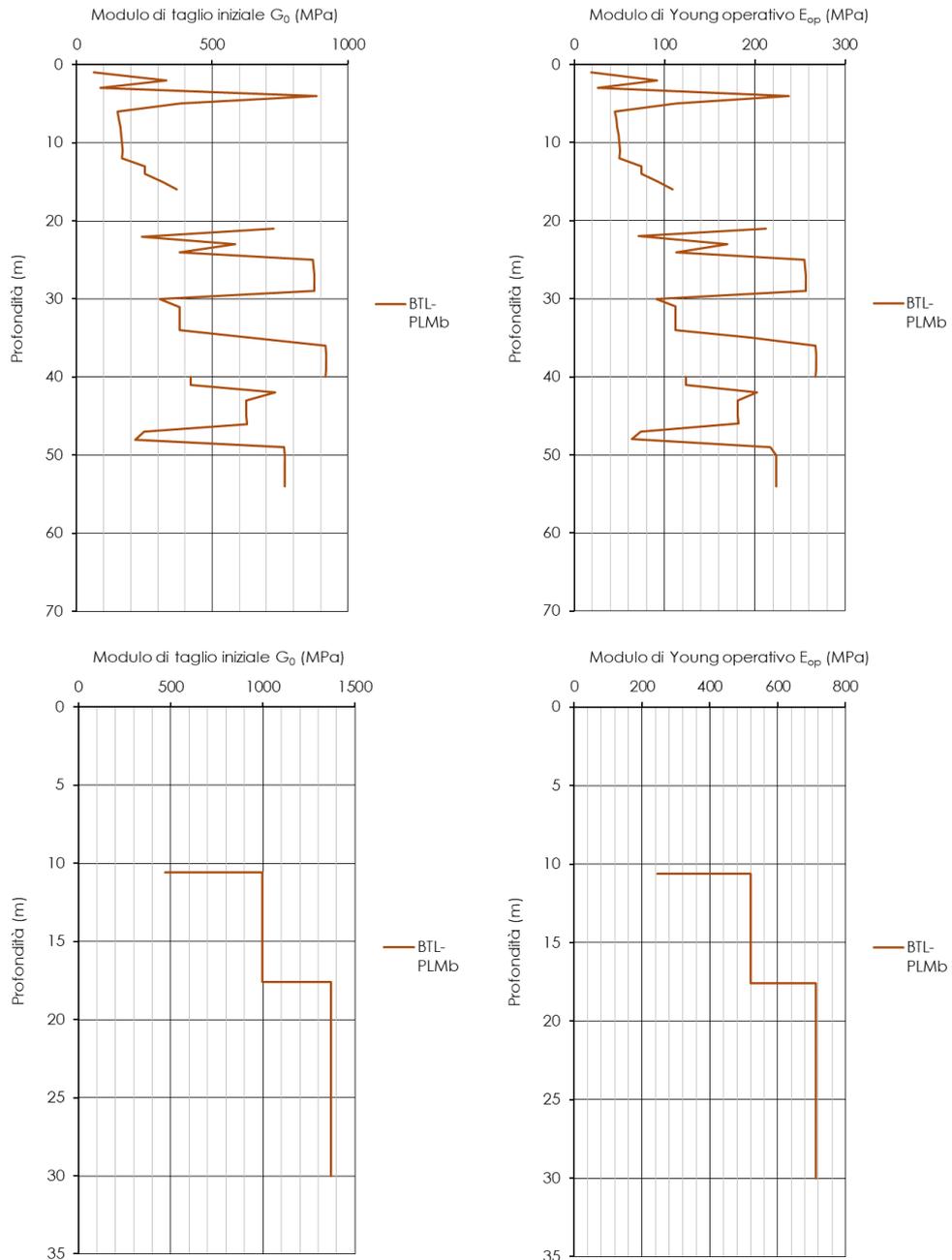
**Figura 45. Moduli di deformabilità da prove pressiometriche e dilatometriche**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove pressiometriche e dilatometriche relative ad ogni sondaggio (Tabella 22).

**Tabella 22 Prove pressiometriche e dilatometriche**

sondaggio	Profondità da p.c.	$E_{carico}$	$E_{scarico}$
(-)	(m)	(MPa)	(MPa)
S32	29.5	46	247
S33	40.5	38	158
S33	48.5	39	170
S34	32.3	95	280
S34	39.8	154	410
S41	12.0	104	148
S43	5.0	17	119
S43	12.0	39	159
S46	68.9	114	150
S46	73.5	147	172
S46	82.5	147	199
S73	16.0	146	805

La Figura 46 mostra gli andamenti con la profondità del modulo di taglio iniziale  $G_0$  e del modulo elastico  $E_{op}$  (assunto pari al 20% del modulo elastico iniziale) ottenuti alle prove geofisiche MASW e Down-Hole.



**Figura 46 Modulo di taglio  $G_0$  e modulo elastico  $E_{op}$  da prove geofisiche**

I parametri ottenuti dall'elaborazione delle prove di compressione edometrica sono diagrammati in funzione della profondità in Figura 47 e Figura 48; tali valori risultano compresi nei seguenti intervalli di variabilità:

- Indice di compressibilità  $C_c$ : 0,10 ÷ 0,20 (-)

- Indice di rigonfiamento  $C_s$ :  $0,07 \div 0,11$  (-)
- Grado di sovraconsolidazione OCR:  $0,3 \div 5,0$  (-)
- Modulo edometrico  $E_{ed}$ :  $2 \div 91$  MPa
- Modulo di Young  $E'$ :  $2 \div 68$  MPa.

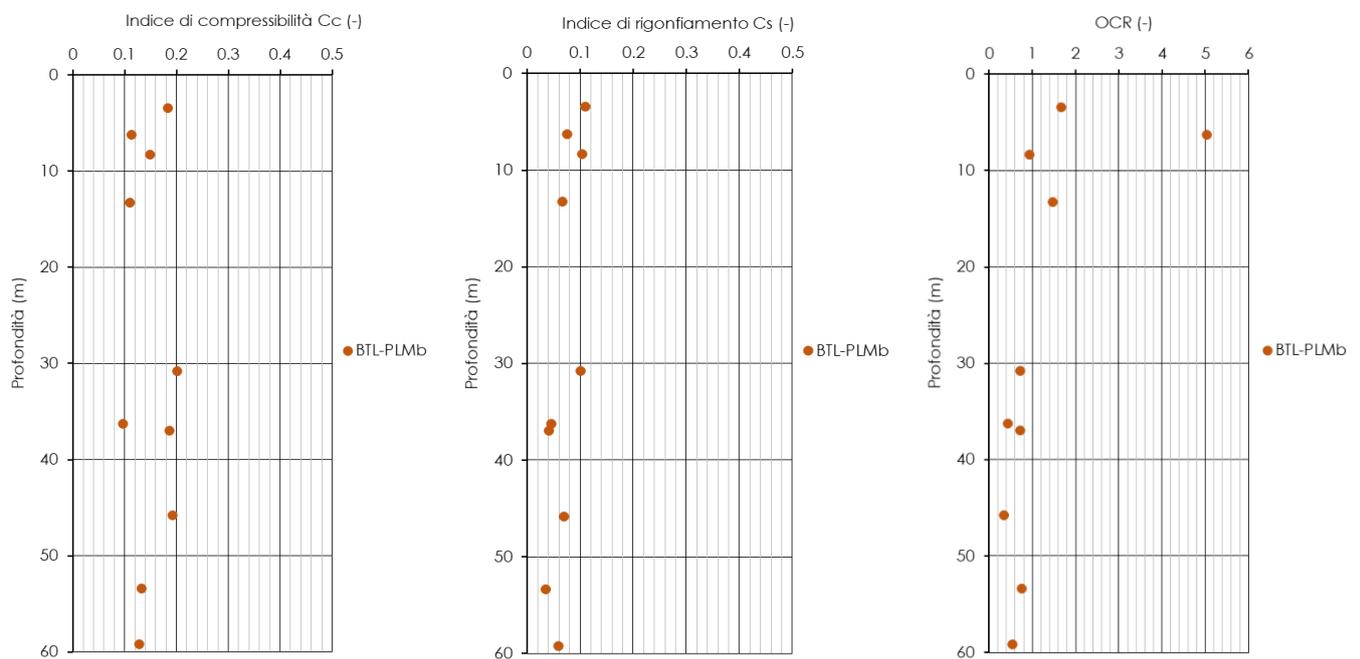
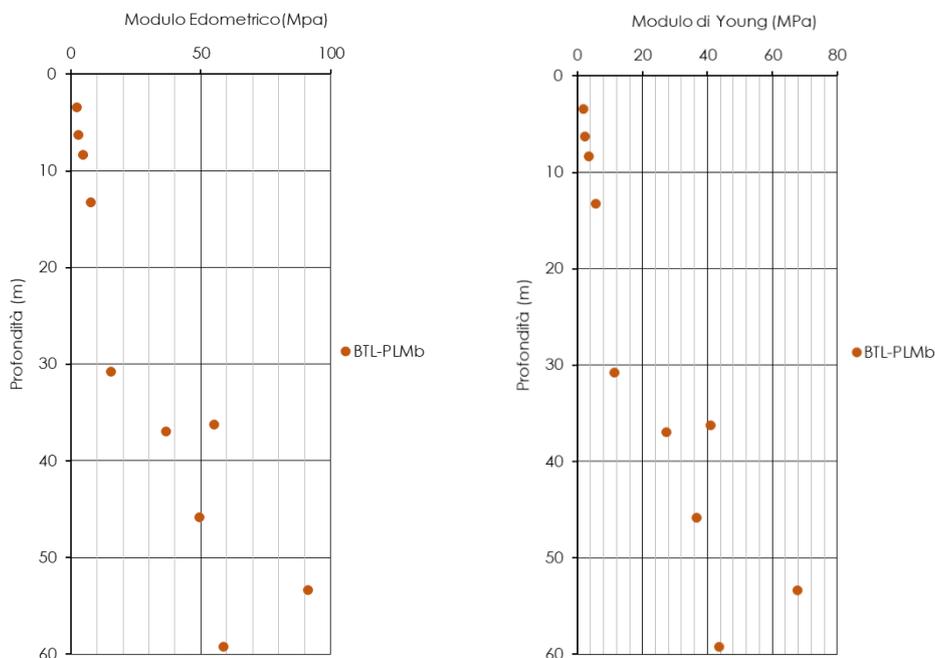


Figura 47 Indice di compressibilità, indice di rigonfiamento e grado di sovraconsolidazione da prove edometriche

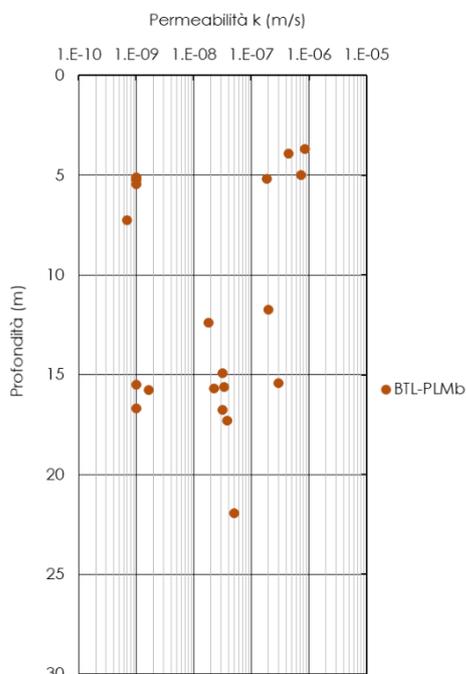

**Figura 48 Modulo edometrico e modulo di Young da prove edometriche**

Di seguito la tabella riassuntiva (Tabella 23).

**Tabella 23 Prove edometriche**

sondaggio	campione	Profondità da p.c.	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	OCR	e <sub>0</sub>	E'ed
(-)	(-)	(m)	(-)	(-)	(-)	(-)	(MPa)
S41	CI1	6.25	0.11	0.07	5.0	0.60	2.94
S41	CI2	13.25	0.11	0.07	1.5	0.60	7.53
S43	CI1	3.425	0.18	0.11	1.7	0.70	2.35
S43	CI2	8.3	0.15	0.10	0.9	0.63	4.71
S34	CI3	36.95	0.19	0.04	0.7	0.50	36.71
S33	CI3	36.25	0.10	0.04	0.4	0.52	55.11
S35	CI5	45.8	0.19	0.07	0.3	0.73	49.35
S30	CI2	53.4	0.13	0.03	0.8	0.75	91.22
S30	CI3	59.2	0.13	0.06	0.5	0.61	58.64
S36	CI5	30.8	0.20	0.10	0.7	0.61	15.42

Sono state eseguite 32 prove di permeabilità di tipo Lefranc nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 0,9 e 80,4 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $4 \times 10^{-10}$  e  $8 \times 10^{-5}$  m/s (Figura 49). Per le prove di permeabilità che hanno fornito un assorbimento nullo è stato assunto un valore pari a  $10^{-9}$  m/s.



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	S46	68.3	1.1E-08
Lefranc	S46	80.4	3.8E-10
Lefranc	S32	32.1	2.3E-08
Lefranc	S41	7.3	7.0E-10
Lefranc	S41	16.8	3.2E-08
Lefranc	S43	5.2	1.8E-07
Lefranc	S43	12.4	1.8E-08
Lefranc	S30	50.3	1.2E-07
Lefranc	S30	62.3	9.9E-08
Lefranc	S33	34.3	4.9E-07
Lefranc	S34	38.0	1.3E-08
Lefranc	S44	5.0	7.3E-07
Lefranc	S44	11.8	2.0E-07
Lefranc	S44	22.0	5.1E-08
Lefranc	S47	5.3	9.6E-09
Lefranc	S43bis	5.5	1.0E-09
Lefranc	S43bis	17.3	3.9E-08
Lefranc	S60	5.1	1.0E-09
Lefranc	S60	15.5	1.0E-09
Lefranc	S87	15.6	3.4E-08
Lefranc	S88	3.9	4.4E-07
Lefranc	S88	15.4	2.9E-07
Lefranc	S89	5.2	1.0E-09
Lefranc	S73	15.8	1.6E-09
Lefranc	S91	14.9	3.1E-08
Lefranc	S90	5.2	1.0E-09
Lefranc	S90	16.7	1.0E-09
Lefranc	S93	3.7	8.7E-07
Lefranc	S93	15.7	2.2E-08
Lefranc	S97	0.9	6.9E-07
Lefranc	S97	3.3	1.6E-08

**Figura 49 Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito**

### Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica *BTL-PLMb*. La Tabella 24 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 24 Sintesi parametri geotecnici**

	min	max	
$\gamma$	18.2	21.3	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_s$	20.4	26.4	(kN/m <sup>3</sup> )
w	14.9	30.3	(%)
w <sub>L</sub>	32.0	100.0	(%)
w <sub>P</sub>	13.0	35.0	(%)
I <sub>P</sub>	12.0	67.0	(%)
c' <sub>TD</sub>	0	36.0	(kPa)
$\phi'$ <sub>TD</sub>	16	27.1	(°)
c' <sub>TX</sub>	4	30.5	(kPa)
$\phi'$ <sub>TX</sub>	15	31.4	(°)
E' <sub>carico</sub>	17.4	153.6	(MPa)
E <sub>carico</sub>	118.5	805.0	(MPa)
k	3.8E-10	8.7E-07	(m/s)

	involuppo di rottura			
	medio	min	max	
c' <sub>TD</sub>	35	10	40	(kPa)
$\phi'$ <sub>TD</sub>	17	17	25	(°)
c' <sub>TX</sub>	0	5	40	(kPa)
$\phi'$ <sub>TX</sub>	26	19	27	(°)

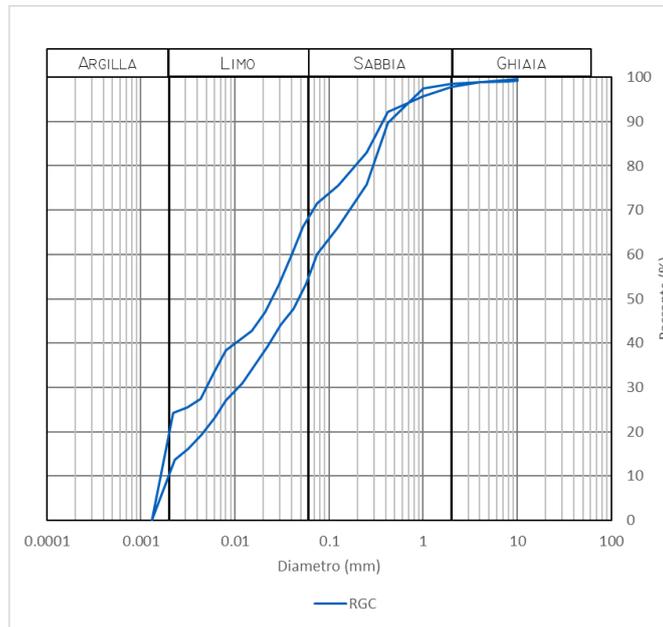
### Ghiaie di Cerreto (RGC)

La formazione è costituita da ghiaie, breccie e conglomerati con clasti eterometrici e livelli fini limoso-sabbiosi o limoso-argillosi che si presentano sia in intervalli stratificati che passaggi caotici. Da sciolti a ben cementati, rapporto tra clasti e matrice variabile. (Figura 50).



**Figura 50 RGC nel foro di sondaggio S49 tra 10 e 20 m da p.c.**

Le analisi granulometriche eseguite su 2 campioni rimaneggiati prelevati permettono di classificare la formazione come limo con sabbia argilloso (Figura 51, AGI 1977).



**Figura 51 Analisi granulometrica**

### Proprietà fisiche

Il peso specifico dei granuli è pari a 26,5 kN/m<sup>3</sup>.

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

- Limite plastico,  $w_p$ : 22% ÷ 23%
- Limite liquido,  $w_L$ : 31% ÷ 38%

- Indice di Plasticità,  $I_p$ : 9% ÷ 15%.

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche della formazione (Tabella 25).

**Tabella 25 Caratteristiche fisiche**

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$w_L$	$w_P$	$I_p$	$\gamma_s$
(-)	(-)	(m)	(%)	(%)	(%)	( $\text{kN/m}^3$ )
S44	CR1	7.0	38.00	23.00	15.00	26.49
S44	CR2	11.3	31.00	22.00	9.00	26.49

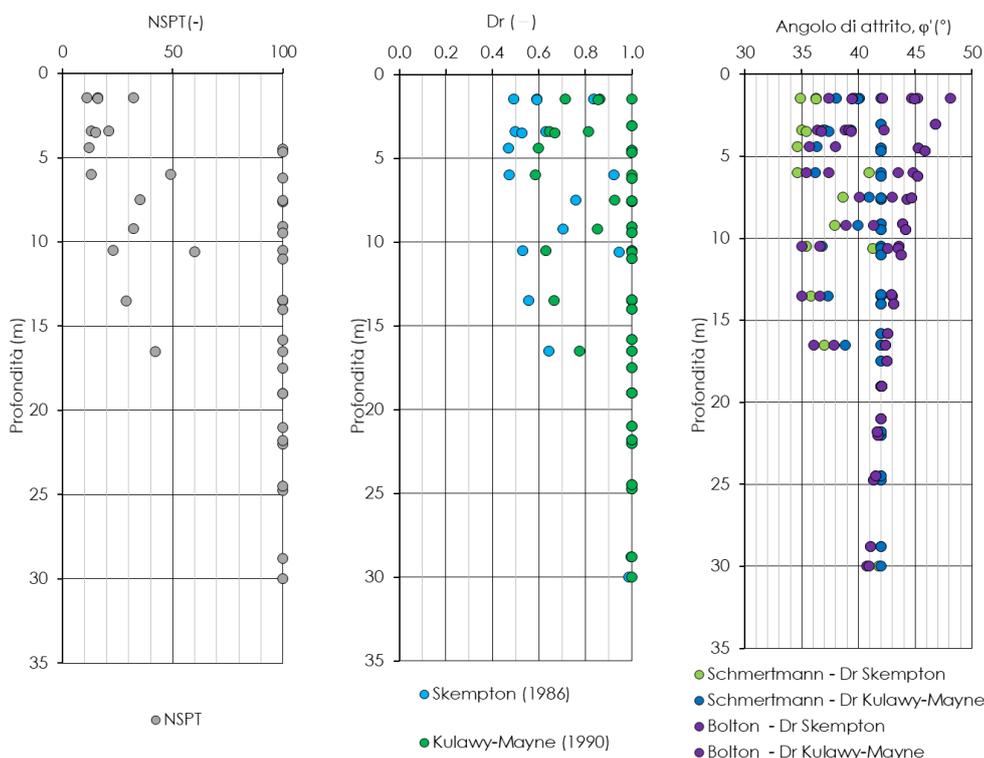
### Proprietà meccaniche

Sono stati analizzati, ai fini della caratterizzazione meccanica, i risultati delle prove di sito.

Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati elaborati i risultati 41 prove penetrometriche dinamiche SPT in accordo alle relazioni empiriche dei terreni granulari (da Rif. [12] a Rif. [20]).

In Figura 52 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.

L'elaborazione dei risultati delle prove in situ definisce un angolo di attrito compreso tra  $35^\circ$  e  $48^\circ$ . La densità relativa risulta compresa tra 0,5 e 1,0. Di seguito la tabella riassuntiva delle prove relative ad ogni verticale di indagine (Tabella 26). Quando la prova SPT ha dato come risultato "rifiuto" è stato attribuito un valore pari a 100 colpi.



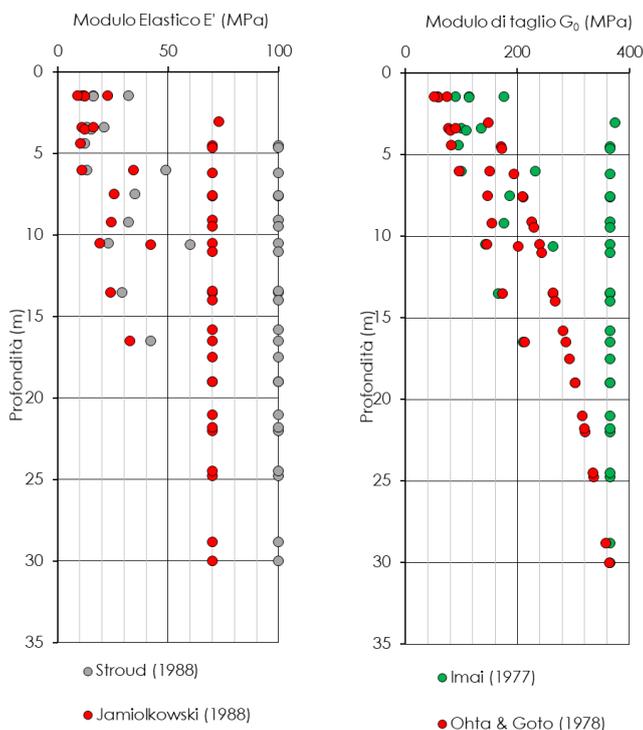
**Figura 52 N<sub>SPT</sub>, densità relativa e angolo di attrito da prove SPT**

Sondaggio	z	N <sub>SPT</sub>	Sondaggio	z	N <sub>SPT</sub>
S75	1.45	16	S94	9.2	32
S75	3.4	13	S94	10.6	60
S75	4.4	12	S94	13.45	100
S75	6	49	S94	16.5	100
S75	7.6	100	S94	19	100
S75	9.1	100	S94	21.8	100
S75	10.5	100	S94	24.75	100
S75	13.5	100	S95	1.45	32
S75	15.8	100	S95	3.05	104
S75	19	100	S95	4.65	100
S75	22	100	S95	6.2	100
S91	10.5	23	S95	7.55	100
S91	13.5	29	S95	9.45	100
S91	16.5	42	S95	11	100
S93	1.5	16	S95	14	100
S93	3.5	15	S95	17.5	100
S94	1.45	11	S95	21	100
S94	3.4	21	S95	17.5	100
S94	4.5	100	S95	21	100
S94	6	13	S95	24.48	100
S94	7.5	35	S95	28.8	100
			S95	30	100

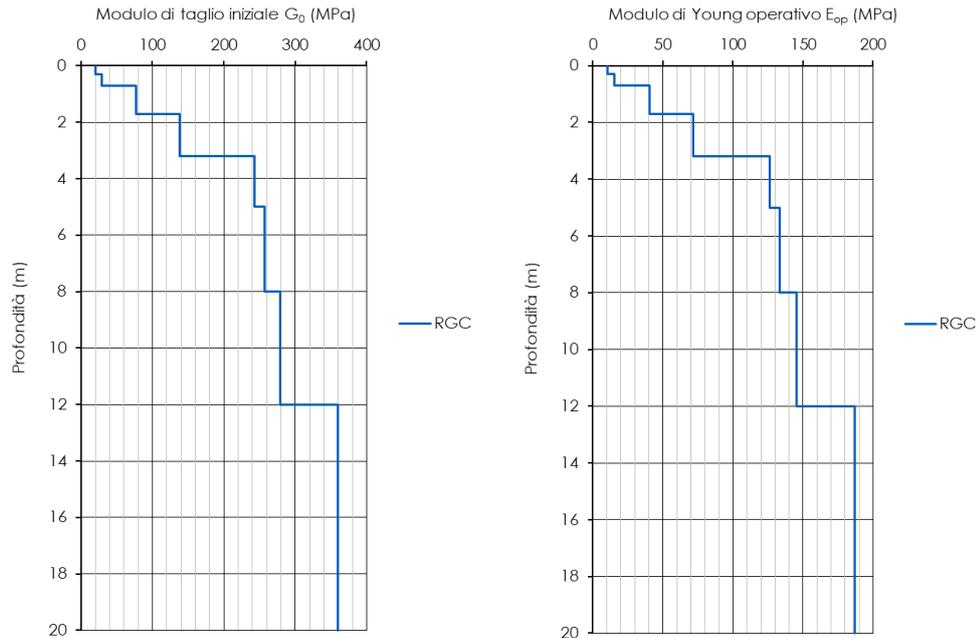
**Tabella 26 Numero di colpi N<sub>SPT</sub>**

Per determinare le caratteristiche di deformabilità sono stati elaborati i risultati di 41 prove SPT e 1 prova geofisica di tipo MASW.

La Figura 53 mostra gli andamenti con la profondità del modulo elastico E' e del modulo di taglio iniziale G<sub>0</sub> ottenuti da prove SPT. I parametri, che mostrano un aumento con la profondità, risultano rispettivamente compresi negli intervalli 9÷13 MPa e 45÷91 MPa.

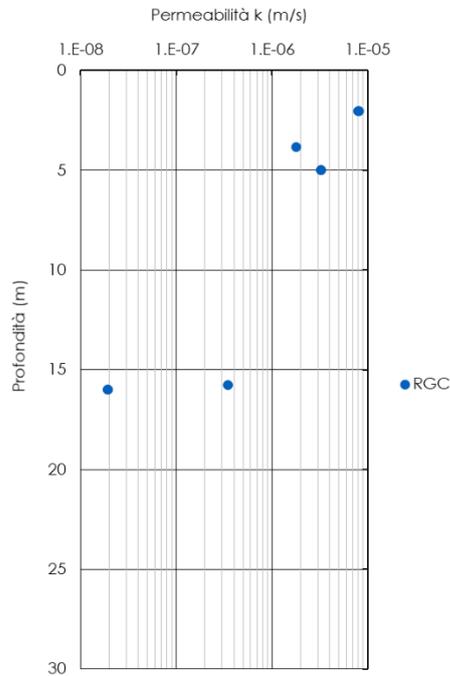

**Figura 53 Modulo elastico E' e modulo di taglio G<sub>0</sub> da prove SPT**

La Figura 54 mostra gli andamenti con la profondità del modulo di taglio iniziale  $G_0$  e del modulo elastico  $E_{op}$  (assunto pari al 20% del modulo elastico iniziale) ottenuti alla prova geofisica MASW.



**Figura 54 Modulo di taglio  $G_0$  e modulo elastico  $E_{op}$  da prove geofisiche**

Sono state eseguite 8 prove di permeabilità di tipo Lefranc nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 2,1 e 16,0 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $2 \times 10^{-8}$  e  $8 \times 10^{-6}$  m/s (Figura 55).



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	S75	2.1	8.1E-06
Lefranc	S75	5.0	3.3E-06
Lefranc	S75	16.0	1.9E-08
Lefranc	S95	3.8	1.8E-06
Lefranc	S95	15.8	3.5E-07
Lefranc	S94	2.1	8.1E-06
Lefranc	S94	5.0	3.3E-06
Lefranc	S94	16.0	1.9E-08

**Figura 55** Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito

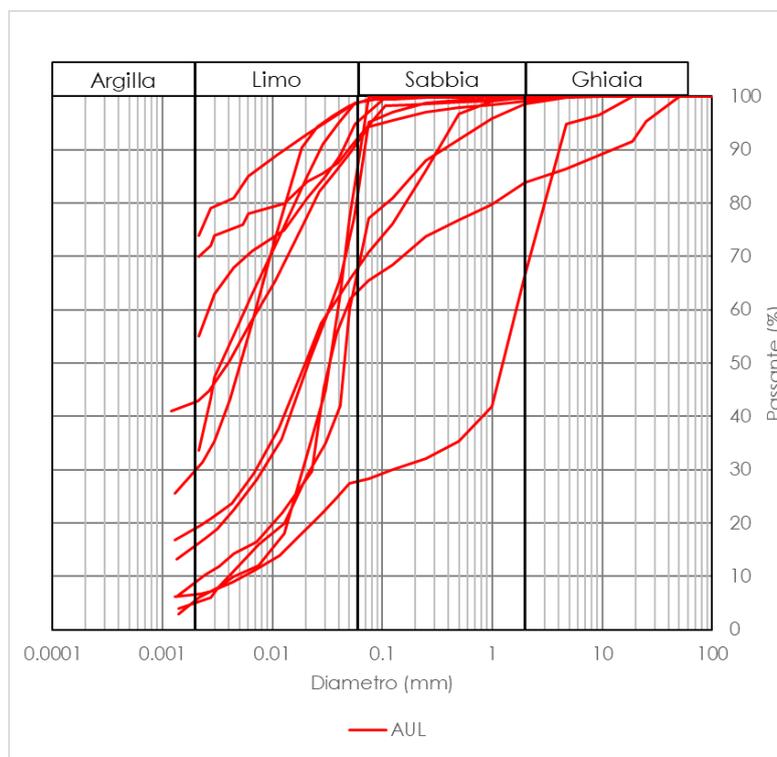
### Sintema di Auletta (AUL)

La formazione è costituita da argille grigio-azzurre con intercalazioni di orizzonti conglomeratico-ghiaiose di potenza metrica. I conglomerati sono poligenici a matrice arenacea prevalente e presentano livelli di sabbie e ghiaie.



**Figura 56 AUL nel foro di sondaggio L1B-S4 tra 80 e 90 m da p.c.**

Le analisi granulometriche eseguite sui 12 campioni prelevati permettono di classificare la formazione come limo con argilla debolmente sabbioso (Figura 57, AGI 1977).



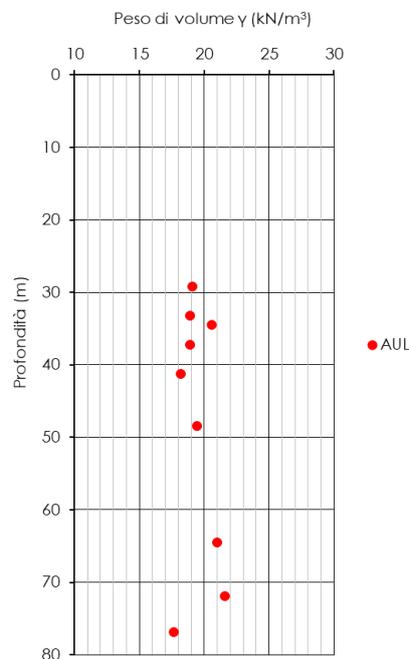
**Figura 57 Analisi granulometrica**

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>	<b>COMMESSA</b> RC2A	<b>LOTTO</b> B1	<b>CODIFICA</b> R07RH	<b>DOCUMENTO</b> GN0000001	<b>REV.</b> C

### Proprietà fisiche

Sono stati analizzati 8 campioni indisturbati e 4 campioni rimaneggiati prelevati tra 29,2 e 98,3 m di profondità da piano campagna. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un primo quadro delle principali grandezze fisiche e meccaniche dell'unità geotecnica indagata.

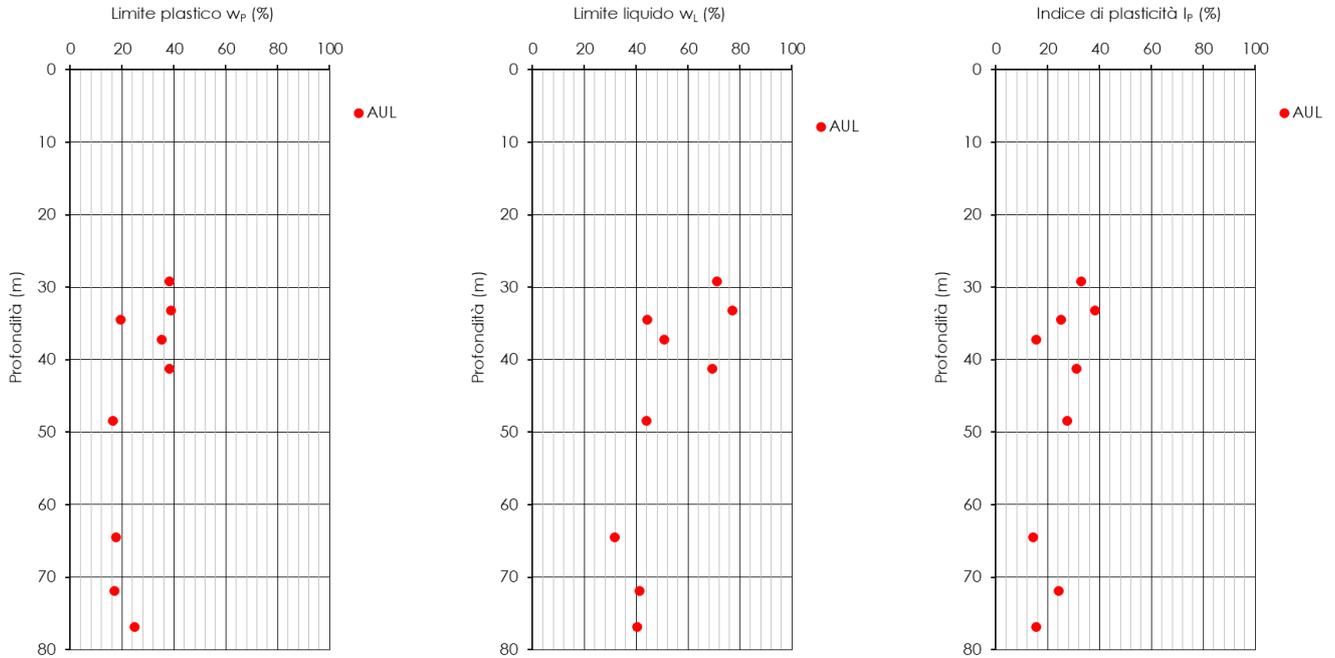
Il peso dell'unità di volume varia tra 17,6 kN/m<sup>3</sup> e 21,6 kN/m<sup>3</sup> ed il peso di volume del materiale secco tra 13,2 kN/m<sup>3</sup> e 19,8 kN/m<sup>3</sup>. Il peso specifico dei granuli valutato su tutti i campioni varia tra 26,1 kN/m<sup>3</sup> e 26,9 kN/m<sup>3</sup> (Figura 58).



**Figura 58** Peso dell'unità di volume  $\gamma$

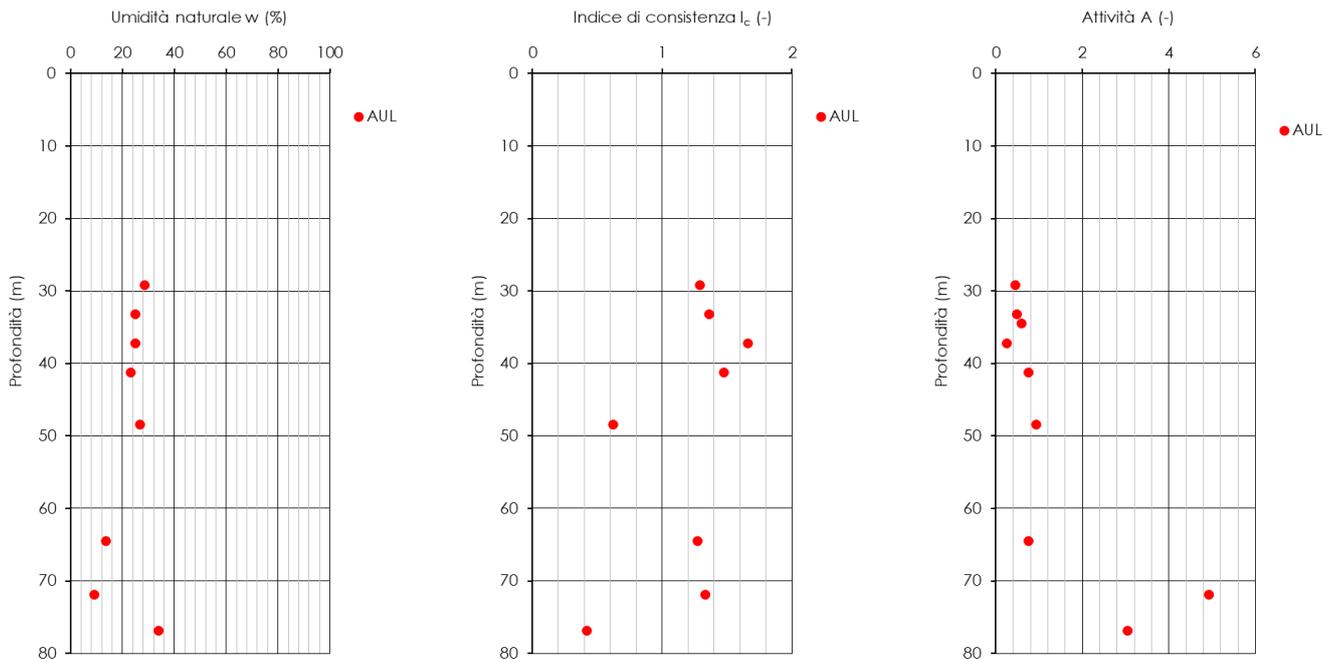
I limiti di Atterberg (Figura 59) sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

- Limite plastico,  $w_p$ : 16% ÷ 39%
- Limite liquido,  $w_L$ : 32% ÷ 77%
- Indice di Plasticità,  $I_p$ : 14% ÷ 38%.



**Figura 59 Limiti di Atterberg e indice di plasticità**

Il contenuto d'acqua naturale  $w$  risulta compreso tra il 9,1% ed il 33,9%, con un indice di consistenza  $I_c$  variabile tra 0,4 e 1,7. L'indice di attività varia tra 0,3 e 4,9 (Figura 60).



**Figura 60 Umidità naturale  $w$ , indice di consistenza  $I_c$  ed attività  $A$**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA <b>RC2A</b>	LOTTO <b>B1</b>	CODIFICA <b>R07RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000001</b>	REV. <b>C</b>

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche dell'unità geotecnica AUL (Tabella 27).

**Tabella 27 Caratteristiche fisiche**

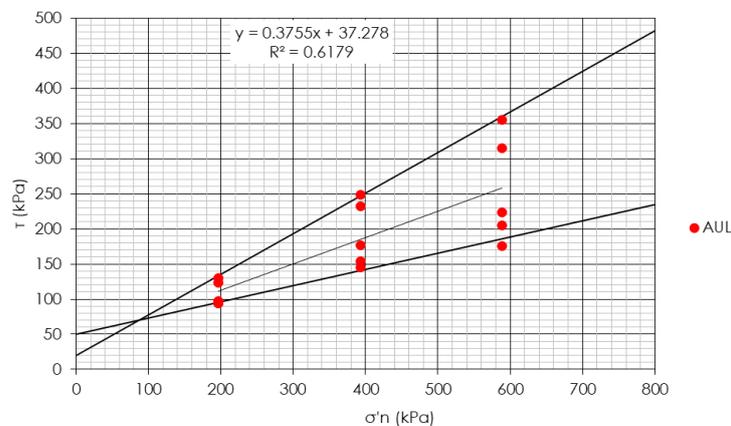
Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\gamma_d$	w	$w_L$	$w_P$	$I_p$	$I_c$	A	$\gamma_s$
(-)	(-)	(m)	( $\text{kN/m}^3$ )	( $\text{kN/m}^3$ )	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)	( $\text{kN/m}^3$ )
L1B-S2	CI1	29.2	19.05	14.81	28.60	71.10	38.10	33.00	1.29	0.46	26.81
L1B-S2	CI2	33.2	18.89	15.12	25.00	77.10	38.80	38.30	1.36	0.49	26.86
L1B-S2	CI3	37.2	18.90	15.11	25.10	50.80	35.30	15.50	1.66	0.25	26.77
L1B-S2	CI4	41.2	18.16	14.73	23.20	69.30	38.10	31.20	1.48	0.74	26.69
L1B-S4	CI1	71.85	21.61	19.80	9.10	41.20	17.10	24.10	1.33	4.93	26.33
L1B-S4	CI2	76.85	17.63	13.17	33.90	40.30	24.90	15.40	0.42	3.05	26.42
L1B-S4	CR1	84.25				41.20	19.80	21.40			26.35
L1B-S4	CR2	91.25									26.14
L1B-S4	CR3	98.25				35.80	19.10	16.70			26.48
L1B-S3bis	CI1	48.4	19.41	15.33	26.70	43.90	16.30	27.60	0.62	0.93	26.62
L1B-S3bis	CI2	64.5	20.96	18.45	13.60	31.80	17.50	14.30	1.27	0.75	26.42
L1B-S3bis	CR2	34.5	20.60	18.02		44.30	19.30	25.00		0.59	26.65

### Proprietà meccaniche

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

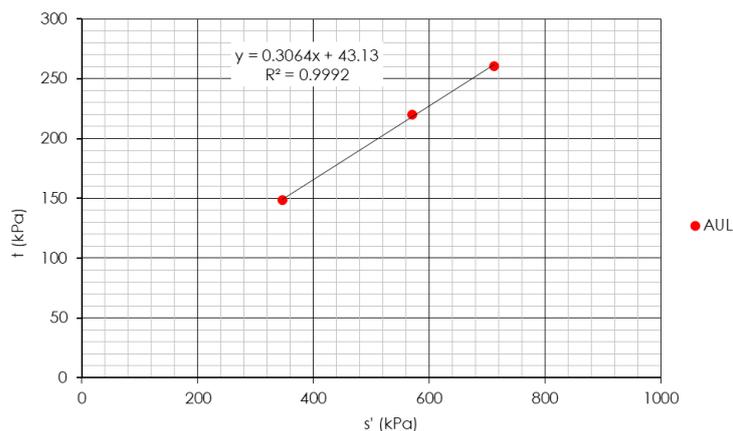
Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati elaborati i risultati di 5 prove di taglio diretto, 1 prova di compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) e 2 prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU).

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 61) restituisce un valore di coesione  $c'$  pari a circa 37 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  pari a circa 21°. L'elaborazione dell'insieme di tutte le prove di taglio diretto fornisce un intervallo di coesione  $c'$  pari a 20÷50 kPa e di angolo di attrito  $\phi'$  pari a 13÷30°. Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 33,2 e 76,9 m dal piano campagna.



**Figura 61 Involuppo di resistenza della prova di taglio diretto (TD)**

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti  $t'$  ed  $s'$  (Figura 62) derivante dall'elaborazione delle prove triassiali CIU restituisce valori di intercetta di coesione  $c'$  pari a circa 45 kPa e di angolo di attrito  $\varphi'$  pari a 18°. I risultati si riferiscono al campione prelevato a 29,2 m dal piano campagna.



**Figura 62** Involuppo di resistenza delle prove triassiali

Di seguito le tabelle riassuntive delle prove di taglio diretto e della prova di compressione triassiale (Tabella 28).

