

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

Mandataria

Mandanti



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA

MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA - BARI
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA
LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale

L'Appaltatore

Ing. Gianguido Babini

A.A.D'AGOSTINO COSTRUZIONI GENERALI S.r.l.

Il Direttore Tecnico

firma (Ing. Gianguido Babini)

I progettisti (il Direttore della progettazione)

Ing. Massimo Facchini

Data

firma



COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
L I O B	0 2	E	Z Z	G E	G N 0 1 0 0	0 0 1	C	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Prima emissione	L. Castaldo Smart-G	14/12/2022	S. Carozza	16/12/2022	T. Pelella	18/12/2022	
B	Revisione a seguito RDV	L. Castaldo Smart-G	22/05/2023	S. Carozza	23/05/2023	T. Pelella	24/05/2023	
C	Revisione a seguito RDV	L. Castaldo Smart-G	03/10/2023	S. Carozza	04/10/2023	T. Pelella	05/10/2023	

File: LI0B02EZZGEGN0100001C.DOCX

n. Elab.

 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
	LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	1

INDICE

1.. PREMESSA	2
2.. FASE CONOSCITIVA	2
2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	2
2.1.1 UNITÀ DELLA FOSSA BRADANICA	3
2.1.2 ASPETTI GEOMORFOLOGICI	3
2.1.3 CARATTERI IDROGEOLOGICI E REGIME IDRAULICO	3
2.2 INDAGINI	4
2.2.1 INDAGINI DERIVANTI DALLE FASI PROGETTUALI PREGRESSE	4
2.2.2 INDAGINI FASE PROGETTUALE ATTUALE (PE)	4
2.2.3 INDAGINI GEOTECNICHE E PROVE IN SITO	5
2.2.4 PROVE DI LABORATORIO	5
2.2.5 INDAGINI GEOFISICHE	6
2.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica.....	6
2.3.1 CONGLOMERATI DI CAMPOMARINO IN FACIES SABBIOSA (CGC1).....	6
2.3.2 CONGLOMERATI DI CAMPOMARINO IN FACIES ARGILLOSO-LIMOSA (CGC2).....	10
2.3.3 FORMAZIONE DELLE SABBIE DI SERRACAPRIOLA (SSR).....	19
2.3.4 ARGILLE SUBAPPENNINE (ASP)	26
2.3.5 SINTESI	36
2.4 RISCHI POTENZIALI	36
2.4.1 INSTABILITÀ DEL FRONTE E DEL CAVO	36
2.4.2 VENUTE D'ACQUA.....	37
2.4.3 INTERFERENZA CON OPERE PRE-ESISTENTI.....	37
2.4.4 INTERFERENZA CON SORGENTI	37
2.4.5 ESPOSIZIONE AMBIENTALE E ATTACCO CHIMICO	37
2.4.6 SISMICITÀ	37
3.. FASE DI DIAGNOSI	37
3.1 COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO	37
3.1.1 SEZIONI CON COPERTURA ELEVATA	38
3.1.2 CONDIZIONI DI STABILITÀ DEL FRONTE DI SCAVO	42
4.. MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA	42
5.. CONCLUSIONI	43

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01 00	001	C	2

1. PREMESSA

La presente relazione geotecnica è parte integrante del progetto esecutivo del Raddoppio della Tratta Termoli – Lesina, afferente alla linea ferroviaria storica Pescara – Bari.

Lungo il tracciato della nuova linea è presente la Galleria Campomarino. Questa è ubicata tra le progressive di tracciato km 5+229 (imbocco lato Termoli/Pescara) e km 6+895 circa (imbocco lato Lesina/Bari) e presenta una lunghezza complessiva in sotterraneo di circa 1666,70 m. Partendo dall'imbocco lato Pescara, posto a una quota di 16,82 m s.l.m., il tracciato della galleria procede sempre in salita fino all'imbocco lato Bari posto a una quota di 34,28 m s.l.m. con pendenza compresa tra 5.2‰ e 12 ‰ (Figura 1). La copertura massima è pari a 47 metri.

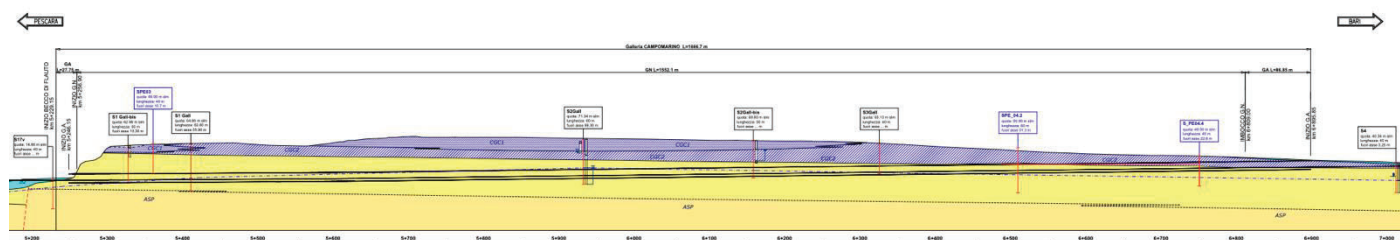


Figura 1. Profilo Galleria Campomarino

La galleria Campomarino è costituita da un tratto in naturale di 1552,1 m e da due tratti in artificiale in corrispondenza degli imbocchi di lunghezza pari a 27,75 m per l'imbocco lato Pescara e pari a 86,85 m per l'imbocco lato Bari.

In questo elaborato ci si riferisce in particolare alle condizioni di sottosuolo lungo il tratto naturale della galleria di linea "Campomarino".

2. FASE CONOSCITIVA

Gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dalle opere in sotterraneo, necessari alla fase conoscitiva, sono stati acquisiti attraverso le campagne d'indagine condotte per la progettazione definitiva e attraverso una campagna di indagini integrative effettuata in fase di progettazione esecutiva, come più avanti illustrato.

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Lungo lo sviluppo del tracciato della Galleria Campomarino e del cunicolo di emergenza sono state individuate formazioni geologiche ascrivibili all'unità della Fossa Bradanica, di seguito descritta.

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	3

2.1.1 UNITÀ DELLA FOSSA BRADANICA

L'Unità della Fossa Bradanica è costituita dalle seguenti formazioni (dal basso verso l'alto):

- Argille Subappennine (ASP) (Pliocene superiore – Pleistocene inferiore).
- Sabbie di Serracapriola (SSC) (Pleistocene inferiore).
- Conglomerati di Campomarino (CGC) (Pleistocene inferiore - Pleistocene medio).

Le argille subappennine (ASP) sono descritte prevalentemente come argille limose e limi argillosi, in strati da sottili a spessi, con sottili intercalazioni di argille marnose, limi sabbiosi e sabbie fini.

Le sabbie di Serracapriola (SSR) sono descritte come costituite da sabbie medio-fini a luoghi cementate, in cui si rinvencono intercalazioni di conglomerati grossolani a elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi, e sottili livelli di arenarie medio-fini.

I conglomerati di Campomarino presentano due facies:

- CGC1, descritti come conglomerati poligenici ed eterometrici, a elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa;
- CGC2, descritte come argille limose e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio, marrone e verdastro, a struttura indistinta o debolmente laminata.

2.1.2 ASPETTI GEOMORFOLOGICI

In corrispondenza dell'imbocco lato Termoli della galleria Campomarino, è presente una scarpata di erosione fluviale e marina, alta ed estesa, che interessa i terreni sabbioso-conglomeratici appartenenti alle formazioni delle Sabbie di Serracapriola e dei conglomerati di Campomarino (CGC1), con pendenze medie di circa 60°. Gli elaborati specialistici del progetto definitivo descrivono tale scarpata come stabile, sebbene sia interessata localmente da modesti fenomeni di crollo che tuttavia non interessano l'area di imbocco, ubicata in una area descritta come geomorfologicamente stabile. Anche l'imbocco lato Lesina è ubicato in area descritta come geomorfologicamente stabile. Lungo il tracciato della galleria Campomarino non sono stati rilevati fenomeni gravitativi in atto o quiescenti.

2.1.3 CARATTERI IDROGEOLOGICI E REGIME IDRAULICO

Sulla base degli approfondimenti specialistici riportati negli elaborati del progetto definitivo è stato possibile definire i principali caratteri idrogeologici delle formazioni di interesse, che sono di seguito sintetizzati.

La galleria di linea attraversa nel suo tracciato il deposito dei Conglomerati di Campomarino in facies argilloso-limosa (CGC2) e quello delle Sabbie di Serracapriola (SSR).

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C

Da un punto di vista idrogeologico il deposito dei Conglomerati di Campomarino in facies argilloso-limosa (CGC2) è caratterizzato da una scarsa trasmissività idraulica (gli si può attribuire un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-10}$ e $1 \cdot 10^{-7}$ m/s) e rappresenta un acquiclude per i sovrastanti CGC1.

Il complesso idrogeologico sabbioso arenaceo costituito dalle Sabbie di Serracapriola (SSR) si presenta come un acquifero di buona trasmissività, localmente piuttosto eterogeneo e anisotropo. A tale complesso si può attribuire un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-7}$ e $1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Sulla base dei rilievi effettuati in fase di progettazione esecutiva la quota piezometrica massima risulta essere a circa 12 m al di sopra dell'estradosso di calotta della galleria.

2.2 INDAGINI

2.2.1 INDAGINI DERIVANTI DALLE FASI PROGETTUALI PREGRESSE

Per la caratterizzazione geotecnica delle formazioni interessate dalle opere in sotterraneo sono disponibili i dati provenienti dalla campagna d'indagine eseguita da Italferr nel 2017, relativamente al tratto in galleria. In tale campagna erano stati eseguiti 6 sondaggi a carotaggio continuo di cui quattro attrezzati con piezometri e due utilizzati per l'esecuzione di prove geofisiche in foro.

2.2.2 INDAGINI FASE PROGETTUALE ATTUALE (PE)

La caratterizzazione geotecnica del progetto definitivo è stata integrata con i risultati di una campagna di indagini supplementari, effettuate in fase di progettazione esecutiva, ai fini di una più dettagliata caratterizzazione delle condizioni geotecniche e idrauliche lungo il tracciato della galleria e in corrispondenza degli imbocchi.

Lungo il tracciato della galleria sono stati effettuati ulteriori 3 fori di sondaggio, in prossimità dell'asse della galleria, in corrispondenza delle progressive 5+361, 6+450 e 6+741, di lunghezza variabile tra 40 e 60 m. I sondaggi sono stati attrezzati con piezometri Casagrande per il rilievo della falda nel deposito di SSR, d'interesse per la sezione di scavo della galleria. Sono stati inoltre installati ulteriori 6 piezometri Casagrande in ulteriori 4 verticali così ubicate: 3 in corrispondenza dell'asse della galleria di linea alle progressive 5+390, 5+448, 5+ 753 e una in corrispondenza dell'asse del cunicolo pedonale alla progressiva 0+280 del cunicolo, che si proietta in asse alla galleria di linea in corrispondenza della progressiva 6+054.

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C

2.2.3 INDAGINI GEOTECNICHE E PROVE IN SITO

Nell'ambito della campagna del 2017 erano state eseguite le seguenti indagini e prove in sito:

- n° 10 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile;
- n° 2 prove di permeabilità Lugeon;
- n° 3 prove pressiometriche;
- n° 9 prove dilatometriche;
- prove SPT.

Nei 3 fori di sondaggio supplementari effettuati nella fase di progettazione esecutiva sono state effettuate complessivamente 30 prove SPT.

2.2.4 PROVE DI LABORATORIO

Nei fori di sondaggio della campagna pregressa erano stati prelevati n. 29 campioni (7 indisturbati e 22 rimaneggiati) su cui erano state effettuate le seguenti prove di caratterizzazione meccanica:

- n° 7 prove triassiali consolidate non drenate (CIU);
- n° 8 prove triassiali non consolidate e non drenate (UU);
- n° 7 prove edometriche;
- n° 18 prove di taglio diretto;
- n° 3 prove di taglio residuo;
- n° 5 prove di colonna risonante;
- n° 7 prove di rigonfiamento.

Nella campagna del 2022 sono stati prelevati 6 campioni (2 indisturbati e 4 rimaneggiati), sui quali sono state eseguite prove di identificazione e di taglio diretto, come riportato in Tabella 1.