**Tabella 28** Valori a rottura delle prove TD e TXT - CIU

Prove di taglio diretto					
Sondaggio e Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_n$	$\tau$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
L1B-S2 - CI2	33.2	2.0E+02	9.4E+01	11.8	59.5
		3.9E+02	1.5E+02		
		5.9E+02	1.8E+02		
L1B-S2 - CI3	37.2	2.0E+02	9.7E+01	17.9	28.8
		3.9E+02	1.5E+02		
		5.9E+02	2.2E+02		
L1B-S2 - CI4	41.2	2.0E+02	9.4E+01	15.8	47.6
		3.9E+02	1.8E+02		
		5.9E+02	2.1E+02		
L1B-S4 - CI1	71.9	2.0E+02	1.2E+02	26.0	37.1
		3.9E+02	2.5E+02		
		5.9E+02	3.2E+02		
L1B-S4 - CI2	76.9	2.0E+02	1.3E+02	29.9	13.3
		3.9E+02	2.3E+02		
		5.9E+02	3.6E+02		

Prove di compressione triassiale								
Prova	Sondaggio / Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_1$	$\sigma'_3$	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
CIU	L1B-S2 - CI1	29.2	494.73	197.7	148.515	346.215	17.8	45.3
			790.36	350.8	219.78	570.58		
			972.93	452.2	260.365	712.565		

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA <b>RC2A</b>	LOTTO <b>B1</b>	CODIFICA <b>R07RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000001</b>	REV. <b>C</b>

I valori della resistenza non drenata  $C_U$  ricavati dalle prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU) risultano compresi tra 199 e 207 kPa.

**Tabella 29 Valori a rottura prove TXT -UU**

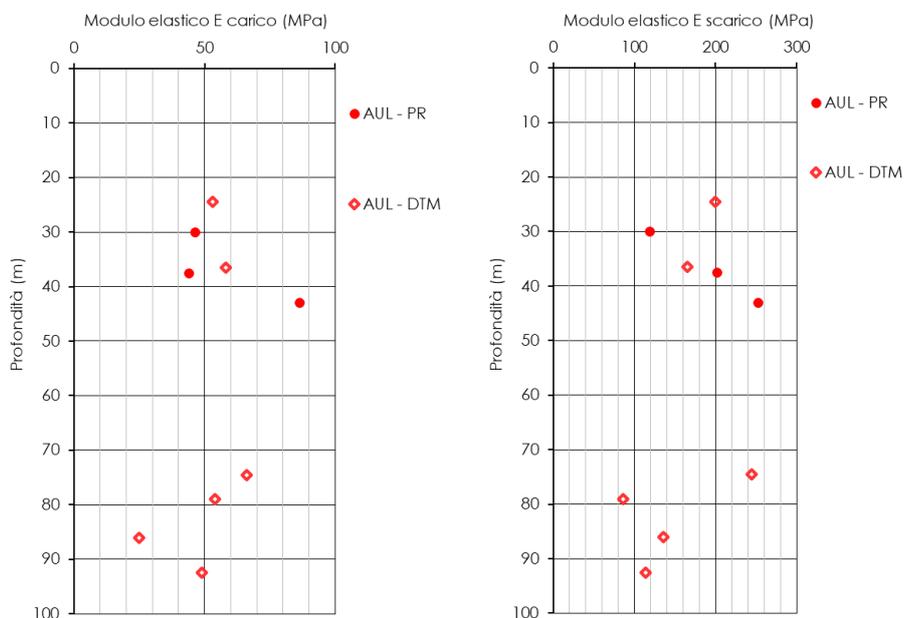
sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$C_{U_{TX-UU}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
L1B-S2	CI2	33.2	199
L1B-S2	CI4	41.2	207

Per determinare le caratteristiche di deformabilità e compressibilità sono stati elaborati i risultati di 3 prove pressiometriche e 6 prove dilatometriche. Per completezza si riportano anche i risultati ottenuti dalle 2 prove di compressione edometrica, sebbene le caratteristiche di deformabilità per le opere in sotterraneo siano state definite a partire dai risultati delle prove in sito.

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

Per quanto riguarda le prove dilatometriche, si è considerato per la fase di scarico il modulo determinato per il terzo ciclo di scarico.

Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo  $86 \div 253$  MPa mentre quello di carico nell'intervallo  $25 \div 86$  MPa. La Figura 63 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove pressiometriche e dilatometriche con la profondità.



**Figura 63. Moduli di deformabilità da prove pressiometriche e dilatometriche**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove pressiometriche e dilatometriche relative ad ogni sondaggio (Tabella 30).

**Tabella 30 Prove pressiometriche e dilatometriche**

sondaggio	Profondità da p.c. (m)	Prova	E <sub>carico</sub> (MPa)	E <sub>scarico</sub> (MPa)
(-)	(m)	(-)	(MPa)	(MPa)
L1B-S2	30.0	Pressiometrica	46.4	119.3
L1B-S2	37.6	Pressiometrica	44.0	201.9
L1B-S2	43.0	Pressiometrica	86.4	252.7
L1B-S3bis	36.5	Dilatometrica	58.0	165.0
L1B-S3bis	24.5	Dilatometrica	53.0	200.0
L1B-S3bis	74.5	Dilatometrica	66.0	244.0
L1B-S4	79.0	Dilatometrica	54.0	86.0
L1B-S4	86.0	Dilatometrica	25.0	136.0
L1B-S4	92.5	Dilatometrica	49.0	114.0

I parametri ottenuti dall'elaborazione delle 2 prove di compressione edometrica sono compresi nei seguenti intervalli di variabilità:

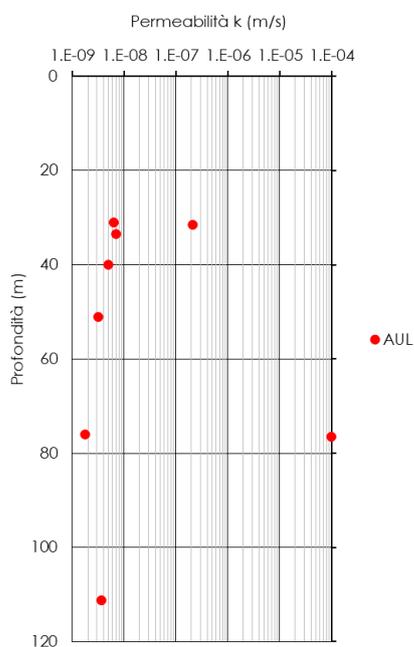
- Indice di compressibilità  $C_c$ : 0,10 ÷ 0,25 (-)
- Indice di rigonfiamento  $C_s$ : 0,03 ÷ 0,04 (-)
- Grado di sovraconsolidazione OCR: 0,4 ÷ 0,6 (-)
- Modulo edometrico  $E_{ed}$ : 10 ÷ 27 MPa
- Modulo di Young  $E'$ : 7,5 ÷ 20 MPa.

Di seguito la tabella riassuntiva (Tabella 31).

**Tabella 31 Prove edometriche**

sondaggio	campione	Profondità da p.c.	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	OCR	e <sub>0</sub>	E'ed
(-)	(-)	(m)	(-)	(-)	(-)	(-)	(MPa)
L1B-S4	CI1	71.9	0.10	0.03	0.4	0.4	27.0
L1B-S4	CI2	76.9	0.25	0.04	0.6	0.9	10.1

Sono state eseguite 8 prove di permeabilità di tipo Lefranc nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 31 e 111,3 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $2 \times 10^{-9}$  e  $1 \times 10^{-4}$  m/s (Figura 64).



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
L1B-S2	Lefranc	31.0	6.4E-09
L1B-S2	Lefranc	33.5	6.9E-09
L1B-S2	Lefranc	40.0	4.9E-09
L1B-S4	Lefranc	76.5	1.0E-04
L1B-S3bis	Lefranc	31.5	2.1E-07
L1B-S3bis	Lefranc	51.0	3.2E-09
L1B-S3bis	Lefranc	76.0	1.8E-09
L1B-S3bis	Lefranc	111.3	3.7E-09

**Figura 64 Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito**

### Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica *AUL*. La Tabella 32 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 32 Sintesi parametri geotecnici**

	min	max	
$\gamma$	17.6	21.6	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_s$	26.1	26.9	(kN/m <sup>3</sup> )
w	9.1	33.9	(%)
w <sub>L</sub>	31.8	77.1	(%)
w <sub>P</sub>	16.3	38.8	(%)
I <sub>P</sub>	14.3	38.3	(%)
I <sub>C</sub>	0.4	1.7	(-)
A	0.3	4.9	(-)
c' <sub>TD</sub>	13	59.5	(kPa)
$\phi'$ <sub>TD</sub>	12	29.9	(°)
c' <sub>TX</sub>	45	45.3	(kPa)
$\phi'$ <sub>TX</sub>	18	17.8	(°)
E' <sub>carico</sub>	25.0	86.4	(MPa)
E' <sub>scarico</sub>	86.0	252.7	(MPa)
k	1.8E-09	1.0E-04	(m/s)

	involuppo di rottura			
	medio	min	max	
c' <sub>TD</sub>	37	20	50	(kPa)
$\phi'$ <sub>TD</sub>	21	30	13	(°)
c' <sub>TX</sub>	45	0	0	(kPa)
$\phi'$ <sub>TX</sub>	18	0	0	(°)

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

### *Calcari con Requenie e Gasteropodi (CRQ)*

La formazione è definita come costituita da calcari grigi ben stratificati contenenti.

Sono stati realizzati su di essa 2 stop geologici ed è stata intercettata da 4 sondaggi. Nel primo affioramento l'ammasso si presenta composto nella zona sana da calcari micritici chiari ben stratificati, nella fascia tettonizzata invece l'ammasso si presenta molto fratturato. Nel secondo affioramento l'ammasso, dall'aspetto più bucherellato e stratificazione meno visibile, mostra evidenze di carsismo, fenomeno che può essere presente in questa formazione.

Nel sondaggio S45, in faglia, la formazione si presenta come un calcare dolomitico molto fratturato, che arriva nelle zone più disturbate a breccia costituita da blocchi calcarei immersi in una matrice sabbio-limosa (Figura 65). Nello stesso sondaggio, si è riconosciuta la presenza di una cavità carsica di dimensioni metriche riempita da depositi alluvionali (Figura 66).



**Figura 65 CRQ nei fori di sondaggio L1B-S03 tra 150 e 155 m e L1B-S45 tra 85 e 90 m da p.c**



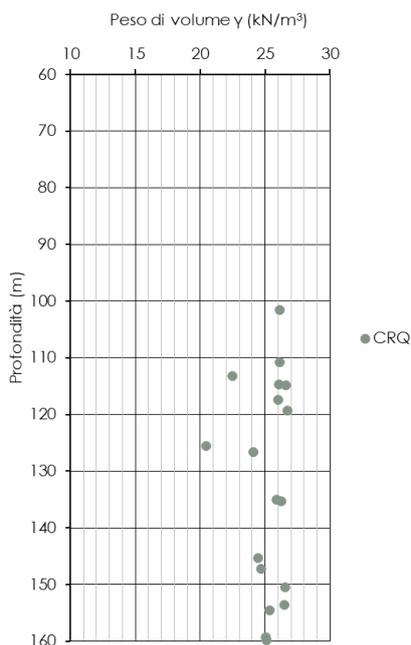
**Figura 66 Cavità carsica riempita di materiale alluvionale (L1B-S45 tra 100 e 110 m da p.c.)**

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA <b>RC2A</b>	LOTTO <b>B1</b>	CODIFICA <b>R07RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000001</b>	REV. <b>C</b>

### Caratterizzazione della roccia intatta

Sono stati prelevati all'interno della formazione 18 campioni litoidi, tra 101,5 e 159,8 m di profondità da piano campagna, i quali sono stati sottoposti a prove di laboratorio.

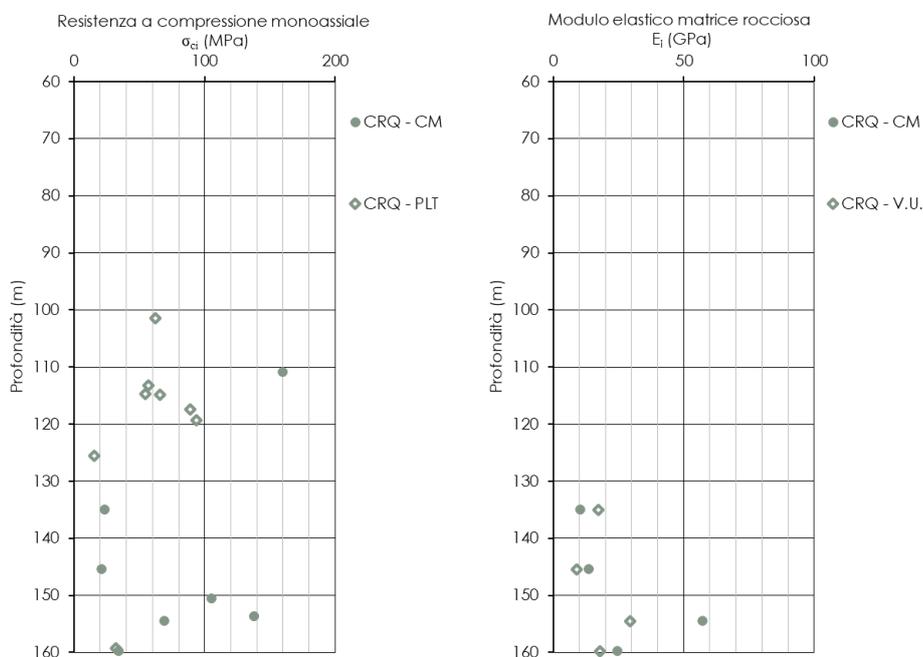
Per quanto riguarda le caratteristiche fisiche, il peso dell'unità di volume dei campioni, il cui andamento con la profondità è mostrato in Figura 67, risulta variabile tra 20,4 e 26,7 kN/m<sup>3</sup>.



**Figura 67** Peso dell'unità di volume

Per determinare le caratteristiche di resistenza e deformabilità della roccia intatta sono state eseguite 7 prove di compressione monoassiale semplice e 8 point load test. In Figura 68 si riporta l'andamento della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta con la profondità. I valori ottenuti risultano compresi tra 15 e 160 MPa.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 4 prove di velocità sonica su provino e 4 prove di compressione monoassiale (CM) condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 9,0 e 57,3 GPa (Figura 68).



**Figura 68 Resistenza a compressione monoassiale e modulo elastico della roccia intatta**

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti (Tabella 33).

**Tabella 33 Prove sui campioni litoidi**

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\sigma_{ci,CM}$	$\sigma_{ci,PLT}$	$E_{i,CM}$	$E_{i,VU}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
L1B-S3	C2	150.5	26.57	105.0			
L1B-S3	C3	153.6	26.47	138.0			
L1B-S45	C1	101.5	26.14		61.9		
L1B-S45	C2	110.8	26.14	160.0			
L1B-S45	C3	114.9	26.59		65.5		
L1B-S45	C4	117.4	26.03		88.8		
L1B-S45	C5	119.3	26.73		93.8		
L1B-S45quater	C1	113.25	22.51		56.6		
L1B-S45quater	C2	126.6	24.09				
L1B-S45quater	C3	135.25	26.22				
L1B-S45quater	C4	147.2	24.67				
L1B-S45quater	C5	159.25	25.03		32.2		
L1B-S45ter	C1	114.7	26.05		54.7		
L1B-S45ter	C2	125.5	20.43		15.1		
L1B-S45ter	C3	135	25.86	23.2		10.2	17.3
L1B-S45ter	C4	145.4	24.48	21.1		13.5	9.0
L1B-S45ter	C5	154.5	25.37	68.9		57.3	29.3
L1B-S45ter	C6	159.8	25.08	34.0		24.6	17.8

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA <b>RC2A</b>	LOTTO <b>B1</b>	CODIFICA <b>R07RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000001</b>	REV. <b>C</b>

### Caratterizzazione dell'ammasso roccioso e delle discontinuità

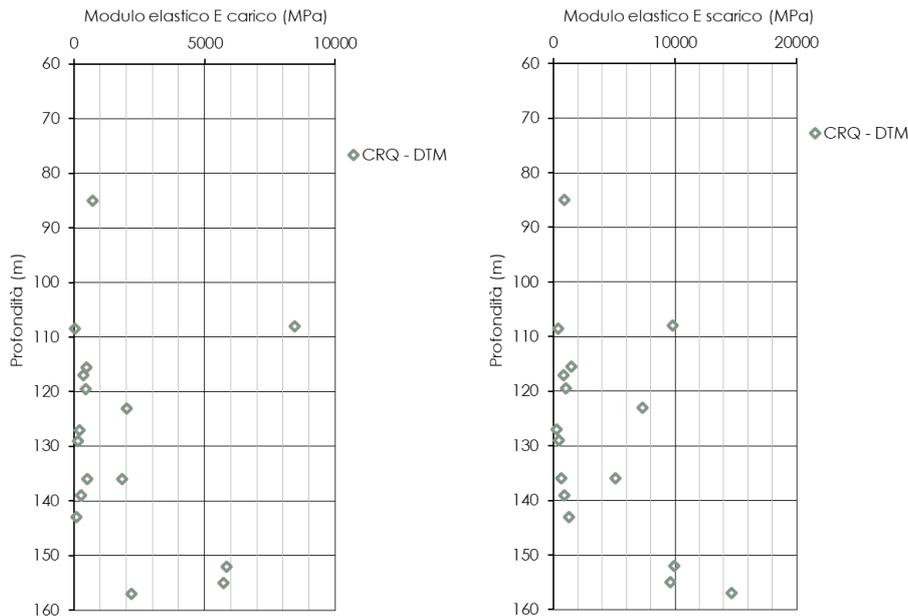
Al fine di valutare le caratteristiche strutturali e di deformabilità dell'ammasso roccioso sono stati considerati i risultati delle prove eseguite in foro ed i risultati ottenuti dal rilievo geomeccanico da cassetta.

#### ○ Prove in sito

Per determinare le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso sono stati elaborati i risultati di 16 prove dilatometriche eseguite tra 85,0 e 157,0 m di profondità.

L'interpretazione delle prove dilatometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente alla fase di scarico e di carico. In particolare, si è considerato per la fase di scarico il modulo determinato per il terzo ciclo di scarico. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo 254 ÷ 14661 MPa mentre quello di carico nell'intervallo 32 ÷ 8448 MPa.

La Figura 69 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove dilatometriche con la profondità.



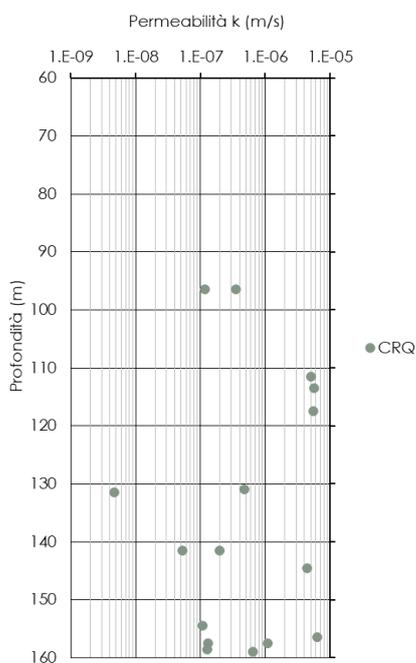
**Figura 69 Moduli di deformabilità da prove dilatometriche**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove dilatometriche eseguite (Tabella 34).

**Tabella 34 Prove dilatometriche**

sondaggio	Profondità da p.c.	Prova	E <sub>carico</sub>	E <sub>scarico</sub>
(-)	(m)	(-)	(MPa)	(MPa)
L1B-S45	108.5	Dilatometrica	32.0	400.0
L1B-S45	115.5	Dilatometrica	457.7	1484.9
L1B-S45	119.5	Dilatometrica	438.6	1023.3
L1B-S45bis	143.0	Dilatometrica	76.9	1242.4
L1B-S45quater	139.0	Dilatometrica	258.0	873.0
L1B-S45quater	136.0	Dilatometrica	498.0	618.0
L1B-S45quater	129.0	Dilatometrica	141.0	422.8
L1B-S45quater	127.0	Dilatometrica	198.0	254.0
L1B-S45quater	117.0	Dilatometrica	361.0	811.0
L1B-S45quater	85.0	Dilatometrica	707.0	878.0
L1B-S45ter	157.0	Dilatometrica	2190.0	14661.0
L1B-S45ter	155.0	Dilatometrica	5723.0	9625.0
L1B-S45ter	152.0	Dilatometrica	5837.0	9912.0
L1B-S45ter	136.0	Dilatometrica	1848.8	5084.0
L1B-S45ter	123.0	Dilatometrica	2009.7	7326.9
L1B-S45ter	108.0	Dilatometrica	8447.8	9833.7

Sono state eseguite 3 prove di permeabilità di tipo Lefranc e 13 prove di permeabilità di tipo Lugeon nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 96,5 e 159,0 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $5 \times 10^{-9}$  e  $6 \times 10^{-6}$  m/s (Figura 70).



Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
L1B-S3	Lugeon	144.5	4.4E-06
L1B-S3	Lugeon	156.5	6.4E-06
L1B-S45	Lefranc	111.5	5.1E-06
L1B-S45	Lefranc	113.5	5.7E-06
L1B-S45	Lefranc	117.5	5.5E-06
L1b-S45quater	Lugeon	96.5	3.5E-07
L1b-S45quater	Lugeon	131.0	4.7E-07
L1b-S45quater	Lugeon	141.5	2.0E-07
L1b-S45quater	Lugeon	157.5	1.1E-06
L1b-S45quater	Lugeon	159.0	6.5E-07
L1b-S45ter	Lugeon	96.5	1.2E-07
L1b-S45ter	Lugeon	131.5	4.7E-09
L1b-S45ter	Lugeon	141.5	5.3E-08
L1b-S45ter	Lugeon	154.5	1.1E-07
L1b-S45ter	Lugeon	157.5	1.3E-07
L1b-S45ter	Lugeon	158.5	1.3E-07

**Figura 70 Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito**

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>	<b>COMMESSA</b> RC2A	<b>LOTTO</b> B1	<b>CODIFICA</b> R07RH	<b>DOCUMENTO</b> GN0000001	<b>REV.</b> C

○ Rilievi geomeccanici da cassetta

Sono stati eseguiti i rilievi geomeccanici da cassetta per i sondaggi che intercettano la formazione. I risultati sono stati elaborati valutando l'indice GSI a partire dall'RQD secondo la formulazione di Truzman e al. (2011). La Figura 71 mostra l'andamento con la profondità dell'indice di qualità e dell'RQD ottenuti.

L'indice GSI risulta molto variabile (tra 19 e 78) in funzione del grado di fratturazione dell'ammasso, e risente inoltre della destrutturazione avvenuta in fase in perforazione.

Il range di variazione che si può assumere, facendo riferimento agli abachi di Hoek&Marinos (Rif. [21]) e alle risultanze derivanti della monografia del sondaggio, è compreso tra 40÷50 (alterazione da leggera a moderata, struttura stratificata da parzialmente disturbata a disturbata) (Figura 72).

Per quanto riguarda le zone di faglia, cautelativamente si può assumere un range tra 20÷30 (alterazione da moderata ad elevata, struttura da disturbata a completa disgregazione) (Figura 72).

Figura 71 RQD e GSI per il sondaggio L1B-S03

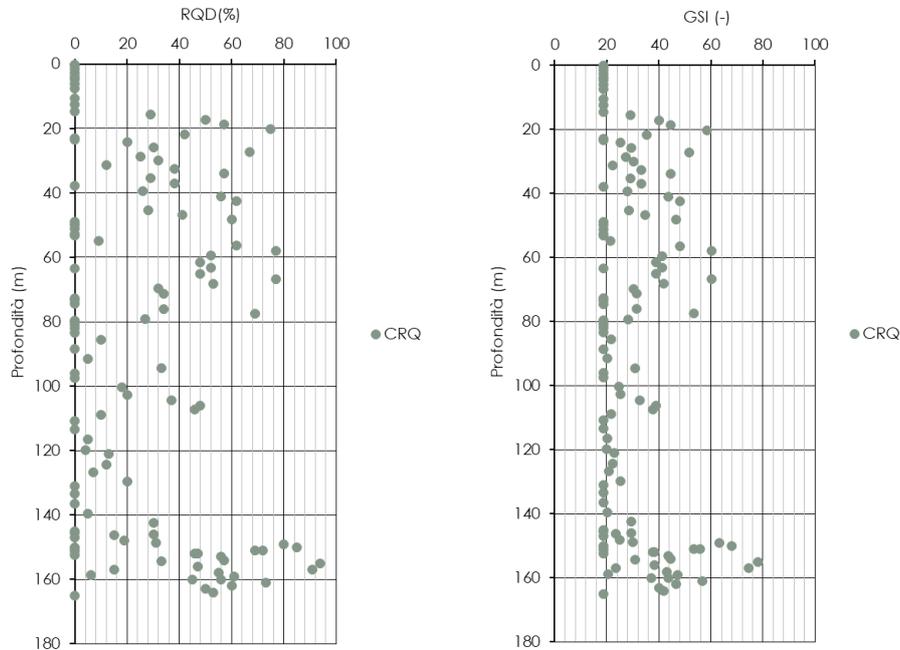
Table 7: Most common GSI range of typical limestone.\*

STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS	DECREASING SURFACE QUALITY			
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR
<p><b>INTACT OR MASSIVE</b> - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p> 	Very rough, fresh unweathered surfaces	80	80	N/A	N/A
<p><b>BLOCKY</b> - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p> 	Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	70	60	1	
<p><b>VERY BLOCKY</b> - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p> 	Smooth, moderately weathered and altered surfaces	50	40	2	
<p><b>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY</b> - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p> 	Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	30	20	3	
<p><b>DISINTEGRATED</b> - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p> 	VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings	10			
<p><b>LAMINATED/SHEARED</b> - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p> 		N/A	N/A		

**\*WARNING:**  
The shaded areas are indicative and may not be appropriate for site specific design purposes. Mean values are not suggested for indicative characterisation; the use of ranges is recommended

- Massive
- Thin bedded
- Brecciated

Figura 72 Abaco per la determinazione del GSI per i calcari


**Figura 73 Rilievi geomeccanici da cassetta**

### Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica *CRQ*. La Tabella 35 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 35 Sintesi parametri geotecnici**

	min	max	
$\gamma$	20.4	26.7	(kN/m <sup>3</sup> )
$\sigma_{ci,CM}$	21.1	160.0	(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	15.1	93.8	(MPa)
$E_{i,CM}$	10.2	57.3	(GPa)
$E_{i,VU}$	9.0	29.3	(GPa)
$E'_{carico}$	32.0	8447.8	(MPa)
$E'_{scarico}$	254.0	14661.0	(MPa)
$RQD_{cassetta}$	0	94	(-)
$GSI_{cassetta}$	19	78	(-)
$k$	4.7E-09	6.4E-06	(m/s)

### Formazione di Monte Sierio (SIE)

La formazione è definita come costituita da argille marnoso-limose e limoso sabbiose grigio verdi e grigio scuro alternate a strati da sottili a medi di calcareniti e brecciole torbiditiche. Livelli metrici caotici, costituiti da conglomerati ed elementi poligenici in matrice argilloso-sabbiosa grigiastra.

È stato realizzato su di essa un unico sondaggio che non ha consentito il prelievo di campioni indisturbati. La formazione si presenta come un'alternanza di argille marnose, blocchi consistenti di argille marnose e ciottoli con ghiaia grossa principalmente di natura carbonatica con presenza di limo.



Figura 74 SIE nel foro di sondaggio S4bis tra 30 e 40 m da p.c.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati permettono di classificare la formazione come limo con argilla debolmente sabbiosa (Figura 75, AGI 1977).

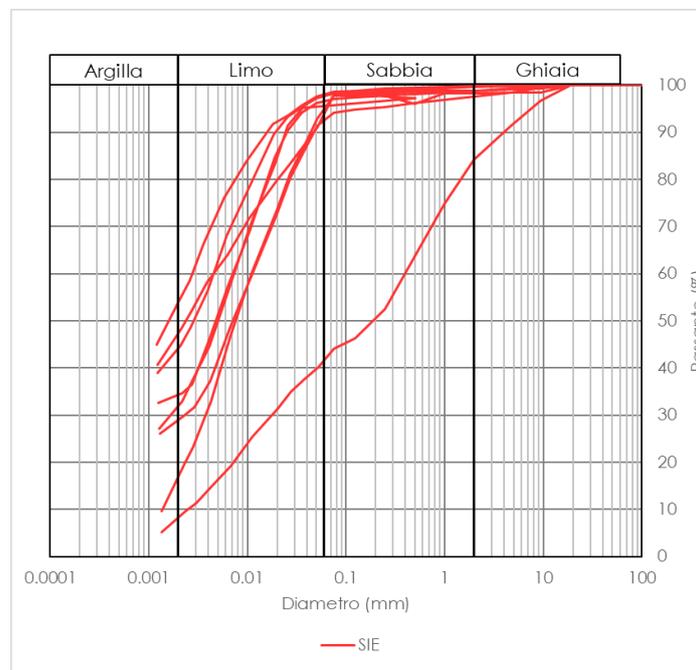


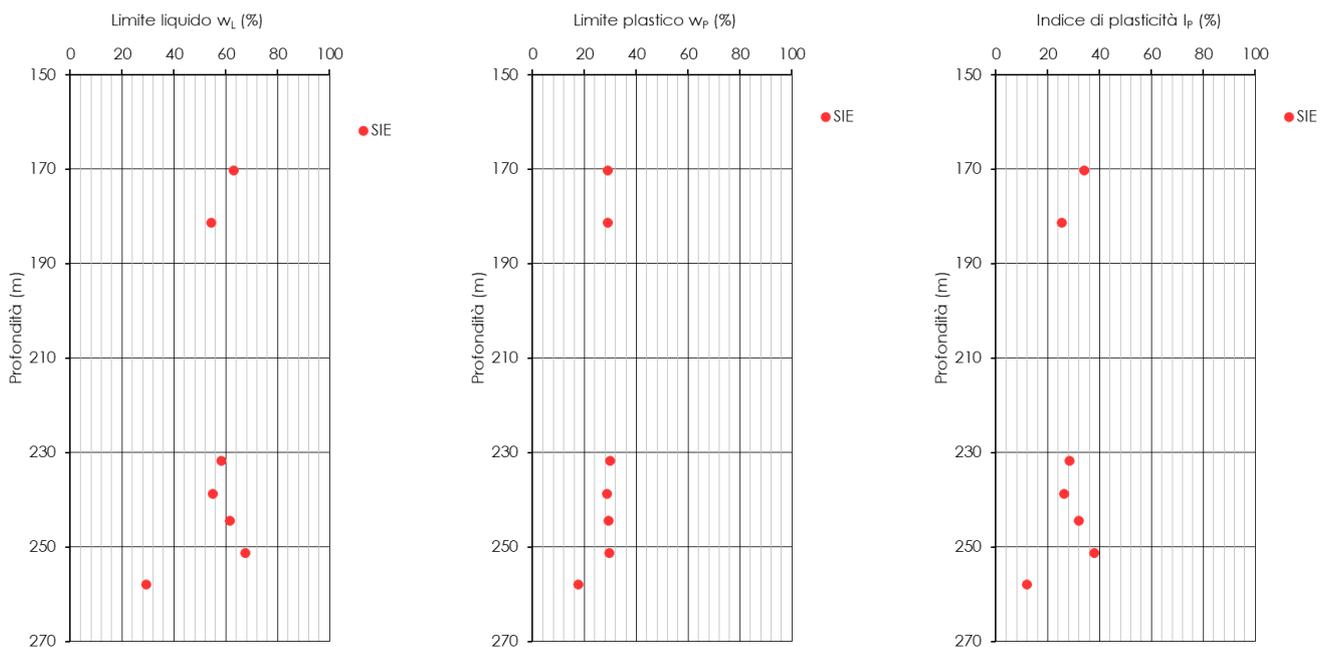
Figura 75 Analisi granulometrica

### Proprietà fisiche

Sono stati analizzati 8 campioni rimaneggiati prelevati tra 166,2 e 258 m di profondità da piano campagna. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un primo quadro delle principali grandezze fisiche dell'unità geotecnica indagata.

Il peso specifico dei granuli valutato su tutti i campioni varia tra 26,2 kN/m<sup>3</sup> e 26,7 kN/m<sup>3</sup>. I limiti di Atterberg (Figura 76) sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

- Limite plastico,  $w_p$ : 18% ÷ 30%
- Limite liquido,  $w_L$ : 29% ÷ 68%
- Indice di Plasticità,  $I_p$ : 12% ÷ 38%.



**Figura 76 Limiti di Atterberg e indice di plasticità**

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche dell'unità geotecnica SIE (Tabella 36).

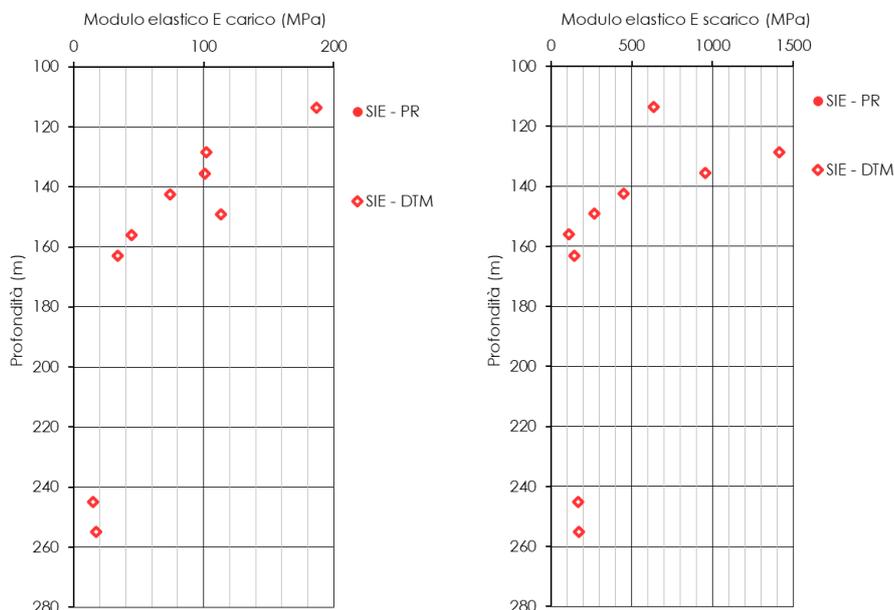
**Tabella 36 Caratteristiche fisiche**

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	γ <sub>s</sub>
(-)	(-)	(m)	(%)	(%)	(%)	(kN/m <sup>3</sup> )
L1B-S4bis	CR1	166.22				26.55
L1B-S4bis	CR2	170.25	63.00	29.00	34.00	26.63
L1B-S4bis	CR3	181.35	54.50	29.10	25.40	26.59
L1B-S4bis	CR4	231.7	58.40	29.90	28.50	26.63
L1B-S4bis	CR5	238.75	55.00	28.60	26.40	26.69
L1B-S4bis	CR6	244.4	61.40	29.40	32.00	26.74
L1B-S4bis	CR7	251.2	67.60	29.70	37.90	26.68
L1B-S4bis	CR8	258	29.40	17.50	11.90	26.24

### Proprietà meccaniche

Per determinare le caratteristiche di deformabilità sono stati elaborati i risultati di 9 prove dilatometriche. L'interpretazione delle prove dilatometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente alla fase di scarico e di carico. In particolare, per il modulo di scarico, si è considerato il terzo ciclo.

Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo 108 ÷ 1414 MPa mentre quello di carico nell'intervallo 15 ÷ 187 MPa. La Figura 77 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove dilatometriche con la profondità.



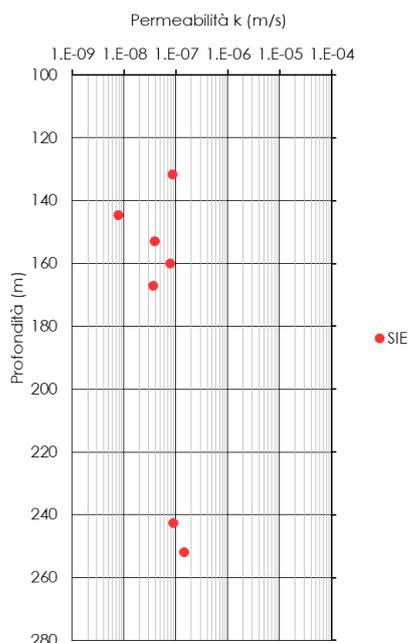
**Figura 77. Moduli di deformabilità da prove pressiometriche e dilatometriche**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove dilatometriche relative ad ogni sondaggio (Tabella 37).

**Tabella 37 Prove pressiometriche e dilatometriche**

sondaggio	Profondità da p.c.	Prova	E <sub>carico</sub>	E <sub>scarico</sub>
(-)	(m)	(-)	(MPa)	(MPa)
L1B-S3bis	113.5	Dilatometrica	187.0	636.0
L1B-S3bis	128.5	Dilatometrica	102.0	1414.0
L1B-S3bis	135.5	Dilatometrica	101.0	957.0
L1B-S3bis	142.5	Dilatometrica	74.0	451.0
L1B-S4bis	149.0	Dilatometrica	113.0	268.6
L1B-S4bis	156.0	Dilatometrica	44.6	108.3
L1B-S4bis	163.0	Dilatometrica	34.0	144.1
L1B-S4bis	245.0	Dilatometrica	14.7	165.9
L1B-S4bis	255.0	Dilatometrica	17.0	172.0

Sono state eseguite 8 prove di permeabilità di tipo Lugeon nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 131,5 e 252 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $1 \times 10^{-10}$  e  $1 \times 10^{-7}$  m/s (Figura 78).



Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
L1B-S4bis	Lugeon	153.0	3.9E-08
L1B-S4bis	Lugeon	160.0	7.9E-08
L1B-S4bis	Lugeon	167.0	3.6E-08
L1B-S4bis	Lugeon	242.5	8.8E-08
L1B-S4bis	Lugeon	252.0	1.4E-07
L1B-S3bis	Lugeon	131.5	8.6E-08
L1B-S3bis	Lugeon	137.5	1.0E-10
L1B-S3bis	Lugeon	144.5	7.8E-09

Figura 78 Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito

### Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione di alcuni dei principali parametri per l'unità geotecnica *SIE*. La Tabella 38 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 38 Sintesi parametri geotecnici**

	<b>min</b>	<b>max</b>	
$\gamma$	21.5	25.1	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_s$	26.2	26.7	(kN/m <sup>3</sup> )
$w_L$	29.4	67.6	(%)
$w_P$	17.5	29.9	(%)
$I_p$	11.9	37.9	(%)
$E'_{carico}$	14.7	187.0	(MPa)
$E'_{scarico}$	108.3	1414.0	(MPa)
$k$	1.0E-10	1.4E-07	(m/s)

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

### *Dolomie e Calcari dolomitici (DBS/DPR/FOP)*

La formazione geologica della Dolomia Principale DBS, nella zona in cui è inserita la galleria Auletta, è definita come costituita da dolomie cristalline di colore grigio che si presentano in strati e banchi tabulari, di frequente molto fratturate.

Questa formazione geologica, presente anche nel lotto 1c, è stata accorpata in un'unica unità geotecnica omogenea con le formazioni geologiche del lotto 1c: Dolomia Principale e Dolomie e Calcari del Monte Foraporta.



**Figura 79 DBS nel foro di sondaggio L1B-S05 tra 175 e 185 m da da p.c.**

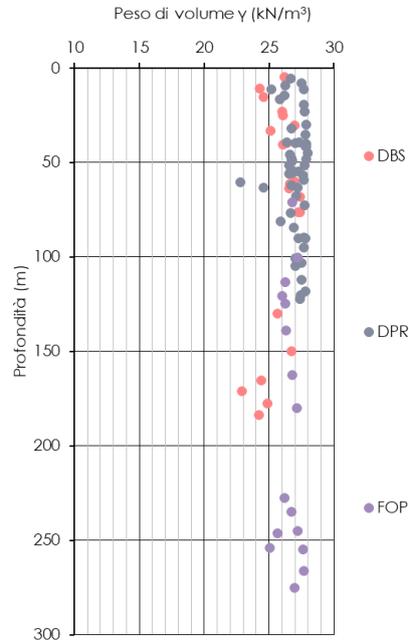
In generale si possono quindi distinguere 3 condizioni geomeccaniche per l'unità geotecnica in esame:

1. condizione di fratturazione media e bassa tettonizzazione, con struttura non stratificata;
2. condizione di elevata fratturazione e tettonizzazione, in cui sono presenti livelli di roccia a listoni all'interno di breccie lapidee;
3. condizione di cataclasi, non osservata per il presente lotto 1b.

### Caratterizzazione della roccia intatta

Sono stati prelevati all'interno della unità geotecnica 95 campioni litoidi, tra 4,6 e 275 m di profondità da piano campagna, i quali sono stati sottoposti a prove di laboratorio.

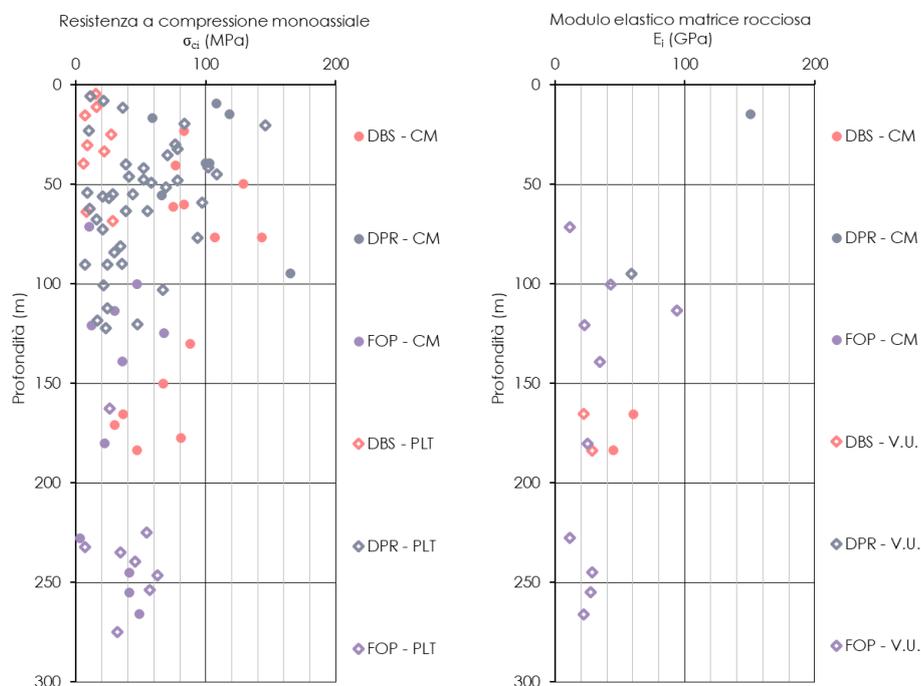
Per quanto riguarda le caratteristiche fisiche, il peso dell'unità di volume dei campioni, il cui andamento con la profondità è mostrato in Figura 80, risulta variabile tra 22,8 e 28,0 kN/m<sup>3</sup>.



**Figura 80** Peso dell'unità di volume

Per determinare le caratteristiche di resistenza e deformabilità della roccia intatta sono state eseguite 28 prove di compressione monoassiale semplice, 3 prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni, 13 misure della velocità sonora e 58 point load test. In Figura 81 si riportano l'andamento della resistenza a compressione monoassiale e del modulo elastico della roccia intatta con la profondità. I valori di resistenza a compressione ottenuti risultano compresi tra 3 e 165 MPa. I valori inferiori a 50 MPa si riferiscono a campioni prelevati nelle zone di faglia più alterate (breccia). Per quanto riguarda il modulo elastico, i valori risultano compresi tra 11 e 150 GPa.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 2 prove di velocità sonora su provino e 2 prove di compressione monoassiale (CM) condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 11,2 e 150,4 GPa (Figura 81).



**Figura 81 Resistenza a compressione monoassiale e modulo elastico della roccia intatta**

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti (Tabella 39).

**Tabella 39 Prove sui campioni litoidi**

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\sigma_{ci,CM}$	$\sigma_{ci,PLT}$	$E_{i,CM}$	$E_{i,VU}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
L1B-S5	C1	165.25	24.39	36.6		60.5	22.0
L1B-S5	C2	171	22.92	30.0			
L1B-S5	C3	177.5	24.87	81.0			
L1B-S5	C4	183.6	24.22	46.8		45.2	28.8
L1B-S46	CR1	120					
L1B-S46	CR2	130	25.63	88.0			
L1B-S46	CR4	150	26.71	67.0			
L1B-S46	CR5	160					
L1B-S48	CL1	61.1	26.59	75.0			
L1B-S48	CL2	63.7	26.54		8.4		
L1B-S48	CL3	68.15	27.41		28.6		
L1B-S48	CL4	76.45	27.39	107.0			
L1B-S48	CL5	76.45	27.25	143.0			
L1B-S49	CL1	4.6	26.17		15.4		
L1B-S49	CL2	10.8	24.25		16.1		
L1B-S49	CL3	15.1	24.56		7.0		
L1B-S49	CL4	24.9	26.09		27.1		

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\sigma_{ci,CM}$	$\sigma_{ci,PLT}$	$E_{i,CM}$	$E_{i,VU}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
L1B-S49	CL5	33.1	25.09		22.1		
L1B-S49	CL6	40.45	26.07	77.0			
L1B-S49	CL7	49.6	26.75	129.0			
L1B-S49	CL8	59.85	26.96	83.0			
L1B-S54	CL1	23.1	26.00	83.0			
L1B-S54	CL2	30.4	26.99		8.6		
L1B-S54	CL3	39.6	26.37		6.0		
L1B-S57	CL1	7.9	27.49		21.4		
L1B-S57	CL2	11.25	27.66		36.0		
L1B-S57	CL3	19.35	27.70		83.5		
L1B-S57	CL4	22.9	27.72		9.8		
L1B-S57	CL5	29.8	27.85		76.6		
L1B-S57	CL6	35.4	27.80		70.3		
L1B-S57	CL7	39.9	27.83		38.4		
L1B-S57	CL8	41.6	27.87		51.8		
L1B-S57	CL9	48.1	27.86		78.2		
L1B-S57bis	CR6	72.6	27.71		20.6		
L1B-S57bis	CR7	84.25	26.92		29.5		
L1B-S57bis	CR8	100.6	27.02		21.4		
L1B-S57bis	CR9	104.75	27.00				
L1B-S57bis	CR11	120.2	27.42		47.5		
L1B-S57bis	CR12	122.2	27.36		23.0		
L1B-S58	CL1	54.9	27.23		28.6		
L1B-S58	CL2	63.25	27.20		55.2		
L1B-S58	CL4	76.65	26.66		93.6		
L1B-S58	CL5	81.05	25.92		34.1		
L1B-S58	CL6	47.7	26.72		52.1		
L1B-S59	CL1	90.2	27.28		7.2		
L1B-S59	CL2	94.8	27.70	165.0			59.1
L1B-S59	CL3	103.1	27.51		66.7		
L1B-S59	CL4	112.05	27.49		24.0		
L1B-S59	CL5	118.2	27.77		16.6		
L1B-S60	CR1	75.25					
L1B-S60	CR2	79.25					
L1B-S60	CR3	83.2					
L1B-S60	CR4	89.75	27.66		35.8		
L1B-S60	CR5	90.1	27.77		24.0		
L1B-S61	CL1	39.2	27.31	103.0			
L1B-S63	CL1	41.5	27.77		102.0		
L1B-S63	CL2	44.8	27.99		108.5		
L1B-S63	CL3	51.4	27.74		69.1		
L1B-S63	CL4	56.7	27.62		25.2		
L1B-S63	CL5	59.2	27.69		97.4		
L1B-S64	CL1	5.45	26.65		11.0		
L1B-S64	CL2	54.7	26.68		43.7		
L1B-S64	CL3	55.8	26.53		20.6		
L1B-S64	CL4	63.15	24.54		38.2		
L1B-S64	CL5	67.7	27.08		16.1		
L1B-S65	CL1	45.8	26.59		40.6		
L1B-S65	CL2	48.9	26.77		58.1		
L1B-S65	CL3	54.2	26.77		8.9		
L1B-S65	CL4	55.5	26.77	66.0			
L1B-S65	CL5	62.15	26.71		10.6		
L1B-S66	CL1	32.1	26.70		78.0		
L1B-S66	CL2	39.4	26.34	100.0			

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\sigma_{ci,CM}$	$\sigma_{ci,PLT}$	$E_{i,CM}$	$E_{i,VU}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
L1B-S60bis	CR4	20.15			145.9		
L1B-S63bis	CI2	11.3	25.19				
L1B-S63bis	CI3	60.3	22.77				
L1B-S63bis	CR1	9.4	26.26	108.0			
L1B-S63bis	CR2	14.6	26.19	118.0		150.4	
L1B-S63bis	CR3	16.6	25.81	59.0			
L1B-S63bis	CR7	39.65	27.02				
L1B-S63bis	CR8	51.5	26.52				
L1B-S63bis	CR10	62.75					
L1B-S46ter	CL1	113.4	26.27	30.0			94.1
L1B-S46ter	CL2	124.76	26.25	68.0			
L1B-S46ter	CL4	225			54.5		
L1B-S46ter	CL5	232.2			6.7		
L1B-S46ter	CL6	239.4			45.8		
L1B-S46ter	CL7	246.4	25.62		62.9		
L1B-S46ter	CL8	253.8	25.07		57.1		
L1B-S47	CR1	110.1					
L1B-S47	CR2	117.1					
L1B-S47	CR3	124.1					
L1B-S47	CR4	131.1					
L1B-S47	CR5	138.1					
BH06	C2	71.2	26.78	10.0			11.7
BH06	C3	100.2	27.22	47.0			42.9
BH06	C4	120.7	26.00	12.0			22.7
BH06	C5	139	26.30	36.0			34.8
BH06	C6	162.6	26.78		26.2		
BH06	C7	180.1	27.13	22.0			24.9
BH06	C8	227.6	26.16	3.0			11.2
BH06	C9	235	26.71		34.3		
BH06	C10	245	27.19	41.0			28.4
BH06	C11	255	27.63	41.0			27.6
BH06	C12	266	27.65	49.0			22.1
BH06	C13	275	26.98		32.2		

### Caratterizzazione dell'ammasso roccioso

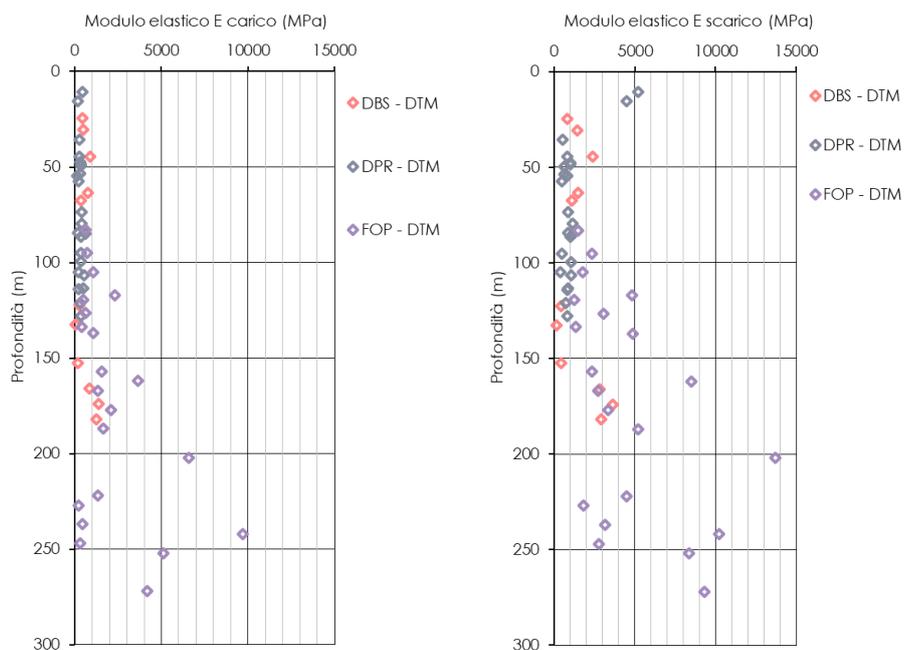
Al fine di valutare le caratteristiche strutturali e di deformabilità dell'ammasso roccioso sono stati considerati i risultati delle prove eseguite in foro ed i risultati ottenuti dai rilievi geomeccanici.

#### ○ Prove in sito

Per determinare le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso sono stati elaborati i risultati di 55 prove dilatometriche, 1 prova geofisica di tipo MASW e 2 prove down-hole.

L'interpretazione delle prove dilatometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente alla fase di scarico e di carico. In particolare, si è considerato per la fase di scarico il modulo determinato per il terzo ciclo di scarico. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo 134 ÷ 13704 MPa mentre quello di carico nell'intervallo 53 ÷ 9708 MPa.

La Figura 82 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove dilatometriche con la profondità.



**Figura 82 Moduli di deformabilità da prove dilatometriche**

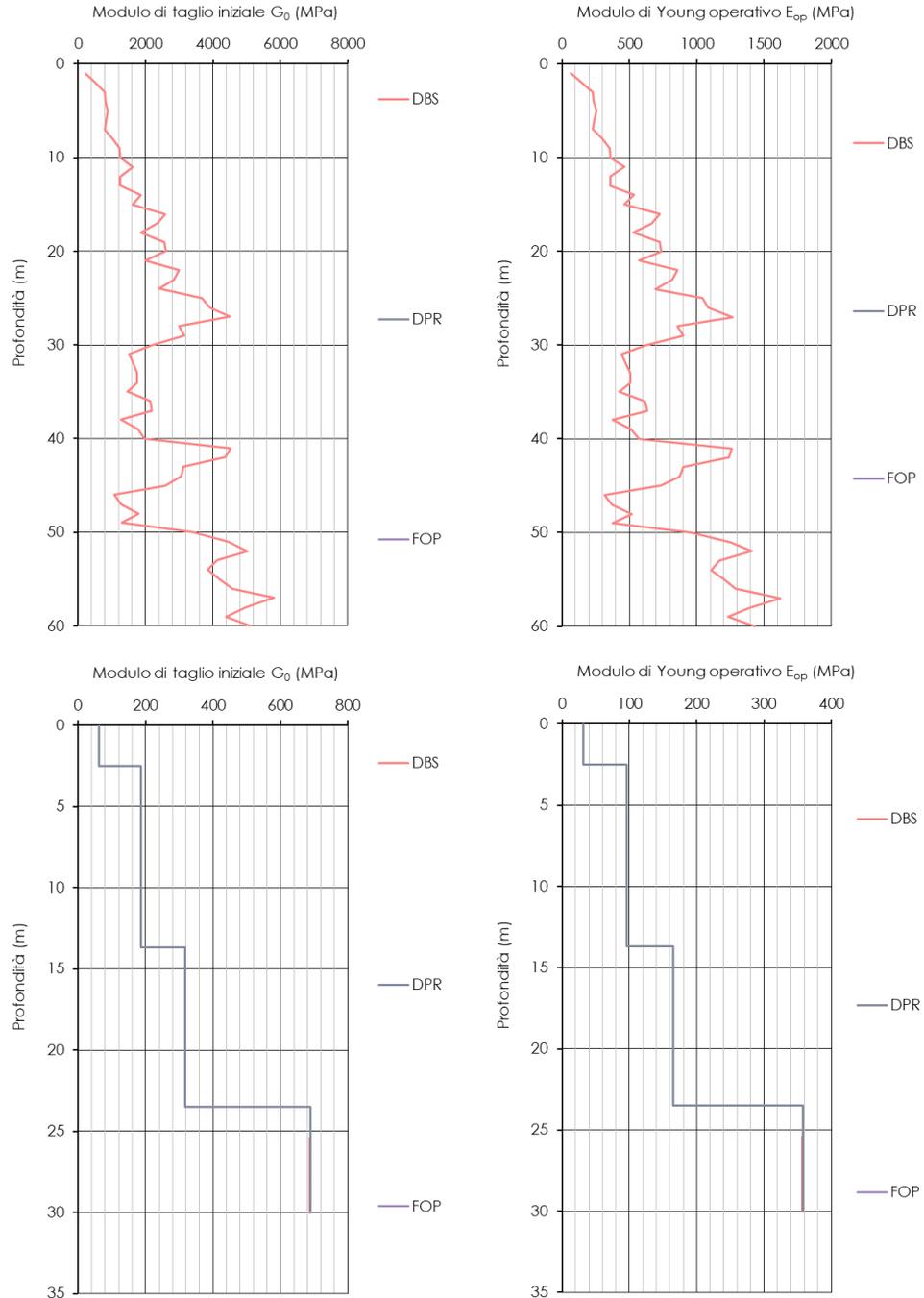
Di seguito la tabella riassuntiva delle prove dilatometriche eseguite (Tabella 40).

**Tabella 40 Prove dilatometriche**

sondaggio	Profondità da p.c.	Prova	$E_{\text{carico}}$	$E_{\text{scarico}}$
(-)	(m)	(-)	(MPa)	(MPa)
L1B-S48	63.5	Dilatometrica	731.4	1479.9
L1B-S48	67.5	Dilatometrica	351.3	1078.8
L1B-S49	30.5	Dilatometrica	505.8	1418.8
L1B-S49	44.5	Dilatometrica	881.8	2408.7
L1B-S54	24.5	Dilatometrica	431.9	805.3
L1B-S46	132.5	Dilatometrica	53.0	134.0
L1B-S46	122.5	Dilatometrica	263.0	410.0
L1B-S46	152.5	Dilatometrica	154.0	407.0
L1B-S5	166.0	Dilatometrica	858.5	2813.7
L1B-S5	174.0	Dilatometrica	1381.3	3648.0
L1B-S5	182.0	Dilatometrica	1231.5	2918.8

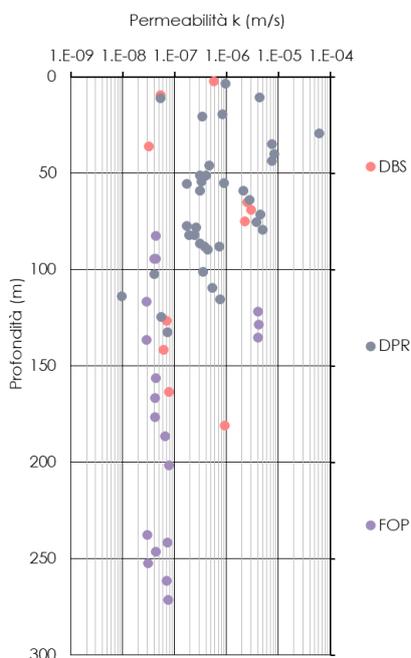
sondaggio	Profondità da p.c.	Prova	E <sub>carico</sub>	E <sub>scarico</sub>
(-)	(m)	(-)	(MPa)	(MPa)
L1B-S57	35.5	Dilatometrica	262.5	530.0
L1B-S57	48.5	Dilatometrica	356.5	1020.6
L1B-S59	99.5	Dilatometrica	358.6	1040.5
L1B-S59	106.5	Dilatometrica	510.6	1038.8
L1B-S59	113.5	Dilatometrica	489.9	876.9
L1B-S60	79.5	Dilatometrica	403.5	1144.0
L1B-S60	84.5	Dilatometrica	154.9	841.3
L1B-S63	44.5	Dilatometrica	277.0	809.7
L1B-S63	47.5	Dilatometrica	288.0	1010.8
L1B-S63bis	10.5	Dilatometrica	456.0	5191.0
L1B-S63bis	15.5	Dilatometrica	178.0	4465.0
L1B-S63bis	73.5	Dilatometrica	396.0	881.0
L1B-S63bis	86.5	Dilatometrica	329.0	1003.0
L1B-S64	54.5	Dilatometrica	136.9	791.0
L1B-S64	57.5	Dilatometrica	212.1	489.3
L1B-S65	49.5	Dilatometrica	333.3	643.4
L1B-S65	53.5	Dilatometrica	305.1	606.4
L1B-S57bis	85.0	Dilatometrica	608.7	1160.6
L1B-S57bis	95.0	Dilatometrica	353.0	497.2
L1B-S57bis	105.0	Dilatometrica	224.1	373.7
L1B-S57bis	114.0	Dilatometrica	213.0	791.0
L1B-S57bis	121.0	Dilatometrica	323.0	709.0
L1B-S57bis	128.0	Dilatometrica	336.0	828.0
L1B-S47	119.5	Dilatometrica	504.9	1255.9
L1B-S47	126.5	Dilatometrica	618.8	3052.5
L1B-S47	133.5	Dilatometrica	413.8	1340.9
L1B-S46ter	83.0	Dilatometrica	637.5	1487.1
L1B-S46ter	95.0	Dilatometrica	698.7	2340.1
L1B-S46ter	105.0	Dilatometrica	1070.2	1750.1
L1B-S46ter	227.0	Dilatometrica	229.6	1827.6
L1B-S46ter	237.0	Dilatometrica	418.3	3153.8
L1B-S46ter	247.0	Dilatometrica	320.0	2765.8
BH06	187.0	Dilatometrica	1650.0	5207.0
BH06	177.0	Dilatometrica	2091.5	3324.6
BH06	167.0	Dilatometrica	1312.1	2738.3
BH06	157.0	Dilatometrica	1541.6	2327.8
BH06	137.0	Dilatometrica	1061.8	4864.4
BH06	117.0	Dilatometrica	2287.0	4823.1
BH06	272.0	Dilatometrica	4172.6	9304.6
BH06	162.0	Dilatometrica	3641.9	8475.3
BH06	252.0	Dilatometrica	5109.1	8344.6
BH06	242.0	Dilatometrica	9708.3	10212.9
BH06	222.0	Dilatometrica	1344.0	4507.8
BH06	202.0	Dilatometrica	6601.2	13704.0

La Figura 83 mostra gli andamenti con la profondità del modulo di taglio iniziale  $G_0$  e del modulo elastico  $E_{op}$  (assunto pari al 20% del modulo elastico iniziale) ottenuti alle prove geofisiche MASW e down-Hole.



**Figura 83 Modulo di taglio  $G_0$  e modulo elastico  $E_{op}$  da prove geofisiche**

Sono state eseguite 38 prove di permeabilità di tipo Lugeon e 28 prove di tipo Lefranc nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 2,5 e 271,5 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $1 \times 10^{-10}$  e  $6 \times 10^{-5}$  m/s (Figura 84).


**Figura 84 Coefficiente di permeabilità k**

Sondaggio	Prova	Profondità da p.c. (m)	k (m/s)
(-)	(-)	(m)	(m/s)
L1B-S5	Lugeon	169.0	1.0E-10
L1B-S5	Lugeon	181.0	9.2E-07
L1B-S48	Lugeon	65.0	2.5E-06
L1B-S48	Lugeon	69.0	2.9E-06
L1B-S48	Lugeon	75.0	2.3E-06
L1B-S49	Lefranc	2.3	5.8E-07
L1B-S49	Lefranc	9.5	5.3E-08
L1B-S49	Lugeon	36.0	3.2E-08
L1B-S46	Lugeon	126.5	7.0E-08
L1B-S46	Lugeon	141.5	6.0E-08
L1B-S46	Lugeon	163.5	7.8E-08
L1B-S58	Lefranc	71.5	4.5E-06
L1B-S58	Lefranc	75.5	3.8E-06
L1B-S58	Lefranc	79.5	4.9E-06
L1B-S60	Lefranc	82.0	1.9E-07
L1B-S60	Lefranc	86.5	3.1E-07
L1B-S60	Lefranc	89.5	4.4E-07
L1B-S64	Lefranc	55.3	8.9E-07
L1B-S64	Lefranc	59.0	2.1E-06
L1B-S64	Lefranc	64.0	2.8E-06
L1B-S57	Lefranc	10.8	4.4E-06
L1B-S57	Lefranc	35.0	7.5E-06
L1B-S57	Lefranc	40.0	8.4E-06
L1B-S57	Lefranc	43.5	7.5E-06
L1B-S59	Lefranc	101.0	3.5E-07
L1B-S59	Lefranc	109.5	5.3E-07

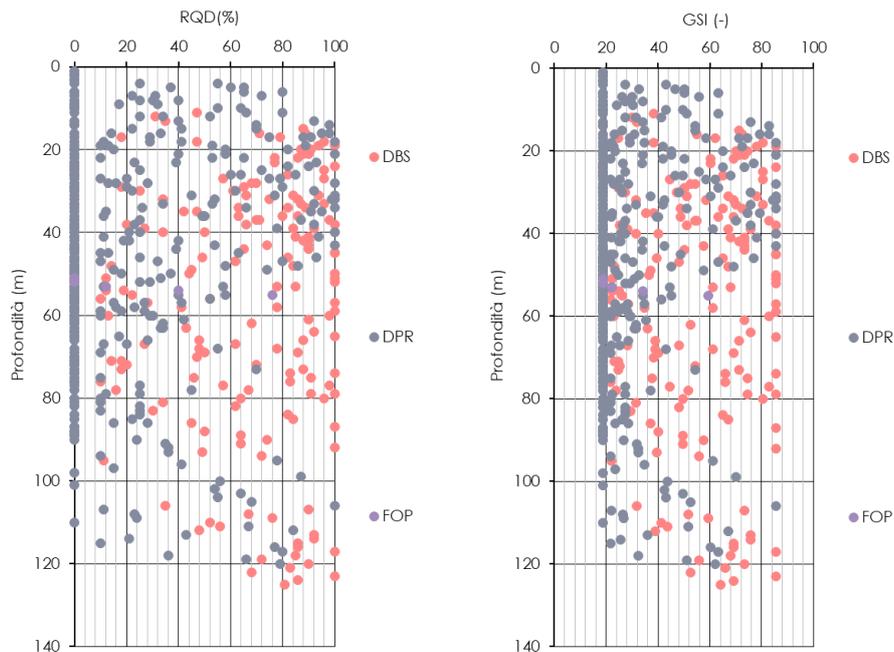
Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
L1B-S59	Lefranc	115.5	7.5E-07
L1B-S63	Lefranc	46.0	4.6E-07
L1B-S63	Lefranc	51.0	3.1E-07
L1B-S63	Lefranc	54.5	3.4E-07
L1B-S65	Lefranc	51.0	4.0E-07
L1B-S65	Lefranc	55.5	1.7E-07
L1B-S65	Lefranc	59.0	3.1E-07
L1B-S57bis	Lugeon	78.0	2.6E-07
L1B-S57bis	Lugeon	88.0	3.8E-07
L1B-S57bis	Lugeon	102.5	4.0E-08
L1B-S57bis	Lugeon	113.8	9.5E-09
L1B-S57bis	Lugeon	124.5	5.6E-08
L1B-S57bis	Lugeon	132.5	7.3E-08
L1B-S63bis	Lefranc	29.5	6.2E-05
L1B-S63bis	Lugeon	11.0	5.4E-08
L1B-S63bis	Lugeon	77.3	1.7E-07
L1B-S63bis	Lugeon	82.0	2.4E-07
L1B-S63bis	Lugeon	88.0	7.3E-07
L1B-S65bis	Lefranc	3.4	9.4E-07
L1B-S65bis	Lefranc	20.8	3.4E-07
L1B-S60bis	Lefranc	19.5	8.4E-07
L1B-S47	Lugeon	122.0	4.0E-06
L1B-S47	Lugeon	128.5	4.2E-06
L1B-S47	Lugeon	135.5	4.0E-06
L1B-S46ter	Lugeon	82.5	4.4E-08
L1B-S46ter	Lugeon	94.5	4.3E-08
L1B-S46ter	Lugeon	94.5	4.0E-08
L1B-S46ter	Lugeon	237.5	3.0E-08
L1B-S46ter	Lugeon	246.5	4.4E-08
L1B-S46ter	Lugeon	252.5	3.1E-08
BH06	Lugeon	116.5	2.9E-08
BH06	Lugeon	136.5	2.9E-08
BH06	Lugeon	156.5	4.4E-08
BH06	Lugeon	166.5	4.2E-08
BH06	Lugeon	176.5	4.3E-08
BH06	Lugeon	186.5	6.6E-08
BH06	Lugeon	201.5	7.7E-08
BH06	Lugeon	241.5	7.3E-08
BH06	Lugeon	261.5	7.1E-08
BH06	Lugeon	271.5	7.4E-08

○ Rilievi geomeccanici da cassetta

Per l'unità geotecnica in esame sono stati eseguiti 2 stazioni geomeccaniche che hanno consentito di definire una variabilità dell'indice di qualità per la condizione geomeccanica 1 pari a  $54 \div 64$  e per la condizione geomeccanica 2 pari a  $20 \div 30$ .

Per i sondaggi realizzati sono stati eseguiti i rilievi geomeccanici da cassetta. I risultati sono stati elaborati valutando l'indice GSI a partire dall'RQD secondo la formulazione di Truzman e al. (2011). La Figura 85 mostra l'andamento con la profondità dell'indice di qualità e dell'RQD ottenuti.

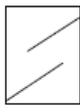
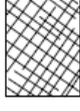
L'indice GSI risulta molto variabile (tra 19 e 86) in funzione del grado di fratturazione dell'ammasso, e risente inoltre della destrutturazione avvenuta in fase in perforazione.



**Figura 85 RQD e GSI**

Facendo riferimento agli abachi di Hoek&Marinos (Rif. [22]) e alle risultanze derivanti dalle monografie dei sondaggi e dagli stop geologici, si possono definire per le condizioni geomeccaniche 1 e 2 i range di variazione del GSI. Per la condizione 1 risulta compreso tra 40÷50 (alterazione da leggera a moderata, struttura non stratificata da parzialmente disturbata) e per la condizione 2 tra 20÷30 (alterazione da moderata ad elevata, ammasso ridotto in breccia e ciottoli) (Figura 86).

Table 7: Most common GSI range of typical limestone.\*

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
<p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	N/A	N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	70	60	50	40	30
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	50	40	30	20	10
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	30	20	10	N/A	N/A
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	N/A	N/A	10

**\*WARNING:**

The shaded areas are indicative and may not be appropriate for site specific design purposes. Mean values are not suggested for indicative characterisation; the use of ranges is recommended

1. Massive
2. Thin bedded
3. Brecciated

Figura 86 Abaco per la determinazione del GSI per i calcari

### Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica *DBS/DPR/FOP*. La Tabella 41 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 41 Sintesi parametri geotecnici**

	min	max	
$\gamma$	22.8	28.0	(kN/m <sup>3</sup> )
$\sigma_{ci,CM}$	3.0	165.0	(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	6.0	145.9	(MPa)
$E_{i,CM}$	45.2	150.4	(GPa)
$E_{i,VU}$	11.2	94.1	(GPa)
$E'_{carico}$	53.0	9708.3	(MPa)
$E'_{scarico}$	134.0	13704.0	(MPa)
$RQD_{cassetta}$	0	100	(-)
$GSI_{cassetta}$	19	86	(-)
$k$	1.0E-10	6.2E-05	(m/s)

### *Sintema di Buonabitacolo (facies BUOb)*

Questa formazione è costituita da depositi alluvionali e fluviali ed è definita come costituita da conglomerati e ghiaie a clasti in matrice sabbiosa ed intercalazioni di sabbie e limi.

È stata intercettata da un solo sondaggio, l'L1B-S06bis, nel quale risulta composta in prevalenza da ghiaia e ciottoli calcarei in matrice sabbiosa addensata e conglomerati debolmente cementati (Figura 87). I blocchi lapidei presenti hanno dimensioni da centimetriche a decimetriche (Figura 88).

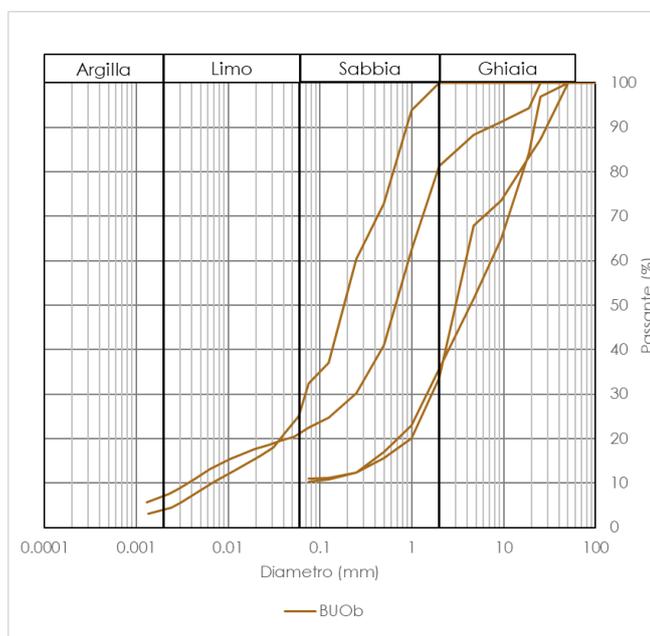


**Figura 87 BUOb nel foro di sondaggio L1B-S6bis tra 35 e 45 m da p.c.**



**Figura 88 L1B-S6bis tra 30 e 35 m da p.c.**

Le analisi granulometriche effettuate sono state eseguite su 4 campioni rimaneggiati, di cui 2 prelevati all'interno della matrice sabbiosa e 2 nella frazione ghiaiosa. I campioni sono classificabili rispettivamente come sabbia limosa e sabbia limo-ghiaiosa e come ghiaia sabbiosa debolmente limosa (Figura 89, AGI 1977).


**Figura 89 Analisi granulometrica**

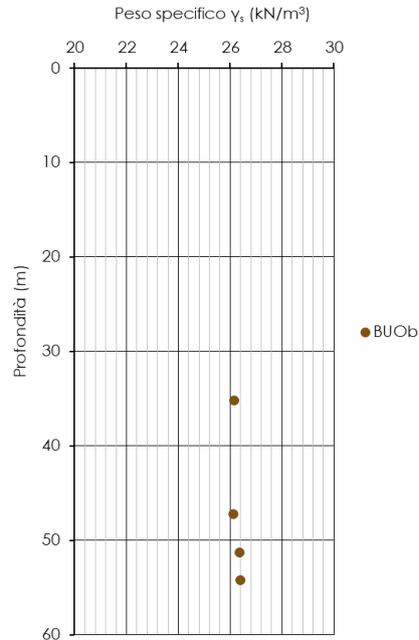
### Proprietà fisiche

Sono stati analizzati 4 campioni rimaneggiati prelevati tra 35,2 e 54,3 m di profondità nella frazione granulare e 2 campioni litoidi prelevati tra 39,3 m e 43,3 m di profondità da p.c.. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un primo quadro delle principali grandezze fisiche e meccaniche della formazione indagata.

Il peso specifico dei granuli valutato sui campioni rimaneggiati varia tra 26,1 e 26,4 kN/m<sup>3</sup>. Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici relativi ad ogni campione (Tabella 42).

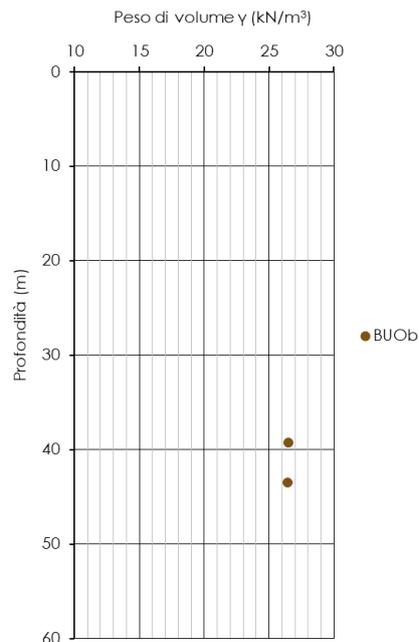
**Tabella 42 Peso specifico dei granuli**

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma_s$
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )
L1B-S6bis	CR1	35.2	26.14
L1B-S6bis	CR4	47.25	26.13
L1B-S6bis	CR5	51.25	26.37
L1B-S6bis	CR6	54.25	26.40



**Figura 90** Peso specifico dei granuli

Per quanto riguarda i 2 campioni litoidi, il peso dell'unità di volume varia tra 26,4 e 26,5 kN/m<sup>3</sup> (Figura 91).



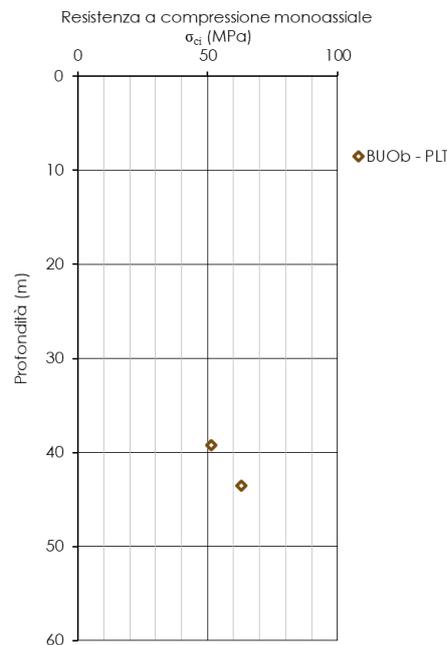
**Figura 91** Peso di volume

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA <b>RC2A</b>	LOTTO <b>B1</b>	CODIFICA <b>R07RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000001</b>	REV. <b>C</b>

### Proprietà meccaniche

Sono stati analizzati i risultati delle prove di laboratorio condotte sui campioni lapidei.

In particolare, sono stati elaborati i risultati di 2 Point Load Test dai quali è stata ricavata la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta. In Figura 92 si riporta l'andamento in funzione della profondità. I valori risultano compresi tra 51 e 63 MPa.



**Figura 92 Resistenza a compressione monoassiale da Point Load Test**

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti per i campioni litoidi (Tabella 43).

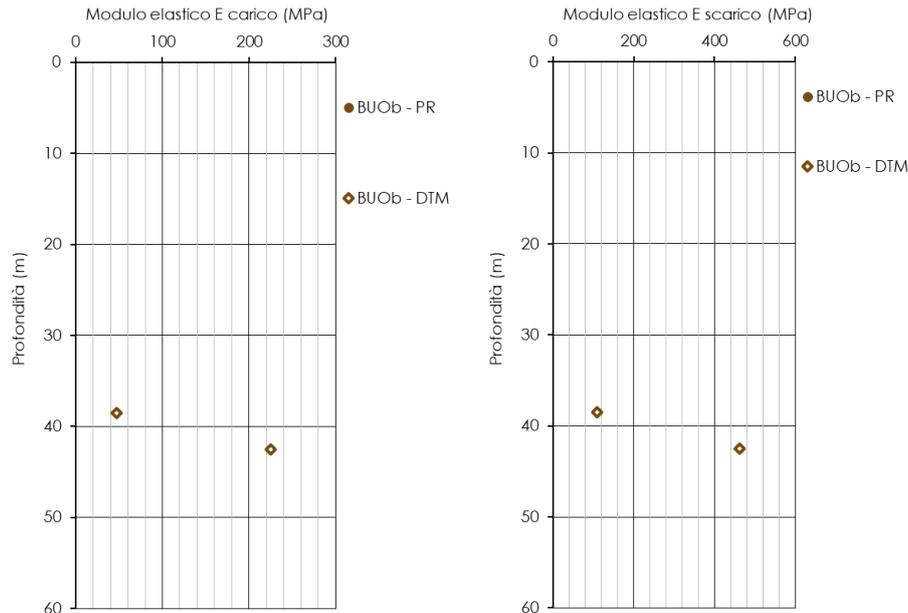
**Tabella 43 Prove sui campioni litoidi**

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\sigma_{ci,PLT}$
(-)	(-)	(m)	( $\text{kN/m}^3$ )	(MPa)
L1B-S6bis	CR2	39.25	26.46	51.4
L1B-S6bis	CR3	43.5	26.42	63.1

Per determinare le caratteristiche di deformabilità e compressibilità sono stati elaborati i risultati di 2 prove dilatometriche eseguite tra 38,5 e 42,5 m di profondità.

L'interpretazione delle prove dilatometriche è stata condotta determinando due moduli di deformabilità, relativi rispettivamente alla fase di scarico e di carico. In particolare, si è considerato per la fase di scarico il modulo determinato per il terzo ciclo. Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo  $109 \div 462$  MPa mentre quello di carico nell'intervallo  $47 \div 225$  MPa. La Figura 93 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità con la

profondità. Il valore più elevato è stato ottenuto in corrispondenza dei conglomerati, l'altro in corrispondenza di un livello di sabbia con ghiaia.



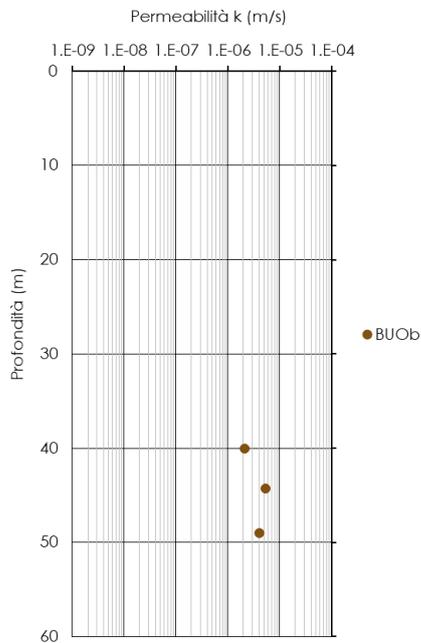
**Figura 93 Moduli di deformabilità da prove dilatometriche**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove dilatometriche eseguite (Tabella 44).

**Tabella 44 Prove dilatometriche**

sondaggio	Profondità da p.c.	Prova	$E_{\text{carico}}$	$E_{\text{scarico}}$
(-)	(m)	(-)	(MPa)	(MPa)
L1B-S6bis	38.5	Dilatometrica	47.0	109.0
L1B-S6bis	42.5	Dilatometrica	225.0	462.0

Sono state eseguite un totale di 3 prove di permeabilità di tipo Lefranc a profondità variabili tra 40 e 49 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  ottenuto varia da  $5 \times 10^{-6}$  a  $2 \times 10^{-6}$  m/s (Figura 94).



Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
L1B-S6bis	Lefranc	40.0	2.1E-06
L1B-S6bis	Lefranc	44.3	5.3E-06
L1B-S6bis	Lefranc	49.0	4.1E-06

Figura 94 Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito

#### 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 *BUOb*. La **Tabella 45** riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro; si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 45 Sintesi parametri geotecnici

	min	max	
$\gamma$	26.4	26.5	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_s$	26.1	26.4	(kN/m <sup>3</sup> )
$\sigma_{ci,PLT}$	51.4	63.1	(MPa)
$E'_{carico}$	47.0	225.0	(MPa)
$E'_{scarico}$	109.0	462.0	(MPa)
$k$	2.1E-06	5.3E-06	(m/s)

### Sintema della Certosa di Padula (facies PADb)

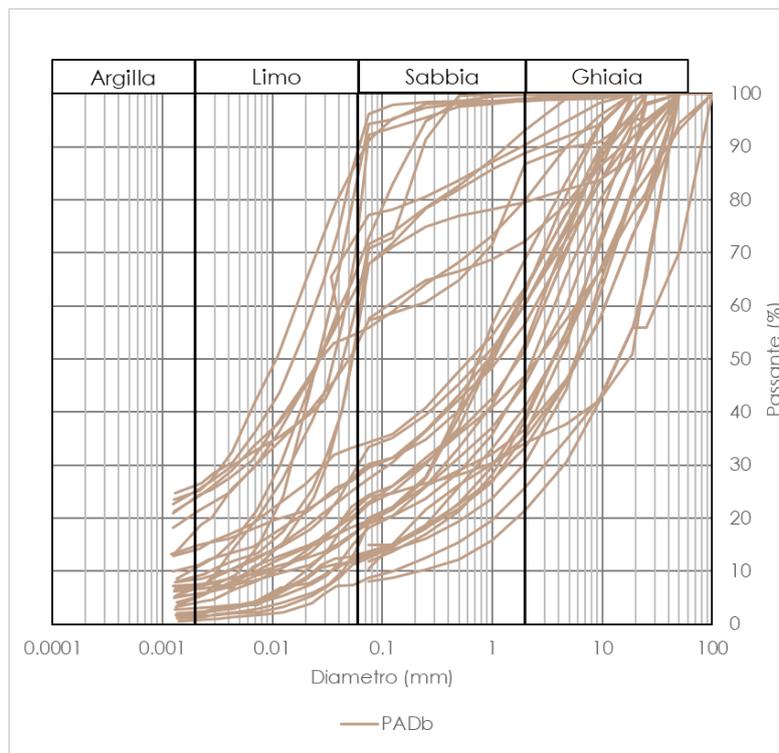
Questa formazione è costituita da depositi fluviali e di conoide alluvionale ed è definita come costituita da ghiaie con clasti in matrice sabbio-limosa.

Nei sondaggi in cui è stata intercettata risulta composta in prevalenza da depositi ghiaiosi e sabbiosi in matrice sabbio-limosa, all'interno dei quali sono presenti intercalazioni metriche di limi argillosi (Figura 95).



**Figura 95 PADb nel foro di sondaggio L1B-S31 tra 15 e 25 m da da p.c.**

Le analisi granulometriche effettuate eseguite sui campioni prelevati consentono di classificarli come ghiaia con sabbia limosa (Figura 96, AGI 1977).



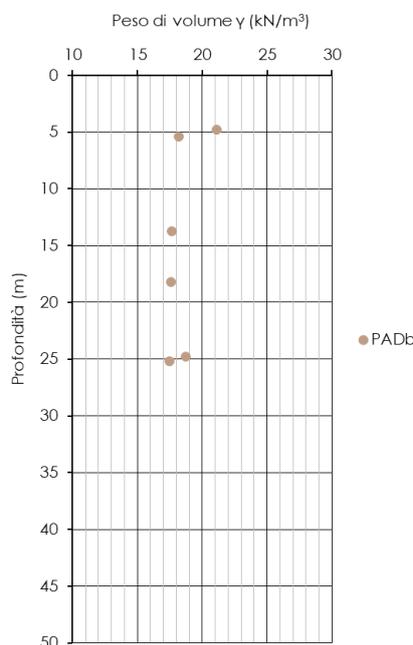
**Figura 96 Analisi granulometrica**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA <b>RC2A</b>	LOTTO <b>B1</b>	CODIFICA <b>R07RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000001</b>	REV. <b>C</b>

### Proprietà fisiche

Sono stati analizzati 37 campioni rimaneggiati e 10 campioni indisturbati prelevati tra 1,8 e 33,2 m di profondità da piano campagna. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un primo quadro delle principali grandezze fisiche e meccaniche dell'unità geotecnica indagata.

Il peso dell'unità di volume varia tra 17,5 kN/m<sup>3</sup> e 21,1 kN/m<sup>3</sup> ed il peso di volume del materiale secco tra 13,1 kN/m<sup>3</sup> e 18,3 kN/m<sup>3</sup>. Il peso specifico dei granuli valutato su tutti i campioni varia tra 26,0 kN/m<sup>3</sup> e 26,5 kN/m<sup>3</sup> (Figura 97).

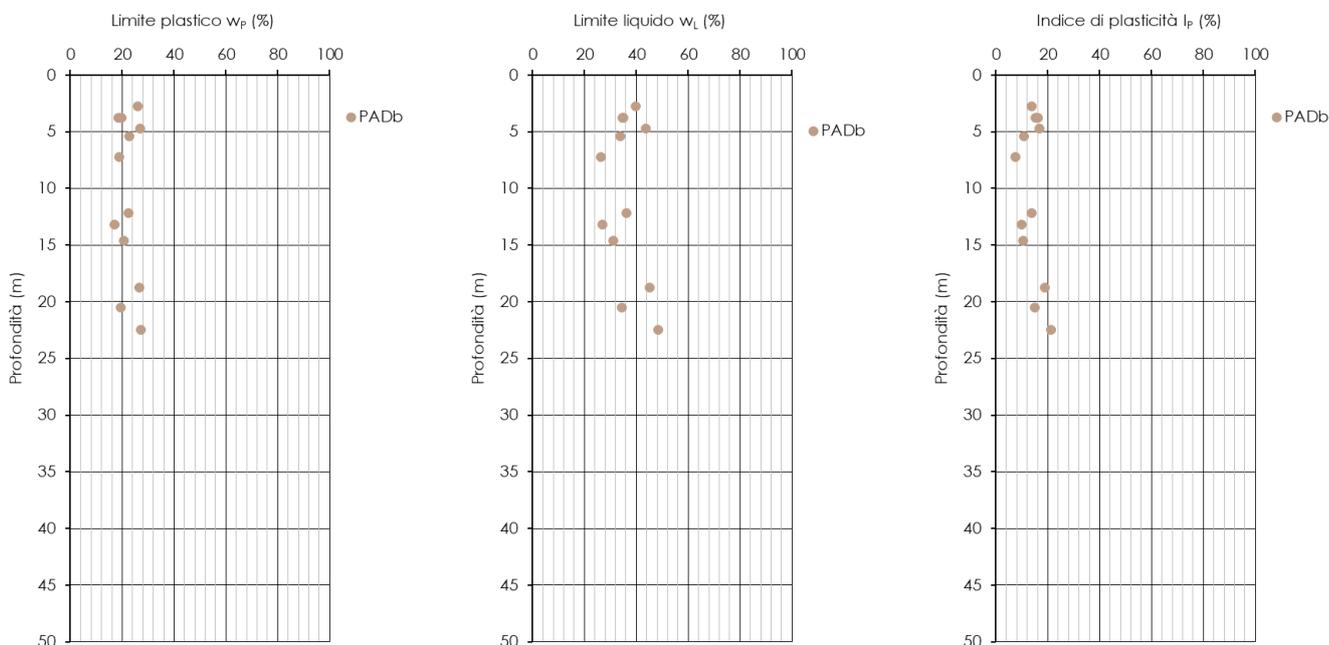


**Figura 97** Peso dell'unità di volume  $\gamma$

I limiti di Atterberg, valutati sulla frazione fine dei campioni, sono compresi negli intervalli di seguito riportati (Figura 98):

- Limite plastico,  $w_p$ : 17% ÷ 27%
- Limite liquido,  $w_L$ : 26% ÷ 48%
- Indice di Plasticità,  $I_p$ : 8% ÷ 21%.