Tabella 1. Sintesi delle prove di laboratorio sui campioni prelevati nella campagna del 2022

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C

Sond.	Camp.	prof. (m)	W	γ	γ_s	eo	n	Sr	granulometria				limiti			Taglio		Descrizione visiva	
			(%)	(t/m^3)				(%)	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	LL	LP	It	CLASS. UNI 11331	c^*		ϕ^*
SPE03	CI2	10,50 - 10,90	15,02	1,86	2,65	0,64	0,39	61,81	0,19	83,07	-	-	ND	NP	-	A2-4	18	31	Sabbia debolmente limosa, carbonatica, di colore beige a medio addensamento
SPE03	CI3	20,00 - 20,25	13,35	1,88	2,67	0,61	0,38	58,64	0,05	66,35	16,56	17,02	ND	NP	-	A2-4	15	27	Sabbia limosa, carbonatica, di colore beige a medio addensamento. Presenti porzioni più limosa
SPE04.3	CR1	20,00 - 20,30	10,26	1,99	2,65	0,47	0,32	58,19	27,40	56,51	-	-	ND	NP	-	A1-b	20	29	Sabbia poco limosa carbonatica, con inclusi fici calcarei arrotondati centimetrici, di colore beige, a basso addensamento
SPE04.3	CR2	26,00 - 26,30	17,25	1,92	2,66	0,62	0,38	73,71	23,17	63,61	-	-	ND	NP	-	A2-4	12	32	Sabbia poco limosa carbonatica, di colore beige scuro con inclusi calcarenitici centimetrici spigolosi, a medio addensamento
SPE04.4	CR1	18,00 - 18,30	11,49	1,99	2,68	0,50	0,34	61,14	1,40	79,04	-	-	ND	NP	-	A1-b	11	35	Sabbia limosa carbonatica, di colore beige a basso addensamento
SPE04.4	CR2	22,00 - 22,30	11,51	1,67	2,67	0,78	0,44	39,49	0,05	74,12	12,28	13,55	ND	NP	-	A2-4	7	27	Sabbia limosa carbonatica, di colore beige scuro, a basso addensamento

2.2.5 INDAGINI GEOFISICHE

Per la progettazione definitiva erano state realizzate le seguenti indagini geofisiche, di cui si è tenuto conto nell'elaborazione del modello di sottosuolo in fase di progettazione esecutiva:

- n°2 prove di sismica in foro (downhole);
- n°4 linee di stendimento di tomografia elettrica;
- n°5 stendimenti sismici MASW/Re.Mi. (Refracted Microtremor)

In fase di progettazione esecutiva sono state eseguiti:

- n° 3 stendimenti sismici MASW
- n° 3 prove sismiche a rifrazione

2.3 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

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 dall'opera in sottterraneo lungo il suo tracciato. Il modello geotecnico è rappresentato nell'elaborato 'Profilo geotecnico'.

2.3.1 CONGLOMERATI DI CAMPOMARINO IN FACIES SABBIOSA (CGC1)

Si tratta della facies superiore dei Conglomerati di Campomarino, a elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa. Lo scavo della galleria naturale non interessa

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C

questa formazione, che è la più superficiale. La campagna d'indagine del progetto definitivo riporta solo 3 campioni, di cui due rimaneggiati, riferibili chiaramente a tale formazione. Le prove SPT effettuate nella campagna d'indagine integrativa del progetto esecutivo hanno consentito di confermare e rifinire le assunzioni cautelative fatte in fase di progettazione definitiva sulle caratteristiche di resistenza e deformabilità di tale formazione.

2.3.1.1 CARATTERISTICHE FISICHE

L'analisi granulometrica eseguita sui tre campioni prelevati nella formazione CGC1 consente di classificare il terreno come sabbie con limo o limosa debolmente argillosa. Il peso specifico dei grani varia tra 26.3 e 26.9 kN/m³; il peso dell'unità di volume è compreso tra 19.4 e 20.5 kN/m³; il peso secco dell'unità di volume tra 16.3 e 17.9.

2.3.1.2 CARATTERISTICHE MECCANICHE

Al fine di definire l'angolo di resistenza a taglio della matrice sabbiosa e sabbioso-limosa dei conglomerati CGC1 (Figura 3) sono stati utilizzati i risultati delle prove SPT condotte nel foro del sondaggio SP03 eseguito nel 2022, nonché il risultato di una prova di taglio diretto eseguito nello stesso sondaggio (SP03-CI2 in Tabella 1).

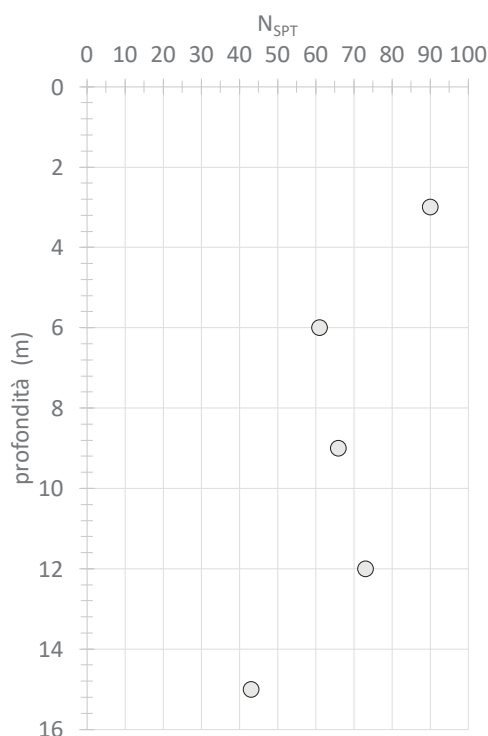


Figura 3. CGC1– Resistenza penetrometrica N_{SPT}

**Relazione geotecnica - Galleria
Campomarino – Galleria Naturale**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	8

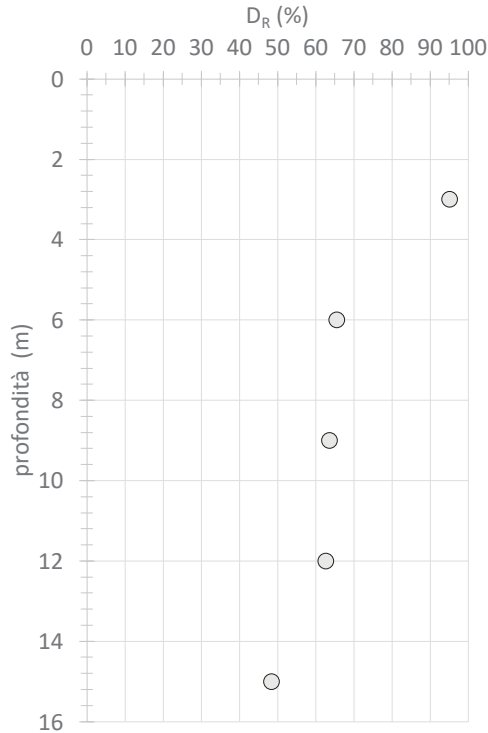
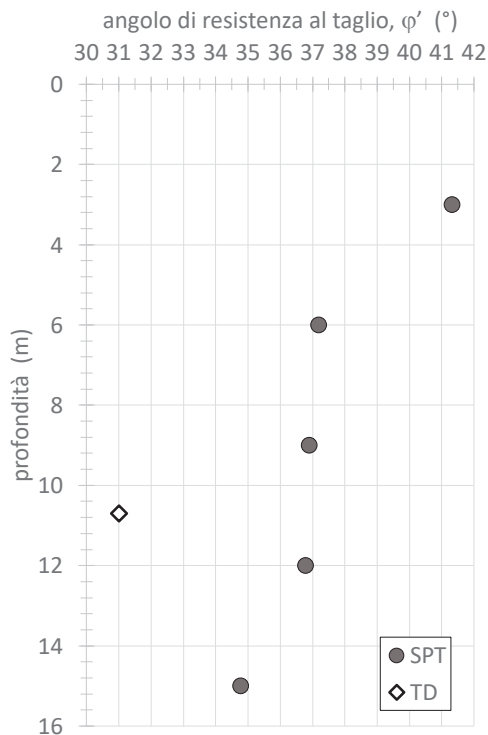


Figura 4. CGC1– Densità relativa



MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC GE	OPERA 7 DISCIPLINA GN 01 00			PROGR 001

Figura 5. CGC1 – Angolo di resistenza al taglio

I valori dell'angolo di attrito ricavati (Schmertmann, 1975) dalle correlazioni delle prove penetrometriche dinamiche con la densità relativa (Bazaraa, 1967) (Figura 4) sono compresi tra 35° e 41° (Figura 5). La prova di taglio diretto fornisce un valore più basso (31°) che può essere assunto come limite inferiore. Nella prova di taglio diretto è stata stimata anche una coesione drenata di 18 kPa. Tuttavia, considerata l'eterogeneità della formazione e la mancanza di un numero di determinazioni statisticamente significativo, si assume cautelativamente una coesione efficace non superiore a 5 kPa.

Il modulo di deformabilità medio dei CGC1 è stato desunto sia dai risultati delle prove sismiche in foro, assumendone valore mobilitato al livello di deformazione atteso pari al 15% del valore a piccolissime deformazioni ($E=0.15 \cdot E_{0,DH}$), sia dalle indagini in foro (prove dilatometriche, E_G , prove penetrometriche, E_{SPT}), ottenendo un campo di valori di E' compreso tra 20 e 80 MPa (Figura 6).

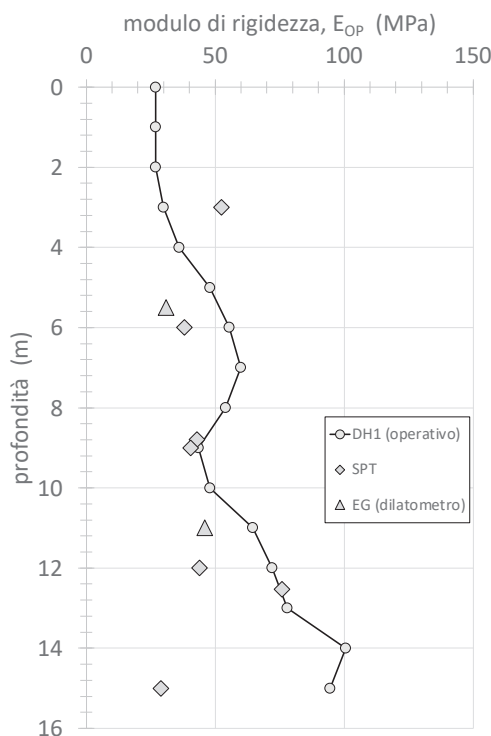


Figura 6. CGC1 – Moduli di rigidezza

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC GE	OPERA 7 DISCIPLINA GN 01 00			PROGR 001

2.3.1.3 CARATTERISTICHE IDRAULICHE

Le prove di permeabilità di tipo Lefranc, eseguite nei sondaggi S1GALL_bis e S2GALL_bis, indicano valori compresi tra 10^{-5} m/s e 10^{-6} m/s (Figura 7).

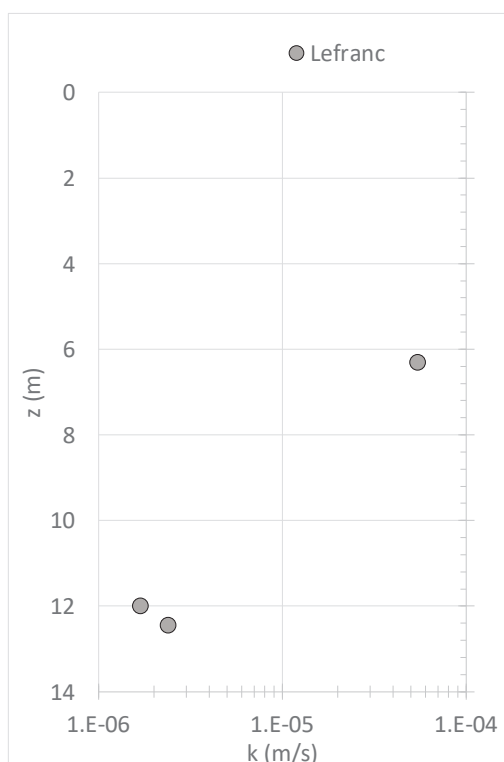


Figura 7. CGC1 – Coefficiente di permeabilità

2.3.2 CONGLOMERATI DI CAMPOMARINO IN FACIES ARGILLOSO-LIMOSA (CGC2)

La facies inferiore della formazione dei Conglomerati di Campomarino è costituita prevalentemente da argille con limo debolmente sabbiose.

2.3.2.1 CARATTERISTICHE FISICHE

L'analisi granulometrica eseguita sui campioni prelevati nella formazione CGC2 consente di classificare il terreno come argilla con limo, a tratti sabbiosa (Figura 8). Il peso specifico delle particelle è mediamente pari a 26.8 kN/m^3 (Figura 9). Il peso dell'unità di volume è compreso tra 18 e 20 kN/m^3 (Figura 10), il suo peso secco varia tra 14 e 16 kN/m^3 (Figura 11). Il contenuto d'acqua naturale è compreso tra 25% e 35% (Figura 12); i valori dei limiti di Atterberg e dell'indice di plasticità, compreso tra 30% e 60% sono riportati nelle Figure

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC GE	OPERA 7 DISCIPLINA GN 01 00			PROGR 001

13-15. La carta di plasticità (Figura 16) mostra che i campioni di CGC2 prelevati ricadono tra le argille inorganiche di elevata plasticità. Il terreno presenta indice di consistenza compreso tra 0.8 e 1 (Figura 17).