Il contenuto d'acqua naturale  $w$  risulta compreso tra il 15,5% ed il 34,1%.


**Figura 98 Limiti di Atterberg e indice di plasticità**

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche della formazione (Tabella 46).

**Tabella 46 Caratteristiche fisiche**

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\gamma_d$	w	w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	I <sub>p</sub>	$\gamma_s$
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(kN/m <sup>3</sup> )
L1B-S6	CR1	12.2							26.07
L1B-S6	CR2	18.2							26.12
L1B-S40	CR1	5.25							26.10
L1B-S40	SPT1	7.2							26.07
L1B-S40	SPT4	10.2							26.11
L1B-S41	CR1	5.25							26.35
L1B-S41	SPT1	1.75							26.32
L1B-S41	SPT2	4.75							26.36
L1B-S41	SPT3	7.75							26.32
L1B-S29	CR1	2.75				39.70	25.90	13.80	26.42
L1B-S29	CR2	7.2				26.30	18.70	7.60	26.11
L1B-S29	CR3	18.75				45.20	26.50	18.70	26.21
L1B-S30	CR1	4.75				43.70	26.90	16.80	
L1B-S30	CR2	14.6				31.20	20.70	10.50	
L1B-S30	CR3	22.5				48.30	27.20	21.10	
L1B-S30	CR4	31.25							
L1B-S31	CII	24.75	18.72	14.86	25.90				26.38

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\gamma_d$	w	w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	I <sub>p</sub>	$\gamma_s$
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(kN/m <sup>3</sup> )
L1B-S31	CR1	3.75				34.70	18.60	16.10	26.32
L1B-S31	CR2	12.15				36.30	22.50	13.80	26.23
L1B-S31	CR3	20.5				34.30	19.40	14.90	26.38
L1B-S31	CR4	26.4							26.07
L1B-S31	CR5	33.2							26.04
L1B-S31	SPT4	9.7							26.04
L1B-S31	SPT6	16.25							26.28
L1B-S31	SPT10	28.75							26.19
L1B-S31	SPT11	31.75							26.21
L1B-S32	CI1	4.8	21.09	18.27	15.50				26.11
L1B-S33	CR1	16.9							26.07
L1B-S33	SPT2	4.5							26.36
L1B-S33	SPT4	10.75							26.25
L1B-S33	SPT5	13.75							26.25
L1B-S35	CR1	7.5							26.07
L1B-S35	CR2	13.2				26.80	17.00	9.80	26.08
L1B-S36	CR1	3.75				35.00	19.80	15.20	26.32
L1B-S36	CR2	6.2							26.07
L1B-S37	CI1	13.75	17.65	13.96	26.50				26.39
L1B-S37	CI2	18.2	17.60	13.13	34.10				26.44
L1B-S37	CI3	25.2	17.49	13.50	29.50				26.30
L1B-S37	CR2	9.25							26.07
L1B-S38	CI1	5.4	18.19	13.68	32.90	33.70	22.80	10.90	26.55
L1B-S38	CR1	11.6							26.08
L1B-S38	SPT2	4.5							26.11
L1B-S38	SPT3	7.6							26.07
L1B-S38	SPT4	10.75							26.13
L1B-S34	CR1	14.75							26.14
L1B-S35bis	CR1	7.5							26.36
L1B-S39	CR1	3.25							26.07

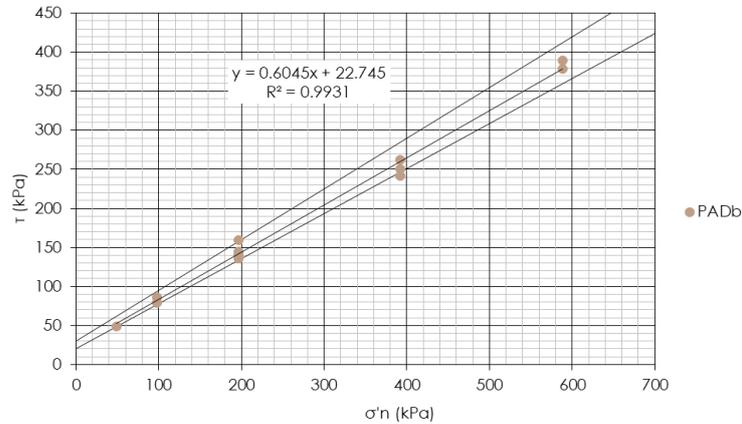
### Proprietà meccaniche

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

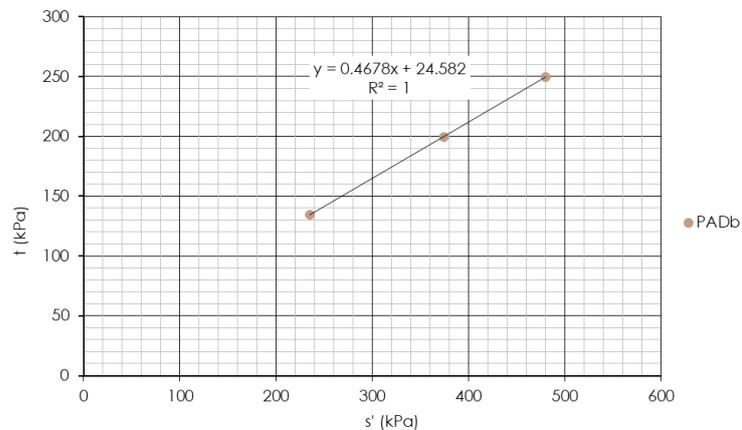
Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati elaborati i risultati di 4 prove di taglio diretto, 1 prova triassiale consolidata non drenata e 99 prove penetrometriche dinamiche SPT in accordo alle relazioni empiriche dei terreni granulari (da Rif. [12] a Rif. [20]).

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 99) restituisce un valore di coesione  $c'$  pari a 23 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  pari a circa 31°.

L'elaborazione dell'insieme di tutte le prove di taglio diretto fornisce un intervallo di coesione  $c'$  pari a 20÷30 kPa e di angolo di attrito  $\phi'$  pari a 30÷33°. Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 5,4 e 25,2 m dal piano campagna.


**Figura 99 Involuppo di resistenza della prova di taglio diretto (TD)**

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti  $t'$  ed  $s'$  (Figura 100) derivante dall'elaborazione delle prove triassiali CIU restituisce valori di intercetta di coesione  $c'$  pari a circa 28 kPa e di angolo di attrito  $\varphi'$  pari a  $28^\circ$ . I risultati si riferiscono al campione prelevato a 18,2 m dal piano campagna.


**Figura 100 Involuppo di resistenza delle prove triassiali**

Di seguito le tabelle riassuntive delle prove di taglio diretto e della prova di compressione triassiale (Tabella 47).

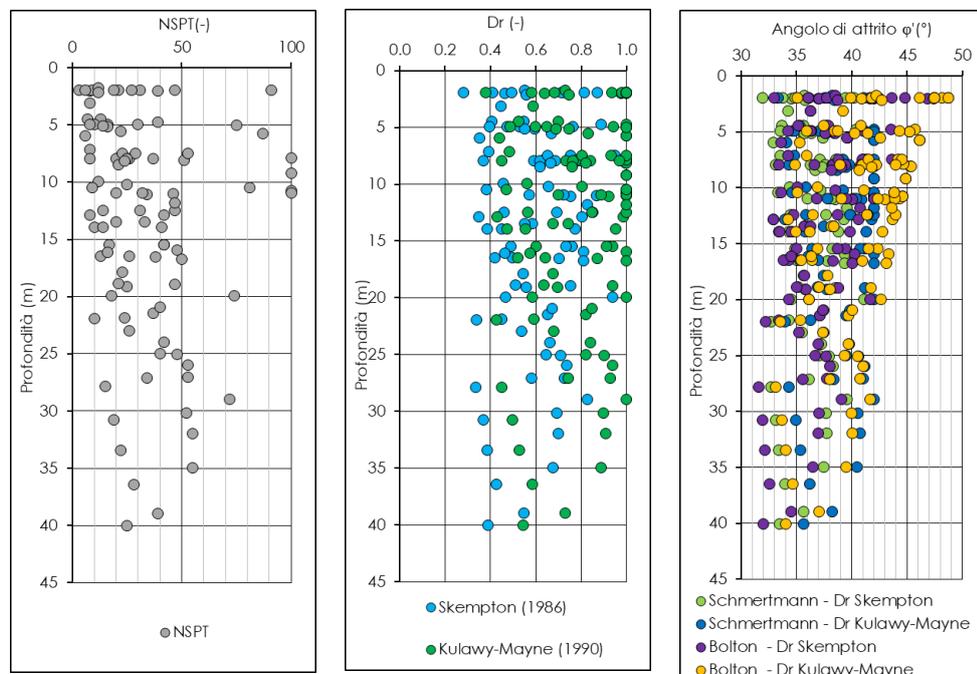
**Tabella 47 Valori a rottura delle prove TD e TXT – CIU**

Prove di compressione triassiale								
Prova	Sondaggio / Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_1$	$\sigma'_3$	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
CIU	L1B-S37 - CI2	18.2	369.8	100.4	134.7	235.1	27.9	27.8
			574.45	175.2	199.625	374.825		
			729.9	230.9	249.5	480.4		

Prove di taglio diretto					
Sondaggio e Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_n$	$\tau$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
L1B-S31 - CII	24.8	2.0E+02	1.4E+02	32.9	9.2
		3.9E+02	2.6E+02		
		5.9E+02	3.9E+02		
L1B-S37 - CII	13.8	9.8E+01	7.9E+01	28.6	30.3
		2.0E+02	1.4E+02		
		3.9E+02	2.4E+02		
L1B-S37 - CI3	25.2	2.0E+02	1.4E+02	31.2	18.9
		3.9E+02	2.5E+02		
		5.9E+02	3.8E+02		
L1B-S38 - CII	5.4	4.9E+01	4.9E+01	36.9	12.2
		9.8E+01	8.6E+01		
		2.0E+02	1.6E+02		

In Figura 101 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  $\varphi'$ , definito utilizzando le correlazioni empiriche.

L'elaborazione dei risultati delle prove in situ definisce un angolo di attrito compreso tra  $32^\circ$  e  $49^\circ$ . La densità relativa risulta compresa tra 0,3 e 1,0. Di seguito la tabella riassuntiva delle prove relative ad ogni verticale di indagine (Tabella 48). Quando la prova SPT ha dato come risultato "rifiuto" è stato attribuito un valore pari a 100 colpi.



**Figura 101  $N_{SPT}$ , densità relativa e angolo di attrito da prove SPT**

Sondaggio	z	N <sub>SPT</sub>
(-)	(m)	(-)
L1B-S6	2.0	21
L1B-S6	5.0	16
L1B-S6	8.0	26
L1B-S6	13.5	33
L1B-S6	16.5	26
L1B-S6	21.9	24
L1B-S6	27.9	15
L1B-S6	30.8	19
L1B-S6	33.5	22
L1B-S6	36.5	28
L1B-S6	40.1	25
L1B-S29	2.0	19
L1B-S29	5.2	16
L1B-S29	7.9	21
L1B-S29	10.2	25
L1B-S29	12.9	42
L1B-S29	16.0	48
L1B-S29	17.9	23
L1B-S29	21.5	37
L1B-S29	25.0	40
L1B-S29	27.1	34
L1B-S30	2.0	8
L1B-S30	3.1	8
L1B-S30	4.5	13
L1B-S30	7.5	29
L1B-S30	11.1	34
L1B-S30	13.5	20
L1B-S30	15.5	17
L1B-S30	19.1	25
L1B-S30	22.0	10
L1B-S30	25.1	48
L1B-S30	27.1	53
L1B-S30	30.2	52
L1B-S31	2.0	9
L1B-S31	5.0	10
L1B-S31	8.0	20
L1B-S31	10.0	12
L1B-S31	14.0	10
L1B-S31	16.5	13
L1B-S31	20.0	18
L1B-S31	23.0	26
L1B-S31	26.0	53
L1B-S31	29.0	72
L1B-S31	32.0	55
L1B-S31	35.0	55
L1B-S31	39.0	39
L1B-S32	1.8	12
L1B-S32	5.6	22
L1B-S32	7.5	23
L1B-S32	10.5	9
L1B-S32	12.5	14

Sondaggio	z	N <sub>SPT</sub>
(-)	(m)	(-)
L1B-S32	12.5	14
L1B-S32	16.6	38
L1B-S32	19.0	47
L1B-S32	21.0	40
L1B-S32	24.0	42
L1B-S33	7.2	8
L1B-S33	11.0	20
L1B-S33	14.0	14
L1B-S33	16.8	50
L1B-S33	20.0	74
L1B-S34	11.0	46
L1B-S34	12.5	47
L1B-S34	14.0	41
L1B-S34	15.5	42
L1B-S34	18.9	21
L1B-S35	2.2	12
L1B-S35	6.0	6
L1B-S35	8.0	25
L1B-S35	8.5	21
L1B-S35	11.0	32
L1B-S35	12.5	31
L1B-S35bis	2.0	3
L1B-S35bis	5.1	14
L1B-S35bis	8.2	24
L1B-S35bis	12.9	8
L1B-S35bis	16.1	16
L1B-S36	2.0	6
L1B-S36	4.5	7
L1B-S36	8.1	51
L1B-S36	10.7	100
L1B-S37	2.0	91
L1B-S37	5.8	87
L1B-S37	9.2	100
L1B-S38	2.0	31
L1B-S38	4.8	39
L1B-S38	7.9	100
L1B-S38	11.0	100
L1B-S39	2.0	27
L1B-S39	5.0	8
L1B-S39	8.0	8
L1B-S40	2.0	39
L1B-S40	5.0	75
L1B-S40	7.5	53
L1B-S40	10.5	81
L1B-S41	2.0	47
L1B-S41	5.0	30
L1B-S41	8.0	37
L1B-S41	11.8	47
L1B-S41	15.5	42

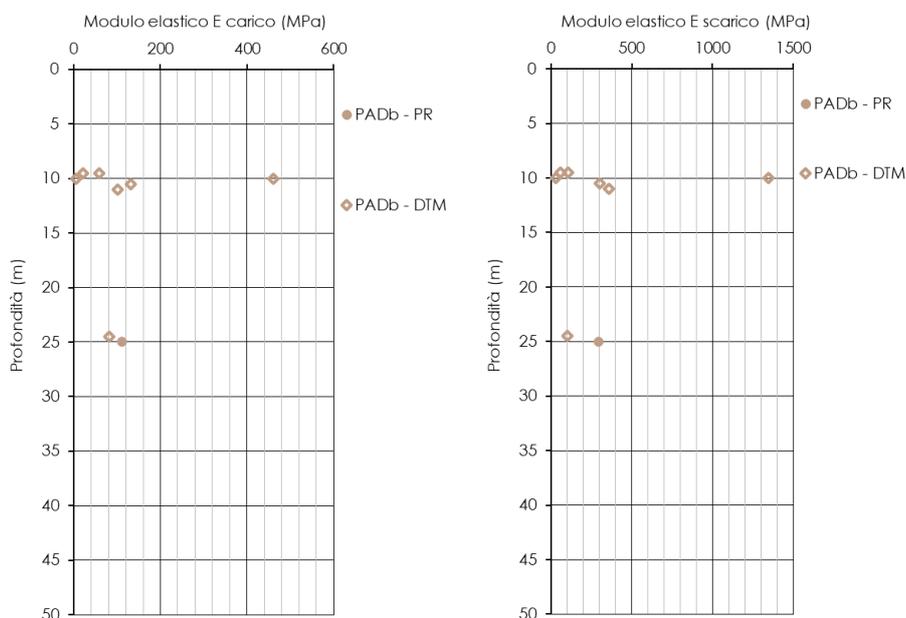
**Tabella 48 Numero di colpi N<sub>SPT</sub>**

Per determinare le caratteristiche di deformabilità sono stati elaborati i risultati di 7 prove dilatometriche, 1 prova pressiométrica, 99 prove SPT, 3 prove geofisiche di tipo MASW e 3 prove Down-Hole.

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

Per quanto riguarda le prove dilatometriche, si è considerato per la fase di scarico il modulo determinato per il terzo ciclo di scarico.

Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo  $28 \div 1344$  MPa mentre quello di carico nell'intervallo  $6 \div 461$  MPa. La Figura 102 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove pressiometriche e dilatometriche con la profondità.



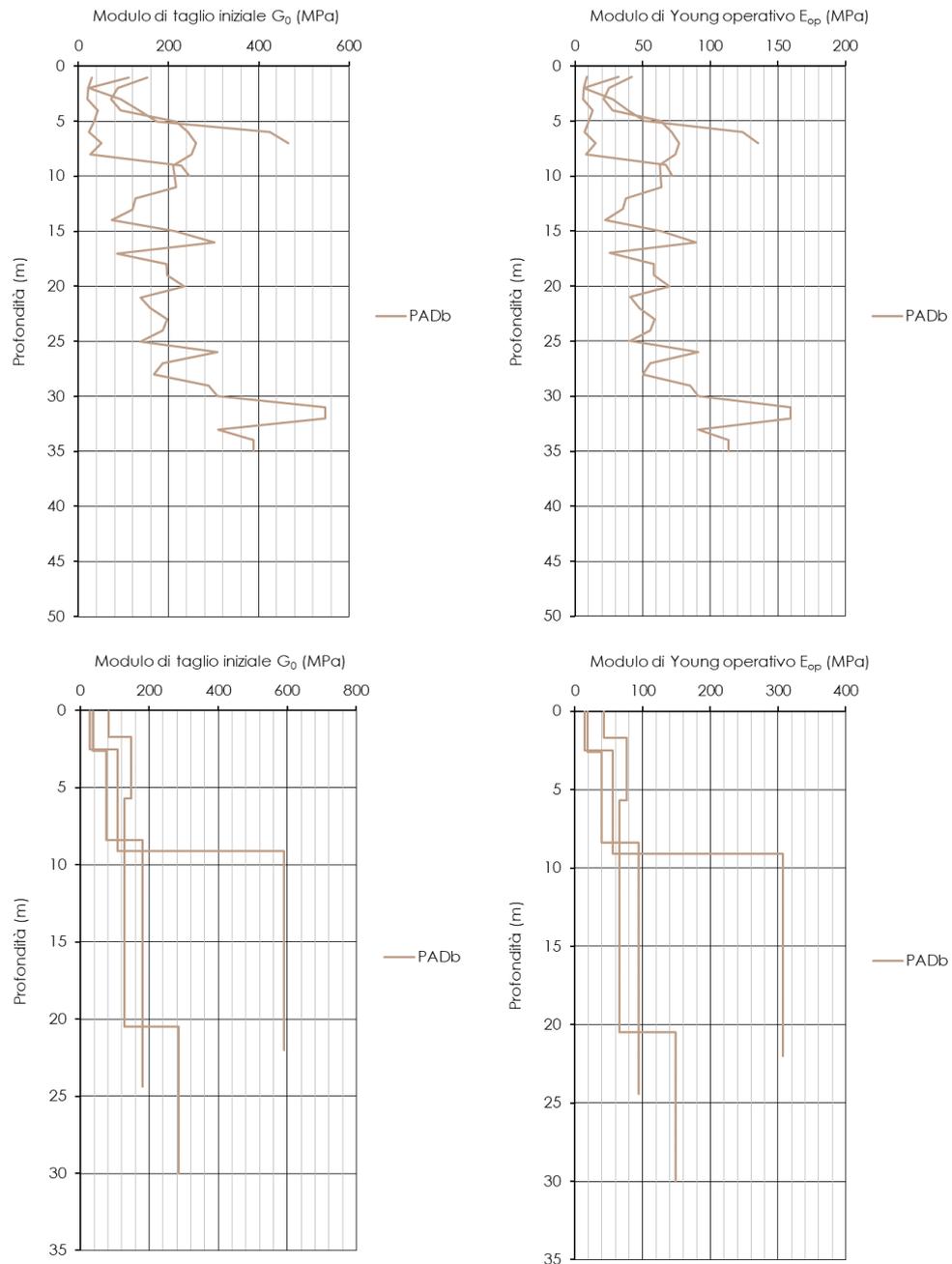
**Figura 102. Moduli di deformabilità da prove pressiometriche**

Di seguito la tabella riassuntiva delle prove pressiometriche relative ad ogni sondaggio (Tabella 49).

**Tabella 49 Prove pressiometriche e dilatometriche**

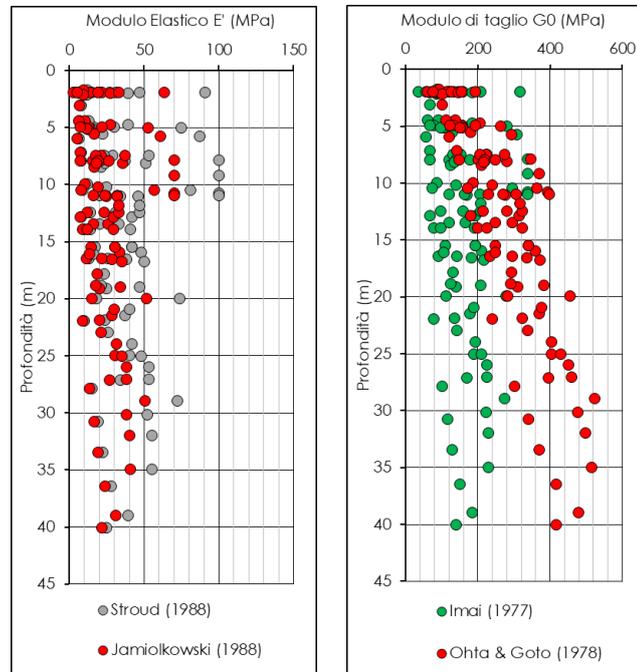
sondaggio	Profondità da p.c.	Prova	E <sub>carico</sub>	E <sub>scarico</sub>
(-)	(m)	(-)	(MPa)	(MPa)
L1B-S6	10.5	Dilatometrica	132.0	300.0
L1B-S41	9.5	Dilatometrica	21.0	58.0
L1B-S30	11.0	Dilatometrica	102.0	358.0
L1B-S30	25.0	Pressiometrica	111.4	292.3
L1B-S31	10.0	Dilatometrica	6.0	28.0
L1B-S31	24.5	Dilatometrica	82.0	101.0
L1B-S38	9.5	Dilatometrica	58.0	107.0
L1B-S39	10.0	Dilatometrica	460.7	1344.3

La Figura 103 mostra gli andamenti con la profondità del modulo di taglio iniziale  $G_0$  e del modulo elastico  $E_{op}$  (assunto pari al 20% del modulo elastico iniziale) ottenuti alle prove geofisiche MASW e Down-Hole.

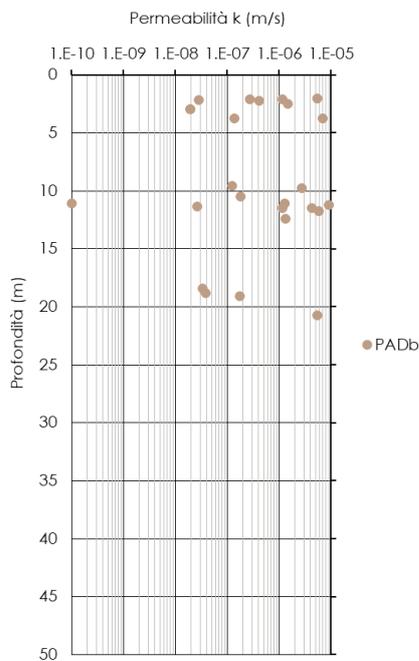


**Figura 103 Modulo di taglio  $G_0$  e modulo elastico  $E_{op}$  da prove geofisiche**

La Figura 104 mostra gli andamenti con la profondità del modulo elastico  $E'$  e del modulo di taglio iniziale  $G_0$  ottenuti da prove SPT. I parametri, che mostrano un aumento con la profondità, risultano rispettivamente compresi negli intervalli  $3 \div 100$  MPa e  $36 \div 523$  MPa.


**Figura 104 Modulo elastico E' e modulo di taglio G<sub>0</sub> da prove SPT**

Sono state eseguite 29 prove di permeabilità di tipo Lefranc nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 2,0 e 20,8 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $1 \times 10^{-10}$  e  $6 \times 10^{-4}$  m/s (Figura 105).



Sondaggio	Prova	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
L1B-S6	Lefranc	10.5	1.8E-07
L1B-S31	Lefranc	3.8	7.0E-06
L1B-S31	Lefranc	11.8	5.9E-06
L1B-S31	Lefranc	20.8	5.4E-06
L1B-S33	Lefranc	9.8	2.8E-06
L1B-S37	Lefranc	2.3	4.1E-07
L1B-S37	Lefranc	9.5	8.6E-05
L1B-S38	Lefranc	2.5	1.5E-06
L1B-S38	Lefranc	11.5	4.3E-06
L1B-S40	Lefranc	5.0	1.6E-05
L1B-S40	Lefranc	11.3	9.1E-06
L1B-S35bis	Lefranc	3.0	2.0E-08
L1B-S35bis	Lefranc	10.9	5.8E-04
L1B-S29	Lefranc	3.8	1.4E-07
L1B-S29	Lefranc	11.4	2.7E-08
L1B-S29	Lefranc	18.4	3.4E-08
L1B-S30	Lefranc	2.0	5.5E-06
L1B-S30	Lefranc	11.1	1.0E-10
L1B-S30	Lefranc	18.9	3.9E-08
L1B-S34	Lefranc	11.1	1.3E-06
L1B-S34	Lefranc	19.1	1.8E-07
L1B-S35	Lefranc	2.1	1.2E-06
L1B-S35	Lefranc	11.5	1.2E-06
L1B-S35bis	Lefranc	3.0	2.0E-08
L1B-S35bis	Lefranc	10.9	5.8E-04
L1B-S36	Lefranc	2.2	2.8E-08
L1B-S36	Lefranc	12.4	1.4E-06
L1B-S39	Lefranc	2.1	2.8E-07
L1B-S39	Lefranc	9.6	1.3E-07

### Figura 105 Coefficiente di permeabilità $k$ da prove in sito

#### 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 *PADb*. La Tabella 50 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro; si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 50 Sintesi parametri geotecnici**

	min	max	
$\gamma$	17.5	21.1	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_s$	26.0	26.5	(kN/m <sup>3</sup> )
w	15.5	34.1	(%)
w <sub>L</sub>	26.3	48.3	(%)
w <sub>P</sub>	17.0	27.2	(%)
I <sub>P</sub>	7.6	21.1	(%)
D <sub>r</sub>	0.3	1.0	(-)
$\phi'_{SPT}$	31.6	48.7	(°)
E' <sub>SPT</sub>	2.9	100.0	(MPa)
G <sub>0,SPT</sub>	35.8	523.5	(MPa)
c' <sub>TD</sub>	9	30.3	(kPa)
$\phi'_{TD}$	29	36.9	(°)
c' <sub>TX</sub>	28	27.8	(kPa)
$\phi'_{TX}$	28	27.9	(°)
E' <sub>carico</sub>	6.0	460.7	(MPa)
E' <sub>scarico</sub>	28.0	1344.3	(MPa)
k	1.0E-10	5.8E-04	(m/s)

	involuppo di rottura			
	medio	min	max	
c' <sub>TD</sub>	23	20	30	(kPa)
$\phi'_{TD}$	31	30	33	(°)
c' <sub>TX</sub>	28			(kPa)
$\phi'_{TX}$	28			(°)

### *Sintema della Certosa di Padula (facies PADe2)*

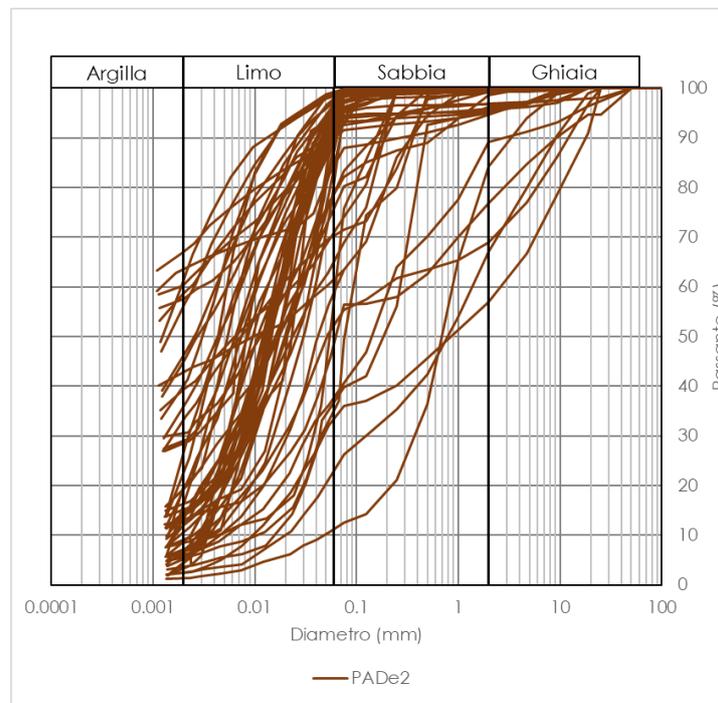
Questa formazione è costituita da depositi fluviali e lacustri ed è definita come costituita da argille grigiastre, limi sabbiosi e sabbie limose marroni con lenti ghiaiose e livelli torbosi.

Nei sondaggi in cui è stata intercettata risulta composta in prevalenza da argille limose e limi argillosi debolmente sabbiosi, da poco a mediamente consistente, all'interno dei quali possono essere presenti intercalazioni ghiaiose (Figura 106).



**Figura 106 PADe2 nel foro di sondaggio L1B-S14 tra 20 e 30 m da da p.c.**

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati permettono di classificare la formazione come limo con argilla sabbioso ghiaioso (Figura 107, AGI 1977).

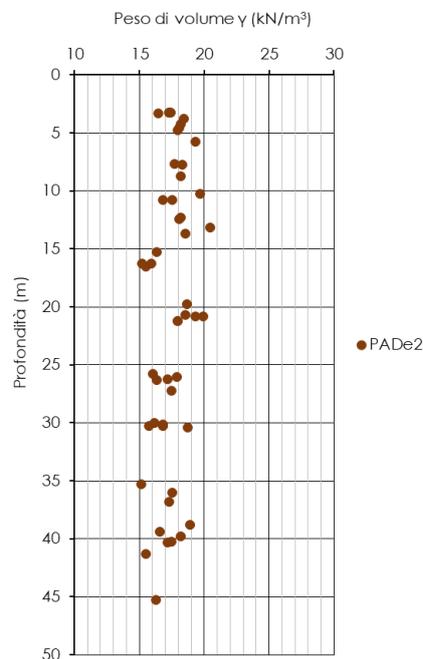


**Figura 107 Analisi granulometrica**

### Proprietà fisiche

Sono stati analizzati 50 campioni indisturbati e 10 campioni rimaneggiati prelevati tra 3,2 e 50,8 m di profondità da piano campagna. L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un primo quadro delle principali grandezze fisiche e meccaniche dell'unità geotecnica indagata.

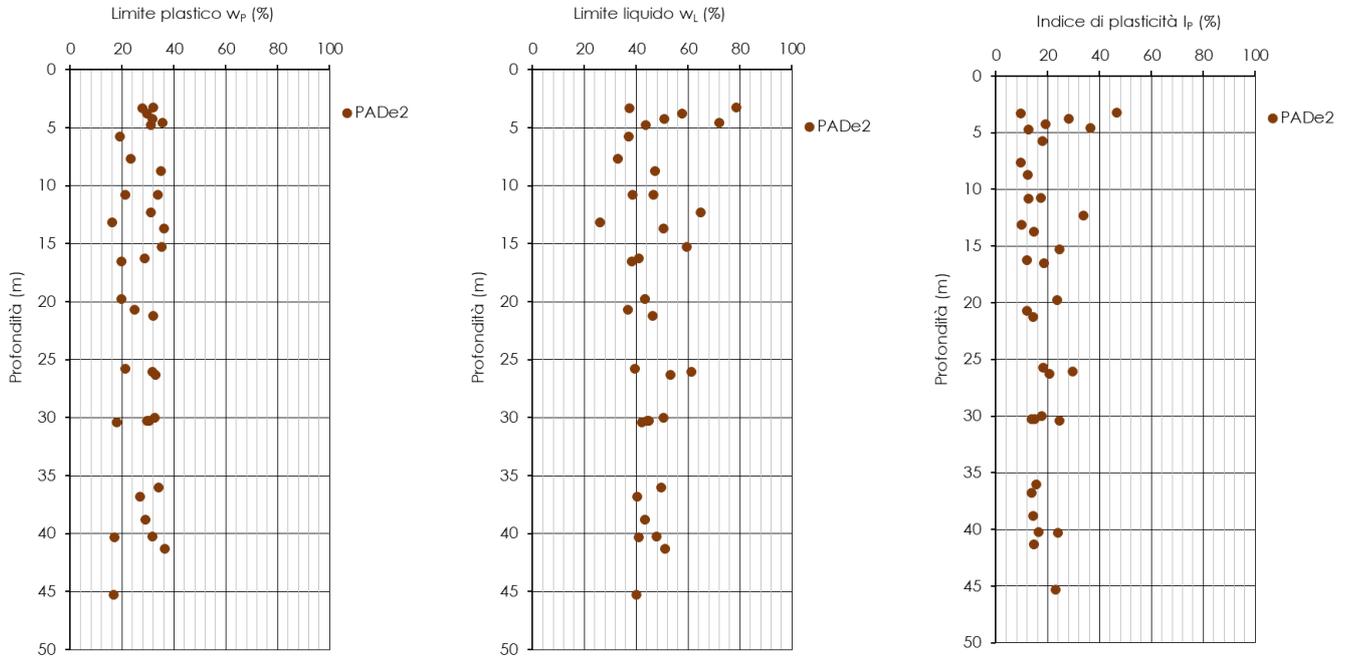
Il peso dell'unità di volume varia tra 15,1 kN/m<sup>3</sup> e 20,4 kN/m<sup>3</sup> ed il peso di volume del materiale secco tra 9,9 kN/m<sup>3</sup> e 17,5 kN/m<sup>3</sup>. Il peso specifico dei granuli valutato su tutti i campioni varia tra 26,1 kN/m<sup>3</sup> e 26,8 kN/m<sup>3</sup> (Figura 108).



**Figura 108** Peso dell'unità di volume  $\gamma$

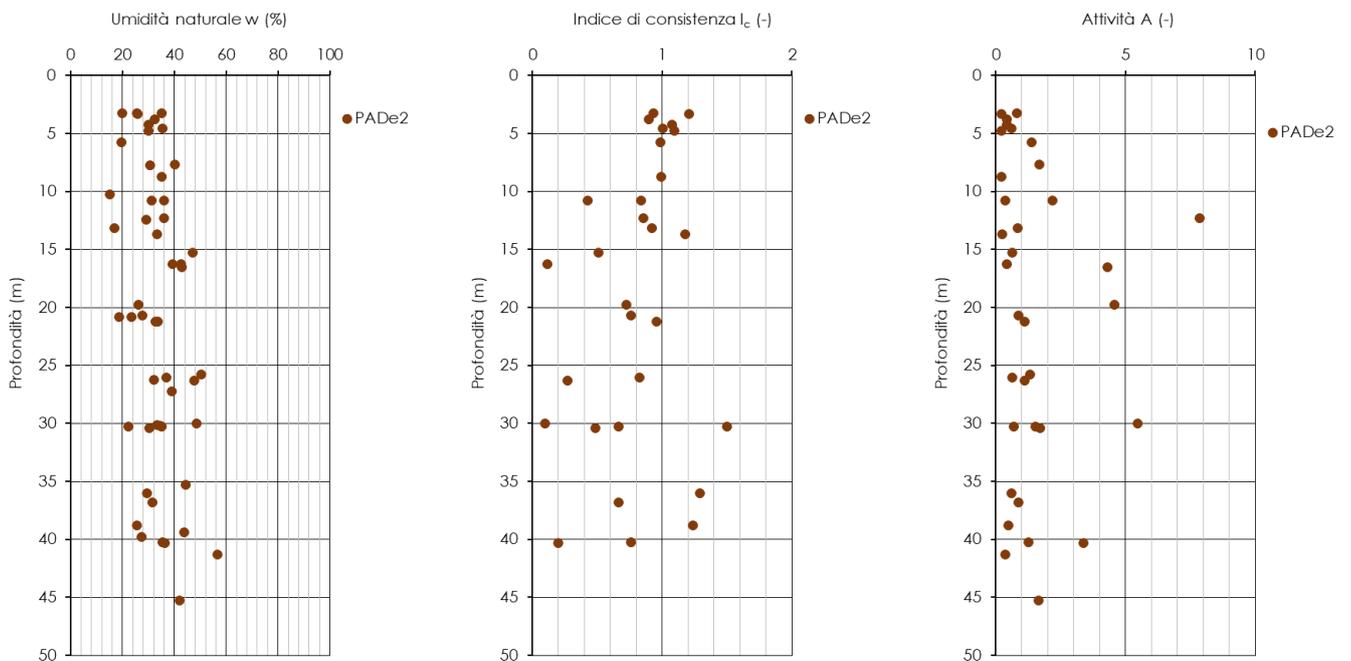
I limiti di Atterberg (Figura 109) sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

- Limite plastico,  $w_p$ : 16% ÷ 36%
- Limite liquido,  $w_L$ : 26% ÷ 79%
- Indice di Plasticità,  $I_p$ : 10% ÷ 47%.



**Figura 109 Limiti di Atterberg e indice di plasticità**

Il contenuto d'acqua naturale  $w$  risulta compreso tra il 15,1% ed il 56,6%, con un indice di consistenza  $I_c$  variabile tra 0,1 e 1,5. L'indice di attività varia tra 0,2 e 7,8 (Figura 110).



**Figura 110 Umidità naturale  $w$ , indice di consistenza  $I_c$  ed attività  $A$**

Si riportano nella tabella di seguito i valori numerici, relativi ad ogni campione, delle caratteristiche fisiche dell'unità geotecnica PADe2 (Tabella 51).

**Tabella 51 Caratteristiche fisiche**

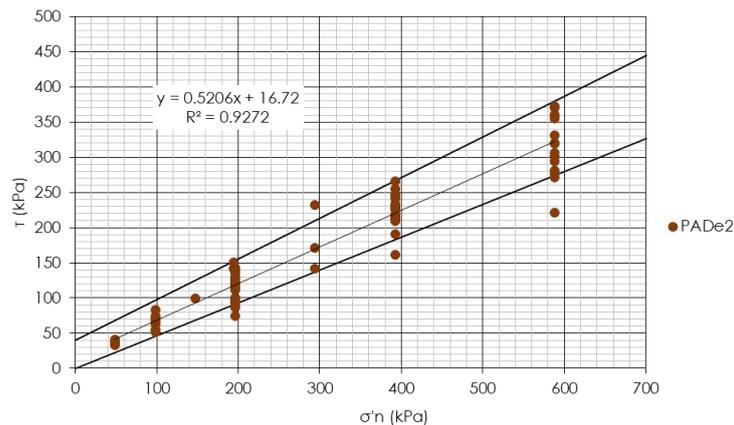
Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\gamma_d$	w	w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	A	$\gamma_s$
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)	(kN/m <sup>3</sup> )
L1B-S6	CI1	4.25	18.16	13.96	30.10	50.80	31.60	19.20	1.08	0.43	26.67
L1B-S6	CI2	21.2	17.93	13.41	33.70						26.41
L1B-S6	CI3	27.2	17.45	12.55	39.10						26.47
L1B-S6	CI4	30.15	16.79	12.60	33.40						26.49
L1B-S6	CI5	35.3	15.12	10.48	44.30						26.48
L1B-S6	CI6	39.4	16.59	11.55	43.70						26.46
L1B-S6ter	CI1	3.25	17.31	14.44	19.90						26.29
L1B-S8	CI2	4.75	17.93	13.80	29.90	43.70	31.10	12.60	1.10	0.21	26.73
L1B-S8	CI3	7.75	18.28	13.98	30.70						26.31
L1B-S8	CI4	16.275	15.23	10.68	42.50						26.54
L1B-S8	CI5	26.25	17.15	12.97	32.20						26.55
L1B-S9	CI1	3.3	16.46	13.08	25.90	37.50	27.90	9.60	1.21	0.22	26.51
L1B-S9	CI2	7.65	17.69	12.63	40.10	33.00	23.30	9.70		1.68	26.31
L1B-S9	CI5	30	16.13	10.84	48.70	50.40	32.70	17.70	0.10	5.48	26.48
L1B-S9	CI6	36	17.52	13.53	29.50	49.50	34.00	15.50	1.29	0.60	26.59
L1B-S10	CI1	4.55	18.04	13.32	35.40	72.00	35.60	36.40	1.01	0.60	26.74
L1B-S10	CI2	10.25	19.70	17.11	15.10						26.06
L1B-S10	CI3	13.7	18.57	13.92	33.40	50.60	36.00	14.60	1.18	0.24	26.78
L1B-S10	CI4	20.7	18.52	14.50	27.70	36.90	24.80	12.10	0.76	0.88	26.45
L1B-S10	CI5	30.3	15.76	12.90	22.20	44.70	29.70	15.00	1.50	0.68	26.59
L1B-S10	CI6	41.3	15.50	9.90	56.60	51.00	36.40	14.60		0.37	26.67
L1B-S40	CI1	12.4	18.08	14.00	29.10						26.42
L1B-S40	CI2	21.25	17.93	13.51	32.70	46.40	32.10	14.30	0.96	1.11	26.51
L1B-S40	CI3	30.25	16.82	12.45	35.10	44.20	30.50	13.70	0.66	1.52	26.51
L1B-S40	CI4	40.25	17.49	12.91	35.50	47.90	31.60	16.30	0.76	1.25	26.53
L1B-S40	CR2	42.35									26.17
L1B-S40	CR3	46.2									26.18
L1B-S40	CR4	50.8									26.21
L1B-S40	SPT4	17.2									26.56
L1B-S40	SPT8	23.75									26.38
L1B-S41	CI1	10.8	17.50	12.88	35.90	46.50	33.80	12.70	0.83	0.36	26.65
L1B-S41	CI3	36.8	17.31	13.17	31.40	40.40	26.80	13.60	0.66	0.87	26.56
L1B-S41	CI4	39.8	18.21	14.29	27.40						26.52
L1B-S41	CR2	14.15									26.51
L1B-S41	CR3	18.2									26.54
L1B-S41	CR4	20.2									26.51
L1B-S41	CR5	29.75									26.21
L1B-S37	CR1	3.2									26.11
L1B-S38	CI2	13.15	20.43	17.49	16.80	25.90	16.00	9.90	0.92	0.83	26.44
L1B-S38	CI3	20.8	19.91	16.86	18.80						26.46
L1B-S38	CI4	30.2	16.80	12.48	34.60						26.35
L1B-S38	CI5	38.8	18.87	15.03	25.60	43.30	29.00	14.30	1.24	0.48	26.57
L1B-S39	CI1	12.3	18.20	13.38	36.00	64.90	31.00	33.90	0.85	7.85	26.49
L1B-S39	CI2	19.75	18.64	14.77	26.20	43.20	19.60	23.60	0.72	4.58	26.49
L1B-S39	CI3	30.4	18.70	14.34	30.40	42.20	17.80	24.40	0.48	1.69	26.54
L1B-S39	CI4	40.3	17.18	12.62	36.20	40.90	17.10	23.80	0.20	3.37	26.49
L1B-S39	CI5	45.3	16.25	11.45	41.90	39.90	16.80	23.10		1.65	26.52
L1B-S41bis	CI1	5.75	19.32	16.17	19.50	37.10	19.20	17.90	0.98	1.37	26.30
L1B-S41bis	CI2	20.8	19.31	15.61	23.60						26.60

### Proprietà meccaniche

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

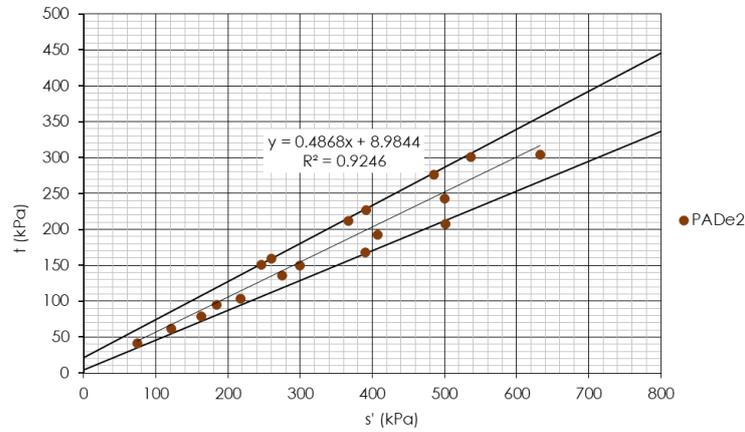
Per determinare le caratteristiche di resistenza della formazione sono stati elaborati i risultati di 29 prove di taglio diretto, 6 prove di compressione triassiale consolidata non drenata (CIU), 16 prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU) e 4 prove di espansione laterale libera (ELL).

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 111) restituisce un valore di coesione  $c'$  pari a circa 17 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\varphi'$  pari a circa  $28^\circ$ . L'elaborazione dell'insieme di tutte le prove di taglio diretto fornisce un intervallo di coesione  $c'$  pari a  $0 \div 40$  kPa e di angolo di attrito  $\varphi'$  pari a  $25 \div 30^\circ$ . Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 3,3 e 40,3 m dal piano campagna.



**Figura 111 Involuppo di resistenza della prova di taglio diretto (TD)**

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti  $t'$  ed  $s'$  (Figura 112) derivante dall'elaborazione delle prove triassiali CIU restituisce valori di intercetta di coesione  $c'$  pari a circa 10 kPa e di angolo di attrito  $\varphi'$  pari a  $29^\circ$ . L'elaborazione dell'insieme di tutte le prove triassiali fornisce un intervallo di coesione  $c'$  pari a  $5 \div 25$  kPa e di angolo di attrito  $\varphi'$  pari a  $25 \div 32^\circ$ . Le profondità medie di prelievo dei campioni variano tra 4,3 e 38,8 m dal piano campagna.



**Figura 112 Involuppo di resistenza delle prove triassiali**

Di seguito le tabelle riassuntive delle prove di taglio diretto e della prova di compressione triassiale (Tabella 52).

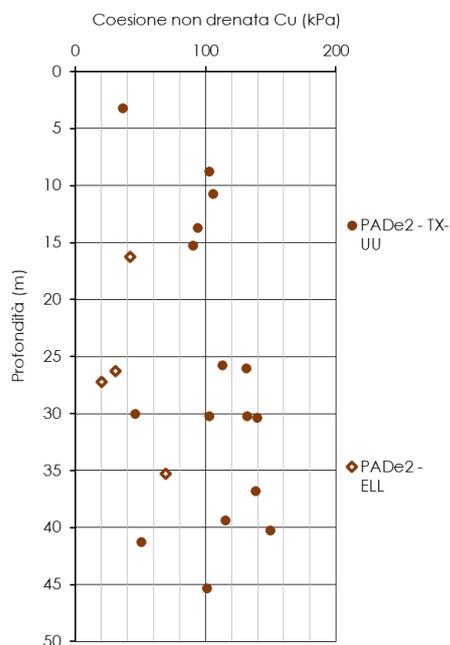
**Tabella 52 Valori a rottura delle prove TD e TXT - CIU**

Prove di taglio diretto					
Sondaggio e Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_n$	$\tau$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
L1B-S6 - CI2	21.2	2.0E+02	1.2E+02	25.0	32.7
		3.9E+02	2.3E+02		
		5.9E+02	3.0E+02		
L1B-S6 - CI4	30.2	2.0E+02	1.2E+02	27.0	28.9
		3.9E+02	2.4E+02		
		5.9E+02	3.2E+02		
L1B-S6 - CI5	35.3	2.0E+02	1.3E+02	31.9	11.1
		3.9E+02	2.7E+02		
		5.9E+02	3.7E+02		
L1B-S6 - CI6	39.4	2.0E+02	1.4E+02	25.8	52.2
		3.9E+02	2.6E+02		
		5.9E+02	3.3E+02		
L1B-S6ter - CI1	3.3	9.8E+01	7.1E+01	27.9	18.8
		2.0E+02	1.2E+02		
		3.9E+02	2.3E+02		
L1B-S6ter - CI3	16.5	9.8E+01	7.4E+01	27.6	24.6
		2.0E+02	1.3E+02		
		3.9E+02	2.3E+02		
L1B-S7 - CI1	3.3	4.9E+01	3.9E+01	18.4	21.5
		9.8E+01	5.2E+01		
		2.0E+02	8.7E+01		
L1B-S7 - CI4	16.3	9.8E+01	6.4E+01	25.6	24.4
		2.0E+02	1.3E+02		
		3.9E+02	2.1E+02		
L1B-S8 - CI1	3.3	4.9E+01	3.3E+01	19.7	16.3
		9.8E+01	5.3E+01		
		2.0E+02	8.6E+01		
L1B-S8 - CI2	4.8	4.9E+01	4.0E+01	22.1	21.3
		9.8E+01	6.3E+01		
		2.0E+02	1.0E+02		
L1B-S8 - CI5	26.3	2.0E+02	1.4E+02	30.4	21.1
		3.9E+02	2.4E+02		
		5.9E+02	3.7E+02		

Prove di taglio diretto					
Sondaggio e Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_n$	$\tau$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
L1B-S9 - CI1	3.3	4.9E+01	3.6E+01	13.8	26.8
		9.8E+01	5.5E+01		
		2.0E+02	7.4E+01		
L1B-S9 - CI4	26.3	9.8E+01	7.4E+01	26.6	20.5
		2.0E+02	1.1E+02		
		3.9E+02	2.2E+02		
L1B-S10 - CI1	4.6	9.8E+01	5.3E+01	24.4	7.6
		2.0E+02	9.4E+01		
		2.9E+02	1.4E+02		
L1B-S10 - CI2	10.3	9.8E+01	8.3E+01	37.1	1.7
		2.0E+02	1.4E+02		
		2.9E+02	2.3E+02		
L1B-S10 - CI3	13.7	1.9E+02	1.4E+02	29.0	33.0
		3.9E+02	2.5E+02		
		5.9E+02	3.6E+02		
L1B-S10 - CI4	20.7	1.9E+02	1.5E+02	27.8	40.9
		3.9E+02	2.3E+02		
		5.9E+02	3.6E+02		
L1B-S40 - CI1	12.4	9.8E+01	6.8E+01	28.4	14.2
		2.0E+02	1.2E+02		
		3.9E+02	2.3E+02		
L1B-S40 - CI3	30.3	2.0E+02	9.3E+01	24.4	16.0
		3.9E+02	2.2E+02		
		5.9E+02	2.7E+02		
L1B-S40 - CI4	40.3	2.0E+02	1.4E+02	23.0	51.6
		3.9E+02	2.1E+02		
		5.9E+02	3.1E+02		
L1B-S41 - CI1	10.8	9.8E+01	7.2E+01	26.9	19.6
		2.0E+02	1.1E+02		
		2.9E+02	1.7E+02		
L1B-S41 - CI3	36.8	2.0E+02	1.4E+02	28.3	31.5
		3.9E+02	2.3E+02		
		5.9E+02	3.5E+02		
L1B-S41 - CI4	39.8	2.0E+02	1.3E+02	23.2	42.9
		3.9E+02	2.1E+02		
		5.9E+02	2.9E+02		
L1B-S38 - CI4	30.2	2.0E+02	1.4E+02	30.6	9.6
		3.9E+02	2.1E+02		
		5.9E+02	3.7E+02		
L1B-S39 - CI2	19.8	2.0E+02	1.3E+02	21.3	55.1
		3.9E+02	2.2E+02		
		5.9E+02	2.8E+02		
L1B-S39 - CI4	40.3	2.0E+02	1.2E+02	27.0	22.3
		3.9E+02	2.3E+02		
		5.9E+02	3.2E+02		
L1B-S41bis - CI1	5.8	4.9E+01	4.1E+01	31.0	9.3
		9.8E+01	6.4E+01		
		1.5E+02	1.0E+02		
L1B-S41bis - CI2	20.8	2.0E+02	9.9E+01	24.3	11.2
		3.9E+02	1.9E+02		
		5.9E+02	2.8E+02		
L1B-S38 - CI2	13.2	2.0E+02	9.8E+01	17.6	36.0
		3.9E+02	1.6E+02		
		5.9E+02	2.2E+02		

Prove di compressione triassiale								
Prova	Sondaggio / Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_1$	$\sigma'_3$	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	$\phi'$	$c'$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
CIU	L1B-S6 - CI1	4.3	115.75	32	41.875	73.875	24.5	12.4
			182.6	59.5	61.55	121.05		
			241.2	83.9	78.65	162.55		
CIU	L1B-S8 - CI3	7.8	278.91	89.3	94.805	184.105	26.1	15.8
			410.31	139.3	135.505	274.805		
			600.21	214.2	193.005	407.205		
CIU	L1B-S8 - CI4	16.3	419.74	100.1	159.82	259.92	30.5	32.3
			617.41	164.5	226.455	390.955		
			837.13	236.3	300.415	536.715		
CIU	L1B-S9 - CI6	36.0	320.4	113.6	103.4	217	21.6	25.7
			558.67	222	168.335	390.335		
			709.6	293.8	207.9	501.7		
CIU	L1B-S40 - CI2	21.3	397.68	95.5	151.09	246.59	31.5	25.1
			578.98	154.9	212.04	366.94		
			760.68	209.1	275.79	484.89		
CIU	L1B-S38 - CI5	38.8	449.57	150.6	149.485	300.085	27.8	10.8
			742.78	257.3	242.74	500.04		
			936.77	327.9	304.435	632.335		

I valori della resistenza non drenata  $C_U$  ricavati dalle prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU) sono diagrammati in funzione della profondità in Figura 113. I valori risultano compresi tra 20 e 150 kPa.



sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$C_{U-TX-UU}$	$C_{U-ELL}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)
L1B-S6	CI3	27.2		20
L1B-S6	CI5	35.3		69
L1B-S6	CI6	39.4	115	
L1B-S6ter	CI2	10.75	106	
L1B-S6ter	CI4	25.75	113	
L1B-S7	CI3	8.75	103	
L1B-S7	CI5	26.05	132	
L1B-S8	CI1	3.25	36	
L1B-S8	CI4	16.275		42
L1B-S8	CI5	26.25		31
L1B-S9	CI3	15.3	91	
L1B-S9	CI5	30	46	
L1B-S10	CI3	13.7	94	
L1B-S10	CI6	41.3	50	
L1B-S40	CI3	30.25	132	
L1B-S40	CI4	40.25	150	
L1B-S41	CI3	36.8	139	
L1B-S38	CI4	30.2	103	
L1B-S39	CI3	30.4	140	
L1B-S39	CI5	45.3	101	

**Figura 113 Valori a rottura prove TXT -UU**

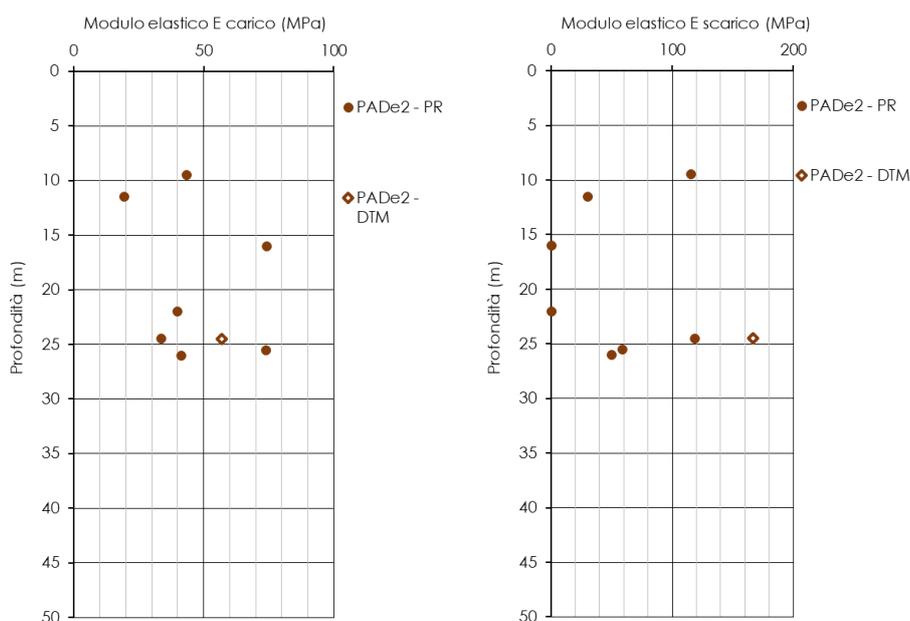
Per determinare le caratteristiche di deformabilità e compressibilità sono stati elaborati i risultati di 7 prove pressiometriche, 1 prova dilatometrica, 2 prove geofisiche di tipo MASW e 3 prove down-hole. Per completezza

si riportano anche i risultati ottenuti dalle 12 prove di compressione edometrica, sebbene le caratteristiche di deformabilità per le opere in sotterraneo siano state definite a partire dai risultati delle prove in sito.

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

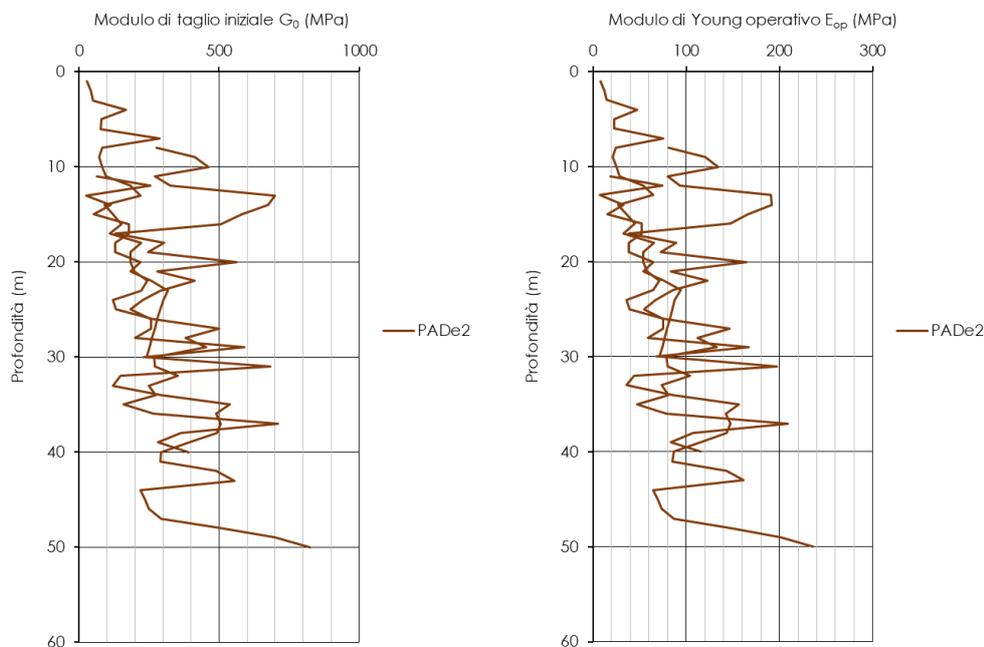
Per quanto riguarda le prove dilatometriche, si è considerato per la fase di scarico il modulo determinato per il terzo ciclo di scarico.

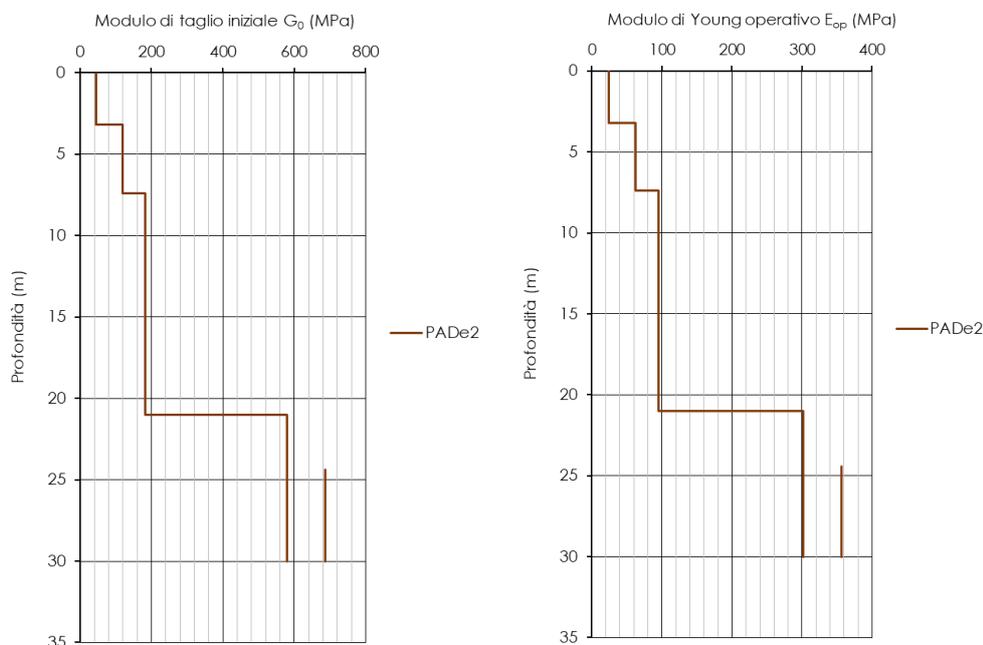
Il modulo di scarico risulta compreso nell'intervallo  $30 \div 167$  MPa mentre quello di carico nell'intervallo  $19,5 \div 74$  MPa. La Figura 114 riporta l'andamento dei moduli di deformabilità derivati dalle prove pressiometriche e dilatometriche con la profondità.



sondaggio	Profondità da p.c.	Prova	$E_{\text{carico}}$	$E_{\text{scarico}}$
(-)	(m)	(-)	(MPa)	(MPa)
L1B-S6	26.0	Pressiometrica	41.4	50.1
L1B-S10	11.5	Pressiometrica	19.5	30.2
L1B-S10	25.5	Pressiometrica	73.9	59.0
L1B-S40	9.5	Pressiometrica	43.3	115.8
L1B-S40	24.5	Pressiometrica	33.7	118.9
L1B-S41	24.5	Dilatometrica	57.0	167.0
L1B-S41bis	16.0	Pressiometrica	74.4	
L1B-S41bis	22.0	Pressiometrica	39.8	

La Figura 115 mostra gli andamenti con la profondità del modulo di taglio iniziale  $G_0$  e del modulo elastico  $E_{op}$  (assunto pari al 20% del modulo elastico iniziale) ottenuti alle prove geofisiche MASW e down-Hole.

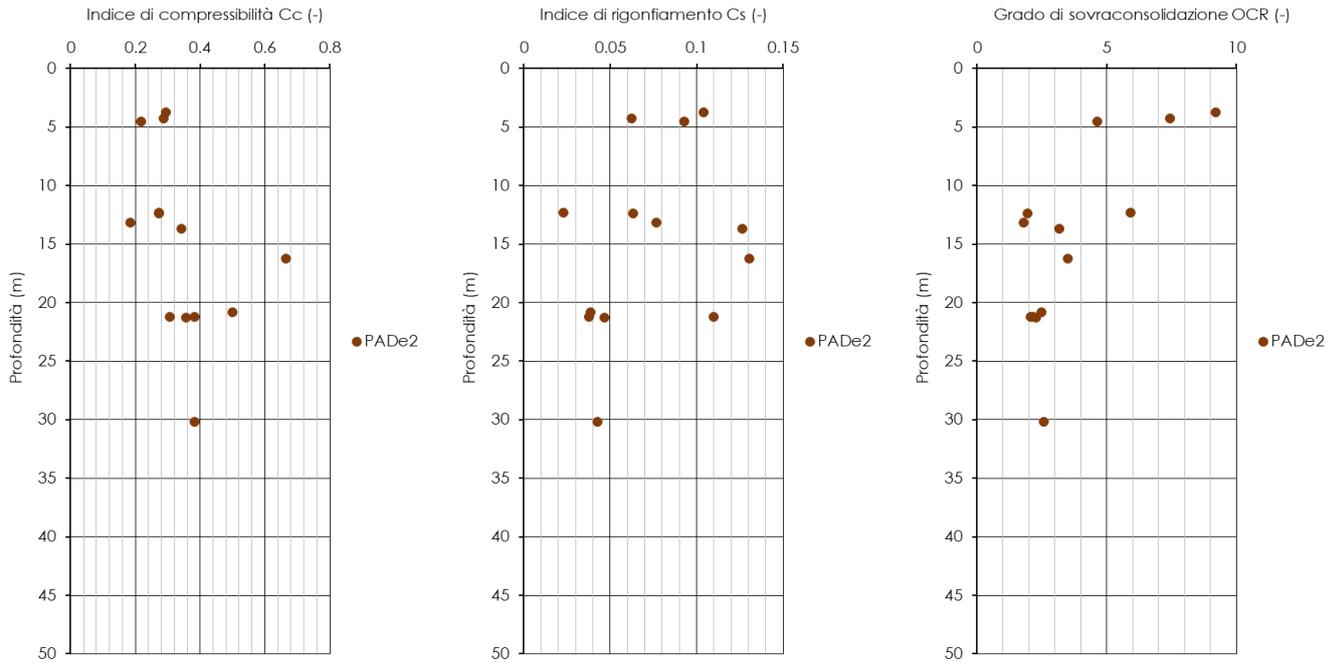




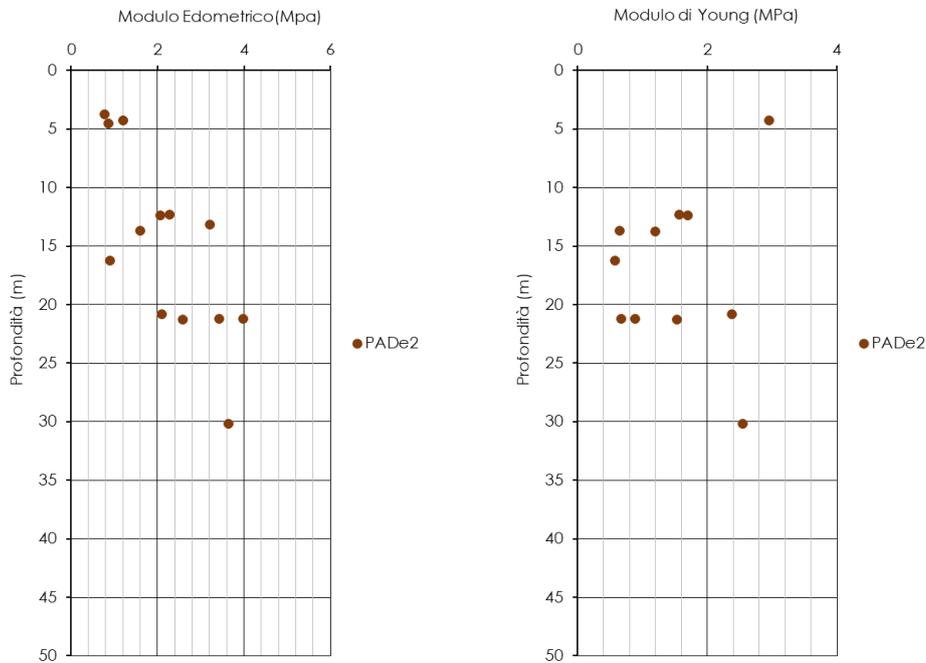
**Figura 115 Modulo di taglio G<sub>0</sub> e modulo elastico E<sub>op</sub> da prove geofisiche**

I parametri ottenuti dall'elaborazione delle prove di compressione edometrica sono diagrammati in funzione della profondità in Figura 116 e **Figura 117**; tali valori risultano compresi nei seguenti intervalli di variabilità:

- Indice di compressibilità C<sub>C</sub>: 0,18 ÷ 0,67 (-)
- Indice di rigonfiamento C<sub>S</sub>: 0,04 ÷ 0,13 (-)
- Grado di sovraconsolidazione OCR: 1,8 ÷ 9,2 (-)
- Modulo edometrico E<sub>ed</sub>: 0,8 ÷ 4,0 MPa
- Modulo di Young E': 0,6 ÷ 3,0 MPa.



**Figura 116** Indice di compressibilità, indice di rigonfiamento e grado di sovraconsolidazione da prove edometriche



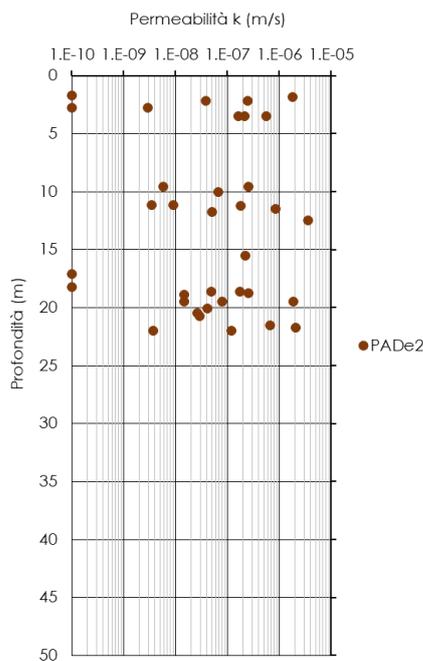
**Figura 117** Modulo edometrico e modulo di Young da prove edometriche

Di seguito la tabella riassuntiva (Tabella 54).

**Tabella 54** Prove edometriche

sondaggio	campione	Profondità da p.c.	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	OCR	e <sub>0</sub>	E'ed
(-)	(-)	(m)	(-)	(-)	(-)	(-)	(MPa)
L1B-S40	CI1	12.4	0.27	0.06	1.9	0.8	2.1
L1B-S40	CI2	21.3	0.36	0.05	2.3	1.0	2.6
L1B-S38	CI3	20.8	0.50	0.04	2.5	1.0	2.1
L1B-S38	CI2	13.2	0.18	0.08	1.8	0.6	3.2
L1B-S10	CI3	13.7	0.34	0.13	3.2	1.0	1.6
L1B-S10	CI1	4.6	0.22	0.09	4.6	1.0	0.9
L1B-S6	CI4	30.2	0.38	0.04	2.6	0.9	3.6
L1B-S6	CI2	21.2	0.38	0.04	2.1	1.1	3.4
L1B-S6	CI1	4.3	0.29	0.06	7.4	0.9	1.2
L1B-S6	CI2	21.2	0.31	0.11	2.2	0.9	4.0
L1B-S7	CI4	16.3	0.67	0.13	3.5	1.2	0.9
L1B-S7	CI2	3.8	0.29	0.10	9.2	0.9	0.8

Sono state eseguite 39 prove di permeabilità di tipo Lefranc nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 1,7 e 22,0 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $1 \times 10^{-10}$  e  $9 \times 10^{-5}$  m/s (Figura 118).



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
L1B-S6	Lefranc	22.0	3.8E-09
L1B-S6	Lefranc	19.5	1.9E-06
L1B-S8	Lefranc	2.8	2.9E-09
L1B-S8	Lefranc	10.0	6.7E-08
L1B-S8	Lefranc	19.5	1.5E-08
L1B-S11	Lefranc	4.0	5.1E-05
L1B-S11	Lefranc	8.5	7.4E-05
L1B-S11	Lefranc	22.0	1.2E-07
L1B-S14	Lefranc	3.5	2.2E-07
L1B-S14	Lefranc	11.3	1.8E-07
L1B-S14	Lefranc	20.8	2.9E-08
L1B-S27	Lefranc	3.5	5.7E-07
L1B-S27	Lefranc	11.5	8.4E-07
L1B-S27	Lefranc	20.5	2.7E-08
L1B-S33	Lefranc	3.5	1.7E-07
L1B-S33	Lefranc	21.5	6.7E-07
L1B-S37	Lefranc	15.5	2.2E-07
L1B-S38	Lefranc	18.8	2.6E-07
L1B-S40	Lefranc	19.5	7.9E-08
L1B-S41	Lefranc	3.8	8.6E-05
L1B-S41	Lefranc	12.5	3.6E-06
L1B-S41	Lefranc	21.8	2.9E-05
L1B-S35bis	Lefranc	18.3	1.0E-10
L1B-S41bis	Lefranc	2.8	1.0E-10
L1B-S41bis	Lefranc	11.8	5.0E-08
L1B-S41bis	Lefranc	21.8	2.1E-06
L1B-S6ter	Lefranc	1.9	1.8E-06
L1B-S6ter	Lefranc	9.6	5.9E-09
L1B-S6ter	Lefranc	17.1	1.0E-10
L1B-S7	Lefranc	2.2	2.5E-07
L1B-S7	Lefranc	11.2	3.4E-09
L1B-S7	Lefranc	18.7	4.9E-08
L1B-S9	Lefranc	2.2	3.9E-08
L1B-S9	Lefranc	11.2	9.0E-09
L1B-S9	Lefranc	18.9	1.5E-08
L1B-S10	Lefranc	1.7	1.0E-10
L1B-S10	Lefranc	9.6	2.5E-07
L1B-S10	Lefranc	20.1	4.2E-08
L1B-S39	Lefranc	18.6	1.7E-07

Figura 118 Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica *PADe2*. La Tabella 55 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

**Tabella 55 Sintesi parametri geotecnici**

	min	max	
$\gamma$	15.1	20.4	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_s$	26.1	26.8	(kN/m <sup>3</sup> )
w	15.1	56.6	(%)
w <sub>L</sub>	25.9	78.5	(%)
w <sub>P</sub>	16.0	36.4	(%)
I <sub>P</sub>	9.6	46.6	(%)
I <sub>C</sub>	0.1	1.5	(-)
A	0.2	7.8	(-)
c' <sub>m</sub>	2	55.1	(kPa)
$\phi'$ <sub>m</sub>	14	37.1	(°)
c' <sub>TX</sub>	11	32.3	(kPa)
$\phi'$ <sub>TX</sub>	22	31.5	(°)
Cu	20.1	150.0	(kPa)
E' <sub>carico</sub>	19.5	74.4	(MPa)
E' <sub>scarico</sub>	0.0	167.0	(MPa)
k	1.0E-10	8.6E-05	(m/s)

	involuppo di rottura			
	medio	min	max	
c' <sub>m</sub>	17	0	40	(kPa)
$\phi'$ <sub>m</sub>	28	25	30	(°)
c' <sub>TX</sub>	10	5	25	(kPa)
$\phi'$ <sub>TX</sub>	29	25	32	(°)

### Unità geotecniche

L'analisi e l'interpretazione di tutti i dati e le informazioni ad oggi disponibili hanno portato alla definizione delle Unità geotecniche. Nella Tabella 56 è riportato per ciascuna di esse il range di variazione dei principali parametri fisici e meccanici.

**Tabella 56 Definizione parametri per gruppo omogeneo**

Unità geotecnica	Descrizione sintetica	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi$ (°)	Escarico (MPa)	k (m/s)
<b>ALV</b>	Argille scagliose con calcari	18-21	6-62	19-37	86-1615	2E-07 – 3E-10
<b>BTL-PLMa</b>	Ghiaie e sabbie limose	17-21	0-26	24-38	92-455	9E-07 – 2E-08
<b>BTL-PLMb</b>	Limi sabbiosi e argillosi	18-21	0-40	15-31	119-805	9E-07 – 4E-10
<b>RGC</b> <sup>(1)</sup>	Ghiaie e sabbie limose	20	0	35-48	10-220	8E-06 – 2E-08
<b>AUL</b>	Argille limose e limi argillosi consistenti con livelli sabbiosi	18-22	13-59	12-30	86-253	1E-04- 2E-09
<b>SIE</b> <sup>(2)</sup>	Argille marnoso-limose	22-25	-	-	108-1414	1E-07- 1E-10
<b>BUOb</b>	Ghiaie e conglomerati in matrice sabbiosa	- <sup>(3)</sup>	- <sup>(3)</sup>	- <sup>(3)</sup>	109-462	5E-06 – 2E-06
<b>PADb</b>	Ghiaie e sabbie in matrice limoso argillosa	18-21	0-30	28-49	28-1344	6E-04 – 1E-10
<b>PADe2</b>	Argille limose e limi sabbiosi	15-20	0-55	14-37	30-167	9E-05- 1E-10

Unità	Descrizione sintetica	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{ci}$ (MPa)	$m_i$	GSI	k (m/s)
<b>CRQ</b>	Calcari	20-27	15-160	10	40-50 (20-30 faglia)	6E-06 – 5E-09
<b>DBS</b>	Dolomie	23-28	3-165	9	40-50 (20-30 faglia)	5E-06 – 1E-10

<sup>(1)</sup> Sulla base dei dati disponibili sono stati ripresi i valori assunti nell'ambito del lotto 1A.



**LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA**  
**NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA**  
**LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA**  
**LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO**  
**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	148 di 214

<sup>(2)</sup> In attesa del completamento di nuovi sondaggi nella formazione, in via cautelativa all'unità sono stati attribuiti i parametri di resistenza di ALV.

<sup>(3)</sup> Per i parametri geotecnici in via cautelativa all'unità sono stati attribuiti i parametri di resistenza di PADb.

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

## 9 FASE DI DIAGNOSI

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

### 9.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

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

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

#### Categoria A: nucleo-fronte stabile

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

#### Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

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

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

deformativo può evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

### Categoria C: nucleo-fronte instabile

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

## **9.2 Determinazione delle categorie di comportamento**

La valutazione del comportamento deformativo del fronte è stata condotta utilizzando:

- il metodo delle linee caratteristiche (per le tratte ad alta copertura);
- i metodi di analisi della stabilità del fronte (per le tratte a bassa copertura).

Tali valutazioni sono state condotte con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e delle azioni.

La definizione delle sezioni analizzate è stata eseguita sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica (vedi § 8.3), in funzione delle condizioni idrauliche previste e della distribuzione delle diverse classi di copertura lungo il tracciato.

### ***Analisi con il metodo delle linee caratteristiche***

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

### Sezioni analizzate

Nelle tabelle seguenti sono riepilogate le sezioni analizzate con i relativi dati di input utilizzati per il calcolo.

Sono state analizzate 6 sezioni rappresentative localizzate lungo la galleria Auletta. Per quanto riguarda le gallerie Caterina, Sicignano e Romagnano 2, per la definizione delle categorie di comportamento si è fatto riferimento a quanto svolto per il precedente lotto 1A.

**Tabella 57 Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: dati di input**

Sezione di analisi	Unità	pk	H	$\sigma_0$	$\gamma$	$c'_{kp}$	$\varphi'_{kp}$	$C_{u,k}$	$E_k$	$E_{u,k}$
		[km]	[m]	[MPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
D1	AUL	12700	130	2.54	19.5	-	-	0.407	-	407
D2	SIE	16850	260	5.21	20.0	-	-	1.048	-	1764
D3	DBS	19250	512	13.56	26.5	1.244	31.8	-	9047	-
D4	DBSfaglia	18700	387	10.26	26.5	0.655	27.1	-	3460	-
D5	CRQfaglia	17750	266	6.66	25.0	0.689	36.0	-	513	-
D6	CRQ	16900	263	6.58	25.0	1.060	42.5	-	1025	-

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria  
 $\sigma_0$  = tensione totale iniziale al livello del cavo  
 $\gamma$  = peso dell'unità di volume dell'ammasso  
 $c'_{kp}$  = valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso  
 $\varphi'_{kp}$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso  
 $E_k$  = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

## Risultati delle analisi

**Tabella 58 Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: risultati delle analisi**

Sezione di analisi	Formazione	$\sigma_c$	$p_c$	$\sigma_c/p_c$	$u_F$	$u_F/R_{eq}$	$R_{PF}$	$R_{PF}/R_{eq}$	$u_{\infty}$	$R_P$	Categoria Criterio 1	Categoria Criterio 2.1	Categoria Criterio 2.2	$R_{eq}$
		[MPa]	[MPa]	[-]	[m]	[%]	[m]	[-]	[m]	[m]				
D1	AUL	0.81	2.00	0.41	0.194	3.99	16.58	3.42	1.386	66.94	C	C	B/C	4.85
D2	SIE	2.10	3.81	0.55	0.044	0.91	12.03	2.48	0.229	35.28	C	C	B/C	4.85
D3	DBS	4.47	4.26	1.05	0.010	0.20	6.26	1.29	0.02	8.70	B	B	A/B	4.85
D4	DBSfaglia	2.14	4.18	0.51	0.033	0.67	7.49	1.54	0.081	12.57	C	C	B/C	4.85
D5	CRQfaglia	2.70	1.68	1.61	0.068	1.40	5.80	1.20	0.147	7.39	C	B	A	4.85

D6	CRQ	4.82	0.89	5.41	0.024	0.50	5.19	1.07	0.050	5.84	C	A	A	4.85
----	-----	------	------	------	-------	------	------	------	-------	------	---	---	---	------

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

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

$u_F$  = convergenza al fronte (soluzione cavità sferica)

$R_{PF}$  = raggio plastico al fronte

$u_\infty$  = convergenza finale del cavo

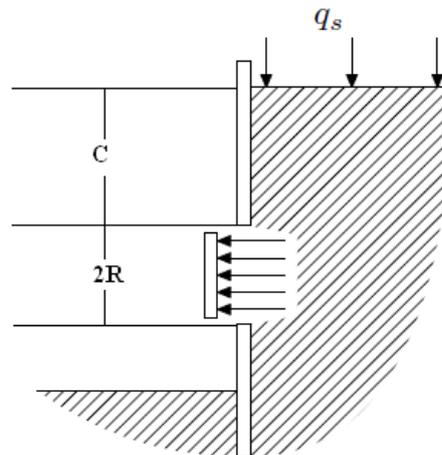
$R_P$  = raggio plastico finale al contorno del cavo

$R_{eq}$  = raggio di scavo equivalente della galleria

### Analisi della stabilità del fronte

#### Metodo di Broms e Bennermark (1967)

Broms e Bennermark hanno affrontato per la prima volta sperimentalmente il problema della stabilità del fronte, deducendo una relazione in grado di descrivere la stabilità di fori non supportati praticati su sostegni verticali in un terreno puramente coesivo (criterio di Tresca) in condizioni non drenate, in assenza di falda (Figura 119).



**Figura 119 - Stabilità del fronte secondo il Metodo di Broms & Bennermark (Broms et al., 1967)**

Con questa relazione è stato definito il rapporto di stabilità  $N$ , dato da:

$$N = \frac{\sigma_s + \gamma z - \sigma_T}{c_u}$$

dove:

$\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno

$z$  = profondità dell'asse della galleria

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

$\sigma_s$  = sovraccarico eventualmente presente in superficie

$\sigma_T$  = eventuale pressione di sostegno applicata al fronte

$c_u$  = resistenza al taglio, in condizioni non drenate, alla profondità della galleria.

Broms e Bennermark (1967) hanno definito pari a 6 il valore del rapporto di stabilità critico  $N$  perché si manifesti il collasso.

La seguente tabella fornisce una indicazione della relazione fra il numero di stabilità e le deformazioni attese (P.B. Attewell in Geddes, 1978).

**Tabella 59: Relazione fra il numero di stabilità e le deformazioni attese**

$N$	Deformazioni
< 1	Trascurabili
1 – 2	Elastiche
2 – 4	Elasto-plastiche
4-6	Plastiche
> 6	Collasso

#### Sezioni analizzate

Sono state analizzate 2 sezioni rappresentative delle condizioni di bassa copertura localizzate lungo la galleria Auletta.

**Tabella 60: Sezione analizzate col metodo di Broms e Bennermark per l'analisi di stabilità del fronte di scavo**

Sezione di calcolo	Formazione	pk.	z	$\sigma_s$	$\gamma$	$\sigma_T$	$c_u$ k
		[km]	[m]	[kPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[kPa]
D7	AUL	6900	53	0	19.5	0	219
D8	PADe2	21500	34	0	17.5	0	103
z = profondità dell'asse della galleria							
$\sigma_s$ = sovraccarico eventualmente presente in superficie							
$\gamma$ = peso dell'unità di volume del terreno							
$\sigma_T$ = eventuale pressione di sostegno applicata al fronte							
$c_u$ = peso medio dell'unità di volume del terreno sopra la calotta (su h1)							

#### Risultati delle analisi

I risultati dell'analisi effettuata secondo il metodo di Broms & Bennermark, esaminati in funzione del rapporto di stabilità  $N$  calcolato secondo quanto riportato nel paragrafo precedente, indicano un valore di  $N_s$  pari a 6.48 (sezione di calcolo 7) e 5.06 (sezione di calcolo 8) e pertanto indicano condizioni prossime al collasso del fronte in assenza di interventi.

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

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

In corrispondenza delle fasce maggiormente tettonizzate e delle coperture più elevate potrebbero svilupparsi importanti e rapide deformazioni dell'ammasso al contorno del cavo e al fronte, che potrebbero condizionare l'avanzamento degli scavi e rendere necessarie modifiche tecniche e strutturali atte a contenere le elevate azioni spingenti.

È stata pertanto condotta una valutazione del comportamento deformativo allo scavo per una stima preliminare dei fenomeni che si potrebbero sviluppare. Per questa stima è fatto riferimento allo schema concettuale riportato in Figura 121 che mostra come, in funzione dello "squilibrio tensionale" indotto dallo scavo, il tipo di deformazione da attendersi è ovviamente condizionato dalla qualità dell'ammasso: a parità di condizioni tensionali, il comportamento deformativo riscontrabile può essere del tipo *rockbursting* o *squeezing* al diminuire della classe di ammasso.

Nello specifico, a partire dai valori GSI individuati per le formazioni d'interesse (cfr. § 8.3) è stato valutato il corrispondente valore dell'indice RMR di Bieniawski ed è stata determinata la classe di qualità dell'ammasso (Figura 120).

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

**Figura 120 Classificazione dell'ammasso roccioso (Bieniawski)**

Per le formazioni di natura carbonatica (calcarei CRQ e dolomie DBS fuori faglia con i range di variazione di GSI pari rispettivamente GSI=40-50 e GSI=45-55) l'ammasso può classificarsi da mediocre a scadente (RMR=35-45 ed RMR=40-50), fino a molto scadente nelle zone di faglia maggiormente tettonizzate (GSI=20-30 → RMR=15-25). Secondo lo schema di Figura 121, in tali condizioni di ammasso la risposta deformativa allo scavo può essere caratterizzata da fenomeni deformativi di *squeezing*.

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

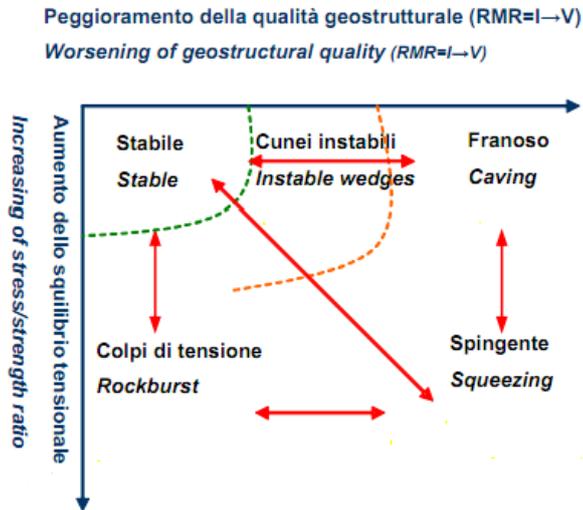


Figura 121 Schema concettuale per l'inquadramento generale del comportamento allo scavo

Al fine di valutare l'entità di tali fenomeni si è fatto riferimento al metodo semi-empirico proposto da Jethwa et al. (1984) (Rif. [28]) che esprime il potenziale di squeezing, sulla base della copertura e delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso, mediante il seguente fattore di competenza:

$$N_c = \frac{\sigma_{cm}}{p_0} = \frac{\sigma_{cm}}{\gamma H}$$

dove:

$\sigma_{cm}$  = resistenza a compressione dell'ammasso

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

$p_0$  = stato tensionale in situ;

$\gamma$  = peso dell'unità di volume dell'ammasso;

$H$  = copertura della galleria.

In funzione del valore assunto dal fattore di competenza  $N_c$ , sono individuate le seguenti classi di comportamento spingente:

Tabella 61 Classificazione del comportamento spingente in accordo con Jethwa et al. (1984)

$N_c = \frac{\sigma_{cm}}{p_0}$	Livello di squeezing
< 0,4	fortemente spingente

0,4 - 0,8	moderatamente spingente
0,8 - 2	leggermente spingente
> 2	non spingente

In Tabella 62 è riportata la valutazione del livello di *squeezing* atteso per le formazioni CRQ, DBS e le zone di faglia al variare delle coperture.