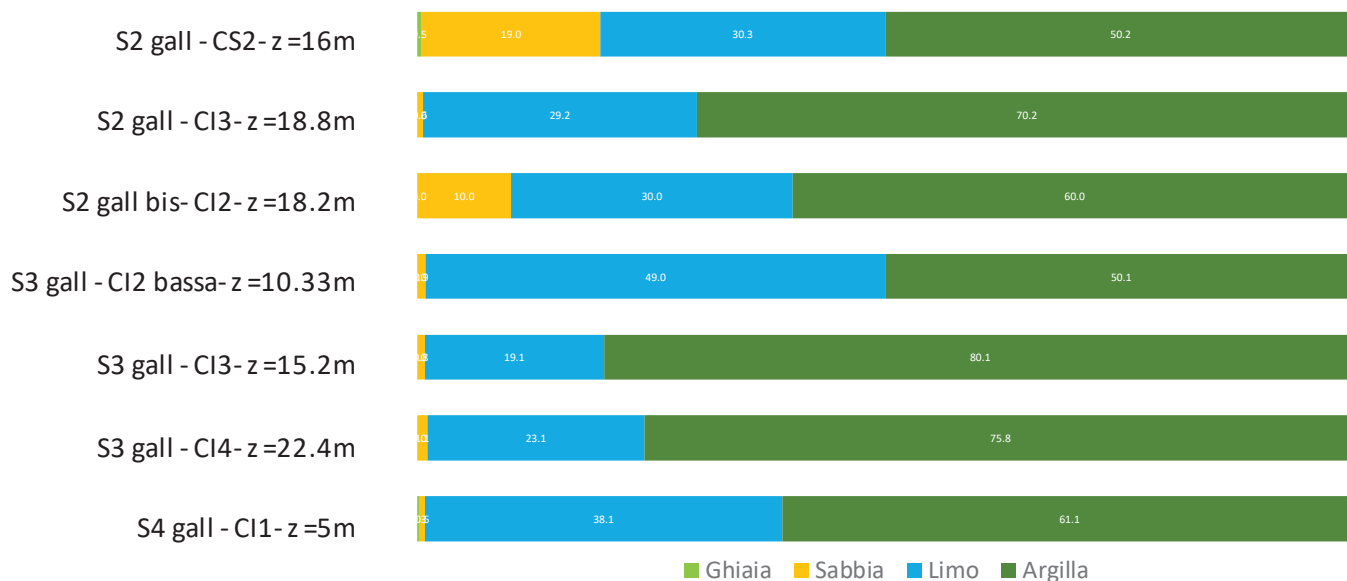


Figura 8. Analisi granulometrica CGC2

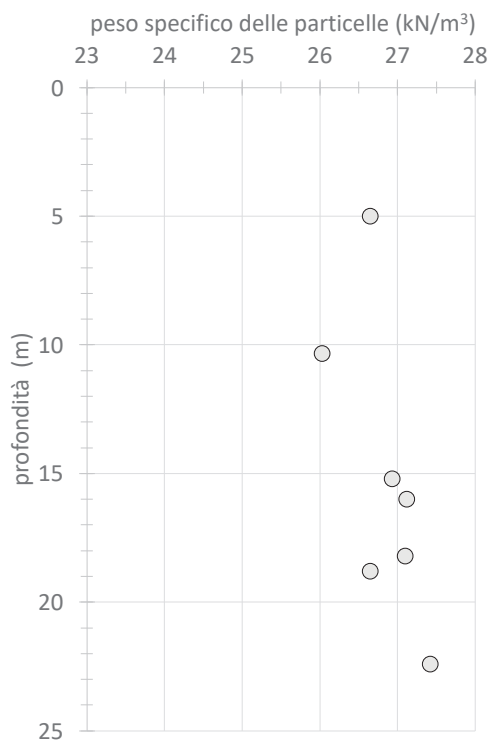


Figura 9. CGC2 - Peso specifico delle particelle

**Relazione geotecnica - Galleria
Campomarino – Galleria Naturale**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	12

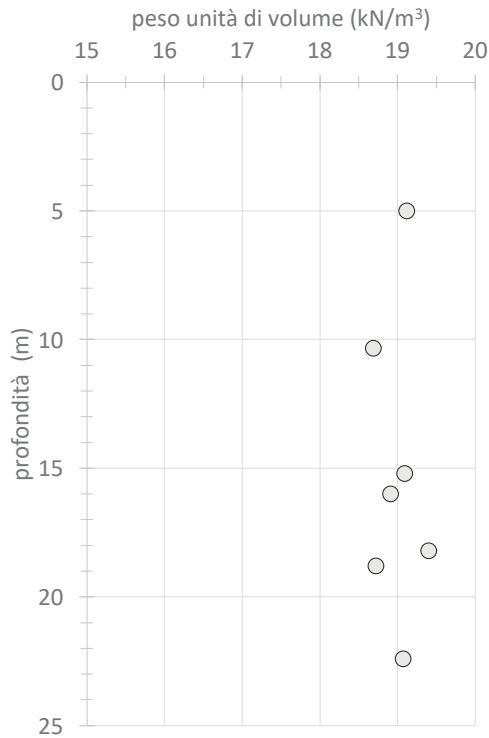


Figura 10. CGC2 - Peso dell'unità di volume

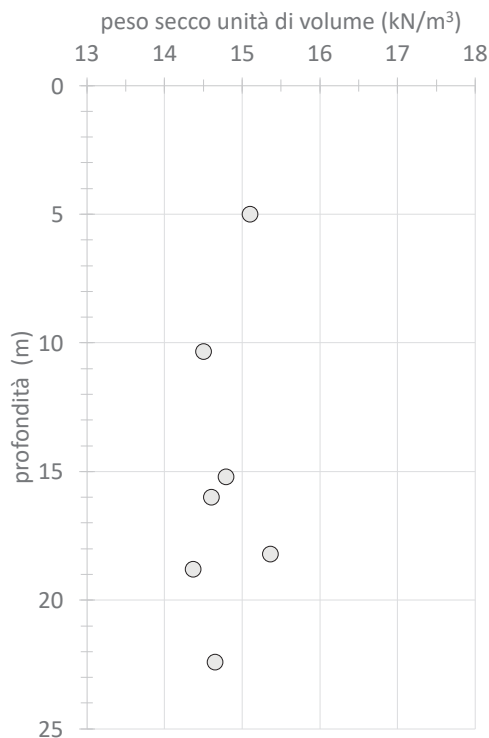


Figura 11. CGC2 - Peso secco dell'unità di volume

**Relazione geotecnica - Galleria
Campomarino – Galleria Naturale**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	13

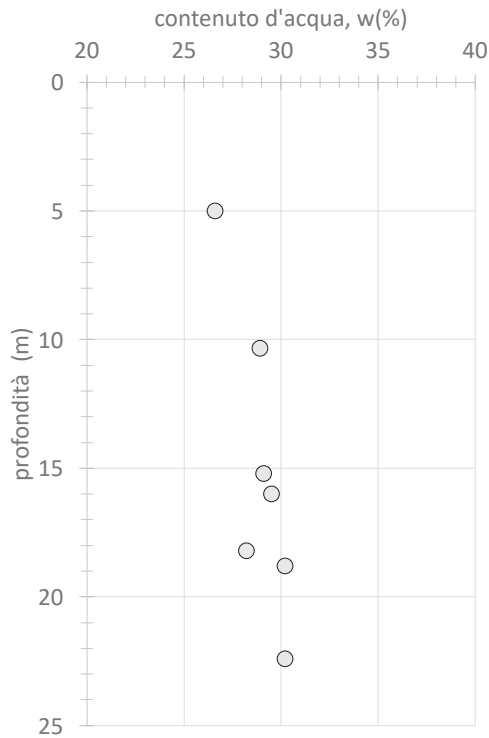


Figura 12. CGC2 - Contenuto d'acqua

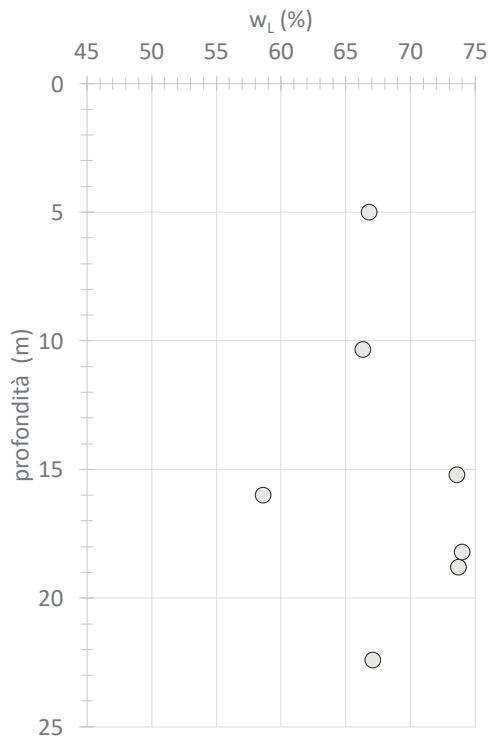


Figura 13. CGC2 - Contenuto d'acqua al limite liquido

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC GE	OPERA 7 DISCIPLINA GN 01 00			PROGR 001

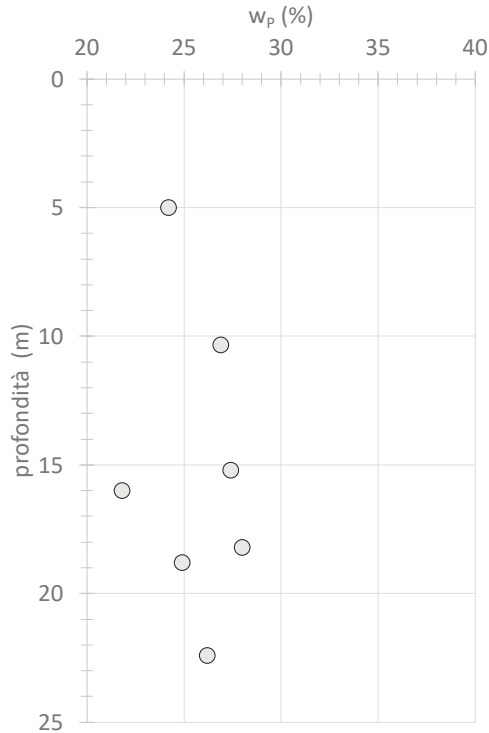


Figura 14. CGC2 - Contenuto d'acqua al limite plastico

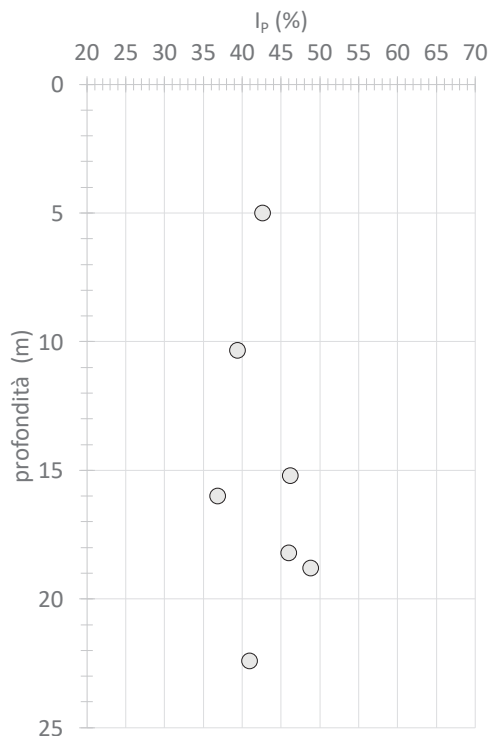


Figura 15. CGC2 - Indice di plasticità

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC GE	OPERA 7 DISCIPLINA GN 01 00			PROGR 001

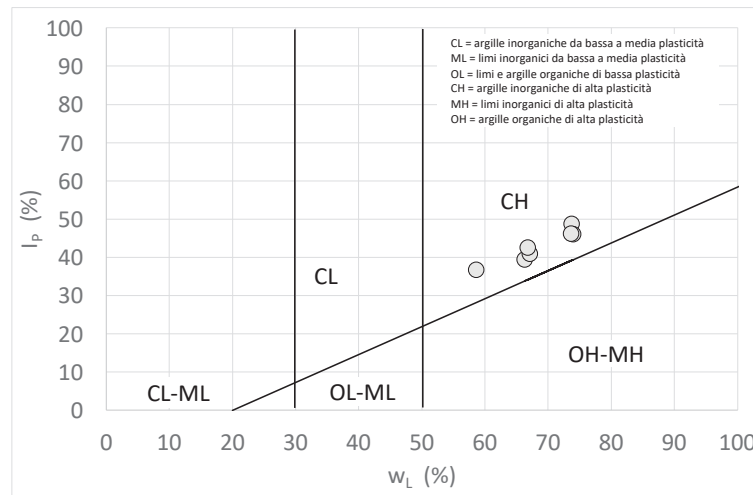


Figura 16. CGC2 - Carta di Casagrande

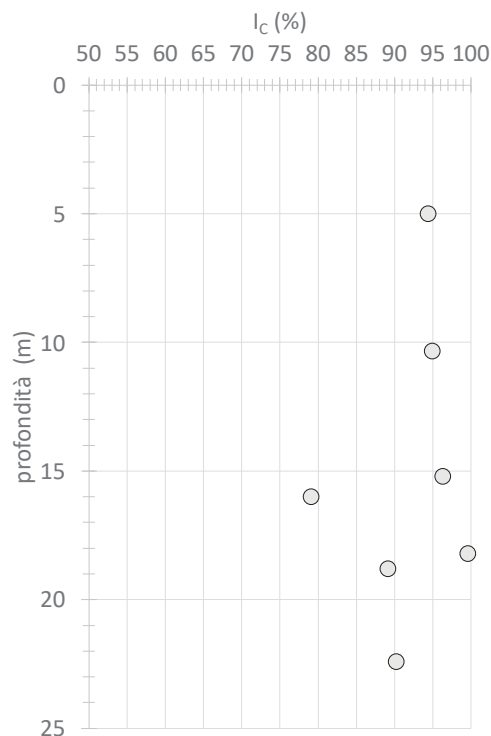


Figura 17. CGC2 - Indice di consistenza

2.3.2.2 CARATTERISTICHE MECCANICHE

Le prove eseguite in laboratorio su campioni indisturbati prelevati nel corso della campagna 2017 hanno consentito di determinare le caratteristiche meccaniche dei Conglomerati di Campomarino in facies argilloso-limosa.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C

Sono state eseguite prove triassiali del tipo consolidato non drenato (CIU) e prove di taglio diretto, dalle quali è stato possibile stimare valori dell'angolo di attrito compresi tra 18° e 21° (Figura 18) e valori della coesione efficace compresi tra 10 e 30 kPa (Figura 19). Sono state inoltre eseguite prove triassiali non consolidate non drenate che forniscono valori di coesione non drenata compresi tra 90 e 150 kPa (Figura 20).

Il modulo di deformabilità dei Conglomerati di Campomarino in facies argilloso-limosa è stato desunto sia dai risultati delle prove sismiche in foro, scalati per tener conto di un livello di deformazione operativo sulla base delle prove in colonna risonante ($E=0.15 \cdot E_{0,DH}$), sia dalle indagini in foro (prove pressiometriche, E_M , $E_{M,UR}$), sia dalle prove triassiali non drenate (al 50% del deviatore a rottura), ottenendo un campo di valori di E compreso tra 20 e 80 MPa (Figura 21).

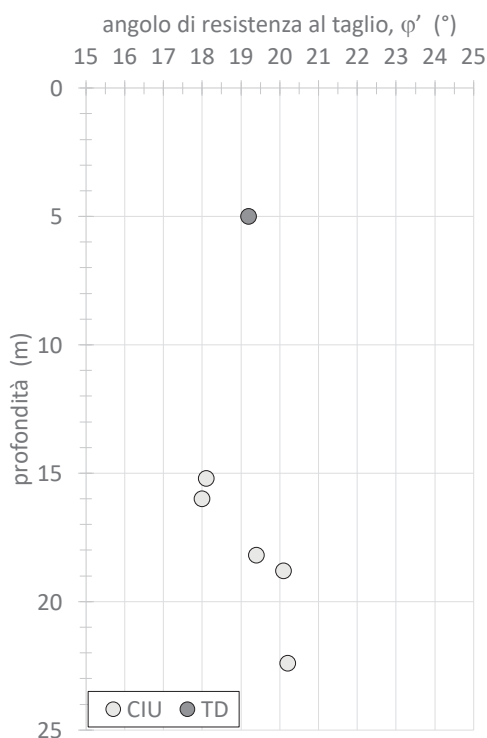


Figura 18. CGC2 - Angolo di resistenza al taglio

**Relazione geotecnica - Galleria
Campomarino – Galleria Naturale**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	17

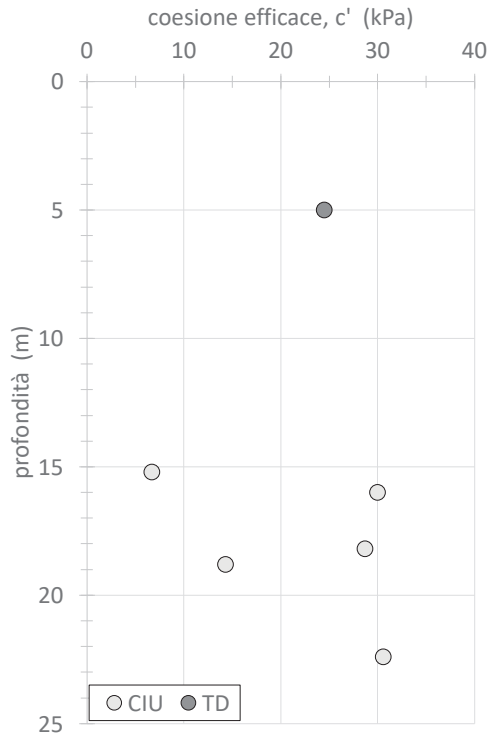


Figura 19. CGC2 - Coesione efficace

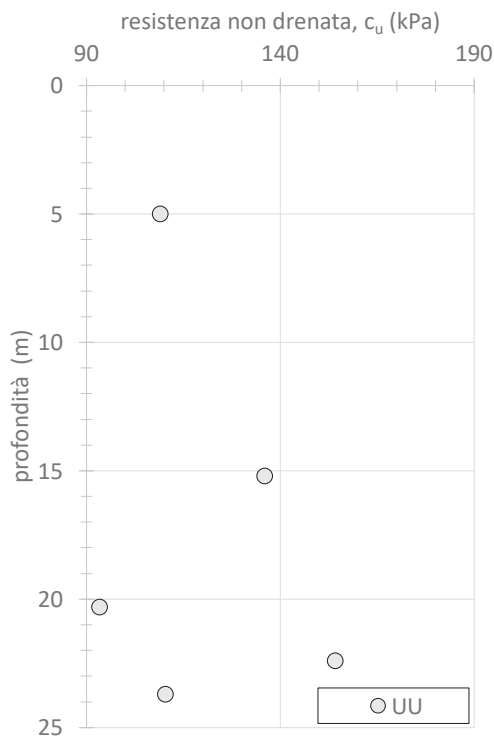


Figura 20. CGC2 - Resistenza al taglio non drenata (coesione non drenata)

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONDIZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC GE	OPERA 7 DISCIPLINA GN 01 00			PROGR 001

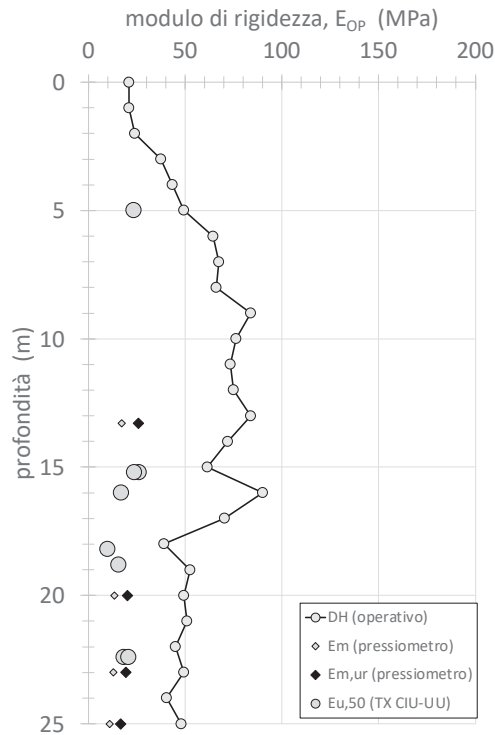


Figura 21. CGC2 - Moduli di rigidezza

2.3.2.3 CARATTERISTICHE IDRAULICHE

Le prove di permeabilità di tipo Lefranc, eseguite nei sondaggi S2GALL, S2GALL_bis, S3GALL e S4GALL, indicano valori compresi tra 10^{-6} m/s e 10^{-8} m/s (Figura 22).

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	19

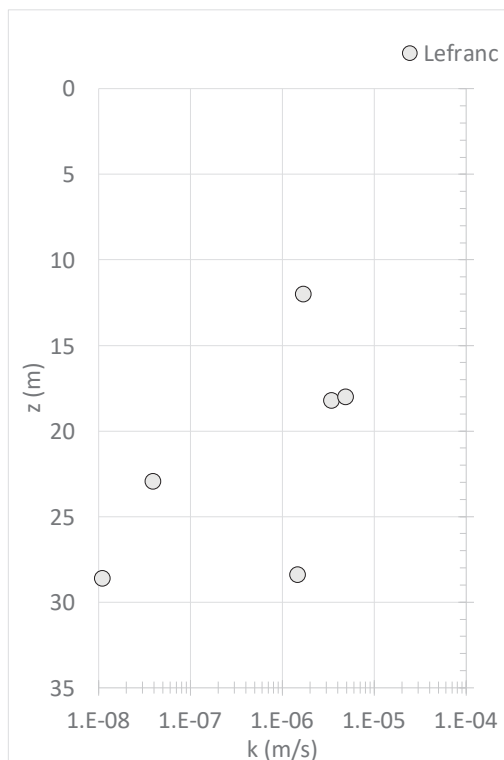


Figura 22. CGC2 - Coefficiente di permeabilità

2.3.3 FORMAZIONE DELLE SABBIE DI SERRACAPRIOLA (SSR)

La formazione delle Sabbie di Serracapriola è costituita prevalentemente da sabbie con limo e sabbie limose, debolmente argillose.

2.3.3.1 CARATTERISTICHE FISICHE

L'analisi granulometrica eseguita sui campioni prelevati nella formazione SSR consente di classificare il terreno come sabbie con limo e sabbie limose debolmente argillose (Figura 23). Il peso specifico dei grani varia tra 26.3 e 26.7 kN/m³ (Figura 24); il peso dell'unità di volume è compreso tra 17.5 e 21 kN/m³ (Figura 25), il peso secco dell'unità di volume tra 15.8 e 18.4 (Figura 26).

MANDATARIA  MANDANTI 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
	LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	20

- S1 gall bis- CI1- z =13.6m
- S1 gall - CR6- z =30.5m
- S1 gall - CR7- z =39.7m
- S1 gall - CR8- z =45m
- S1 gall - CR9 alta- z =53.8m
- S2 gall - CR5- z =38m
- S2 gall - CR8- z =55.55m
- S3 gall - CR5- z =31.2m
- S3 gall - CR6- z =36.8m
- S4 gall - CR2- z =16.65m
- S4 gall - CI3- z =24.35m
- S4 gall - CR5- z =35.7m

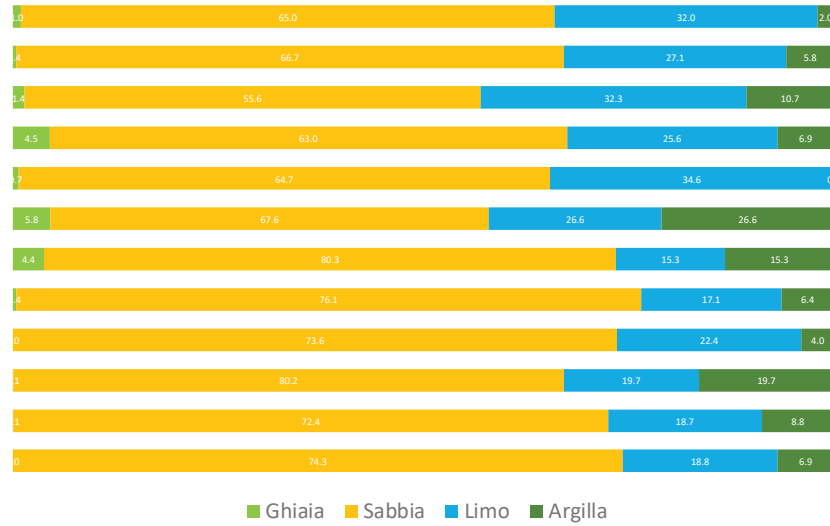


Figura 23. Analisi granulometrica SSR

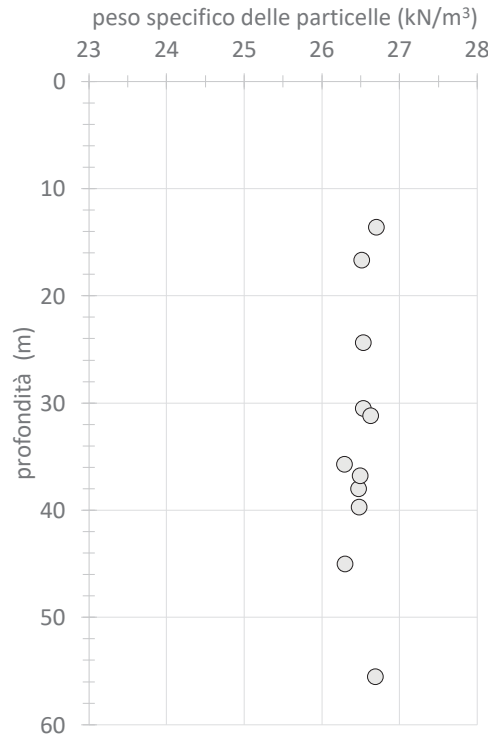


Figura 24. SSR - Peso specifico delle particelle

**Relazione geotecnica - Galleria
Campomarino – Galleria Naturale**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	21