L'analisi dimostra che il rischio di un comportamento spingente dell'ammasso allo scavo è moderato nelle zone di faglia ad elevate coperture (oltre i 300 m).

$\sigma_{ci}$ [MPa]	GSI	mi	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	copertura [m]	c' [Mpa]	$\phi'$ [°]	$E_{rm}$ (Ammasso roccioso) [Gpa]	$\sigma_{cm}$ [MPa]	$N_c = \sigma_{cm}/\gamma H$	Livello di squeezing
------------------------	-----	----	----------------------------------	------------------	-------------	----------------	---	------------------------	------------------------------	----------------------

CRQ	100	45	10	26	200	1,145	47	20,12	15,62	3,0	non spingente
	100	45	10	26	270	1,324	45	20,128	15,6	2,2	non spingente

DBS	85	45	9	27	280	1,27	42	8,08	12,6	1,7	leggermente spingente
	85	45	9	27	400	1,54	40	8,08	12,6	1,2	leggermente spingente
	85	45	9	27	515	1,78	38	8,08	12,6	0,9	leggermente spingente

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

zone di faglia	85	20	10	27	160	0,471	38	1,65	6,5	1,5	leggermente spingente
	85	20	10	27	250	0,626	34	1,65	6,5	1,0	leggermente spingente
	85	20	10	27	300	0,703	33	1,65	6,5	0,8	moderatamente spingente
	85	20	10	27	400	0,845	31	1,65	6,5	0,6	moderatamente spingente
	85	20	10	27	515	0,993	29	1,65	6,5	0,5	moderatamente spingente

**Tabella 62 Classificazione del livello di squeezing in CRQ, in DBS e nelle zone di faglia**

### 9.3 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo

Il tracciato della galleria in progetto è stato suddiviso in tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo del nucleo-fronte di scavo sulla base dei risultati delle analisi sopra descritte, del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuate, tenendo conto delle condizioni geotecniche e di copertura, delle dimensioni degli scavi, delle condizioni idrauliche al contorno, delle variabilità attese lungo il tracciato e delle possibili conseguenze per comportamenti imprevisti.

È possibile concludere quanto segue:

- per le gallerie Caterina, Sicignano, l'interconnessione Romagnano 2 e la galleria Auletta nelle unità geotecniche ALV, AUL ed SIE ad alte coperture si prevede un comportamento del nucleo-fronte di scavo di tipo stabile a breve termine/instabile (comportamento "B"/"C"). Dal punto di vista geotecnico le formazioni attraversate sono molto eterogenee e possono rendere lo scavo di opere in sotterraneo in questi contesti difficile.
- Per la galleria Auletta nelle unità geotecniche carbonatiche CRQ e DBS con basso grado di fratturazione (condizioni non tettonizzate) il comportamento dell'ammasso si prevede per lo più stabile (comportamento "A") o stabile a breve termine (comportamento "B"). Per l'unità CRQ tra le pk 15+080 e 17+730, in cui ad un carico idraulico elevato è associata una permeabilità media con rischio di venute d'acqua, è previsto comportamento di tipo "C".
- Per le gallerie Caterina, Sicignano, l'interconnessione Romagnano 2 e la galleria Auletta in corrispondenza delle zone di faglia, nelle formazioni ALV, AUL e SIE a basse coperture e nei depositi fluvio-lacustri ed alluvionali BUOb e PAD è previsto un comportamento deformativo allo scavo instabile (comportamento "C").

La previsione di comportamento lungo il tracciato è illustrata in forma sintetica nell'elaborato di progetto "Profilo geotecnico" (da Rif. [34] a Rif. [38]).

#### 9.4 Rischi potenziali connessi allo scavo della galleria

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

Nelle seguenti tabelle (Tabella 63, Tabella 64, Tabella 65 e Tabella 66) tali rischi sono riepilogati per tutte le formazioni interessate dallo scavo delle gallerie. Quanto riportato nelle tabelle deve intendersi valido anche per le altre opere in sotterraneo nei medesimi contesti geotecnici.

**Tabella 63 Rischi potenziali connessi allo scavo della galleria Caterina**

Tratta (km)		Lunghezza	Coperture	Formazione	Rischi potenziali
da pk	a pk	(m)	(m)		
1+739	1+914	153	25-40	RGC	Instabilità fronte scavo
1+914	2+715	801	15-80	BTL-PLM	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d' acqua

**Tabella 64 Rischi potenziali connessi allo scavo della galleria Sicignano**

Tratta (km)		Lunghezza	Coperture	Formazione	Rischi potenziali
da pk	a pk	(m)	(m)		
3+752	4+960	1208	8-90	ALV	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d' acqua Rischio alto di clogging Rischio medio-basso rigonfiamento
4+960	5+022	62	8-75	BTL-PLM	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d' acqua Rischio alto di clogging Rischio di abrasività medio-bassa Interferenza con opere in superficie con (E847)

**Tabella 65 Rischi potenziali connessi allo scavo dell'interconnessione Romagnano 2**

Tratta (km)		Lunghezza	Coperture	Formazione	Rischi potenziali
da pk	a pk	(m)	(m)		
0+234	1+772	1538	6-80	ALV	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d' acqua Rischio alto di clogging Rischio medio-basso rigonfiamento
1+772	2+100	328	15-30	CRQ	Instabilità fronte scavo per fratturazione Rischio medio-basso di venute d'acqua Carsismo
2+100	2+753	627	15-7	ALV	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d' acqua Rischio alto di clogging Subsidenza basse coperture

**Tabella 66 Rischi potenziali connessi allo scavo della galleria Auletta (b.p.)**

Tratta (km)		Lunghezza	Coperture	Formazione	Rischi potenziali
da pk	a pk	(m)	(m)		
6+221	7+315	1094	8-105	AUL	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d' acqua Rischio medio di clogging
7+315	8+390	1075	105 -140	ALV	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d' acqua Rischio alto di clogging Rischio medio-basso rigonfiamento
8+309	8+490	181	130	faglia	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua

Tratta (km)		Lunghezza	Coperture	Formazione	Rischi potenziali
8+490	8+657	167	140-196	CRQ	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d'acqua Carsismo
8+657	8+707	50	163	faglia	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua
8+707	9+581	874	160-140	CRQ	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d'acqua Carsismo
9+581	9+631	50	158	faglia	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua
9+631	9+824	193	140-196	CRQ	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua Carsismo
9+824	10+750	926	110-140	SIE	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d'acqua
10+750	12+755	2005	135-70	AUL	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d'acqua
12+755	16+940	4185	130-260	SIE	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d'acqua
16+940	17+735	795	177-280	CRQ	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua Carsismo
17+735	17+785	50	260	faglia	Instabilità fronte scavo Rischio elevato di venute d'acqua Ammasso da leggermente a moderatamente spingente (Squeezing da basso a moderato)

Tratta (km)		Lunghezza	Coperture	Formazione	Rischi potenziali
17+785	18+725	940	375-260	DBS	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua Ammasso da leggermente a moderatamente spingente (Squeezing da basso a moderato)
18+725	18+775	50	375	faglia	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua Ammasso moderatamente spingente (squeezing moderato)
18+775	19+760	985	375-515	DBS	Instabilità fronte scavo Rischio medio-basso di venute d'acqua Ammasso moderatamente spingente (squeezing moderato)
19+760	19+810	60	365	faglia	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua Ammasso moderatamente spingente (squeezing moderato)
19+810	20+336	526	160-375	DBS	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d'acqua Ammasso da moderatamente a leggermente spingente (Squeezing da moderato a basso)
20+336	20+386	50	195	faglia	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua
20+386	20+788	402	105-160	DBS	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua
20+788	20+948	160	30-105	BUOb	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua
20+948	20+998	50	82	faglia	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua

Tratta (km)		Lunghezza	Coperture	Formazione	Rischi potenziali
20+998	21+473	475	30-105	BUOb	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua
21+473	21+540	67	20-30	PADb	Instabilità fronte scavo Rischio medio di venute d'acqua Subsidenza basse coperture
21+540	21+870	330	7-20	PADe2	Instabilità fronte scavo Rischio basso di venute d'acqua Rischio elevato di clogging

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

## 10 FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo (fase di diagnosi). Sono, quindi, descritte le caratteristiche principali delle sezioni di avanzamento, il loro campo di applicazione e la successione delle fasi esecutive.

### 10.1 Definizione del metodo di scavo

La scelta del metodo di scavo più appropriato per realizzare le opere in sotterraneo in progetto è derivata dall'analisi del tracciato plano-altimetrico, dell'inquadramento geologico-idrogeologico, della previsione della risposta deformativa allo scavo (determinazione della categoria di comportamento) e dalla configurazione delle gallerie.

In particolare, sono stati considerati i seguenti aspetti:

- superamento di zone potenzialmente critiche dal punto di vista geologico, geomorfologico ed idrogeologico (fasce tettonizzate, elevati carichi idraulici e/o venute di acqua, materiali di caratteristiche meccaniche scadenti, attraversamento di zone a bassa copertura);
- contenimento del fronte di scavo per evitare possibili instabilità del fronte stesso legate alle condizioni geotecniche delle unità attraversate;
- lunghezza e numero delle gallerie e necessità di ridurre al minimo i tempi di realizzazione delle opere, velocizzando le operazioni di scavo e posa del rivestimento.

Questi aspetti hanno portato alla scelta di adottare il sistema meccanizzato come metodo di scavo predominante per le gallerie naturali.

È invece adottato il metodo di scavo tradizionale per le seguenti opere:

- la galleria naturale GN01 Caterina (di lunghezza pari a 976 m),
- il camerone di diramazione situato lungo il binario dispari,
- le uscite/accessi di emergenza pedonali (finestre e bypass),
- le nicchie tecnologiche.

La scelta del metodo di scavo tradizionale per la galleria Caterina e per le gallerie di sicurezza è dipesa dalla loro limitata lunghezza che le esclude dal percorso critico del programma realizzativo, e nel contempo le rende più convenienti dal punto di vista economico. Per le restanti opere (by-pass e camerone) è evidente la non praticabilità dello scavo meccanizzato.

Nei paragrafi seguenti sono affrontate nel dettaglio le modalità realizzative previste.

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

## 10.2 Metodo di scavo meccanizzato

Dato il consistente ricorso a questa tecnologia per lo scavo delle gallerie di linea (circa il 97%) si è ritenuto opportuno analizzare le diverse tipologie di Tunnel Boring Machine (TBM) a pressione del fronte, individuando quella ritenuta più valida in base alle risultanze della fase conoscitiva e della fase di diagnosi di questo livello di progettazione.

### *Scelta della macchina*

Come emerso dalla fase conoscitiva e dalla fase di diagnosi, le gallerie naturali attraversano sia formazioni rocciose e terreni consistenti con una previsione di comportamento prevalente stabile/stabile a breve termine (tipo A/B) sia terreni, ammassi rocciosi intensamente fratturati e zone in faglia con una previsione di comportamento allo scavo instabile (tipo C).

In particolare, la galleria Sicignano e l'interconnessione Romagnano 2 attraverseranno in prevalenza terreni e/o rocce tenere sotto falda, ad eccezione di un breve tratto di circa 200 m nei calcari CRQ. In questo contesto è necessario che lo scavo sia eseguito da una macchina capace di stabilizzare il fronte di scavo applicando l'opportuna pressione attiva al fronte di scavo con la tecnologia più idonea al contesto geotecnico. Inoltre, è necessario che la TBM abbia la possibilità di passare da modalità di scavo cosiddetta "chiusa" a "aperta" (e viceversa) in maniera relativamente facile e tempestiva, soprattutto per affrontare lo scavo nei tratti lapidei dove potrebbe risultare difficoltoso e controproducente se affrontato sempre e solo in modalità "chiusa".

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

Le tipologie di macchine individuate sono la TBM EPB per le gallerie Sicignano e Romagnano 2 e la TBM di tipo Dual Mode per la galleria Auletta. La TBM di tipo Dual Mode selezionata, anche detta "convertibile", può passare da una configurazione idonea a esercitare, quando necessario, una pressione di supporto del fronte con tecnologia di tipo EPB, ad una configurazione di scavo in roccia con nastro trasportatore ed idonee pale di carico del marino, prevedendo un'adeguata configurazione della testa di scavo e degli utensili di scavo (Figura 122 e Figura 123). Tale scelta è dettata dalla opportunità di rendere più efficace l'avanzamento nelle tratte in cui sono presenti ammassi rocciosi con buone caratteristiche meccaniche.



**Figura 122 TBM “convertibile” in configurazione EPB**



**Figura 123 TBM “convertibile” in configurazione da roccia**

Le TBM dovranno essere progettate per lo specifico contesto attraversato: la complessità delle condizioni geologiche e geotecniche rende necessaria una accurata valutazione dei rischi che possono presentarsi in fase di scavo e la predisposizione di adeguate contromisure, che possono coinvolgere la configurazione della macchina, prevedere l’impiego di tecnologie specifiche e l’implementazione di sistemi di controllo e monitoraggio, anche con l’utilizzo di una piattaforma integrata di monitoraggio, elaborazione e trasmissione dati con segnalazione del superamento soglie dei parametri significativi in tempo reale.

Inoltre, l’impossibilità di realizzare indagini geognostiche nelle tratte ad alte coperture rende necessaria l’adozione di sistemi di indagini in avanzamento di tipo diretto ed indiretto, mirate soprattutto a individuare in anticipo l’attraversamento delle zone di faglia e le condizioni idrauliche. A tale scopo le TBM dovranno prevedere un potenziamento dei sistemi di perforazione, per sondaggi e trattamenti in avanzamento, ad es. con: installazione di più perforatrici all’interno dello scudo per l’esecuzione di fori in avanzamento attraverso il mantello stesso predisposto allo scopo con aperture, aumento delle posizioni di perforazioni su tutta la circonferenza, con possibilità di registrare i parametri di perforazione. Le perforazioni saranno eseguite sia allo scopo di sondaggi a distruzione di nucleo o a carotaggio continuo, sia allo scopo di installare tubi di drenaggio e/o iniettare miscele consolidanti e impermeabilizzanti. Per le indagini di tipo indiretto, le TBM dovranno essere attrezzate di sistemi geofisici (di natura geoelettrica e/o sismica, a seconda dei casi) per il monitoraggio

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</b>	<b>COMMESSA</b> RC2A	<b>LOTTO</b> B1	<b>CODIFICA</b> R07RH	<b>DOCUMENTO</b> GN0000001	<b>REV.</b> C

sistematico in avanzamento. Gli esiti di tali rilievi dovranno essere restituiti in automatico nella piattaforma integrata del monitoraggio, elaborati ed interpretati in maniera sistematica dal Progettista.

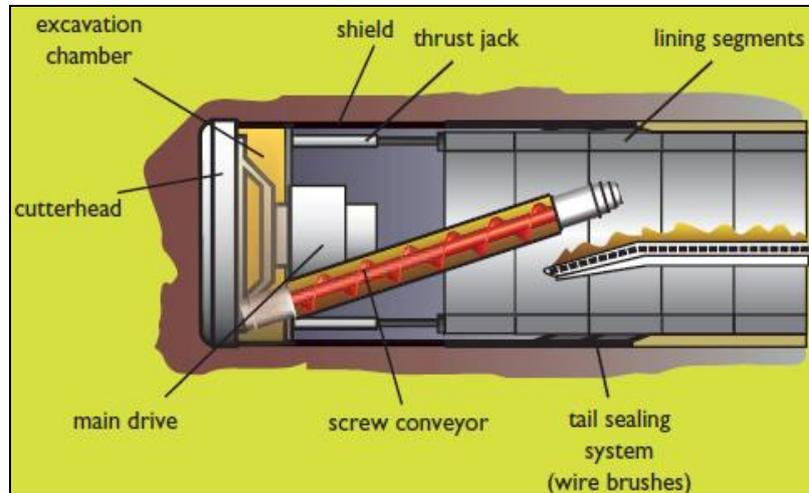
Infine, una particolare attenzione dovrà essere posta nella fase realizzativa per garantire continuità di avanzamento con velocità il più possibile elevata. Tale obiettivo sarà raggiunto, ad esempio, con: utilizzo di tipologie di cutters che riducano i fermi ed i tempi di manutenzione, apprestamenti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

Le modalità di avanzamento dello scavo meccanizzato lungo il tracciato della galleria (modalità chiusa o aperta per le EPB, configurazione da roccia o EPB per la Dual-Mode) saranno sviluppate nella successiva fase progettuale.

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

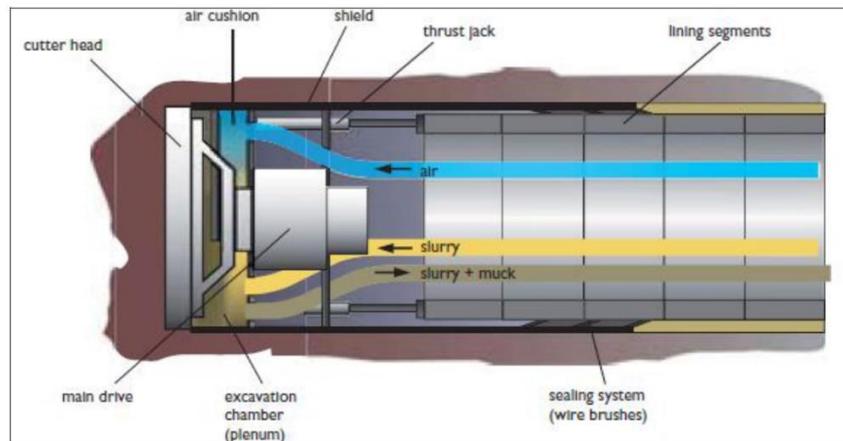
La comparazione effettuata ha evidenziato che la TBM di tipo EPB è la più idonea al contesto geotecnico in cui le gallerie saranno realizzate nei tratti in cui si prevede comportamento del nucleo-fronte di scavo instabile o stabile a breve termine, in cui si hanno in prevalenza terreni coesivi e rocce tenere sotto falda, caratterizzati da permeabilità medio-basse. Di seguito si riportano una breve descrizione delle due tipologie di macchina e considerazioni sui loro campi di applicazione rispettivi, sulla base delle quali è stata selezionata la macchina.

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



**Figura 124** Schema di funzionamento di una TBM di tipo EPB

Nelle TBM tipo Slurry (Figura 125) il supporto del fronte è offerto da un fango usualmente bentonitico (slurry); nel caso di una TBM tipo Hydroshield, il plenum è suddiviso in due compartimenti: la parte superiore contiene una bolla d'aria compressa che applica una pressione sul fango bentonitico che occupa la sezione inferiore, verso la camera di scavo; la bolla d'aria è controllata attraverso un sistema automatico di regolazione che rende possibile controllare in maniera precisa la pressione del fango.



**Figura 125** Schema di funzionamento di una TBM di tipo Hydroshield

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

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

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	168 di 214

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

In genere, le macchine di tipo EPB sono adatte per realizzare gallerie in materiali di bassa permeabilità e con un contenuto di particelle fini (diametro < 0.075 mm) minimo pari al 15-20%, con pressioni di supporto del fronte generalmente inferiori a 5 bar. Comunque, mediante un opportuno condizionamento, fronti di galleria con terreni con minore percentuale di fino possono essere ugualmente affrontati (Figura 136).

Le macchine EPB richiedono acqua e/o agenti condizionanti per dotare il materiale scavato di una consistenza adeguata al fine di poter trasmettere in maniera efficace la pressione necessaria al fronte di scavo. In una situazione in cui la pressione necessaria al fronte è alta - molto alta (oltre i 5 bar), diventa più difficile mantenere il controllo della pressione, specialmente la distribuzione di questa lungo il fronte di scavo (tramite un valore di densità apparente costante del materiale nella camera di scavo); inoltre, la dissipazione di una pressione elevata attraverso la coclea potrebbe essere complicata, richiedendo una coclea molto lunga o una doppia coclea con pompa a pistoni.

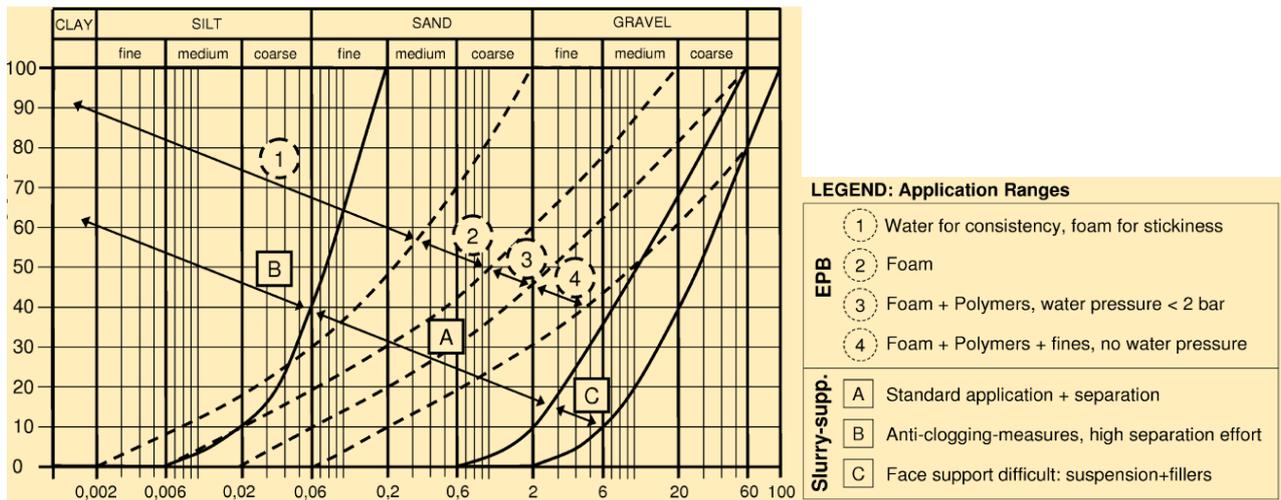
Le macchine Slurry/Hydroshield sono normalmente utilizzate in materiali granulari e privi di coesione (sabbie e ghiaie) attraverso i quali il fango bentonitico può circolare facilmente e formare il cake al fronte, necessario per mantenere la pressione di supporto necessaria. Il campo ideale di lavoro è costituito da formazioni geologiche sostanzialmente carenti di frazioni argillose. La loro presenza, infatti, costituisce un notevole svantaggio per la difficoltà della loro separazione dal fango bentonitico, che in questo caso richiede soluzioni impiantistiche complicate e maggiori tempi per il trattamento. D'altro canto, mediante la pressione esercitata al fronte dal fango bentonitico, queste macchine sono in grado di affrontare pressioni idrostatiche anche alte-molto alte (> 5 bar).

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

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

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

Per entrambe le tipologie di macchina, la presenza di materiale coesivo adesivo (sticky clay) può causare anche problemi di intasamento (clogging) della testa fresante e nel sistema di trasporto del materiale scavato a meno che non si utilizzino appropriati agenti condizionanti per ridurre il potenziale di clogging..



**Figura 126 Campi di applicazione di EPB e Slurry e condizionamento**

Dal momento che il modello geologico e geotecnico di riferimento della galleria Auletta, definito sulla base dei dati ad oggi disponibili, indica la presenza di un lungo tratto da scavare in formazioni rocciose, è stato previsto l'utilizzo di TBM di tipo Dual-Mode.

### ***Campi di applicazione in termini granulometrici***

In Figura 134 si riportano i generali campi di applicazione delle due tipologie di macchina in funzione delle curve granulometriche. Come si evince dalle indagini (cfr. fase conoscitiva), la maggior parte delle formazioni incontrate dalle gallerie presentano una percentuale della componente fine che ricade nel campo di applicazione ideale della tecnologia EPB.

La TBM Slurry avanzerebbe con difficoltà nelle tratte in argilla, molto frequenti per tutte le gallerie, per problemi di clogging che richiederebbero l'uso intenso di additivi e di un maggior onere per gli impianti di separazione dei fanghi in termini di ingombri e di complessità dei trattamenti dei terreni.

Pertanto, in termini granulometrici, il caso in esame ricade nel normale campo di applicazione di una TBM di tipo EPB.

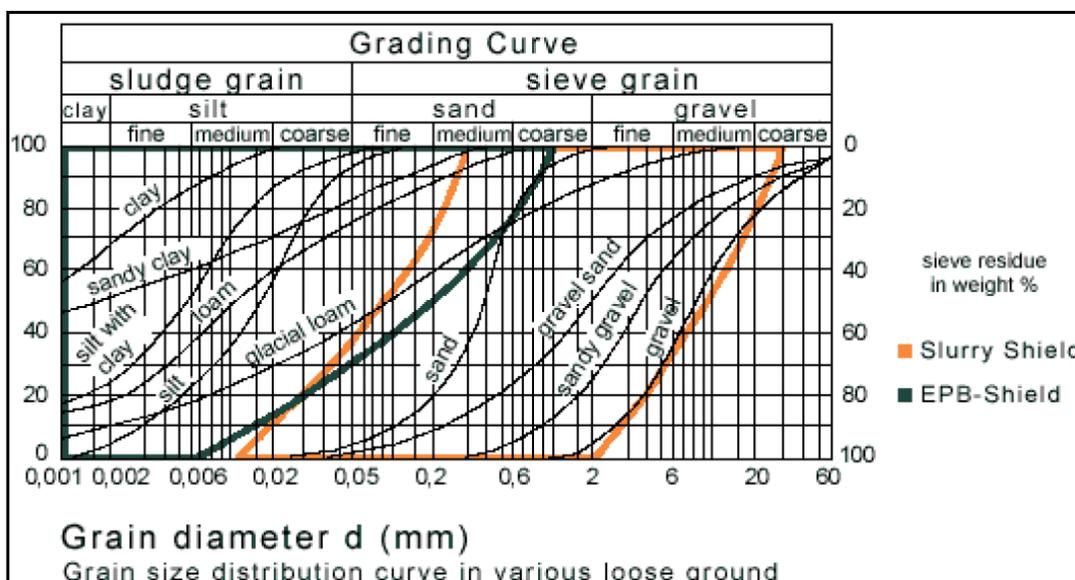


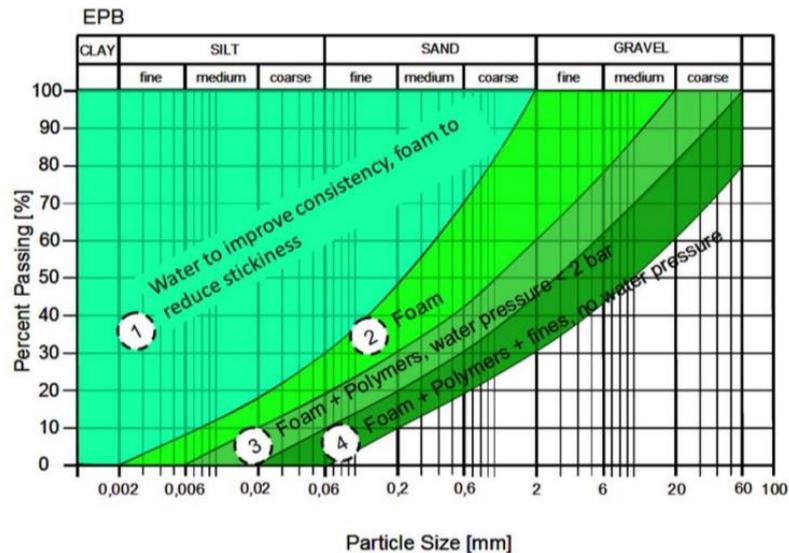
Figura 127 Campo di applicabilità TBM Slurry vs EPB, in termini di granulometria

### Cenni sul condizionamento per lo scavo con EPBs

L'avanzamento con TBM in modalità EPB avviene con la camera di scavo costantemente e completamente piena del materiale estratto.

Il “condizionamento” dei terreni in camera di scavo riveste un ruolo di primaria importanza. L'utilizzo di additivi è uno dei fattori fondamentali che consente il buon funzionamento della macchina TBM-EPB, per contro il loro impiego deve essere valutato attentamente in termini ambientali affinché il riutilizzo successivo delle terre scavate condizionate sia possibile senza creare impatti negativi sull'ambiente e sulla salute dell'uomo. Il condizionamento deve quindi soddisfare entrambi i requisiti: deve essere ampiamente sufficiente a consentire il processo di scavo ma non tale da creare difficoltà nel riutilizzo delle terre nel rispetto dell'ambiente e dell'uomo.

In letteratura esistono indicazioni generali circa il range granulometrico di applicabilità di uno scavo con tecnologia EPB e la tipologia di condizionamento dipende da numerosi fattori, tra cui principalmente: le caratteristiche granulometriche e litologiche del terreno da scavare, le relative caratteristiche di permeabilità, i valori di pressione idrostatica, nonché, in generale i valori di pressione di supporto del fronte. Si riporta in Figura 128 un esempio tratto dalle raccomandazioni dell'associazione tedesca delle gallerie “DAUB” (Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V.), German Tunnelling Committee, facente parte dell'International Tunnelling and Underground Space Association (ITA-AITES): “Recommendations for Face Support Pressure Calculations for Shield Tunnelling in Soft Ground” (2016).



**Figura 128. Campo di applicazione di una TBM di tipo EPB ed indicazioni generali circa il condizionamento (Thewes 2007)**

Con l'obiettivo di una corretta gestione dei rischi geologici, idrogeologici e geotecnici di progetto, in fase esecutiva dovrà essere condotto uno studio di condizionamento con prove di laboratorio, su campioni prelevati in situ, per determinare la tipologia di additivi e le relative quantità, comunque in coerenza con gli obiettivi ed i contenuti del Piano di Utilizzo delle Terre.

Nel caso in esame, si riporta a seguire la tabella riassuntiva delle unità geotecniche interessate dallo scavo e quelle riassuntive delle informazioni disponibili riguardo alla composizione granulometrica media ed all'incidenza di ciascuna formazione sulla lunghezza complessiva delle gallerie.

Sulla base della letteratura scientifica sul tema (Thewes 2007), è stata effettuata una valutazione preliminare circa l'applicabilità dello scavo di questi terreni con TBM di tipo EPB e circa le generali modalità di condizionamento. La tabella a seguire indica le lunghezze delle unità geotecniche attraversate dalle gallerie da scavare in meccanizzato.

<b>Lotto 1b</b>		
<b>Galleria</b>	<b>Formazione</b>	<b>Lunghezza</b>
		<b>m</b>
<b>GN02</b>	ALV	1202
<b>GN03</b>	ALV	1846
	CRQ	120
<b>GN04</b>	AUL	3012
	ALV	1100
	CRQ	2226

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

	SIE	5115
	DBS	3027
	BUOb	678
	PADb	68
	PADe2	230

**Tabella 67 Lunghezze delle unità geotecniche interessate dallo scavo meccanizzato**

Si riportano a seguire i grafici di compatibilità della maggior parte delle formazioni attraversate con TBM di tipo EPB con indicazioni circa la tipologia di condizionamento.

I grafici di Figura 129 mostrano come questi terreni ricadano nel campo di applicabilità di una TBM di tipo EPB con condizionamento ipotizzabile con l'aggiunta di acqua libera per ridurne la consistenza e l'impiego di schiume/polimeri anticlogging (caso 1) o con sola schiuma (caso 2) o con l'impiego di schiume e polimeri addensanti (caso 3) assimilabili ad altri casi già progettati o realizzati.

Al caso 1 sono riconducibili le formazioni ALV, AUL, SIE, PADe2 e per esse è stato approfondito il potenziale rischio clogging. Dall'esame di Figura 141 risulta che tali formazioni presentano un rischio clogging da medio ad elevato.

A cavallo tra il caso 1 e 2 è riconducibile la formazione PADb, a cavallo tra il caso 2 ed il caso 3 è riconducibile la formazione BUOb.

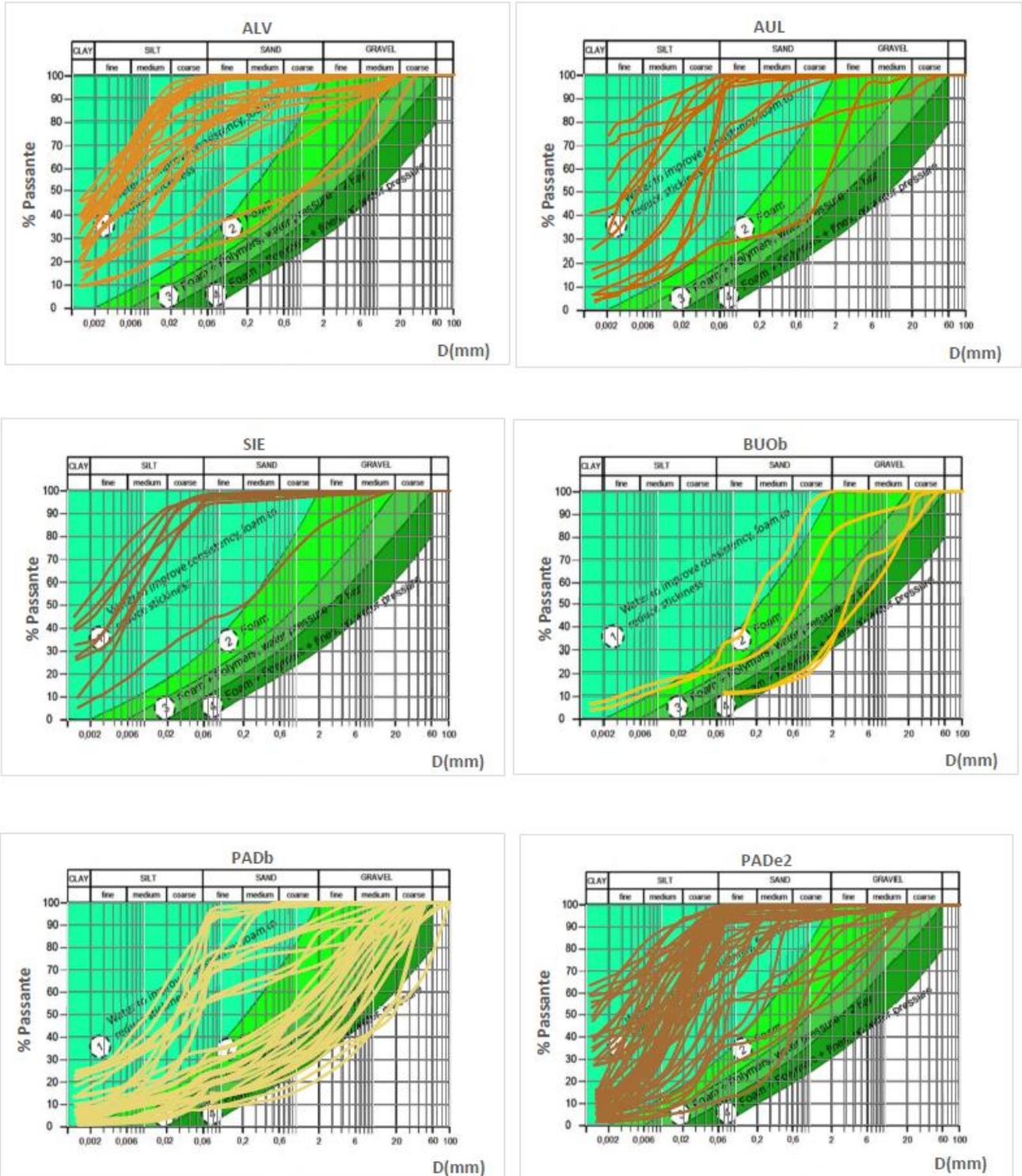


Figura 129 Compatibilità dei terreni attraversati con TBM di tipo EPB ed indicazioni circa il condizionamento, (Thewes, 2007)

### **Chiarimenti all'osservazione N.8 della Commissione Speciale:**

Sono già state eseguite prove di condizionamento e di tipo tossicologico con agenti contenenti polimeri su terreni simili.

Gli studi specifici di condizionamento sviluppati da CNR/Polito hanno coinvolto numerose formazioni, afferenti a:

- i lotti Hirpinia - Orsara e Orsara-Bovino della linea ferroviaria Napoli Bari,
- i lotti 1-2, 3 e 4a-4b della linea ferroviaria Palermo Catania
- la linea Avigliana Orbassano della linea ferroviaria Torino-Lione

Per le caratteristiche granulometriche dei litotipi testati e per la valutazione del rischio clogging, si rimanda all'”Annesso tecnico per la gestione dei materiali provenienti dallo scavo meccanizzato con additivi: indirizzi metodologici e valutazioni programmatiche sugli studi sperimentali e sul protocollo operativo di corso d'opera” allegato al PUT.

Il CNR ha anche condotto uno studio specifico dei terreni attraversati dal Passante ferroviario di Firenze.

Così come i terreni relativi ai lotti 1B ed 1C, anche quelli testati negli studi sopra menzionati, ricadono nel campo di applicabilità di una TBM di tipo EPB con condizionamento ipotizzabile con l'aggiunta di acqua libera per ridurre la consistenza e l'impiego di schiume/polimeri anticlogging (caso 1) o con sola schiuma (caso 2) o con l'impiego di schiume e polimeri addensanti (caso 3).

A mero titolo di esempio, facendo riferimento ai casi di studio riportati nell'Annesso tecnico allegato al PUT ed a quello del Passante Ferroviario di Firenze, si riportano alcuni litotipi condizionati con idonei prodotti e dosaggi, risultati, tra l'altro, compatibili anche dal punto di vista ambientale:

1. il membro pelitico argilloso della formazione di Terravecchia TRV - lotto 4a della linea Palermo Catania - così descritto “*Argille limose e argille marnose di colore grigio, grigio-azzurro e grigio-verdastro, marrone per alterazione, a struttura scagliosa o sottilmente stratificata, talora con laminate e con strati irregolari e lentiformi, con frequenti livelli millimetrici di sabbie e sabbie limose grigie e giallastre; a luoghi si rinvengono passaggi di marne, marne argillose e argilliti di colore grigio e grigio-verdastro, a struttura scagliosa o sottilmente stratificata.*”

Si riporta a seguire il fuso granulometrico caratteristico con una stima circa il rischio di adesione delle particelle di argille utilizzando il criterio proposto da Thewes (2005) ed una tabella tratta dallo studio di condizionamento condotto dal Polito che riporta i prodotti ed i dosaggi ottimali dei terreni per i quali, incrementati del 30%, è stata verificata la compatibilità ambientale da parte del CNR.

Progetto: PA-CA\_Lotto 4a

Formazione: TRV Formazione di Terravecchia membro pelitico argilloso

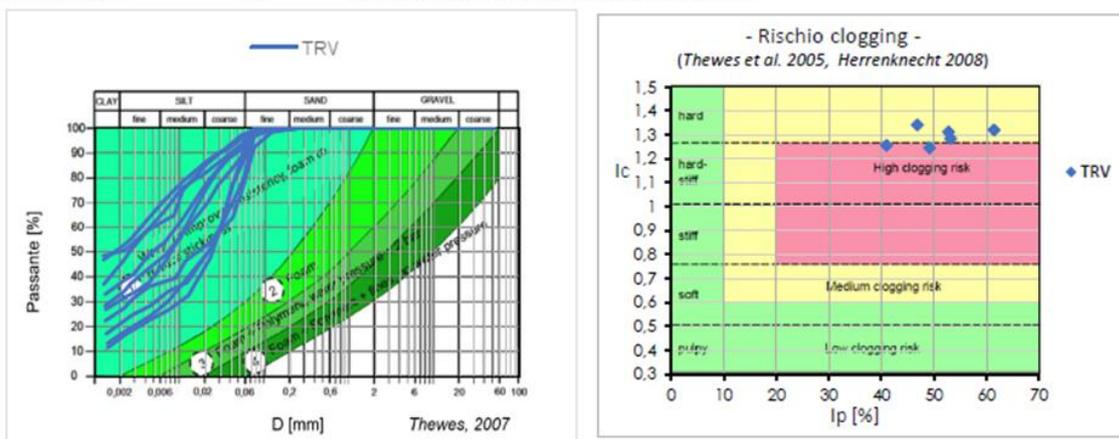


Tabella 3 – Tabella riassuntiva dei condizionamenti scelti dal Committente, a cui va aggiunto l'incremento del 30% del FIR (%), per le prove ecotossicologiche del CNR per la formazione TRV (ex TRV3)

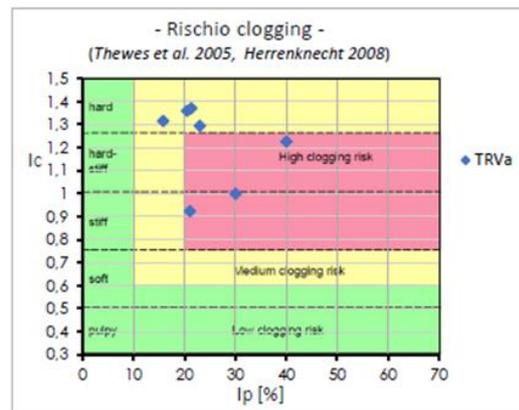
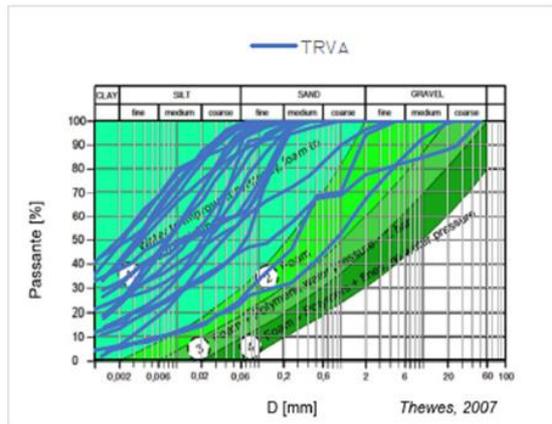
Parametri di condizionamento	Lamberti (Foamex SNG-AC)	Condat (CLB F5/AC)	Mapei (Polyfoamer ECO100/Plus e Stabilfoam 300)	Basf (MasterRoc SLF32)
ID TEST	5	4	3	1
massa campione (g)	6000	6000	6000	6000
w <sub>p</sub> (%)	36	36	36	36
w <sub>tot</sub> (%)	61	58	59	60
FER (-)	6	10	8	8
FIR (%)	80	70	70	70
c <sub>f</sub> (%)	1.20	2.00	1.40	1.30
PIR (%)	-	-	25	-
c <sub>p</sub> (%)	-	-	0.15	-
TR <sub>polimero</sub> (l/m <sup>3</sup> )	-	-	0.38	-
TR <sub>schiuma</sub> (l/m <sup>3</sup> )	1.60	1.40	1.23	1.14

2. il membro sabbioso-conglomeratico della formazione di Terravecchia TRV - lotto 3 della linea ferroviaria Palermo Catania - così descritto “*Arenarie e conglomerati a clasti poligenici ad elementi eterometrici carbonatici, silicei, cristallini, graniti e porfiriti dacitico-andesitiche, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, rosso e giallastro, generalmente abbondante, da poco a ben cementata; a luoghi sono presenti intercalazioni di arenarie giallastre e livelli di sabbie grossolane grigie e rossastre, in strati da sottili a spessi.*”

Si riporta a seguire il fuso granulometrico caratteristico con una stima circa il rischio di adesione delle particelle di argille utilizzando il criterio proposto da Thewes (2005) ed una tabella tratta dallo studio di condizionamento condotto dal Polito che riporta i prodotti ed i dosaggi ottimali dei terreni per i quali, incrementati del 30%, è stata verificata la compatibilità ambientale da parte del CNR.