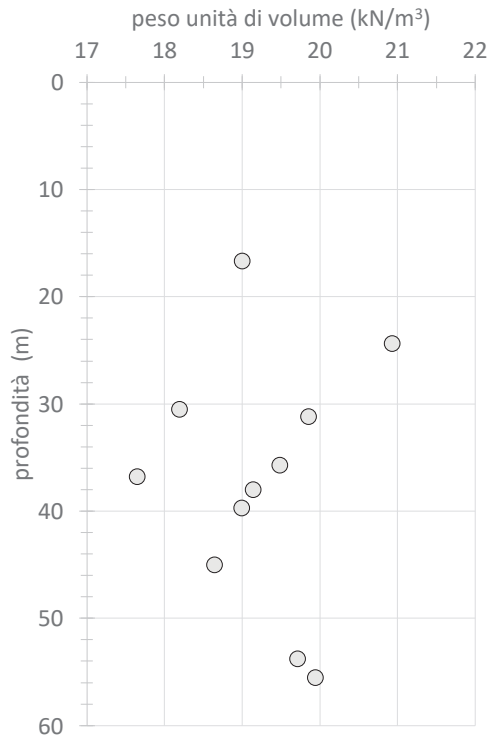


Figura 25. SSR -Peso dell'unità di volume

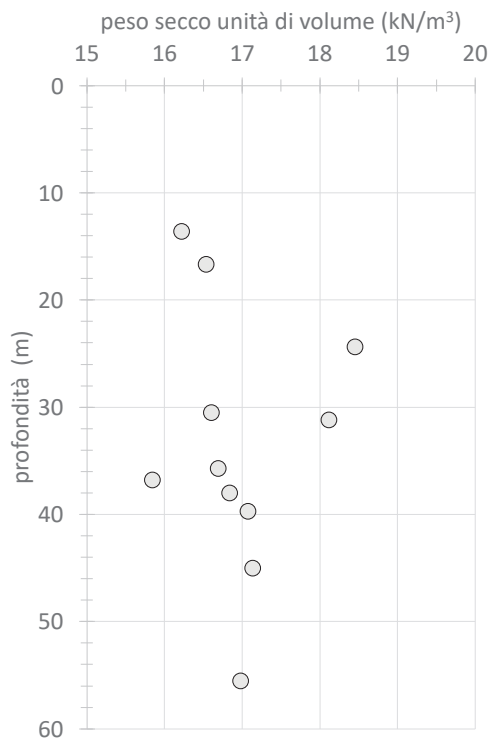


Figura 26. SSR -Peso secco dell'unità di volume

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC GE	OPERA 7 DISCIPLINA GN 01 00			PROGR 001

2.3.3.2 CARATTERISTICHE MECCANICHE

Per la difficoltà nel prelevare campioni indisturbati, al fine di definire l'angolo di resistenza a taglio delle Sabbie di Serracapriola sono stati utilizzati i risultati delle prove prove SPT eseguite nei fori di sondaggio (Figura 27).

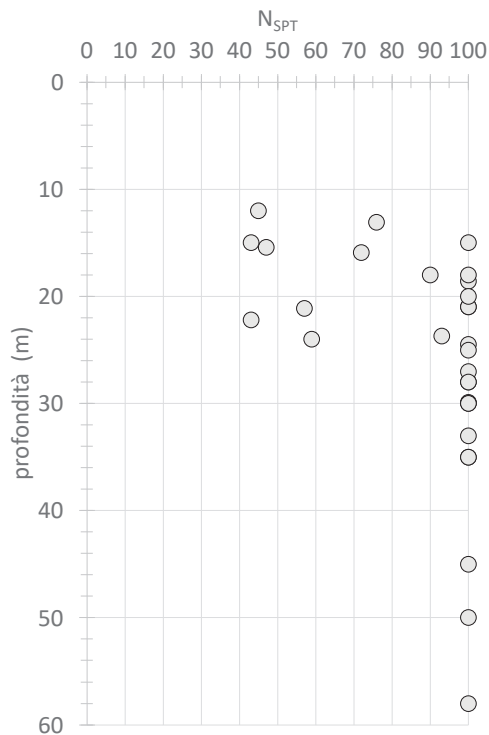


Figura 27. SSR – Resistenza penetrometrica N_{SPT}

**Relazione geotecnica - Galleria
Campomarino – Galleria Naturale**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	23

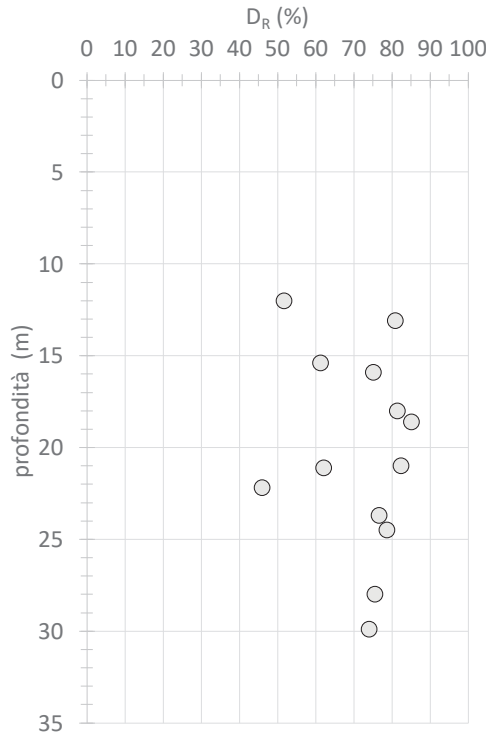


Figura 28. SSR – Densità relativa

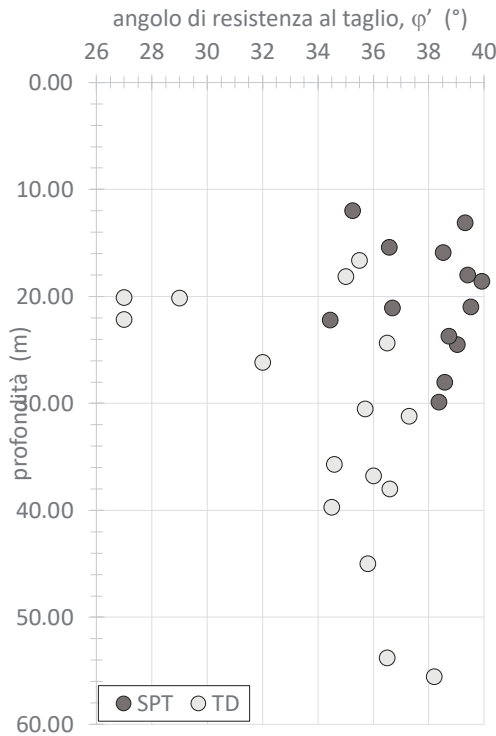


Figura 29. SSR – Angolo di resistenza al taglio

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	24

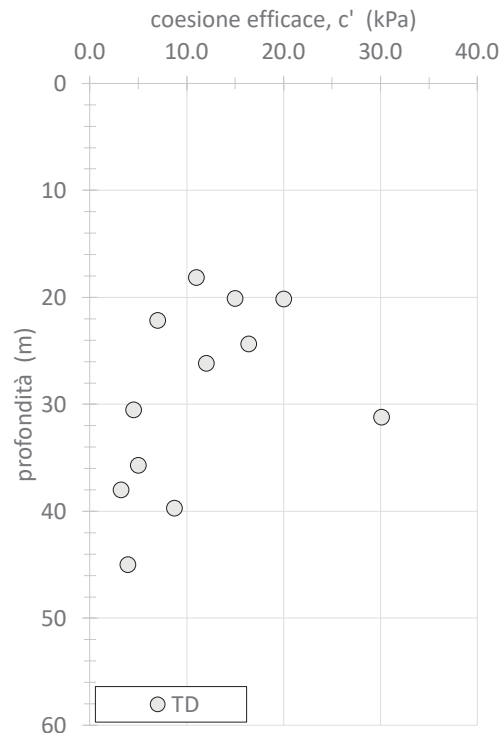


Figura 30. SSR – Coesione efficace

I valori dell'angolo di attrito ricavati (Schmertmann, 1975) dalle correlazioni delle prove penetrometriche dinamiche con la densità relativa (Bazaraa, 1967) (Figura 28) sono compresi tra 34° e 40° (Figura 29). Nella stessa figura sono riportati anche i risultati delle prove di taglio diretto da campioni rimaneggiati prelevati a profondità superiori (valori compresi tra 34° e 38°). Valori ricompresi tra 27° e 29° sono stati ottenuti su tre campioni prelevati a profondità intorno a 20 m. Dalle prove di taglio diretto effettuate su campioni rimaneggiati è stata stimata anche una coesione drenata per lo più compresa tra 3 e 20 kPa (Figura 30). Tuttavia, stante l'eterogeneità della formazione si ritiene, cautelativamente, di non assumere valori superiori a 5 kPa.

Il modulo di deformabilità medio delle Sabbie di Serracapriola è stato desunto sia dai risultati delle prove sismiche in foro, assumendone valore mobilitato al livello di deformazione atteso pari al 15% del valore a piccolissime deformazioni ($E=0.15 \cdot E_{0,DH}$), sia dalle indagini in foro (prove dilatometriche, E_G , $E_{UR,3}$), ottenendo un campo di valori di E' compreso tra 100 e 400 MPa alla profondità della galleria, in funzione del livello di deformazione mobilitato (Figura 31).

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	25

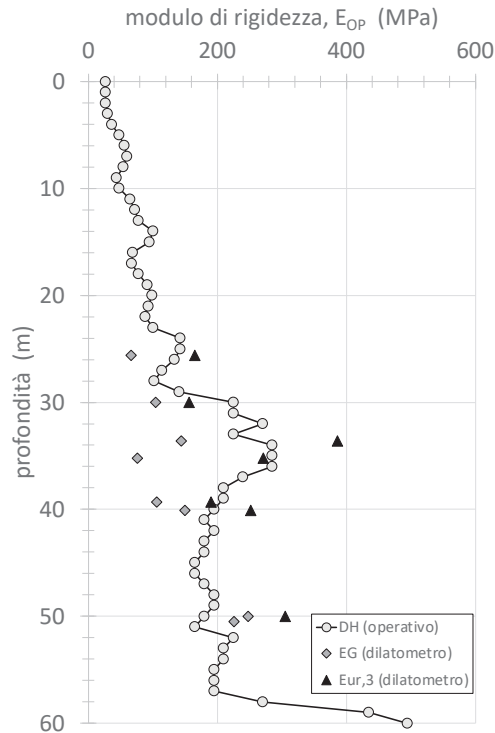


Figura 31. SSR – Moduli di rigidezza

2.3.3.3 CARATTERISTICHE IDRAULICHE

Le prove di permeabilità di tipo Lefranc e Lugeon, eseguite nei sondaggi S1GALL, S1GALL_bis, S2GALL, S3GALL e S4GALL (2017) nonché SPE03, SPE04.2, SPE04.3, SPE04.4 (2022), indicano valori per lo più compresi tra 10^{-5} m/s e 10^{-6} m/s, con qualche valore inferiore a 10^{-7} m/s (Figura 32).

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC GE	OPERA 7 DISCIPLINA GN 01 00			PROGR 001

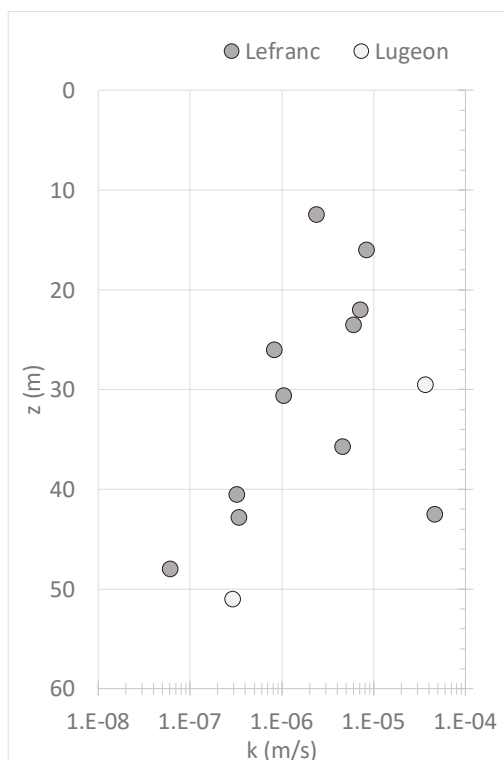


Figura 32. SSR - Coefficiente di permeabilità

2.3.4 ARGILLE SUBAPPENNINE (ASP)

La formazione delle Argille Subappennine è costituita prevalentemente da argille limose e limi argillosi con sottili intercalazioni di argille marnose, limi sabbiosi e sabbie fini. Tale formazione è stata solo marginalmente interessata dalle indagini integrative effettuate in fase di progettazione esecutiva, ed esclusivamente in prossimità dell'imbocco lato Termoli, dal momento che il tetto della formazione si approfondisce procedendo in direzione Lesina raggiungendo profondità di scarso interesse per lo scavo a distanza di circa 250 m dall'imbocco stesso. La caratterizzazione fisico-meccanica delle Argille Subappennine è basata sui risultati della sola campagna del 2017.

2.3.4.1 CARATTERISTICHE FISICHE

L'analisi granulometrica, eseguita sui campioni prelevati nella formazione ASP dai sondaggi S17v e S17vbis effettuati nell'area prospiciente l'imbocco lato Termoli della galleria, consente di classificare il terreno come limo con argilla (Figura 33). Il peso specifico delle particelle è pari a 27.1 kN/m³ (Figura 34). Il peso dell'unità di volume è compreso per lo più tra 20 e 21 kN/m³ (Figura 35), il suo peso secco varia tra 15 e 17.5 kN/m³ (Figura 36). Il contenuto d'acqua naturale è compreso tra 20% e 26% (Figura 37); i valori dei limiti di Atterberg

MANDATARIA  <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>	MANDANTI  <small>S.P.A.</small>	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC GE	OPERA 7 DISCIPLINA GN 01 00			PROGR 001

e dell'indice di plasticità, compreso tra 20% e 30% sono riportati nelle Figure 38, 39 e 40. La carta di plasticità (Figura 41) mostra che i campioni di Argille Subappennine prelevati ricadono tra le argille inorganiche di medio-bassa plasticità. Il terreno presenta indice di consistenza sempre superiore a 0.5 e per lo più compreso tra 0.8 e 1.05 (Figura 42).

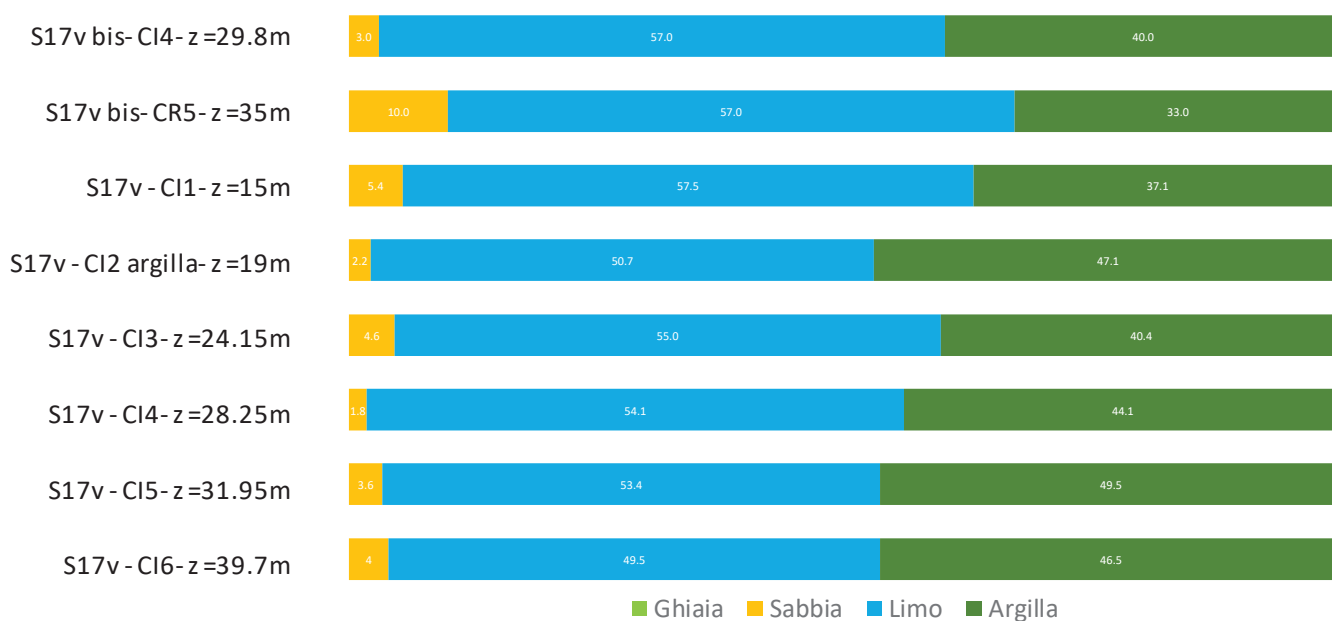


Figura 33. Analisi granulometrica ASP

**Relazione geotecnica - Galleria
Campomarino – Galleria Naturale**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	28

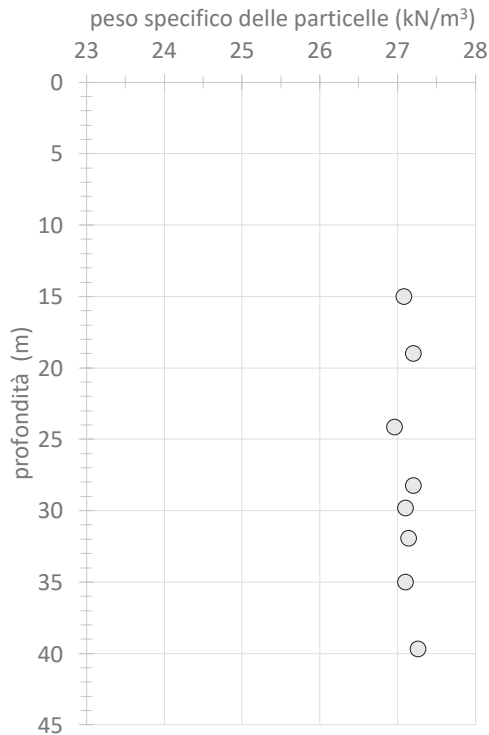


Figura 34. ASP - Peso specifico delle particelle

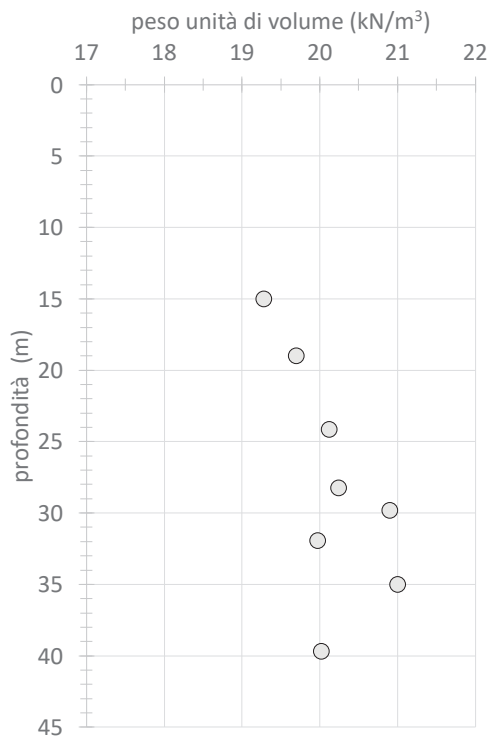


Figura 35. ASP - Peso dell'unità di volume

**Relazione geotecnica - Galleria
Campomarino – Galleria Naturale**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	29

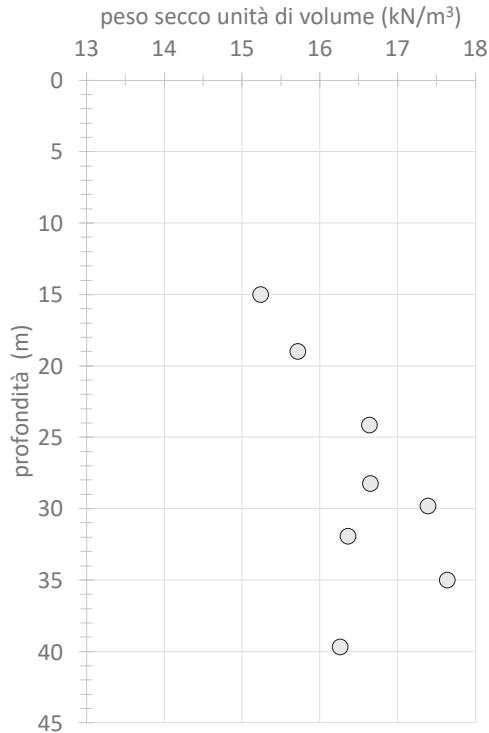


Figura 36. ASP - Peso secco dell'unità di volume

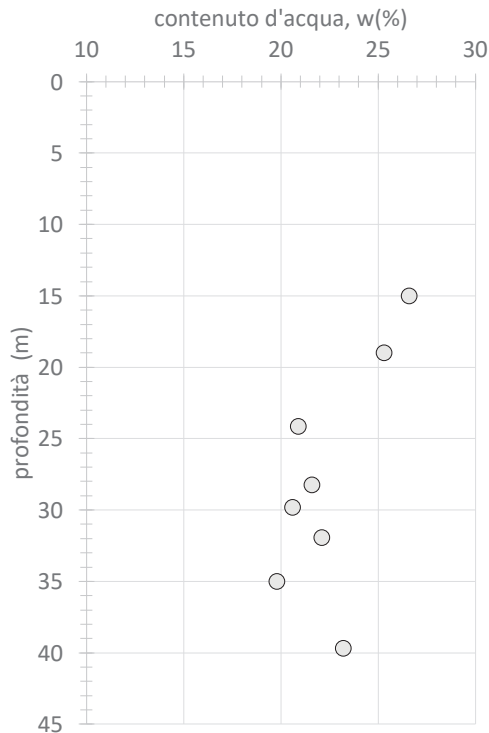


Figura 37. ASP - Contenuto d'acqua

**Relazione geotecnica - Galleria
Campomarino – Galleria Naturale**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	30

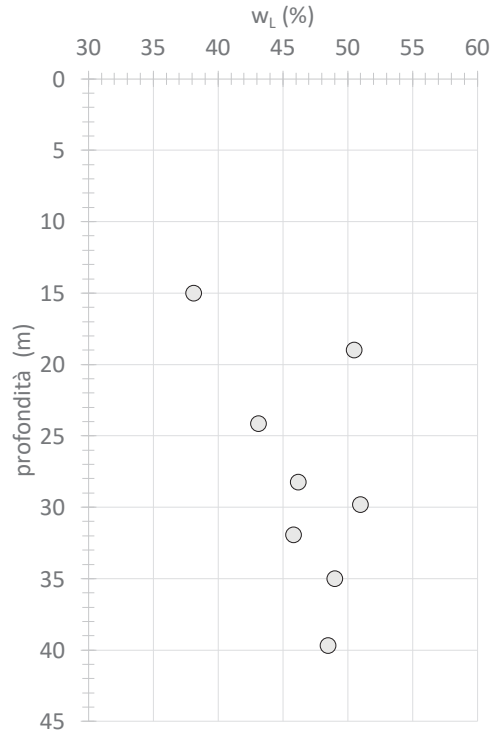


Figura 38. ASP - Contenuto d'acqua al limite liquido

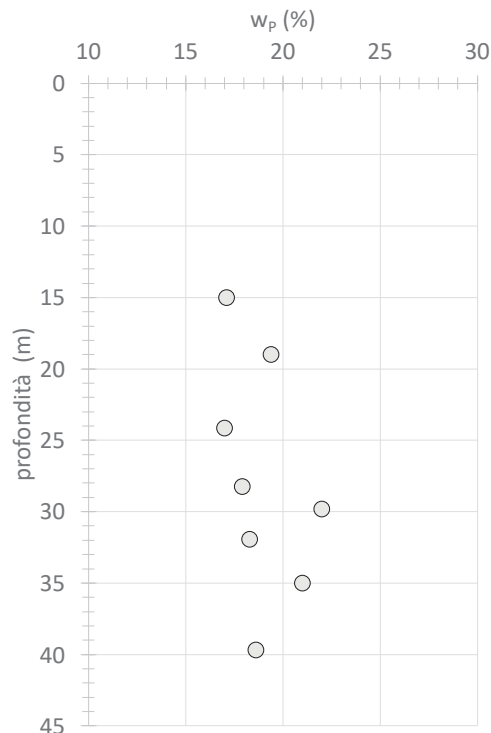


Figura 39. ASP - Contenuto d'acqua al limite plastico

**Relazione geotecnica - Galleria
Campomarino – Galleria Naturale**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	31

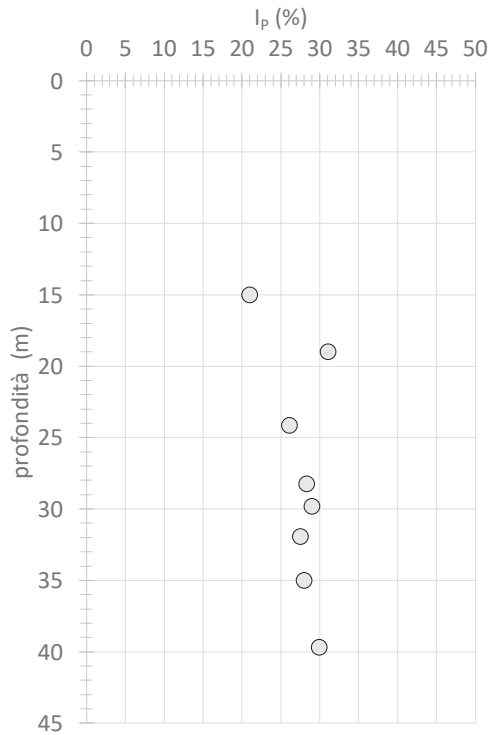


Figura 40. ASP - Indice di plasticità

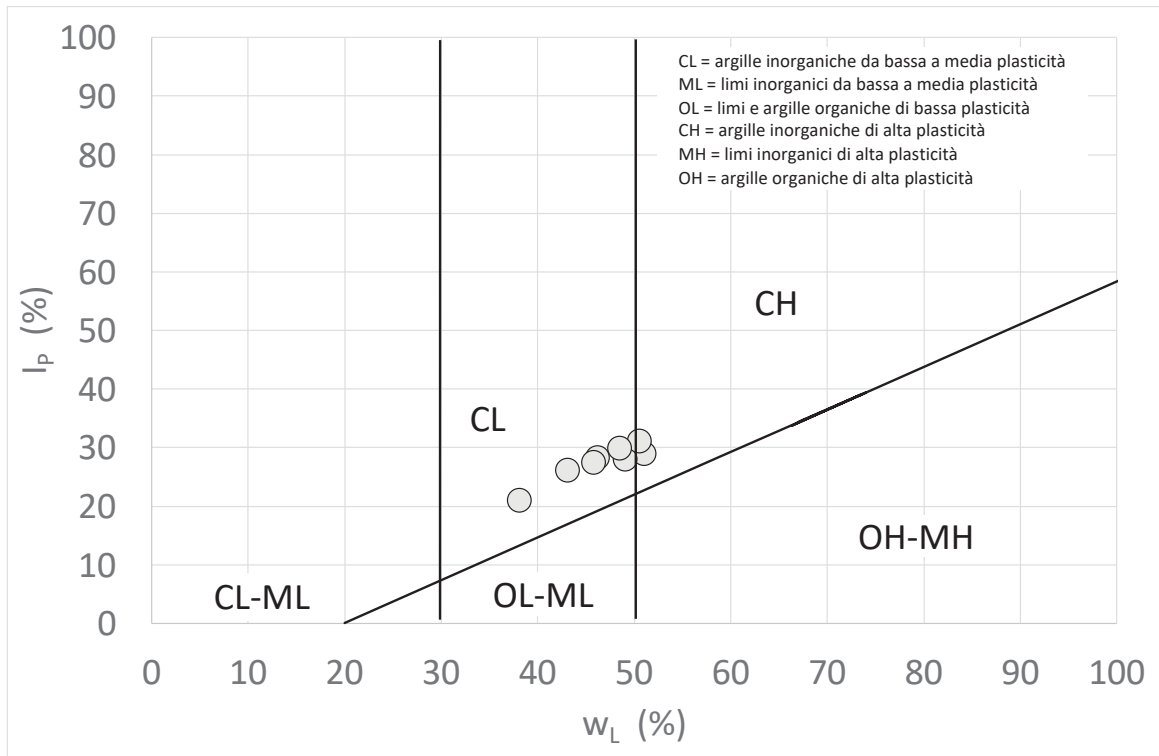


Figura 41. ASP - Carta di Casagrande

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC GE	OPERA 7 DISCIPLINA GN 01 00			PROGR 001