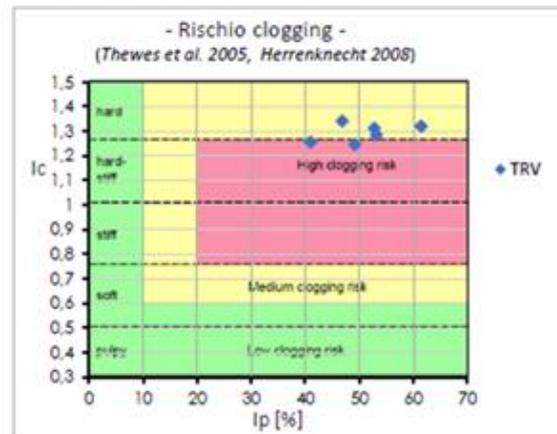
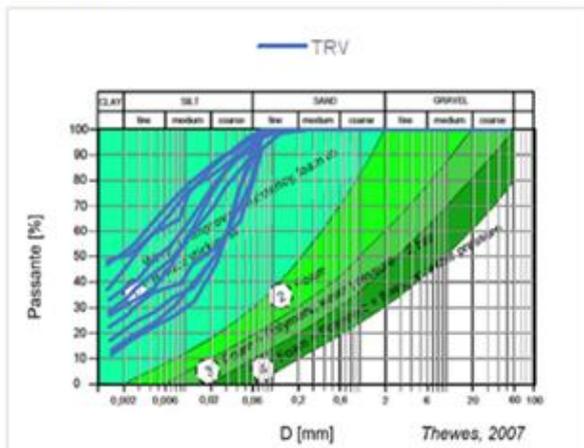
Progetto: PA-CA\_Lotto 3

Formazione: TRVa Formazione di Terravecchia



Progetto: PA-CA\_Lotto 4a

Formazione: TRV Formazione di Terravecchia membro pelitico argilloso



**Tabella 3** – Tabella riassuntiva dei condizionamenti scelti dal Committente, a cui va aggiunto l'incremento del 30% del FIR (%), per le prove ecotossicologiche del CNR per la formazione TRVa

<b>Parametri di condizionamento</b>	<b>Lamberti</b> (Foamex SNG-AC e Lamsperse L/72)	<b>Condat</b> (CLB F5/AC)	<b>Mapei</b> (Polyfoamer ECO100/Plus e Stabilfoam 300)	<b>Basf</b> (MasterRoc SLF32)
<b>ID TEST</b>	5	5	5	2
<b>massa campione (g)</b>	6000	6000	6000	6000
<b>w<sub>p</sub> (%)</b>	31	31	31	31
<b>w<sub>tot</sub> (%)</b>	40	40	37	40
<b>FER (-)</b>	8	8	8	6
<b>FIR (%)</b>	70	40	40	40
<b>c<sub>f</sub> (%)</b>	1.70	2.00	1.50	1.10
<b>PIR (%)</b>	2	-	3	-
<b>c<sub>p</sub> (%)</b>	2.50	-	0.75	-
<b>TR<sub>polimero</sub> (l/m<sup>3</sup>)</b>	0.46	-	0.27	-
<b>TR<sub>schiuma</sub> (l/m<sup>3</sup>)</b>	1.49	1.00	0.75	0.73

3. il membro sabbioso-conglomeratico della formazione di Terravecchia TRV - lotto 4a della linea ferroviaria Palermo Catania - così descritto “Arenarie e conglomerati a clasti poligenici ad elementi eterometrici carbonatici, silicei, cristallini, graniti e porfiriti dacitico-andesitiche, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, rosso e giallastro, generalmente abbondante, da poco a ben cementata; a luoghi sono presenti intercalazioni di arenarie giallastre e livelli di sabbie grossolane grigie e rossastre, in strati da sottili a spessi.”

Si riporta a seguire il fuso granulometrico caratteristico con una stima circa il rischio di adesione delle particelle di argille utilizzando il criterio proposto da Thewes (2005) ed una tabella tratta dallo studio di condizionamento condotto dal Polito che riporta i prodotti ed i dosaggi ottimali dei terreni per i quali, incrementati del 30%, è stata verificata la compatibilità ambientale da parte del CNR.

Progetto: PA-CA\_Lotto 3

Formazione: TRVa Formazione di Terravecchia

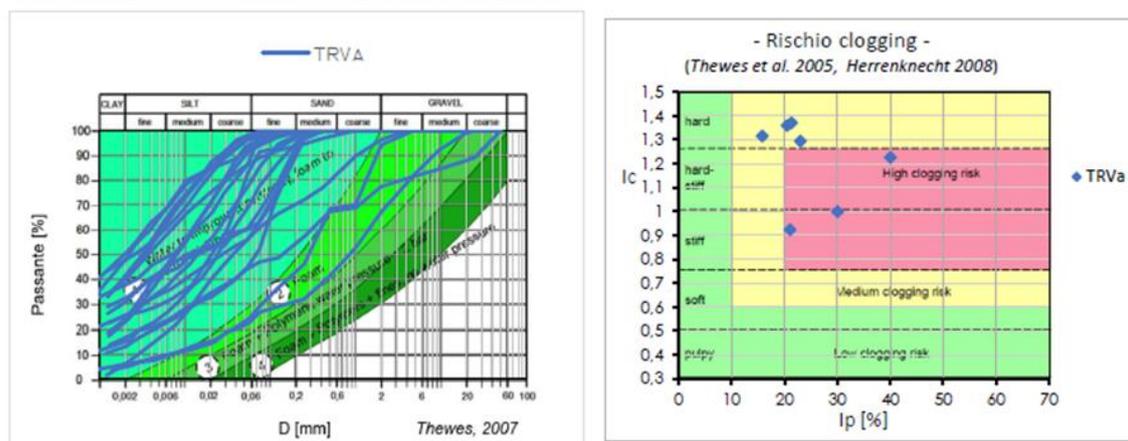


Tabella 3 – Tabella riassuntiva dei condizionamenti scelti dal Committente, a cui va aggiunto l’incremento del 30% del FIR (%), per le prove ecotossicologiche del CNR per la formazione TRVa

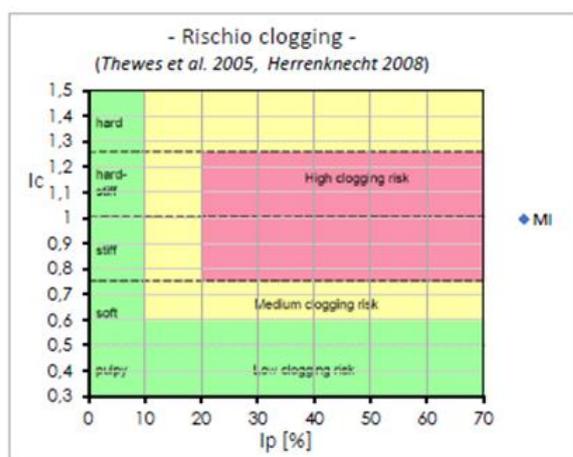
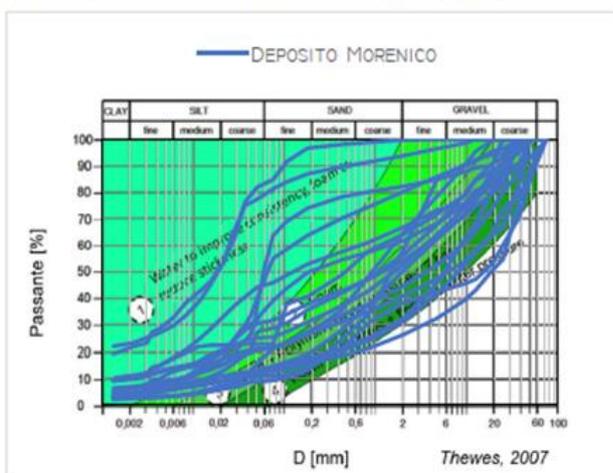
Parametri di condizionamento	Lamberti (Foamex SNG-AC e Lamsperser L/72)	Condat (CLB F5/AC)	Mapei (Polyfoamer ECO100/Plus e Stabilfoam 300)	Basf (MasterRoc SLF32)
ID TEST	5	5	5	2
massa campione (g)	6000	6000	6000	6000
w <sub>p</sub> (%)	31	31	31	31
w <sub>tot</sub> (%)	40	40	37	40
FER (-)	8	8	8	6
FIR (%)	70	40	40	40
c <sub>f</sub> (%)	1.70	2.00	1.50	1.10
PIR (%)	2	-	3	-
c <sub>p</sub> (%)	2.50	-	0.75	-
TR <sub>polimero</sub> (l/m <sup>3</sup> )	0.46	-	0.27	-
TR <sub>schiuma</sub> (l/m <sup>3</sup> )	1.49	1.00	0.75	0.73

#### 4. depositi morenici – Tratta Avigliana – Orbassano della linea ferroviaria Torino-Lione.

Si riporta a seguire il fuso granulometrico caratteristico con una stima circa il rischio di adesione delle particelle di argille utilizzando il criterio proposto da Thewes (2005) ed una tabella tratta dallo studio di condizionamento condotto dal Polito che riporta i prodotti ed i dosaggi dei terreni per i quali è stata verificata la compatibilità ambientale da parte del CNR.

Progetto: Linea Torino - Lione, tratta Avigliana Orbassano

Formazione: MI Deposito Morenico



I valori ricadono al di fuori dell'area del grafico e non risultano visualizzati



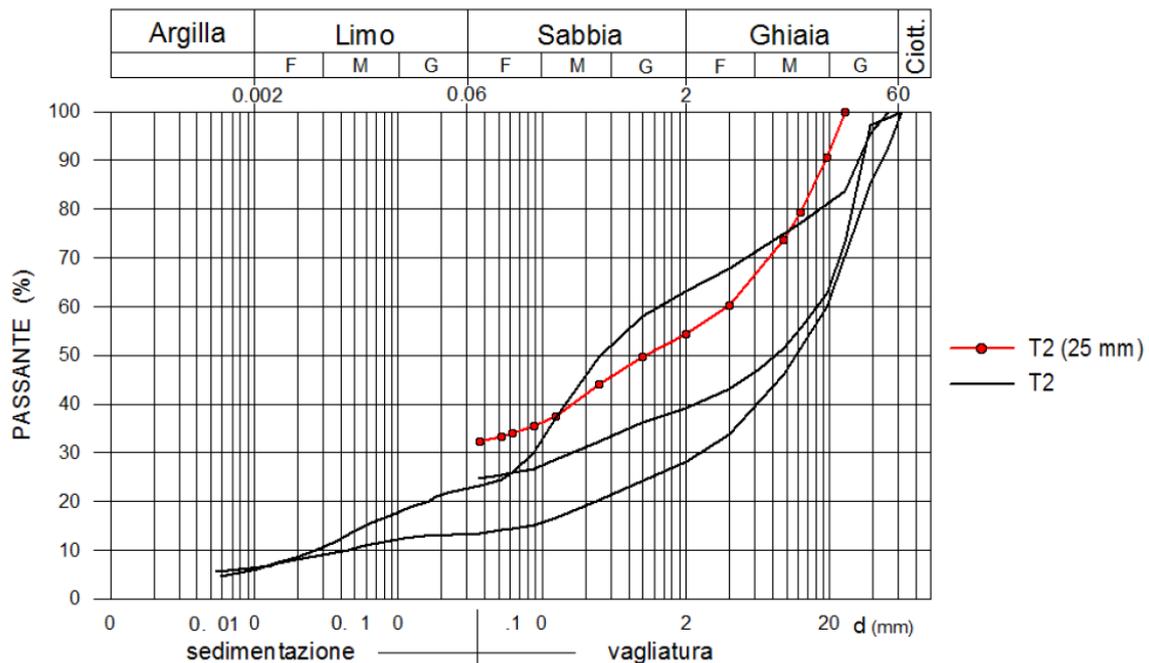
**POLITECNICO  
DI TORINO**

**Tabella 2** - Condizionamenti da seguire per il confezionamento dei microcosmi forniti dalla committenza.

PRODOTTI E DOSAGGI PER IL CONFEZIONAMENTO DEI CAMPIONI DA CONSEGNARE AL CNR - TORINO LIONE - Tratta Avigliana-Orbassano				
LITOTIPO 1 - Morene				
CASE PRODUTTRICI	MAPEI - campione 1 -	MAPEI - campione 2 -	TNL18 - campione 3 -	TNL18 - campione 4 -
	POLYFOAMER ECO 100	POLYFOAMER ECO 100	ACTISOYL 20W	ACTISOYL 20W
w naturale [% in peso]	1	1	1	1
w aggiunta [% in peso]	12	12	12	12
C <sub>f</sub> [%]	2,2	2,2	1,6	1,6
FIR [%]	45	45	60	60
FER [x:1]	16	8	17	8
<b>Treatment Ratio [l/m<sup>3</sup>]</b>	<b>0,6</b>	<b>1,2</b>	<b>0,6</b>	<b>1,2</b>

5. Ghiaie in matrice limoso-sabbioso-argillosa, qualificate come “Terreno 2” del Passante ferroviario di Firenze.

Si riporta a seguire il fuso granulometrico caratteristico:



**Figura 2.3** Curve granulometriche del terreno 2 in condizioni naturali e dopo vagliatura a 25 mm

ed i prodotti ed i dosaggi per i quali è stata verificata la compatibilità ambientale dei terreni condizionati:

**Tabella 2.1** Parametri di condizionamento utilizzati

Produttore	Nome prodotto	Concentrazione	FER	FIR	TR	Terreno
		(%)	(xx:1)	(%)	(l/m <sup>3</sup> )	
MAPEI	Polyfoamer ECO/100	3.0	12	70	1.75	2
	Mapedrill XG01	2.0	-	-	1.17	2

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	181 di 214

### *Numero di macchine previste*

Considerati gli sviluppi delle gallerie e le condizioni geotecniche attraversate, si ritiene opportuno, al fine di ottimizzare costi e tempi di realizzazione, utilizzare 5 macchine (quattro con diametro di scavo  $D=10$  m e una con diametro di scavo  $D=9,90$  m), come dettagliato di seguito:

- La TBM 1 ( $D$  scavo = 9,9 m) scaverà le gallerie GN02 Sicignano e l'Interconnessione pari Romagnano 2. La TBM è di tipo EPB.
- Le TBM 2, TBM 3, TBM 4 e TBM 5 ( $D$ scavo = 10 m), di tipo Dual Mode, scaveranno la galleria Auletta, la quale costituisce la galleria di maggiore lunghezza, con maggiore copertura e carico idraulico più elevato. Due macchine partiranno dall'imbocco lato Salerno e due macchine dall'imbocco lato Reggio Calabria.

Le partenze e gli arrivi delle TBM sono previste per un tratto sotto dima, in cui si monterà anche l'anello di rivestimento. Il montaggio, lo smontaggio/traslazione avverranno nelle trincee di sbancamento d'imbocco. Successivamente allo scavo delle gallerie verranno realizzate le gallerie artificiali di imbocco. A tergo delle paratie frontali di attacco in naturale saranno realizzati, ove si riscontrino condizioni di instabilità del fronte, interventi di consolidamento da piano campagna, per una lunghezza di circa 15 m, propedeutici alle partenze delle macchine.

### *Sezioni di avanzamento*

Per una rappresentazione completa della sezione in scavo meccanizzato e del rivestimento in conci prefabbricati si rimanda agli specifici elaborati grafici di progetto. Si riportano di seguito le principali caratteristiche delle due sezioni tipo di avanzamento:

#### Gallerie Sicignano (GN02) e Interconnessione Romagnano (GN03):

- raggio interno: 4,40 m
- tipologia anello: universale
- numero conci: 6+1
- spessore conci: 0,40 m
- lunghezza conci: 1,50 m

#### Galleria Auletta (GN04):

- raggio interno: 4,40 m
- tipologia anello: universale
- numero conci: 6+1
- spessore conci: 0,45 m

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA <b>RC2A</b>	LOTTO <b>B1</b>	CODIFICA <b>R07RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000001</b>	REV. <b>C</b>

- lunghezza conci: 1,50 m

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

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

Per la connessione dei conci è previsto l'assemblaggio mediante bulloni, connettori longitudinali e barre guida posizionate sulle facce di contatto dello stesso anello montati prima del posizionamento del concio.

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

#### ***Valutazioni delle contropressioni da applicare al fronte***

Al fine di valutare l'entità della contropressione da applicare al fronte in modo da confermare la compatibilità delle condizioni geotecniche lungo il tracciato con la tipologia di macchina TBM-EPB, sono state sviluppate analisi di stabilità del fronte e del cavo, mirate alla valutazione dello sviluppo di meccanismi di collasso o di deformazioni e spostamenti elevati.

È stata considerata l'applicazione di una contropressione al fronte di scavo necessaria al mantenimento del controllo deformativo fino alla posa del rivestimento definitivo in conci. Trattandosi di una verifica per uno stato limite ultimo di tipo GEO, si è utilizzato l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2), con R2 =1.

Per la previsione delle condizioni del fronte sono stati adottati i metodi delle curve caratteristiche, nella condizione di "alte coperture" ( $C/D > 3$ ), valutando l'entità della convergenza al fronte, e il metodo di Broms e Bennermark, nella condizione di "basse coperture", valutando il fattore di stabilità  $N_s$ .

In particolare, si osserva che i valori di convergenza al fronte  $u_F$  risultano inferiori a 30 cm e pertanto sono compatibili con l'avanzamento dello scavo con TBM e con il successivo montaggio del rivestimento finale. Inoltre, per la condizione di "basse coperture" il fattore di stabilità  $N_s$  risulta inferiore a 6, confermando il passaggio ad un comportamento di tipo "stabile a breve termine".

Si riportano di seguito i risultati delle analisi con metodo delle curve caratteristiche:

Sezione di analisi	Formazione	$P_F$	$u_F$	$u_F/R_{eq}$	$R_{PF}$	$R_{PF}/R_{eq}$	$u_\infty$	$R_P$	$R_{eq}$
		[bar]	[m]	[%]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m]
T1	AUL	5	0.248	5.12	20.15	4.15	2.160	98.89	4.85

T2	SIE	4	0.094	1.93	17.31	3.57	0.698	72.95	4.85
T3	DBS	0	0.015	0.32	7.34	1.51	0.04	12.10	4.85
T4	DBSfaglia	0	0.062	1.27	9.37	1.93	0.176	19.96	4.85
T5	CRQfaglia	0	0.098	2.01	6.58	1.36	0.225	9.64	4.85
T6	CRQ	0	0.030	0.62	5.59	1.15	0.064	6.86	4.85

Si precisa che l'analisi più gravosa, ad alte coperture nell'unità geotecnica AUL, è stata condotta stimando un valore cautelativo della resistenza non drenata  $C_U$  pari a 400 kPa.

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di stabilità del fronte condotte con il metodo di Broms e Bennermark:

Sezione di analisi	Formazione	$P_F$	$N_s$	Deformazioni
		[bar]	[-]	[-]
T7	AUL	3	5.37	Plastiche
T8	PADe2	3	5.63	Plastiche

Per quanto riguarda la mitigazione delle venute d'acqua si evidenzia che per quasi la totalità del loro sviluppo le gallerie sono sottofalda, ma la permeabilità dei terreni, in generale bassa e medio bassa, lascia escludere fenomeni di filtrazione con portate significative. Tuttavia, la presenza di orizzonti a grana grossa di potenza metrica per l'unità AUL e di livelli metrici caotici da conglomerati a ghiaie per l'unità di SIE, può rappresentare zone nell'ammasso caratterizzate da permeabilità medio-alte.

Tali condizioni possono provocare venute d'acqua consistenti al fronte di scavo, che nella condizione di basse coperture saranno gestite controbilanciando il carico idraulico con la pressione al fronte, mentre nella condizione di alte coperture il rischio sarà gestito eseguendo indagini in avanzamento di tipo geoelettrico e, qualora necessario, eseguendo drenaggi in avanzamento.

Le indagini in avanzamento e i drenaggi saranno adottati anche nelle formazioni con rischio carsismo per mitigare il rischio di venute d'acqua.

#### **Chiarimento all'osservazione N.3 della Commissione Speciale:**

La pressione dell'acqua a grande profondità non è stata considerata perché non si intende controbilanciarla con la TBM. Si accetta, come prassi, l'instaurazione di condizioni idrodinamiche nell'intorno del fronte sia che si avanzi con fronte chiuso, sia con fronte aperto. Le portate al fronte sono gestibili data la bassa permeabilità degli ammassi.



LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA  
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA  
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA  
LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO  
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	184 di 214

Pertanto, le analisi a grande profondità sono state effettuate nelle condizioni di avanzamento a camera chiusa con una spinta massima corrispondente ad una pressione al fronte non superiore a 5 bar. Ciò premesso si confermano le analisi svolte.

### *Spinte di avanzamento TBM e predimensionamento conci*

Per un predimensionamento del rivestimento definitivo sono state condotte apposite analisi di interazione terreno-struttura nelle condizioni ritenute più critiche lungo il tracciato. In particolare, sono state prese in esame le sezioni della galleria Auletta in corrispondenza delle coperture più elevate all'interno delle formazioni che possono presentare importanti deformazioni in fase di avanzamento generando pressioni significative sull'intero sistema di scavo meccanizzato (testa fresante, scudo e conci), anche con possibile rischio di bloccaggio della macchina. Per quanto riguarda le gallerie Sicignano e di interconnessione Romagnano 2, i calcoli di predimensionamento eseguiti nell'ambito del lotto 1A, hanno condotto all'adozione di uno spessore di 40 cm per i conci.

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

Sulla base dei carichi agenti sullo scudo, valutati tenendo conto del sovrascavo  $\delta$  applicato, è stata determinata la spinta necessaria a garantire l'avanzamento della macchina. Nel dettaglio la spinta complessiva è stata calcolata tenendo conto di quattro singoli termini. (Rif. [27]):

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

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

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

$W_{sup}$  = forza da applicare al fronte

$W_{exc}$  = forza necessaria allo scavo

I quattro contributi sono di seguito esplicitati:

- Forza attrito macchina/terreno:

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	185 di 214

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

dove:

$\mu$  è il coefficiente di attrito metallo/terreno

$R$  è il raggio di scavo

$L$  è la lunghezza dello scudo

$\sigma_{media}$  è la pressione del terreno sul rivestimento

$F_{sh}$  è il peso della macchina

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

- Forza da applicare al fronte:

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

dove:

$P_{fronte}$  è la pressione applicata al fronte

$A_{exc}$  è l'area di scavo.

Il valore della pressione al fronte è stato assunto sulla base dei risultati ottenuti al paragrafo precedente.

- Forza necessaria allo scavo:

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

dove:

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA <b>RC2A</b>	LOTTO <b>B1</b>	CODIFICA <b>R07RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000001</b>	REV. <b>C</b>

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

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

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

dove:

$p_{sh}$  è la forza sul cutting edge, pari a 10 kN/m<sup>2</sup>

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

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

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

La somma delle suddette componenti di forza di spinta conduce ad un valore di spinta complessiva necessaria all'avanzamento della macchina.

Nella Tabella 68 sono riepilogati i risultati delle analisi svolte in termini di spinta massima necessaria per l'avanzamento delle frese e resistenza minima del calcestruzzo dei conchi per il soddisfacimento delle verifiche tensionali per SLU.

I risultati ottenuti mostrano che nelle zone tettonizzate, anche in corrispondenza delle massime coperture, sono sufficienti gli usuali sovrascavi garantiti dalla tipologia di TBM prevista (dell'ordine dei 5 cm) per evitare il bloccaggio della macchina e ad avere tensioni accettabili sullo scudo della TBM.

**Tabella 68 Risultati analisi per valutazione forza di sbloccaggio e tensione sui conchi prefabbricati**

Sezione	Formaz.	Copertura	Sovrascavo $\delta$	Tensione scudo	$\Sigma W$	Verifica bloccaggio Scudo	Tensione massima cls	Resistenza minima cls
(-)	(-)	(m)	(m)	(MPa)	(kN)	(-)	(MPa)	(-)
1	AUL	103	0.03	8.6	145752	ok	18.99	C35/45
2	SIE	145	0.03	6.7	111539	ok	15.04	C35/45
3	CRQfaglia	163	0.03	1.2	30698	ok	7.31	C35/45
4	CRQ	196	0.03	0.7	24628	ok	3.45	C35/45
5	AUL	130	0.03	10.4	165510	Blocco fresa	28.54	C55/67

6	AUL	130	0.08	8.9	148876	ok	26.39	C55/67
7	AUL	100	0.03	8.3	143145	ok	25.37	C45/55
8	SIE	167	0.03	8.3	135879	ok	25.47	C45/55
9	SIE	260	0.03	13.9	202425	Blocco fresa	33.03	C60/75
10	SIE	260	0.08	8.7	147542	ok	26.08	C55/67
11	DBS	512	0.03	2.2	40769	ok	21.82	C45/55
12	DBSfaglia	387	0.03	2.9	47980	ok	24.97	C45/55
13	DBS	266	0.03	1.0	27617	ok	27.78	C55/67

Le analisi sono state condotte considerando per le varie sezioni il valore di carico idraulico indicato nei Profili geologici (Rif. [10]) fin quando compatibile con le classi di resistenza dei conci. Laddove si riscontrano le condizioni di massime coperture e carichi idraulici elevati è stata prevista l'adozione di dispositivi di riduzione delle pressioni a tergo del rivestimento (drenaggio a lungo termine), mentre tra le pk 16+924 e 20+808 (nelle formazioni DBS e CRQ) è stata considerata la galleria impermeabile al fine di mitigare il rischio di interferenza con le sorgenti n 27, 35 e 38 (Rif. [10]) e pertanto nelle analisi è stato assunto il massimo carico idraulico atteso.

Le verifiche del rivestimento definitivo, della galleria Auletta, mostrano che per la realizzazione dei conci prefabbricati è possibile utilizzare calcestruzzi di classe di resistenza C35/45 MPa (minima prescritta da Capitolato RFI) per far fronte alle sollecitazioni indotte dalle analisi rappresentative delle condizioni di coperture medie per le formazioni coesive (AUL, ALV e SIE) e rocciose (CRQ), pk 6+200 a pk 10+750 m. Le sezioni rappresentative delle condizioni di massima copertura per le formazioni coesive (AUL, ALV e SIE) e rocciose (CRQ e DBS), da pk 10+750 a pk 19+000, mostrano la necessità di adottare calcestruzzi aventi resistenza maggiore per resistere alle sollecitazioni indotte (C55/67). Infine, nella condizione di coperture inferiore a 270 nelle dolomie DBS, da pk 19+000 a pk 20+800 m, è possibile soddisfare le verifiche sfruttando una classe di calcestruzzo C45/55. Per le restanti condizioni di bassa copertura si prevede l'adozione di classi di calcestruzzo C35/45, da pk 20+800 a pk 21+900 m.

***Chiarimento all'osservazione N.6 e 7 della Commissione Speciale:***

L'indicazione di "bloccaggio" si riferisce, alla possibilità che esso accada in assenza di provvedimenti specifici.

Si chiarisce che il valore di 150 MN rappresenta un dato adottato come prestazione massima della TBM a cui attingere nell'evenienza di "blocco" dello scudo. È un dato che fa riferimento alle prestazioni medie di TBM attualmente operative o in fase di progettazione di appalti di gallerie ferroviarie a singolo binario.

Tale dato è stato confrontato con i valori di spinta necessari all'avanzamento della macchina derivanti dal calcolo che tiene conto dei seguenti contributi: pressione al fronte, attrito macchina terreno, forza da esercitare per utensili di scavo, forza di attrito delle spazzole.

La formulazione adottata consente una stima speditiva per il calcolo della pressione di sbloccaggio adeguata alla fase di progettazione in oggetto. Si precisa, inoltre, che i contributi dimensionati di tale formula sono rappresentati dalla forza dovuta all'attrito macchina-terreno e dalla forza da applicare al fronte, in camera di scavo.

Nel calcolo della spinta massima è stata considerata la pressione in camera derivante dalle verifiche di stabilità del fronte per gallerie superficiali e quella derivante dalle verifiche di deformabilità per le gallerie profonde. Tale pressione è per lunghi tratti nulla, avendo le gallerie comportamento di tipo stabile.

Il superamento di 150MN di spinta di sbloccaggio si verifica solo in due sezioni di calcolo, come indicato nella Tabella 68. Tali analisi sono state eseguite anche considerando un sovrascavo addizionale di 5 cm (da 3 cm a 8 cm in totale) in corrispondenza del quale mostrano valori di spinta di avanzamento inferiori al dato di prestazione pari a 150 MN.

Recenti esperienze dimostrano che le TBM posso essere prodotte con spinte di sbloccaggio anche superiori a 150MN. Quindi, qualora nell'approfondimento di calcolo delle successive fasi di progetto sia confermato il rischio di intrappolamento, sarà possibile ricorrere per le gallerie che attraversano queste sezioni a TBM con prestazione maggiore di 150 MN. Possono essere adottati, in aggiunta o in combinazione, altri provvedimenti elencati in progetto (sovrascavi maggiori, conicità di scudo, iniezioni di bentonite tra scudo e superficie di scavo) Il rischio è quindi gestibile.

A supporto della fattibilità, in relazione si riportano le caratteristiche delle TBM della galleria Orsara e Hirpinia sulla Napoli-Bari in via di esecuzione che presentano alti valori di spinta di sbloccaggio, di sovrascavi e conicità.

## TBM Galleria Hirpinia:

DATI TECNICI			GALLERIA HIRPINIA		
CATEGORIA	DATO	(UM)	PE NAPOLI	PE BARI 1	PE BARI 2-VAR
TBM Geometrie	<b>DC1 - Diametro di scavo nominale</b>	mm	<b>9820</b>	<b>9920</b>	<b>9920</b>
	Gap (DC1-DS) Radiale	mm	70	120	120
	Gap (DC1-Anello) Radiale	mm	210	260	260
	<b>Dispositivo extra-scavo (rad)</b>	mm			<b>130</b>
	<b>DC2 - Diametro scavo + extra-scavo</b>	mm	<b>9820</b>	<b>9920</b>	<b>10180</b>
	Gap (DC2-DS) Radiale	mm	70	120	250
	Gap (DC2-Anello) Radiale	mm	210	260	390
	<b>Copy-cutter (rad)</b>	mm	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
	<b>DC3 - Diametro scavo + extra-scavo + cc</b>	mm	<b>9940</b>	<b>10040</b>	<b>10300</b>
	Gap (DC3-Scudo) Radiale	mm	130	180	310
	Gap (DC3-Anello) Radiale	mm	270	320	450
	Lunghezza cutterhead	mm			
	Lunghezza scudo	mm	10500	10500	10500
	DS - Diametro scudo (coda)	mm	9680	9680	9680
	Pressione ammasso su scudo (max)	bar	10,00	15,00	15,00
	Pressione da iniettori scudo (bar)	bar		5,00	5,00
Pressione Camera (max)	bar	6,00	6,00	6,00	

- spinta nominale massima di **168.000 kN**;
- extra-spinta eccezionale di **210.000 kN**.

**TBM Galleria Orsara**

Diametro scavo nominale	9.920 mm
Extra-scavo radiale	190 mm (130+60)
Diametro scavo massimo	10.300 mm
Conicità scudo	100 mm (50 + 50)
Lunghezza scudo	11.50 m (5.5+2.5+3.5)
Pressione supportata scudo centrale	15 bar
Pressione supportata scudo coda	10 bar
Dispositivi di lubrificazione scudo	Presenti
Pressione al fronte (camera di scavo)	5 bar
Pressione al contorno scudo	5 bar (bentonite)
Spinta nominale	150-160 MN
Spinta di sblocco (ripartenza)	210 MN
Presenza articolazione	Si
Spinta articolazione intermedia	110 MN
Anello di rivestimento	7+0 (L=1.80 m)
Classe calcestruzzo	C50/60 (Progr. 50+120 e 57+955)

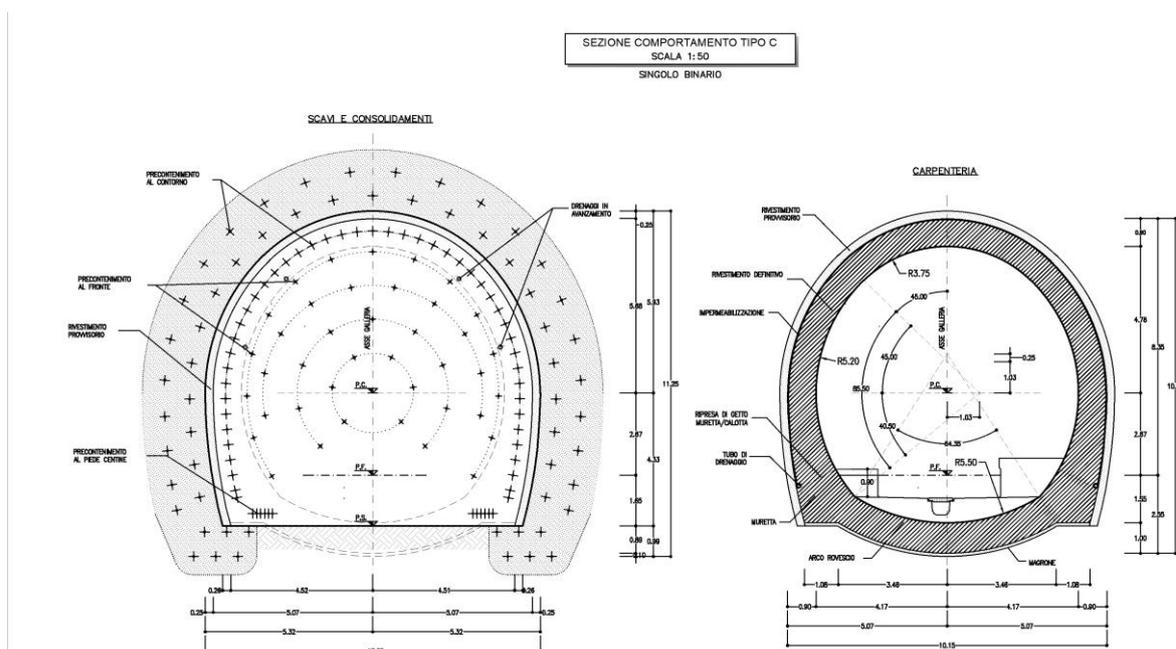
**10.3 Metodo di scavo tradizionale**

L'avanzamento in tradizionale è previsto per la galleria naturale Caterina GN01, il camerone di diramazione situato lungo il binario dispari, le uscite di emergenza pedonali (finestre e by-pass) e le nicchie tecnologiche.

Lo scavo meccanizzato per queste opere, per il loro limitato sviluppo, non dispiega i suoi vantaggi economici e di riduzione dei tempi. La loro costruzione con il sistema tradizionale (eccetto i by-pass) è fuori dal percorso critico del programma di costruzione.

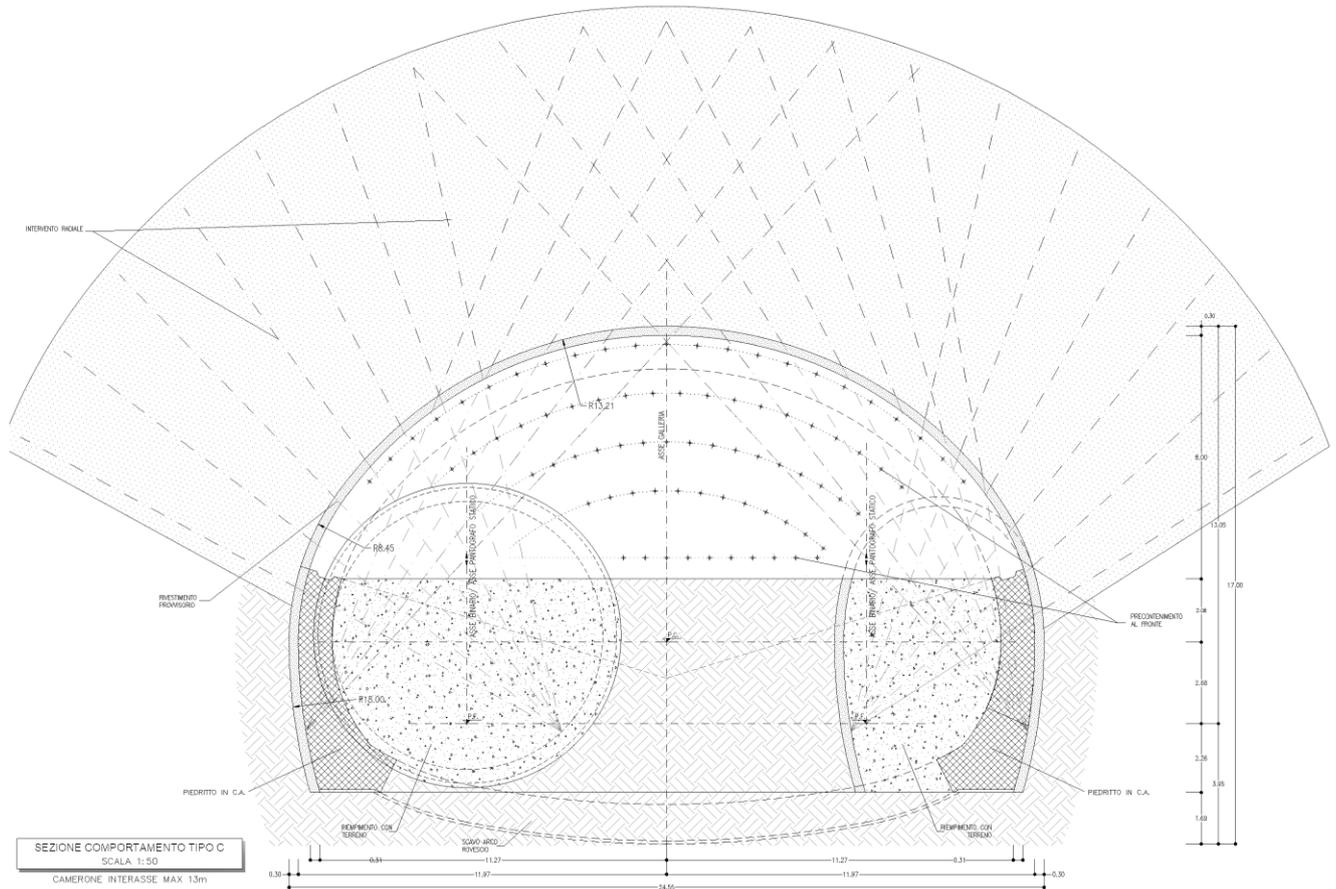
Per la galleria naturale Caterina a singolo binario è prevista l'applicazione di sezioni di avanzamento di tipo B e di tipo C, rispettivamente con consolidamento del fronte e con consolidamento del fronte e del contorno.

Essa, infatti, attraversa terreni granulari e coesivi (RGC e BTL-PLM) per i primi 250 m circa con falda a quota cavo e sotto falda per il restante tratto: per queste unità è previsto comportamento instabile/stabile a breve termine anche per effetto della bassa copertura. I consolidamenti in avanzamento sul fronte e sul contorno saranno costituiti da iniezioni cementizie valvolate da tubi VTR e/o VTR semplicemente cementati.



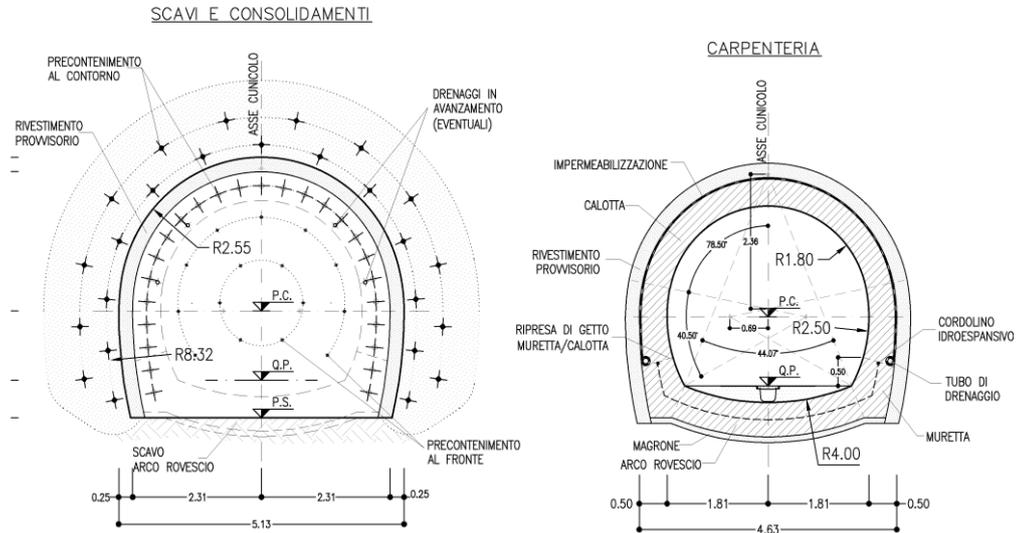
**Figura 130 Sezione tipo di scavo tipo C e rivestimento – configurazione singolo binario**

Per il camerone, localizzato nelle Argille Varicolori Inferiori, si prevede comportamento di tipo C e consolidamenti costituiti da VTR cementati. Nell'ultimo tratto, la dimensione della sezione di scavo richiede un avanzamento per fasi con realizzazione di gallerie di piedritto. Allo scopo, su un lato, sarà utilizzata la galleria di interconnessione precedentemente eseguita nel lotto 1A. La stessa galleria potrà essere efficacemente utilizzata per eseguire consolidamenti prima degli scavi di allargo su tutta la lunghezza del camerone.



**Figura 131 Sezione tipo di avanzamento per il camerone di interconnessione**

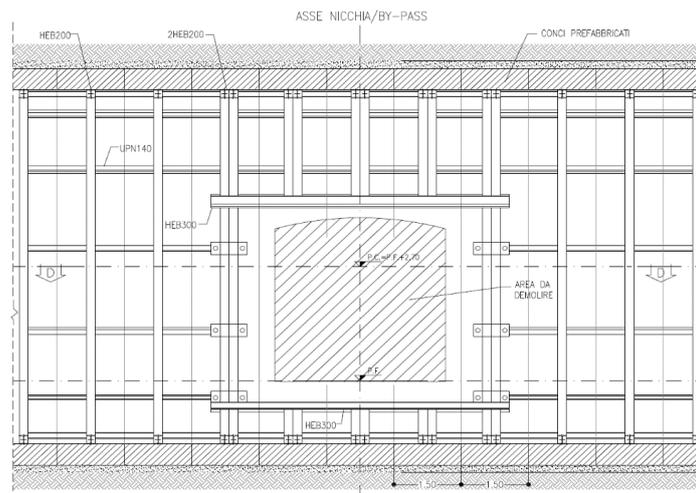
Per le 6 uscite/accessi di emergenza pedonali, sono previste sezioni di avanzamento di tipo A, B e C. Il comportamento allo scavo di tipo A è favorito nelle condizioni geotecniche migliori dalla ridotta sezione di scavo.



**Figura 132 Sezione tipo di scavo tipo C e rivestimento – uscite/accessi di esodo pedonali**

Per una più dettagliata rappresentazione si rimanda agli elaborati specialistici (da Rif. [43] a Rif. [47] )

Lo scavo dei by-pass e la realizzazione degli innesti delle uscite/accessi di emergenza pedonali prevederà interventi di blindaggio dei conci prefabbricati delle gallerie di linea ed eventuali consolidamenti prima della demolizione del rivestimento e dell'avvio dello scavo, volto a garantire la stabilità del rivestimento a seguito dell'apertura necessaria per la realizzazione dell'innesto (Figura 133).



**Figura 133 Tipologico intervento di blindaggio innesto by-pass su galleria di linea in scavo meccanizzato**

### **Chiarimento all'osservazione N.5 della Commissione Speciale**

In questo lotto lo scavo in tradizionale delle gallerie di linea, dei cameroni e delle finestre di emergenza pedonale si sviluppa a bassa profondità e interessa terreni a bassa permeabilità. Non si presenta quindi il rischio di venute d'acqua o di interferenza con i bacini idrici in fase di esercizio.

Si chiarisce che, come per le gallerie, l'interferenza dei by-pass della Galleria Auletta con le risorse idriche non riguarda la fase esecutiva di scavo perché limitata nel tempo e nello spazio. La inter-distanza tra due by-pass di 500m attenua ulteriormente l'intensità dell'interazione con i bacini idrici.

Analogamente alle gallerie di linea, l'intasamento al contorno dei by-pass mediante iniezione di permeazione si rende necessario solo se il terreno o la roccia possono dar luogo a portate elevate in caso di elevata permeabilità. Come si evince dallo studio geologico e dalle prove eseguite nei fori di sondaggio, i terreni e le rocce attraversati presentano prevalentemente basse permeabilità (minori di  $10^{-6}$  m/s)

Se localmente le permeabilità sono più alte, appare evidente che l'iniezione per mezzo di tubi a valvola è realizzabile ed efficace. In ogni caso in presenza di terreni permeabili, l'intervento principale per contrastare le pressioni e le venute d'acqua, durante lo scavo dei by-pass è, come per le gallerie, il drenaggio.