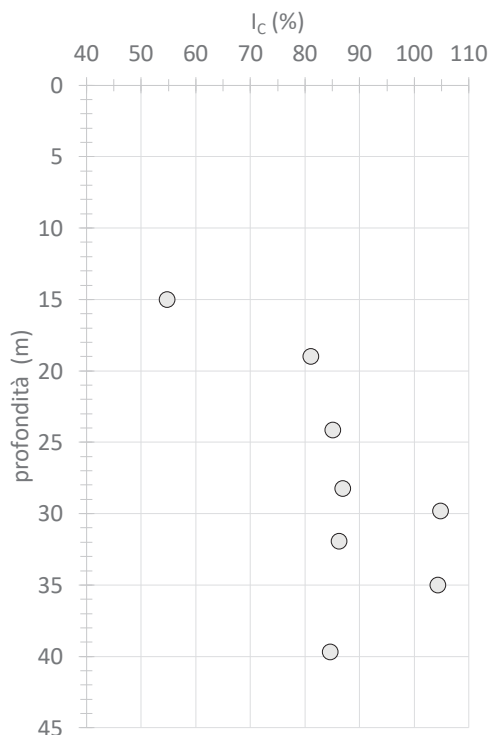


Figura 42. ASP - Indice di consistenza

2.3.4.2 CARATTERISTICHE MECCANICHE

Le prove eseguite in laboratorio su campioni indisturbati prelevati nel corso della campagna 2017 hanno consentito di determinare le caratteristiche meccaniche delle Argille Subappennine.

Sono state eseguite prove triassiali del tipo consolidato non drenato (CIU) e prove di taglio diretto, dalle quali è stato possibile stimare valori dell'angolo di attrito prevalentemente compresi tra 21° e 24° (Figura 43) e valori della coesione efficace compresi tra 20 kPa e 30 kPa (Figura 44). Sono state inoltre eseguite prove triassiali non consolidate non drenate che forniscono valori di coesione non drenata compresi tra 220 kPa e 300 kPa, e due prove di compressione a espansione laterale libera che forniscono valori esterni all'intervallo (Figura 45).

Il modulo di deformabilità delle Argille Subappennine è stato desunto dalle misure di velocità di propagazione delle onde di taglio che risultano dalle prove Re.Mi. (RA, RB) che ne intercettano la parte sommitale. Elaborando le prove e assumendo che il modulo di deformabilità E, mobilitato al livello di deformazione atteso a seguito dello scavo della galleria, sia pari al 20% del modulo elastico a piccolissime deformazioni, E₀, si è ottenuto un campo di valori di E compreso tra 100 e 300 MPa.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC GE	OPERA 7 DISCIPLINA GN 01 00			PROGR 001

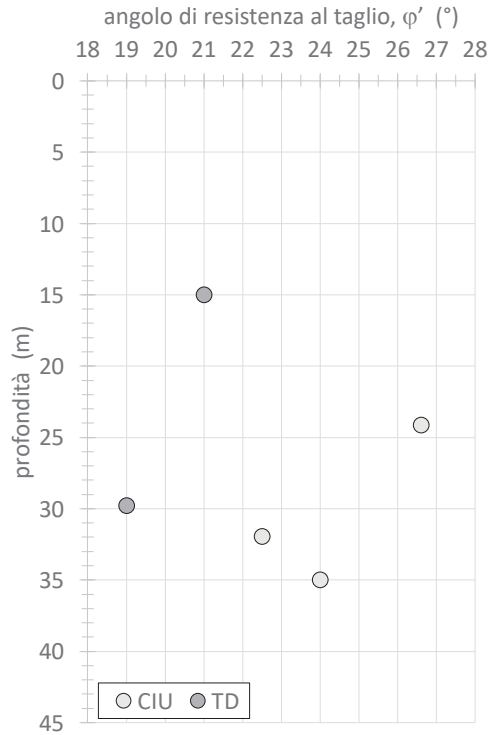


Figura 43. ASP - Angolo di resistenza al taglio

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC GE	OPERA 7 DISCIPLINA GN 01 00			PROGR 001

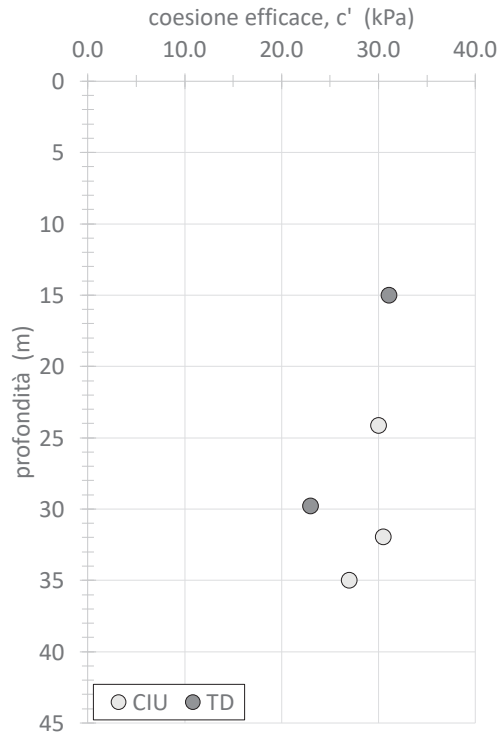


Figura 44. ASP - Coesione efficace

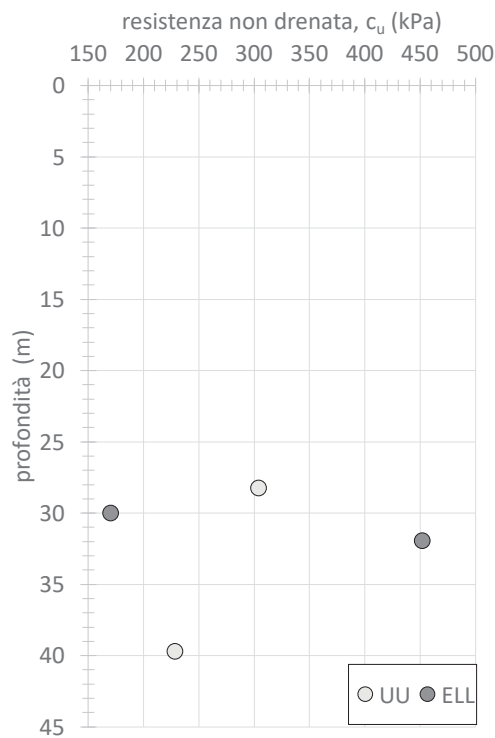


Figura 45. ASP - Resistenza al taglio non drenata (coesione non drenata)

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C

2.3.4.3 CARATTERISTICHE IDRAULICHE

È stata eseguita una singola prova di permeabilità di tipo Lefranc nel sondaggio S17v (2017) tra 15 e 17 m dal piano di campagna da cui è stato ricavato un valore del coefficiente di permeabilità k pari a 10^{-6} m/s (Figura 46).

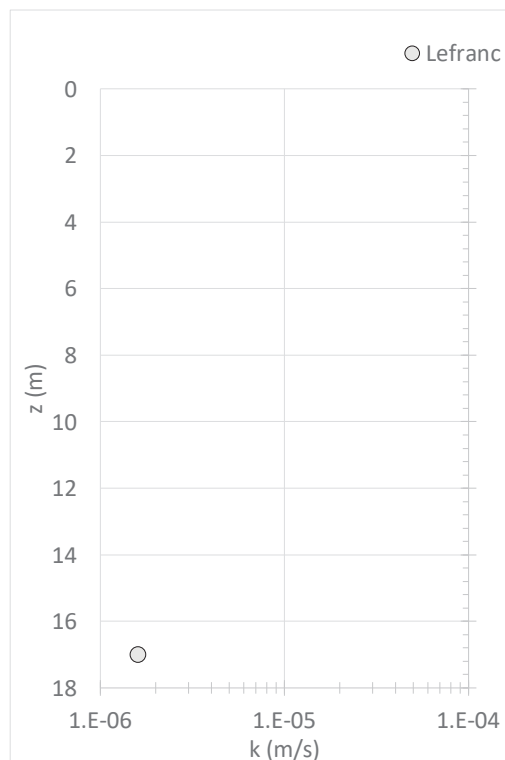


Figura 46. ASP - Coefficiente di permeabilità

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C

2.3.5 SINTESI

Un riepilogo dei valori dei parametri geotecnici delle unità stratigrafiche che interessano lo scavo della Galleria Campomarino è riportato in Tabella 2.

Tabella 2. Sintesi dei parametri geotecnici delle unità stratigrafiche

unità	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ'	c_u (kPa)	E (MPa)
CGC1 (Conglomerati di Campomarino in facies sabbiosa)	19÷20	0÷5	30°÷40°	-	20÷80
CGC2 (Conglomerati di Campomarino in facies argilloso-limosa)	19÷20	10÷30	18°÷21°	100÷150	20÷80
SSR (Sabbie di Serracapriola)	19÷20	0÷5	34°÷38°	-	100÷400
ASP (Argille Subappennine)	20÷21	20÷30	21°÷24°	200÷300	100÷300

2.4 RISCHI POTENZIALI

Sono di seguito descritte le principali criticità, legate al contesto geologico, idrogeologico, geotecnico e ambientale, che potrebbero avere ripercussioni sulla fase realizzativa delle gallerie. La mappatura dei diversi rischi individuati nella fase conoscitiva e la relativa gestione definita nella fase di terapia (cfr. Relazione tecnica e di calcolo Galleria Campomarino) sono illustrate in forma sintetica negli elaborati dei profili geotecnici.

2.4.1 INSTABILITA' DEL FRONTE E DEL CAVO

Le tratte di galleria in materiali incoerenti (sopra o sotto falda), nonché quelle attraversanti una transizione litologica, possono presentare rischio potenziale di instabilità del fronte e del cavo.

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C

2.4.2 VENUTE D'ACQUA

Nella formazione di sabbia di Serracapriola, in ragione della conducibilità idraulica e del carico idraulico sull'area di scavo, sono possibili venute d'acqua in galleria. In fase di progettazione definitiva veniva rilevato un valore massimo della quota piezometrica a circa 8 m al di sopra del piano del ferro della galleria. Sulla base dei rilievi effettuati durante la progettazione esecutiva la quota piezometrica massima risulta essere a circa 12 m al di sopra dell'estradosso della calotta della galleria.

2.4.3 INTERFERENZA CON OPERE PRE-ESISTENTI

L'analisi dei rilievi topografici di progetto ha consentito di individuare 25 edifici potenzialmente interferenti con lo scavo della galleria di linea.

2.4.4 INTERFERENZA CON SORGENTI

Come riportato nella relazione geologica del progetto definitivo, nell'area interessata dalla realizzazione della galleria Campomarino non sono state individuate emergenze sorgentizie né ve n'è traccia in bibliografia e negli archivi degli enti operanti sul territorio,

2.4.5 ESPOSIZIONE AMBIENTALE E ATTACCO CHIMICO

Per la valutazione della classe di esposizione del calcestruzzo si fa riferimento alla UNI-EN 206-2016 e alla UNI 11104-2016; quest'ultima, in applicazione della EN 206, stabilisce le misure preventive da adottare in termini di massimo rapporto acqua/cemento (a/c), minima classe di resistenza e minimo contenuto in cemento (kg/m^3) (cfr. Relazione tecnica e di calcolo Galleria Campomarino).

2.4.6 SISMICITÀ

Sulla base della relazione geologica, l'area interessata dalla realizzazione della galleria è caratterizzata da sismicità superficiale (ipocentri a profondità comprese nell'intervallo 5÷15 km). I parametri sismici di progetto per la realizzazione delle opere previste sono da determinarsi con riferimento al D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 (cfr. Relazione tecnica e di calcolo Galleria Campomarino).

3. FASE DI DIAGNOSI

3.1 COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO

Sulla base del modello geotecnico si procede all'analisi del comportamento del fronte di scavo in assenza di interventi di stabilizzazione nel breve e nel lungo termine.

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C

Il comportamento del nucleo-fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, viene qui ricondotto alle tre categorie proposte da Lunardi (2006): *Categoria A: nucleo-fronte stabile; Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine; Categoria C: nucleo-fronte instabile.*

La valutazione del comportamento del fronte è stata condotta utilizzando il metodo delle linee caratteristiche, per le tratte ad alta copertura, e i metodi di analisi della stabilità del fronte, per le tratte a bassa copertura.

Le analisi sono state svolte utilizzando i valori caratteristici dei parametri geotecnici e delle azioni.

3.1.1 SEZIONI CON COPERTURA ELEVATA

La risposta meccanica del fronte con elevata copertura (maggiore di 3 volte il diametro equivalente della sezione trasversale) è stata assimilata a quella di una cavità sferica in cui il processo di scavo è modellato come una riduzione progressiva della pressione applicata internamente, dal valore in sito fino a zero. Nel caso in cui (i) lo stato iniziale di tensione è isotropo e uniforme (il peso proprio viene trascurato), (ii) la rapporto di copertura/diametro è sufficientemente grande da poter trascurare l'effetto del piano limite in superficie, (iii) il mezzo è isotropo e uniforme, il problema è caratterizzato da una simmetria sferica e può essere risolto assumendo per il mezzo un comportamento elasto-plastico perfetto. Sono state utilizzate le soluzioni analitiche per la curva caratteristica dell'ammasso (Ribacchi & Riccioni, 1977), in cui il criterio di rottura è descritto dalla relazione lineare di Mohr-Coulomb, in presenza di comportamento drenato (le sezioni più profonde della tratta sono tutte comprese nella formazione di Sabbie di Serracapriola). In tal caso, le condizioni di stabilità del fronte sono state determinate sulla base del comportamento del nucleo (pre-fronte) di scavo, definendo le categorie di comportamento secondo l'approccio ADECO-RS (Lunardi, 2006) sulla base del valore del rapporto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso e la tensione in corrispondenza del raggio plastico al fronte, σ_c/σ_R , del rapporto tra il raggio plastico e il raggio equivalente, R_{pf}/R_{eq} , della sezione, dell'entità della convergenza al fronte in relazione al raggio della sezione, u_f/R_{eq} .

Si riportano in Tabella 3 i due criteri di verifica per la determinazione della classe di comportamento nelle sezioni a copertura elevata.

Tabella 3 –determinazione della classe di comportamento nelle sezioni a copertura elevata

Criterio 1		Criterio 2		
σ_c/σ_R	Classe di comportamento	u_f/R_{eq}	R_{pf}/R_{eq}	Classe di comportamento
≥ 1.2	A	$\leq 0.5\%$	≤ 1.5	B
<1.2 e ≥ 0.8	A/B	$> 0.5\%$	> 1.5	C

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C

< 0.8 e \geq 0.2	B/C
< 0.2	C

Si riporta in Tabella 4 il calcolo effettuato per la sezione rappresentativa della tratta a copertura elevata.

Tabella 4 – analisi della convergenza e della plasticizzazione al fronte di scavo – galleria di linea

<i>dati</i>									
sezione di calcolo	unità	progressiva (km)	H (m)	σ_0 (kPa)	γ (kN/m ³)	φ'_k	c'_k (kPa)	E (MPa)	R_{eq} (m)
	SSR	5+707	53.4	1014.6	19	38	5	300	6.4
H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria σ_0 = tensione totale iniziale alla profondità della galleria γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso φ'_k = valore caratteristico dell'angolo di resistenza al taglio dell'ammasso c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso E = modulo di rigidezza elastica dell'ammasso R_{eq} = raggio di scavo equivalente della galleria									
<i>risultati</i>									
sezione di calcolo	σ_c (kPa)	σ_R (kPa)	σ/σ_R	u_f (m)	u_f/R_{eq}	R_{pf}	R_{pf}/R_{eq}		
	20.50	319	0.06	0.1	2%	11.6	1.81		
$\sigma_c = 2c' \cdot \sqrt{K_p}$ = resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso $\sigma_R = (3\sigma_0 - 2\sigma_c)/(1+2K_p)$ = tensione radiale in corrispondenza del raggio plastico u_f = convergenza al fronte (cavità sferica) R_{pf} = raggio plastico al fronte									

Prendendo in considerazione i valori dei rapporti $\sigma_c/\sigma_R < 0.2$; $u_f/R_{eq} > 0.5\%$ e $R_{pf}/R_{eq} > 1.5$ la sezione considerata risulta appartenere alla classe di comportamento C – fronte instabile (Lunardi, 2006), che pertanto necessita il contenimento del nucleo mediante interventi di pre-consolidamento in avanzamento

3.1.1.1 SEZIONI CON BASSA COPERTURA

Quando il rapporto di copertura/diametro è piccolo (copertura minore di 3 volte il diametro equivalente della galleria) il comportamento del fronte di scavo non può più essere analizzato usando le ipotesi di simmetria sferica e non esiste una soluzione analitica. In questo caso la presenza della superficie influenza la risposta del fronte e il meccanismo d'instabilità si estende fino alla superficie. La soluzione va ricercata attraverso i metodi dell'equilibrio limite o dell'analisi limite. Per le tratte di galleria caratterizzate da tali condizioni si è fatto ricorso al metodo all'equilibrio limite proposto da Tamez (1984) per la valutazione del coefficiente di sicurezza rispetto alla stabilità e alle soluzioni dell'analisi limite proposte da Leca & Dormieux (1990), per ricercare il valore della minima pressione da applicare al fronte, al limite inferiore e superiore.

MANDATARIA  	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
	LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	40

Nelle analisi condotte con il metodo di Tamez (1984) si è assunto che il fronte di scavo sia in condizioni drenate eseguendo il calcolo in tensioni efficaci. Il fattore di sicurezza del fronte rispetto al collasso viene calcolato come il minimo tra CS , coefficiente di stabilità relativo alla mobilitazione dell'intero meccanismo, e CS_3 , coefficiente di stabilità relativo all'instabilità del solo cuneo di terreno in calotta non ancora sostenuto dal rivestimento: $FS = \min [CS; CS_3]$.

$$CS = \frac{(A + B + C)}{D} \quad (1)$$

in cui:

$$A = \left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \times \frac{h_1}{b} \quad (2)$$

$$B = \left[\frac{2\tau_{m3}}{(1 + a/l) \times \sqrt{K_A}} \right] \times \frac{h_1}{h} \quad (3)$$

$$C = \left[\frac{3.4C_1}{(1 + a/l)^2 \times \sqrt{K_A}} \right] \quad (4)$$

$$D = \left[1 + \frac{2h}{3Z(1 + a/l)^2} \right] \times (\gamma Z - P_E) \quad (5)$$

e

$$CS_3 = \frac{2 \cdot \tau_{m3}}{(\gamma Z - P_E)} \times \frac{h_1}{b} \times \left(1 + \frac{b}{a} \right) \quad (6)$$

Si riporta in Tabella 5 il criterio di verifica per la determinazione della classe di comportamento nelle sezioni a bassa copertura.

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C

Tabella 5 –determinazione della classe di comportamento nelle sezioni a bassa copertura

FS	Classe di comportamento
≥ 2	A
$<2 \text{ e } \geq 1.5$	B
< 1.5	C

In Tabella 6 è mostrata una sintesi delle 3 sezioni considerate, come rappresentative dei tratti di galleria più superficiali.

Tabella 6 – analisi delle condizioni di stabilità del fronte con il metodo di Tamez (1984)

<i>dati</i>									
sezione di calcolo	unità	progressiva (km)	z (m)	h ₁ (m)	γ_1 (kN/m ³)	γ_2 (kN/m ³)	c' ₁ (kPa)	c' ₂ (kPa)	φ'_k
1	SSR	5+275	15	15	19	19	0	0	35
2	CGC2/SSR	6+645	12	12	20	19.5	10	20	27
3	CGC2	6+800	5	5	20	20	10	10	20

z = copertura rispetto alla calotta della galleria (h = altezza della galleria)
 h₁ = altezza sopra la calotta della galleria del meccanismo di collasso (se z/h < 3, h₁ = z)
 γ_1 = peso medio dell'unità di volume del terreno sopra la calotta (su h₁)
 γ_2 = peso medio dell'unità di volume del terreno da scavare (su h)
 c'₁ = valore caratteristico medio della coesione efficace al fronte (su h)
 c'₂ = valore caratteristico medio della coesione efficace dalla calotta fino a h₁
 φ'_k = valore caratteristico medio dell'angolo di resistenza al taglio del terreno presente dall'arco rovescio fino a h₁

Nei calcoli si è assunta pari a 1 m la lunghezza non sostenuta.

In tutti i casi il valore di FS risulta <1.5 (categoria C) e pertanto risulta necessario il contenimento del nucleo mediante interventi di pre-consolidamento in avanzamento.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C

3.1.2 CONDIZIONI DI STABILITÀ DEL FRONTE DI SCAVO

Sulla base delle valutazioni condotte nei paragrafi precedenti, il fronte di scavo non risulta stabile in nessuna delle sezioni analizzate. Al fine di valutare la pressione minima che, se applicata direttamente al fronte ne garantirebbe la stabilità, sono state adoperate le soluzioni di Leca & Dormieux (1990) per condizioni drenate, assumendo che l'eventuale livello di falda nel nucleo venga depresso. Tali soluzioni forniscono l'estremo superiore e inferiore della pressione di collasso, che potrà essere utilizzato come guida nella definizione dei pre-consolidamenti al fronte.

Si riportano in Tabella 7 i risultati ottenuti per 4 sezioni significative. Per le sezioni 2 e 3 l'ipotesi di condizione drenata è cautelativa, dal momento che lo scavo con fronte in CGC2 avviene in condizioni non drenate, considerati i bassi valori del coefficiente di permeabilità. Sono state verificate per queste due sezioni anche le condizioni non drenate, per le quali si ottengono valori di pressione di supporto al fronte più bassi.

Tabella 7 –risultati dell'applicazione del metodo di Leca & Dormieux (1990)

sezione di calcolo	unità	progressiva (km)	C (m)	D (m)	γ (kN/m ³)	c'_k (kPa)	φ'_k	$\sigma_{T,lim inf}$ (kPa)	$\sigma_{T,lim sup}$ (kPa)
0	SSR	5+400	40	12.8	19	0	38	243	17
1	SSR	5+275	15	12.8	19	0	38	109	51
2	CGC2/SSR	6+645	12	12.8	20	10	20	232	26
3	CGC2	6+800	5	12.8	20	10	20	160	27

C = copertura rispetto alla calotta della galleria

D = diametro equivalente

γ = peso medio dell'unità di volume del terreno sopra la calotta

c'_k = valore caratteristico medio della coesione efficace

φ'_k = valore caratteristico medio dell'angolo di resistenza al taglio

σ_s = eventuale sovraccarico a piano di campagna



4. 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 della galleria naturale, in considerazione delle sezioni di scavo e consolidamento previste.

Il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il rilievo analitico e speditivo del fronte di scavo;

MANDATARIA  		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	43

- il controllo piezometrico in avanzamento del fronte per verificare la corretta esecuzione dell'abbassamento del livello di falda nel nucleo, nel rispetto delle ipotesi di progetto;
- 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 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;
- il controllo dei cedimenti al piano campagna mediante installazione di capisaldi su sezioni di livellazione topografica;
- il controllo topografico degli spostamenti sugli edifici interferenti;
- il monitoraggio degli spostamenti verticali assoluti e relativi dei terreni di copertura nelle tratte a bassa copertura mediante assestimetri;
- il monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda nelle tratte a bassa copertura;
- il monitoraggio inclinometrico per la misura degli spostamenti orizzontali nelle tratte a bassa copertura.

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

5. CONCLUSIONI

Nell'ambito della Progettazione Esecutiva del raddoppio della tratta Termoli – Ripalta, afferente alla linea storica Pescara – Bari, è prevista la realizzazione della Galleria Campomarino a doppio binario, di lunghezza pari a circa 1.670 km. La relazione geotecnica, illustrata nel presente elaborato, è stata finalizzata allo studio del contesto geotecnico in cui sarà realizzata la galleria.

Sono stati oggetto dell'elaborato:

- la definizione del modello geotecnico di sottosuolo (fase conoscitiva);

<p>MANDATARIA</p>  <p>MANDANTI</p> 	<p>LINEA PESCARA – BARI</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</p> <p>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</p>										
<p>Relazione geotecnica - Galleria Campomarino – Galleria Naturale</p>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	GE	GN	01	00	001	C	44

- la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione, per la determinazione delle categorie di comportamento (fase di diagnosi). Nelle condizioni analizzate, in assenza di interventi di consolidamento il fronte allo scavo risulterebbe di tipo instabile (categoria C).
- le indicazioni per la predisposizione del piano di monitoraggio da attuare nella fase realizzativa, nel quale sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi per il controllo in corso d'opera.