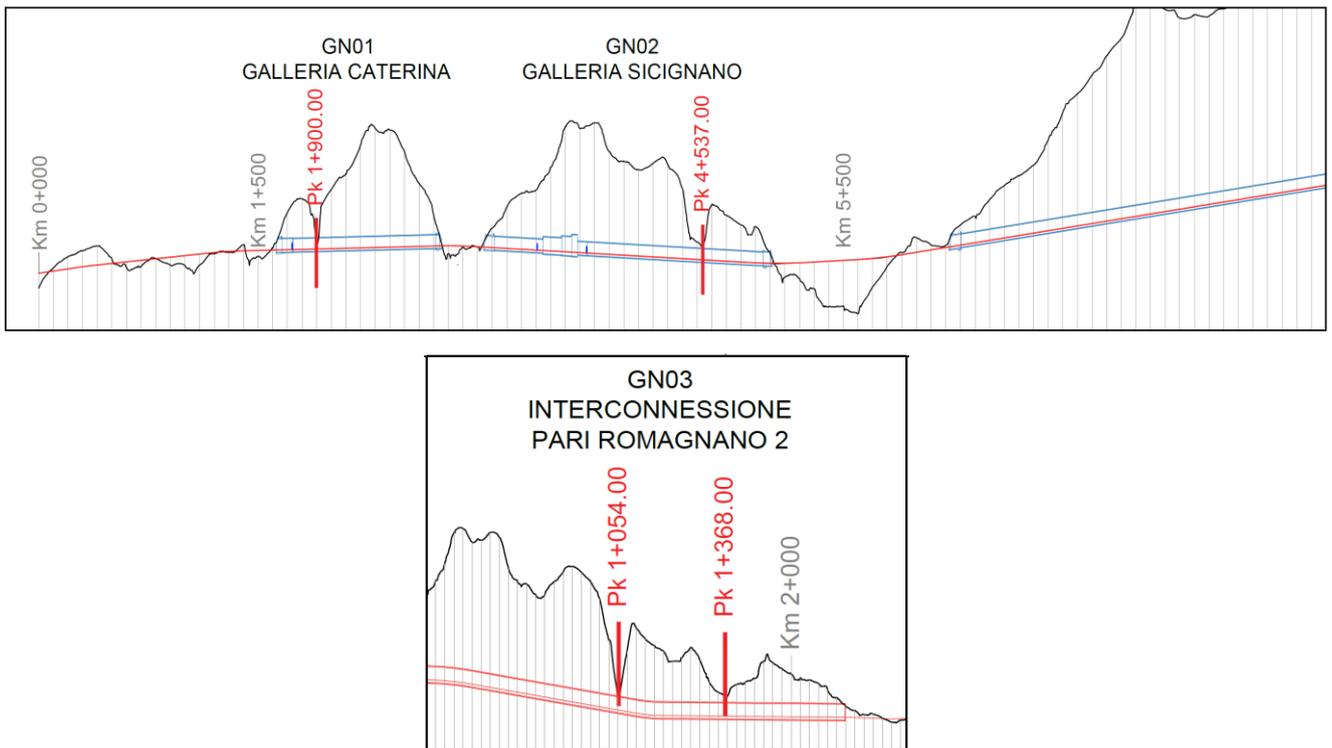
Se si dovessero affrontare situazioni di terreno poco permeabile e di scarse caratteristiche meccaniche (coesione bassa) per le quali il rinforzo con elementi strutturali in VTR non fosse sufficiente, sarà sempre possibile ricorrere (a scopo di consolidamento) al claquage mediante iniezioni selettive con tubi a valvole con miscele cementizie, oppure ricorrere a miscele chimiche più permeanti.

### **Integrazione all'osservazione N.5 della Commissione Speciale:**

Per la fase di esercizio, i rivestimenti definitivi dei by-pass verranno impermeabilizzati con membrana full round e con water stop nei giunti.

#### 10.4 Interventi di protesi

La galleria Caterina (GN01-A) alla pk 1+900 circa, Sicignano (GN02-A e GN02-B)) alla pk 4+527 circa bp e l'Interconnessione Romagnano 2 (GN03) alle pk 1+050 e 1+650 circa attraversano delle incisioni del territorio che determinano brevi tratti a copertura quasi nulla, impossibili da realizzare a foro cieco.

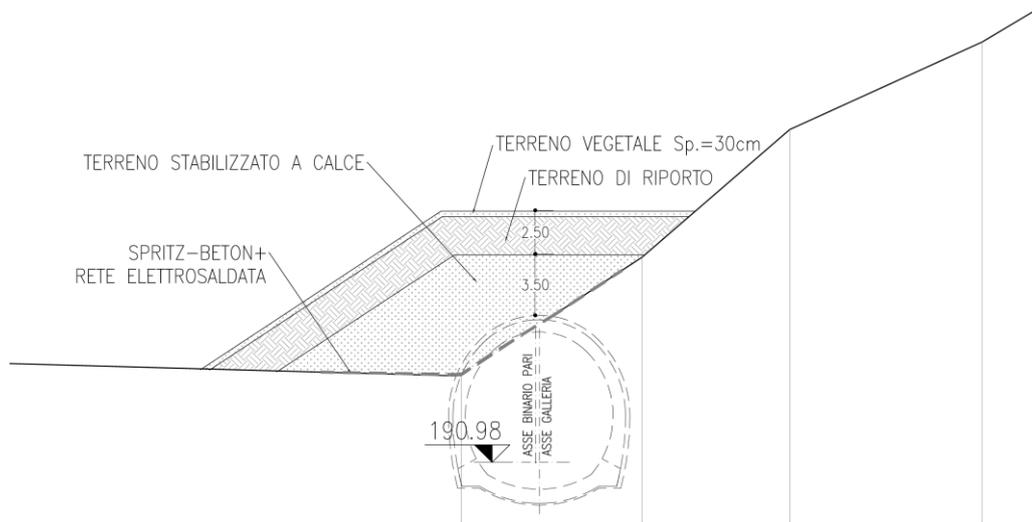


**Figura 134 Zone di protesi**

Per evitare la costruzione a cielo aperto con galleria artificiale che richiederebbe scavi di sbancamento estesi ed impattanti, nonché la costruzione di due ulteriori imbocchi per galleria, sono stati previsti interventi di protesi consistenti nella realizzazione, prima dell'arrivo della TBM, di un riporto di terreno qualificato (misto a calce) che consente di ricreare artificialmente un ricoprimento competente.

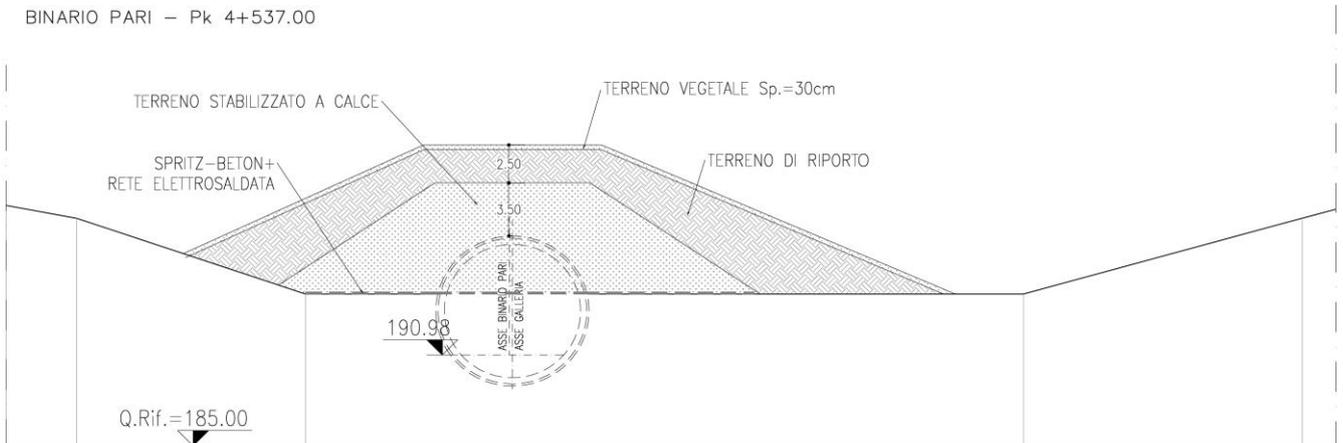
Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati specifici (Rif. [46]).

Nella successiva fase progettuale si valuterà la necessità di inserire tubi per la continuità idraulica di superficie.

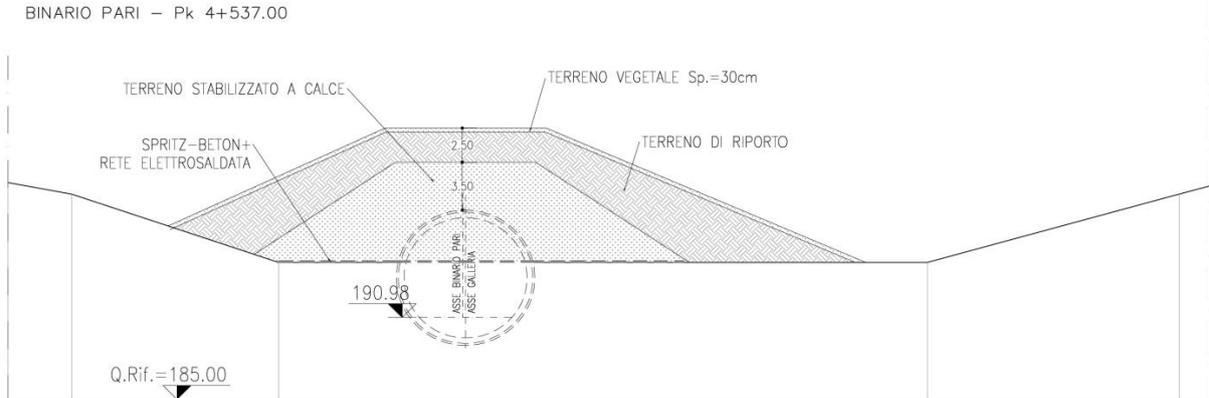


**Figura 135 Sezione di protesi per la GN01**

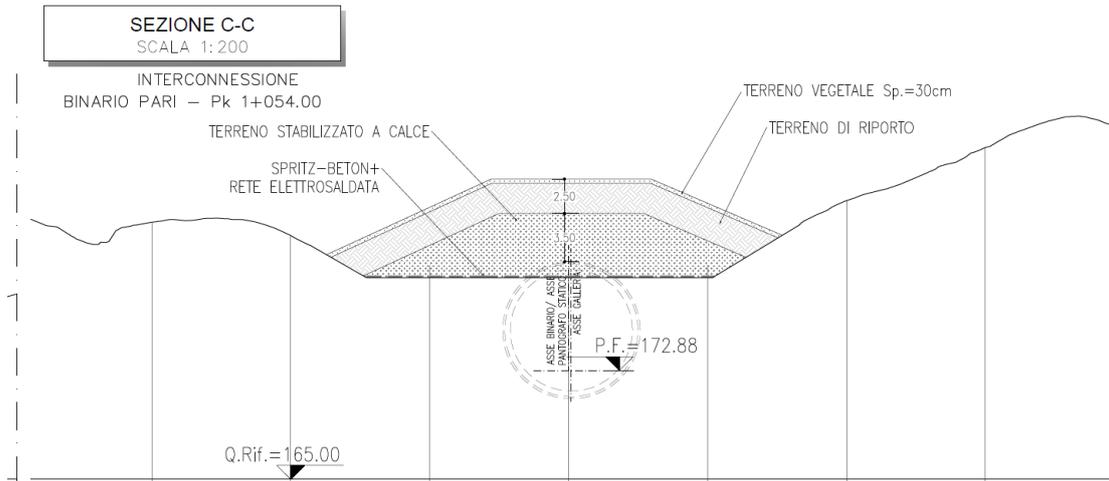
BINARIO PARI – Pk 4+537.00



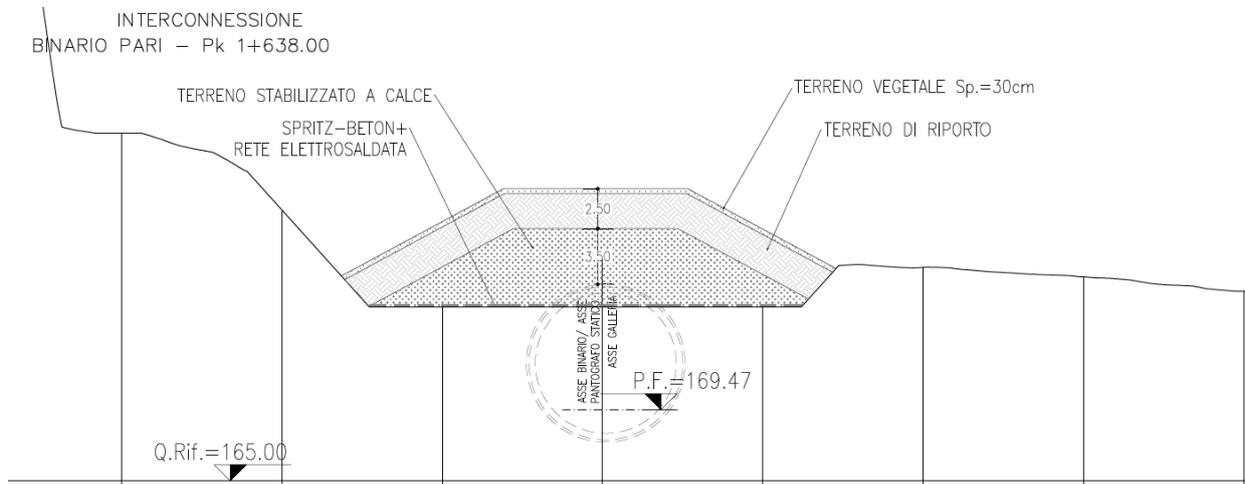
**Figura 136 Sezione di protesi per la GN02**



**Figura 137 Sezione di protesi per la GN02**



**Figura 138 Sezione di protesi per la GN03 pk 1+054**



**Figura 139 Sezione di protesi per la GN03 pk 1+638**

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

## 10.5 Valutazione dei rischi e relative azioni di mitigazione

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

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

### *Instabilità del fronte e del cavo*

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

L'adozione della modalità di avanzamento con fronte in pressione mitiga tale rischio. A tale scopo, dovrà essere adottato uno specifico protocollo di avanzamento in fase realizzativa che garantisca il controllo delle pressioni applicate e del peso di materiale scavato e la massima continuità possibile delle operazioni di scavo (programmazione dei fermi macchina per interventi di manutenzione al di fuori di tali tratte). In corso d'opera dovrà essere adottato un sistema di monitoraggio dei principali parametri di controllo dello scavo meccanizzato, associato a definiti livelli di soglia che permettono di prevenire fenomeni di instabilità, adottando al loro superamento specifiche azioni correttive.

### *Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti*

Date le coperture generalmente elevate, tale rischio è limitato alle brevi tratte in prossimità degli imbocchi in cui sono presenti interferenze con assi stradali (passaggio sotto l'autostrada E847 della galleria Sicignano alla progressiva pk 4+850 b.p. e della interconnessione pari Romagnano 2 alla pk 1+400, sottoattraversamento alla progressiva pk 21+650 b.p. della galleria Auletta dell'autostrada A2). Le misure di mitigazione sono analoghe a quelle previste per l'instabilità del fronte: l'avanzamento con fronte in pressione ed il controllo del peso scavato consente di limitare gli effetti indotti dallo scavo al contorno della galleria e di ridurre significativamente i cedimenti in superficie consentendo il sottoattraversamento in sicurezza di strade e fabbricati. Nella successiva fase di progettazione sarà comunque sviluppato un apposito piano di monitoraggio delle interferenze in superficie e un monitoraggio geotecnico con la definizione del valore di volume perso atteso e la definizione di soglie limite al superamento delle quali dovranno essere adottate specifiche azioni correttive.

### *Fenomeni di squeezing/comportamento spingente (convergenze/estrusioni)*

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

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	199 di 214

- consentendo opportuni sovrascavi (attraverso l'adozione di gauge cutters di idoneo diametro e copycutters),
- aumentando la conicità dello scudo e diminuendo per quanto possibile la sua lunghezza (impiegando una fresa monoscudata),
- incrementando la forza di spinta della macchina per consentirne lo sblocco in condizioni eccezionali,
- predisponendo ugelli di bentonite intorno allo scudo per diminuirne l'attrito,
- adottando un sistema di monitoraggio per misurare lo spessore dell'intercapedine tra perimetro dello scudo ed estradosso dello scudo e l'eventuale pressione del terreno nella parte anteriore dello scudo,
- impostando una procedura in caso di fermo anche prolungato.

Le analisi riportate nel paragrafo "Fase di diagnosi" evidenziano un rischio al più medio che può essere affrontato con alcuni dei rimedi sopraesposti e con extrascavi nell'ordine di qualche cm certamente gestibili per evitare il bloccaggio della macchina.

#### ***Venute d'acqua e carichi idraulici elevati***

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

Per quanto riguarda le condizioni transitorie (fase di scavo), sulla base dei valori di carico idraulico definiti nello studio geologico (Rif. [10]) e i valori di permeabilità determinati per le varie formazioni, sono state stimate le venute d'acqua attese in galleria. I risultati del calcolo, che è stato svolto considerando una condizione di galleria drenante su tutto il contorno e ipotesi cautelative per la definizione della conducibilità idraulica dei litotipi, possono essere considerati come dei valori limite superiori delle condizioni attese. Le portate d'acqua più consistenti sono attese nelle zone in cui il tracciato attraversa le formazioni carbonatiche (valore massimo calcolato di 26 l/s su 10 m di galleria). Negli altri tratti sono attese da deboli venute d'acqua ad assenza di venute d'acqua (inferiori o uguali a 2 l/s su 10 m). Per la trattazione dettagliata si rimanda all'elaborato specialistico (Rif. [10]).

Tuttavia, nello studio geologico è segnalata la probabilità che la galleria Auletta intercetti cavità o condotti carsici nella formazione dei calcari (CRQ), in due tratte per una lunghezza complessiva di circa 2 km. In tali contesti la previsione delle portate sopra illustrata non può ritenersi pertinente.

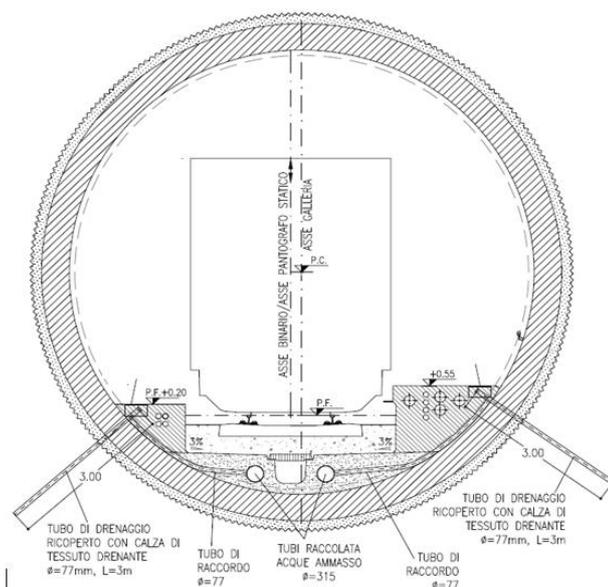
Le misure di mitigazione del rischio comprendono quanto già previsto per garantire la stabilità del fronte (scudo e avanzamento con fronte in pressione), l'implementazione di un sistema di drenaggio dell'acqua al fronte (in caso di venute d'acqua significative, maggiori di 30-50 l/s, e/o di necessità di ridurre il carico idraulico in avanzamento) con predisposizione di un sistema di perforazione nel back-up, migliorie per garantire l'intasamento a tergo dei conci (ad es. impostazione sistematica iniezioni secondarie), una specifica progettazione della macchina di scavo (ad esempio, adeguata lunghezza della coclea, adeguato

condizionamento, adozione di più file di spazzole, rilievo pressioni idrauliche, ecc.). Nei casi di maggior gravità, attesi con bassa probabilità, in cui il solo drenaggio non è sufficiente a ridurre le portate, è possibile dalle stesse perforazioni iniettare miscele (di tipo cementizio con accelerante, oppure chimiche) per ridurre la permeabilità.

Le eventuali venute d'acqua in corrispondenza della tratta soggetta a fenomeni di carsismo possono essere prevenute mediante indagini geofisiche sistematiche in avanzamento che possono essere eseguite senza interruzione del ciclo di scavo, provvedendo quindi all'esecuzione di drenaggi per le zone o cavità individuate.

In alcune tratte, l'elevato carico idraulico di lungo termine sul rivestimento definitivo richiede di adottare provvedimenti per ridurre la pressione idraulica al contorno della galleria funzionanti per l'intera vita dell'opera.

La configurazione di galleria di tipo "drenante" è realizzata mediante l'esecuzione di un sistema di dreni che consentono di ridurre le pressioni dell'acqua al contorno del cavo (Figura 140).



**Figura 140 Dispositivi di drenaggio radiale di lungo termine per la riduzione delle pressioni idrauliche**

Il sistema verrà adottato per la galleria Auletta al di fuori dei tratti di potenziale interferenza con gli acquiferi di alimentazione delle sorgenti.

L'opera interessata è la galleria Auletta nelle porzioni di tracciato comprese tra le pk 10+200 e 11+600 b.p. circa (1400m circa) e pk 12+200 e 16+900 b.p. circa (4700m circa). Dato il complesso contesto, si prevede, inoltre, in fase di scavo, l'adozione di un sistema per la misura e il controllo dei carichi idraulici, secondo l'approccio del metodo osservazionale.

In linea generale le tratte di galleria che presentano carichi idraulici, oltre quelli dell'ammasso, sostenibili senza ricorrere a maggiorazione di spessori o a classi di calcestruzzo non usuali, sono previste, in ogni caso

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

completamente impermeabili, mentre nei tratti in cui i carichi idraulici sono elevati, si procederà a installare i dispositivi di riduzione della pressione solo se non sono potenzialmente interferenti con le risorse idriche.

#### **Integrazione di recepimento all'osservazione N.2 della Commissione Speciale:**

Per garantire la funzionalità del sistema di drenaggio nel corso della vita dell'opera la galleria dovrà essere dotata di pozzetti di ispezione in corrispondenza dei dreni.

La gestione dei dreni in esercizio troverà adeguato sviluppo di dettaglio nel progetto esecutivo e nel piano di manutenzione.

#### ***Interferenza sulle risorse idriche***

Il rischio di interferenza con le sorgenti è stato affrontato nello studio idrogeologico al quale si rimanda per una dettagliata esposizione [Rif. [10]].

La metodologia adottata (metodo DHI) si basa su un modello molto cautelativo perché fondato sull'ipotesi di galleria completamente non rivestita e quindi drenante sull'intera superficie di scavo. Nella realtà, le gallerie sono dotate di rivestimento impermeabile installato a breve distanza dal fronte (all'incirca 10m) che consente di escludere interferenze con gli acquiferi di alimentazione delle sorgenti. Come sopra riportato, quando i carichi idraulici sono elevati si ricorre a dispositivi di drenaggi (cfr. Figura 140) che innescano condizioni idrodinamiche allo scopo di abbassare le iniziali pressioni idrostatiche. È da attendersi che la superficie forata dei tubi drenanti, di diversi ordini di grandezza inferiore a quella dell'intera superficie di scavo galleria, causi variazioni idrodinamiche nell'ammasso circostante significativamente inferiori a quelle simulate dal metodo adottato per la valutazione di impatto. E', altresì evidente, che le portate sono ulteriormente ridotte per effetto dei bassi valori di permeabilità attesi su gran parte dell'estensione delle gallerie. È lecito, quindi, attendersi che, nelle ipotesi di progetto, l'interferenza abbia intensità inferiore a quella prevista.

Ciò nonostante, a scopo cautelativo, per scongiurare ogni possibile interferenza, si è deciso di non installare i dispositivi di riduzione di pressione idrostatiche nei tratti in cui la galleria è potenzialmente interferente con i bacini di alimentazione delle sorgenti, progettando il rivestimento impermeabile resistente anche ai carichi idraulici più elevati secondo il modello geologico di progetto [Rif. [10]].

Nella tabella seguente sono riportati i dati di interferenza esposti nello studio geologico [Rif. [10]] relativi alle sorgenti interferenti (DHI  $\geq 3$ ) e il provvedimento di mitigazione conseguentemente adottato (impermeabilizzazione). Per le caratteristiche e posizione delle sorgenti si rimanda allo studio geologico.

**LOTTO 1B - INTERFERENZA CON LE SORGENTI AVENTI CLASSE DHI 3-4 - INTERVENTI DI MITIGAZIONE**

n. sorgente	classe DHI	Galleria	tratto interferente			Formazione	pressione idraulica su calotta (m)	Metodo scavo	Terapia
			da pk	a pk	lunghezza (m)				
14	4	Auletta	8+415	9+825	1.410	CRQ	< 100	Meccanizzato	galleria impermeabile conci 45cm C35/45
15	4								
27	3		16+940	17+760	820	CRQ	< 190	Meccanizzato	
35	3		17+760	20+790	3.030	DBS			
38	3								

Come nel caso delle sorgenti, anche le interferenze sui corsi d'acqua sono legate all'attraversamento in galleria di complessi idrogeologici a maggiore permeabilità e di zone di faglia considerate come settori a permeabilità aumentata. In tutti i casi di probabilità di interferenza medio alta, i settori di galleria associati corrispondono a quelli che determinano interferenza per le sorgenti e pertanto le soluzioni progettuali adottate e richiamate in precedenza risultano efficaci anche a tal riguardo.

**Chiarimento all'osservazione N. 1 della Commissione Speciale:**

Piuttosto che ricorrere al doppio gasket si preferisce l'utilizzo di guarnizioni singole con cordolino idrofilico incorporato.

L'impermeabilizzazione dei tratti della galleria Auletta interferenti con i bacini idrici è garantita da guarnizioni semplici di gomma integrate nel getto dei conci. La produzione di guarnizioni (con profili e mescole sempre più performanti) ha raggiunto standard elevati che assicurano la tenuta idraulica sotto forti carichi idraulici.

La fattibilità è confermata dai produttori delle suddette guarnizioni. Si cita ad esempio la guarnizione ancorata FAMA U.G.037A di larghezza 29mm ed altezza 14mm equipaggiata con cordino idroespansivo. Le prove di tenuta idraulica condotte presso il Laboratorio FAMA a condizioni di gap 4mm ed offset 10mm hanno permesso di verificarne la tenuta idraulica anche fino a 40bar di pressione.

Le guarnizioni saranno abbinare a connettori di elevate prestazioni per assicurare le tolleranze sul gap

Ad ogni modo la tipologia di guarnizione e le tolleranze dovranno essere definite dal progettista esecutivo al fine di garantire le prestazioni dell'opera a lungo termine.

Per i tratti di gallerie in scavo tradizionale comprensivi dei by-pass che ricadono nei tratti di potenzialmente interferenti con i bacini idrici si ricorrerà a membrana impermeabile full round e a water stop nei giunti di getto.

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

### *Fenomeni carsici*

Fenomeni di carsismo si riscontrano nei calcari CRQ Rif. [10] Nelle tratte in cui le gallerie saranno scavate in questa unità, la TBM dovrà essere attrezzata per eseguire rilievi di tipo geofisico e sondaggi in avanzamento, al fine di individuare, in anticipo rispetto all'avanzamento, l'eventuale presenza di cavità. Cavità di dimensioni incompatibili con l'avanzamento della TBM saranno riempite prima dell'avanzamento mediante perforazioni ed iniezioni o con pompaggio di calcestruzzo eseguiti davanti alla testa della TBM.

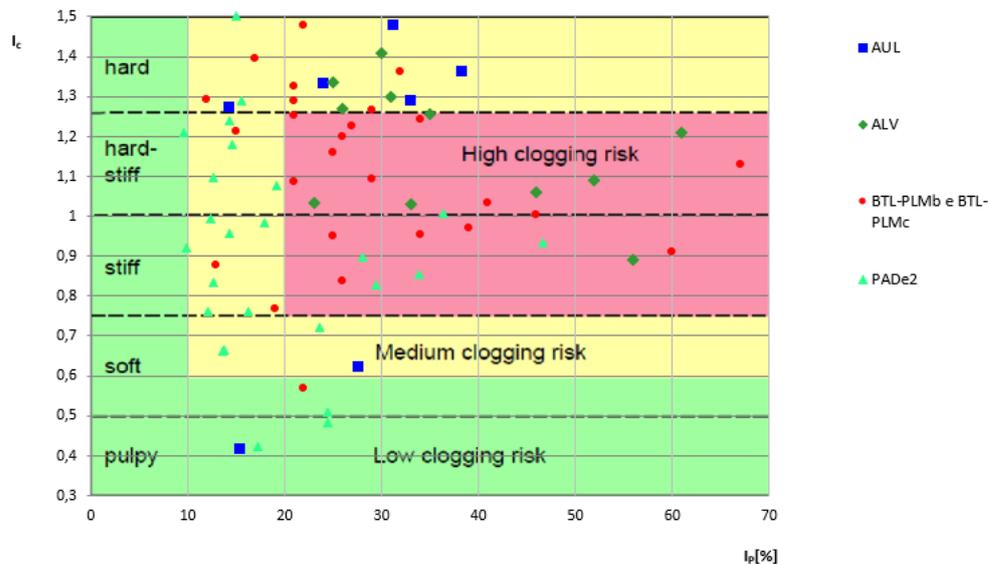
### *Clogging*

Lo studio geologico e la caratterizzazione geotecnica hanno evidenziato la presenza di formazioni di natura argillosa, nelle quali il fenomeno di *clogging* in fase di scavo è probabile: il materiale argilloso può aderire agli utensili di taglio, rendendoli inefficaci, e/o può ostruire le aperture della testa fresante verso la camera di scavo, bloccare la testa fresante o anche la coclea. Per stimare il rischio di adesione delle particelle di argille si può utilizzare il criterio proposto da Thewes (2005): il grafico di Figura 141 mostra tre categorie di potenziale di adesione (basso-intermedio-alto), in funzione delle seguenti caratteristiche del materiale argilloso: Indice di Plasticità:  $IP = W_L - W_P$  e Indice di Consistenza:  $I_C = (W_L - w_n)/IP$ , in cui  $W_L$  = limite liquido,  $W_P$  = limite plastico e  $w_n$  = contenuto naturale d'acqua. Per le Argille Varicolori Superiori, per la litofacies argillosa del sintema Bottiglieri a Palomonte e per le formazioni argillose del Sintema di Padula PADe2 è stato individuato un rischio alto, per le argille del Sintema di Auletta AUL un rischio medio.

Nelle successive fasi di progettazione potranno essere raccolte informazioni utili ad individuare l'eventuale rischio clogging anche per le formazioni SIE, RGC e PDAb, che al momento viene cautelativamente valutato come probabile.

### Salerno-Reggio Calabria - Lotto 1b - CLOGGING RISK -

(Thewes et al. 2005 e presentazione Herrenknecht 2008)



**Figura 141 Rischio clogging**

Questa condizione rappresenta una criticità ben più severa per una TBM Slurry, ma può comunque rallentare anche una TBM EPB, e deve essere mitigata con soluzioni mirate ad evitare che le particelle di argille si accumulino in testa ed in camera di scavo e riducendo la capacità delle stesse di aderire le une alle altre tramite, ad esempio: una opportuna scelta degli additivi per il condizionamento e la progettazione di un adeguato impianto di condizionamento in fase di configurazione della macchina una specifica configurazione della testa di scavo e della camera di scavo, impiego di getti d'acqua ad alta pressione all'interno della camera di scavo e sulla testa.

#### Abrasività

Visto il contesto geologico e geotecnico, il rischio di interessare materiali abrasivi è considerato medio-basso. Tale rischio potrebbe interessare la Formazione di Monte Sierio, da confermare con le indagini in corso. L'abrasività comporta l'elevata usura dei cutters e la necessità di frequenti ingressi in camera di scavo per la loro manutenzione/sostituzione, con fermi anche prolungati, e può determinare l'usura della testa di scavo e della coclea: tutti fattori che concorrono alla diminuzione della velocità media di avanzamento della macchina.

Per mitigare tale rischio dovrà essere effettuata un'attenta progettazione della testa di scavo e degli utensili di scavo, per tipologia, distribuzione e materiali, e dovrà essere previsto un corretto approvvigionamento degli stessi. Inoltre, si dovrà, ad esempio: prevedere un sistema di protezione all'usura della testa di scavo e per la

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RC2A	B1	R07RH	GN0000001	C	205 di 214

colea, pianificare correttamente i fermi macchina per le ispezioni e la manutenzione, nonché impostare un monitoraggio per misurare il grado di usura attraverso sensori appositamente predisposti.

### ***Fenomeni di rigonfiamento***

Come emerso dai risultati delle prove di laboratorio eseguite per il lotto 1A della linea Salerno-Reggio Calabria, la formazione ALV può sviluppare deformazioni conseguenti a fenomeni di rigonfiamento delle argille. Gli effetti del rigonfiamento possono procurare difficoltà nell'avanzamento, impedire il completo riempimento a tergo del rivestimento e rendere difficile e impreciso il montaggio degli anelli. Il rischio è di livello medio-basso anche in considerazione della eterogeneità delle formazioni che presentano alla scala del fronte livelli meno coesivi e meno argillosi.

### ***Scavo in materiali asbestiformi***

Lo studio geologico esclude la presenza di formazioni asbestiformi per il presente lotto 1B (Rif. [10]).

### ***Presenza di gas***

Lo studio geologico classifica come basso il rischio di intercettare gas nel corso delle fasi di scavo delle opere in sotterraneo (Rif. [10]).

### ***Sintesi dei rischi e delle azioni di mitigazione***

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

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

Rischi	Effetti	Esempi di misure da adottare per la mitigazione dei rischi
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• un impianto di iniezione della malta più efficiente che eviti blocchi durante la fase di iniezione,</li> <li>• migliorie al sistema di drenaggio dell'acqua in galleria,</li> <li>• l'utilizzo di tipologie di cutters che riducano i fermi ed i tempi di manutenzione,</li> <li>• la realizzazione di drenaggi/impermeabilizzazioni/consolidamenti,</li> <li>• un potenziamento dei sistemi di perforazione*,</li> <li>• un sistema di manutenzione programmata TBM integrato nel software PC,</li> <li>• una gestione dello smarino che non comporti fermi,</li> <li>• una pianificazione della cantierizzazione che non comporti fermi,</li> <li>• una piattaforma integrata di monitoraggio, elaborazione e trasmissione dati con segnalazione allarmi in tempo reale.</li> </ul>
		<p>Indagini volte a definire meglio le caratteristiche geotecniche in fase realizzativa (ad esempio, indagini Georadar, prospezioni in avanzamento, anche con sistema Full Beam Scan con visualizzazione 2D e 3D della geologia davanti alla TBM)</p>
		<p>*Potenziamento dei sistemi di perforazione per sondaggi e trattamenti in avanzamento (anche per perforazione in roccia) ad es. con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• installazione n. 2 perforatrici all'interno dello scudo per l'esecuzione di perforazioni orizzontali nella sezione da scavare,</li> <li>• aumento posizioni di perforazioni e su tutta la circonferenza,</li> <li>• possibilità di registrare i parametri di perforazione (penetrazione, coppia, pressione, velocità di rotazione, ecc.)</li> </ul>
<b>Fenomeni di</b>	Induzione di danni.	Oltre a quanto indicato per il fenomeno di instabilità,

Rischi	Effetti	Esempi di misure da adottare per la mitigazione dei rischi
<b>subsidenza/interferenza con opere preesistenti</b>		<p>predisposizione di monitoraggio strutturale delle interferenze in superficie e monitoraggio geotecnico con la definizione del valore di volume perso atteso e la definizione di soglie limite al superamento delle quali adottare specifiche azioni correttive</p>
<b>Venute d'acqua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Difficoltà di avanzamento</li> <li>– Ingresso di fine in galleria</li> <li>– Difficili interventi in testa in condizioni iperbariche</li> <li>– Difficoltà realizzazione riempimento a tergo dei conci</li> <li>– Difficoltà montaggio anelli</li> <li>– Deterioramento delle spazzole di coda</li> </ul>	<p>specifica progettazione della macchina di scavo (ad esempio, adeguata lunghezza della coclea, adeguato condizionamento, adozione di più file di spazzole con adeguato ingrassaggio e rilievo pressioni idrauliche, ecc.)</p> <p>Migliorie al sistema di drenaggio dell'acqua al fronte</p> <p>Predisposizione di un adeguato piano di manutenzione ordinaria e straordinaria che tenga conto delle tratte a pressione di supporto elevata al fine di evitare fermi ed operazioni in camera di scavo</p> <p>Migliorie per superare difficoltà nelle eventuali operazioni di manutenzione straordinaria in testa in condizioni iperbariche (ad es., presenza di camere iperbariche per uomini e camera iperbarica per attrezzi)</p> <p>Migliorie per garantire l'intasamento a tergo dei conci (ad es. impostazione sistematica iniezioni secondarie)</p> <p>Migliorie mirate a conoscere lo stato delle pressioni effettive a tergo dei conci ed in testa (ad es. piezometri dietro agli anelli in coda allo scudo, ecc.)</p> <p>Migliorie per consentire il corretto montaggio degli anelli (ad es. con sensori di allarme)</p> <p>Predisposizione procedura di fermo</p> <p>Migliorie per incrementare la velocità di avanzamento</p>
<b>Squeezing</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Blocco della macchina</li> </ul>	<p>TBM scudata con sovrascavo per diametro gauge cutters e copycutters</p>

Rischi	Effetti	Esempi di misure da adottare per la mitigazione dei rischi
	– Collasso del fronte	<p>Aumento conicità scudo</p> <p>Lunghezza ridotta scudi</p> <p>Impiego TBM monoscudata</p> <p>Dimensionamento adeguato della spinta eccezionale</p> <p>Ugelli bentonite sullo scudo</p> <p>Sensori per misurare il gioco tra perimetro di scavo ed estradosso scudo</p> <p>Sensori nella parte anteriore dello scudo che misurano l'eventuale pressione del terreno</p> <p>Procedura in caso di fermo anche prolungato</p> <p>Migliorie per favorire lo smarino ed impedire l'accumulo di argilla sulla testa od in camera di scavo (ad es., configurando efficacemente la testa di scavo e gli utensili, prevedendo la possibilità di getti acqua ad alta pressione (300bar) all'interno della camera di scavo ed in testa, al centro e nella zona periferica, ecc.)</p>
<b>Clogging</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Blocco della testa</li> <li>– Danneggiamenti utensili di scavo</li> <li>– Ostruzione coclea</li> </ul>	<p>Impianto adeguato di condizionamento (ad es. con linee e pompe indipendenti di iniezione acqua e schiuma, ecc.) e sistema di controllo dei volumi e della distribuzione degli additivi</p> <p>Definizione idoneo condizionamento</p> <p>Monitoraggio ad hoc (ad es. con telecamera in camera di scavo o sensori)</p> <p>Adeguate configurazione della testa di scavo</p>
<b>Abrasività medio-elevata</b>	– Usura dei cutter	Accurata selezione utensili di scavo, per tipologia, distribuzione, durata degli stessi (materiali)

Rischi	Effetti	Esempi di misure da adottare per la mitigazione dei rischi
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Frequenti fermi per ispezioni e sostituzioni</li> <li>– Usura testa di scavo</li> <li>– Usura della coclea</li> <li>– Diminuzione velocità di avanzamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adeguate approvvigionamento utensili di scavo</li> <li>Protezione antiusura di tutta la testa di scavo ed in particolare della zona periferica</li> <li>Protezione antiusura per la coclea: vite e albero della vite</li> <li>Pianificazione fermi ed ispezioni</li> <li>Sensori in testa per misura usura utensili di scavo</li> </ul>
<b>Fenomeni carsici</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Impossibilità di applicare una corretta pressione al fronte a causa della cavità</li> <li>– Venute d'acqua elevate in caso di cavità riempita di acqua</li> <li>– Per cavità di dimensioni comparabili a quelle della galleria, impossibilità a procedere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indagini in avanzamento</li> <li>Drenaggi per svuotare cavità piena di acqua</li> <li>Possibilità di eseguire iniezioni e/o pompaggio di calcestruzzo dalla macchina per riempimento cavità</li> </ul>

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA <b>RC2A</b>	LOTTO <b>B1</b>	CODIFICA <b>R07RH</b>	DOCUMENTO <b>GN0000001</b>	REV. <b>C</b>

## 10.6 Opere di imbocco

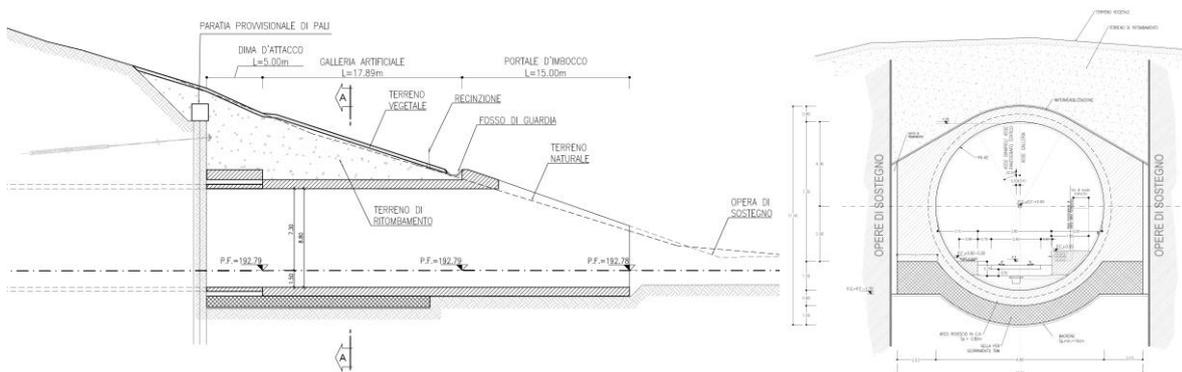
Le gallerie imboccano generalmente con una copertura corrispondente all'incirca ad un raggio della sezione di scavo. Dalla sezione di imbocco la galleria prosegue in artificiale con il medesimo profilo di intradosso della galleria naturale fino a che la struttura si trova sotto la quota originaria della superficie. Le gallerie artificiali sono tutte previste a cielo aperto in scavi realizzati tra opere di sostegno. Il terreno di riporto tenderà a rimodellare la superficie con lo stesso andamento precedente agli scavi. Saranno previsti degli interventi di protezione dall'erosione e di regimazione delle acque meteoriche con rete di canalette.

Sono previsti portali di imbocco a becco di flauto per restituire, quanto più possibile, l'iniziale profilo della collina.

Le strutture provvisorie di sostegno degli scavi, realizzate con paratie di pali, e i rivestimenti delle gallerie artificiali sono stati pre-dimensionati ricorrendo a soluzioni progettuali ed esperienze precedenti in contesti simili.

In corrispondenza delle sezioni di imbocco, per assicurare la stabilità del fronte in avvio e in uscita della TBM potranno essere eseguiti consolidamenti eseguiti dall'alto oppure dal fronte. L'ampiezza degli scavi in senso trasversale al tracciato tiene conto anche degli ingombri necessari al montaggio delle TBM o alla loro traslazione/smontaggio in fase di uscita. Eccetto la dima di attacco, le gallerie artificiali saranno eseguite dopo la partenza o l'uscita delle TBM; analogamente per lo scavo tradizionale.

Per gli imbocchi con TBM, l'arco rovescio sarà modellato per permettere il montaggio e l'uscita degli scudi. Allo stesso scopo, nella successiva fase progettuale verranno definite con più dettaglio le opere di sostegno, in modo da non intralciare le suddette operazioni, preferendo il ricorso a tiranti e/o sostegni rigidi a sbalzo per evitare strutture con funzione di puntone.



**Figura 142 Profilo e sezioni di un imbocco per TBM**

Per la sistemazione finale degli imbocchi delle gallerie di linea si rimanda alle tavole specifiche (da Rif. [29] a Rif. [33]).

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

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

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

### 11.1 Scavo meccanizzato

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

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

### 11.2 Scavo tradizionale

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

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

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

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

### 11.3 Monitoraggio in corso d'opera

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

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

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

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

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

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

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



LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA  
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA  
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA  
LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO  
**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2A	B1	R07RH	GN000001	C	213 di 214

## 12 PROPOSTA DI INDAGINI PER LA SUCCESSIVA FASE DI PROGETTAZIONE

Nelle successive fasi progettuali, per definire in modo più dettagliato le caratteristiche geotecniche delle unità di interesse per le opere in sotterraneo sarà integrata la campagna di indagini già eseguita al fine di ottimizzare le scelte progettuali effettuate relativamente alle opere ed alle tecniche realizzative adottate.

L'obiettivo delle indagini di arricchimento è quello di migliorare il quadro conoscitivo delle unità attraversate. Si valuterà a tal fine anche la possibilità di eseguire stop geostrutturali sugli affioramenti degli ammassi rocciosi e sondaggi a carotaggio continuo a profondità inferiori al cavo delle gallerie per il recupero di campioni da testare in laboratorio di terreni/rocce appartenenti alle formazioni di interesse.

	<b>LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA</b> <b>LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA</b> <b>LOTTO 1B ROMAGNANO – BUONABITACOLO</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RC2A	LOTTO B1	CODIFICA R07RH	DOCUMENTO GN0000001	REV. C

### 13 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione delle gallerie del lotto 1B della nuova linea AV Salerno-Reggio Calabria.

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

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

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